

# 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい 地盤沈下観測システムの開発

Studies on Land Subsidence of the Joetsu, Niigata, Japan and  
Development of New Land Subsidence Observation System

陶野 郁雄 編

Edited by Ikuo TOHNO

NIES



NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan, No. 135, 1997

国立環境研究所研究報告 第135号

# 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい 地盤沈下観測システムの開発

Studies on Land Subsidence of the Joetsu, Niigata, Japan and  
Development of New Land Subsidence Observation System

陶野 郁雄 編

Edited by Ikuo TOHNO

水土壤環境部

Water and Soil Environment Division

環境庁 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

## 序

水の惑星、それが地球である。水は生命の源であり、人間を創り、人間社会を育んでいる。しかし、水の豊富な日本に住む我々は、水はどこにもあるもの、また水道の蛇口をひねればすぐ出てくるものと思っているようである。しかし、世界的には水はむしろ不足ぎみで、未来の持続型の発展の上で、これは最大の問題の一つとされている。

ロシアのアラル海では、流れ込む河川の過度の取水で途中で消滅し、次第に面積が減りつつある。このままでは地図から消え去るかもしれない。また中国の大河、黄河も同様、海に辿りつけなくなることもある。さらに、世界各地では湖沼、河川の汚染が広がっている。

これら地表の水のことであるが、水は地下にもある。ほとんどの水は海水として存在するが、我々が利用している淡水では、湖沼や河川水を合わせた量よりも地下水の方が80倍も多いと考えられている。普通、地下水は雨水が地下に浸透したもので、地下の孔隙に含まれる。人間は昔からこの水を井戸を掘って汲みだして使ってきた。関東平野の下には、大量の地下水が存在することが分かっているが、深部の水の年代は極めて古く、江戸時代よりも古いとされている。このように地下水が貯まるには時間がかかるのである。現在の大都市の地盤沈下問題の多くは、生活水、工業用水などのための過度の汲み上げによることが多い。良く話題になるが、アメリカ中西部の広大な農業地帯では、いま地下水位の低下が問題となっている。これも非常に古い水である。

地下水は大事に、しかも注意して使わなければならないのである。これを資源論の立場で言えば、本来再生的な資源であるはずの地下水が、多くの場合人間の利用が早過ぎ、実質的に非再生的資源となっている。

それでは、このような地下水の汲み過ぎを止めれば良いではないか、ということになるが人々の生活がかかっているので、なかなか止められないのが実情である。本レポートは、冬季の豪雪地帯で地下水を融雪に使うときに起こる雪国特有の地盤沈下問題について研究した結果が、詳細に述べられている。利便な生活は一方において、このような環境問題を惹起しており、より一層科学的な対策が必要となっている。これには先ず、地盤沈下性状について詳細に調査研究を行うことが重要である。そのためには、モニタリングのため優れた地盤沈下観測システムの開発が求められる。本報告はそのシステムの研究についても述べるものである。

このような環境研究は一見地味であるが、人間の実生活に直結する重要なものである。この意味でも本研究で得られた知見、技術が広く世の中で活用されることを期待したい。

平成9年3月

国立環境研究所

所長 石井吉徳

## 目 次

Abstract .....	1
要 旨 .....	3
研究の概要 .....	5
陶野郁雄	
A 高田平野の地盤沈下 .....	11
関谷一義・陶野郁雄	
B 上越市における地盤沈下対策 .....	25
関谷一義・柳下正治・陶野郁雄	
C 上越市高田市街地の浅層部の地下地質 — ボーリング調査結果を基に — .....	35
陶野郁雄・関谷一義	
D 上越市高田市街地における深度別の地層の変動量に関する研究 .....	43
関谷一義・陶野郁雄・鈴木典子・森山 登	
E 上越市高田市街地における地盤の圧密性状 .....	49
陶野郁雄・大瀧浩司	
F 新しい地盤沈下観測システムの開発 .....	61
陶野郁雄・丸田春樹	
G 新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムによる観測に関する研究 — 新潟県上越市高田市街地における計測 — .....	69
陶野郁雄・関谷一義・関 浩樹・藤巻広司	
H 佐賀平野における地盤沈下の現状と有明町に設置した新地盤沈下観測システムによる観測結果 .....	77
陶野郁雄	

## CONTENTS

Abstract in English .....	1
Abstract in Japanese .....	3
Outline of the Project .....	5
Ikuo TOHNO	
A Actual State of the Land Subsidence in the Takada Plain, Niigata, Japan .....	11
Kazuyoshi SEKIYA and Ikuo TOHNO	
B Countermeasures of Land Subsidence of the Joetsu, Niigata, Japan .....	25
Kazuyoshi SEKIYA, Masaharu YAGISHITA and Ikuo TOHNO	
C Subsurface Geology Based on Boring Observation at the Urban Takada, Joetsu, Niigata, Japan .....	35
Ikuo TOHNO and Kazuyoshi SEKIYA	
D Study on Subsidence in Every Section in Urban Takada, Joetsu, Niigata .....	43
Kazuyoshi SEKIYA, Ikuo TOHNO, Noriko SUZUKI and Noboru MORIYAMA	
E Consolidation Characteristics of Undisturbed Soil in Urban Takada, Joetsu, Niigata Japan .....	49
Ikuo TOHNO and Koji OHTAKI	
F Studies on Development of New Land Subsidence Observation System .....	61
Ikuo TOHNO and Haruki MARUTA	
G Study on Measurement of Land Subsidence with a New and Simple Observation System at the Urban Takada, Joetsu, Niigata, Japan .....	69
Ikuo TOHNO, Kazuyoshi SEKIYA, Hiroki SEKI and Koji FUJIMAKI	
H Present State of Land Subsidence in Saga Plain and Monitoring of Subsidence with New Observation System at Ariake, Saga, Japan .....	77
Ikuo TOHNO	

## Abstract

Extensive lowering of ground surface, called land subsidence, results from the heavy withdrawal of ground water. Subsidence is also caused by consolidation of sediment as in soft ground.

Land subsidence phenomenon has a long history in Japan. Since the early part of this century, particularly since the 1910s, many deep wells were drilled with the development of modern drilling machines that pumped out ground water excessively from the wells. During the 1930s, the observed subsidence rates were rapid in Tokyo and Osaka areas, at more than 10 cm per year. During the Second World War, subsidence rates were very small due to a reduction in the withdrawal of ground water from wells. But around 1950, rapid subsidence was again observed due to the industries being rebuilt and rapid industrial development in both Tokyo and Osaka areas. Since 1960, land subsidence has become a nation wide phenomenon in Japan. However, since 1979, the general tendency of land subsidence in major areas across the nation has slowed down considerably as a result of various countermeasures and regulation enforced by the central and the local governments.

Areas along the Japan Sea experience heavy snowfall during winter. The maximum depth of snow in most areas of the coastal plain is more than 3 meters. In order to avoid disruption of the daily lives of residents during the winter season, various methods of clearing snow have been adopted. In 1963, a new method to melt snow which is rapidly becoming popular was implemented in Nagaoka City. The snow is melted by sprinkling it with ground water from pipes set up along roads and parking lots etc.

Joetsu City, which is situated in the west of the Niigata Prefecture, has a coastline to south of the Japan Sea. Urban Takada, which is situated in the south of Joetsu City, is one of the typical land subsidence areas in Japan. Land subsidence has been observed in heavy snowfall since the latter half of 1970s due to excessive pumping out of ground water to melt snow at the urban Takada, Joetsu. Especially annual land subsidence in 1984, as it is called "59 Gosetsu", was 10.1 cm, which was the maximum value of that year in Japan.

In order to prevent land subsidence, Niigata Prefectural Government established guide line for decrease of ground water discharge for snow melting and measures to be taken by people who has well when land subsidence was occurring. In 1987, the object of prevention of land subsidence in Joetsu has been established.

The ground water level is much lowered in winter due to excessive pumping out of ground water to melt snow. Subsidence is caused by consolidation of Quaternary deposits, because of lowering ground water level. Recently decline of ground water level of confined aquifer, as it was "G<sub>1</sub> bed", about 50 m depth has occurred due to increase of wells for pumping up ground water of G<sub>1</sub> bed. These wells are almost out of the restraint of the Niigata Prefectural Pollution Prevention Regulation.

At the urban Takada, it was observed in order to explain subsurface geology and geotechnical properties of the upper Quaternary deposits. The boring observation was put in operation two sites, which are located the Takada branch of public hall, south of the urban Takada, in 1992, and the Johoku junior high school, north of there, in 1994. Some consolidation tests on undisturbed saturated cohesive soils, which was taken from these observation, were carried out in a laboratory, and the factors that increased the settlement of sample were determined.

Formerly observation well has observed subsidence with the method of measuring the change of elevation of its iron casing. This method is necessary to wide area and high cost. By negative friction between well casing and layer, it is difficult with this method that subsidence is observed exactly.

It was developed a new observation system in order to monitoring of land subsidence. This observation system is

used the wire made of aromatic polyamide for measuring subsidence and tried to miniaturized the observation system and cut down the expenses. It was tried to improve the accuracy according to reduction of influence of friction by reducing the amount of contact between component parts. We were equipped these new observation system used to land subsidence at the Ariake Higashi elementary school, Ariake, west of Saga Prefecture in 1989 and at the Takada branch of public hall, Joetsu in 1993, subsidence due to rapid decline of ground water level was observed precisely.

## 要 旨

多量の地下水を揚水することによって地表面の高さが広範囲にわたって低下する現象のことを地盤沈下という。この沈下は、主として軟弱地盤を構成している堆積層が圧密されることによって生じる。

本邦における地盤沈下の歴史は長い。今世紀初めの1910年代に、近代的なボーリング機械が発達したことによって、たくさんの深井戸が掘削されるようになった。その結果として地下水の開発が進み、多量に揚水されることとなった。1930年代には、東京や大阪で年間10cm以上の激しい地盤沈下が記録されるようになった。第二次世界大戦中は、地下水の揚水が著しく減少したのに伴って、地盤もあまり沈下しなくなった。ところが、1950年頃になると、産業の復興に伴って、地下水の需要が急増し、再び地盤沈下が激しくなった。1960年を過ぎる頃には、全国各地に地盤沈下地域が広がっていった。けれども、1979年以降は、国や地方公共団体によって、様々な地盤沈下対策や地下水採取規制がなされるようになったため、地盤沈下が鈍化する様相を呈するようになった。

日本海沿岸地域は、冬期に激しい降雪に見舞われる。海岸平野における豪雪地帯では3m以上雪が積もる。冬期間の日々の暮らしを守るために、いろいろな方法を用いて雪を消している。1963年に長岡市で雪を溶かす新しい方法が実用化され、あっという間に各地に広がっていった。それは、道路や駐車場などにパイプを設置し、そこから地下水を散水することによって、雪を溶かす方法である。

上越市は新潟県の西部に位置している。その南部に当たる高田市街地は、全国有数の地盤沈下地域の一つとなっている。高田市街地では、消雪用に地下水を多量に揚水するようになったため、1970年代後半から地盤沈下が顕在化するようになった。特に、59豪雪といわれた1984年には年間沈下量10.1cmという全国1の沈下量を

記録した。

そこで、新潟県では、上越地域消雪用地下水削減対策要綱の制定や上越地域地盤沈下緊急対策を実施して、沈下の防止を図った。1987年に上越地域地盤沈下防止対策基本指針が策定された。

冬になると、雪を消すために地下水を非常に多量に汲み上げるため、地下水位が著しく低下する。沈下は、この地下水位の低下によって、第四系が圧密されるために生じる。最近では、深度50m付近に堆積しているG<sub>1</sub>層と言われている帯水層の地下水位の低下が顕在化している。この帯水層から地下水を採取している井戸のほとんどが新潟県条例対象外となっているためである。

高田市街地における上部第四系の地下地質と地盤工学的性質を明らかにする目的で、1992年に高田市街地南部の上越市立公民館高田地区館で、1994年に高田市街地北部の上越市立城北中学校内でボーリング調査を行った。ボーリング調査で得られた乱さない土試料について、室内で圧密試験を実施し、圧密沈下性状を把握した。

従来の地盤沈下観測井は、鋼管の抜け上がり量を記録する方法で地層の収縮量を計測している。この方法は、観測施設を設置するのに広い敷地や多くの経費を要する。しかも、井戸管と地層の間の摩擦によって、収縮量を正確に計測することを難しくしている。

そこで、新しい地盤沈下観測システムの開発にとりかかった。このシステムは、収縮量の計測にアラミド繊維製のワイヤーを用い、施設の小型化と経費の削減を図っている。さらに、接触部を少なくし、摩擦による影響を軽減することにより、精度の向上を図った。この新たに開発した地盤沈下観測システムを、1989年に佐賀県西部にある有明町立有明東小学校と1993年に上越市立公民館高田地区館の敷地内に設置し、地下水位の急激な低下に伴う収縮量の観測を行っている。



## 研究の概要

### Outline of the Project

陶野郁雄<sup>1</sup>

Ikuo TOHNO<sup>1</sup>

地盤沈下は、いわゆる典型七公害の一つとされてきた。地盤沈下は一度発生すると、ほとんど元に戻らないという特徴を有している。しかも、沈下の進行が緩慢で発見しにくく、気が付いたときには国民の生活環境や生産活動に多大なる損失を与えてしまっているということがしばしば起きている。その主たる原因は、地下水の過剰揚水に伴って生じる地下水位の低下である。地下水位が低下すると、低下した高さに応じた外力が地層に加わるため、主として粘土からなる第四系が圧密されることによって沈下が生じる。

新潟県西部に位置する上越市は日本有数の豪雪地域の一つとして知られている。ここでは、道路、駐車場、屋根などに降った雪を消すために、多量の地下水を揚水している。1963(昭和38)年に長岡市で道路の雪を消すために消雪パイプが実用化され、その威力が実証されたため、瞬く間に各地に広がっていった。上越市においても同様であり、1970年代後半になると、消雪用地下水の揚水による地下水位の低下と地盤沈下が上越市南部に位置する高田市街地で顕在化した。特に、59豪雪といわれた1984年には年間沈下量が10.1cmという全国第1位の年間沈下量を記録した。このため、新潟県では直ちに上越地域消雪用地下水削減対策要綱の制定や上越地域地盤沈下緊急対策を実施して、沈下の防止を図った。1987年には上越地域地盤沈下防止対策基本指針が策定された。全国に先駆けた地盤沈下要綱の策定、地下水位による警報システムの導入がなされた。

消雪用に用いる地下水は、工業用に揚水する場合と

違って、浅層から揚水しているのがほとんどであり、深度50m付近のG<sub>1</sub>層と呼ばれる帯水層の地下水位の低下が顕在化している。地下水位の低下は冬期のみ生じ、春から秋にかけて回復するという1年1周期の地下水位変動が生じている。この繰り返し効果により、地盤沈下が顕著に進行している。これは、G<sub>1</sub>層から取水する井戸の増加が原因であるが、これらの井戸は県条例の対象にならないものが多い。しかも、この地域では、地盤の工学的性質に関する情報が非常に少なく、特に、圧密性状に関する情報がほとんどなく、実証することが困難であった。

そこで、高田市街地の浅層部の地下地質と地盤の土質工学的性状を明らかにする目的で、1992年に高田市街地南部の上越市立公民館高田地区館内で、1994年に高田市街地北部の上越市立城北中学校内でボーリング調査を行った。この調査では、オールコア・ボーリングを実施しており、不攪乱(乱さない)土試料の採取を行った。採取試料を持ち帰って、地質学的な分析や観察あるいは土質試験を行って、浅層部の地質と地盤性状を把握した。

一般に、地盤沈下観測井による調査はおおがかりとなり、観測施設を設置するのに広い敷地を要し、多額の経費がかかる。また、地層と管との摩擦などによって、管の抜け上がりが滑らかにならないこともあり、地層の収縮量を正確に把握できなことがよく生じる。

そこで、1986年より故岩田敏研究員とともに手軽で簡便な観測システムの開発にとりかかり、1988年に試作品を完成させた。この地盤沈下観測システムは、収縮量の計測にアラミド繊維を用い、施設の小型化と経費の節減を図った。さらに、接触部を少なくし摩擦による影響を軽減することにより、収縮量の精度の向上を図った。1989年には試作品を改良し、佐賀県有明町で実施したボーリング孔を利用して地盤沈下観測システムを設け、

1. 国立環境研究所 水圏環境部

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

観測を開始した。1993年にはさらに改良を加えて新潟県上越市で実施したボーリング孔を利用してより簡便な地盤沈下観測システムを設置し、観測を開始した。

この地盤沈下観測システムは、単に経費が安く、ボーリング孔のような小さな径でも観測を行うことができるだけでなく、手軽で簡単に着脱でき、運搬が可能なため、既存の井戸にも適宜取り付け、地下水位と地層の収縮量を同時に観測することができるという特色を有している。

以上のようなことの成果を纏めてここに報告することにした。その概要を下記に示す。

- (A) 「高田平野の地盤沈下」は、高田平野における第四系の堆積盆を概括し、地盤沈下の歴史と現状について水準測量と観測井による観測結果を踏まえて報告したものである。
- (B) 「上越市における地盤沈下対策」は、上越市において新潟県が今までに実施してきた地盤沈下対策、特に1984年に実施した緊急時対策について、その効果を踏まえて報告したものである。
- (C) 「上越市高田市街地の浅層部の地下地質—ボーリング調査結果を基に—」は、1992年に高田市街地南部の上越市立公民館高田地区館内で、1994年に高田市街地北部の上越市立城北中学校内で実施したボーリング調査結果を基に、層序を把握し、浅層部の地下地質について纏めたものである。
- (D) 「上越市高田市街地における深度別の地層の変動量に関する研究」は、新潟県衛生公害研究所が中心となって、上越市立城北中学校内で深度別の地下水位と地層の変動量を観測してきた結果を纏めたものである。
- (E) 「上越市高田市街地における地盤の圧密性状」は、1992年に上越市立公民館高田地区館内で、1994年に上越市立城北中学校内で実施したボーリング調査によって得られた不攪乱（乱さない）土試料について標準圧密試験を実施し、その結果を基に、現状の地下水位で今後も推移した場合の地盤沈下将来予測を試みたものである。
- (F) 「新しい地盤沈下観測システムの開発」は、地層の収縮量の計測にアラミド繊維を用い、施設の小型化と経費の削減を図った地盤沈下観測システムの開発について、従来の観測方法と比較しながら、その観測手法の説明を加えて報告したものである。
- (G) 「新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムによ

る観測に関する研究—新潟県上越市高田市街地における計測—」は、施設の小型化と経費の削減を図った新地盤沈下観測システムによる観測結果について、種々の角度から検討を加えて報告したものである。

- (H) 「佐賀平野における地盤沈下の現状と有明町に設置した新地盤沈下観測システムによる観測結果」は、佐賀平野の第四系および地盤沈下の歴史と現状を概括し、新地盤沈下観測システムによる観測結果について報告したものである。

またこれらの研究は、「地盤沈下地域の地盤調査（昭和63～平成元年度，奨励研究：平成2～4年度，特別経常研究：平成5～8年度）」、「多層の地盤沈下観測システムの開発に関する基礎的研究（経常研究：昭和63年度）」、「地盤沈下観測システムの開発と観測に関する研究（経常研究：平成3～8年度）」、「新潟県上越市における消雪用地下水による地盤沈下特性（新潟県衛生公害研究所との共同研究：平成6～8年度）」、及び「繰返し応力に起因する地盤沈下解析手法の開発に関する研究（文部省科学研究費補助金・総合研究（A），研究代表者：平成2～3年度）」等によるものである。

## 研究成果一覧

### I. 地盤沈下地域に関する理学的調査研究

#### 1. 論文報告等

- 1) 下山正一・湯村直久・竹村恵二・岩尾雄四郎・三浦哲彦・陶野郁雄（1994）：有明海北岸低地の第四系，九州大学理学部研究報告地球惑星科学，Vol.18，No.2，pp.103-129.

#### 2. 著書・成果報告等

- 1) 陶野郁雄（1991）：地球・日本列島・有明海の誕生から雲仙噴火まで—佐賀平野の自然と環境の変遷—，佐賀大学公開講座「佐賀平野～土と水の技術史」資料，佐賀大学低平地防災研究センター，p.1-14.
- 2) 陶野郁雄（1995）：堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関する研究委員会—委員会報告—，堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.1-5.

#### 3. 口頭発表

- 1) 陶野郁雄（1986）：新潟県六日町の地盤沈下と地質，日本地質学会第93年学術大会，山形，p.494.
- 2) 陶野郁雄・山野井 徹（1989）：山形市東北部の地盤沈下と地盤性状，日本地質学会第96年学術大会，

水戸, p.654.

- 3) 陶野郁雄・遠藤邦彦・小杉正人・片岡久子・佐藤直弘・下山正一・野井秀明・小形昌徳・松岡数充・竹村恵二・磯 望・岩尾雄四郎・三浦哲彦 (1990) : 有明海奥部低地のオールコア・ボーリングによる第四紀中・後期層序と古環境, 日本第四紀学会, 東京, No.20, pp.104-105.
- 4) 陶野郁雄・遠藤邦彦 (1991) : 白石平野の地盤沈下とその地質, 日本地質学会第98年学術大会, 松山, p.502.
- 5) 関谷一義・陶野郁雄 (1995) : 新潟県上越市高田市街地の浅層部における地下地質と地層の深度別の収縮量, 第30回土質工学研究発表会, 金沢, pp.161-162.

## II. 地盤沈下地域に関する地盤工学的調査研究

### 1. 論文報告等

- 1) 三浦哲彦・飯盛喜代春・坂井 晃・陶野郁雄 (1986) : 佐賀平野における揚水に伴う地盤沈下と地下水水質への影響, 土質工学会誌 土と基礎, Vol.34, No.11, pp.13-18.
- 2) 岩田 敏・陶野郁雄・桑原文夫 (1986) : 新潟県六日町における消雪用揚水に伴う地盤沈下とその解析, 土質工学会誌 土と基礎, Vol.34, No.11, pp.73-78.
- 3) 陶野郁雄 (1987) : 消雪用揚水による地盤沈下, 地質と調査, No.31, pp.22-27.
- 4) 岩田 敏・陶野郁雄 (1990) : 新潟県六日町における消雪用揚水に伴う地盤沈下性状, 国立公害研究所研究報告第127号, 国立公害研究所, 84p.

### 2. 口頭発表

- 1) 陶野郁雄 (1983) : 地下水の変動と地盤沈下, 日本第四紀学会大会, 静岡, No.13, pp.88-89.
- 2) 桑原文夫・陶野郁雄 (1984) : 消雪用に地下水を利用する地域の地盤沈下解析—新潟県六日町の場合—, 第19回土質工学研究発表会, 松山, pp.255-256.
- 3) 陶野郁雄・桑原文夫 (1984) : 繰返し応力下における粘性土の圧密特性—新潟県六日町の場合—, 第19回土質工学研究発表会, 松山, pp.257-258.
- 4) 岩田 敏・陶野郁雄・桑原文夫・栗原市雄 (1985) : 新潟県六日町の地盤構成と地盤沈下挙動, 第20回土質工学研究発表会, 名古屋, pp.13-15.

- 5) 桑原文夫・陶野郁雄・岩田 敏 (1987) : 新潟県六日町の地盤性状と沈下予測, 第22回土質工学研究発表会, 新潟, pp.267-268.
- 6) 岩田 敏・陶野郁雄 (1989) : 佐賀・白石平野の地盤性状と沈下解析, 第24回土質工学研究発表会, 東京, pp.133-134.
- 7) 陶野郁雄 (1991) : 佐賀白石平野の地盤沈下性状と新観測システム, 国立環境研究所研究発表会, No.F-31-'91/NIES, pp.25-30.
- 8) 陶野郁雄・丸田春樹 (1991) : 佐賀県有明町に設置した新地盤沈下システムとその地盤性状, 第26回土質工学研究発表会, 長野, pp.73-74.
- 9) 陶野郁雄・木村 強・安原一哉・岡本 順・内田賢徳 (1991) : 白石平野における地下水揚水に伴う地盤沈下性状, 第26回土質工学研究発表会, 長野, pp.367-368.
- 10) 陶野郁雄・遠藤邦彦・安原一哉 (1992) : 佐賀白石平野の地下環境と圧密沈下特性, 第27回土質工学研究発表会, 高知, pp.77-78.
- 11) 関谷一義・陶野郁雄・丸田春樹 (1996) : 収縮量の計測に化学繊維を用いた簡易な地盤沈下観測システム—新潟県上越市高田市街地における計測—, 第31回地盤工学研究発表会, 北見, pp.279-280.

## III. 地盤沈下に関する地盤工学的・理論的研究

### 1. 論文報告等

- 1) 陶野郁雄・桑原文夫・田中 実 (1983) : 季節的に変動する地下水位の地盤沈下に及ぼす影響, 環境保全と地盤工学に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.37-44.
- 2) 田中 実・陶野郁雄・桑原文夫 (1984) : 地下水位の周期的な変動による地盤沈下, 日本工業大学研究報告, Vol.14, No.3, pp.33-42.
- 3) 陶野郁雄・岩田 敏・桑原文夫・社本康広 (1986) : 繰返し応力履歴を受けた粘性土の圧縮性状, 土質工学シンポジウム論文集, No.31, pp.85-90.
- 4) 陶野郁雄・岩田 敏 (1988) : 新潟県南魚沼郡六日町の地盤沈下の現状, 地下水学会誌, 誌面講座地盤沈下(3), Vol.30, No.2, pp.95-101.
- 5) TOHNO Ikuo, IWATA Satoshi and SHAMOTO Yasuhiro (1989): Land Subsidence Caused by Repeated Loading, Proc. 12th Int. Conf. Soil

Mechanics and Foundation Engineering, Vol.3, Session 25, pp.1819-1822.

- 6) 坂井 晃・陶野郁雄 (1990)：地下水位の季節的変動による地盤沈下，繰返し応力を受ける地盤の変形に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.87-92.
- 7) 坂井 晃・三浦哲彦・陶野郁雄・八谷陽一郎(1996)：季節的な地下水揚水に伴う地盤沈下，地下水学会誌，Vol.38, No.4, pp.269-278.

## 2. 著書・成果報告等

- 1) 陶野郁雄・安原一哉 (1991)：地盤の繰返し圧密に関するケーススタディー (その1)，講座 土の繰返し圧密，土と基礎，Vol.39, No.7, pp.85-91.
- 2) 安原一哉・陶野郁雄 (1991)：地盤の繰返し圧密に関するケーススタディー (その2)，講座 土の繰返し圧密，土と基礎，Vol.39, No.8, pp.73-80.
- 3) 陶野郁雄編著 (1992)：繰返し応力に起因する地盤沈下解析手法の開発に関する研究，文部省科学研究費補助金 (総合研究 (A)) 研究成果報告書，130p.

## 3. 口頭発表

- 1) 陶野郁雄・桑原文夫 (1983)：繰返し圧密試験における応力増分比と時間の及ぼす影響，第18回土質工学研究発表会，郡山，pp.201-202.
- 2) 桑原文夫・陶野郁雄 (1983)：繰返し応力下における粘性土の圧密沈下解析，第18回土質工学研究発表会，郡山，pp.203-204.
- 3) 桑原文夫・田中 実・陶野郁雄 (1984)：地下水位が周期的に変動する地域の地盤沈下解析，日本建築学会昭和59年度大会 (構造系)，横浜，pp.2473-2474.
- 4) 田中 実・桑原文夫・陶野郁雄 (1985)：繰返し荷重を受ける粘性土の圧密挙動，第20回土質工学研究発表会，名古屋，pp.241-242.
- 5) 岩田 敏・陶野郁雄・桑原文夫・社本康広 (1987)：粘性土の一次圧密終了後の繰返し圧密特性，第22回土質工学研究発表会，新潟，pp.253-254.
- 6) 岩田 敏・陶野郁雄 (1988)：山形市の地盤性状と沈下解析，宮崎，第23回土質工学研究発表会，pp.37-38.

## IV. その他の地盤沈下に関する調査研究

### 1. 論文報告等

- 1) 陶野郁雄・遠藤邦彦 (1989)：第四紀学的立場から

見た大深度地下開発と地盤環境問題，地下空間シンポジウム1989，土木学会，pp.119-124.

- 2) 平尾和年・安原一哉・兵動正幸・小浪岳治・陶野郁雄 (1990)：地震時の軟弱地盤の再圧密沈下，繰返し応力を受ける地盤の変形に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.121-128.
- 3) 陶野郁雄 (1993)：地球環境と地下空間—自然環境と都市域地下空間の環境問題—，地下空間利用シンポジウム1993，土木学会，pp.5-14.

- 4) 陶野郁雄 (1993)：複合災害と総合的災害予測図，第四紀研究，Vol.32, No.5, pp.339-352.

## 2. 著書・成果報告等

- 1) 陶野郁雄編著 (1988)：災害予測図作成手法に関する基礎的研究，重点領域「自然災害」総合研究班ワーキンググループ研究成果報告書，22p.
- 2) 陶野郁雄編 (1989)：大深度地下空間利用における地盤環境保全の評価手法に関する調査報告書，国立公害研究所資料 F-13, 102p.
- 3) 陶野郁雄 (1989)：環境保全の評価手法に関する調査，快適で安全な大深度地下空間利用に関する緊急調査報告書，科学技術庁研究開発局，pp.42-53.
- 4) 安田 進編 (陶野郁雄共著) (1990)：埋立地に置ける地盤沈下を考慮した諸施設の耐震化システム，文部省科学研究費補助金 (重点領域研究 (1)) 研究成果報告書，176p.
- 5) 佐藤邦明・陶野郁雄 (1990)：地下空間の地盤・地下水環境，講座 地下空間—21世紀に向けて—，土と基礎，Vol.38, No.12, pp.61-67.
- 6) 陶野郁雄編著 (1991)：災害予測図作成手法に関する基礎的研究，文部省科学研究費補助金 (重点領域研究 (1)) 研究成果報告書，126p.
- 7) 陶野郁雄 (1991)：圧密現象と続成作用，シリーズ解説 地質学と土質工学の接点，応用地質，Vol.32, No.2, pp.24-34.
- 8) 社本康広・陶野郁雄・巻内勝彦 (1992)：砂の繰返し圧密，講座 土の繰返し圧密，土と基礎，Vol.40, No.1, pp.65-72.

## 3. 口頭発表

- 1) 陶野郁雄 (1988)：災害予測図作成手法に関する基礎的研究，第25回自然災害科学総合シンポジウム，岡山，pp.164-169.
- 2) 安田 進・陶野郁雄 (1988)：地盤の沈下に起因し

た構造物の地震被害, 第7回日本自然災害学会学術講演会, 岡山, pp.44-45.

- 3) 陶野郁雄・巻内勝彦・杜本康広 (1989): 砂質地盤の繰返し圧密現象と問題点, 第24回土質工学研究発表会, 東京, pp.347-348.
- 4) 安田 進・陶野郁雄・宮本孝行 (1989): 構造物の地震時被害例に見る地盤沈下の影響, 第24回土質工学研究発表会, 東京, pp.911-912.
- 5) 陶野郁雄 (1989): 大深度地下空間利用と環境保全, ジオフロントシンポジウム「地下空間はわれわれの暮らしを変え得るか」, 建築学会関東支部, 東京, pp.29-34.
- 6) 陶野郁雄・遠藤邦彦・鏡味洋史 (1992): 複合災害の誘因と予測に関する研究, 日本地質学会第99年学術大会, 熊本, p.533.
- 7) 陶野郁雄 (1992): 複合災害と総合的な災害予測図作成について, 日本第四紀学会シンポジウム「災害とその予測—第四紀研究の果たす役割」講演要旨集, 東京, No.22, pp.28-31.

## V. 地盤沈下に関する解説・一般論

### 1. 論文報告等

- 1) TOHNO Ikuo (1992): Present state of land subsidence phenomenon and subsidence caused by repeated change of ground water level in Japan, Proceedings of the ILT Seminar on Problems of Lowland Development, pp.303-308.
- 2) TOHNO Ikuo (1994): Land Subsidence Problems in Japan, Lowlands, pp.413-437.

### 2. 著書・成果報告等

- 1) 陶野郁雄 (1984): 日本の地盤沈下とその研究, 国立公害研究所ニュース, Vol.3, No.1, pp.11-13.

2) 陶野郁雄 (1985): 地盤沈下, 土質工学会東北支部設立三十周年記念誌, 土質工学会東北支部, pp.123-132.

3) 陶野郁雄 (1989): 第10章 地盤沈下, 第14編 環境基礎, 第四版土木工学ハンドブック, 土木学会編, 技報堂出版, pp.620-622.

4) 土質工学会編 (陶野郁雄分担) (1990): 土質試験の方法と解説, 土質工学会, 615p.

5) 陶野郁雄 (1990): 地盤沈下による影響, 環境保健入門, からだの科学 臨時増刊, 日本評論社, pp.89-94.

6) 陶野郁雄 (1990): 第6章 地盤沈下の地質と土質力学, 第7章 地盤沈下の予測, 地盤沈下とその対策, 環境庁水質保全局企画課監修, 白亜書房, pp.205-284.

7) 陶野郁雄 (1990): 大深度地下開発と地下環境, 鹿島出版会, 234p.

8) UTAN 編集部編 (陶野郁雄分担) (1991): 今地球を救う本, 地球環境大事典, 学習研究社, 398p.

9) 陶野郁雄 (1993): 第1節広域地盤沈下・第2節地盤沈下とその被害・第3節地盤沈下の歴史と現状, 第7章 広域地盤沈下, 土木・建築技術者のための実用軟弱地盤対策技術要覧, 産業技術サービスセンター, pp.308-321.

10) 地盤工学会 (陶野郁雄分担) (1995): 地盤調査法, 地盤工学会, pp.527-601.

### 3. 口頭発表

1) 陶野郁雄 (1986): わが国の地盤沈下の現状, 第3回地下水問題研究会, 東京, pp.27-34.

2) 陶野郁雄 (1994): 地盤沈下の現状と観測システム, 電子情報通信学会技術研究報告, つくば, pp.1-6.

## A 高田平野の地盤沈下

### Actual State of the Land Subsidence in the Takada Plain, Niigata, Japan

関谷一義<sup>1</sup>・陶野郁雄<sup>2</sup>

Kazuyoshi SEKIYA<sup>1</sup> and Ikuo TOHNO<sup>2</sup>

#### 要旨

高田平野の地盤沈下は、1960年代に入り、工業用としての地下水の揚水量の増加とともに顕在化してきた。その後、工業用水道の導入や新潟県公害防止条例の規制などにより、揚水量が減少するとともに地盤沈下は沈静化した。しかしながら、1970年代後半になると、豪雪時の消雪用地下水の揚水による地下水位の低下と地盤沈下が上越市高田市街地で顕在化した。特に、59豪雪といわれた1984年の年間沈下量は10.1cmであり、全国で第1位を記録した。

最近では、深度50m付近のG<sub>1</sub>層と呼ばれる帯水層の地下水位の低下が顕在化している。G<sub>1</sub>層から取水する井戸の増加が原因である。これらの井戸は県条例の対象にならないものが多い。豪雪時の沈下が深度137m以浅の地層の収縮によって生じており、G<sub>1</sub>層から取水している県条例対象外の井戸の対策が今後の課題である。

#### Abstract

Land subsidence in Takada Plain has occurred since the 1960s due to increase of ground water discharge used for industrial purposes. Later land subsidence has decreased according to preventive measures, such as the setting up industrial water works and control of ground water pumping under Niigata Prefectural Pollution Regulation. However land subsidence has been observed in heavy snowfall since the latter half of 1970s due to excessive pumping out of ground water to melt snow at the urban Takada, Joetsu. Especially annual land subsidence in 1984, as it is called "59 Gosetsu", was 10.1 cm, which was the maximum value of that year in Japan.

Recently decline of ground water level of confined aquifer, as it was "G<sub>1</sub>bed", about 50 m depth has occurred due to increase of wells for pumping up ground water of G<sub>1</sub>bed. These wells are almost out of the restraint of the Niigata Prefectural Pollution Prevention Regulation. It is clear that in heavy snowfall land subsidence has occurred according to compression of layer between ground surface to 137 m deep. Accordingly the measure for these wells is the subject for a future study.

#### 1 はじめに

高田平野は新潟県の南西部に位置し、日本海に面した不等辺三角形の海岸平野である(図1)。この海岸平野の西側は西頸城山地に、東側は東頸城丘陵に、北側は北東-南西方向の海岸線で日本海に、南側は妙高火山の

裾野に接している。なお、上越市は高田平野の西部に位置する。

高田平野における地下水利用は、上越市(旧高田市)が1922(大正11)年に上水道用として地下水を用いたのが始まりである。高度経済成長が始まった1960年代に入ると、地下水位の低下が顕在化してきた。このため、新潟県では1965(昭和40)年に観測井を設置し、1968年からは水準測量を実施し、地盤沈下の監視を始めた。その結果、高田平野全域にわたって沈下が観測された。このような状況をうけて、新潟県は様々な地盤沈下対策を実施した<sup>1)</sup>。その後、地下水位は上昇し、地盤沈下も沈静化した。しかしながら、1970年代後半になると、豪雪時

1. 新潟県衛生公害研究所

〒950-21 新潟県新潟市曾和314-1

Niigata Prefectural Research Laboratory for Health and Environment. 314-1 Sowa, Niigata 950-21, Japan.

2. 国立環境研究所 水圏環境部

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies. 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

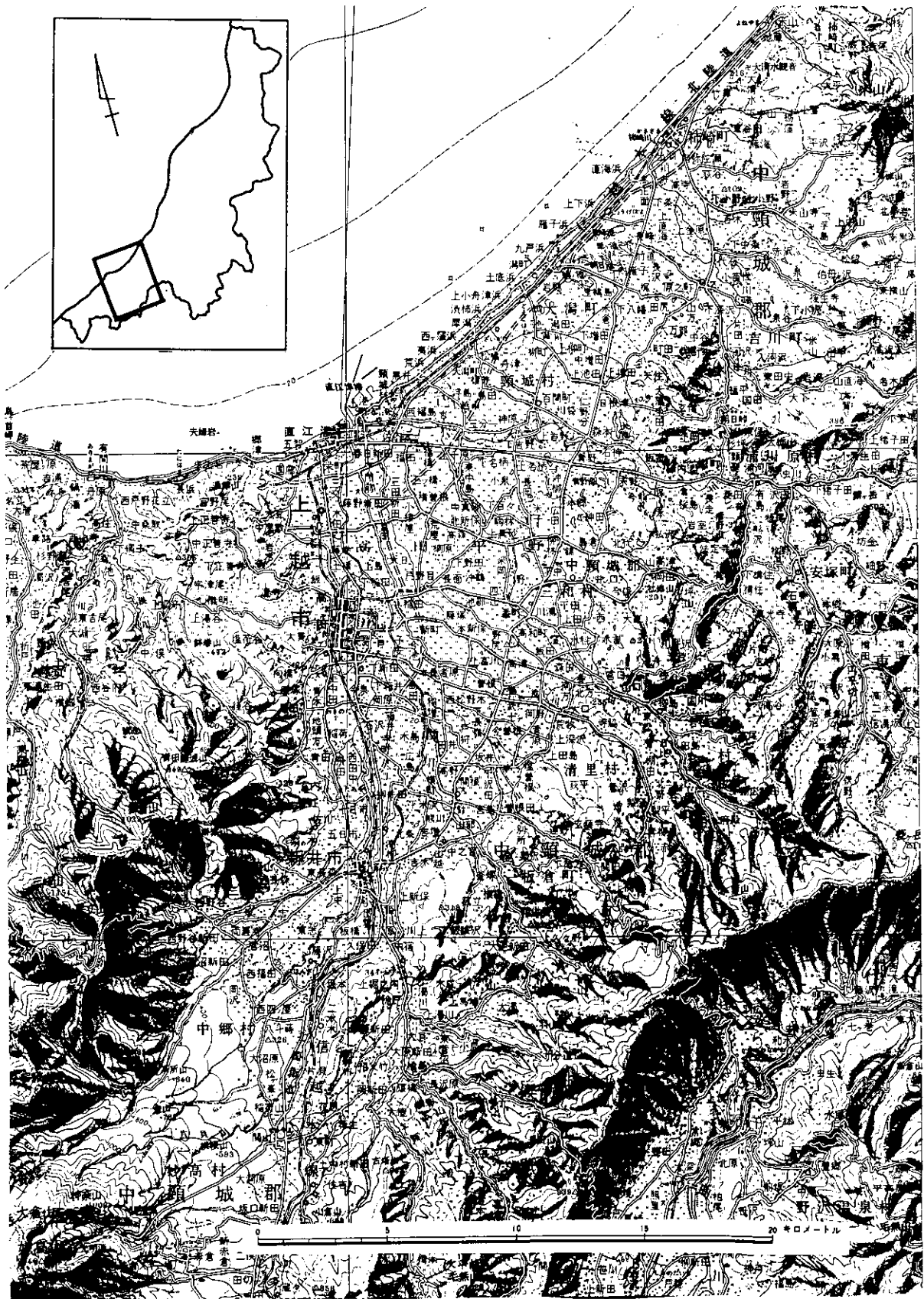


図 1 調査地域位置図

(国土地理院発行20万分の1地勢図「高田」を用いて作成した。)

Fig. 1 Map showing study area in Niigata.

(The scale 1:200 000 map sheet "Takada" published by the Geographical Survey Institute Japan is used.)

の消雪用地下水の揚水による地下水位の低下とそれに伴う地盤沈下が上越市高田市街地で顕在化してきた。特に、1984（昭和59）年の豪雪時には、1年間の沈下量が10.1cmという全国第1位の年間沈下量を記録した<sup>2)</sup>。

これまで整備してきた観測井による監視体制は、1960年代から顕在化した深層の地下水位の低下による沈下を対象としたものであるため、近年の消雪用揚水による浅層の地下水位低下に伴う沈下の実態を十分にとらえることができなかった。そこで、新潟県では浅層を対象とした監視体制の強化を図るように進めている。また、一方では消雪用地下水揚水量削減のための対策や冬期の地下水位低下時の緊急時対策なども実施してきた<sup>1)</sup>。1987年以降、降雪が少ないことも幸いし、地盤沈下は小康状態を保っている。

本報告では、高田平野の地盤沈下について、地盤沈下が顕在化して以来の発生状況や最近の沈下の特徴について述べる。

## 2 高田平野の水理地質

高田平野の表層地質と地形分類を図2<sup>3)</sup>に示した。平野部は、沖積面を形成する高田層（高田面）と関川層（関川面）よりなる。関川層は関川とそれに合流する河川の流路に沿って狭小に分布するだけで、平野部のほとんどは高田層よりなっている。西側の山地と東側の丘陵部には新第三系が分布する。平野の西縁部と東縁部には段丘堆積物が断続的に分布し、南縁には妙高火山の火砕流堆積物が分布する。また、海岸部には新砂丘砂層が分布している。

第四系の基底面等深線を図3に示した<sup>3)</sup>。この図によると、第四系の堆積盆の形状は、南北方向に細長い盆状を呈しており、その中央部で厚く堆積している。第四系の層厚は中央部において300m以上であり、最大層厚は430mに達している。

高田平野の地質断面図を図4に、その断面線の位置を図5に示した。図4は文献4)に基づいて作成したものである。A-A'断面は、上越市の直江津から新井市まで至る南北断面である。断面図には第四系中に分布する連続性のよい礫層を表している。礫層は5枚あり、上位よりG<sub>1</sub>層、G<sub>2</sub>層、G<sub>3</sub>層、G<sub>4</sub>層、G<sub>5</sub>層と呼ばれている。G<sub>5</sub>層は深いボーリング資料がないため、その分布は明らかにはなっていないが、他の礫層については、平野地下に連続して分布しているのが分かる。直江津か

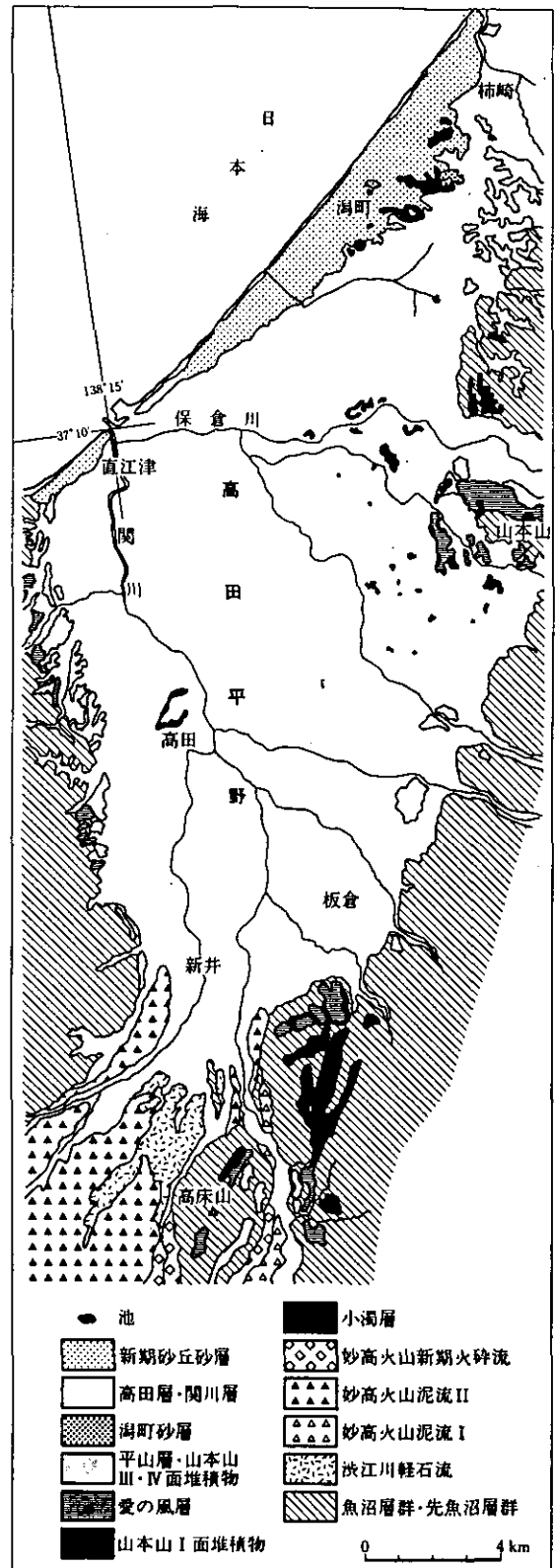


図 2 高田平野の第四紀地図  
(高田平野団研グループ, 1981を改描<sup>3)</sup>)  
Fig. 2 Quaternary geological map of the Takada Plain, Niigata.  
(Its modified after Takada Plain Collaborative Research Group, 1981<sup>3)</sup>.)



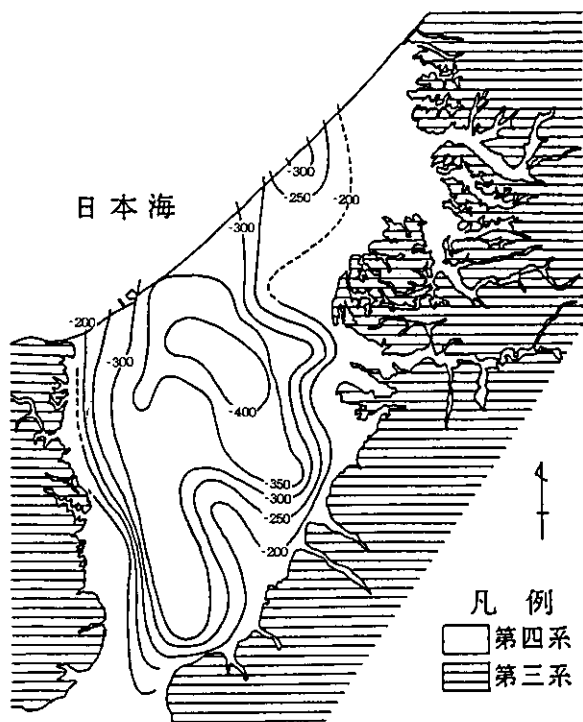


図 3 高田平野における第四紀基底礫層の等深線図<sup>3)</sup>  
 Fig. 3 Contour map of bottom of gravel bed of Quaternary deposits in Takada Plain<sup>3)</sup>

ら高田市街地南部にかけては、最上部に40~60mの厚い粘土層が分布し、その下位にG<sub>1</sub>層が分布している。高田市街地より南では、最上部の粘土層が礫層に移行しており、下位のG<sub>1</sub>層との区別が難しくなっている。G<sub>1</sub>層とその下位のG<sub>2</sub>層を隔てる粘土層は、図4の右端に当たる新井市北部までほとんど連続して分布している。しかし、G<sub>2</sub>層とG<sub>3</sub>層とを分ける粘土層は連続性が悪く、G<sub>3</sub>層とその下位のG<sub>4</sub>層との間にはほとんど粘土層が分布していない。また、新井市北部では、礫層を隔てる粘土層がほとんど発達していないため、礫層を区分することは難しい。

帯水層ごとの透水係数と水質の特徴を表1に示した。この表は文献5)に基づいて作成したものである。水質から見ると、G<sub>4</sub>層の地下水は鉄分が少なく、工業用、上水道用として適している。G<sub>5</sub>層は塩素イオン濃度が高いため、利用価値に乏しい。

直江津地区の深井戸では1965年頃から過剰揚水によって地下水の塩水化現象が生じており、1977~1979年の県の調査によればG<sub>2</sub>層、G<sub>3</sub>層及びG<sub>4</sub>層において塩水化が進行していた<sup>6)</sup>。

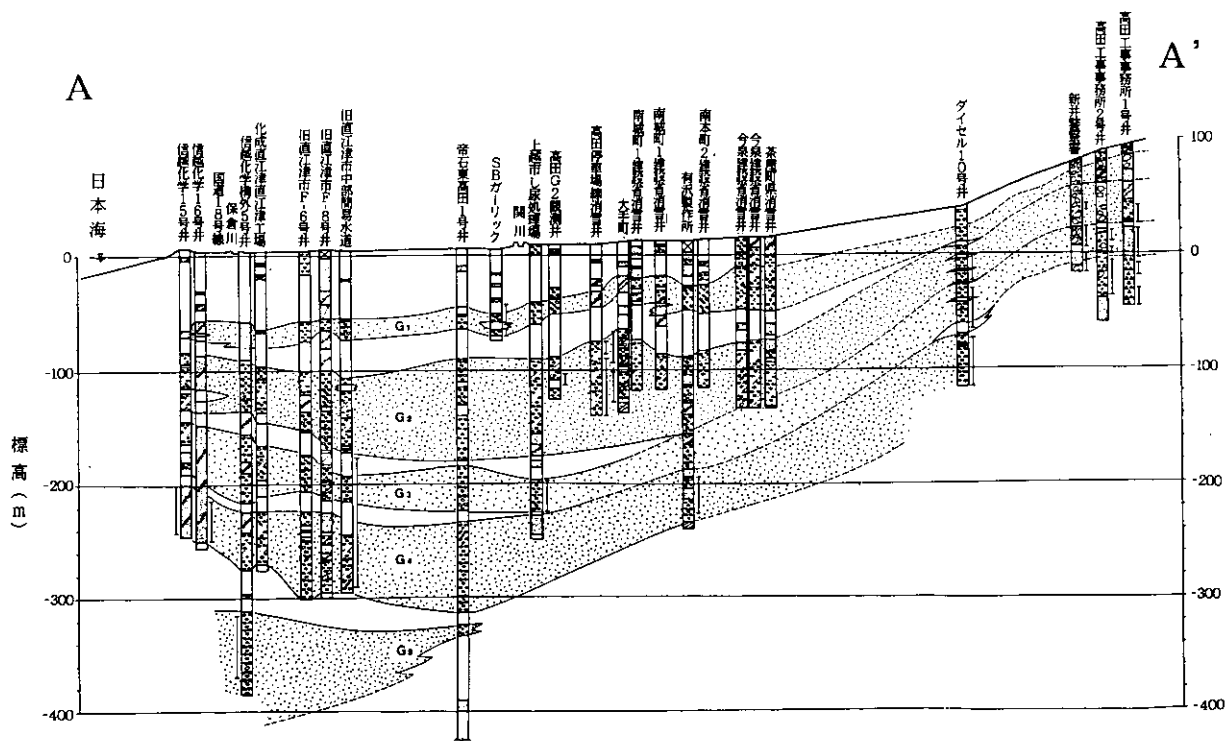


図 4 高田平野の地質断面図  
 (文献4)に基づく。断面線の位置は図5参照)  
 Fig. 4 Geological section of the Takada Plain. (Based on the reference 4).  
 Location of geological section as shown in Fig.5.)

表 1 帯水層別の透水係数と水質の特徴  
(文献5)に基づく)

Table 1 Permeability and characteristic of quality in every aquifer, the Takada Plain.  
(Based on the reference 5.)

帯水層	透水係数 (cm/s)	層厚 (m)	水質の特徴	
G <sub>1</sub>	$6.10 \times 10^{-3}$	20~30	T-Fe	13mg/l
G <sub>2</sub>	$5.90 \times 10^{-2}$	50~70	〃	2~6 mg/l
G <sub>3</sub>	$3.59 \times 10^{-2}$	20~50	〃	2~6 mg/l
G <sub>4</sub>	$2.95 \times 10^{-2}$	50~90	〃	0.01~0.5mg/l
G <sub>5</sub>	不明		Cl <sup>-</sup>	150mg/lかそれ以上

### 3 地下水利用に伴う地盤沈下の歴史と現状

#### 3.1 地下水の利用と地盤沈下の歴史

高田平野における地下水利用は、上越市(旧高田市)が1922(大正11)年に地下水を上水道用として用いたのが始まりであり、恐らくその頃から地盤沈下が生じ始め

たものと思われる。

その後、工業用にも地下水が利用されるようになり、地下水の揚水量が増加していった。特に、G<sub>4</sub>層と呼ばれる深度200~250m付近の帯水層の地下水は良質であり、量も豊富なことから、この層における地下水の開発が進み、揚水量が多くなった。そのため、1960年代前半から地下水位の低下が顕在化してきた。そこで新潟県は、1965年に観測井を設置し、地下水位と収縮量の観測を開始するとともに、1968年からは水準測量を実施し、地盤沈下の監視を始めた。

1968~1973年までの5年間の等沈下量線図を図6に示した。この図は文献7)に基づいて作成したものである。地盤沈下は高田平野全域にわたって生じており、沈下の中心が高田平野の中心部にあることが明らかになった。特に1970年には1年間の沈下量が6.4cmを記録した。このような状況を受けて、新潟県で1968年から種々の対策を実施した<sup>1)</sup>。その結果、地下水位は上昇し、地盤沈下

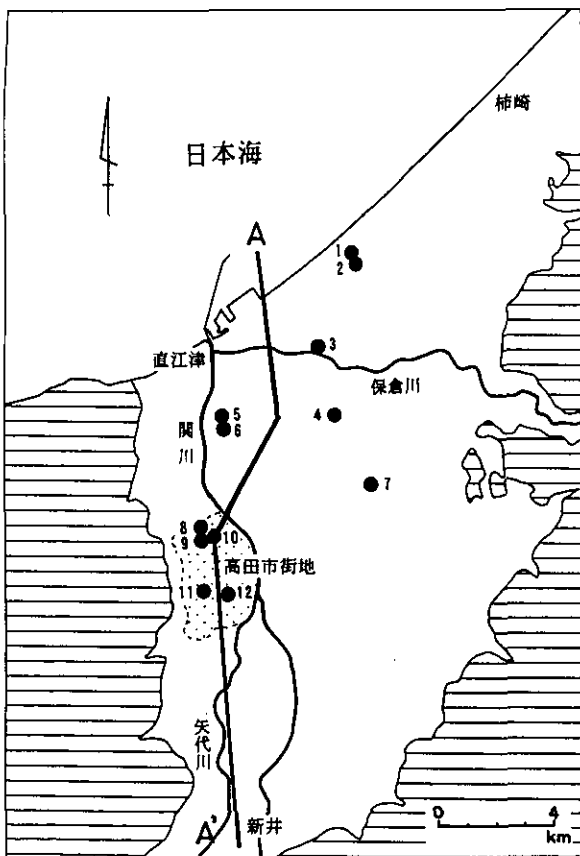


図 5 地盤沈下観測井と地質断面線の位置  
Fig. 5 Location of observation wells and geological section in the Takada Plain.

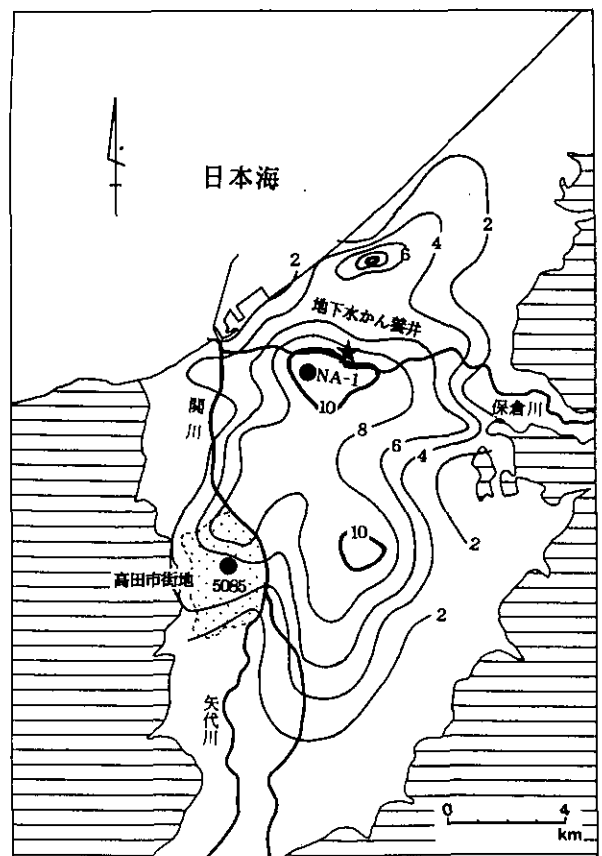


図 6 1968年から1973年までの5年間等沈下量線図  
(文献7)に基づく。単位:cm)  
Fig. 6 Contour map of land subsidence for period from 1968 to 1973 in the Takada Plain.  
(Based on the reference 7). Subsidence contours in centimeters.)

も沈静化した。現在の地盤沈下観測井の位置を図5に、水準測量網を図7に示した。

図6の地盤沈下量と図3の第四系基底面等深線を比較すると、両者はほぼ一致しており、1960～1970年代にかけて生じた地盤沈下の中心が第四系の厚いところにある

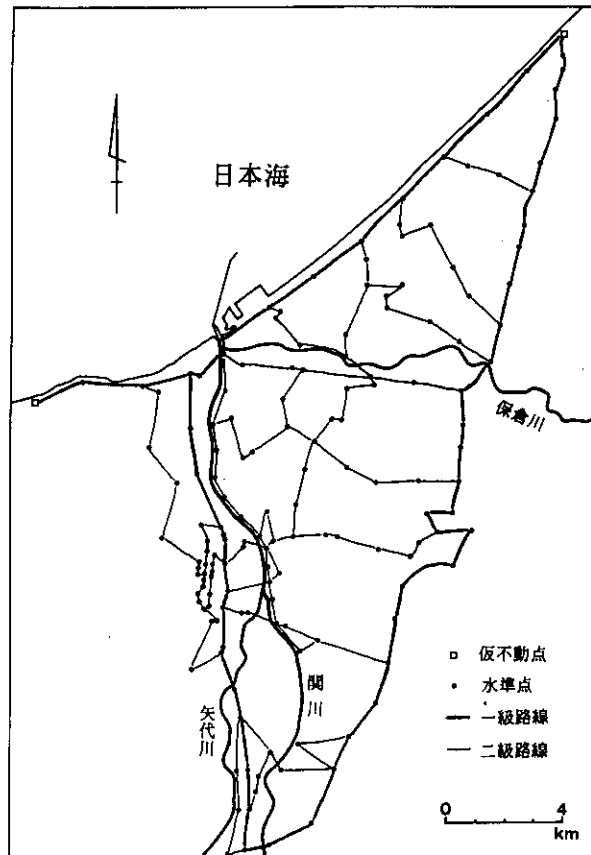


図 7 高田平野の水準測量網  
Fig. 7 Network of leveling in the Takada Plain.

ことが分かる。高田平野地下に広く分布するG<sub>4</sub>層の地下水位の低下により、第四系の軟弱層が収縮したものと推察される。なお、図6に示した地下水かん養井は1973年に表流水を地下へかん養する実験を実施した位置を示したものであり、1976年から1994年まで年間30～50万m<sup>3</sup>をかん養していた。詳細は文献8)を参照されたい。

図8は、主要水準点の沈下量の推移を示したものである。水準点番号NA-1は、図6に示したように1960年代から顕在化した地盤沈下のほぼ中心に位置する水準点である。水準点番号5085は高田市街地にあり、後述する消雪用地下水の揚水による地盤沈下の中心に位置する水準点である。NA-1の沈下量は、1970年と1985年を境に沈下速度が変化しており、長期的には次第に沈下が減少する傾向を示している。それぞれの間の平均沈下速度を求めると、1970年以前が3.70cm/年、1970～1985年が1.47cm/年、1985年以降が0.59cm/年である。沈下速度の変化から地盤沈下の進行状況を年次的に区分すると、激しく沈下した1970年以前、対策により沈下量が減少した1970～1985年、沈静化している1985年以降となる。

図9に示した揚水量とG<sub>4</sub>層の地下水位の経年変化を見ると、揚水量の減少とともに地下水位が上昇していることが分かる。また、図8に示したNA-1の沈下速度の変化と図9を比較してみると、1970年以前が揚水量4～5万m<sup>3</sup>/日で、地下水位が(T.P.)-13m、1970～1985年が3万m<sup>3</sup>/日で、-5～-7m、1985年以降が2万m<sup>3</sup>/日で、-3mであり、沈下速度の減少は揚水量の減少に伴う地下水位の上昇と一致している。このことから、将

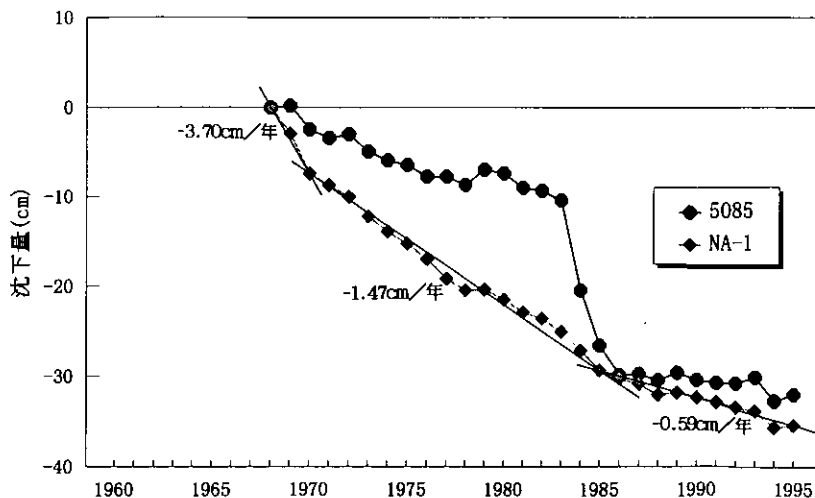


図 8 高田平野における主要水準点の沈下量の推移  
Fig. 8 Annual variation of subsidence of principal bench marks in the Takada Plain.

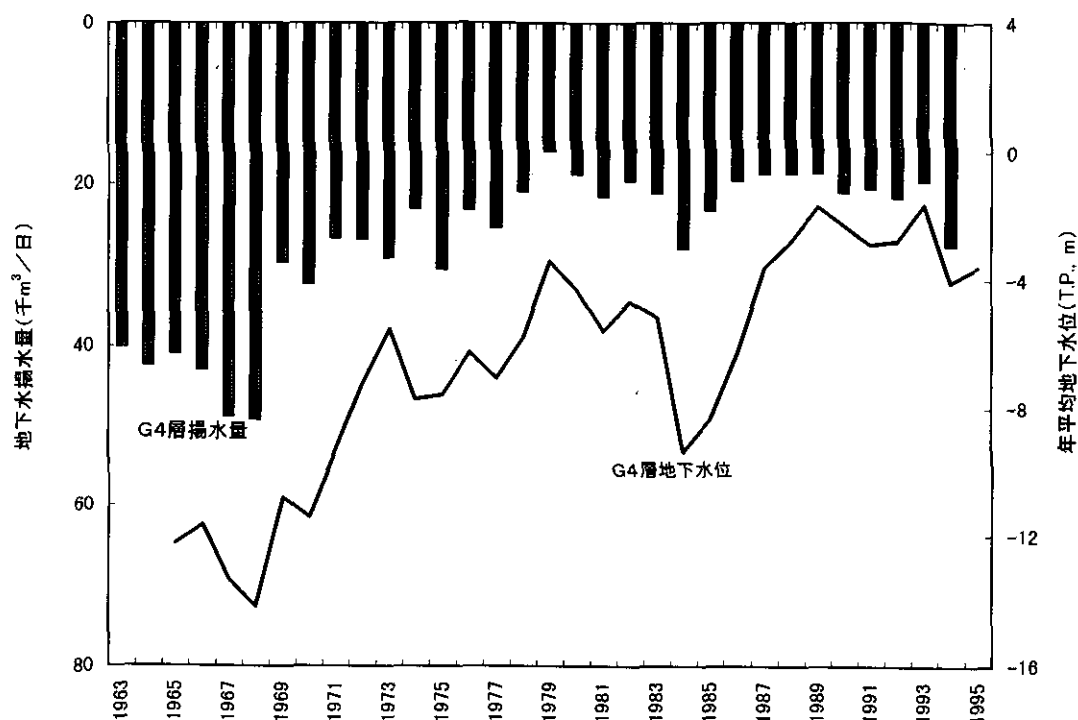


図 9 高田平野におけるG<sub>4</sub>層からの地下水揚水量と年平均地下水水位の経年変化

Fig. 9 Annual variation of discharge of ground water and ground water level in G<sub>4</sub> bed, the Takada Plain.

来的にも現状の揚水量が維持され、地下水位が低下しなければ、今後とも地盤沈下が著しく進行することはないと考えられる。

### 3.2 消雪用地下水揚水による地盤沈下深刻化の時代

1980年代に入ると、豪雪時の消雪用地下水の揚水による地下水位の低下とそれに伴う地盤沈下が顕在化してきた。特に、1984(昭和59)年、1985年、1986年と3年続いた豪雪時には、この地域における1年間の最大沈下量が10.1cm、6.6cm、5.4cmを記録し、それぞれ全国ワースト1、ワースト3、ワースト2という不名誉な事態を招いた<sup>2), 9), 10)</sup>。

消雪用に用いられる地下水は水質が悪くても水温が確保されればよいことから、工業用や上水道用には利用されなかった浅層の地下水も揚水され、散水融雪に供されるようになった。さらに、工場や事業所に加えて、一般家庭でも駐車場や屋根の消雪に地下水を利用するようになったため、掘削費も安価ですむ浅い帯水層からの揚水量が急激に増加するようになった。消雪用地下水揚水による地盤沈下は、井戸が集中する高田市街地を中心に生じている。降雪とともに一斉に汲み上げが行われるという揚水の時期的な一致と市街地は井戸が多いために生じ

る揚水の地域的な集中が重なり合い著しい地盤沈下を生じることになった。

これまで整備してきた観測井による監視体制は、1970年代以前の深層における地下水揚水に伴う沈下を対象としたものであったため、近年の消雪用による浅層の収縮の実態を十分把握しきれなかった。そこで、浅層を対象とした監視体制の強化が図られるようになった。一方では、59豪雪後から消雪用地下水揚水量削減のための対策や冬期の地下水位の低下時の緊急時対策などが実施された<sup>1)</sup>。1987年以降は幸いにも降雪深が少なかったこともあり、地盤沈下は小康状態を保っている。

高田市街地に位置する高田G<sub>2</sub>観測井の地下水位と収縮量の変動及び降雪深の変化を図10に示した。この図を見ると、観測当初から既に冬期の地下水位の低下が目立っていた。地層の収縮は地下水位の低下とともに進行しているが、地下水位が回復しても収縮量はあまり回復していないため、年々沈下が累積している。特に、1984年からの3年続きの豪雪時には収縮の進行が著しかった。また、地下水位の低下も著しかったため、豪雪前の水準まで地下水位が回復するのに3年を要していたことがこの図から読み取れる。

豪雪年である1984年、1985年、1986年の等沈下量線図

を図11~13に示した。これらの図を見ると、いずれの年も高田市街地を中心に地盤沈下が発生している様子が分かる。図8に示した高田市街地に位置する水準点5085の

沈下量の推移を見ると、沈下量が大きいの豪雪年だけであり、それ以外の年の沈下量は少ない。豪雪年には消雪のため、いかに多量の地下水を揚水していたかが、こ

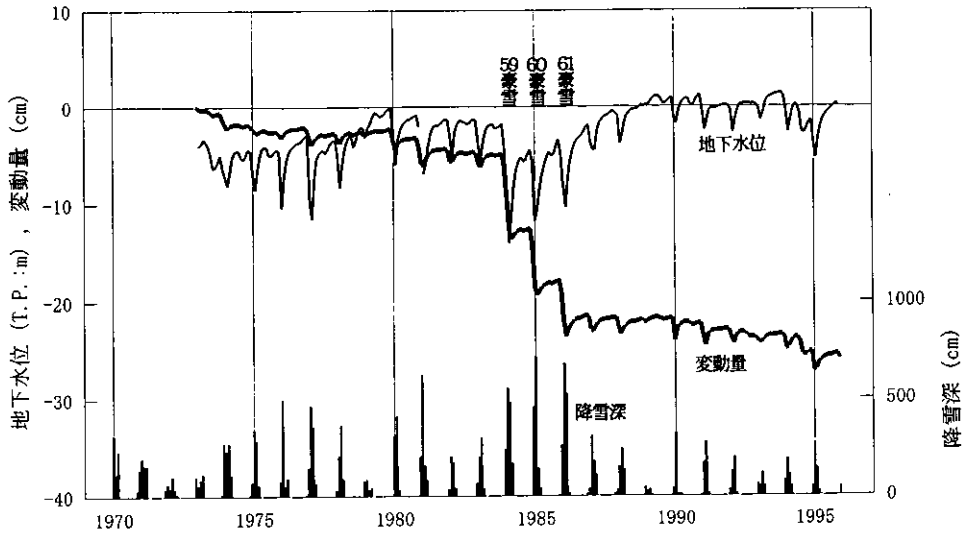


図 10 高田G<sub>2</sub>観測井における月平均地下水位と月間収縮量の経年変化

Fig. 10 Annual variation of ground water level and subsidence on Takada G<sub>2</sub> observation well, Joetsu.



図 11 1984年豪雪時の年間等沈下量線図  
(観測期間：1983年9月～1984年9月，単位：cm)  
Fig. 11 Annual land subsidence of 1984 when heavy snow.  
(Sep. 1983-Sep. 1984, contours in centimeters)

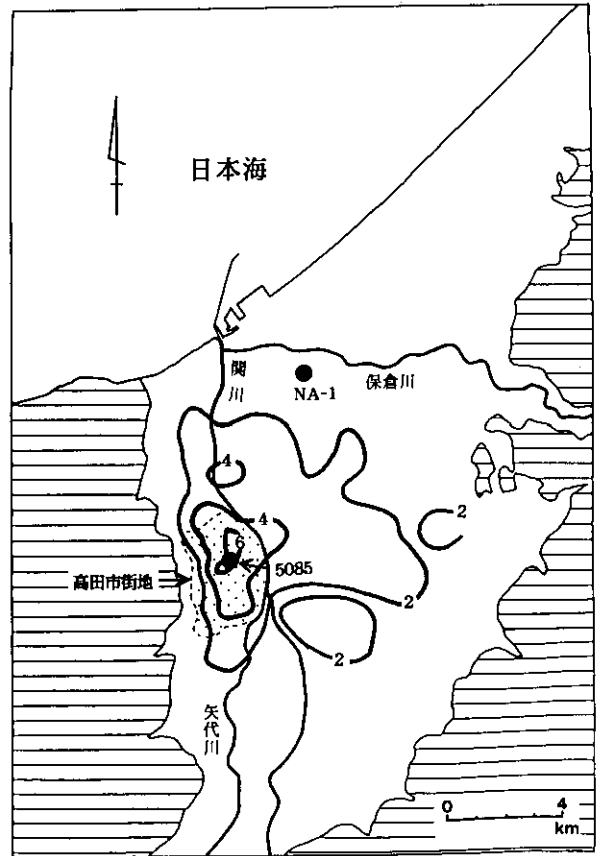


図 12 1985年豪雪時の年間等沈下量線図  
(観測期間：1984年9月～1985年9月，単位：cm)  
Fig. 12 Annual land subsidence of 1985 when heavy snow.  
(Sep. 1984-Sep. 1985, contours in centimeters)

の図からもうかがえる。

高田G<sub>2</sub>観測井の管頭標高の変動量と近傍の水準点の変動量の差から深度別の地層の収縮状況を求めた。その

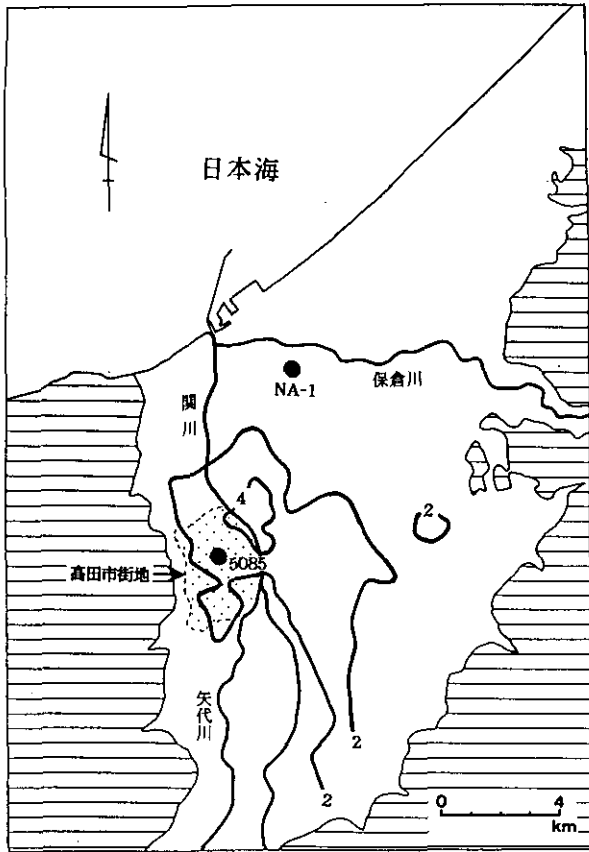


図 13 1986年豪雪時の年間等沈下量線図  
(観測期間：1985年9月～1986年9月，単位：cm)  
Fig. 13 Annual land subsidence of 1986 when heavy snow.  
(Sep. 1985-Sep. 1986, contours in centimeters)

結果を図14に示した。この図を見ると、豪雪年であった1984年から1986年にかけての沈下量は、ほとんど深度137m以浅の地層の収縮によることが明白である。しかも、52豪雪といわれた1977年においても、深度137m以浅における地層の収縮量が年間沈下量の80%を超えていた。

このように消雪用地下水揚水による地盤沈下は、高田市街地を中心に生じており、収縮している地層はG<sub>2</sub>層以浅の地層であることが明らかになった。しかし、G<sub>2</sub>層以浅についてはこれまで監視体制が整備されていなかったため、G<sub>2</sub>層以浅のどの深度の地層が収縮しているのは明らかになっていない。

#### 4 地盤沈下の監視体制

##### 4.1 水準測量

水準測量は、1968年に新潟県が開始して以来、9月1日を基準日として毎年実施されている。1995年度の測量延長を表2に示した。なお、水準路線網は図7を参照されたい。路線の総延長は216km、水準点数は166点、実施機関数は6である。仮不動点は、建設省国土地理院の一等水準点3720と3732である。高田市街地において、消雪用に地下水を揚水することによる地盤沈下が問題となっていることから、水準点の配置が密になっている。

##### 4.2 地下水位観測井

観測井の一覧を表3に示した。なお、観測井の位置は図5に示してある。高田平野には、地盤沈下観測井（取

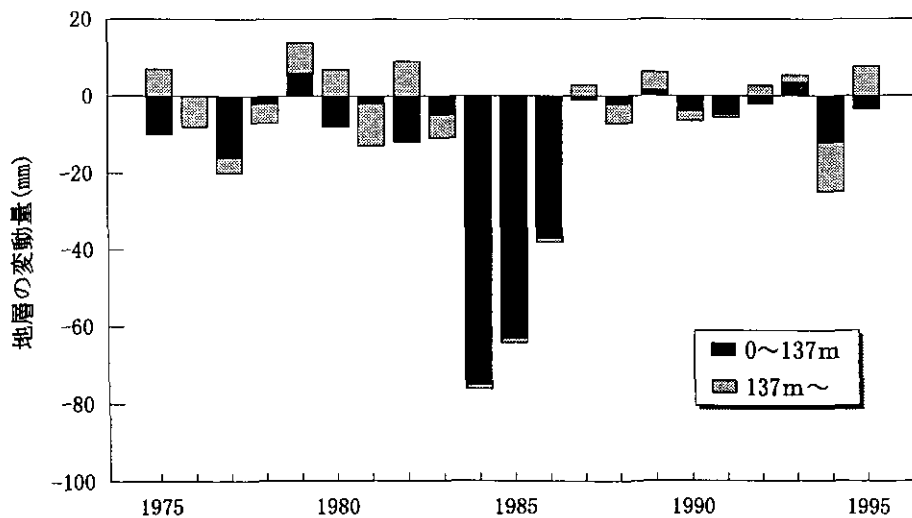


図 14 上越市立城北中学校における深度別の地層の収縮量  
Fig. 14 Shrinkage of layers at Johoku junior high school. Joetsu.

表 2 実施機関別測量延長距離  
Table 2 Distance of leveling in every organization.

機関名	測量延長 (km)
建設省国土地理院	12
新潟県	148
上越市	32
大潟町	10
頸城村	10
板倉町	4
合計	216

表 3 地盤沈下及び地下水位観測井一覧  
Table 3 List of observation wells for land subsidence in the Takada Plain.

番号	観測井名	所属	深度 (m)	ストレーナー深度 (m-m)	観測開始
1	頸城G <sub>4</sub>	新潟県	277	216 -270	1967年(S42.03)
2	頸城G <sub>3</sub>	新潟県	180	172 -180	1969年(S44.12)
3	信越化学	新潟県	296	229 -289	1972年(S47.12)
4	千原G <sub>2</sub>	新潟県	162	150 -155	1974年(S49.12)
5	上越G <sub>4</sub>	新潟県	243	232 -237	1965年(S40.04)
6	上越G <sub>3</sub>	新潟県	200	186 -194	1966年(S41.11)
7	高田G <sub>4</sub>	新潟県	300	250 -295	1967年(S42.04)
8	城北中50m	建設省	50	39 - 50	1990年(H02.03)
9	城北中12m	建設省	12	9.5- 11.5	1988年(S63.03)
10	高田G <sub>2</sub>	新潟県	137	114 -129	1973年(S48.12)
11	高田公民館	国環研	35	30 - 35	1993年(H05.10)
12	高田公園	上越市	262	199 -222	1985年(S60.10)

備考：測定項目は、No. 3 が地下水位だけ、他は地下水位と収縮量である。

縮量と地下水位を測定) が11井、地下水位観測井が1井設置されている。

深度200m 前後あるいはそれを超える観測井の大半は、1960年代に工業用、上水道用地下水の揚水による地下水位と収縮量の変化を監視するために設置されたものである。近年(1988年以降)、消雪用地下水の揚水による浅層の収縮を把握する必要性が生じたため、深度50m 以浅の観測井を建設省や国立環境研究所によって高田市街地に設置するようになった(表3)。

### 5 地下水利用の散水融雪とその代替施設

消雪とは文字通り雪を消すことである。これには積雪後に雪を除去する除雪と、降雪と同時に雪をとく融雪とがある。1961年に長岡市で初めて消雪パイプが実験的に設置された。消雪の効果が高いことが実証され、それ以後、新潟県では増加の一途をたどっている。

1 m<sup>2</sup>当たりの道路の消雪に要する地下水量は、気象条件や自動車の通行量によって異なり、また地域差もあると思われるが、概ね0.2 l/min (0.3m<sup>3</sup>/day) 程度必要である。なお、この章は文献11) を参考にして記述した。

#### 5.1 散水融雪の功罪

散水融雪は主に道路に設置されており、路面を完全に露出できる利点がある。これは路面などに埋設された配管から水を噴出、流下させ、降雪と同時に雪を溶かす方法であり、その水源のほとんどは地下水であるが、河川水、海水、温泉水および工場などの温排水を利用することもある。

地下水利用の散水融雪は、主に地下水の熱エネルギー源としての性質を利用したものである。完全消雪が可能であり、残雪があってもシャーベット状になり、自動車の走行による攪乱効果によって融雪が促進され、圧雪となつて残ることがないことや、連続散水することによって路面凍結を防止できることなどの利点を有している。

しかし、地下水を多量に揚水するため、著しく地下水位が低下し、地盤沈下が生じる。しかも地盤沈下が止まりにくく、累積沈下量も極めて大きくなる。その結果、単なる公害に留まらず、将来地盤の亀裂・陥没、あるいは洪水や家屋を含む建設構造物の破損・破壊等に伴う災害が発生する恐れさえもある。また、降雪時の地下水位低下が著しいため、既設の浅井戸の水源が枯れること、積雪が多い時は未融解の積雪のため路面が湛水したり、民家が浸水すること、水とタイヤチェーンなどとの相乗作用により路面、路盤の損傷が大きいこと、路面にわだち掘れが生じると歩行者や家屋などに融雪水が飛散すること、揚水量が不足したり停電の時には消雪できないことなどの欠点がある。その上、気温が低下している時、散水を停止すると、路面の水が凍結する可能性が高いこと、散水施設の境界付近で路面状態が急に変わるため、路面が凍結しやすいこと、気温が極端に低い場合、散水によって霧が発生することなどにより、交通事故が多発する恐れすらある。

このように、比較的手軽に消雪ができ便利であるという利点もあるが、多くの欠点を有しており、しかも将来にわたって大きな代償を支払わなければならないことなど、決して望ましい方法とはいえない。

従来、消雪用に地下水を揚水するのは、ほとんど幹線

道路などの公共機関に限られていた。しかし近年、多くの家庭で消雪井戸を設けて、建物の屋根や駐車場などの消雪にも地下水が用いられるようになったため、その揚水量も桁違いに増加してきている。特に、1984年12月下旬の降雪時に、上越地域において公共機関の消雪用地下水の揚水が準備不足のため行われていなかったにもかかわらず、城北中学校内に設置されている高田G<sub>2</sub>観測井の地下水位が6.4m低下し、地層収縮量が2.5cmにも達した(図10)。このことは、実態把握が難しい民間の消雪用地下水揚水量がいかに多いかを如実に物語っている。一般家庭や小規模の商店などが掘る比較的浅い井戸について認可制度を設けている市町村は1つもないこともあり、消雪用に利用されている井戸の位置、深度、揚水量はもとより、その本数さえも完全には把握できないのが現状である。

写真1は、1986年の61豪雪時の高田市街地にある商店街の状況を示したものである。道路が雪に埋もれてしまったため、自動車が通ることができなくなった。このような不便さを解消するため、地下水を散水する消雪パイプの敷設が盛んに行われるようになった。



写真 1 61豪雪時の高田市街地の商店街  
Photo.1 Snowed in a shopping street at the urban Takada, Joetsu in heavy snowfall, 1986.

写真2～3は、消雪パイプから地下水を散水することによって降っている雪を消している状況を示したものである。写真のように、公共施設である道路の場合には消雪パイプを舗装面の下に設置しているが、一般の駐車場などでは、コンクリート面の上に設置していることが多い。

## 5.2 代替施設

消雪の方法としては、機械による除雪、施設による除

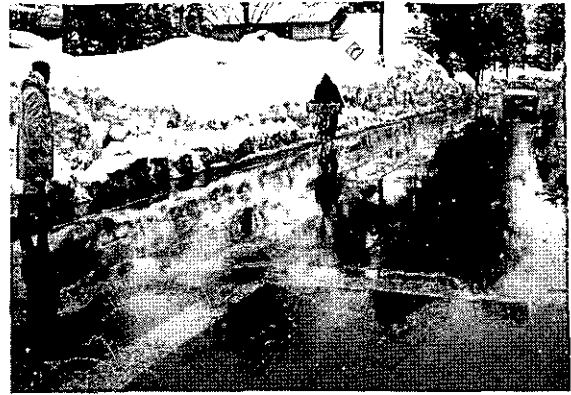


写真 2 上越市内の道路に敷設されている消雪パイプ  
(1995年2月撮影)

Photo.2 The pipe in road by sprinkling ground water for melting snow in Joetsu, as on February 1995.



写真 3 高田市街地にある駐車場に敷設されている消雪パイプ  
(1994年2月撮影)

Photo.3 The pipe on a parking lot by watering ground water for melting snow in the urban Takada, Joetsu, as on February 1994.

雪および施設による融雪とに大別される。機械による除雪は完全に消雪ということは困難であるが、色々な場所で適宜除雪ができる利点がある。一方、施設による除雪や融雪は消雪という目的を達することはできるが、施設の設置場所のみに限定され、自由度がなく、しかも広範囲に消雪を行うには経済的でないなどの難点がある。除雪施設には、流雪溝がある。融雪施設には、散水融雪、温水パイプ融雪、電熱融雪および薬剤融雪がある。これらの中で地盤沈下問題が生じるのは、地下水を利用する散水融雪のみである。

消雪用地下水揚水による地盤沈下現象が顕著なことが分かってきたこともあり、最近節水合理化対策がなされるようになってきた。節水合理化対策として、上述のような消雪施設に変える考え、河川水や地下ダムの水を代



替水源とする考え、および直接節水を行う考えなどがある。

節水方法としては、降雪検知機を設けて節水を計る方法、1本の井戸で交互に散水する方法、あるいは降雪状況に応じて散水量を自動的に制御する方法などが考えられている。その他、地下水を散水しない還元システムも考案されている。これは取水井戸と還元井戸の2本の井戸を利用し、地下水は再び地下に還元させる方法である。揚水した地下水を熱交換器に通して、他の水源の水を温めて散水したり、不凍液等を暖めて循環させたりする。今のところ経済性の点でやや難点があり、若干の地盤沈下が生じるけれども、地下水が全量還元されるという利点は大きい。その他、埋設されている下水管の熱を利用する方法を検討しているところである。

### 5.3 流雪溝

消雪に流雪溝が有効であることが認識されたのは昭和初期（1930年代）である。流雪溝は主に道路の側溝として設置されており、流水を利用して運搬、排雪を兼ねた施設であり、人力除雪の補助施設として発展してきた。1970年頃には、他の消雪施設の発展に伴って一時廃れた感があったが、最近幅員の狭い市街地道路や屋根の雪処理も含め、除雪した雪の処理を行うため、再び見直されるようになってきた。写真4は、1985年の60豪雪時に有効に機能していた新井市街地に設置されている流雪溝を示したものである。



写真 4 新井市に設置されている流雪溝（1985年2月撮影）  
Photo.4 The ditch for washed away snow with water in urban Arai, Takada Plain, in heavy snowfall, 1985.

流雪溝を設置するための条件として、近くに必要水量を得られる河川などの水源が確保されていること、適当

な流速が必要なため、ある程度の勾配が確保できること（平地でも流雪溝底面の勾配を確保すればよい）、流末処理に河川や放水路などが利用できることなどが挙げられる。

流雪溝は、維持管理費が少ないこと、運搬排雪のための機械や雪捨場が不要となること、側溝として路面排水に利用できること、地元民の協力によって容易に除雪を行うことができることなど多くの利点を有している。

しかし、作業中に足を滑らせたり、雪を捨てた後にしっかり蓋をしておかないと、流雪溝内に落ちて重大な事故となる危険性もある。

### 6 今後の課題

高田市街地では、最近、G<sub>1</sub>層の地下水位の低下が顕著になっている。上越市立城北中学校地内にある高田G<sub>2</sub>（図5、表3のNo.10）、城北中50m（図5、表3のNo.8）及び城北中12m（図5、表3のNo.9）の各観測井の地下水位の経年変化を図15に示した。高田G<sub>2</sub>井はG<sub>2</sub>層、城北中50m井はG<sub>1</sub>層、城北中12m井は深度10～12m付近の砂層の地下水位を示している。G<sub>1</sub>層の地下水位は、冬期の低下が他の層よりも激しく、春から夏の回復期においても、観測当初（1990年）の地下水位まで回復せず、経年的に低下する兆しがある。

深度10m以浅の不圧地下水を対象とした浅井戸は冬期には涸れてしまうことが多いので、工場や事業所などでは量的に安定したG<sub>1</sub>層まで掘削したいと思っている。しかし、深度20m以深の井戸で一定規模以上の揚水機を設置すると、県条例の対象となり、許可が必要になる。許可条件は上水道用、消防用及び他に水源がないとして知事が認める場合に限られるため、新たに消雪用の井戸を設けることは許可にならない。そこで、井戸をG<sub>1</sub>層まで掘削するものの、揚水機は小型のものを設置して、県条例に該当しないような揚水設備にした井戸（以下「未規制井戸」という。）が増加している。最近の小型揚水機は、条例対象となるような揚水機と比較しても揚水能力がそれほど劣ることはなくなっている。また、未規制井戸には上越市浅井戸設置要綱に基づく届出は必要なものの、設置することに制限はない。このような、法の網をくぐり抜ける消雪用井戸が増えているという新たな問題も生じてきている。

G<sub>1</sub>層を対象とした井戸本数の推移を図16に示した。条例対象井戸は横ばいだが、確認できた未規制井戸は毎

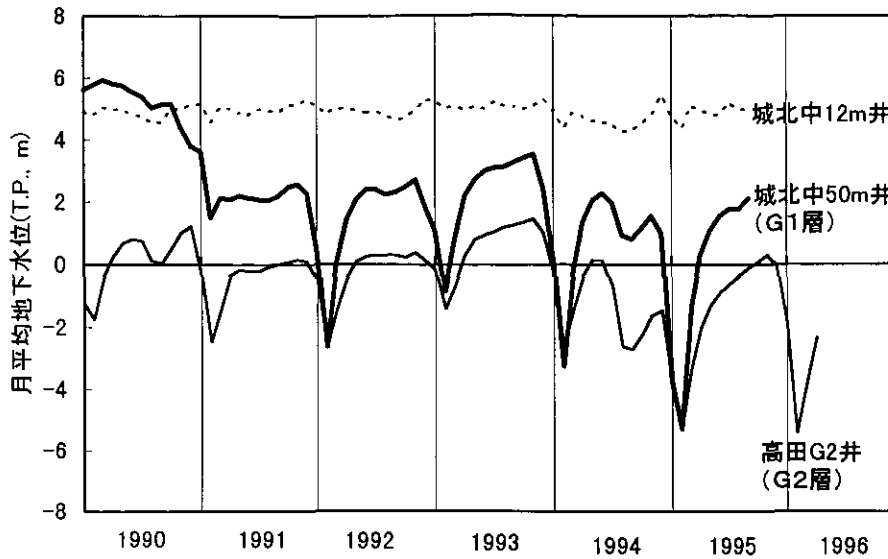


図 15 上越市立城北中学校における帯水層別地下水位の経年変化  
 Fig. 15 Annual variation of ground water level in every aquifer at Johoku junior high school, Joetsu.

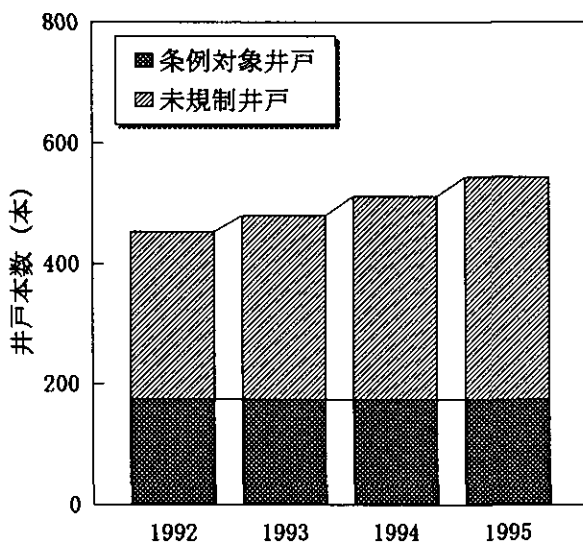


図 16 上越地区においてG<sub>1</sub>層から取水する井戸の本数の推移  
 Fig. 16 Time variation of the number of wells for pumping up ground water of G<sub>1</sub> bed in Joetsu District.

年増加している。1995年には未規制井戸が条例対象井戸の約2倍に達した。図15に示した50m井で観測されるG<sub>1</sub>層の地下水位低下量の増加は、このような未規制井戸の増加に起因しているものと推察される。

また、G<sub>1</sub>層の上下には粘土層が分布しており、地下水位の低下はこれらの粘土層の収縮を引き起こすことになる。豪雪時の高田市街地の沈下が深度137m以浅の地層の収縮で生じている事実と照らし合わせると、G<sub>1</sub>層の水位の低下が粘土層の収縮を引き起こしている可能性が高い。

しかしながら、浅層部のどの深度で収縮が進行しているのか、現状では不明なことから、さらに細かく区分した深度別の収縮量を明らかにする必要がある。

G<sub>1</sub>層の未規制井戸の増加の問題は今後の地盤沈下対策の重要課題である。

### 7 あとがき

高田平野の地盤沈下について、次のようなことがいえる。

- (1) 1980年代に入ると、消雪用として浅層から地下水を揚水するようになり、1984年から3年続いた豪雪時に顕著な地盤沈下が生じた。
- (2) 消雪用地下水揚水による地盤沈下は、高田市街地を中心に生じており、収縮している地層はG<sub>2</sub>層以浅の地層であった。
- (3) 種々の地盤沈下対策が実施されたこともあり、1986年以降地下水の揚水量が減少し、地盤沈下が沈静化した。
- (4) 高田市街地において、1986年以降の暖冬年における地下水揚水量が維持され、地下水位がT.P.-3mよりも低下しなければ、将来にわたって地盤沈下が著しく進行することはないと考えられる。
- (5) 最近、G<sub>1</sub>層から地下水を採取する未規制井戸が増加しており、地盤沈下対策における最重要課題となるであろう。

引用文献

- 1) 関谷一義・柳下正治・陶野郁雄 (1997) : 上越市における地盤沈下対策. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, R135, pp.25-34.
- 2) 環境庁水質保全局 (1985) : 全国の地盤沈下地域の概況 (昭和59年度), 16p.
- 3) 高田平野団体研究グループ (1981) : 高田平野の第四系と形成史. 新潟大学高田分校紀要, No.25, pp.209-281. (日本の地質中部地方 I, 共立出版)
- 4) 新潟県企画調整部企画課 (1982) : 上越地区地下水利用実態調査報告書, pp.61-74.
- 5) 通商産業省東京通商産業局 (1967) : 上越地区地下水利用適正化調査報告, pp.5-9.
- 6) 新潟県衛生公害研究所 (1980) : 地下水質分析調査結果について. 上越地区の地盤沈下, No.9, pp.16-41.
- 7) 新潟県生活環境部公害規制課 (1974) : 新潟県の地盤沈下, pp.17-32.
- 8) 佐藤 宏 (1977) : 上越地区 G<sub>4</sub> 層人工地下水の経過と問題点の解明. 新潟大学地盤災害研年報, No.3, pp.95-110.
- 9) 環境庁水質保全局 (1986) : 全国の地盤沈下地域の概況 (昭和60年度), 16p.
- 10) 環境庁水質保全局 (1987) : 全国の地盤沈下地域の概況 (昭和61年度), 17p.
- 11) 陶野郁雄 (1987) : 消雪用揚水による地盤沈下. 地質と調査, No.31, pp.22-27.

## B 上越市における地盤沈下対策

### Countermeasures of Land Subsidence of the Joetsu, Niigata, Japan

関谷一義<sup>1</sup>・柳下正治<sup>2</sup>・陶野郁雄<sup>3</sup>

Kazuyoshi SEKIYA<sup>1</sup>, Masaharu YAGISHITA<sup>2</sup> and Ikuo TOHNO<sup>3</sup>

#### 要 旨

上越地域では、1960年代から地下水位の低下とそれに伴う地盤沈下が顕在化してきた。主な原因は臨海部の工業用地下水の揚水であった。その後、工業用水道の敷設、上水道水源の表流水への転換、事業者による工業用地下水採取の自主規制、新潟県公害防止条例による規制、地下水の人工かん養などの対策の実施により、地下水位は回復し、地盤沈下は沈静化した。

しかしながら、近年、上越市高田市街地において、豪雪時の消雪用地下水の揚水による地盤沈下が問題となってきた。特に、59豪雪といわれた1984年の年間沈下量は10.1cmに達し、全国で第1位であった。新潟県では、上越地域消雪用地下水揚水量削減対策要綱の制定や上越地域地盤沈下緊急時対策を実施して、沈下の防止を図った。また、1987年に上越地域地盤沈下防止対策基本指針が策定された。

地盤沈下問題を解決するには、地下水に関わる対策を総合的な見地から策定し、行政と住民が一体となって実施していく必要がある。

#### Abstract

In Joetsu District, Niigata, Japan, land subsidence following the decline of ground water level has occurred since the 1960s. Land subsidence has been caused mainly by pumping out of ground water used for industrial purpose in coastal area along the Japan Sea. Later ground water level has risen and land subsidence has decreased according to the following measures. Those are setting up industrial water works, change over of the source of drinking water from ground water to surface water, voluntary restraint of discharge of ground water used for industry, recharge of ground water by well and control of ground water pumping due to Niigata Prefectural Pollution Prevention Regulation.

However recently land subsidence has been observed in heavy snowfall due to excessive pumping out of ground water to melt snow at urban Takada, Joetsu. Especially annual land subsidence in 1984, as it is called "59 Gosetsu", was 10.1 cm, which was the maximum value of that year in Japan. In order to prevent land subsidence, Niigata Prefectural Government established guide line for decrease of ground water discharge for snow melting and measures to be taken by people who has well when land subsidence was occurring. In 1987, the object of prevention of land subsidence in Joetsu District has been established.

It is important for solving the problem of land subsidence that measures relative to ground water are established from synthetic point of view and taken in a body by administration and inhabitant.

1. 新潟県衛生公害研究所

〒950-21 新潟県新潟市曾和314-1

Niigata Prefectural Research Laboratory for Health and Environment. 314-1 Sowa, Niigata 950-21, Japan.

2. 環境庁 水質保全局 企画課

〒100 東京都千代田区霞ヶ関1-2-2

Water Quality Bureau, Environment Agency Government of Japan. 1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda, Tokyo 100, Japan.

3. 国立環境研究所 水圏環境部

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies. 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

## 1 はじめに

上越地域では、1960年代に入ると、地下水の揚水による地下水位の低下とそれに伴う地盤沈下が顕在化してきた。特に、1984（昭和59）年の豪雪時（59豪雪といわれている）には消雪用に地下水を大量に汲み上げたため、上越市西城町の水準点で、1年間の沈下量が10.1cmを記録し、単年度沈下量が全国第1位という不名誉な事態を招いた<sup>1)</sup>。

そこで、新潟県は上越市において直ちに地盤沈下緊急時対策を実施した。全国に先駆けた地盤沈下に対する要綱などの策定、地下水位による警報システムの導入がなされた。さらに、市民へのPRと節水協力という2つの効果を期待して、地盤沈下監視電話応答装置の設置及び地元紙の協力によって地下水位変動量と地層収縮量の掲載を行った。このような地方公共団体と住民が一体となった消雪用地下水揚水量の削減による効果が年間地盤沈下量の減少という形で現れている。1987年以降豪雪に見舞われなかったことも幸いし、地盤沈下は概ね沈静化して今日に至っている。

今までに実施された地盤沈下対策について、以下に述

べる。

## 2 59豪雪以前の地盤沈下対策

### 2.1 揚水量の削減

上越市における地盤沈下は、1950年代後半から危惧され始めた。この頃の地盤沈下の原因は主として、臨海部の工業用地下水の揚水であった。

地盤沈下の顕在化とともに揚水量削減のための各種対策が実施されるようになった。その対策を年次で追ってみると次のようである。

1962年（昭和37年）に関川を水源とした上越工業用水道が敷設された<sup>2)</sup>。1968年には上越利水総合開発の事業の完成によって、旧高田市、旧直江津市の上水道水源が表流水へ転換された。その効果もあり、地下水の揚水量が約2万m<sup>3</sup>/日減少し、地下水位も上昇した（図1）。

1972年には、上越水資源開発利用協議会に加盟する事業者による工業用地下水の自主規制が行われ、揚水量の削減に寄与した<sup>3)</sup>。しかし、自主規制では強制力がないことや、同協議会に未加入の事業者の揚水量の削減が徹底されないことから、1974年より新潟県公害防止条例（以

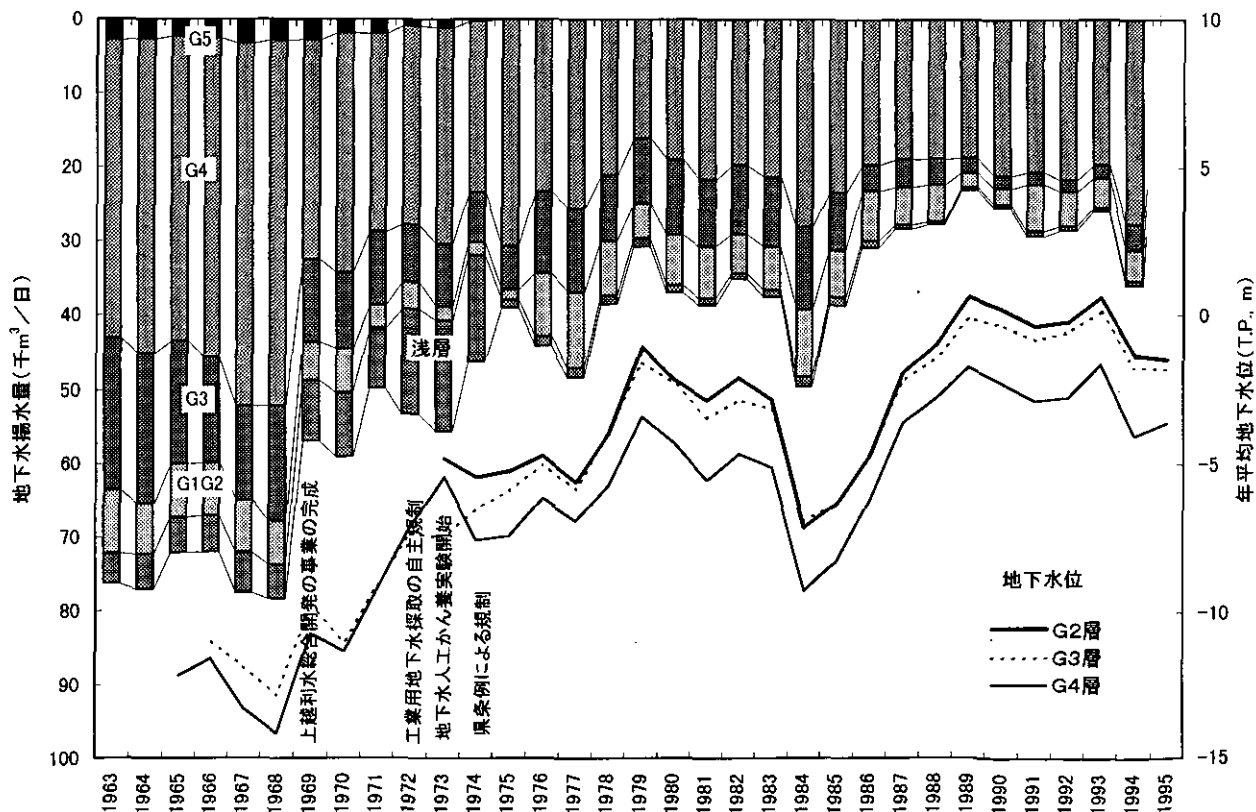


図 1 帯水層別地下水揚水量と年平均地下水水位の経年変化

Fig. 1 Annual variation of discharge of ground water and level of ground water in every aquifer Joetsu District.

下「県条例」という。)によって、地下水の採取が規制された。県条例の規制地域では、揚水機の吐出口の断面積が $6\text{ cm}^2$ を超え井戸のストレーナーの下限が地表面下 $20\text{ m}$ 以深の揚水設備を設置する場合、県知事の許可が必要になった。許可条件は、①上水道用②消防用③知事が他に水源がないと認める場合の3点である。この条例によって、工業用や消雪用に地下水を揚水する井戸が増加することの歯止めとなった。

## 2.2 地下水の人工かん養

1973年、新潟県では地盤沈下を抑制するために、沈下の中心地区において表流水を地下へかん(涵)養する実験を実施した。地下水人工かん養実験施設の設置場所を図2に、実験施設の概要を図3<sup>4)</sup>に示した。また、60豪雪と呼ばれている1985年の豪雪時の実験施設を写真1に示した。豪雪により地下水人工かん養実験施設が雪に埋もれてしまったため、屋根雪を取り除いてやっとその施設が分かるようになった。

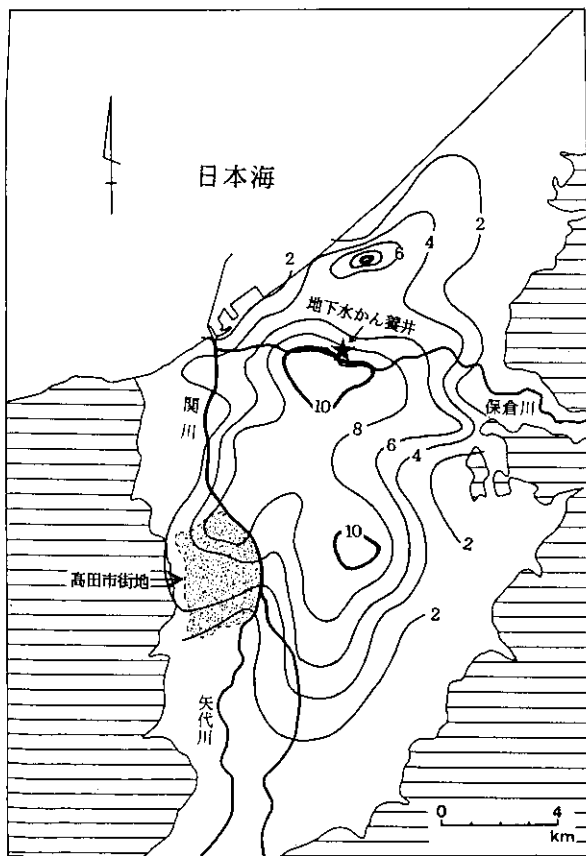


図 2 地下水人工かん養井の位置と1968年から1973年までの5年間の等沈下量線図 (単位: cm)

Fig. 2 Location of the recharge well and land subsidence for period from 1968 to 1973. (Subsidence contours in centimeters)

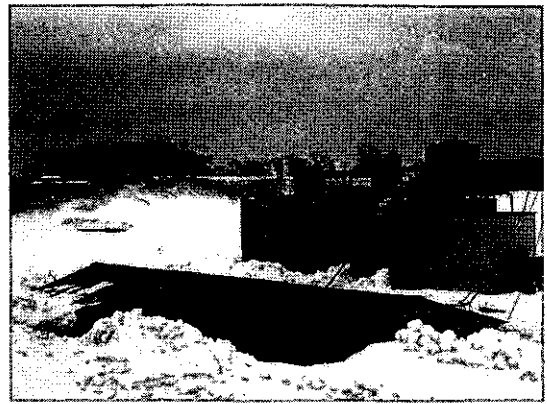


写真 1 雪に埋もれた人工かん養施設 (1985年2月撮影)

Photo. 1 Snowed in the facilities of recharge well in heavy snowfall, on February 1985.

かん養する水源としては保倉川の河川水を用いた。取水した原水を凝集沈殿処理し、pH調整を行い、ろ(濾)過した後、かん養井戸へ注入した。かん養方法はポンプでの圧入ではなく、自然注入とした。かん養量は周辺地区における地下水揚水量の3分の1を目途に $1\,500\text{ m}^3/\text{日}$ とした。かん養井戸のストレーナーの孔明率は、既存の揚水井戸の4倍近い40%とし、注入の際の抵抗を少なくした。なお、孔明率とはストレーナー部分の全表面積に対する孔の面積をいう。

かん養実験の結果、かん養井戸は順調に稼働したことから、1976年以降は地盤沈下防止対策事業の1つとして位置付け、1994年まで実施した。図2を見て分かるようにかん養を行った地点は、沈下量の大きな所であり、しかもこの間のかん養量が年間 $30\sim 50\text{万 m}^3$ に達していたので、沈下量の減少にある程度寄与できたものと考えている。

## 3 59豪雪以降の地盤沈下対策

### 3.1 上越地域消雪用地下水揚水量削減対策要綱

1984年の59豪雪により、地下水が大量に汲み上げられ、全国第1位の年間沈下量を記録した。このため、新潟県は1984年9月に消雪用地下水の揚水量を計画的に削減させる目的で、上越地域消雪用地下水揚水量削減対策要綱(以下「要綱」という。)を策定した。この要綱の対象となるのは、消雪を目的とし、しかも県条例の規制区域内で許可を受けて設置されている井戸である。

56豪雪(1981年)の際には冬期の4カ月間(12月~3月)に消雪用井戸から $233\text{万 m}^3$ 汲み上げられたため

(図4<sup>5)</sup>), 年間最大沈下量が3.7cmに達した。その頃, 他の豪雪地域で消雪パイプの設置が進んでいたこともあり, 市民からの陳情や要望が盛んになった。これを受け, 県は条件付きながら1982年10月に消雪パイプの増設を許可した。このため, 消雪用井戸が59豪雪の前に24本も新設された。このことにより, 59豪雪の際には消雪パイプ

の威力が十分に発揮されることになり, 市民に大歓迎された。ところが, 冬期間に一挙に445万 m<sup>3</sup>もの地下水が汲み上げられてしまったことにより, 観測史上最大となる10.1cmの年間沈下量を記録することになった。そこで, 56豪雪の際には消雪用井戸から汲み上げられた量まで削減すれば, かなり地盤沈下の進行を防げるという考

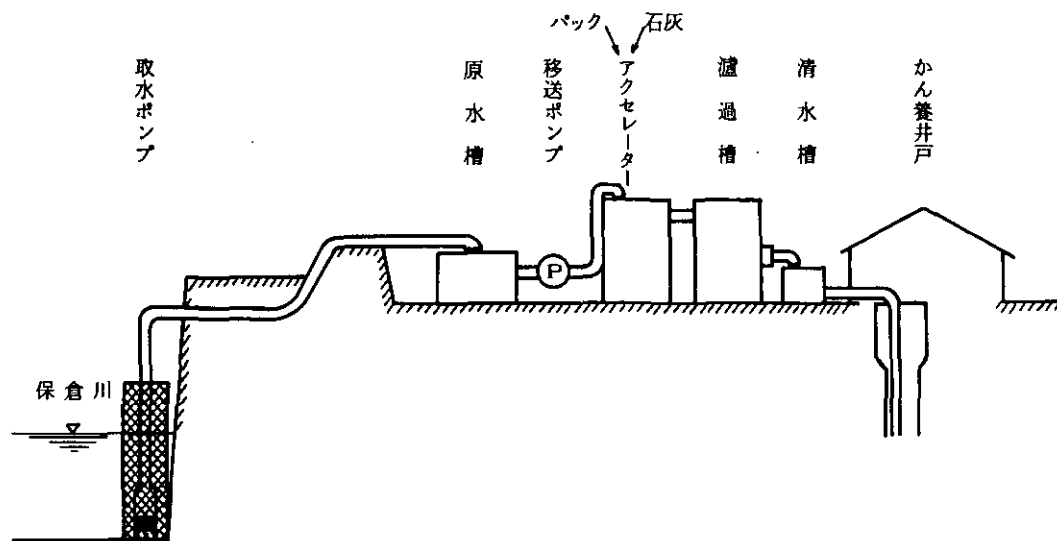


図 3 地下水人工かん養施設の概要<sup>3)</sup>  
 Fig. 3 Outline of the recharge well<sup>3)</sup>.

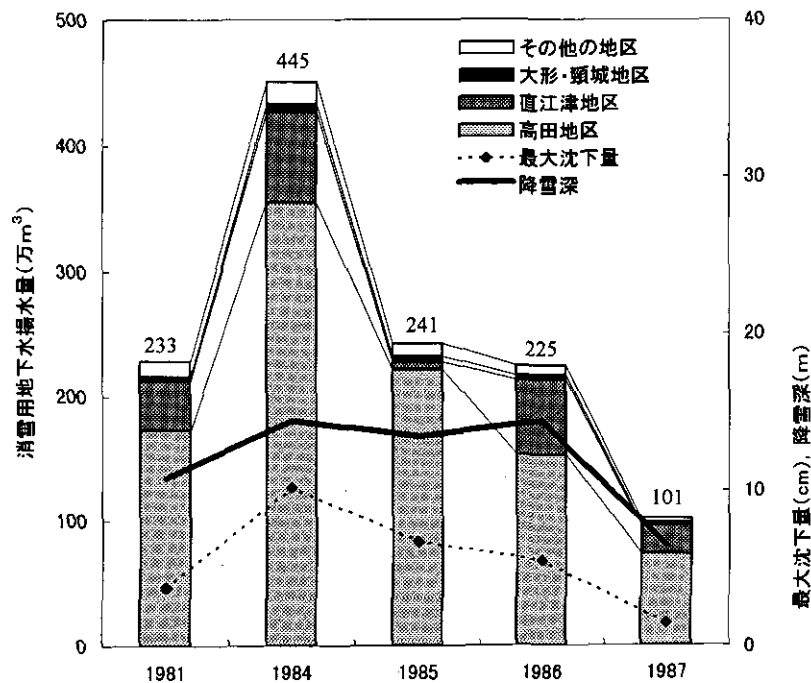


図 4 上越地域の冬期間における消雪用揚水量<sup>4)</sup>  
 (条例対象揚水設備のみ) (一部加筆)  
 Fig. 4 Annual variation of discharge of ground water to melt snow between December and March in Joetsu District<sup>4)</sup>.

え方に基づいて、目標値を233万 $m^3$ に設定することになった。

この要綱に沿って、節水対策の指導が強力に押し進められたこともあり、1984年と同等の豪雪となった1985年、1986年において、揚水量の削減についてかなりの成果が得られた(図4)。1986年まで3年続きの大雪に見舞われたにもかかわらず、上越地域の年間最大沈下量は1984年の10.1cmから、1985年の6.6cm、1986年の5.4cmと減少した<sup>6)</sup>。しかしながら、図4に示した揚水量は、条例対象井戸に限られている。1987年に総量調査を行ったときには、条例対象井戸が247本に対して、条例対象外の井戸は約14 000本設けられていた。条例対象井戸よりも圧倒的に本数の多い条例対象外の井戸について、必ずしも揚水量の削減が図られた訳ではなく、むしろ揚水量が増大する傾向にあったので、56豪雪時の年間最大沈下量程度には収まらなかった。なお、条例対象外の井戸は、許可や届け出の必要がないため、総量調査を行った際、回答を拒否される場合がかなりあり、すべて掌握するということではできなかった。

### 3.2 上越地域地盤沈下緊急時対策

地盤沈下量は地下水位の低下と密接な関係があり、しかも地下水位の変動を少なくすることが沈下量の減少につながることを利用して、59豪雪によって全国1の年間沈下量を記録した上越市では、1984年12月から上越地域地盤沈下緊急時対策(以下「緊急時対策」という。)を実施した。

緊急時対策とは、地下水位の低下が著しく地盤沈下が進行する恐れがある時に、注意報や警報を発令し、地下水の利用者に事態の深刻さを知らせることとともに、節水の依頼あるいは指導を行うことである。それは、表1の緊急時の基準に示されているように、注意報や警報を12月1日からの地下水位(水頭)の低下量によって、発令しようというものである。なお、緊急時の対象地域と地下水位をモニタリングしている井戸の位置は図5に示してある。

緊急時対策の対象地域は、沈下が著しい高田市街地とその周辺地域とした。注意報と警報の発令基準は、対象区域内の2つの観測井の地下水位を用いて定めることにした。その設定レベルは過去の地下水位と地盤の収縮量との関係に基づいて決定した。発令された場合の措置を表2に示した。注意報や警報が発令された場合は、広報

表 1 上越地域地盤沈下緊急時発令(解除)の基準

Table 1 Criteria for giving and removing the warning signal in Joetsu District.

区分	発令の基準	解除の基準
注意報	地下水位の12月1日からの低下量(以下「低下量」という。)が、高田G <sub>2</sub> 観測井において6mを超え、又は、高田公園観測井において5mを超え、降雪条件からみて、その状況が継続すると認められたとき。	地下水位の低下量が、高田G <sub>2</sub> 観測井において5m未満となり、かつ、高田公園観測井において4m未満となり、降雪条件からみて、その状態が悪化する恐れがなくなったと認められるとき。
警報	地下水位の低下量が、高田G <sub>2</sub> 観測井において8mに達し、又は、高田公園観測井において7mに達し、地層収縮及び降雪条件からみて、地盤沈下が著しく進行すると認められるとき。	地下水位の低下量が、高田G <sub>2</sub> 観測井において6m未満となり、かつ、高田公園観測井において5m未満となり、地層の収縮及び降雪条件からみて、地盤沈下の著しい進行が停止したと認められるとき。

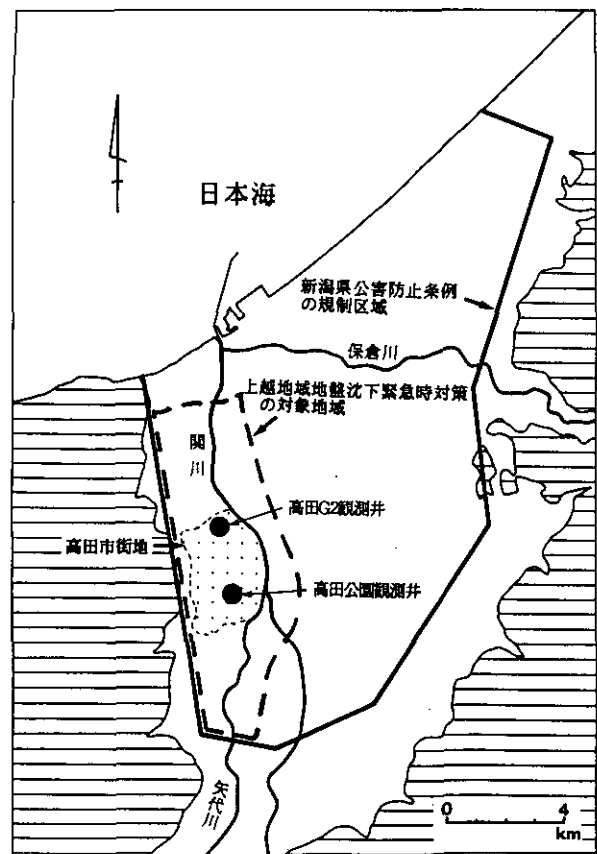


図 5 新潟県公害防止条例規制区域及び緊急時措置対象地域

Fig. 5 The area under the application of Niigata Prefectural Pollution Prevention Regulation and emergency measures.



表 2 注意報、警報が発令されたときの措置  
 Table 2 Measures to be taken by people who has well when a warning or an alarm is issued.

区 分	緊急時の措置	
	注 意 報	警 報
県条例対象井戸	消雪設備の運転状況についての点検の徹底および警報発令時に対処できる体制の整備	揚水量の概ね50%の削減
上記以外の井戸	揚水量の削減の自主的な努力の要請	同左

車で対象地域に周知するとともに、メディアにより市民に広報し、条例対象井戸の設置者に対しては直接連絡し、緊急時の措置の実施をするように要請することになっている。なお、警報が発令されたにもかかわらず、重大な地盤沈下の生じる恐れのある時は、井戸の設置者と協議したうえで、消雪用地下水の全面停止を求めることにしている。

これまでは、1985年度に注意報と警報が、1994年度と1995年度に注意報が発令されている。警報が発令された時の地下水位と収縮量の状況を図6に示す。この図は、上越市栄町にある城北中学校内に設置された高田G<sub>2</sub>観測井の1985年12月1日から1986年4月30日までの状況を表したものである。12月1日の基準水位が-3.19mであったので、注意報発令レベルは基準水位よりも6.00m

低い-9.19mとなり、警報発令レベルは基準水位よりも8.00m低い-11.19mとなった。12月中旬からの断続的な降雪により、地下水位は回復途中からさらに低下するということを繰り返した。1986年2月6日には基準水位からの低下量が12.33mに達した。その間、1月11日には注意報が発令され、一旦は解除されたものの1月23日には再び注意報が発令され、さらに状況が悪化したため2月5日には警報が発令されるに至った。地層の収縮は地下水位の低下とともに進行し、12月1日からの最大収縮量は58.6mmに達した。このように、降雪があり、その量が増えるときに地下水位は急激に低下し、それに伴って地層の収縮量が大きくなる傾向があり、逆に降雪深がなくなると、地下水位は上昇し、地層の収縮量も少しずつ減少する（地層が膨張する）傾向にあることが分かる。言い換えれば、雪が降り始めると、地下水位が低下し、それに伴って地盤は大きく沈下し、雪が降らなくなると、地下水位が上昇して、地盤は少し膨張することが、図6から読み取れる。この繰り返しにより年々沈下が累積されていくことになる。

図7は、地盤沈下注意報を初めて発令したことを伝える1986年1月12日の日刊紙の記事を示したものである。注意報や警報が発令される時は、降雪が多く地下水が最も必要とされる時期であることから、それらの実効性についての評価は難しい。しかし、地下水の利用者に対する啓発としては有意義な対策であると考えている。こ

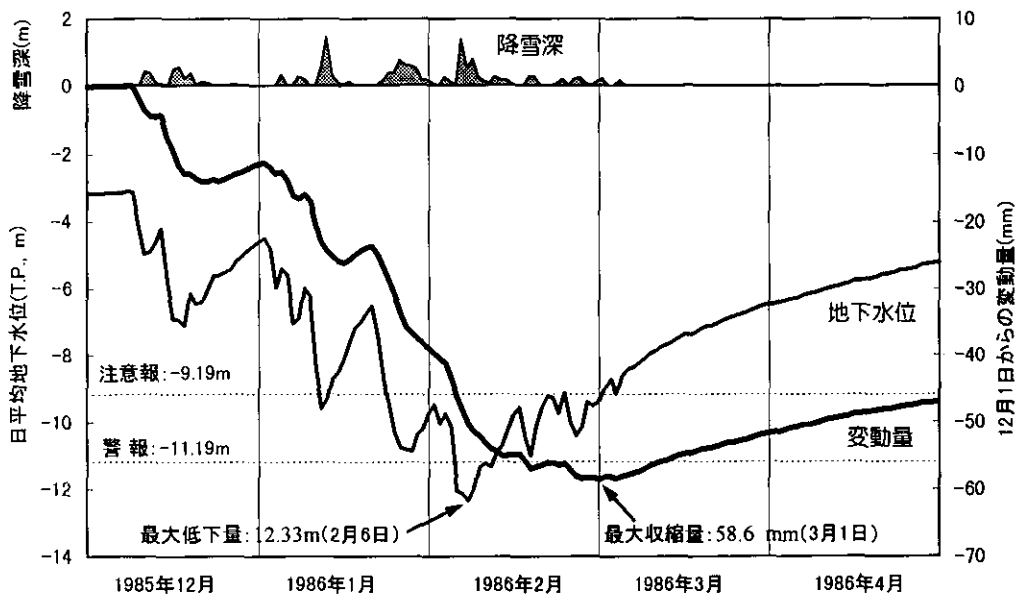


図 6 高田G<sub>2</sub>観測井における地下水位と地層収縮量  
 Fig. 6 Monitoring of ground water level and subsidence on the Takada G<sub>2</sub> observation well, Joetsu.



図 7 地盤沈下注意報の発令を伝える日刊紙の記事 (朝日新聞, 1986年1月12日)  
 Fig. 7 The article of daily paper on the warning signal of land subsidence being given. (after Asahi-shinbun, January 12, 1986)

のこによって、地下水の揚水量を削減できれば、その分だけ地下水位が低下しなくなり、地盤沈下量も少なくなるといえる。

### 3.3 上越地域地盤沈下防止対策基本指針

新潟県では消雪用地下水の過剰揚水による地盤沈下対策を計画的に推進するため、1987年8月に県条例の規制地域を対象に上越地域地盤沈下防止対策基本指針（以下「基本指針」という。）を策定した。

基本指針では、沈下量と揚水量について目標値を設定し、年度を区切りその目標を達成することとしている（表3）。さらに、目標達成のために県と市町村の実施すべき施策についても定めている。

主な施策は次のようである。

- ①流雪溝の整備
- ②地下水非依存型消雪施設の普及・促進

表 3 上越地域地盤沈下防止目標  
 Table 3 The object of prevention of land subsidence in Joetsu District, Niigata.

区分	目標	地下水揚水目標量	達成年度
		(万 m <sup>3</sup> /冬期4カ月間)	
中間目標	地盤沈下を年間2cm以下とする。	1 800	1992
最終目標	地盤沈下を進行させない。	1 600	1997

- ③浅井戸等県条例対象外の井戸の指導強化
  - ④上水道用水の表流水への水源転換の促進と工業用水道の給水区域の拡大
  - ⑤地下水の人工かん養の研究・開発の促進
- また基本指針の策定とともに、実効ある地盤沈下対策の推進のため、上越地域地盤沈下防止対策推進協議会（以下「協議会」という。）を発足させた。協議会は、建設省、県及び市町村の土木、克雪対策、環境部局の職員で構成されており、基本指針に掲げられた施策の具体的な実施について検討を行う役割を担っている。

### 3.4 その他の地盤沈下対策

地盤沈下を生じさせない適正な地下水揚水量まで削減させるには、代替水の確保や代替消雪技術の導入などの対策を行う必要がある。この目的を達成させる一環として、揚水した地下水を全量地下に還元させる熱交換式システムや流雪溝の設置が始められている。

上記の対策が普及し、十分に効果を発揮するまでの間、「当面の対策」としての位置付けの基に、次のような対策も進められている<sup>5)</sup>。

- (1) 揚水設備設置者に対する節水指導等
  - 1) 県条例に基づく立入検査
  - 2) 立ち入り検査の事後指導会
  - 3) 揚水設備の節水状況調査
  - 4) 地盤沈下状況の地元説明会
- (2) 普及啓発対策
  - 1) パンフレット「地盤沈下を防ごう」を作成し、関係者に配布
  - 2) テレビ、市広報等による節水の呼びかけ
  - 3) 写真パネルの展示
  - 4) 高田G<sub>2</sub>観測井の電話応答装置

地下水を揚水している事業者や家庭に対して、リアルタイムに情報を提供し、事態の進行を知らせ、把握させ

ることは大切なことである。リアルタイムの情報提供の一環として、また市民へのPRと節水協力という2つの効果を期待して、地盤沈下監視電話応答装置を設置することと地元紙の協力で地下水位の低下量と地層の収縮量を冬期間毎日掲載することを行った(図8)。地盤沈下監視電話応答装置はいつてみれば、地盤沈下のテレホンサービスであり、0255(22)1040にダイヤルを回すと、1分刻みで高田G<sub>2</sub>観測井の現在の地下水位と基準日からの地下水位の低下量と地層の収縮量が分かるようになっている。また、この装置を設置したことにより、雪の中観測井までデータを読み取りに出かけるという過酷な業務が解消された。その上、緊急時の対策を速やかにしかも効果的に実施できるという利点も生じた。

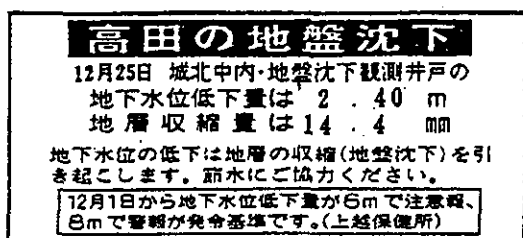


図 8 高田市街地の地盤沈下の状況を毎日伝える日刊紙のコラム(上越新聞, 1986年1月26日)  
 Fig. 8 The article of daily paper on the subsidence and ground water level at the urban Takada, Joetsu.  
 (after Joetsu-shinbun, on January 26, 1986)

1984年に10.1cmの沈下量を記録した上越市西城町の水準点では、豪雪年である1985年に6.2cm, 1986年に3.3cmと沈下量が減少した<sup>6)</sup>。暖冬となった1988(昭和63)年から1992(平成4)年までの沈下量は0.3~1.9cm, 冬期4カ月間の揚水量は710~1610万m<sup>3</sup>であり, 表3に示した基本指針の中間目標は達成された<sup>7)</sup>。これらのことは、前述したような対策の効果が現われた結果であると思われる。しかし、平年より降雪深が少ない年が多かったことが幸いした面もあり、豪雪年に相当する降雪深で揚水量を予測すると必ずしも目標を達成できたとはいえない。今後さらに最終目標の達成に向けて施策を推進することが必要であると考えられる。

1986年の61豪雪時の高田市街地における商店街と住宅地の状況を写真2と写真3に示した。写真を見て分かるように、豪雪時には町全体が雪に埋もれてしまっ、自動車の通行が不能になった。このような状況を解決するために生まれた手段の一つとして、消雪パイプから地下水を散水する方法がある。写真4は駐車場にパイプを設



写真 2 61豪雪時の高田市街地の商店街  
 Photo. 2 Snowed in a shopping street at the urban Takada, Joetsu in heavy snowfall, 1986.



写真 3 61豪雪時の高田市街地の住宅地  
 Photo. 3 Snowed in a residential quarter at the urban Takada, Joetsu in heavy snowfall, 1986.



写真 4 地下水を散水して消雪する高田市街地の状況(1985年2月撮影)  
 Photo 4. Snow melt by watering ground water from the pipe at parking lot in the urban Takada, Joetsu, as on February 1985.

置し、地下水を散水して消雪する状況を示したものである。パイプの鉄錆がコンクリートに付着して褐色を呈していたが、雪が消されていた。

地下水の節水対策としては、降雪感知器、3段階式電動弁、インバータ、熱交換式消雪パイプ、ヒートパイプ式融雪システム、屋根雪処理システム、流雪溝、融雪ブール、スノーホールなどの設置、あるいは散水した水の再利用、散水方法の改善、消雪パイプの交互散水、機械除雪の利用、工業用水道による用水の供給に伴う地下水揚水量の削減などがある。

### 3.5 要綱等の作成に向けての県庁内の対応

要綱と緊急時対策（以下「要綱等」という。）の作成に当たっては、まず県庁内の生活環境部を中心に水資源を担当する企画部局、道路部局、工業用水部局、現場事務所などの多数の部局から構成される委員会を設置し、この委員会において各部局が調整を図りつつ、要綱等の策定に向けた努力がスタートした。そして、要綱等の原案の作成に入る前の早い段階で、知事をはじめとする幹部と話し合いの場を積極的に持つこと等により、新潟県庁一丸となって取り組む体制と意志が形成されていった。また、これと同時に地元の上越市をはじめ道路管理者である建設省や地下水を利用する事業者等の関係機関にも、状況がきわめて深刻であることの説明や協力の要請に奔走した。

そして、次の冬に備えて、県庁内の委員会における熱い議論や関係機関との協議が暑い夏に繰り返されながら、要綱等が作成されていったのである。

1985年の冬も前年に続く豪雪であった。要綱等に基づく対策がとられるよう、雪の中でマイクを持って理解と協力を呼びかける日々が続いた。要綱等は作成された後の、その実効を図るための努力が大切であることは言うまでもないことである。

なお当時、柳下と関谷は新潟県生活環境部において地盤沈下対策に直接携わり、陶野は委員の一人として地盤沈下機構の解明と、それに伴う数値目標の設定案を作成することに携わっていた。

### 3.6 要綱等策定時を振り返って

当時の上越地区の地盤沈下対策としては、現実の厳しい状況に即応することの必要性から、経験的な解析に基づいて、揚水量の削減対策と節水のための緊急時対策の

導入を図ることにした。揚水量の削減対策は、地盤沈下を一定程度以下に抑制するための地域の消雪用の総揚水量の削減目標量を定め、その達成のため節水装置の設置等を推進しようとするものであった。緊急時対策は、前者の節水対策によってもなお地盤沈下の進行の恐れがあるときに、これ以上の地下水位低下を防ぐため、消雪用地下水の揚水の大幅削減を要請するか、他の方法に切り換えてもらうことをねらいとしたものであった。

これらは、雪に伴う地盤沈下問題に対する行政施策としては本邦において最初の試みであったため、地元関係者はもとより専門家等からも様々なご意見等をいただいた。しかし、現に地盤沈下が進行し、対策のため調査研究に時間をかけるなどの余裕が許されない状況下においては、少々乱暴と思われるかも知れないが、行政としてまずとるべき途としては正しかったと思っている。

1984（昭和59）年12月からの60豪雪に際しては、これらの施策の施行によりトレード・オフの関係にある克雪対策と地盤沈下対策のいずれをとるか、といったぎりぎりの選択を迫られるなど、緊急した場面の連続であった。こうした苦しい中であっても、「上越地域で昔の新潟の二の舞を演じさせてはならぬ。」という知事の強い指示が職員の大きな支えとなっていた。また一方、豪雪の中での地元の上越市、上越保健所、道路管理者、市民等々の多くの方々の節水や地盤沈下防止のための献身的な努力や御協力には本当に頭が下がる思いがした。

地盤沈下問題の解決は、正に地下水という環境資源の適正利用、適正管理の問題である。水資源対策、克雪対策、節水対策、企業立地と水利用の適正化等の総合対策を目指して、今後とも関係機関、地元市町村、住民が一丸となって推進、実施していくことが求められているとの思いを強くしているところである。

## 4 あとがき

豪雪は当地域にとって災害である。冬期の道路の確保は市民生活や経済活動にとって不可欠なことである。地下水を過剰に汲み上げれば、地盤沈下が生じることは自明のことであり、行政も市民も地下水に依存しない除雪体制を作らないことには、根本的な地盤沈下防止対策とはいえないだろう。

## 謝 辞

本論文作成に当たって、環境庁水質保全局企画課の加

藤裕之、久保紀重両氏に格別の支援を受けた。ここに、謝意を表する次第である。

#### 引用文献

- 1) 環境庁水質保全局 (1960) : 全国の地盤沈下地域の概況 (昭和59年度), 16p.
- 2) 上越市ガス水道局 (1995) : 上越のいのち水を考える - '94湧水記録集 -, 92p.
- 3) 新潟県生活環境部公害規制課 (1974) : 新潟県の地盤沈下, pp.17-32.
- 4) 佐藤 宏 (1977) : 上越地区G 4層人工地下水の経過と問題点の解明. 新潟大地盤災害研年報, No.3, pp.95-110.
- 5) 新潟県環境保健部 (1987) : 新潟県の環境 (昭和62年版). 新潟県, pp.30-32.
- 6) 新潟県環境保健部公害対策課 (1987) : 上越地区の地盤沈下 (16), pp.17-30.
- 7) 新潟県環境保健部 (1994) : 新潟県の環境 (平成6年版). 新潟県, pp.21-22.

## C 上越市高田市街地の浅層部の地下地質 — ボーリング調査結果を基に —

### Subsurface Geology Based on Boring Observation at the Urban Takada, Joetsu, Niigata, Japan

陶野郁雄<sup>1</sup>・関谷一義<sup>2</sup>

Ikuo TOHNO<sup>1</sup> and Kazuyoshi SEKIYA<sup>2</sup>

#### 要 旨

上越市は新潟県西部に位置し、日本海と接している。その南部に当たる高田市街地では、冬期に消雪用に大量の地下水を汲み上げるため、日本で有数の地盤沈下地域を形成している。

そこで、高田市街地において第四系の地下地質と地盤の土質工学的性状を明らかにする目的で調査を行った。1992年に高田市街地南部の上越市立公民館高田地区館内、1994年に高田市街地北部の上越市立城北中学校内の2地点でボーリング調査を行った。その結果、浅層部の地層をC<sub>0</sub>層、G<sub>0</sub>層、C<sub>1</sub>層、G<sub>1</sub>層、C<sub>2</sub>層、G<sub>2</sub>層、C<sub>3</sub>層及びG<sub>3</sub>層の8層に区分することが可能となった。これらの中で、C<sub>1</sub>層とC<sub>2</sub>層が軟弱で、収縮しやすい地層であった。

C<sub>1</sub>層は腐植物が混入する粘土層が主体であり、下位のG<sub>1</sub>層の地下水位の低下が顕著なことから、粘性土の圧縮が懸念される地層である。

C<sub>2</sub>層は粘土と砂の互層よりなる。その上下をG<sub>1</sub>層とG<sub>2</sub>層に挟まれており、G<sub>2</sub>層も冬期の地下水位の低下が顕著なことから、C<sub>2</sub>層もC<sub>1</sub>層と同様に粘性土の圧縮が懸念される地層である。

C<sub>1</sub>層とC<sub>2</sub>層はともに高田市街地の南部から北部に向かって層厚を増しているため、沈下の危険性は市街地北部の方が高い。

#### Abstract

Joetsu City, which is situated in the west of the Niigata Prefecture, has a coastline to south of the Japan Sea. Urban Takada, which is situated in south of the Joetsu City, Niigata, is one of the typical land subsidence areas, due to excessive pumping out of ground water to melt snow in winter.

At the urban Takada, it was observed in order to explain subsurface geology and geotechnical properties of the Quaternary deposits. The boring observation was put in operation two sites, which are located the Takada branch of public hall, south of the urban Takada, in 1992, and the Johoku junior high school, north of there, in 1994. The result of boring observation enabled our to classify the layer, which is in eight beds. We call them C<sub>0</sub>, G<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, G<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> and G<sub>3</sub> beds from the ground surface downward. The C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub> beds consist of very soft and high compressibility cohesive soil.

C<sub>1</sub> bed is composed mainly of clay with humus. There is a strong fear that this bed subsides remarkable, because of the ground water level in G<sub>1</sub> bed is drew down rapidly in the winter.

C<sub>2</sub> bed is composed mostly of alternating bed of clay and sand, and exists between aquifers. There is fear as C<sub>1</sub> bed that C<sub>2</sub> bed subsides remarkable. Thickness of both beds increases toward the north from south of the urban Takada, so that in respect of land subsidence the part of north is more critical than the part of south of there.

1. 国立環境研究所 水圏環境部  
〒305 茨城県つくば市小野川16-2

Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

2. 新潟県衛生公害研究所

〒950-21 新潟県新潟市曾和314-1

Niigata Prefectural Research Laboratory for Health and Environment, 314-1 Sowa, Niigata 950-21, Japan.

## 1 はじめに

上越市は新潟県西部に位置しており、その北側は日本海と接している。上越市の南部に当たる高田市街地は、豪雪地域としてよく知られている。その商店街などでは、冬期に歩行を確保するため古くから雁木を設けている。近年、雪を消す目的で地下水を多量に揚水するようになったことにより、地盤沈下が進行している地域の一つとなった。特に、59豪雪と言われた1984年には10.1cmもの沈下量を記録し、年間沈下量全国第1位の地域となった<sup>1)</sup>。

消雪のために使われる地下水は、一般に工業用や上水道用と比較して浅い帯水層から揚水することが多い。豪雪時の地盤沈下は、浅い帯水層における著しい地下水位低下によって、深度137m以浅の地層が収縮したために生じたことが明らかになっている<sup>2)</sup>。ところが、これまでに行われた種々の調査は、工業用などに利用するため、深いところから地下水を揚水することによって生じる地盤沈下現象を把握することを主目的としていたので、深層部を対象とするものがほとんどであった。このこともあり、浅層部における地下地質に関する知見が非常に少なかった。

そこで、国立環境研究所における地盤沈下研究の一環として、新潟県上越市高田市街地の北部と南部の2地点で、ボーリング調査を行うことにした。この調査は、浅層部の地下地質と地盤の土質工学的性質を明らかにすることを主な目的として行ったものである。オールコア・ボーリングを実施しており、粘性土や粘性土を多量に含む砂質土層中で良質な不攪乱(乱さない)土試料の採取を行った。採取した土試料をコア箱に収め、新潟県衛生公害研究所内に運んだ。この土試料について、観察を中心とした地質学的な検討を行った。なお、良質な不攪乱土試料は、速やかに国立環境研究所に持ち帰って、圧密試験などの室内実験を実施した。その結果については文献3)を参照されたい。

本報告は、2地点のボーリング調査結果とそれに基づく高田市街地の浅層部の地下地質について述べる。

## 2 ボーリング調査

国立環境研究所の特別経常研究「地盤沈下地域の地盤調査」の一環として、1992年と1994年にボーリング調査を実施した。それらの調査地点を図1に示す。

1992年の調査地点は、高田市街地南部に位置する上越

市大手町の上越市立公民館高田地区館の敷地内である(図中の②)。調査は10月1日から11月26日まで、ロータリー式オイルフィード型ボーリング機械(D2-G型)を用いて行った。深度115m(GL. -115m)までは掘削孔径 $\phi$ 116mmのオールコア・ボーリングを行い、それ以深は孔径 $\phi$ 66mmのノンコア・ボーリングとして、深度135mまで掘削した。このボーリング調査の後、この孔を利用して、新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムを設置した。地下水位と地層の収縮量の観測を継続して行っている。この観測システム設置後の状況を写真1に示す。その詳細は文献4)、5)を参照されたい。

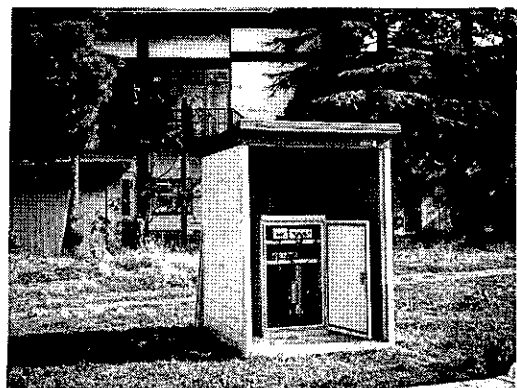


写真 1 上越市立公民館高田地区館の敷地内で実施したボーリング調査後に設置した新しい地盤沈下観測システム(1995年11月撮影)

Photo.1 Equipment of a new observation system for land subsidence after boring observation at the Takada branch of public hall, Joetsu, as on November 1995.

1994年の調査地点は、高田市街地北部に位置する上越市栄町にある上越市立城北中学校の敷地内である(図1中の①)。調査は10月13日から24日まで、2年前と同様の機械を用いて行った。深度100mまでは掘削孔径 $\phi$ 116mmとし、それ以深は $\phi$ 66mmとして深度150mまで掘削した。また、粘性土、砂質土についてはコアパックチューブを用いたオールコア・ボーリングとし、礫質土についてはノンコア・ボーリングとした。この中学校内には、高田G<sub>2</sub>観測井を始めとして、3つの観測井が設置されている。写真2は、ボーリング調査を行った中学校内にある高田G<sub>2</sub>観測井を示したものである。

なお、採取した不攪乱土試料は、調査現場内でサンプリングチューブの両端をパラフィンを用いてシールした後、振動や衝撃を与えないようにウレタンなどで保護し、速やかに国立環境研究所の土質試験室内にある試料保存

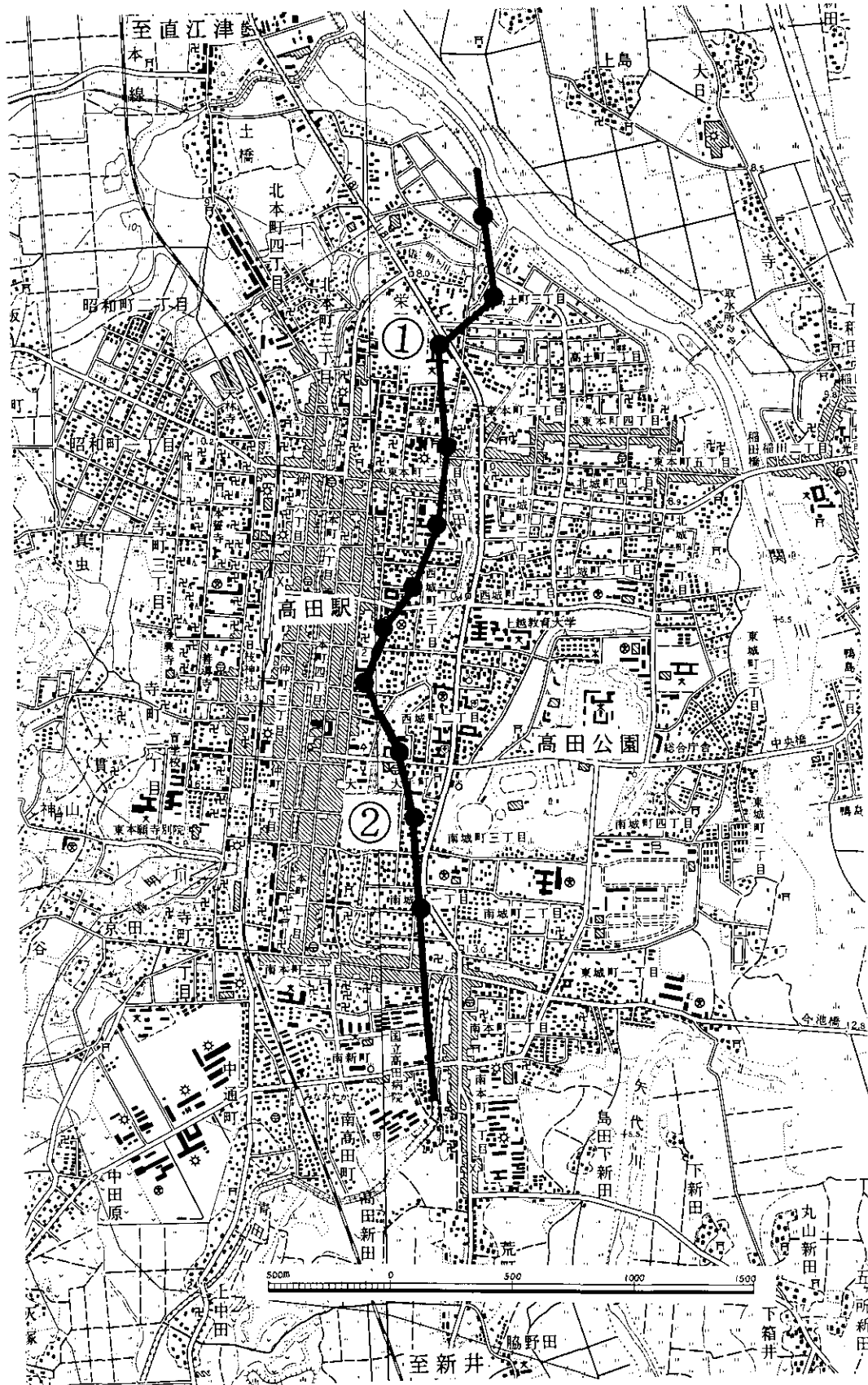


図 1 ボーリング調査地点と浅層部の地質断面線の位置

Fig. 1 Boring sites and location of geological section, in Joetsu, Niigata.





写真 2 上越市立城北中学校の校内で実施したボーリング調査地点の近くに設置されている高田G<sub>2</sub>観測井 (1995年11月撮影)

Photo. 2 Takada G<sub>2</sub> observation well near the boring site at Joetsu junior high school, Joetsu, as on November 1995.

庫まで運搬した。

### 3 調査地点の地下地質

#### 3.1 上越市立城北中学校

上越市立城北中学校 (以下「城北中学校」という。) 校内で実施したボーリング調査に基づく土質柱状図を図2と巻末の付録に示した。採取試料の観察結果に基づき、地層の概略を表層から順次以下に述べる。

- (1) 地表から深度2.20mまでの地層……砂や礫が少量混入している粘土層である。
- (2) 深度2.20~6.85mの地層……所々に礫を含む細砂を主体とする地層である。
- (3) 深度6.85~48.70mの地層……粘土を主体とする地層であり、所々に細砂を挟在しており、全体的に腐植物を含んでいる。また、深度6.85~9.50mの粘土層中に貝殻と木片を、深度17.50m付近には木片を混入している。最下部の深度44.60~48.70mは礫混じり中砂層となっている。
- (4) 深度48.70~58.20mの地層……一般にG<sub>1</sub>層と呼ばれている地層に相当するコブルを含む礫層である。その粒径は2~200mmである。礫は安山岩、砂岩、粘板岩、チャートを主体とした亜角~亜円礫である。  
なお、コブルとは粒径が75~300mmの範囲内にある粗礫よりも粒子が大きいものに対する呼称である。
- (5) 深度58.20~100.65mの地層……全体的に腐植物を含んだ粘土と細砂の互層である。また、深度58.20~61.00mの粘土層中には貝殻が混入している。
- (6) 深度100.65~137.30mの地層……一般にG<sub>2</sub>層と

上越市立城北中学校 上越市立公民館高田地区館

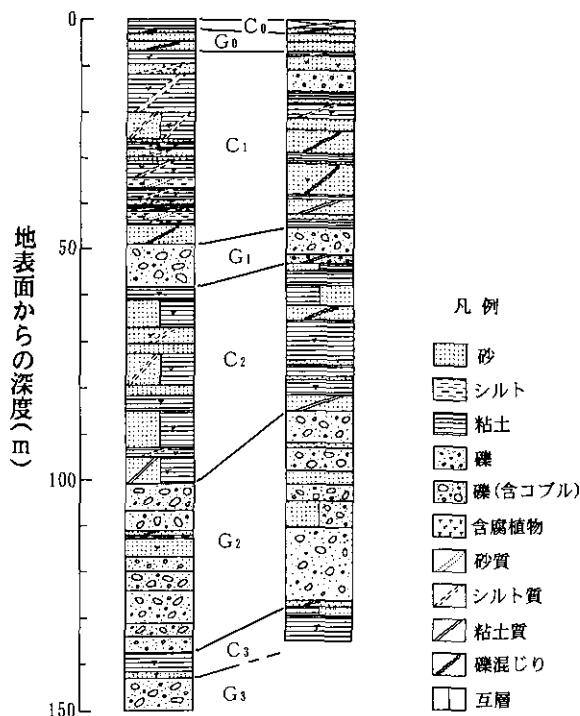


図 2 上越市立城北中学校と上越市立公民館高田地区館のボーリング柱状図

Fig. 2 Geological columnar sections at Johoku junior high school and Takada branch of public hall, Joetsu.

呼ばれている地層に相当するコブルを含む礫層である。その粒径は2~100mmである。また、この層の中間に位置する深度110.80~116.40mには所々にシルトを含む細砂層を挟在する。礫は砂岩、チャート、安山岩を主体とした亜角~亜円礫である。

- (7) 深度137.30~142.90mの地層……主に粘土層からなっている。腐植物を混入しているとともに、細砂を挟在している。
- (8) 深度142.90m以深 (150.00mまで) ……G<sub>3</sub>層と一般に呼ばれている地層に相当するコブルを含む礫層である。その粒径は2~100mmである。礫は砂岩、チャート、安山岩を主体とする亜角~亜円礫である。土試料の色調は、地表から深度2.20mまでは黄茶褐色、深度2.20~4.70mまでは暗褐色、それ以深は暗青灰色を呈していた。なお、ボーリング調査地点における地表面の標高は、T.P. +8.07mであり、無水掘りによる孔内水位は、深度2.30mであった。

### 3.2 上越市立公民館高田地区館

上越市立公民館高田地区館（以下「高田公民館」という。）の敷地内で実施したボーリング調査に基づく土質柱状図を図2と巻末の付録に示してある。採取試料の観察結果に基づき、地層の概略を表層から順次以下に述べる。

- (1) 地表から深度3.00mまでの地層……地表から深度1.80mまではコンクリートや煉瓦塊などを含む粘土からなる埋土層であり、深度1.80～3.00mは凝灰質の細砂を多量に含む粘性土層である。
- (2) 深度3.00～6.80mの地層……所々に粘土や礫を含む細砂を主体とする地層である。含水量は高いが腐植物は含まれていなかった。
- (3) 深度6.80～45.30mの地層……砂層を主体とする粘土・砂・礫の互層であり、所々に少量の腐植物を混入している。深度18.10～21.25m間には粘土層が、深度10.80～15.50m間には円～垂円形をした細～中礫を主体とした礫層が比較的厚く堆積している。
- (4) 深度45.30～53.30mの地層……一般にG<sub>1</sub>層と呼ばれている地層に相当するコブルを含む礫層である。その粒径は2～200mmである。礫は安山岩を主体とした円～垂円礫である。
- (5) 深度53.30～85.00mの地層……粘土を主体とする粘土と細砂の互層である。所々で、粘土層は腐植物を、砂層は礫を含んでいる。
- (6) 深度85.00～127.40mの地層……一般にG<sub>2</sub>層と呼ばれている地層に相当するコブルを含む礫を主体とした地層である。所々に細砂層を挟在しており、深度97.90～101.10m間は比較的厚い細砂層となっている。コブルを含む礫は、安山岩を主体とした円～垂円礫であり、その粒径は2～250mmである。
- (7) 深度127.40m以深（135.00mまで）……主に粘土からなっている地層である。腐植物を混入しているとともに、細砂を挟在している。

土試料の色調は、地表から深度4.60mまでは黄褐色ないし黄茶褐色、それ以深は暗灰色を呈している。なお、ボーリング調査地点における地表面の標高は、T.P.+12.18mであり、無水掘りによる孔内水位は、深度8.00mであった。

城北中学校、高田公民館とも、約5mより深い所に存在する地層が暗灰色ないし暗青灰色を呈しているということは、地下水揚水に伴う地層の酸化作用（風化作用の

一種）がそれほど進んでいないことを表しているものと考えられる。

### 3.3 地層の区分

層相と礫層の深度によって、ボーリング地点の浅層部の地層を上位より、C<sub>0</sub>層、G<sub>0</sub>層、C<sub>1</sub>層、G<sub>1</sub>層、C<sub>2</sub>層、G<sub>2</sub>層、C<sub>3</sub>層及びG<sub>3</sub>層の8層に区分し、その概要を上位から順次述べる（図2）。なお、G<sub>1</sub>層、G<sub>2</sub>層及びG<sub>3</sub>層は調査地域では従来から帯水層として利用されている礫層である<sup>5)</sup>。

- (1) C<sub>0</sub>層……地表から深度2m付近までの粘土ないし粘土質細砂からなる地層である。
- (2) G<sub>0</sub>層……城北中学校では深度2～7m、高田公民館では深度3～7mに存在する礫混じり細砂層である。
- (3) C<sub>1</sub>層……G<sub>0</sub>層の基底面から深度50m付近に存在するコブルを含む礫層の上面までの地層である。城北中学校では腐植物を含む粘土が主体であり、細砂を挟在する。一方、高田公民館では砂を主体としており、所々に粘土を挟在し、砂層中に礫が混入している場合もある。高田公民館のC<sub>1</sub>層の層相は、城北中学校に比較して粗粒であり、腐植物の混入も少ない。
- (4) G<sub>1</sub>層……深度50m付近に存在するコブルを含む礫層であり、上面の深度は城北中学校で49m、高田公民館で45mであった。
- (5) C<sub>2</sub>層……G<sub>1</sub>層の基底面から、城北中学校では深度101m、高田公民館では深度85mまでの地層である。粘土と細砂の互層よりなり、腐植物を混入する。
- (6) G<sub>2</sub>層……城北中学校では深度101～137m、高田公民館では深度85～127mに存在するコブルを含む礫層である。
- (7) C<sub>3</sub>層……城北中学校では深度137～143m、高田公民館では深度127m以深の地層である。腐植物を少量混入する粘土を主体とする粘土と砂の互層である。
- (8) G<sub>3</sub>層……城北中学校では143m以深のコブルを含む礫層であるが、高田公民館の掘削深度（135m）では出現しなかった。

#### 4 高田市街地における浅層部の地質

2地点のボーリング結果による地層区分を基とし、それに既存の地質資料を加えて、浅層部の地質状況を明らかにすることとした。総合柱状図を図3に、地質断面図を図4に示した。なお、断面線の位置は図1に示してある。また、図1中の●印は、図4中のボーリング柱状図の位置を表している。

図4を見ると、高田市街地における深度150m以浅の地層は、南部から北部に向かって緩く傾斜しながら少しずつ深くなっていること分かる。言い換えれば、地層は日本海に向かって緩く傾斜し、その深度を増す傾向を示している。

各地層の概要を上位から順次述べる。

- (1) C<sub>0</sub>層……地表から深度2m付近までの表層に分布している地層である。黄褐～茶褐色を呈しており、酸化した粘性土を主体としている。そのN値は0～4と柔らかい。
- (2) G<sub>0</sub>層……層厚が薄いものが高田市街地全域にわたって分布している含水量が高い礫を含む砂層である。新潟県で実施した実態調査の井戸深度から判断すると、一般家庭の浅井戸は、G<sub>0</sub>層の地下水を利用しているようである<sup>6)</sup>。城北中学校におけるボーリング結果では、地下水面がG<sub>0</sub>層に現れており、不圧地下水と判断される。
- (3) C<sub>1</sub>層……粘土を主体とした地層であるが、南部に向かって粗粒化しており、砂や礫を含む割合が増している。全体的に腐植物を混入しており、粘性土のN値は、深度10～30mで5～10、深度35m付近で11～15となっている。層厚は、南部で45m、北部で49mとなっており、北に向かって(下流に向かって)若干厚くなる傾向にある。また、南部では粘土中に挟在する砂・礫層が帯水層を形成している。
- (4) G<sub>1</sub>層……連続性の良い礫層である。高田市街地全域にわたって分布しており、良好な帯水層を形成している。近年、G<sub>1</sub>層からの揚水量が増加しており、この層の地下水位低下が顕在化している<sup>2)</sup>。
- (5) C<sub>2</sub>層……粘土と砂の互層よりなっており、C<sub>1</sub>層と同様に南部から北部に向かって層厚を増している。しかも、北に向かって緩く傾斜しており、その深度を増している。粘性土層中には腐植物が混入しており、北部にいくほどその割合が多くなっている。また、南部では砂層中に所々礫が混じっている。

- (6) G<sub>2</sub>層……高田市街地全域にわたって分布している礫層である。層厚が37～41mあり、良好な帯水層を形成している。コブルを含む礫層からなっており、一部に細砂を挟在するか、または細砂との互層を呈しているが、電気検層では概ね一つの帯水層として判断されている。
- (7) C<sub>3</sub>層……粘土層を主体としており、一部で細砂との互層となっている地層である。層厚は、北部では6mであるが、南部ではこの地層の基底に到達したボーリング結果がないため、不明である。
- (8) G<sub>3</sub>層……コブルを含む礫層であり、G<sub>3</sub>層と呼ばれる帯水層に相当する<sup>5)</sup>。南部ではこの地層に到達したボーリング結果がないため、不明である。

C<sub>1</sub>層におけるN値や採取試料の観察結果から判断すると、この層の土質はやや軟弱である。基底のG<sub>1</sub>層の地下水位の低下が顕著なことから、C<sub>1</sub>層中の粘性土が圧密され、著しい収縮が生じることが懸念される。特に、市街地北部から中央部にかけて、粘性土層が厚く分布しているので、その危険性は高いといえる。

また、C<sub>2</sub>層もG<sub>1</sub>層、G<sub>2</sub>層という帯水層に挟まれており、この層中の粘性土が圧密され、かなり収縮することも懸念される。

このように、地盤の状態から判断すると、市街地全域にわたって著しい地盤沈下が生じる危険性がある。

城北中学校では、深度137m以浅の地層の収縮によって、豪雪時の沈下が生じていたことが明らかにされているが、これは、C<sub>1</sub>層とC<sub>2</sub>層の収縮によるものといえる。なお、C<sub>1</sub>層とC<sub>2</sub>層の収縮状況については文献2)を参照されたい。

#### 5 まとめ

高田市街地においてボーリング調査を実施した結果以下のことを明らかにすることができた。

- (1) ボーリング調査結果に基づいて、浅層部を8層に区分することができた。
- (2) C<sub>1</sub>層は粘土層が主体であり、軟弱で収縮しやすい地層である。特に、高田市街地北部では、C<sub>1</sub>層の粘土層が厚く分布しているため、著しい地盤沈下が生じる可能性が高いことが分かった。
- (3) C<sub>2</sub>層もG<sub>1</sub>層、G<sub>2</sub>層という2つの帯水層に挟まれているため、粘土層が著しく収縮する恐れがあり、高田市街地全域にわたって地盤沈下が生じる危険性

地層名	柱状	層厚 (m)	地質
C <sub>0</sub>		2~5	粘土ないし粘土質細砂よりなる。 色調は黄褐色から褐色を呈する。
G <sub>0</sub>		2~5	礫混じり細砂よりなる。 礫の形は円~垂円礫であり、粒径は 2~60mmである。 含水量が高い。
C <sub>1</sub>		45~49	粘土層を主体とし、砂層や礫層を挟在する。 全体的に腐植物を混入する。 南部では砂層や礫層を挟在することが多い。
G <sub>1</sub>		8~14	コブルを含む礫層よりなる。 礫は安山岩、砂岩、粘板岩、チャートを主体とする。 礫の形は、北部では垂角~垂円礫であり、南部では円~垂円礫である。 粒径は 2~200mm である。
C <sub>2</sub>		32~43	粘土と砂の互層よりなる。 南部では砂層に礫が混じる。 粘土層中には腐植物が混入する。
G <sub>2</sub>		37~41	コブルを含む礫層よりなる。 礫種は安山岩を主体とし、チャートも含む。 礫は、北部では 2~100mm の垂角~垂円礫、南部は 2~250mm の円~垂円礫である。 礫径は、南部の方が大きい。
C <sub>3</sub>		6~8+	粘土層よりなる。 腐植物を含み、砂層を挟在する。
G <sub>3</sub>		7+	コブルを含む礫層よりなる。 礫種は安山岩を主体とし、チャートも含む。 礫は、粒径が 2~100mm の円~垂円礫である。

図 3 上越地域における浅層部の総合柱状図

Fig. 3 Compiled geological column in Joetsu district.

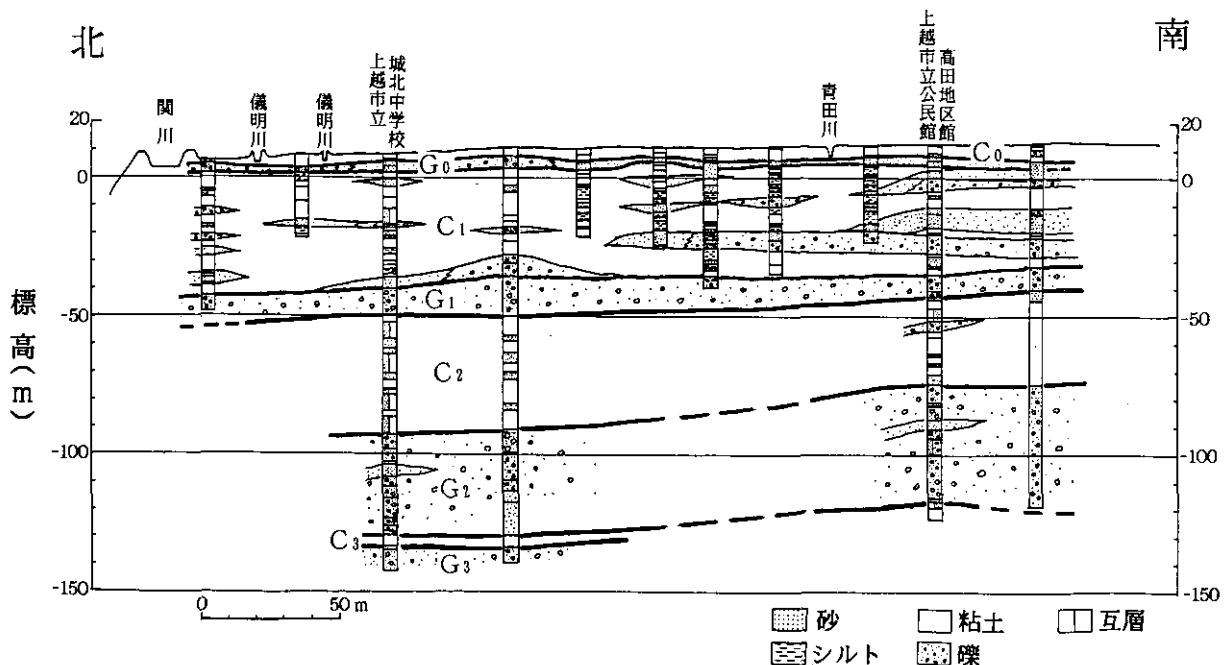


図 4 上越市高田市街地の浅層部の地質断面図

Fig. 4 Geological section at urban Takada, Joetsu.

があることが分かった。

このことから、高田市街地北部ではこれからもG<sub>2</sub>層及びこれよりも浅い帯水層からの冬期の揚水を削減する必要がある。特に、今後襲ってくるであろう豪雪に際し、地下水位の急激な低下を招かないようにすることが、著しい地盤沈下を生じさせないこつともいえる。地盤沈下による被害や調査、対策に要する費用を地下水を採取するための費用に添加すると、地下水の値段は水道水に比べ、非常に高いものとなる。とにかく、地下水はいくら取ってもただという考えを改めさせることが、肝要である。

## 引用文献

- 1) 環境庁水質保全局 (1960) : 全国の地盤沈下地域の概況 (昭和59年度), 16p.
- 2) 関谷一義・陶野郁雄 (1995) : 新潟県上越市高田市街地の浅層部における地下地質と地層の深度別の収縮量. 第30回土質工学研究発表会講演集, pp.161-162.
- 3) 陶野郁雄・大瀧浩司 (1997) : 上越市高田市街地の地盤の圧密性状. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.49-60.
- 4) 陶野郁雄・丸田春樹 (1997) : 新しい地盤沈下観測システムの開発. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.61-68.
- 5) 関谷一義・陶野郁雄 (1997) : 高田平野の地盤沈下. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.11-24.
- 6) 新潟県 (1992) : 浅層沈下評価調査報告書 ー新潟県高田地区一, 88p.

## D 上越市高田市街地における深度別の地層の変動量に関する研究

### Study on Subsidence in Every Section in urban Takada, Joetsu, Niigata

関谷一義<sup>1</sup>・陶野郁雄<sup>2</sup>・鈴木典子<sup>1</sup>・森山 登<sup>1</sup>

Kazuyoshi SEKIYA<sup>1</sup>, Ikuo TOHNO<sup>1</sup>, Noriko SUZUKI<sup>1</sup>, and Noboru MORIYAMA<sup>1</sup>

#### 要 旨

消雪用地下水の揚水による地盤沈下が顕在化している上越市高田市街地において、1991年から1996年まで深度137m以浅の地層の変動量を測定した。豪雪時の地盤沈下が137m以浅で生じていることは既に明らかになっており、本研究では137m以浅をさらに4区分して地層の変動量を求めた。

その結果、深度18~50m間の地層の収縮が最も地盤沈下への寄与が高いことが明らかになった。その寄与率は全沈下量の70%以上であった。18~50m間の地層の寄与が高い原因は、G<sub>1</sub>層（深度50m付近の帯水層）の地下水位の低下が著しいことによるものである。

#### Abstract

At urban Takada in Joetsu, Niigata, Japan, where land subsidence due to pumping out of ground water to melt snow has occurred. From 1991 to 1996, we observed subsidence of layer shallow than 137 m depth, which is Quaternary deposits. It is clear that in heavy snowfall land subsidence has occurred according to compression of layer from the ground surface to depth of 137 m. In this study we classify the layer in four sections.

As a result of observation, it became clear that compression of the bed from 18 to 50 m depth occupied the majority of subsidence. The amounts of compression of that bed accounted for more than 70 percent of the total subsidence. This compression of that bed was caused by remarkable decline of ground water level in G<sub>1</sub> bed, which was confined aquifer about 50 m depth.

#### 1 はじめに

新潟県では、消雪用地下水の揚水による地盤沈下が問題となっている。特に上越市高田市街地では、1984（昭和59）年、1985年、1986年と3年間続いた豪雪時の累積沈下量が19.6cmに達した<sup>1)</sup>。

高田市街地には消雪用井戸が集中して分布しており、最も密に分布する地区では250m四方の範囲内に100本以上の井戸が設置されている<sup>2)</sup>。最近、G<sub>1</sub>層と呼ばれている深度50m付近の帯水層から揚水する井戸が増加して

おり、冬期のG<sub>1</sub>層の地下水位の低下量が他の帯水層より大きいことが指摘されている<sup>3)</sup>。それらの井戸の多くは、新潟県公害防止条例（以下「県条例」という。）の対象外のため、何ら規制を受けることがない。したがって、今後も規制対象外の井戸が増加することが予想され、G<sub>1</sub>層を挟む上下の粘土層の収縮による地盤沈下の進行が懸念されている。

高田市街地の北部に位置する上越市立城北中学校内における観測結果によると、豪雪時には深度137m以浅の地層の収縮によって地盤沈下が生じていることが明らかとなっている<sup>3)</sup>。しかしながら、既存の監視体制では、深度137m以浅のどの地層で収縮が生じているのかを解明することができない。特に、G<sub>1</sub>層を挟む上下の粘土層の収縮状況を明らかにすることが、G<sub>1</sub>層から揚水している県条例対象外の井戸に関する対策を推進する上で、欠くことのできないこととなっている。

1.新潟県衛生公害研究所  
〒950-21 新潟県新潟市曾和314-1  
Niigata Prefectural Research Laboratory for Health and Environment, 314-1 Sowa, Niigata 950-21, Japan.  
2.国立環境研究所 水土壤環境部  
〒305 茨城県つくば市小野川16-2  
Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

そこで、既に設置されている深さの異なる地下構築物の比高の変化を測定することによって、深度137m以浅をさらに細分し、深度別の地層の変動量を求めることにした。

本報告では、深度137m以浅の地層の変動量とその季節的变化及び地盤沈下への寄与について深度別に述べることにする。

## 2 調査地点と観測方法

### 2.1 調査地点の詳細

調査は上越市高田市街地北部に位置する上越市立城北中学校において、1991年6月から1996年8月までの約5年間実施した。その調査位置を図1に示した。同中学校の敷地内には、深度別の地層変動量を把握するため、次に示す地下構築物が設置されている(図2)。

- (1) 深度137mの高田G<sub>2</sub>観測井(以下「137m井」という。)
- (2) 城北中50m観測井(以下「50m井」という。)
- (3) 深度18mのボーリング孔に鋼管を挿入し、その上端に金属標を設置した水準点(以下「パイル式水準点」という。)
- (4) 城北中12m観測井(以下「12m井」という。)
- (5) 水準点

### 2.2 地層の変動量測定方法

地層の変動量は、地表に設置されている水準点を基準として、深度の異なる地下構築物(以下「測定地点」という。)の比高を水準測量によって測定して求めた。水準測量は、降雪期(12月~3月)には毎月、非降雪期(4月~11月)には2カ月ごとに実施した。

各測定地点の比高の変動は、当該測定地点の深さまでの地層の変動量を示している。したがって、同時期の測定地点の変動量の差は、深度別の地層の変動量となる。例えば、ある一定期間における区分I(深度0~12m)の地層の変動量は、水準点の変動量から12m井における管頭の変動量(抜け上がり量)を差し引くことによって求められる。

測定地点とその深度を図2に示した。図中のT-27は基準とした水準点であり、T-27-1は深度18mのパイル式水準点である。また、137m井は深度137mの高田G<sub>2</sub>観測井、50m井は深度50mの観測井、12m井は深度12mの観測井のことである。なお、50m井はT-27水準点か

ら約200m離れているため(図1)、1993年3月以降は50m井の近傍に固定点を設置し、その固定点を基準として比高を測定するようにし、その精度を高めた。

### 2.3 地層の深度区分と地下地質

地層の深度区分を表1及び図2に示した。これらに示されているように、測定地点の深度によって、地表から137mまでの地層を、I、II、III及びIVに区分した。

区分Iは、深度が0~12mの範囲にある地層である。細砂を主体としており、腐植物を含む粘土を挟在している。区分IIは、深度が12~18mの範囲にある地層である。腐植物を混入するシルト質粘土からなっている。区分IIIは、深度が18~50mの範囲にある地層である。腐植物を混入するシルトないし粘土を主体としており、シルト質細砂を挟在している。深度45m以深では粗粒になり、深度45~49mが礫混じり中砂、深度49m以深がコブルを含む礫となっている。なお、コブルとは粒径が75~300mmの範囲にある粗礫よりも大きな粒子のことをいう。区分IVは、深度が50~137mの範囲にある地層である。この地層は、腐植物を含む粘土と細砂の互層を主体とする深度58~100mの部分と、礫を主体とする深度50~58m及び深度100~137mの部分とに大別できる。区分IIIの最下部から区分IVの最上部にかけて存在する深度49~58mの礫層はG<sub>1</sub>層と呼ばれている帯水層に、また深度100m以深の礫を主体とする地層は、G<sub>2</sub>層と呼ばれている帯水層に相当する<sup>4)</sup>。なお、城北中学校内における地表面の標高は、T.P. +8.07mである。

表 1 地層の深度区分

Table 1 Depth classification of layer between 0m to 137m deep at Johoku junior high school, Joetsu, Niigata.

区 分	深度(m)
I	0~ 12
II	12~ 18
III	18~ 50
IV	50~137

## 3 調査結果と考察

### 3.1 深度別の地層の変動量

図3は、深度区分ごとの地層の変動量を示したものである。地表から深度137mまでの地層は、12月から翌年の2月にかけての冬期に収縮し、3月から11月にかけて

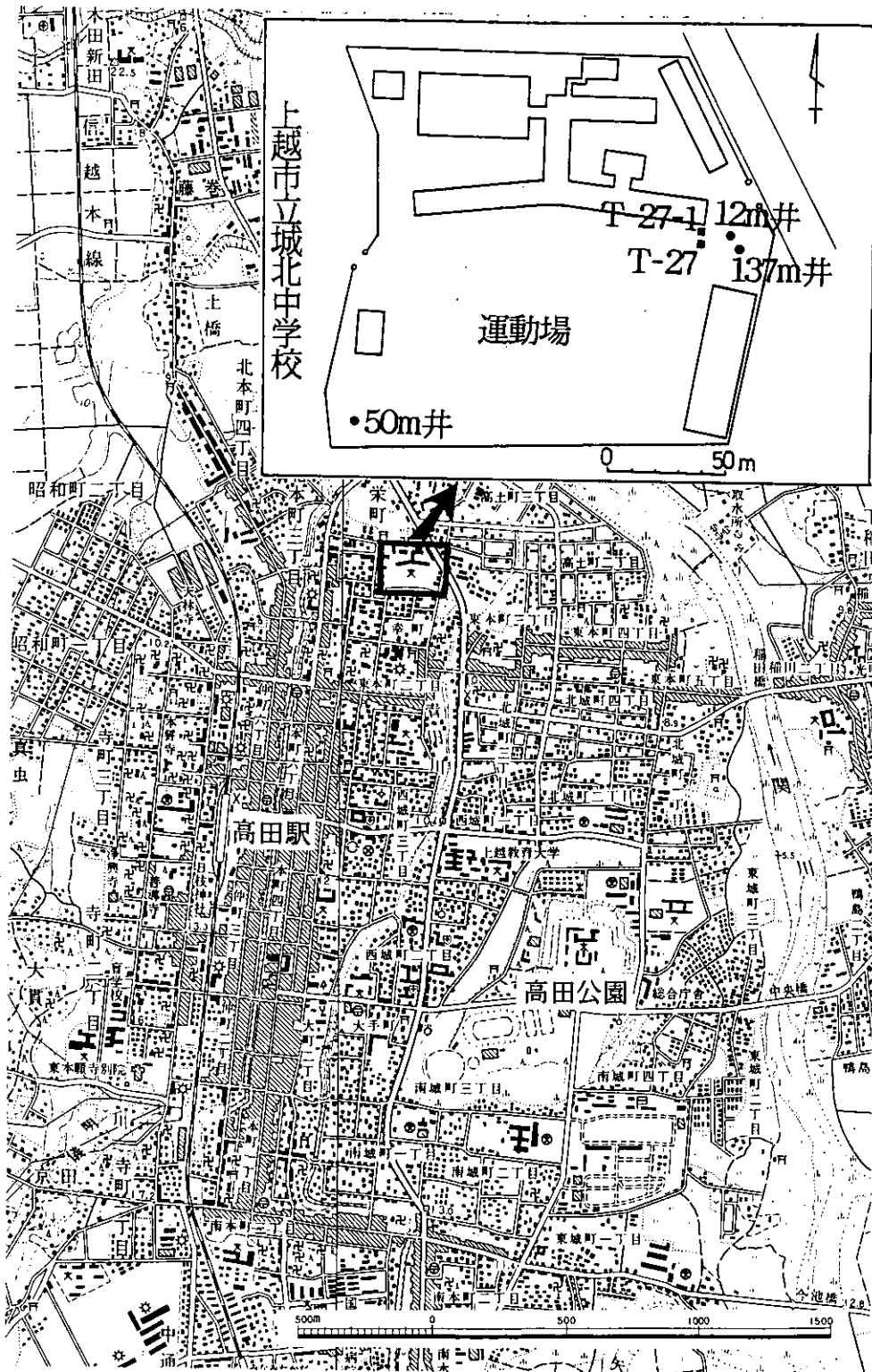


図 1 調査地点の位置図

(■: 水準点, ●: 観測井)

Fig. 1 Location of the study area in Joetsu.

(■: bench mark, ●: observation well)



膨張するパターンを示している（図中の合計）。深度区分ごとの地層の変動量を見ると、区分Ⅰと区分Ⅱは、ほとんど変化しておらず、季節との関わりは認められな

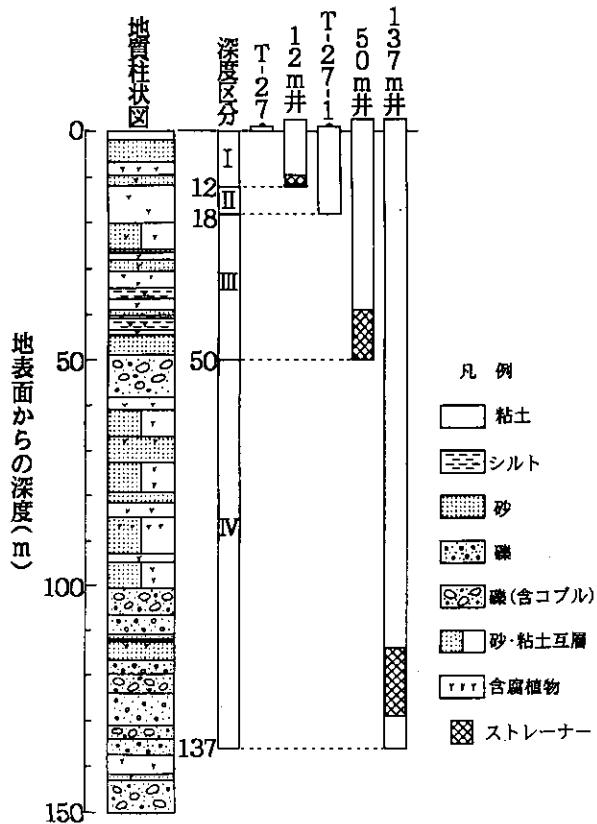


図 2 上越市立城北中学校の地質柱状図と地層の深度区分及び測量によって比高を測定した地下構築物  
 Fig. 2 Geological columnar section, depth classification of layer and equipment of which elevation leveled at Johoku junior high school, Joetsu.

かった。一方、区分Ⅲと区分Ⅳは、冬期に収縮し、春から秋にかけて膨張するという傾向を示していた。地表面から深度137mまでの地層の変動を支配しているのは区分Ⅲと区分Ⅳであり、区分Ⅰと区分Ⅱはほとんど影響を及ぼしていないことがこの図から読みとれる。また、冬期の収縮量は、区分Ⅳよりも区分Ⅲの方が大きく、区分Ⅲが最も大きな影響を及ぼしていることが分かった。

冬期に生じた収縮が春以降にすべて回復することになれば、その収縮は弾性的な変形であり、地盤沈下への寄与はないといえる。図3中に合計として示した地表から深度137mまでの地層の変動を見ると、1992年、1993年は冬期（前年12月から当該年3月まで）の変動量は-20mm未満であり、冬期の収縮は夏期にほとんど回復していた。ところが、1994年以降は冬期の変動量が-20mmを超えており、しかも1994年と1996年は冬期の収縮が夏期になってもあまり回復しなかった。その量は、1994年、1996年ともに11.4mmであった。そこで、図4に回復しなかった収縮量の深度区分別割合を示した。この図によると、夏期に回復しなかった量の深度別の割合は両年とも同様な比率を示していた。すなわち、区分Ⅲの寄与率が最も高く73%、75%となっており、次に区分Ⅳが18%、17%となっていた。残りの10%未満が、区分Ⅰと区分Ⅱであった。

このことから、地表面から深度137mまでの間にある地層の地盤沈下への寄与は区分Ⅲが最も高く、全体の7割以上を占めていることが明らかになった。

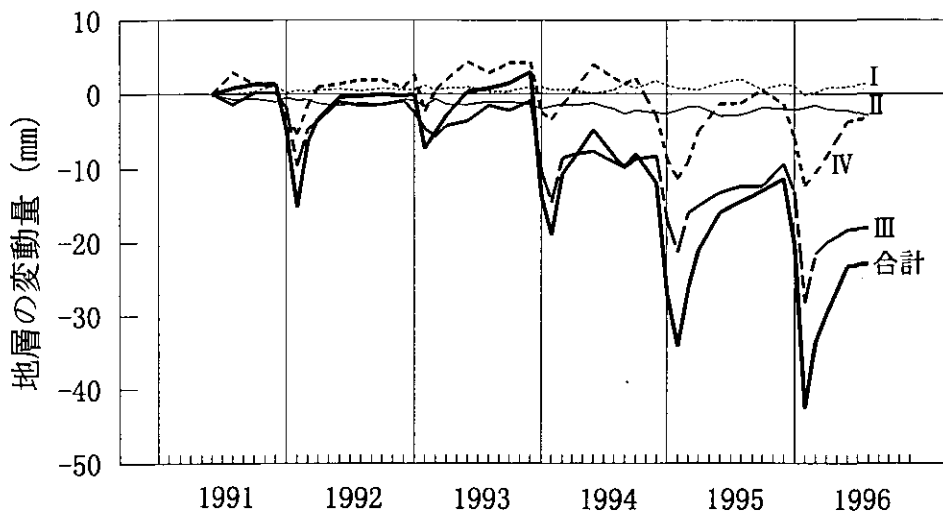


図 3 上越市立城北中学校における深度別の地層の収縮量  
 Fig. 3 Subsidence in every vertical section at Johoku junior high school, Joetsu.

### 3.2 地下水位の変動と地層の収縮

調査地点における帯水層別の地下水位の経年変化を図5に示した。12m井は深度10~12m付近の砂層、50m井はG<sub>1</sub>層、137m井はG<sub>2</sub>層の地下水位を示している。すなわち、12m井は区分Ⅰの、50m井は区分Ⅲの、137m井は区分Ⅳの収縮に最も大きい影響を与える帯水層の地下水位をモニターしていることになる。なお、各観測井のストレーナーの位置は図2を参照されたい。

この図によると、12m井の地下水位は、冬期に1m程度の低下が起こるものの春から夏にかけて回復しており、経年的にはほとんど変動していない。図3をみると、区分Ⅰは地層の変動量がほとんど変化しておらず、12m井の地下水位に対応したものとなっている。また、揚水

量実態調査によると、多くの家庭用の揚水井戸は深度10m以浅に設置されている<sup>2)</sup>。深度10m以浅の帯水層が冬期に涵れることがあるのに対し、12m井の地下水位はほとんど変化していない。このことは、深度12m付近の砂層が薄い(図2)、そこから地下水をあまり揚水していないようであり、信頼される帯水層とはなっていないことを意味しているものと思われる。

図5によると、50m井と137m井の地下水位は、冬期に著しく低下し、春から秋にかけて回復するという傾向を示している。冬期の地下水位低下量は、降雪深とほぼ対応しており、消雪用に供される地下水の揚水量の多寡を反映しているものと考えている。また、図5をみると、冬期の地下水位の低下は137m井より50m井の方が顕著

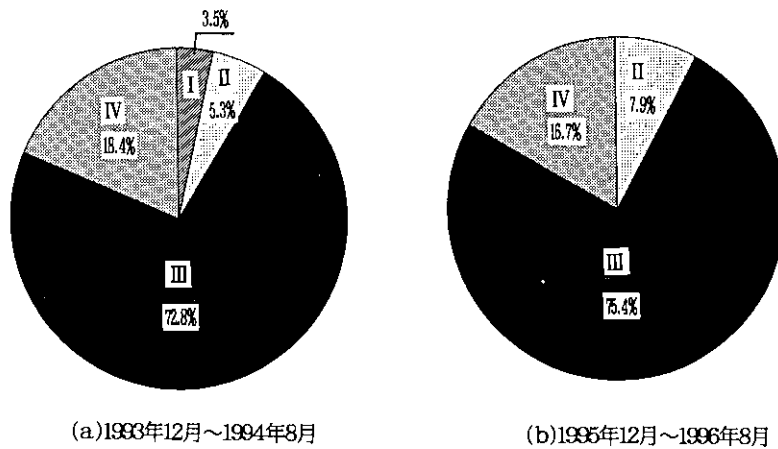


図 4 上越市立城北中学校における沈下に対する深度別の寄与率  
(a) 1993年12月~1994年8月, (b) 1995年12月~1996年8月

Fig. 4 Ratio to subsidence of every layer classification at Johoku junior high school, Joetsu.

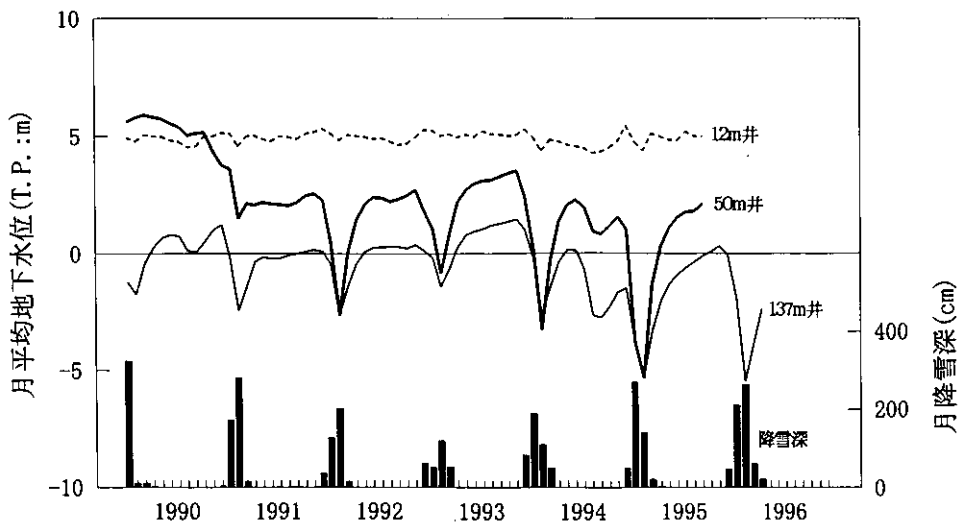


図 5 上越市立城北中学校における帯水層別の地下水位の変化

Fig. 5 Annual variation of ground water level in every aquifer at Johoku junior high school, Joetsu.

であることが分かる。50m 井の地下水位が低下すると、区分Ⅲと区分Ⅳの粘性土層が圧密され、地層の収縮を引き起こすことになる。なお、圧密によって地層が収縮する割合は、区分Ⅲと区分Ⅳの地盤物性に大きな差がない限り、区分Ⅲの方が大きくなる。

図5によると、50m 井の地下水位は、観測を開始した1990年には調査地域の帯水層の中で最も高かった。ところが、1991年の冬期に水位が低下した以降、前年の夏期の水位まで回復せず、経年的に地下水位が若干低下する傾向が現れてきた。区分Ⅲの変動は、図3によれば、1993年までは冬期の収縮が夏期にはほとんど回復していた。ところが、1994年にはその6割程度しか回復しなかった。この時の50m 井の最低地下水位は-6.90m（1時間ごとの測定値）に達していた<sup>5)</sup>。前年の12月1日と比較すると、地下水位の低下量は約11mを記録し、観測開始以来最大となった。この地下水位の低下によって、区分Ⅲの粘性土に圧密降伏応力を超えるような負荷がかかり、過圧密状態から正規圧密状態へと移行したものと推定される。過圧密状態から正規圧密状態に移行する時点の応力を圧密降伏応力というが、この圧密降伏応力に相当する値を地下水位から求められるようになる。地盤沈下を防止するために基準となる地下水位は、圧密降伏応力を根拠としているので、当該地域においても圧密降伏応力に相当する地下水位を算定することにより、基準となる地下水位を設定することが可能となった。

城北中学校では、区分Ⅲの収縮が地盤沈下への寄与が最も高いことが明らかになった。その原因は、50m 井、すなわちG<sub>1</sub>層の地下水位の低下によるものであった。G<sub>1</sub>層の地下水位は、1991年以降低下傾向が顕著となっている。近年、県条例の対象とならない小規模な揚水機を設置してG<sub>1</sub>層から揚水する井戸が増加していることが指摘されていたが<sup>4)</sup>、G<sub>1</sub>層の地下水位の低下とそれに伴う地層の収縮が既に生じていることが明らかになった。

また、深度10m 以浅の浅井戸が冬期に涸れてしまうことや県条例の対象となる消雪用井戸の新規設置がほとんど許可にならないことを考えると、G<sub>1</sub>層から揚水する県条例対象外の井戸が今後とも増加することが十分に予想される。その上、地区によっては、地表から深度約18m までの地層が収縮する懸念も払拭できないことから、今回城北中学校で実施したような浅層部を細分した詳細な調査を市街地中央部や南部においても実施することが望まれる。その調査結果によっては、県条例の改正

を含めた適切な地盤沈下防止対策を推進することが必要となろう。

#### 4 まとめ

上越市高田市街地に位置する上越市立城北中学校において、地表面から深度137m までの地層の深度別収縮量を測定した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 区分Ⅰ（深度0～12m）と区分Ⅱ（深度12～18m）は季節に関わらずほとんど変動しなかった。
- (2) G<sub>1</sub>層の上層である区分Ⅲ（深度18～50m）と下層である区分Ⅳ（深度50～137m）で冬期に収縮することが観測された。
- (3) 深度137m 以浅では、区分Ⅲの収縮が地盤沈下への寄与が最も高かった。
- (4) 区分Ⅲは、1993年までは冬期に収縮した量のほとんどが夏期に回復していたが、1994年においては6割程度しか回復していなかった。1994年の50m 井の地下水位の低下が著しかったことにより、過圧密状態から正規圧密状態へと移行したものと推定される。
- (5) 地盤沈下を防止するために基準となる地下水位は、圧密降伏応力を根拠としているので、当該地域においても圧密降伏応力に相当する地下水位を算定することにより、基準となる地下水位を設定することが可能となった。

#### 謝 辞

新潟県上越保健所の藤巻広司・関 浩樹・加藤健二（当時）・高橋勇人（当時）の各氏、新潟県衛生公害研究所の大関正春（当時）・北嶋永一（当時）・猪股律子（当時）の各氏には、現地での調査において大変お世話になった。ここに、謝意を表する次第である。

#### 引 用 文 献

- 1) 新潟県環境保健部（1988）：新潟県の環境（昭和63年版）. 新潟県, pp.44-46.
- 2) 新潟県（1992）：浅層沈下評価調査報告書 一新潟県高田地区一, 88p.
- 3) 関谷一義・陶野郁雄（1995）：新潟県上越市高田市街地の浅層部における地下地質と地層の深度別の収縮量. 第30回土質工学研究発表会講演集, pp.161-162.
- 4) 関谷一義・陶野郁雄（1997）：高田平野の地盤沈下. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システム, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.11-24.
- 5) 建設省河川局（1996）：地下水位年表（平成6年）, 347p.

## E 上越市高田市街地における地盤の圧密性状

### Consolidation Characteristics of Undisturbed Soil in Urban Takada, Joetsu, Niigata, Japan

陶野郁雄<sup>1</sup>・大瀧浩司<sup>2</sup>

Ikuo TOHNO<sup>1</sup> and Koji OHTAKI<sup>2</sup>

#### 要 旨

新潟県上越市の南部に位置する高田市街地は、日本有数の豪雪地帯として知られている。その雪を消すために地下水を大量に汲み上げるため、冬期に地下水位が著しく低下している。この地下水位低下によって、第四系が圧密されるため、地盤沈下が生じている。

そこで、高田市街地の浅層部の地盤工学的性状を明らかにする目的で、1992年に高田市街地南部の上越市立公民館高田地区館内で、1994年に高田市街地北部の上越市立城北中学校内でボーリング調査を行った。ボーリング調査で得られた不攪乱(乱さない)土試料について標準圧密試験を実施し、その圧密沈下性状を把握した。また、現状の地下水位で今後も推移した場合の沈下予測を試みた。

#### Abstract

Urban Takada, which is situated in the south of Joetsu City, Niigata Prefecture, is one of the typical heavy snowfall areas in Japan. The ground water level is much lowered in winter due to excessive pumping out of ground water to melt snow. Subsidence is caused by consolidation of Quaternary deposits, because of lowering ground water level.

At the urban Takada, Joetsu, it was observed in order to be clear the geotechnical properties of the upper Quaternary deposits. The boring observation was put in operation two sites, which are located the Takada branch of public hall, south of the urban Takada, in 1992, and the Johoku junior high school, north of there, in 1994. Some consolidation tests on undisturbed saturated cohesive soils, which was taken from these observation, were carried out in a laboratory, and the factors that increased the settlement of sample were determined. Simulation of subsidence at the Johoku junior high school was carried out by using the results of the standard consolidation tests.

#### 1 はじめに

新潟県上越市の南部に位置する高田市街地は、日本でも有数の豪雪地帯であり、商店街などでは、古くから歩行を確保するため、雁木を設けているところで知られている。1980年代に入ると、雪を消すために地下水を多量に

揚水するようになったため、1970年代にいったん収まっていた地盤沈下が再び進行するようになった。特に、59豪雪と言われた1984年には10.1cmもの年間沈下量を記録し、年間沈下量全国1の地域となった<sup>1)</sup>。消雪用に用いる地下水は、浅層から揚水しているのがほとんどであり、豪雪時の地盤沈下は、深度137m以浅の地層が収縮することによって生じていることが明らかになっている<sup>2)</sup>。ところが、当該地域においては地盤の工学的性質に関する情報が非常に少なく、特に、圧密性状に関する情報がほとんどなかった。

そこで、国立環境研究所における地盤沈下研究の一環として、上越市高田市街地の北部と南部の2地点でボー

1. 国立環境研究所 水土壤圏環境部

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

2. 茨城大学大学院理工学研究科

〒316 茨城県日立市中成沢4-12-1

Graduate School of Science and Technology, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi, Ibaraki 316, Japan.

リング調査を行うことにした。この調査は、浅層部の地下地質と地盤工学的性質の把握を目的として、オールコア・ボーリングを実施しており、不攪乱（乱さない）土試料の採取を行った。この不攪乱土試料を乱さないように慎重に国立環境研究所に持ち帰って、圧密試験等を実施した。なお、2地点のボーリング調査結果に基づく高田市街地の浅層部の地下地質については文献3)を参照されたい。

本報告は、2地点のボーリング試料による圧密試験結果とそれに基づく高田市街地の地盤の圧密性状と地盤沈下予測について述べる。

## 2 ボーリング調査

### 2.1 調査地点

国立環境研究所の特別経常研究「地盤沈下地域の地盤

調査」の一環として、1992年と1994年にボーリング調査を実施した。図1にそれらの調査地点を示す。

1992年に実施した調査地点は、高田市街地南部に位置する上越市大手町の上越市立公民館高田地区館の敷地内である。このボーリング孔を利用して観測井を設け、新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムを設置した。その詳細は文献4)を参照されたい。

また、写真1はこの付近の道路に設置されている消雪パイプから地下水を散水している状況を示したものである。この付近は消雪パイプを始めとして、消雪用に地下水を揚水している井戸が密集している地域でもある。

1994年に実施した調査地点は、高田市街地北部に位置する上越市栄町の上越市立城北中学校の敷地内である。中学校の敷地内に設置してある観測井などによる調査結果を基に、深度別の地層の収縮量の検討がなされている。



図 1 ボーリング調査地点

Fig. 1 Location of boring sites in urban Takada, Joetsu, Niigata.

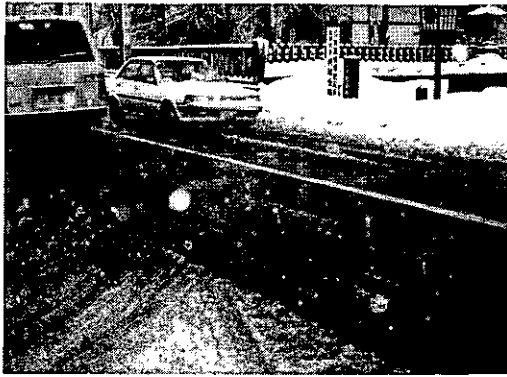


写真 1 上越市立公民館高田地区館付近の道路に設置されている消雪パイプから地下水を散水して雪を消している状況 (1994年2月3日撮影)

Photo. 1 Snow melting by sprinkling ground water from the pipe in road near the Takada branch of public hall, Joetsu as on February 3, 1994.

その詳細は文献5)を参照されたい。

なお、採取した不攪乱土試料は、調査現場内でサンプリングチューブの両端をパラフィンを用いてシールした後、振動や衝撃を与えないようにウレタン等で保護し、速やかに国立環境研究所の土質試験室内にある試料保存庫まで運搬した。

## 2.2 上越市立公民館高田地区館の地盤性状

上越市立公民館高田地区館(以下「高田公民館」という)の敷地内で実施したボーリング調査では、深度115mまで掘削孔径 $\phi$ 116mmのオールコア・ボーリングを行い、それ以深は孔径 $\phi$ 66mmのノンコア・ボーリングとして、深度135mまで掘削した。調査に基づく土質柱状図は、巻末の付録と図4の左側に示してある。

地表から深度1.80mまでは、コンクリートや煉瓦塊等を含む粘土からなる埋土層である。深度1.80~10.80m間は、砂層を主体としており、不圧帯水層となっている。深度10.80~15.50m間は、比較的厚く堆積している礫層である。深度15.50~18.10m間は、粘土と砂の互層からなり、所々に少量の腐植物が混入している。深度18.10~21.25m間は、比較的軟弱な粘土層である。それ以深、深度45.30mまでは礫混じり粗砂を主体とした粘土・砂・礫の互層である。

巻末の付録に示したボーリング柱状図によると、深度54.35~61.65m間、65.95~81.50m間、128.35m以深(深度135.00mまで)に粘性土が比較的厚く堆積している。また、深度45.30~53.30m間と深度85.00~127.40m間

に礫層が存在する。これらの礫層は、消雪用に地下水を多量に汲み上げられており、上位がG<sub>1</sub>層、下位がG<sub>2</sub>層と呼ばれている被圧帯水層である<sup>3)</sup>。

土試料の色調は、地表から深度4.60mまでは黄褐色ないし黄茶褐色、それ以深は暗灰色を呈していた。なお、この調査地点における地表面の標高はT.P.+12.18mであり、無水掘りによる孔内水位は深度8.00mであった。

## 2.3 上越市立城北中学校の地盤性状

上越市立城北中学校(以下「城北中学校」という)内で実施したボーリング調査では、深度100mまで掘削孔径 $\phi$ 116mmとし、それ以深は $\phi$ 66mmとして深度150mまで掘削した。また、粘性土、砂質土についてはコアパッキューブを用いたオールコア・ボーリングとした。

調査に基づく土質柱状図は、巻末の付録と図5の左側に示してある。

地表から深度2.20mまでは、粘土を主体とする埋土層である。深度2.20~6.85m間は、細礫混じりの細砂層である。深度6.85~44.60m間は、粘土を主体とする地層である。所々に細砂層を挟んでおり、全体的に腐植物を含んでいる。特に、深度6.85~9.50m間の粘土層中に貝殻と木片を、深度17.50m付近には木片を混入している。

深度44.60~58.20m間は、礫層である。ただ、深度48.70mまでは砂を多く含んでいる。この礫層は、消雪用に地下水を多量に汲み上げられているG<sub>1</sub>層と呼ばれている帯水層である。深度58.20~100.65m間は、粘土と細砂の互層からなっている。全体的に腐植物を含んでおり、深度58.20~61.00m間の粘土層中には貝殻が混入している。それ以深、深度137.30mまでは礫層である。この礫層は、G<sub>2</sub>層と呼ばれている良質な帯水層である。

土試料の色調は、地表から深度2.20mまでは黄茶褐色、深度2.20~4.70mまでは暗褐灰色、それ以深は暗青灰色を呈していた。なお、ボーリング調査地点における地表面の標高はT.P.+8.07mであり、無水掘りによる孔内水位は深度2.30mであった。

## 3 圧密試験とその結果

### 3.1 圧密試験装置

圧密試験に用いたのは、1982年に著者の一人である陶野が開発した空圧式の全自動圧密試験装置である。本装置は繰返し圧密試験用に開発したものであるが、標準圧密試験を行うこともできる。写真2と図2に本試験装置

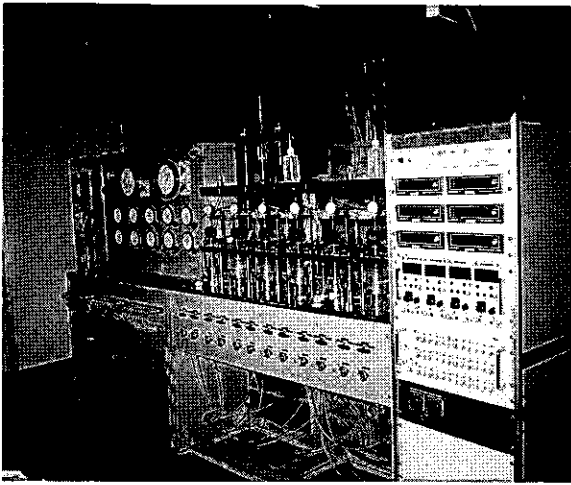


写真 2 空圧式全自動圧密試験装置  
Photo.2 Automatic oedometer apparatus with compressed air.

の全体を、図3にその模式系統図<sup>6)</sup>を示す。この装置は、直径60mm、高さ20mmの円柱形土供試体を圧密容器内に設置し、試験制御装置に載荷時間、載荷荷重、対象となる供試体番号など、所定の試験条件を入力すれば、試験開始から終了まで自動的に制御し、データを収録することができる。なお、開発当初はアナログ式のミニ・コンピュータを用いて試験の制御とデータの収録を行っていたが、その後パーソナル・コンピュータ(PC-98XL<sup>2)</sup>)を用いて試験を行えるように、装置の一部を改造して今日に至っている。

載荷は空気圧で行っているため、任意の上載圧を設定することも可能であるが、今回の試験は標準圧密試験で

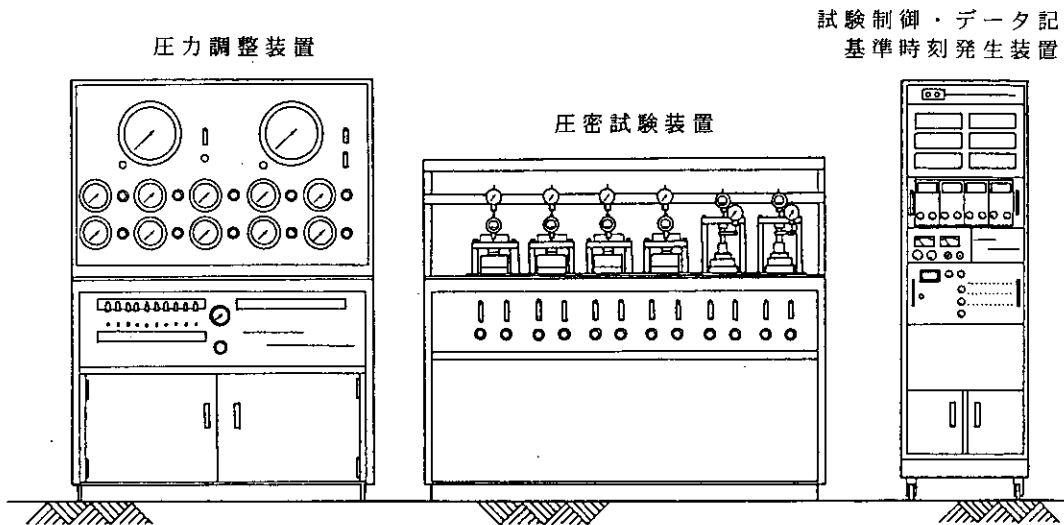


図 2 空圧式全自動圧密試験装置  
Fig. 2 Appearance of automatic oedometer apparatus with compressed air.

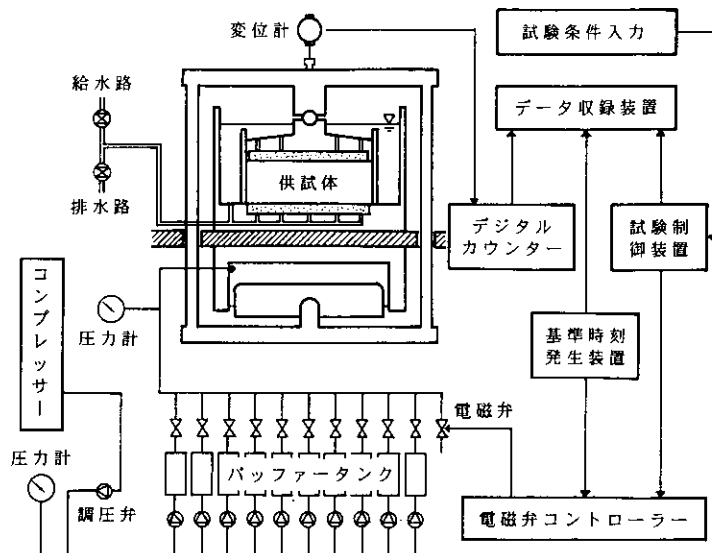


図 3 空圧式全自動圧密試験装置の模式図<sup>6)</sup>  
Fig. 3 Schematic illustration of automatic oedometer apparatus<sup>6)</sup>.

あるので、載荷時間は24時間、載荷条件は $0.1\text{kgf/cm}^2$ 、 $0.2\text{kgf/cm}^2$ というように各段階が2倍の載荷応力(荷重)になるように固定しており、最低応力 $0.05\text{kgf/cm}^2$ から最大応力 $25.6\text{kgf/cm}^2$ まで10段階設定し、バッファータンク内に所定の圧力を貯蔵した。すなわち、コンプレッサーから供給されている約 $10\text{kgf/cm}^2$ の空気圧を一次と二次の調圧弁で減圧し、10個のバッファータンク内に、それぞれ所定の圧力を貯蔵した。基準時刻発生器によって示された時刻が所定の時間になったとき、電磁弁コントローラーが所定の圧力を封じている電磁弁を開くようにしてある。電磁弁が開かれると、バッファータンクからペロフラムシリンダー内に圧力が導かれ、供試体が載荷される。

変位計から送られた変位量は、デジタルカウンターを通して1秒間隔で送られ、最大6個の供試体の内1つ以上1秒前と異なる変位量を示した場合、パソコンにセットされているフロッピーディスクかあるいはハードディスクに時刻とともに記録される。なお、この装置の詳細は文献7)を参照されたい。

### 3.2 標準圧密試験結果

標準圧密試験は、1シリーズ10日ないし15日で実施した。圧密試験が行える時間に合わせて試験時間を決めたため、試験日数は一定していない。採取深度と土質から算定した上載圧に相当する応力段階が4段階目と5段階目の間になるように設定し、7ないし8段階載荷し、その後試験日程に合わせて除荷し、さらに時間が余った場合には最小応力で試験終了時間まで保持させた。

表1～2は圧密試験に用いた供試体の一覧表である。高田公民館地点は表1に、城北中学校地点は表2に示した。標準圧密試験を高田公民館地点で3供試体、城北中学校地点で19供試体について行った。採取深度は塩化ビ

ニール管から取り出した乱さない試料の上端からの相対距離から算出した。土質名・記事は供試体成形時の観察によるものである。また、湿潤密度、乾燥密度、初期含水比、比重、初期間隙比、飽和度は、供試体成形後に計測した値から算出したものである。なお、比重は土粒子の密度のことである。地下水面下から採取した試料から供試体を作製したので、飽和度は本来100%となるべきところであるが、試料採取から供試体作製までの間に若干水分を失う可能性が高いことに加え、実験室内で供試体を作製する際、試料を削り取って供試体を作製した時の削り取った土の小片の一部を集めて計測したことも加わり、平均飽和度は92%まで低下していた。

表3は高田公民館地点、表4は城北中学校地点における圧密試験結果を示したものである。初期高さは、厚さ20mmの基準板をセットして圧密容器を組み立て、デジタル・カウンターの値を0にしておき、供試体をセットしたときのデジタル・カウンターの値との差から求めたものである。

図4は高田公民館地点、図5は城北中学校地点におけるボーリング柱状図と標準圧密試験結果を図示したものである。また、図6は高田公民館地点、図7は城北中学校地点における有効応力、全応力と圧密降伏応力との関係を示したものである。

図8は高田公民館地点、図9は城北中学校地点における代表的な圧密係数 $c_v$ 及び体積圧縮係数 $m_v$ と平均圧密圧力 $p$ との関係を図示したものである。

なお、上越市と同様に、豪雪地域でしかも消雪用に地下水を多量に揚水している六日町の圧密試験結果と比較できるようにするため、上記の図表は現在の地盤工学会の表記法とは若干異なる点もあるが、六日町の場合と同様なスタイルで作成した<sup>7)</sup>。

表 1 上越市立公民館高田地区館地点の供試体一覧表

Table 1 List of properties taken from soil specimens at Takada branch of public hall, Joetsu.

番号	採取深度 (m)	試料番号	土質名 記事	湿潤密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	乾燥密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	初期含水比 (%)	土粒子比重	初期間隙比	飽和度 (%)
1	16.63～16.66	U-2-2	シルト質粘土 ほぼ均質である	1.787	1.345	37.0	2.748	1.043	97.5
2	29.15～29.18	U-4-3	粘土 所々腐植物混入	1.760	1.245	41.4	2.690	1.161	95.9
3	29.48～29.51	U-4-5	粘土 所々腐植物混入	1.760	1.243	41.6	2.703	1.175	95.7



表 2 上越市立城北中学校地点の供試体一覧表  
Table 2 List of properties taken from soil specimens at Johoku junior high school, Joetsu.

番号	採取深度 (m)	試料番号	土質名 記 事	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	初期含水比 (%)	土粒子比重	初期間隙比	飽和度 (%)
1	8.58~8.61	1-1-5	粘土 ほぼ均質である	1.638	1.016	61.2	2.737	1.694	98.9
2	18.09~18.12	1-3-2	粘土 所々腐植物混入	1.618	1.062	52.4	2.675	1.519	92.3
3	28.06~28.09	1-4-2	シルト質細砂 ほぼ均質である	1.744	1.266	37.8	2.807	1.217	87.2
4	31.28~31.31	1-5-3	粘土 腐植物少量混入	1.562	1.034	51.0	2.755	1.664	84.4
5	31.38~31.41	1-5-4	粘土 ほぼ均質である	1.584	1.006	57.4	2.845	1.828	89.3
6	31.77~31.80	1-5-6	粘土 腐植物少量混入	1.639	1.096	49.5	2.774	1.531	89.7
7	35.16~35.19	1-6-2	シルト質粘土 ほぼ均質である	1.739	1.250	39.1	2.769	1.215	89.1
8	42.90~42.93	1-7-4	粘土 所々腐植物混入	1.657	1.082	53.2	2.803	1.591	93.7
9	62.10~62.13	1-8-2	粘土 下部砂質分含む	1.844	1.396	32.1	2.789	0.998	89.7
10	63.19~63.22	1-9-3	粘土 下部崩れやすい	1.740	1.258	38.3	2.769	1.201	88.3
11	70.22~70.26	1-10-3	砂質シルト 所々クラック有	1.769	1.293	36.8	2.711	1.097	90.9
12	70.34~70.37	1-10-4	砂質シルト 下部砂質分含む	1.756	1.254	40.0	2.691	1.146	93.8
13	75.21~75.24	1-11-3	シルト質粘土 所々腐植物混入	1.850	1.415	30.7	2.713	0.917	90.8
14	82.70~82.73	1-12-2	粘土 ほぼ均質である	1.845	1.398	32.0	2.747	0.965	91.1
15	82.87~82.90	1-12-3	粘土 下部クラック有	1.845	1.399	30.4	2.689	0.922	88.7
16	85.06~85.09	1-13-2	シルト質細砂 所々腐植物混入	1.898	1.433	31.5	2.770	0.920	94.8
17	85.23~85.26	1-13-3	シルト質細砂 所々腐植物混入	1.824	1.372	32.9	2.671	0.947	92.9
18	85.93~85.96	1-14-2	シルト質細砂 所々腐植物混入	1.852	1.392	33.1	2.712	0.948	94.7
19	98.28~98.31	1-16-3	シルト 所々クラック有	1.900	1.488	27.7	2.755	0.851	89.7

表 3 上越市立公民館高田地区館地点における圧密試験結果  
Table 3 Results of standard consolidation tests at Takada branch of public hall, Joetsu.

番号	採取深度 (m)	土質名	湿潤重量 (g)	乾燥重量 (g)	初期高さ (cm)	降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮指数	t <sub>90</sub> (sec)	圧密係数 (cm <sup>2</sup> /d)	体積圧縮係数 (cm <sup>2</sup> /kgf)	透水係数 (cm/d)
1	16.63~16.66	シルト質粘土	104.6	76.37	2.070	3.81	0.39	49	1890	(×10 <sup>-2</sup> ) 1.04	(×10 <sup>-3</sup> ) 19.6
2	29.15~29.18	粘土	102.3	72.36	2.056	4.42	0.42	46	1550	0.516	8.02
3	29.48~29.51	粘土	103.7	73.23	2.084	4.64	0.39	31	2410	0.302	7.28

表 4 上越市立城北中学校地点における圧密試験結果

Table 4 Results of standard consolidation tests at Johoku junior high school, Joetsu.

番号	採取深度 (m)	土質名	湿潤重量 (g)	乾燥重量 (g)	初期高さ (cm)	降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮指数	t <sub>90</sub> (sec)	圧密係数 (cm <sup>2</sup> /d)	体積圧縮係数 (cm <sup>2</sup> /kgf)	透水係数 (cm/d)
1	8.58~8.61	粘土	97.4	60.42	2.104	1.25	0.50	2430	28.5	4.84	11.9
2	18.09~18.12	粘土	89.4	58.66	1.983	2.59	0.61	432	168	2.77	40.2
3	28.06~28.09	シルト質細砂	105.4	76.49	2.137	2.04	0.31	138	492	1.47	62.5
4	31.28~31.31	粘土	96.2	63.71	2.179	3.35	0.63	290	236	2.09	4.93
5	31.38~31.41	粘土	96.0	60.98	2.143	3.70	0.71	375	176	2.08	3.66
6	31.77~31.80	粘土	103.6	69.30	2.236	3.22	0.48	240	266	1.96	45.0
7	35.16~35.19	シルト質粘土	103.0	74.05	2.095	4.90	0.22	25	2670	0.352	81.2
8	42.90~42.93	粘土	103.5	67.56	2.209	4.30	0.46	11	6860	0.494	293
9	62.10~62.13	粘土	114.2	86.45	2.191	6.22	0.27	21	3570	0.384	118
10	63.19~63.22	粘土	107.1	77.44	2.177	4.48	0.34	469	137	1.24	14.6
11	70.22~70.26	砂質シルト	106.6	77.92	2.132	5.09	0.22	15	4350	0.510	192
12	70.34~70.37	砂質シルト	106.3	75.95	2.141	8.50	0.46	15	4800	0.674	32.3
13	75.21~75.24	シルト質粘土	103.7	79.34	1.983	8.64	0.27	15	3780	0.333	109
14	82.70~82.73	粘土	106.2	80.45	2.036	7.50	0.33	135	460	0.680	27.0
15	82.87~82.90	粘土	112.6	86.34	2.182	7.55	0.28	55	1370	0.456	6.24
16	85.06~85.09	シルト質細砂	109.1	82.97	2.033	5.99	0.21	44	1660	0.240	34.4
17	85.23~85.26	シルト質細砂	110.2	82.89	2.136	8.50	0.28	8	8590	0.356	30.6
18	85.93~85.96	シルト質細砂	107.3	80.82	2.049	9.82	0.36	19	3170	0.283	75.0
19	98.28~98.31	シルト	112.0	86.68	2.085	11.3	0.32	55	1150	0.433	43.1

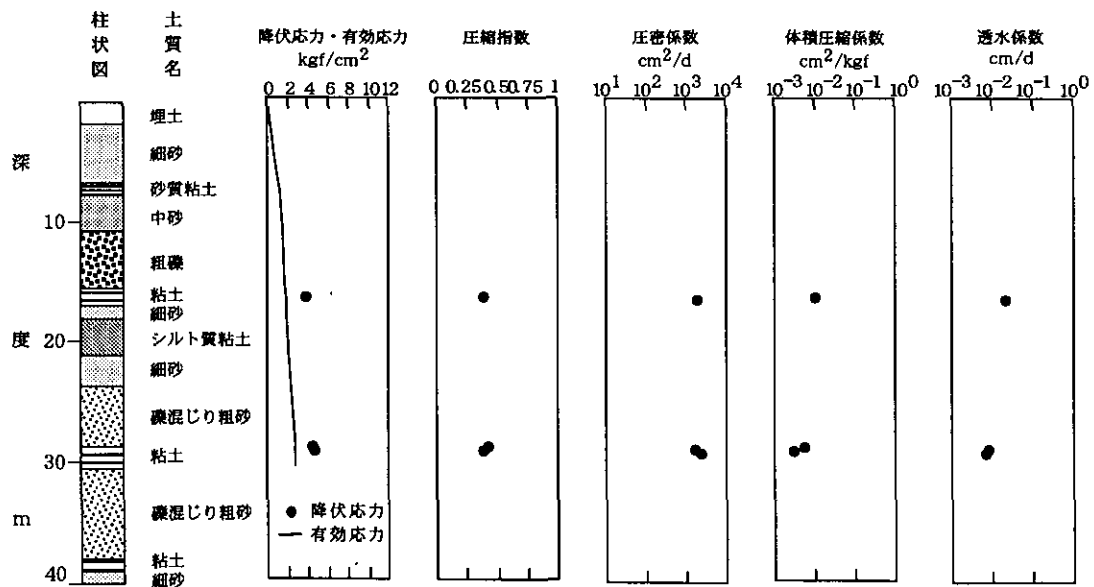


図 4 上越市立公民館高田地区館地点における圧密試験結果と土質

Fig. 4 Boring log and results of standard consolidation tests at Takada branch of public hall, Joetsu.

#### 4 圧密試験結果の考察

##### 4.1 圧密降伏応力

高田市街地北部に位置する上越市立城北中学校では、図7でも明らかなように、深度100m付近まで粘性土が比較的厚く堆積している。しかも、圧密降伏応力が有効

(上載) 応力線上から全 (上載) 応力線と有効応力線の間までの間にほとんど分布しており、やや過圧密な状態になっている。このようなことから、今後も静的な圧密沈下がある程度進行していくことが予想される。これに冬期の地下水位低下に伴う繰返し圧密現象による沈下

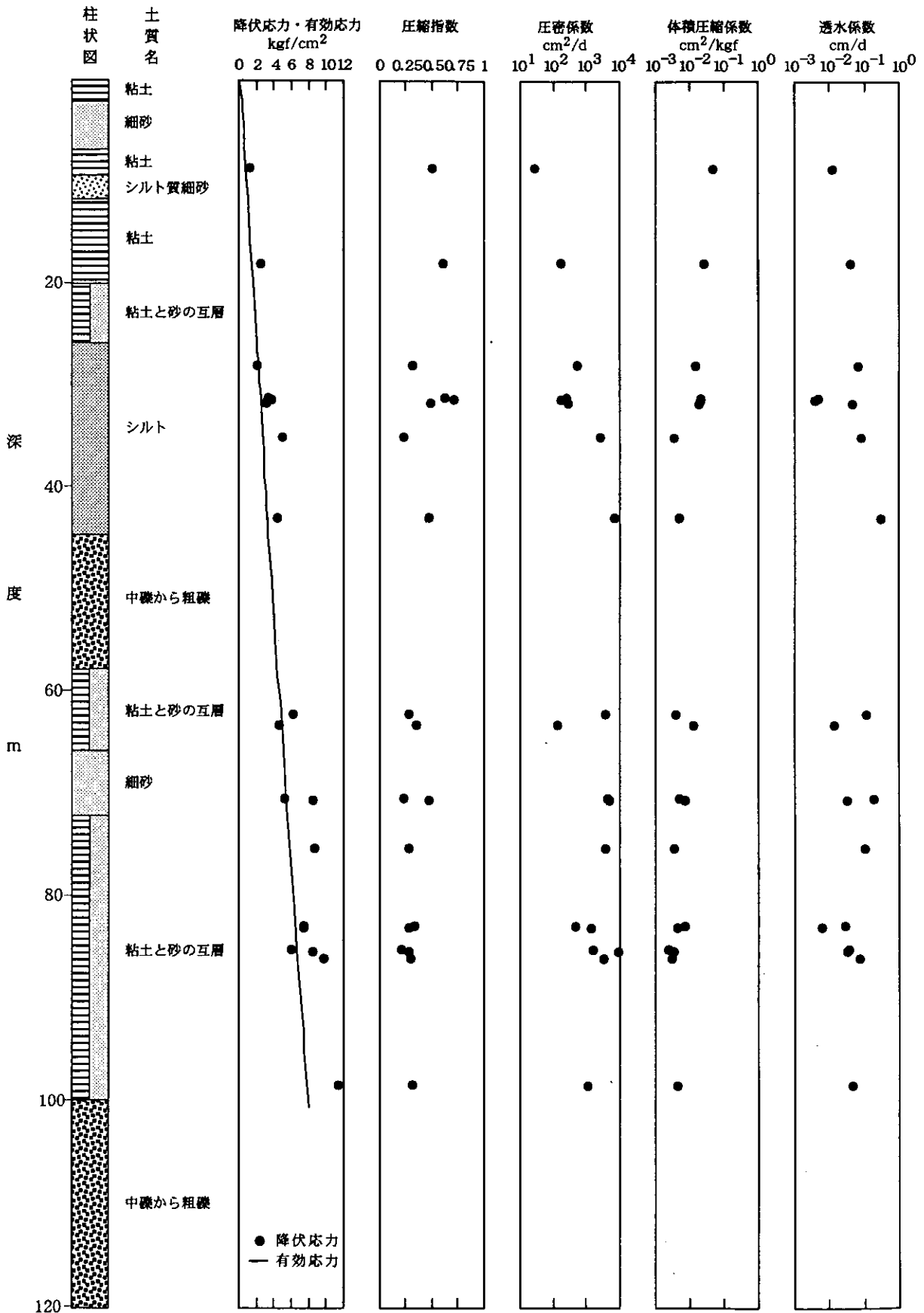


図 5 上越市立城北中学校地点における圧密試験結果と土質

Fig. 5 Boring log and results of standard consolidation tests at Johoku junior high school, Joetsu.

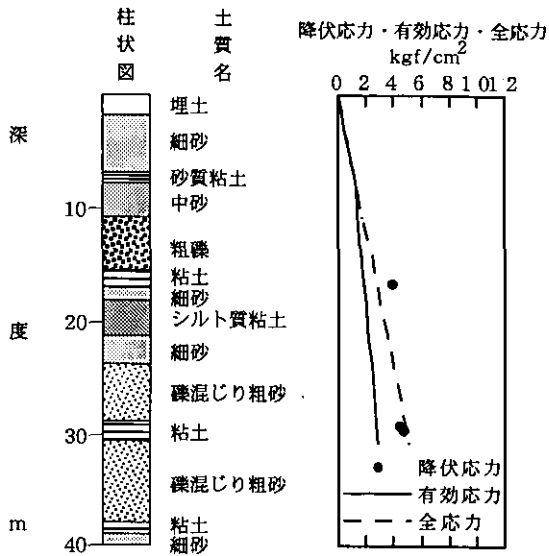


図 6 上越市立公民館高田地区館地点における地盤の応力と圧密降伏応力との関係

Fig. 6 Relationship between stress of ground and consolidation yield stress at Takada branch of public hall, Joetsu.

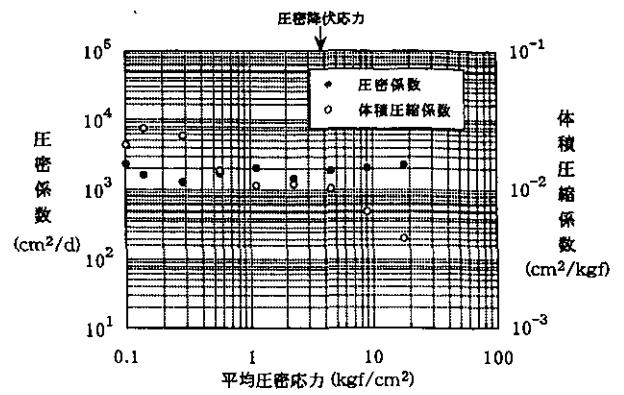


図 8 上越市立公民館高田地区館地点における平均圧密圧力と圧密係数及び体積圧縮係数との関係

Fig. 8 Relationship between coefficient of volume compressibility, coefficient of consolidation and mean consolidation pressure at Takada branch of public hall, Joetsu.

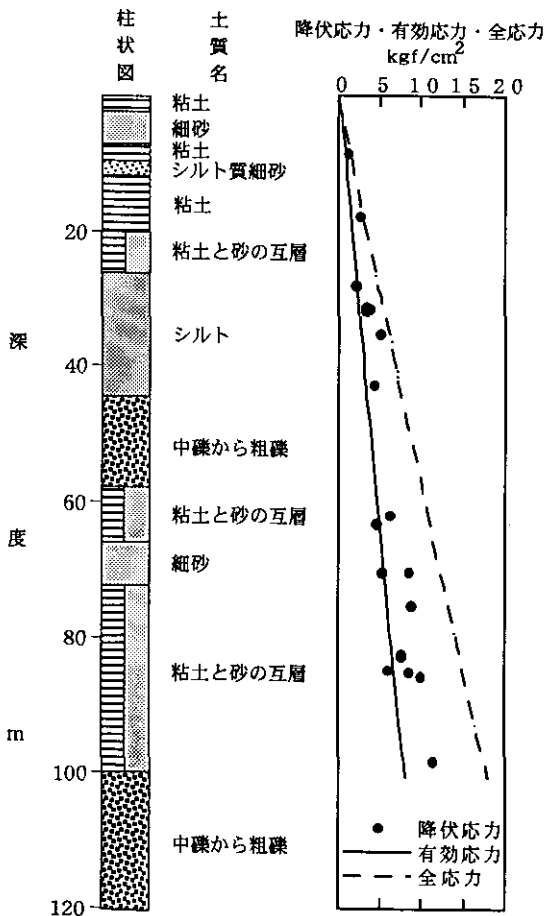


図 7 上越市立城北中学校地点における地盤の応力と圧密降伏応力との関係

Fig. 7 Relationship between stress of ground and consolidation yield stress at Johoku junior high school, Joetsu.

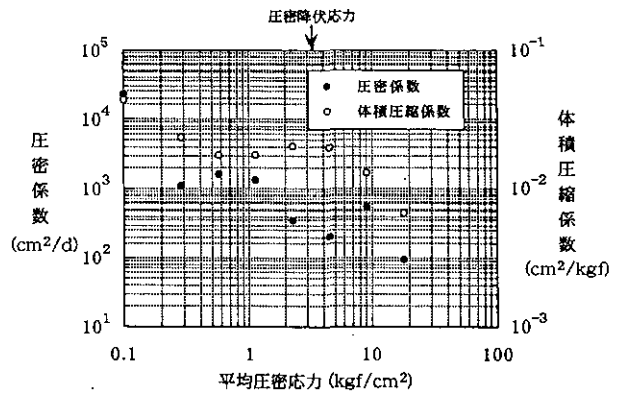


図 9 上越市立城北中学校地点における平均圧密圧力と圧密係数及び体積圧縮係数との関係

Fig. 9 Relationship between coefficient of volume compressibility, coefficient of consolidation and mean consolidation pressure at Johoku junior high school, Joetsu.

が加わることを考慮すれば、今後とも地盤沈下に対し、警戒をしていかなければならない地区といえ、表層の不圧帯水層、 $G_1$ 層、及び $G_2$ 層の冬期における地下水位の急激な低下を生じさせないようにする必要がある。

一方、高田市街地南部に位置する上越市立公民館高田地区館では、図6でも明らかなように、深度40m以浅にシルトや粘土といった粘性土があまり厚く堆積していない。しかも、圧密降伏応力がほぼ全応力線上にあり、静的な一次圧密沈下が終了した状態にある。このことは、新たに設置した観測システムによって測定した深度35mまでの地層収縮量が2年間で約3mmと、比較的小なかつたことも符合している<sup>4)</sup>。このことから深度40m以浅では、今後静的な圧密沈下はあまり生じないよう

あり、深度15.50mまでの浅層の不圧地下水を現状程度揚水しても、著しい沈下は生じないものと考えられる。しかし、深度54m以深には粘性土がかなり厚く堆積しているので、G<sub>1</sub>層、G<sub>2</sub>層から今までのように地下水を揚水すれば、引き続き沈下が進行することが予想される。

なお、圧密降伏応力が有効応力線上にある状態を正規圧密状態という。正規圧密状態では、少しでも地下水位が低下すれば、地層が圧密され、収縮することになる。

#### 4.2 体積圧縮係数・圧密係数

図5をみると、体積圧縮係数は深くなるほど小さく、圧密係数は逆に大きくなる傾向を示している。このように、両係数は土質だけでなく、深さ（上載応力）による影響も受けることが分かる。

図8と図9に示した体積圧縮係数の対数と平均圧密応力の対数との関係を見ると、圧密降伏応力以下では圧密応力の変化に対応して体積圧縮係数は変動し、圧密降伏応力以上になると圧密応力の増加に逆比例して減少するという一般的な傾向を示している。とくに、図9は教科書に載せてもいいような典型的な関係を示している。

圧密係数の対数と平均圧密応力の対数との関係は、一般に次のような傾向がある。粘性土は、圧密降伏応力付近で応力の増加に逆比例して圧密係数が減少する傾向を示し、砂質土は圧密応力の変化に拘わらず圧密係数はほぼ一定の値を示すのが普通である。図9の城北中学校の場合は、全体的に少しばらついているものの、圧密降伏応力付近で圧密応力の増加に比例して圧密係数が減少しており、粘性土の特徴が現れている。ところが、図8の高田公民館の場合は、圧密応力に関係なく圧密係数がほぼ一定の値を示しており、砂質土の傾向を示している。表3を見ると、この供試体は土質名がシルト質粘土となっているが透水係数が大きくこの点でも砂質シルトのような性質を有している。一般に、砂分が多く含まれる程、普通の粘性土に比べ圧密沈下量が著しく小さくなり、しかも圧密終了時間が極端に短くなる傾向にある。

#### 4.3 地盤沈下の予測

城北中学校の標準圧密試験結果を基とし、現在までのどの程度浅層において沈下が生じていたのか、あるいは今後どの程度浅層において沈下が生じる可能性があるかについて解析を行った。

図5の左側及び巻末の付録に示したボーリング柱状図

から地盤沈下の対象層を2層に区分した。すなわち、深度6.9～44.6mを上層とし、深度58.2～100.6mを下層とした。

また、地盤沈下量は次式を用いて求めることにした。

$$S = \frac{C_c}{1+e} \cdot H \cdot \log \frac{p+\Delta p}{p} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta S = S \cdot U \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

- S : 最終沈下量 (cm)
- ΔS : 現在までの沈下量 (cm)
- C<sub>c</sub> : 圧縮係数
- e : 間隙比
- H : 層厚 (cm)
- p : 有効上載圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- Δp : 増加上載圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- U : 圧密度

地下水を揚水する以前の自然地下水位は地表面にあり、深さ方向に静水圧分布するものと仮定した。1 (Δp<sub>1</sub>) は暖冬の最低地下水位の平均値まで地下水位が低下した場合を想定したものである。すなわち、表層の地下水位が深度6.8m、深度50m付近のG<sub>1</sub>層の地下水位が深度14.1m、深度110m付近のG<sub>2</sub>層の地下水位が深度14.8mになったものとして、最終沈下量 (S<sub>1</sub>) を求めた。また、2 (Δp<sub>2</sub>) は、豪雪年の最低地下水位の平均値まで地下水位が低下した場合を想定したものである。すなわち、表層の地下水位が深度6.9m、G<sub>1</sub>層及びG<sub>2</sub>層の地下水位が深度22.1mになったものとして、最終沈下量 (S<sub>2</sub>) を求めた。

現在までの沈下量を求めるには(2)式でも分かるように、圧密度を求める必要がある。圧密度は、試験で求めた圧密降伏応力から算定し、上層を図10に、下層を図11に示した。なお、最大試験誤差は、標準圧密試験の荷重段階が2倍であるので、圧密降伏応力の0.707倍と1.41倍として求めた。

表5は上層の、表6は下層の推定に用いた数値とそれによって求めた結果を示したものである。暖冬年における最低地下水位を想定した場合、上層の最終沈下量を合計すると163.1cm、下層のそれは59.9cmとなり、深度101mまでの総沈下量は223cmと推定された。同様に、豪雪年における最低地下水位を想定した場合、上層の最

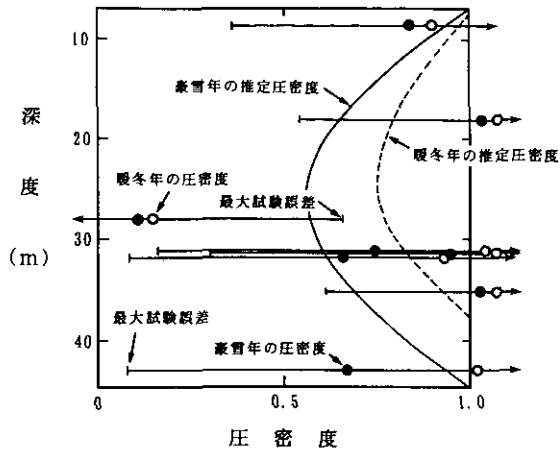


図 10 上越市立城北中学校地点における上層の推定圧密度  
 Fig. 10 Estimated degree of consolidations of upper cohesive layer at Johoku junior high school, Joetsu.

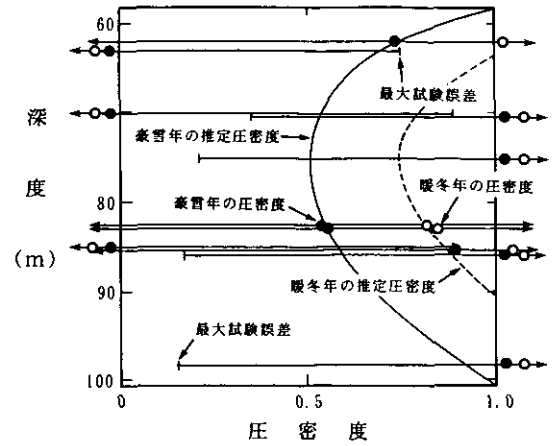


図 11 上越市立城北中学校地点における下層の推定圧密度  
 Fig. 11 Estimated degree of consolidations of lower cohesive layer at Johoku junior high school, Joetsu.

表 5 上越市立城北中学校地点の上層の沈下量計算結果

Table 5 Results of settlement calculation of upper cohesive layer at Johoku junior high school, Joetsu.

深 度 (m)	平均深度 (m)	層厚 (cm)	間隙比 e	圧縮指数 $C_c$	有効上載圧 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) p	増加上載圧 ( $\text{kgf/cm}^2$ )		最終沈下量 (cm)		圧 密 度		現在の沈下量 (cm)	
						$\Delta p_1$	$\Delta p_2$	$S_1$	$S_2$	$U_1$	$U_2$	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$
6.9-9.5	8.20	260	1.70	0.50	0.584	0.705	0.742	16.6	17.1	0.980	0.950	16.2	16.3
9.5-11.7	10.60	220	1.30	0.30	0.746	0.752	0.839	8.7	9.4	0.925	0.860	8.0	8.1
11.7-16.0	13.85	430	1.55	0.61	0.954	0.815	0.970	27.6	31.3	0.860	0.755	23.7	23.7
16.0-20.0	18.00	400	1.55	0.61	1.207	0.895	1.137	23.1	27.6	0.790	0.650	18.2	17.9
20.0-24.0	22.00	400	1.60	0.50	1.463	0.972	1.299	17.0	21.2	0.755	0.585	12.8	12.4
24.0-27.9	25.95	390	1.60	0.50	1.726	1.049	1.458	15.5	19.9	0.750	0.560	11.6	11.2
27.9-30.6	29.25	270	1.10	0.30	1.962	1.113	1.591	7.5	9.9	0.790	0.580	5.9	5.8
30.6-33.6	32.10	300	1.70	0.63	2.152	1.168	1.706	13.2	17.7	0.850	0.620	11.2	11.0
33.6-36.6	35.10	300	1.40	0.35	2.340	1.226	1.827	8.0	11.0	0.930	0.685	7.4	7.5
36.6-39.1	37.85	250	1.65	0.60	2.526	1.279	1.938	10.1	14.0	1.00	0.760	10.1	10.6
39.1-41.7	40.40	260	1.40	0.40	2.698	1.329	2.041	7.5	10.6	1.00	0.845	7.5	9.0
41.7-44.6	43.15	290	1.55	0.43	2.881	1.382	2.152	8.3	11.8	1.00	0.940	8.3	11.1

なお、 $\Delta p_1$ ,  $S_1$ ,  $U_1$ ,  $\Delta S_1$ は暖冬年の平均地下水位、 $\Delta p_2$ ,  $S_2$ ,  $U_2$ ,  $\Delta S_2$ は豪雪年の平均地下水位で解析した結果である。

表 6 上越市立城北中学校地点の下層の沈下量計算結果

Table 6 Results of settlement calculation of lower cohesive layer at Johoku junior high school, Joetsu.

深 度 (m)	平均深度 (m)	層厚 (cm)	間隙比 e	圧縮指数 $C_c$	有効上載圧 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) p	増加上載圧 ( $\text{kgf/cm}^2$ )		最終沈下量 (cm)		圧 密 度		現在の沈下量 (cm)	
						$\Delta p_1$	$\Delta p_2$	$S_1$	$S_2$	$U_1$	$U_2$	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$
58.2-61.0	59.60	280	1.30	0.48	4.402	1.412	2.210	7.1	10.3	1.00	0.890	7.1	9.2
61.0-66.7	63.85	570	1.15	0.31	4.730	1.419	2.210	9.4	13.7	0.980	0.670	9.2	9.2
66.7-70.5	68.60	380	1.10	0.27	5.103	1.427	2.210	5.2	7.6	0.825	0.560	4.3	4.3
70.5-72.5	71.50	200	0.90	0.20	5.339	1.432	2.210	2.2	3.2	0.770	0.525	1.7	1.7
72.5-75.9	74.20	340	1.00	0.30	5.572	1.436	2.210	5.1	7.4	0.745	0.510	3.8	3.8
75.9-79.3	77.60	340	1.00	0.30	5.861	1.442	2.210	4.9	7.1	0.755	0.510	3.7	3.6
79.3-81.5	80.40	220	0.90	0.20	6.104	1.447	2.210	2.1	3.1	0.780	0.525	1.7	1.6
81.5-84.7	83.10	320	0.95	0.30	6.339	1.451	2.210	4.4	6.4	0.825	0.550	3.6	3.5
84.7-88.7	86.70	400	0.95	0.28	6.569	1.457	2.210	5.0	7.2	0.900	0.615	4.5	4.4
88.7-92.8	90.75	410	0.95	0.28	6.995	1.464	2.210	4.9	7.0	1.00	0.695	4.9	4.9
92.8-94.8	93.80	200	0.95	0.30	7.256	1.469	2.210	2.5	3.6	1.00	0.780	2.5	2.8
94.8-100.6	97.70	580	0.90	0.30	7.602	1.475	2.210	7.1	10.1	1.00	0.900	7.1	9.1

なお、 $\Delta p_1$ ,  $S_1$ ,  $U_1$ ,  $\Delta S_1$ は暖冬年の平均地下水位、 $\Delta p_2$ ,  $S_2$ ,  $U_2$ ,  $\Delta S_2$ は豪雪年の平均地下水位で解析した結果である。

終沈下量を合計すると201.5cm、下層のそれは86.7cmとなり、総沈下量は288cmと推定された。

暖冬年を想定した場合の上層における現在までの沈下量を合計すると140.9cm (表5)、下層のそれは54.1cmとなり(表6)、総沈下量は195cmと推定された。同様に、豪雪年を想定した場合の上層における現在までの沈下量を合計すると144.6cm、下層のそれは58.1cmとなり、総沈下量は203cmと推定された。この結果、今後暖冬年の地下水位で推移すれば28cmの沈下が見込まれ、豪雪年の地下水位で推移すれば85cmの沈下が見込まれる。これらの沈下量は一次圧密によるものであり、繰返し圧密や二次圧密も考慮すれば、より大きな沈下量になることはいままでのことである。

同様な方法で、表層の地下水位が深度6.9m、G<sub>1</sub>層及びG<sub>2</sub>層の地下水位が深度30.0mまで低下する場合を想定すると、最終沈下量が347cm、現在までに生じた沈下量が205cmとなり、今後142cm沈下が生じるものと算定された。

## 5 まとめ

高田市街地では、南部よりも北部の方が地下水揚水に伴う、地下水位低下による地盤沈下量が大きく、今後とも沈下が進行する可能性が高い。

上越市立城北中学校において採取したボーリング試料について行った標準圧密試験結果を基に沈下量を計算したところ、今までに約2m沈下が生じていた。また、今後暖冬年と同程度の地下水位で推移していくものと仮定すると約30cm、豪雪年と同程度の地下水位で推移していくものと仮定すると約90cm沈下が生じるものと予想される。

高田市街地北部では、今後G<sub>2</sub>層及びこれよりも浅い帯水層からの冬期の揚水を削減する必要がある。特に、今後襲ってくるであろう豪雪に際し、地下水位の急激な低下を招かないようにすることが、著しい地盤沈下を生じさせないこつともいえる。とにかく、地下水はいくら取ってもただという考えを直ちに改めることが肝要である。

## 引用文献

- 1) 環境庁水質保全局 (1960)：全国の地盤沈下地域の概況 (昭和59年度), 16p.
- 2) 関谷一義・陶野郁雄 (1995)：新潟県上越市高田市街地の浅層部における地下地質と地層の深度別の収縮量. 第30回土質工学研究発表会講演集, pp.161-162.
- 3) 陶野郁雄・関谷一義 (1997)：上越市高田市街地の地下地質—ボーリング調査結果を基に—, 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.35-42.
- 4) 陶野郁雄・関谷一義・関 浩樹・藤巻広司 (1997)：新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムによる観測に関する研究—新潟県上越市高田市街地における計測—, 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.69-76.
- 5) 関谷一義・陶野郁雄・鈴木典子・森山 登 (1997)：上越市高田市街地における深度別の地層収縮量に関する研究. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.43-48.
- 6) 岩田 敏・陶野郁雄・桑原文夫 (1986)：新潟県六日町における消雪用揚水に伴う地盤沈下とその解析. 土質工学会誌土と基礎, Vol.34, No.11, pp.73-78.
- 7) 岩田 敏・陶野郁雄 (1990)：新潟県六日町における消雪用揚水に伴う地盤沈下性状. 国立環境研究所研究報告, No. R127, 84p.

## F 新しい地盤沈下観測システムの開発

### Studies on Development of New Land Subsidence Observation System

陶野郁雄<sup>1</sup>・丸田春樹<sup>2</sup>

Ikuo TOHNO<sup>1</sup> and Haruki MARUTA<sup>2</sup>

#### 要 旨

地下水の過剰揚水によって広範囲に地表面が低下することを地盤沈下と呼んでいる。また、沈下は軟弱地盤を形成している堆積物の圧密作用によっても生じる。

従来の地盤沈下観測井は、鋼管の抜け上がり量を記録する方法で地層の収縮量の観測を行っているが、この方式では、観測施設を設置するのに広い敷地や多くの経費がかかる。また、地層と井戸管との摩擦などによって、管の抜け上がりが滑らかにならないこともあり、必ずしも正確に収縮量を把握しているとは言い難い。

そこで、収縮量の計測にアラミド繊維を用い、施設の小型化と経費の節減を図った。さらに、接触部を少なくし摩擦による影響を軽減することにより、収縮量の精度の向上を図った。新たに開発した地盤沈下観測システムを佐賀県有明町牛屋と新潟県上越市高田市街地に設置した。

#### Abstract

Extensive lowering of ground surface, called land subsidence, results from the heavy withdrawal of ground water. Subsidence is also caused by consolidation of sediment as in soft ground.

Formerly observation well has observed subsidence with the method of measuring the change of elevation of its iron casing. This method is necessary to wide area and high cost. By negative friction between well casing and layer, it is difficult with this method that subsidence is observed exactly.

It was used the wire made of aromatic polyamide for measuring subsidence and tried to miniaturized the observation system and cut down the expenses. It was tried to improve the accuracy according to reduction of influence of negative friction by reducing the amount of contact between component parts. We were equipped this new observation system used to land subsidence at Ushiya, Ariake, Saga and at urban Takada, Joetsu, Niigata.

#### 1 はじめに

一般に、地盤沈下観測井による調査はおおがかりとなり、莫大な経費がかかる。そこで、1986年より故岩田敏研究員とともに手軽で簡便な観測システムの開発にとりかかり、1988年に試作品を完成させた。1989年には試作品を改良し、佐賀県有明町で実施したボーリング孔を利

用して地盤沈下観測システムを設け、観測を開始した。

その後、一層の設備の小型化と設置経費の削減を目指して、より簡便な観測システムを構築し、佐賀に設置した地盤沈下観測システムを改良した。この観測システムを1993年に新潟県上越市で実施したボーリング孔を利用して設置し、観測を開始した。

この地盤沈下観測システムは、単に経費が安く、ボーリング孔のような小さな径でも観測を行うことができるだけでなく、手軽で簡単に着脱でき、運搬が可能なため、既存の井戸にも適宜取り付け、地下水位と地層の収縮量を同時に観測することができるという特色を有している。

1. 国立環境研究所 水土壤環境部  
〒305 茨城県つくば市小野川16-2  
Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
2. 株式会社フジタ イチケン  
〒101 東京都千代田区神田須田町2-17  
Presidential Research Laboratory "ICHIKEN", Fujita Corporation, 2-17 Kanda-Sudacho, Chiyoda, Tokyo 101, Japan.



## 2 地盤沈下を把握する方法

地盤の沈下状況を把握するためには、地表面の高さ、地盤沈下を生じさせる外力、および外力の影響を受ける種々の地層の収縮量を継続して観測し、これらの時間的経緯を知る必要がある。

### 2.1 水準測量調査による方法

地表面の高さを面的に広く把握する方法として、水準測量調査を実施するのが普通である。水準測量調査による方法とは、ある基準水準点を不動点とし、各水準点の標高を一定期間ごと（少なくとも1年1回）に測量し、前回との差から変動量を算定し、地盤沈下の状況を把握する方法である。水準測量は、それぞれの水準点間の高さの差を求めるものであるため、そのためには基準となる標高が必要となる。この水準点のことを基準水準点と呼んでいる。基準水準点は、できるだけ安定した地盤上に置く必要があるため、堅固な岩盤上に設置してある水準基標をこれに当てるのが普通である。基準水準点は、地盤沈下観測地域内に1つ以上設ける必要がある。日本の水準原点は、東京都千代田区永田町にあり、その標高は24.4140mと定められている。実測値を基として作られる地盤沈下量図は、1万分の1から50万分の1の地図上に表わされている。

水準測量の精度は、測定距離と密接な関係がある。通常、0.1mmの単位で実測されるが、広域になると、±5mm程度の誤差が生じることがある。このように、この方法は常に測量誤差という問題が生じることと、ほぼ同時に広範囲の測定を行うことができないという欠点を有している。この欠点を解決するために、空中写真やGPS（Global Positioning System）などによって測定する方法の検討が行われており、将来用いられる可能性がある。

### 2.2 地盤沈下観測井による方法

地盤沈下はたいていの場合、地下水を揚水したことによって地盤内の水圧が減少するために生じるので、地盤内の状況を把握する必要がある。そこで、地盤沈下観測井を設けて、地下水を採取している地層の地下水位（水圧に換算可能）と地表面から井戸の底までの距離を継続的に観測し、深さ方向の状況を把握する方法がとられている。なお、地下水学では、井戸の中の水位を水頭という。地盤沈下観測井による方法とは、地層の収縮による

井戸管の抜け上がり量を測定記録し、この量を井戸管底部から地表面までの収縮量とみなす方法である。

多くの地盤沈下観測井では、地層の収縮量と同時に地下水位も測定記録しているが、地下水位のみを観測している場合もある。地下水位は、観測井の基底部近くにある帯水層のところにストレーナー（スクリーン）を設けて、地下水が井戸の中に入るようにし、その水位のみ（1つの帯水層の水位）を観測するのが普通である。そのため、ストレーナーの上部と下部でボーリング孔壁と観測井とのすき（隙）間を粘土鉱物やセメントミルクを用いて密封し、完全に止水する必要がある。図1は二重管式観測井の装置を模式的に示したものである<sup>1)</sup>。

一般に、地盤沈下観測井には単管式あるいは二重管式と呼ばれる鋼管が埋め込まれている。その抜け上がり量を記録する方法で、観測井基底部から地表面までの地層の収縮量を求めている（図1の沈下計）。地表面から基盤までの地層が収縮すると、井戸管は変形しなければ、地層が収縮した量だけ抜け上がってくることを利用した方法である。

地層の収縮量測定は、その構造から二重管式の方が単管式より信頼性が高いとされている。二重管式とは、地

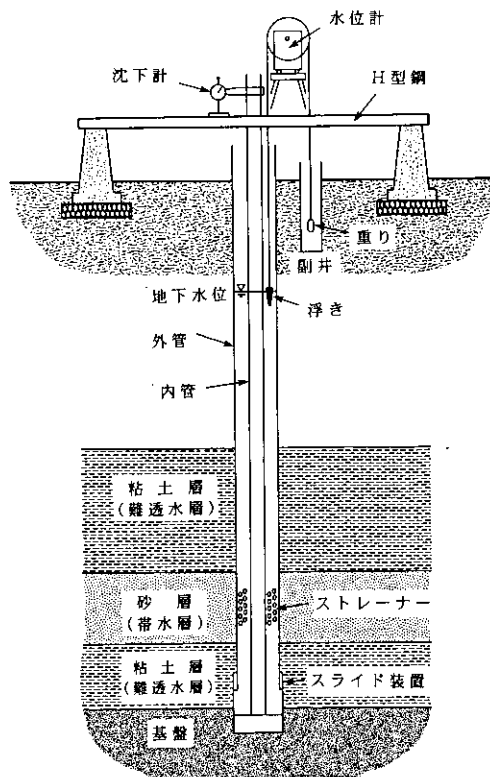


図 1 一般的な二重管式地盤沈下観測井の模式図<sup>1)</sup>  
Fig. 1 Typical structure of observation well used to double tube<sup>1)</sup>.

盤との摩擦力を下部にスライド装置を取り付けた外管で受け、外管とは縁が切つてある内管によって地盤の収縮量を測定する方式である。これに比べ、単管式は、文字どおり管が1つなので、ストレーナー上部の止水箇所より上では、地盤との摩擦力（負の摩擦力）の影響をできるだけ少なくするように工夫する必要がある。単管式では地盤との摩擦によって、また二重管式では外管と内管との摩擦によって、滑らかに管が抜け上がらない場合がある。さらに、管の底がしっかりと固定されていないと、地層が収縮した分だけ管が抜け上がってこなくなる場合もある。このような観測井では、地層の収縮量を正確に把握することができなくなり、地層の収縮量を測定する意味が薄れる。地下水位の測定精度は、単管式でも二重管式でも本質的には変わらず、測定装置の精度や設置状況の影響を強く受ける。また、地盤沈下は測定結果に基づいて素早く対応をとる必要があるため、最近ではテレメーターなどによってデータを逐次転送する方法がとられるようになってきている。

比較的設置が簡単な単管式の地盤沈下観測井でも、設置するのに10m<sup>2</sup>程度かそれ以上の広い敷地を確保する必要があり、しかも設置経費も数百万円程度かそれ以上必要なことから、どうしても設置場所や設置井戸数が限られてくるという難点を有している。

そこで、このような欠点を有しない地盤沈下観測システムの開発に取りかかった。

### 3 佐賀県に設置した地盤沈下観測システム

#### 3.1 観測井の概要

国立公害研究所地盤沈下研究室（現在の国立環境研究所地下環境研究室）が1988年度に佐賀県有明町牛屋にある有明東小学校の校庭内で地盤沈下の状況を把握するためのボーリング調査を実施した。この調査の際、佐賀県の協力により、このボーリング孔を利用しての地盤沈下観測が行えるようになった。早速試作品の改良に取りかかり、新しい地盤沈下観測システムの構築を行った<sup>2)3)</sup>。その装置を1989年10月に、故岩田敏研究員と共に設置した。有明町は佐賀平野における地盤沈下の中心部に位置している。この小学校は、開校して1年半ほどしか経っていないにもかかわらず、既に顕著な抜け上がりの現象が見られた（写真1）。なお、装置を設置した場所を新有明観測所と呼ぶことにした（写真2）。

ボーリング孔を利用して2つの観測井を設けた。観測

井は基本的には単管式であり、観測用の管は鋼製である。観測-1は、川副層に相当する多良岳起源の礫層の水位（ストレーナー深度GL. -96.5~106.0m）とこの基底部までの収縮量（測定管深度GL. -126.0m）を測定するため設置した。観測-2は、三田川層の水位（ストレーナー深度GL. -26.3~29.3m）と主に有明粘土層の収縮量（測定管深度GL. -31.0m）を測定するため設置した。

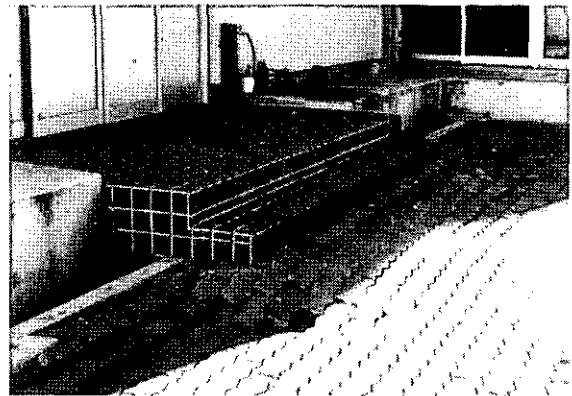


写真 1 有明東小学校の校舎の抜け上がり  
(1988年10月撮影)

Photo.1 Lift up of the Ariake Higashi elementary school building in west of Saga Plain due to land subsidence, as on October 1988.



写真 2 有明東小学校内に設置された新有明観測所  
(1988年10月撮影)

Photo.2 Established Shin Ariake observation site at the Ariake Higashi elementary school, Ariake, Saga, as on October 1988.

#### 3.2 新観測システムの概要

新たに開発した地盤沈下観測システム構成模式図を図2、現地の状況を写真3~5に示した。写真3は、装置を組み立てる直前の様子を示したものである。中央部にある円筒はコンクリート打設の際に埋設した鉄製のケーシングを保護するために取り付けられた塩化ビニール製

# 地盤沈下観測システム構成(1)

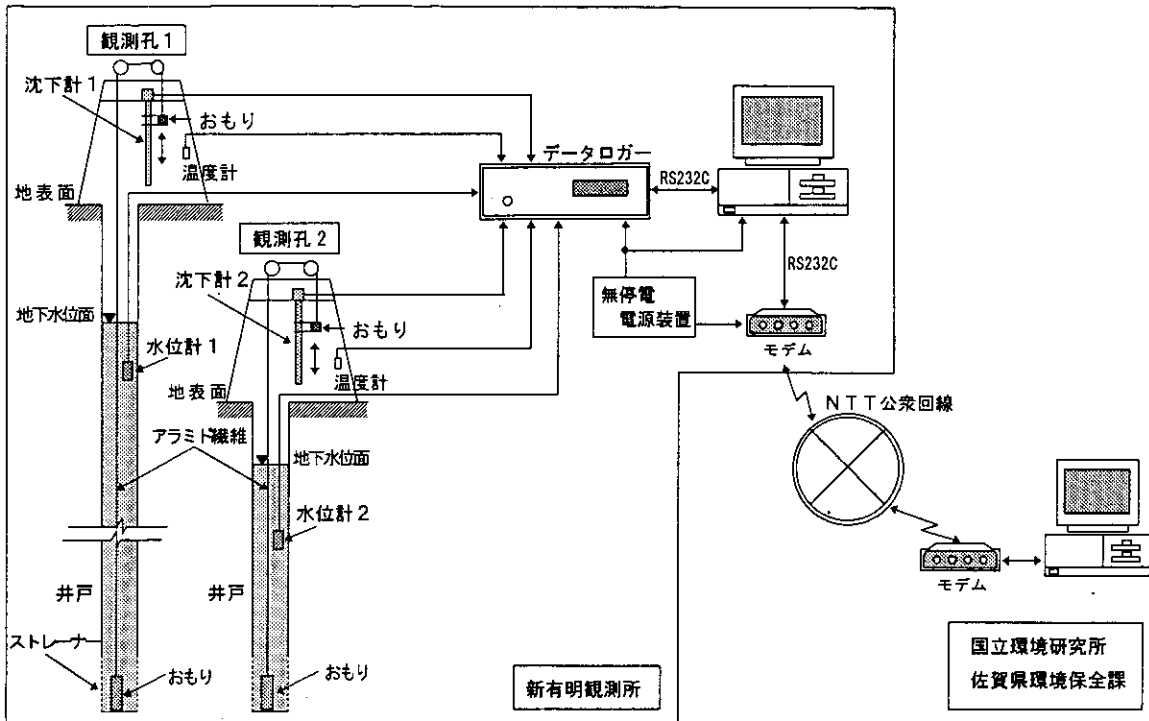


図 2 佐賀県有明町に設置した新地盤沈下観測システムの模式図

Fig. 2 Composition of new observation system for land subsidence at the Ariake Higashi elementary school, Ariake, Saga.

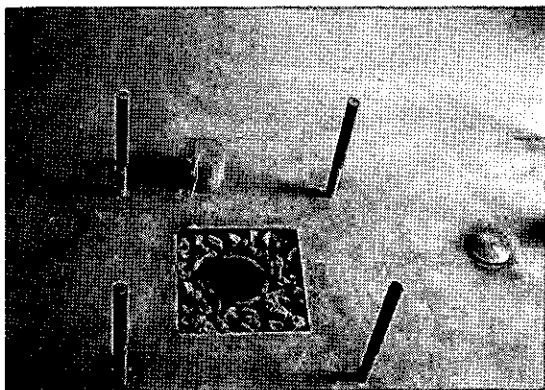


写真 3 有明東小学校に地盤沈下観測装置を設置する直前のボーリング孔 (1988年10月撮影)

Photo.3 Just before equipped new observation apparatus at a bore hole in the Ariake Higashi elementary school, as on October 1988.

の管であり、また写真右の円盤状のブロンズ製鋳は地盤の標高を測るために設けた水準基標である。写真4は、観測装置を組み立てた直後の様子を示したものである。写真5は、データを収録し、それを電話回線を通じて転

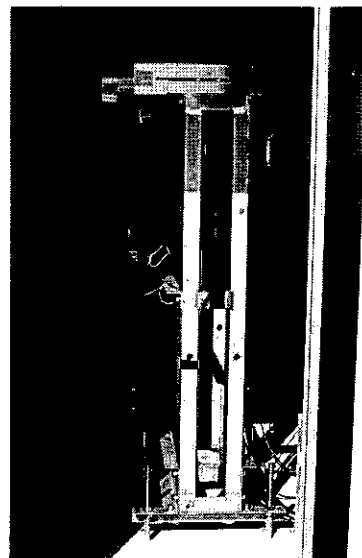


写真 4 有明東小学校に設置した地盤沈下観測装置 (1988年10月撮影)

Photo.4 New observation equipment used to monitoring of land subsidence at the Ariake Higashi elementary school, Ariake, as on October 1988.

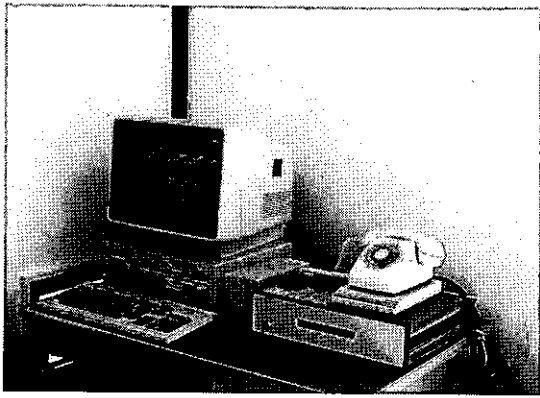


写真 5 有明東小学校に設置した地盤沈下観測用のデータ収録・転送装置

Photo. 5 Equipment of recording and communications of data used to observation of land subsidence at the Ariake Higashi elementary school, Ariake.

送する装置を示したものである。地盤の収縮量は、長さ50cmのステンレス製重りを井戸底に接地させ、そこから直径0.8mmの合成繊維（アラミド繊維）製ワイヤーでプーリーを介して、最大100cm、読み取り精度0.3mmの磁歪式沈下計で計測した。地下水位は最大20m、読み取り精度2cmの小型間隙水圧計で計測を行うようにした。そのほか、鉄製ケーシングの管頭抜け上がり量、外気温・室温も同時に測定している。ダイヤル・ゲージ式変位計で管頭抜け上がり量を測定したのはアラミド繊維を用いた計測結果と比較するためであり、温度計を設置したのは、パソコンの機能が損なわれないように監視することと、測定値の温度補正を行うためである。

測定したデータは5分間に1回の割合でデータ・ロガーを介して収集・処理している。さらに、4時間に1回の割合で観測所内にあるハードディスクに記録し、保存するようにした。ハードディスクに記録したデータはいつでも取り出せるようにしてあり、これらのデータは本研究所だけでなく、佐賀県など複数の機関にも電話通信回線を使って転送できるようになっている。

収縮量の計測にアラミド繊維を用いたことにより、接触部がプーリーのみとなり、接触部が少なくなったことにより摩擦の影響を減じることができた。それに加え、アラミド繊維は、高強度、高弾性率の繊維であり、引張りに強く、最初に伸びきってしまうと剛体のような性質があり、これを利用して収縮量の測定精度の向上を図った。さらに、ボーリング孔のような小さな孔に観測用の鋼管を埋め込んでも観測を行えるようにしたため、地上部の施設の小型化を実現できた。しかも、地上部の

施設を小型化したことにより、観測システム全体の運搬が可能になった。

新有明観測所付近に雷が落ちて、停電したことにより、観測ができなくなったことがあったので、雷から守るための電源保安器と停電用に非常電源装置を増設した。さらに、観測所の標高がほぼ0mなため、ひとたび大雨が降ると浸水してしまうので、水に浸かると使用不能になるパソコンなどは高いところに置くことにした。

この2つの観測装置を設置するのに、開発費を含めて数百万円の経費を要した。しかし、従来の方法によるものの半額程度で済んでおり、経費の節減を図ることができた。また、1つの観測装置が占める面積は約0.4m<sup>2</sup>であり、2つの観測装置にデータ収録・転送装置などを加えた面積でも約3m<sup>2</sup>と、かなり施設の小型化を図ることができた。なお、観測結果は文献4)を参照されたい。

### 3.3 通信回線によるデータの転送と表示

新有明観測所内にあるハード・ディスクに収録されているデータを用いて転送するために、TMAIN2.EXEというソフト・プログラムを作成した。研究所でパソコンを用いて、このソフトを立ちあげると、先ず図3に示したメニュー1の画面が現れる。そこで、「1. 通信回線の接続」にすると、自動で新有明観測所に電話が掛かり、観測所のパソコンから応答がある。次に、10桁の暗証番号を入力すると、再びメニュー1の画面が現れ、画面右上に「通信回線接続」と表示される。このような状態になったら、メニュー1の2から5を選択する。例えば、「4. 任意月のデータの取り込み」を選択し、1990年1月のデータを読み取りたいときには、9001と入力すると、観測所に格納されているデータが転送され、研究所のハード・ディスクに格納することができる。また、「5. 最新データの表示」を選択すると、観測所に格納されている今から3時間前までの詳細なデータを画面上で見ることができる。

研究所のパソコンにデータを格納した後、「6. メニュー2へ」を選択すると、図4に示したメニュー2の画面が現れる。そこで、1. ~6. の中からどれかを選択する。例えば、「3. 任意月データのグラフ表示（沈下、水位）」を選択し、1990年10月を表示させると、写真6のようになる。ここでいう、沈下はアラミド繊維を使用して求めた地層の収縮量、水位は地下水位、変位は管頭の抜け上がり量、温度は観測所内の温度のことである。

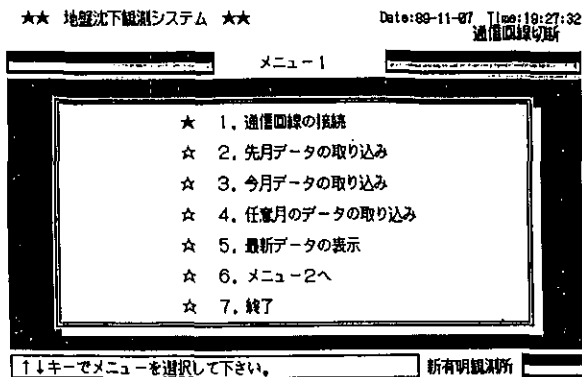


図 3 メニュー1の画面  
Fig. 3 Picture of menu 1

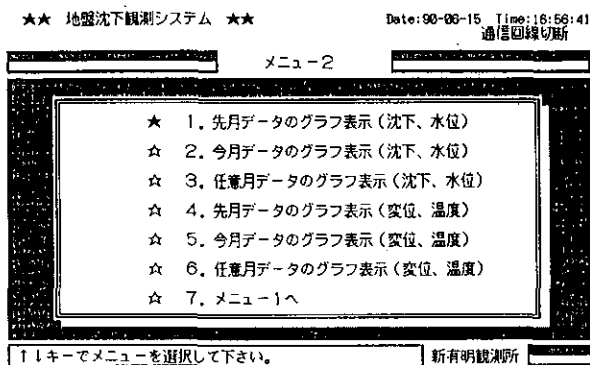


図 4 メニュー2の画面  
Fig. 4 Picture of menu 2

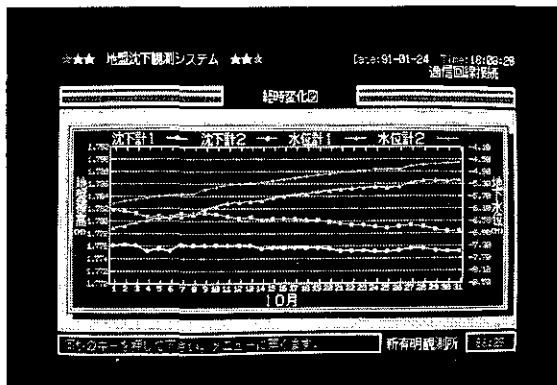


写真 6 新有明観測所から送られた1990年10月の地盤沈下記録  
Photo.6 Monitoring on October 1990 of land subsidence for a new observation system at Shin Ariake observation site in Ariake Higashi elementary school, Ariake.

また、細かく状況を把握したいときには、観測所内のパソコンで設定するだけでなく、電話回線を通じて設定することができるようにしてある。その内容は、時刻や測定間隔の設定、現在の計測などである。

## 4 新潟県に設置した地盤沈下観測システム

### 4.1 観測井の概要

佐賀県に設置した地盤沈下観測システムをさらに改良を加え、より簡便にした観測システムを開発し、施設の小型化と経費の削減を図った。新潟県の協力もあり、国立環境研究所地下環境研究室が1992年度に新潟県上越市高田市街地にある上越市立公民館高田地区館の敷地内で地盤沈下の状況を把握するためのボーリング調査を実施した際のボーリング孔を利用して、新しい地盤沈下観測システムによる装置を1993年11月に設置した<sup>5)</sup>。なお、装置が設置されている床にある鉄の標高は12.433mであった。

この地盤沈下観測システムは、安価だけでなく、手軽で簡単に着脱でき、運搬が可能なため、既存の井戸にも適宜取り付けられ、地下水位と地層の収縮量を観測することができるという特色を有している。そのシステムの構造を図5、および写真7～8に示した。写真7は観測装置を写したものであり、写真8は1994年2月3日に収録されているデータを取り出しに行った際に写したものである。

観測井の深度はGL. -35.0m、口径は7.5cmである。井戸は塩化ビニール製の管を用いた単管式構造である。佐賀県の場合と同様に、井戸底はウェイトが地層中に潜り込まないようにコンクリートを打設して仕上げた。ストレーナーの深度はGL. -30.0~35.0mである。収縮量は

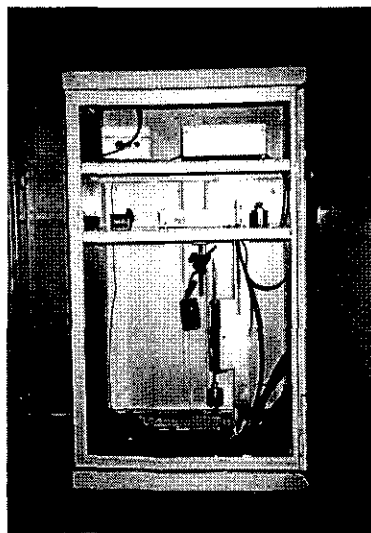


写真 7 新潟県上越市高田市街地に設置した地盤沈下観測装置 (1993年11月撮影)

Photo.7 New observation equipment used to monitoring of land subsidence at the Takada branch of public hall, urban Takada, Joetsu, Niigata, as on November 1993.

地盤沈下観測システム構成(2)

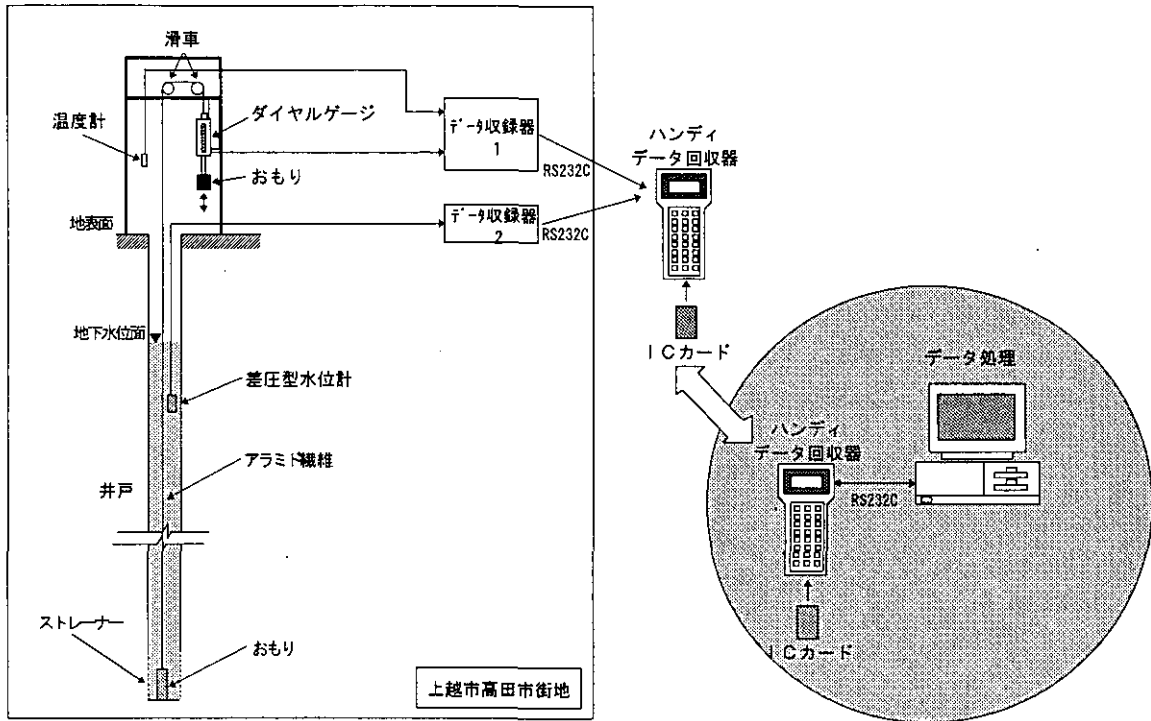


図 5 新潟県上越市に設置した新地盤沈下観測システムの模式図

Fig. 5 Composition of new observation system for land subsidence at the Takada branch of public hall, urban Takada, Joetsu, Niigata.

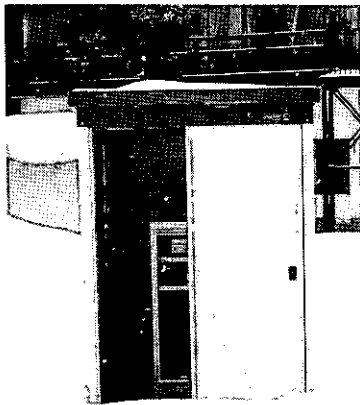


写真 8 観測装置を雪から守るために設けた観測小屋 (1994年2月3日の除雪後の状況)

Photo.8 Hut of the observation system defence of snowfall at the Takada branch of public hall, Joetsu. (After clear the snow, on February 3, 1994)

歪みゲージ式変位計, 地下水位は差圧式水位計を用いて計測した。なお, データは1時間に1回記録装置に収録するようにしたが, 経費を少なくするため, 転送するよ

うにはしていない。また, 地上部の施設はデータ処理装置を含めて縦60cm×横60cm×高さ120cmであり, 地上を占有する面積が約0.4m<sup>2</sup>となり, 従来の施設の10数分の1から数10分の1となった。井戸の掘削のための経費を除くと, システム設置費用は約80万円であった。従来の約10分の1となり, より一層経費の削減を図ることができた。

4.2 新システムの概要

収縮量の計測は次のようにして行った。井戸底にステンレス製のウェイト (4 kg) を接地させ, アラミド繊維で地上部からウェイトを引張った。アラミド繊維の地上部の一端にカウンターウェイト (1 kg) を吊るし, 繊維が常に緊張状態を保つようにしてある。井戸底から地表までの地層の収縮・膨張によって, カウンターウェイトが上下するので, その上下を非接触型のひずみゲージ式変換器によって測定した。井戸底のウェイトの重量は, 浮力によって浮かないように考えて決定した。その他, 地下水位は差圧型水圧計を, 装置内温度は白金測温

抵抗体を用いて測定した。さらに、アラミド繊維を用いた計測値と比較するため、塩化ビニール製の管の抜け上がり量も測定している。なお、取り付け直後の管の上端の標高は12.184mであった。

このシステムは外部電源の供給なしに、長期間前述の装置を用いて測定できるという特色を有している。すなわち、電源は9本のリチウム電池のみである。仕様によると、この電池は2年以上保つことになっている。しかし安全を期するため、毎年雪が降る前の地下水位や地層の収縮量が安定している時に収録されているデータを取り出した後、電池を取り替えることにしている。

なお、観測結果については文献6)を参照されたい。

## 5 まとめ

アラミド繊維製のワイヤーは鋼管と比較し、運搬等の扱いが容易であることは大きな利点である。収縮量の計測にアラミド繊維を用いたこの観測システムは、地下水の変動に伴う地層の変動を的確にとらえており、収縮量の観測方法としては有効であることが確認された。

佐賀県に設置した新観測システムでは、電話回線を通してデータを転送したり、種々の設定を変更できるようにした。このため、地下水の急激な低下による地層の収縮を研究所内で直ちに把握できるようになった。

新潟県に設置した新観測システムの地上部の占有面積は、従来の施設の10数分の1から50分の1となった。従来の施設では、占有面積が大きいことが設置場所の土地を借用する際の難点となっていたが、小型化したことにより、設置地点の選定がかなり容易になることが予想される。

新潟県に設置した新観測システムの設置経費は、掘削費用を除くと約80万円であった。従来の観測井の設置費用と比較して約10分の1となり、設置費用の削減を図ることができた。

新観測システムは、大型器材がないため設置、撤去など取り扱いが容易であり、一般車両での運搬が可能となった。しかも、取り付ける井戸の構造が特殊でないため、既存の水井戸にも設置することが可能となっただけでなく、観測する必要がなくなったときに簡単に撤去できるという利点も有している。

このように、従来の観測井に比較して多くの利点が認められた。

これらを要約すると、新たに開発した地盤沈下観測システムは、収縮量の計測にアラミド繊維を用いることにより、接触部が少なくなったことによって、摩擦の影響を減じることができ、その地上部の施設の小型化が実現した。地上部の施設を小型化したこともあり、設置費用を大幅に節減したという利点も有している。しかも、運搬が可能になり、既存の揚水井戸にも適宜設置することが可能となった。

また、今後とも観測を継続し、長期にわたって観測した場合の観測値の安定性についても検討していきたい。

地盤沈下は海水面からの高さの変動を問題にすることが多い。海水面が上昇すると、地盤が沈下しなくても相対的に地球規模の地盤沈下が生じたことになる。近い将来、世界中の平地部で観測を行うことになるかも知れない。このためにも、手軽で簡便な観測システムの実用化を図っていく必要がある。

## 謝 辞

この新しい地盤沈下観測システムの構築と製作を共同して行った故岩田敏研究員に、心から謝意と哀悼の意を表する次第である。

## 引用文献

- 1) 陶野郁雄 (1990) : 大深度地下開発と地下環境. 鹿島出版会, 234p.
- 2) 陶野郁雄 (1991) : 佐賀白石平野の地盤沈下性状と新観測システム. 国立環境研究所資料, F-31-91/NIES, pp.25-30.
- 3) 陶野郁雄・丸田春樹 (1991) : 佐賀県有明町に設置した新地盤沈下観測システムとその地盤性状. 第26回土質工学研究発表会講演集, pp.73-74.
- 4) 陶野郁雄 (1997) : 佐賀平野における地盤沈下の現状と有明町に設置した新地盤沈下観測システムによる観測結果. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.77-84.
- 5) 関谷一義・陶野郁雄・丸田春樹 (1996) : 収縮量の計測に化学繊維を用いた簡易な地盤沈下観測システム—新潟県上越市高田市街地における計測一, 地盤工学研究発表会講演集, No.31, pp.279-280.
- 6) 陶野郁雄・関谷一義・関 浩樹・藤巻広司 (1997) : 新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムによる観察に関する研究—新潟県上越市高田市街地における計測一. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.69-76.

## G 新たに開発した簡便な地盤沈下観測システムによる観測に関する研究 —新潟県上越市高田市街地における計測—

### Study on Measurement of Land Subsidence with a New and Simple Observation System at the Urban Takada, Joetsu, Niigata, Japan

陶野郁雄<sup>1</sup>・関谷一義<sup>2</sup>・関 浩樹<sup>3</sup>・藤巻広司<sup>3</sup>

Ikuo TOHNO<sup>1</sup>, Kazuyoshi SEKIYA<sup>2</sup>, Hiroki SEKI<sup>3</sup> and Koji FUJIMAKI<sup>3</sup>

#### 要 旨

新潟県では、鋼管の抜け上がりを記録する方法で地層の収縮量の観測を行っている。この方式では、観測施設を設置するのに広い敷地や多くの経費がかかる。また、地層と管との摩擦などによって、管の抜け上がりが滑らかにならないこともあり、収縮量の正確な測定を難しくしている。

そこで、収縮量の計測にアラミド繊維を用い、施設の小型化と経費の節減を図った。さらに、接触部を少なくし、摩擦による影響を軽減することにより、収縮量の精度の向上を図った。

新潟県上越市高田市街地において観測を行った結果、冬期の地下水位の急激な低下に伴う地層の変動が的確に捉えられており、本システムは収縮量の測定方法として有効であった。

#### Abstract

Niigata Prefectural Government has observed subsidence with the method of measuring the change of elevation of well casing. This method is necessary to wide area and high cost. By negative friction between well casing and layer, it is difficult with this method that subsidence is observed exactly.

We used the wire made of aromatic polyamide for measuring subsidence and tried to miniaturized the observation system and cut down the expenses. We tried to improve the accuracy according to reduction of influence of negative friction by reducing the amount of contact between component parts.

As a result of observation with this system at the urban Takada, Joetsu, Niigata, land subsidence due to rapid decline of ground water level in winter was observed precisely. Accordingly this new and simple observation system is effective.

#### 1 はじめに

新潟県では、地層の収縮量の観測を、単管式あるいは二重管式と呼ばれる方式で観測井に用いた鋼管の抜け上

がり量を記録する方法で行っている(図1<sup>1)</sup>)<sup>2)</sup>。これら方式では、観測施設の規模が大きくなるため、設置するのに広い敷地を確保しなければならないことや経費も数百万円かそれ以上必要になることから、自ずと設置場所や設置数が限られてくる。また、単管式では地層との摩擦、二重管式では外管と内管との摩擦によって、測定管の抜け上がりが滑らかにならないこともあり、収縮量を把握することができなくなることがある。特に、単管式では地下水位の変動と地層の収縮量の変動の傾向が一致しないことがよくある。

そこで、地層の収縮量の計測にアラミド繊維を用いることにより、地上部の施設の小型化と経費の節減を図り、さらに、接触部を少なくすることによって摩擦の影響を

1. 国立環境研究所 水土壤環境部  
〒305 茨城県つくば市小野川16-2  
Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
2. 新潟県衛生公害研究所  
〒950-21 新潟県新潟市曾和314-1  
Niigata Prefectural Research Laboratory for Health and Environment, 314-1 Sowa, Niigata 950-21, Japan.
3. 新潟県上越保健所  
〒943 新潟県上越市春日山町3-8-34  
Joetsu Health Center, Niigata Prefectural Government, 3-8-34 Kasugayama-Machi, Joetsu, Niigata 943, Japan.



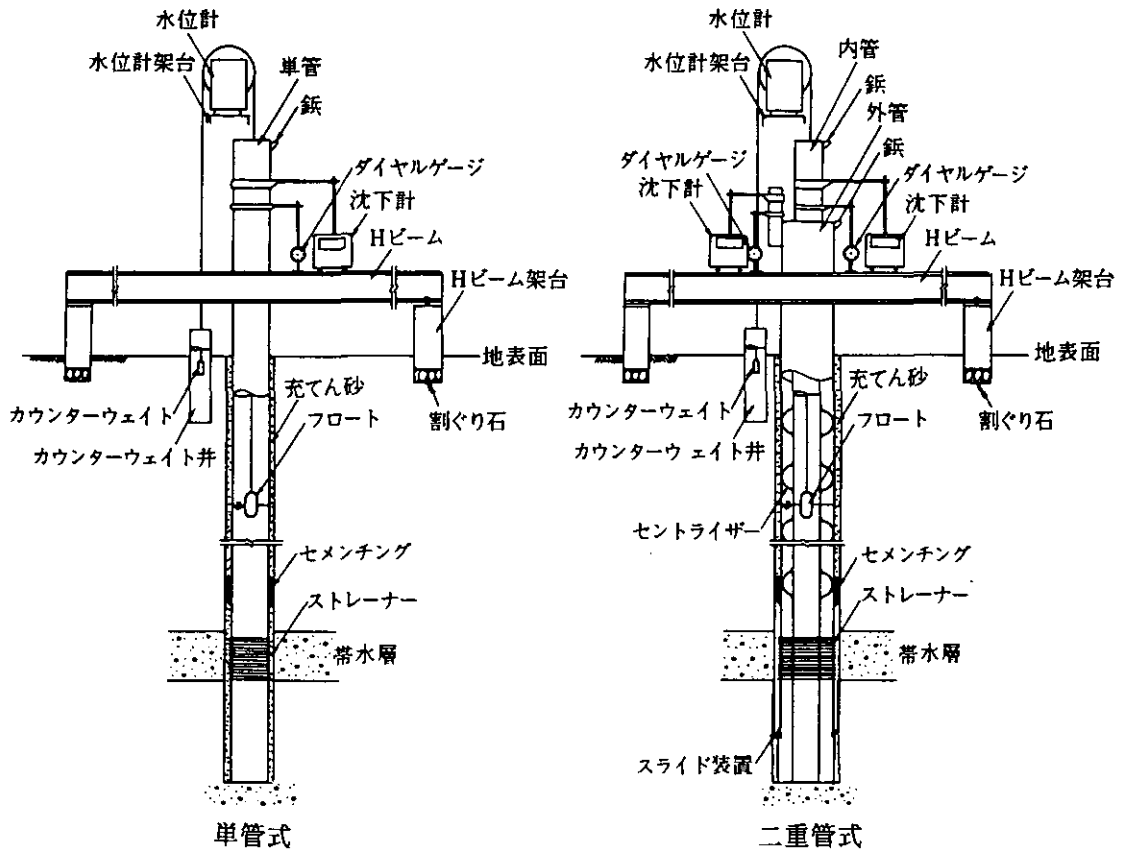


図 1 地盤沈下観測井の構造図<sup>1)</sup>  
Fig. 1 Structure of observation wells<sup>1)</sup>.

減じ、収縮量の精度の向上を図った<sup>3).4).5).6)</sup>。また、地上部の施設を著しく小型化させたことにより、乗用車でも運搬ができるようになり、既存の揚水井戸にも適宜設置することが可能となった。

本報告では、新たに開発した簡便な地盤沈下観測システム（以下「新観測システム」という。）の構成、観測結果の補正、観測システムの有効性などを検討した結果について述べる。

## 2 新観測システムの設置場所とその構成

### 2.1 新観測システムの設置場所

図2に示した新潟県上越市高田市街地の南部に位置する上越市立公民館高田地区館の敷地内に新観測システムを設置した。設置した場所を写真1に、装置の設置状況を写真2に示した。高田市街地は、消雪用地下水の揚水に伴う地盤沈下が顕在化しているところである。この地点の周辺には住宅や商店が混在して分布しており、近傍には幼稚園、公民館、神社があり、消雪用井戸が数多く設置されている。この地点は幼稚園と10mも離れていないため、除雪した雪の上で、幼稚園児がよく遊んでいる

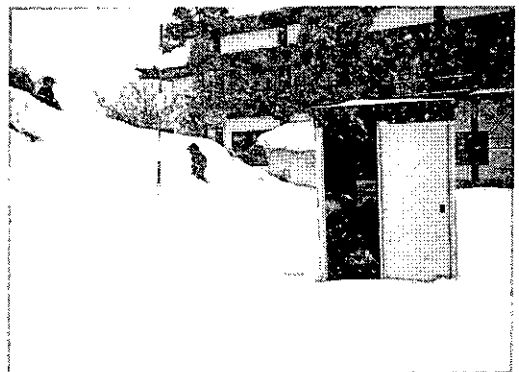


写真 1 上越市立公民館高田地区館に設置した新観測システムの降雪期間中の状況  
(1994年2月3日撮影)

Photo.1 Condition of the new observation system at the Takada branch of public hall, urban Takada, Joetsu in snowfall, as on February 3, 1994.

(写真1)。

なお、新観測システムを設置した場所は、1992年に国立環境研究所がボーリング調査を行った地点である。その詳細は文献7)を、ボーリング柱状図は巻末の付録を参照されたい。

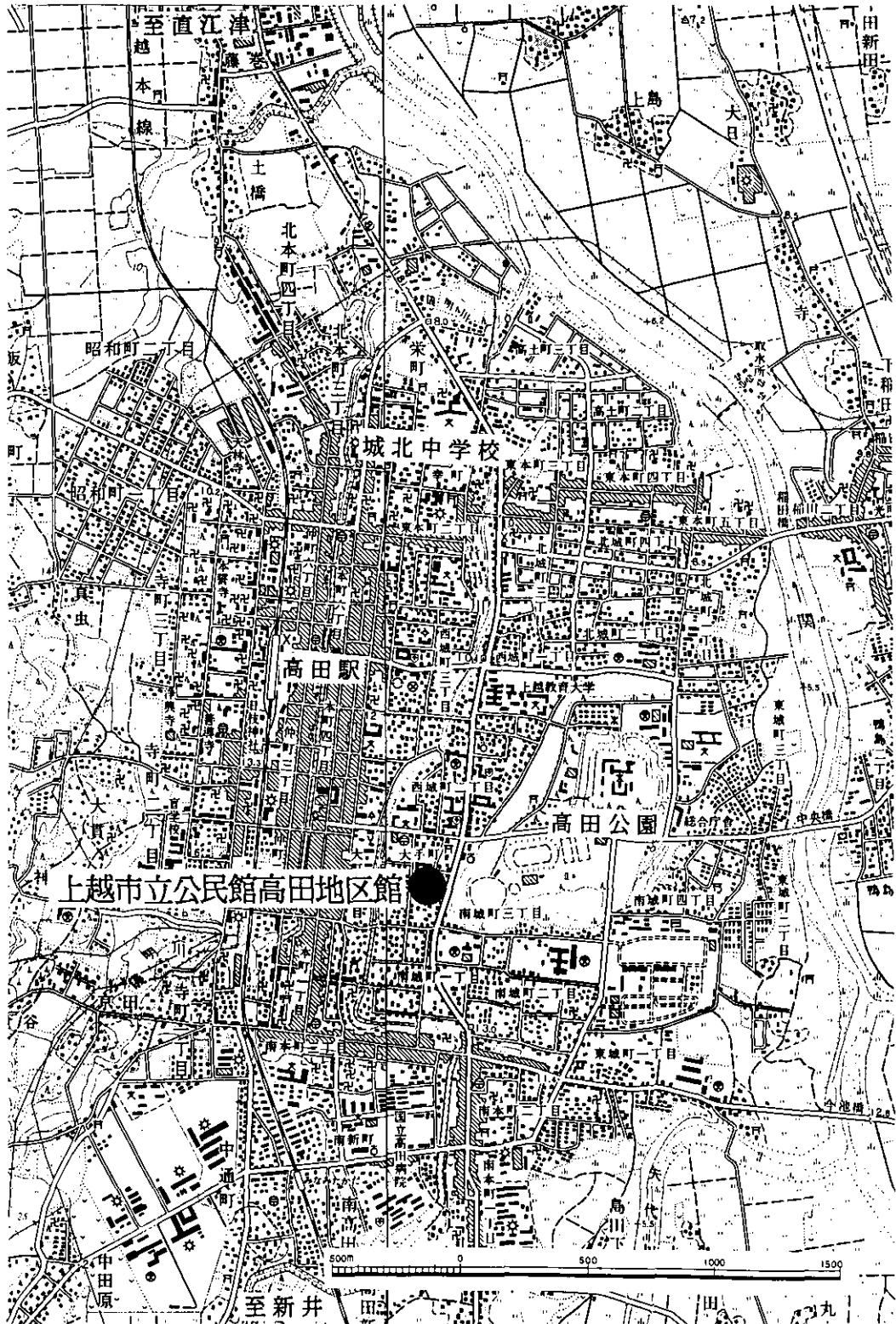


図 2 新しく開発した簡便な地盤沈下観測システムの設置地点  
 Fig. 2 Location of a new and simple observation system for land subsidence.

## 2.2 観測井の構造

観測井の模式的な構造図を図3に示す。観測井戸の深度は35m、口径は75mmである。井戸は、塩化ビニール製の管を用いた単管式構造である。井戸底はウェイトが

地層中に潜り込まないようにコンクリートを打設して仕上げてある。また、ストレーナー（スクリーン）の深度は30~35mである。

井戸の底に4kgのステンレス製ウェイトを接地させ、

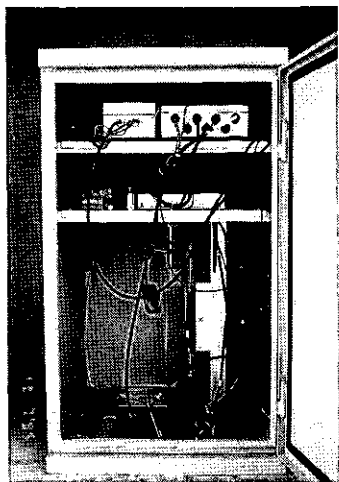


写真 2 新観測システムの地上部の施設  
(1995年11月7日撮影)

Photo.2 Equipment of the new observation system on ground surface at the urban Takada, Joetsu, as on November 7, 1995.

そこからアラミド繊維製の糸を地上部まで引っ張った。なお、浮力で井戸底に接地させたウエイトが浮かないようにその重さを4kgとした。また地上部では、この糸を2つの滑車を介して1kgのカウンターウエイトを吊るしており、常に糸の緊張状態が保たれるようにしてある。地表から井戸底までの地層の膨張・収縮によって、カウンターウエイトが上下するので、それをひずみゲージ式変換器によって測定するようにした。なお、新観測システムの詳細は文献6)を参照されたい。

この観測システムと同様な方法で、ピアノ線を用いたワイヤー方式の地盤沈下観測井が新潟県にもあったが、ワイヤーの長期的な伸びが大きく、それが測定誤差につながるという問題点が生じた<sup>8)</sup>。このため、新潟県では観測方法をすべて二重管式に変更した。

### 2.3 測定項目と測定データの収集

新観測システムの測定項目は、地層の収縮量、地下水位(水頭)、及び観測装置内の温度である。地層の収縮量はひずみゲージ式変換器、地下水位は差圧型水位計、装置内温度は白金測温抵抗体によって測定している。1時間ごと測定するように設定し、そのデータは観測装置内に設置した記録装置に収録した。

記録装置に収録した測定データを降雪期(12月～翌年の3月まで)は毎月、非降雪期(4～11月まで)は2カ月ごとに回収し、そのデータを基に解析を行った。なお、写真3は、記録装置に収録した測定データを回収する際に、共著者が装置のメンテナンスを行っている様子を写したものである。

## 3 従来の施設との比較

### 3.1 設置面積

新観測システムの地上部における施設の大きさは、縦0.6m×横0.6m×高さ1.2mである(写真1～2)。したがって、地上部の占有面積は約0.4m<sup>2</sup>となり、図1に示したようなこれまでの方式による施設と比較すると、10数分の1から50分の1となった。従来の施設は、Hビーム(鋼)を設置する必要があるため、施設の規模がどうしても大きくなり、土地の占有面積も広がる。観測井は学校等の公共用地を借用して設置することが多い。このため、占有面積が大きいことが観測井設置場所を選定する際に障害となっている。一方、新観測システムは占有面積が非常に小さいため、従来の観測システムと比較すると、

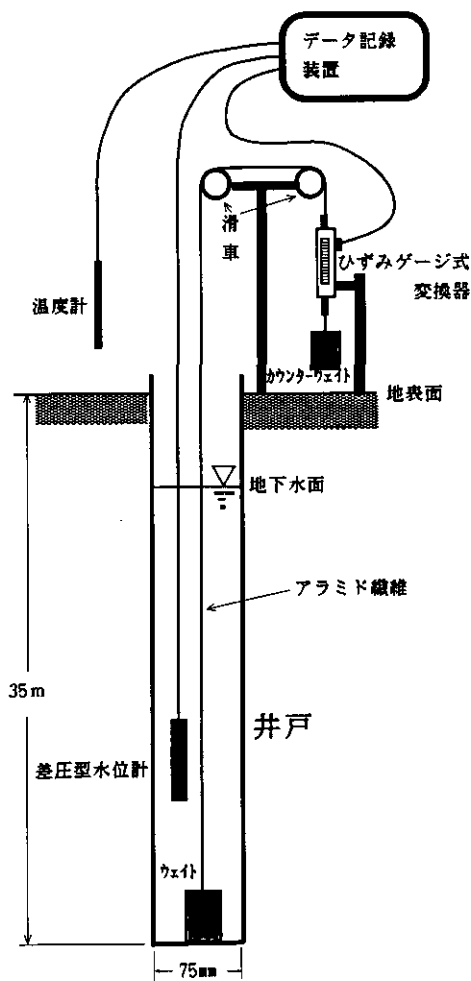


図 3 観測井の構造と新観測システムの構成

Fig. 3 Structure of observation well and composition of the new observation system for land subsidence.

設置場所の選定がかなり容易になるものと考えている。

この観測システムを設置した場所は、豪雪で有名な高田市街地であるため、雪害などから保護する必要があり、観測装置を既製の収納庫でおおうことにした(写真1)。収納庫が占有する面積は、約 $2.2\text{m}^2$ (縦 $1.5\text{m}$ ×横 $1.5\text{m}$ )であり、これでも従来の3分の1から10分の1の広さしかない。

### 3.2 設置経費

井戸を掘削して設けるための経費を除くと、新観測システムの設置費用は約80万円である。これは、従来の単管式の観測井の設置費用と比較して約8分の1、二重管式に比較して約10分の1である。新潟県内のほとんどの観測井で現在用いている自記録式沈下計が80数万円であり、この沈下計1台分の経費で観測施設ができたことになる。このように観測システムを簡便化したことによって、設置費用の大幅な削減を図ることができた。

### 3.3 運搬性

地層の収縮量の計測に用いた素材は、直径 $0.8\text{mm}$ のアラミド繊維製の糸と、重さ $1\text{kg}$ のステンレス製のウェイトと、2つの滑車と、それらを取り付ける組立式の架台である。従来の観測システムで設置する必要がある鋼管(Hビーム)やこれを支える架台等と比較すると、設置、撤収および運搬などの作業は比較にならないほど容易に行える。従来の観測施設は、一旦設置すると、ほぼ永久に観測を続けるという考えであり、運搬という概念はなかった。また、Hビームが大型であり、さらに二重管式では内管もあり、特殊な車両でもない限り設置や撤去は不可能である。

新観測システムに用いたアラミド繊維製の糸や地下水位センサーのケーブルなどは巻き付ければ容易に持ち運びができ、測定機器やデータ記録装置も小型である。最も大きいのが観測装置の保護箱である(写真2)。このように、大型器材がないため、ライトバンなどの商用車や乗用車でも運搬が可能である。

また、新観測システムは、構造が特殊でないため、ウェイトを井戸の底に設置できる程度の口径(約 $5\text{cm}$ )があれば、既存の揚水井戸にも簡単に取り付けられるという特色を有している。



写真 3 新観測システムの保守管理を行っている状況  
(1996年8月20日撮影)

Photo.3 Periodical maintenance of the new observation system, as on August 20, 1996.

## 4 観測結果

### 4.1 アラミド繊維の伸び

アラミド繊維も他の材料と同様に、荷重をかけると伸びる性質を有している。したがって、本来はあらかじめ荷重をかけて引っ張り、伸びが認められなくなってから用いるところであるが、研究のため、あらかじめ荷重をかけることをせずに、アラミド繊維製の糸の伸びを調査することにした。観測は、地下水位の変動が少ない1993年12月3日から開始し、アラミド繊維製の糸の伸びが終了する時間を調査した。

アラミド繊維製の糸の伸びを含む時期の地下水位と地層の収縮量の変動状況を図4に示した。観測開始当初は、地下水位の変動が生じていないにもかかわらず収縮が進行している。これはアラミド繊維の伸びによる見かけの収縮であり、地層の変動を示したものとはいえない。しかし、測定を開始してから130時間(約5日間)を経過した頃には、収縮量の変動がかなり小さくなっており、240時間(10日間)経過した時点でほとんど変動しなくなり、伸びが認められなくなった。そこで、観測(予備観測)を開始してから約1カ月後の1994年1月5日から本観測を開始することにした。

アラミド繊維の伸びが認められなくなった1994年5月31日から6月6日までの地下水位と地層の変動量の関係を図5に示した。この図によると、地下水位はほとんど変化しておらず、アラミド繊維を用いて測定した地層の温度補正前の変動量は、温度の変化に伴って少し変化し

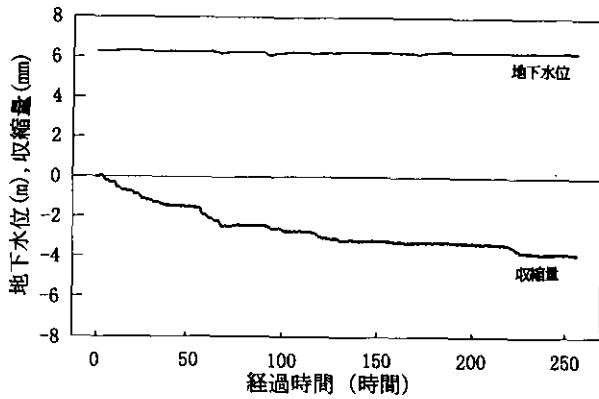


図 4 アラミド繊維が伸びきる前の地下水位と地層の変動量  
Fig. 4 Ground water level and subsidence before the wire made of aromatic polyamide being extended.

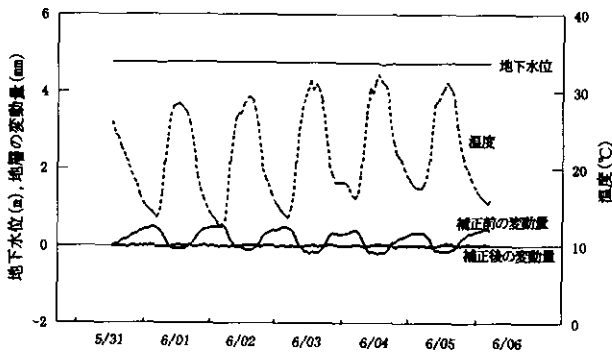


図 5 温度と地層の変動量の時系列変化  
Fig. 5 Time variation of temperature and subsidence.

ているものの、収縮が進行しているとはいえない状態になっている。このようなことから、アラミド繊維は一端伸びきってしまうと、クリープ変形的な伸びを補正しなくてもよいものと考えられる。

#### 4.2 観測装置内温度の測定系への影響

新観測システムを構成するものの中には、アラミド繊維製の糸の伸縮、滑車を支える鉄製の台座の伸縮、あるいはひずみゲージ式変換器の出力など、温度により変動する要因がある。したがって、観測値には、そのような温度変化に起因する見かけ上の変動量も含まれていることになる。

そこで、地下水位の変動がない時期の観測結果を用いて、温度の影響による見かけ上の地層の変動量を補正するための係数（以下「温度係数」という。）を求めることにした。解析には地下水位の変動がなかった1994年5月31日～6月4日までの5日間の測定値を用いることに

した（図5）。これによって求められた地層の変動量と温度との散布図を図6に示した。地層の変動量と温度の間には相関係数 $r=0.97$ という有意な負の相関が認められた。両者の間には弾性的な関係が認められ、温度係数は $-0.04\text{mm}/^\circ\text{C}$ であった。この温度係数を用いて観測値の補正を行った結果は、図5の地層の変動量と温度の時系列変化図に示してある。

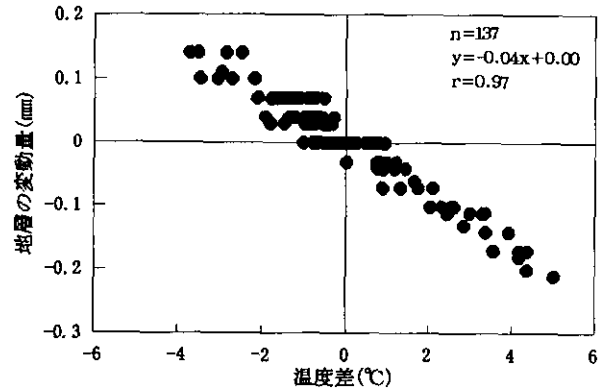


図 6 温度と地層の変動量  
Fig. 6 Relation between temperature and subsidence.

さらに、温度係数に反映する要因として挙げられる鉄製の台座の伸縮、アラミド繊維製の糸の伸縮、及びひずみゲージ変換器の出力の温度影響の3点について検討を行った。

鉄の線膨張率は $11.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ （ $20^\circ\text{C}$ ）である<sup>9)</sup>。温度が上昇すると鉄製の台座は膨張し、地表から滑車までの高さが増加するので、カウンターウェイトは上へ動くことになる。このため、観測値には見かけ上地層が膨張したように記録される。また、台座の高さは0.75mであるから、膨張をプラス、収縮をマイナスで表すと、鉄の台座の温度係数は、 $+0.0089\text{mm}/^\circ\text{C}$ となる。

アラミド繊維の温度係数は、 $-4.1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ である。したがって、温度が上昇するとアラミド繊維は縮むことになる。アラミド繊維が縮めばカウンターウェイトは上へ動くので、観測値には見かけ上地層が膨張したように記録される。地下水温はほとんど一定であるから、地下水中のアラミド繊維は温度の影響を受けないと考えられる。観測装置内の温度が $30^\circ\text{C}$ の時の井戸内における温度の鉛直分布を図7に示した。管頭より4m以上深くなると、地下水温（ $12.7^\circ\text{C}$ ）との差が $2^\circ\text{C}$ 未満となり、昼夜を通してほとんど温度変化がないものと考えられる。また、解析に用いた期間中の夜間の温度が $15^\circ\text{C}$ 前後であつ

たことから、温度変化を受けるアラミド繊維製の糸の範囲は管頭より3mまでの深さと考えられる。そこで、アラミド繊維の温度影響については地上1mから管頭下3mまでを対象として考えると、温度係数は最大でも+0.016mm/℃である。

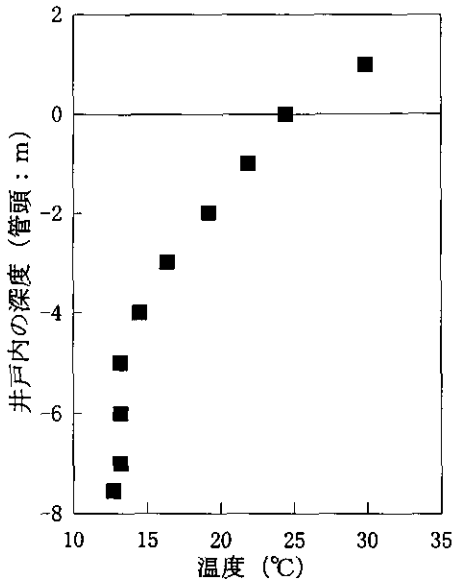


図 7 観測井内の地下水面上における鉛直方向の温度変化  
Fig. 7 Vertical changes of temperature above groundwater table in the new observation well for land subsidence at the urban Takada, Joetsu.

ひずみゲージ式変換器の温度影響は±0.05%/℃である。温度が上昇すると、ひずみゲージ式変換器の中のロッドとひずみゲージは熱膨張する。それによって、カウンターウェイトは下がるので、観測値は見かけ上地層

が収縮したように記録される。ひずみゲージ式変換器のフルスケールが100mmだから、温度係数は最大で-0.05mm/℃となる。

観測結果から求めた温度係数と上記の3つの要因の温度係数を比較すると、観測結果と同じ符号を示すのは、ひずみゲージ式変換器によるものだけであった。また、値の大きさからみても温度影響による観測値の変動は、ほとんどひずみゲージ式変換器による影響を受けたために生じたものと考えられる。

図5をみると、1日に15℃程度温度が変化している。温度が15℃上昇すると、見かけ上地層は0.6mmも収縮したことになるので、信頼性の乏しい値になってしまう。ところが、温度補正を行えば、この変換器を用いても高い精度で計測を行うことができることが分かった。なお、温度補正をしないで測定精度をよくするには、温度の影響を受けにくい計測器を用いる必要がある。

#### 4.3 地下水位の変動に伴う地層の収縮量

地下水を用いた消雪の状況を写真4に示す。道路や駐車場に敷設したパイプから地下水を散水して雪を消している。この方法を用いる限り、どうしても冬期に地下水位の低下が生じる。

新観測システムを用いて測定した地下水位と地層の収縮量の変動を図8に示した。なお、地層の変動量は前述の温度による補正を施した値である。地下水位は、毎年冬期に低下し、春から秋にかけて上昇している。地下水位の低下は、降雪深と対応しており、消雪用地下水の揚水による影響がもろに表れている。一方、地層は地下水

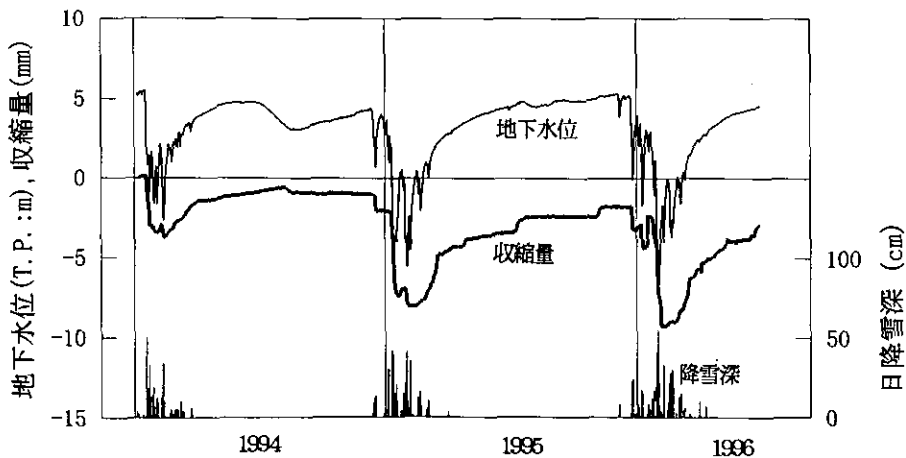


図 8 新観測システムによる地下水位と収縮量の観測結果  
Fig. 8 Ground water level and subsidence measured with the new observation well at the urban Takada, Joetsu.

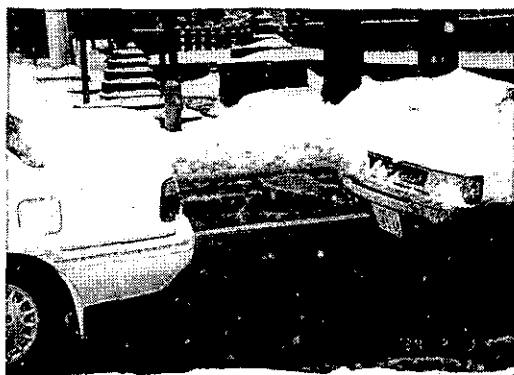


写真 4 道路に設置されている消雪パイプから地下水を散水して消雪する方法 (1994年2月3日撮影)

Photo.4 The method for snow melting by sprinkling ground water from the pipe in road, the urban Takada, Joetsu, as on February 3, 1994.

位の低下に伴って収縮しているが、地下水位が回復しても完全には回復しないため、経年的には地層の収縮が進行している。

このように、地下水位は12月から翌年の2月にかけての冬期に急激な変動を生じており、それに伴って地層も変動する様子を的確にとらえられており、収縮量の測定方法として、新しく開発した簡便な地盤沈下観測システムは有効であると判断される。

## 5 まとめ

収縮量の計測にアラミド繊維を用いた簡便な地盤沈下観測システムは、地下水の変動に伴う地層の変動を的確にとらえており、収縮量の観測方法としては有効であることが確認された。

また、従来の観測井に比較して以下の点において利点があることが認められた。

- (1) 本観測システムの地上部の占有面積は、従来の施設の10数分の1から50分の1である。占有面積が広いと、観測井設置場所の土地を借用するところが限定される。ところが、本観測システムは従来の施設より、かなり狭い場所に設置することができるため、地点の選定がかなり容易になった。
- (2) 本観測システムの設置経費は、掘削費用を除くと約80万円であった。従来の観測井の設置費用と比較すると約10分の1となり、大幅に設置費用の削減を図ることができた。
- (3) 本観測システムは、大型器材がないため設置、撤去

などに際して取り扱いが容易であり、一般車両での運搬が可能であるという特色を有している。

- (4) 本観測システムは、その構造が特殊でないため、既存の揚水井戸にも設置が可能である。

今後とも観測を継続し、長期にわたって観測した場合の測定値の安定性や信頼性についても検討する予定である。また今回は、本観測システムと従来の観測システムとの平行観測を行っていないので、接触部を少なくし、摩擦の影響を減じたことによる収縮量の観測精度の向上について論じることができなかった。現在、新潟県六日町で既存の観測井のすぐ近くに、さらに小型化した地盤沈下観測システムを設置する準備を行っている。2～3年後にはその結果について公表したいと考えている。

## 謝 辞

観測に当たって(株)フジタイチケンの丸田春樹氏、新潟県上越保健所の高橋勇人、加藤健二両氏に大変お世話になった。ここに、深く感謝する次第である。

## 引用文献

- 1) 軟弱地盤ハンドブック編集委員会編 (1989): 土木・建築技術者のための最新軟弱地盤ハンドブック. 建設産業調査会, 499p.
- 2) 新潟県環境保健部 (1995): 新潟平野の地盤沈下, pp.3-4.
- 3) 陶野郁雄 (1991): 佐賀白石平野の地盤沈下性状と新観測システム. 国立環境研究所資料, F-31-91/NIES, pp.25-30.
- 4) 陶野郁雄・丸田春樹 (1991): 佐賀県有明町に設置した新地盤沈下観測システムとその地盤性状. 第26回土質工学研究発表会講演集, pp.73-74.
- 5) 関谷一義・陶野郁雄・丸田春樹 (1996): 収縮量の計測に化学繊維を用いた簡易な地盤沈下観測システム—新潟県上越市高田市街地における計測—. 第31回地盤工学研究発表会講演集, pp.279-280.
- 6) 陶野郁雄・丸田春樹 (1997): 新しい地盤沈下観測システムの開発. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.61-68.
- 7) 陶野郁雄・関谷一義 (1997): 上越市高田市街地の浅層部の地下地質—ボーリング調査結果を基に—. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発, 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.35-42.
- 8) 地盤沈下防止対策研究会 (1990): 地盤沈下とその対策. 白亜書房, pp.299-305.
- 9) 国立天文台編 (1989): 理科年表. 丸善, 第62冊, p.469.

## H 佐賀平野における地盤沈下の現状と有明町に設置した 新地盤沈下観測システムによる観測結果

### Present State of Land Subsidence in Saga Plain and Monitoring of Subsidence with New Observation System at Ariake, Saga, Japan

陶野郁雄<sup>1</sup>

Ikuo TOHNO<sup>1</sup>

#### 要 旨

佐賀平野は佐賀県の南部に位置しており、有明海の北側に面している。著しい沈下が進行し続けている典型的な地盤沈下地域の一つであり、緊急に適切な対策を講じる必要に迫られている所である。佐賀平野では、農業用に供する地下水の揚水量の増加によって、1950年代に地盤沈下が顕在化してきた。

佐賀平野の西部に位置する白石地域は、ほとんど標高5m未満の低平地である。しかも、有明海の干満差は6mにも及ぶ。洪水から守るため、河川や海岸に堤防が張り巡らされている。佐賀平野の白石地域は主に三角州平野からなっており、広大な干拓地があることで知られている。ここには水田が広がっているが、米を育てるために必要な表流水を供給できる河川がほとんどない地域である。このため、灌漑用水の水源を主に地下水に頼らざるを得ない状況下にある。

そこで、佐賀平野の地盤沈下の状況を知るために、新たな地盤沈下観測システムを開発した。このシステムでは、地層の収縮量をアラミド繊維の糸を用いて計測している。白石地域にある有明町立有明東小学校において、この新システムで観測を行った結果、地下水の急激な低下に伴う地層の変動を的確にとらえており、この方法は収縮量の測定に有効であることが分かった。

#### Abstract

Saga Plain, which is situated in the south of Saga Prefecture, has a coastline along the northern shore of the Ariake Sea. This plain is a typical area of land subsidence where significant subsidence has occurred continuously and adequate countermeasures are urgently needed. In this Plain, land subsidence had occurred in 1950s due to increase of ground water discharge used for agriculture.

Shiraishi District is situated west of the Saga Plain. Land areas whose elevations are less than 5 meters above sea level are extensively distributed in this District. The tidal range of the Ariake Sea is about 6 meters. River and coastal dikes are constructed to prevent flooding of those land areas. Shiraishi District of the Saga Plain is composed mainly of deltaic plains and is known for its large reclaimed areas. Paddies are found extensively in this areas. Very few rivers exist that can supply surface water for growing rice in this areas. Thus, irrigation in these areas has to depend mainly on the ground water supply.

It was developed a new observation system in order to monitoring of land subsidence in the Saga Plain. This observation system is used the wire made of aromatic polyamide for measuring subsidence. As a result of observation with this system at the Ariake Higashi elementary school, Ariake, west of Shiraishi District, subsidence due to rapid decline of ground water level was observed precisely. Accordingly this method is proved effective.

1. 国立環境研究所 水士圏環境部

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

Water and Soil Environmental Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

#### 1 はじめに

佐賀平野は有明海に面した佐賀県の南部に位置している。佐賀平野は六角川以東の佐賀地域と以西の白石地域とに分けられる。白石地域は主に三角州平野からなっ



おり、広大な干拓地があるところとして知られている。そのほとんどが標高5m以下の低平地となっており、穀倉地帯を形成している。しかも有明海は、干潮時と満潮時の海面の高さの差が最大で6mにも及ぶ干満差のきわめて大きい内湾である。このため、海岸や河川に堤防を張り巡らさない限り、平野の大部分が水没してしまうところでもある。それにもかかわらず、我が国において最も地盤沈下の著しい地域の1つとなっている。白石地域は、表流水を供給できる河川に乏しいことと良質な地下水が豊富に得られることから、灌漑用水の水源を地下水に安易に頼ってしまっている。このため、深度200m付近まで夏期の地下水位の低下が著しく、沈下が進行し続けている典型的な広域地盤沈下地帯を形成している。最近の20年間をみても年平均数cmという沈下を記録しており、顕著な地盤沈下地域となっている(表1<sup>1)</sup>)。特に1994年の渇水時には、あまりにも多量に地下水を揚水したため、16.0cmという年間沈下量を記録した。

このため、「地盤沈下地域の地盤調査」の研究の一環として、1988年度に佐賀平野の白石地域の西部に位置する有明町において深度200mの調査ボーリングを行った(図1)。このうち、有明粘土層から採取した乱さない試料による標準圧密試験と繰返し圧密試験結果を基とした沈下解析<sup>2)</sup>、および採取試料の地質学的検討結果<sup>3),4)</sup>

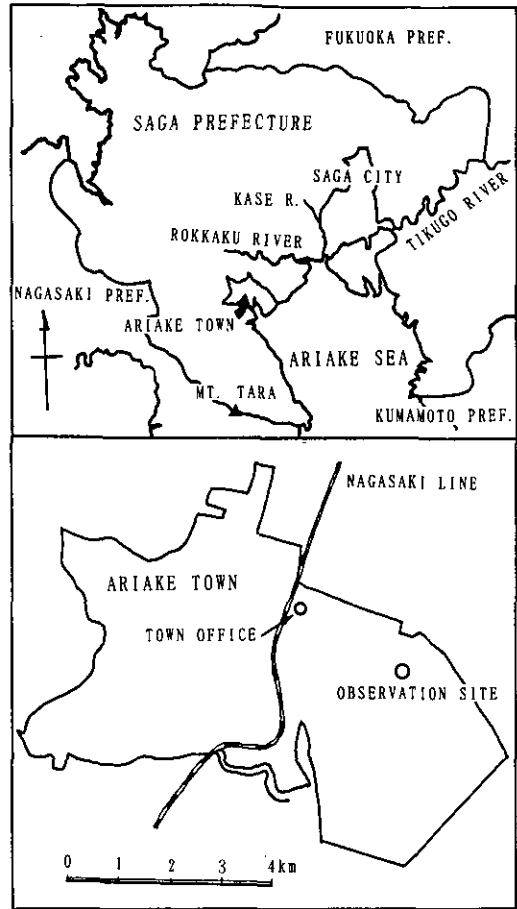


図 1 調査地点位置図  
Fig. 1 Location map of Ariake Higashi elementary school site in Shiraishi District, Saga.

表 1 全国主要地域における水準測量による年間地盤沈下量の最大値(環境庁資料に基づく<sup>1)</sup>)  
Table 1 Maximum subsidence in major land subsidence areas of Japan based on level surveying.  
(Data from the Environmental Agency of Japan<sup>1)</sup>)

PREFECTURE	AREA	MAXIMUM SUBSIDENCE (mm)																			
		'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94
HOKKAIDO	ISHIKARI PLAIN	57	33	101 <sup>3)</sup>	86 <sup>2)</sup>	44	32	59 <sup>2)</sup>	52 <sup>3)</sup>	84 <sup>3)</sup>	67 <sup>1)</sup>	48	12	15	38	2	17	14			
AOMORI	AOMORI PLAIN	37	30	20	17	9	22	10	15	69*	24	29	24	20	28	8	29	11	10	19	17
YAMAGATA	YAMAGATA BASIN	137 <sup>2)</sup>	25	66	32	29	9	16	13	17	16	22	21	14	5	20	12	14	25	5	24
MIYAGI	SENDAI PLAIN	96	71	55	189*	56	54	37	43	33	66	51	42	42 <sup>3)</sup>	37	26	25	23	29	16	20
IBARAKI	KANTO PLAIN	86	71	72	95	81	54	49	48	44	56	46	41	40	45 <sup>3)</sup>	40	43	43 <sup>3)</sup>	48 <sup>3)</sup>	27	56
TOCHIGI	KANTO PLAIN	27	41	31	29	31	19	27	55	30	27	43 <sup>2)</sup>	33	32	67 <sup>1)</sup>	36	53 <sup>2)</sup>	23	77 <sup>2)</sup>		
SAITAMA	KANTO PLAIN	147 <sup>1)</sup>	141 <sup>1)</sup>	98 <sup>1)</sup>	125 <sup>1)</sup>	96 <sup>1)</sup>	79 <sup>1)</sup>	67 <sup>2)</sup>	53	52 <sup>3)</sup>	60	56	47	48 <sup>1)</sup>	54 <sup>2)</sup>	46 <sup>2)</sup>	44	42	47	32	48
CHIBA	KUJUKURI PLAIN	54	91	44	45	36	56 <sup>3)</sup>	54 <sup>3)</sup>	43	51	30	32	31	93*	42	30	31	30	27	25	29
CHIBA	KANTO PLAIN	77	74	59	95	86 <sup>2)</sup>	53	45	35	34	53	29	32	45*	36	26	23	31	26	34 <sup>3)</sup>	36
TOKYO	KANTO PLAIN	54	56	43	56	22	18	25	11	13	32	18	13	15	11	10	14	8	20	10	30
KANAGAWA	KANTO PLAIN	111 <sup>3)</sup>	89	61	48	48	41	107 <sup>1)</sup>	263 <sup>1)</sup>	168 <sup>1)</sup>	64	52	33	32	28	50 <sup>1)</sup>	29	51 <sup>2)</sup>	34	29	17
KANAGAWA	SHONAN PLAIN	30	22	32	33	33	20	16	21	22	73	23	20	19	23	15	52 <sup>2)</sup>	34	43	14	27
NIIGATA	NIIGATA PLAIN	49	25	12	30	15	33	17	35	11	23	38	26	17	30	21	21	23	5	36 <sup>2)</sup>	14
NIIGATA	TAKADA PLAIN	16	20	42	25	4	20	37	23	22	101 <sup>1)</sup>	66 <sup>3)</sup>	54 <sup>2)</sup>	14	16	3	12	9	8	19	30
NIIGATA	MUIKAMACHI BASIN	44	67	22	14	30	44	18	16	92 <sup>2)</sup>	37	35	14	11	21	9	52 <sup>1)</sup>	57 <sup>1)</sup>	73 <sup>1)</sup>	77 <sup>2)</sup>	
NAGANO	SUWA BASIN				41	36	33	53	54 <sup>2)</sup>	47	25	67 <sup>1)</sup>	40	39	29	25	24	34	27	29	
AICHI	NOBI PLAIN	99	84	73 <sup>3)</sup>	46	35	22	32	24	26	23	15	10	18	6	22	20	14	16	10	28
GIFU	NOBI PLAIN	20	32	15	22	30	12	16	14	22	25	23	9	22	12	25	21	20	22	9	46
MIE	NOBI PLAIN	93	75	53	48	45	31	22	33	22	27	15	9	17	6	13	10	13	19	10	31
OSAKA	OSAKA PLAIN	101	93 <sup>3)</sup>	85 <sup>2)</sup>	63	23	17	20	25	18	25	25	13	19	14	15	14	13	29	14	25
HYOGO	OSAKA PLAIN	108	75	26	24	34	57 <sup>2)</sup>	14	28	15	12	16	17	8	28	13	17	28	12	185*	
SAGA	SAGA PLAIN	93	69	59	103 <sup>2)</sup>	49	35	46	54 <sup>3)</sup>	38	59	67 <sup>1)</sup>	39	37	56 <sup>1)</sup>	42 <sup>3)</sup>	45 <sup>3)</sup>	38	43	21	160 <sup>1)</sup>
KUMAMOTO	KUMAMOTO PLAIN	36	38	30	43	28	22	23	20	24	29	18	15	12	18	12	31	14	14	11	27

\* : Subsidence caused mainly due to earthquake

については既に発表した。

そこで、これらを基として地盤沈下の実態とその特徴、ボーリングコアの地質学的な分析結果を基とした地盤性状、およびこのボーリング孔を利用して新たに開発した安価で簡便な地盤沈下観測システムによる観測結果の一部について報告する。

## 2 佐賀平野の地盤沈下の歴史と現状

日本の地盤沈下はいつ頃から始まったのか正確には分からないが、大正の初期に東京都で、昭和の初期には大阪市で地盤沈下が注目されはじめ、社会的問題となってきた。これは、大正年代に入って近代的なさく井技術が発達してきたことにより、深井戸が設けられるようになり、多量の地下水が汲み上げられるようになってきたことによる。

佐賀平野では、昭和初期から農業用水を確保するための深井戸が掘られるようになった<sup>5)</sup>。そして、1950年代には地盤沈下が顕在化するようになった。1954(昭和29)年に杵島山麓で湧泉が枯渇するようになり、1958年には山麓に沿った水田において亀裂が発生しはじめ、1960年には5kmに及んで陥没を伴った亀裂が生じた。ついに、1970年には約3000戸の家屋、約20km<sup>2</sup>の農地、延長約40kmの鉄道をはじめとする被害が生じる大災害となった<sup>6)</sup>。その後も地盤沈下は進行し続けており、1978年度には年間10.3cmの沈下を記録した(表1)。その後も年間5~15mの水位変動を伴いながら毎年数cm沈下し続けている。このため、平野の大半が海岸や河川に堤防がなければ、水没してしまうようになり、ひとたび大雨に見舞われると、常に浸水の恐れのある地域となってしまった。

このように、佐賀平野は主として農業用に多量に地下水を揚水していることによる著しい地盤沈下が広域に進行している地域であるため、国によって1985年4月に地盤沈下防止等対策要綱が定められた。年間の地下水揚水

量の目標値が佐賀地域で600万m<sup>3</sup>、白石地域で300万m<sup>3</sup>に決定した<sup>7)</sup>。佐賀地域では、工業用地下水として大量に揚水していた井戸からの揚水を中止したため、要綱が実施される前年度の1984年度に目標揚水量に達しており、その後1度も目標量を超えることはなく、渇水年の1994年度でも460万m<sup>3</sup>となっている(表2)。ところが、白石地域は1985年度の1000万m<sup>3</sup>から徐々に地下水の採取量が削減され、1993年度には560万m<sup>3</sup>まで減少したものの、1994年度には2040万m<sup>3</sup>と1975年度以降最大の値を記録している(表2)。依然として目標値を大幅に上回るほど大量の地下水を揚水している地域となっている。佐賀地域が目標値の範囲内に揚水量が収まっているのは全く対照的である。

上述のように、白石地域では、1994年の渇水の際に余りにも多量に地下水を揚水し続けたため、地下水水位が極端に低下した。この結果、年間沈下量が16.0cmにも達した。後述する新有明観測井では地下水水位が低下しすぎて計測範囲外となり、観測不能となる事態が生じた。低地部での余りにも過剰な地下水揚水のため、余り地下水を揚水していない平野西部の杵島山麓で、土質地盤内から地下水を採取している井戸が涸れるという事態が生じ、再び陥没を伴った亀裂が発生した(写真1)。

写真2は、六角川河口付近の西側に位置する福富町役場が地盤沈下によって抜け上がった状況を示したものである。1967年に建設された町役場は中期更新世の砂層に支持されている。このため、著しい地盤沈下が長年続いたことによって、1989年には付け加えた階段が7段になっていた。玄関の階段上の手すりとその脇の斜めになっている手すりは、建設当初は同じ高さであった。また、抜け上がった床下は駐車場として利用していた。白石地域は低平地なこともあり、もともと浸水による被害を免れるため床は高く造られていたが、その後の地盤沈下による基礎の抜け上がりが増加したため、役場の修復を兼ねて改造することになった。写真3は、町役場の1

表 2 佐賀平野の年間地下水採取量<sup>7)</sup>

Table 2 Annual amount of ground water pumping in Saga Plain, west Kyushu, Japan<sup>7)</sup>.

AREA	AMOUNT OF GROUND WATER PUMPING ( $\times 10^5 m^3$ )																			
	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94
SAGA DISTRICT	156	123	110	110	111	96	83	66	64	60	55	47	46	45	44	45	45	42	46	
SHIRAIISHI DISTRICT	129	100	109	175	116	83	90	122	101	110	100	97	64	90	78	90	67	91	56	204



写真 1 農業用にきわめて多量に地下水を揚水したため杵島山麓で発生した亀裂を伴う沈下 (1995年2月撮影)

Photo.1 Subsidence with crack in paddies at the foot of Kishima Mountains, Saga, due to very excessive pumping out of the ground water primary for agricultural purpose, as on February 1995.



写真 2 抜け上がった福富町役場 (1989年10月には玄関の階段が7段付け加えられていた)  
Photo.2 Lift up of the Fukutomi town office building due to land subsidence. (In October 1989, seven risers had to be added to the front steps of this building.)

階建ての部分1993年には2階建てに生まれ変わった様子を示したものである。

写真4は、1988年当時の校舎が抜け上がっている白石町立白石中学校の状況を示したものである。ここでも階段が7段付け加えられていた。この直後に修復工事が行われたが、いくら地震が少ないところといっても校舎として使うには危険なため、現在は別の場所に移転した。ところが、新校舎も2年足らずで抜け上がりが顕著に現



写真 3 2階建てに改装された福富町役場 (1993年12月撮影)  
Photo.3 Reconstructed Fukutomi town office building of two storied, as on December 1993.



写真 4 抜け上がった白石町立白石中学校の校舎 (1988年撮影)  
Photo.4 Lift up of the Shiraiishi junior high school building, Shiraiishi, due to land subsidence, as on 1988.

れてきている。なお、白石町は有明町の北東部に隣接し、六角川下流域の南側に位置している町である。また、写真5は抜け上がって使用不能となった農業用揚水井戸を示したものである。なお、佐賀平野の地盤沈下の詳細は、文献8)~11)を参照されたい。

図2は、白石地域における地下水位と地盤高の変動記録である<sup>5)</sup>。この図によると、主として農業用に地下水を揚水している白石地域では、6月になると急激に地下水位が低下し、10月から徐々に回復しはじめ、4月に深度5mまで回復するという、一年一周期の繰返し変動が生じている。これに対し、地盤高は地下水位低下に伴って沈下するが、回復時にはほとんど膨張しておらず、地盤は不可逆的に沈下し続けていることが分かる。

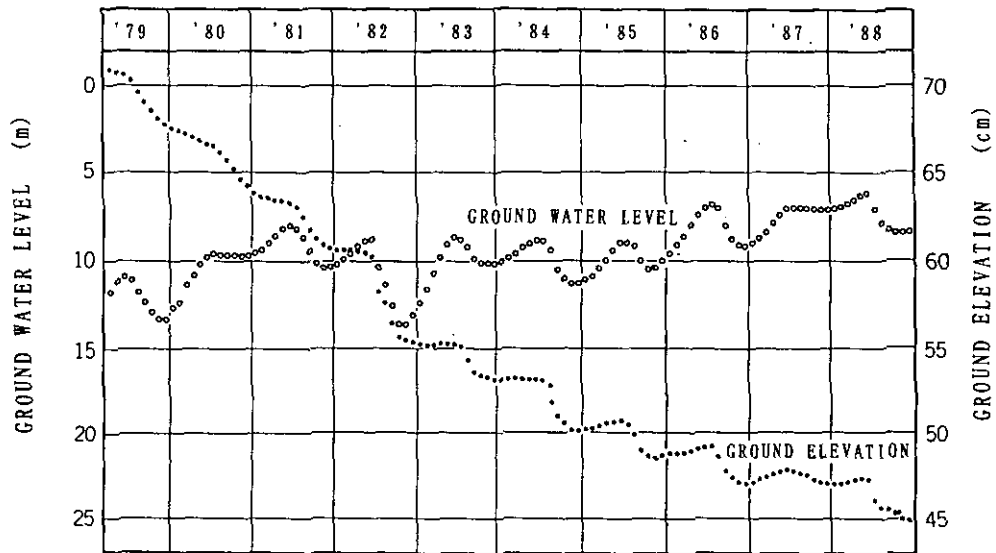


図 2 佐賀県白石町における地下水位と地盤高変動記録 (佐賀県資料に基づく)<sup>5)</sup>  
 Fig. 2 Ground elevation and ground water level at Shiroishi, Saga<sup>5)</sup>. (Data from the Saga Prefecture Authorities).

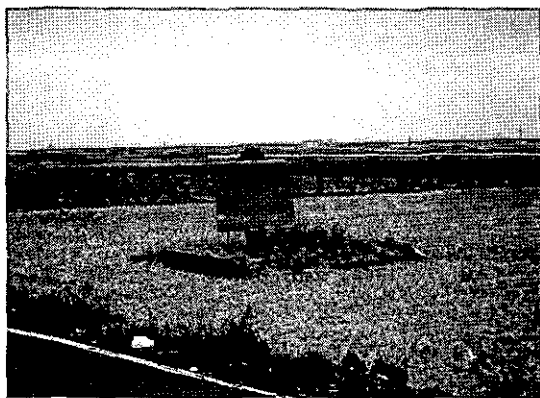


写真 5 抜け上がって使用不能となった農業用揚水井戸 (1995年2月撮影)  
 Photo.5 Lift up and no use of the well for pumping ground water for agricultural purpose in the Shiraishi District, Saga Plain, as on February 1995.

### 3 佐賀平野の地質

#### 3.1 佐賀平野の第四系

地球上で最も活発な変動帯の1つである日本列島に住むわれわれの主要な活動の場は、沖積平野の上である。沖積平野は、完新世に形成された最も新しい地形面であり、有明粘土層が堆積している佐賀平野がそれに相当する。

表3に佐賀平野の層序を示す<sup>4)</sup>。佐賀平野の第四系の大半は海成層である。表層を形成する地層は、有明粘土層といわれている海成粘土層であり、平野の西側(武雄市付近)と北側(三日月町~基山町)に蓮池層と言われ

ている河成の沖積層がある。さらに、その縁辺部には最終氷期と最終間氷期(今から2~13万年前)に堆積した三田川層と中原層が見られるが、中原町を中心とした段丘以外は局部的にしか存在していない。また、佐賀平野には、活断層と思われる構造線は存在しているが、明瞭な活断層や地震断層は今のところ発見されていない。

表 3 有明海北岸低地の第四系層序区分<sup>4)</sup>  
 Table 3 Stratigraphical classification of Quaternary System of lowland along the coast of Ariake Sea, west Kyushu, Japan<sup>4)</sup>.

HOLOCENE	UPPER HASUIKE MEMBER
	ARIAKE CLAY MEMBER
PLEISTOCENE	LOWER HASUIKE MEMBER
	MITAGAWA MEMBER
	ASO-4 PYROCLASTIC FLOW BED
	NAKABARU FORMATION
	KAWAZOE FORMATION
	USHIYA FORMATION

火山活動をみると、佐賀平野の西南部には更新世に噴火活動を行った多良岳があり、太良町から嬉野町にかけて広範囲に安山岩質の溶岩と同質の凝灰岩類がおおっている。また、玄武岩類は太良町の南東部の大浦付近に更

新世前～中期に噴出したものがみられる。石英粗面岩類は、更新世後期に噴出したものが武雄市の潮見から竹古場山、永野にかけて点在している。

火山噴出物のうち、火口からバラバラの状態で噴出するものをテフラという。地表に堆積したテフラ層は他の地層と区別しやすく、しかも詳しく調べると、どの火山のいつの噴火によってできた地層であるかが分かる。このため、我が国では、火山が大爆発したときに噴出した火山灰などが降下、堆積してできたテフラ層を追跡調査し、各地の地層を対比して、地史的な編年を行うのに多用されている。

佐賀平野には、九州の火山を源とする代表的な広域テフラが堆積している。約12万年前の阿蘇-3火山灰 (Aso-3)、7～9万年前の阿蘇-4火山灰 (Aso-4)、約22,000年前の始良-Tn火山灰 (AT)、約6,300年前の鬼界-アカホヤ火山灰 (K-Ah) などがある。阿蘇-4火山灰が堆積した時代は、更新世後期の古ウルム氷期が始まる時期に当たり、関東平野では武蔵野ローム層が堆積した時期に相当する。始良-Tn火山灰は、始良カルデラから噴出した入戸火砕流の降下堆積物であり、遠く東北地方まで分布している。その堆積した時代は、更新世末期の最終氷期であるウルム氷期の最盛期に当たり、佐賀では蓮池層下部、関東平野では七号地層と呼ばれている沖積層の最下部層の堆積した時代に相当する。鬼界-アカホヤ火山灰は、鬼界カルデラから噴出した降下堆積物であり、近畿地方まで広く分布している。その堆積した時代は、完新世前期の縄文海進期に当たり、佐賀では有明粘土層、関東平野では有楽町層と呼ばれている軟弱な沖積粘土層が堆積した時代、あるいは縄文前期の土器を産出する時代に相当する。

### 3.2 有明町の地盤

佐賀平野の白石地域の第四紀地質と地盤沈下性状を把握するため、杵島郡有明町牛屋にある有明町立有明東小学校内で国立公害研究所（現在の国立環境研究所）が1988年に深度200mのオールコア・ボーリングを行った。調査地点は、図1に示してあるように有明町東部に位置しており、明治以降に干拓された地域に隣接した鍋島藩時代の干拓地に当たる。

オールコア・ボーリングにより得られた連続土試料を用いて、分析・試験・観察を行った。その結果に基づく地質層序は、図3のようになり、次のように分けること

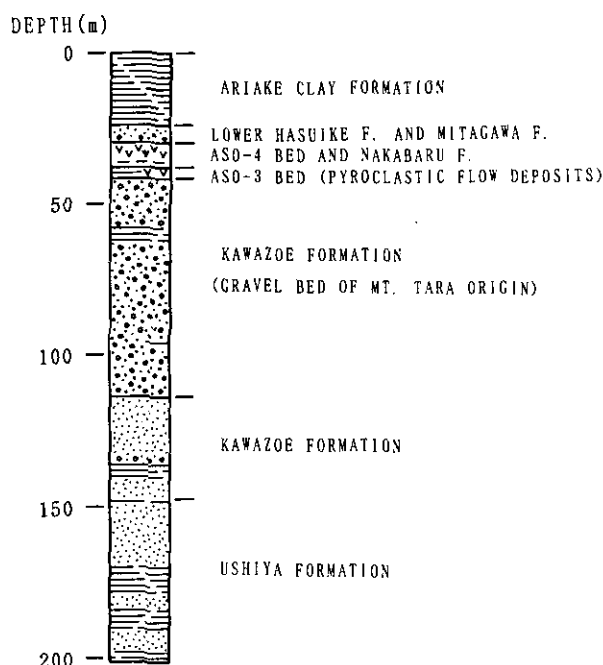


図 3 有明東小学校の地質層序  
Fig. 3 Geologic columnar section at Ariake Higashi elementary school site, Ariake, Saga.

ができる。

地表から深度24.1mまでが有明粘土層といわれている地層である。深度23.4mまでが干潟ないし内湾で堆積した粘土層で東京の有楽町層に相当する。深度23.4mではほぼ1万年前になり、深度23.4～24.1mが有楽町層の基底層 (HBG) に相当する河成層である。

深度29.6mまでは、細砂と有機質シルトの互層からなり、淡水の河川環境で堆積されたものと推定される。深度26.2mまでは東京の七号地層に相当する蓮池層下部の細砂と粘土の互層である。それ以深は、シルト混じりの礫層からなる三田川層である。

深度37.7mまでの地層は主として内湾性のシルト層であり、関東平野の下末吉層に相当する。深度32.8mまでは火山ガラス質で、阿蘇-4火山灰に相当する。この下部層は汽水環境のシルト層からなる中原層である。

深度39.7mまでの上部層は阿蘇-3火山灰を多量に含む細砂層である。深度125mまでは、主として100万年前から活動していた多良岳起源の礫層であり、それ以深は、細砂と粘土の互層となっている。下山 (1994) によれば、深度147mまでが川副層、それ以深が牛屋層となる<sup>4)</sup>。しかしながら、このボーリングでは第三系には達しなかった。

4 新しい地盤沈下観測システムによる測定結果

有明町立有明東小学校で行ったボーリングの孔を利用しての地盤沈下観測が佐賀県の協力により行えるようになった(図1)。そこで、試作品を改良し、1989年10月に設置した。その詳細は文献12)を参照されたい。

図4は、有明東小学校内に設けた観測井における設置直後から1991年2月末までの地盤沈下観測記録を示したものである<sup>13)</sup>。なお、この観測井を設置している所を新有明観測所と称することにした。

写真6は、新たに開発した地盤沈下観測システムを示したものである。観測は2つの深さで行っており、観測-1は、更新世中期に堆積した多良岳起源の礫層の地下水位(WL-1、ストレーナー深度GL. -96.5~106.0m)とこの層の基底部までの地層の変動量(SS-1、測定管深度GL. -126.0m)を測定している。観測-2は、更新世末期に堆積した三田川層の地下水位(WL-2、ストレーナー深度GL. -26.3~29.3m)と有明粘土層を主体とする地層の変動量(SS-2、測定管深度GL. -31.0m)を測定している。主に農業用に揚水している帯水層の地下水位WL-1は、夏期に大幅に低下し、9月初めにはGL. -15.2mまで低下したが、ほとんど揚水していない帯水層の地下水位WL-2は、WL-1に引きずられるように徐々に低下している。一方、地層の変動量は、有明粘土層の下位に厚い粘土層がないためか、SS-1、SS-2ともほぼ同じような沈下傾向を示し、しかも管頭の抜け上がり量

層の地下水位 WL-2は、WL-1に引きずられるように徐々に低下している。一方、地層の変動量は、有明粘土層の下位に厚い粘土層がないためか、SS-1、SS-2ともほぼ同じような沈下傾向を示し、しかも管頭の抜け上がり量

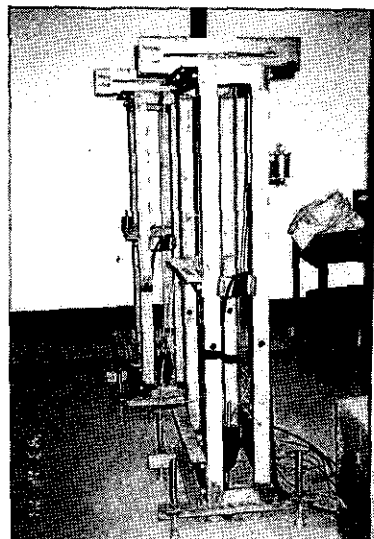


写真 6 新有明観測所に設置した新地盤沈下観測システム  
Photo.6 Equipment of new observation system for land subsidence at Shin Ariake observation site in Ariake Higashi elementary school, Ariake, Saga.

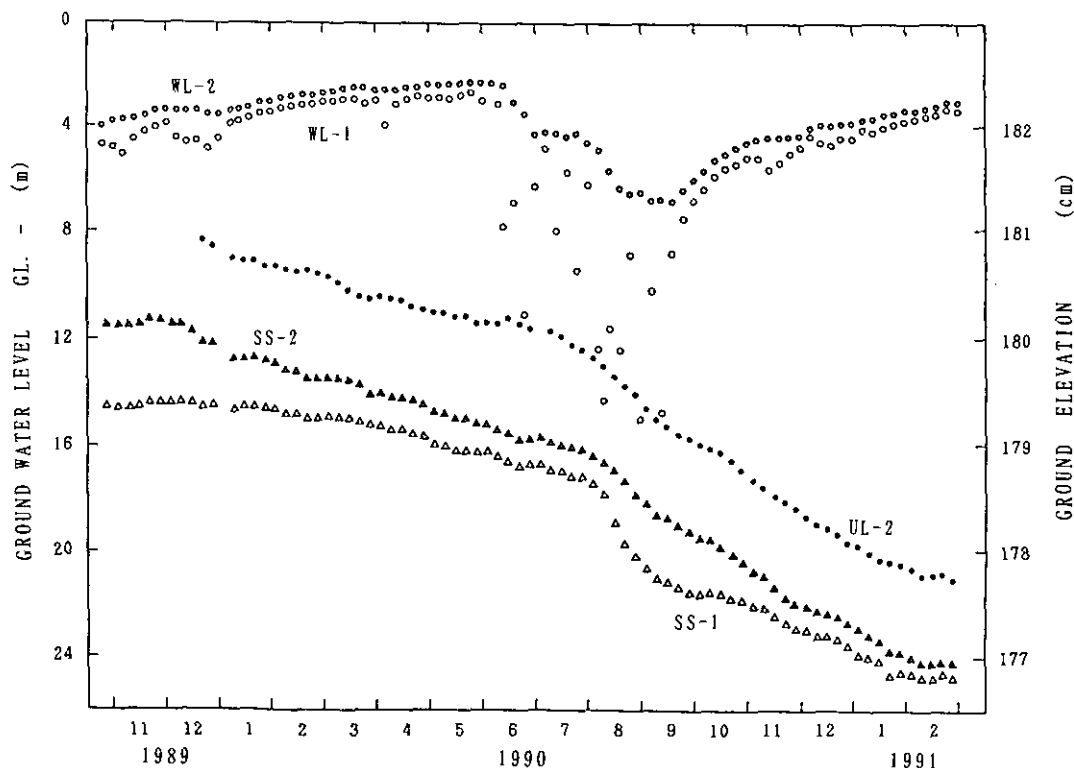


図 4 新有明観測所に設置した新地盤沈下観測システムによる観測結果<sup>13)</sup>  
Fig. 4 Observation of a new system for use in subsidence at Shin Ariake observation site in Ariake Higashi elementary school, Ariake, Saga<sup>13)</sup>.

(UL-2)とも同じような傾向を示していることが分かる。また、地下水をほとんど使わない冬には地下水位は元の高さまで回復しているが、地盤の沈下は時間の遅れを伴うため、地下水位が回復しても継続して生じていることが分かる。このようにして地盤の沈下量は累積していく。

図4に示してあるSS-2とUL-2で計測された地層の変動量を比較すると、同じ測定時間による差は±2mmの範囲に収まっており、長期的には差が生じていなかった。

このようなことから、新しく開発した観測システムは有効に働いているといえる。なお、このシステムは、現在佐賀県に移管され、経常的な観測が続けられている。

## 5 おわりに

佐賀平野の白石地域は、主として農業用にきわめて多量の地下水を揚水しているため、世界でも有数の地盤沈下の激しい地域の1つとなっており、広大なゼロメートル地帯を形成している。この平野が接する有明海は干満差が最大で6mもある。このため、海岸はもとより、河川まで堤防を高く築かなければ、平野のほとんどが水没することになる。しかも一度大雨が降ると、浸水する危険性が高いところでもある。

地盤沈下は海水面からの高さの変動を問題にすることが多い。温暖化によってさらに海水面が上昇すると、地盤が沈下しなくても相対的に地球規模の地盤沈下が生じたことになる。近い将来、世界中の平地部で観測を行う必要性が生じるかも知れない。新たに開発した地盤沈下観測システムの有効性は示されたが、さらに安価でしかも手軽で簡便な観測システムの実用化を図っていくつもりである。

## 謝辞

新しい観測システムの設置やその後の観測に際して、佐賀県保健環境部の八谷陽一郎、田中正和(当時)、北島

淳二(当時)の各氏、及び(株)フジタイチケンの丸田春樹氏に大変お世話になった。ここに、厚く御礼を申し上げる次第である。

## 引用文献

- 1) 環境庁水質保全局(1995): 全国の地盤沈下地域の概況平成6年度。
- 2) 岩田 敏・陶野郁雄(1989): 佐賀・白石平野の地盤性状と沈下解析. 第24回土質工学研究発表会, pp.133-134.
- 3) 陶野郁雄・遠藤邦彦・小杉正人・片岡久子・佐藤直弘・下山正一・野井秀明・小形昌徳・松岡数充・竹村恵二・磯 望・岩尾雄四郎・三浦哲彦(1990): 有明海奥部低地のオールコア・ボーリングによる第四紀中・後期層序と古環境. 日本第四紀学会, No.20, pp.104-105.
- 4) 下山正一・湯村直久・竹村恵二・岩尾雄四郎・三浦哲彦・陶野郁雄(1994): 有明海北岸低地の第四系. 九州大学理学部研究報告地球惑星科学, Vol.18, No.2, pp.103-129.
- 5) 陶野郁雄(1990): 大深度地下開発と地下環境. 鹿島出版会, 234p.
- 6) 大島恒彦(1977): 佐賀平野の地盤沈下. 土と基礎, Vol.25, No.6, pp.69-74.
- 7) 環境庁水質保全局企画課(1996): 地盤沈下防止等対策要綱の実施状況について. 23p.
- 8) 陶野郁雄(1986): わが国の地盤沈下の現状. 第3回地下水問題研究会, pp.27-34.
- 9) 三浦哲彦・飯盛喜代春・坂井 晃・陶野郁雄(1986): 佐賀平野における揚水に伴う地盤沈下と地下水水質への影響. 土質工学会誌 土と基礎, Vol.34, No.11, pp.13-18.
- 10) 陶野郁雄(1991): 佐賀白石平野の地盤沈下性状と新観測システム. 国立環境研究所研究発表会, No. F-31-'91/NIES, pp.25-30.
- 11) TOHNO, Ikuo(1994): Land Subsidence Problems in Japan. Lowlands, pp.413-437.
- 12) 陶野郁雄・丸田春樹(1997): 新しい地盤沈下観測システムの開発. 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発. 国立環境研究所研究報告, No. R135, pp.61-68.
- 13) 陶野郁雄(1994): 地盤沈下の現状と観測システム. 電子情報通信学会技術研究報告, pp.1-6.

国立公害研究所特別研究成果報告

- ※第1号 陸水域の富栄養化に関する総合研究—一霞ヶ浦を対象域として—昭和51年度.(1977)  
※第2号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究—昭和51/52年度 研究報告.(1978)

(改称)

国立公害研究所研究報告

- ※第3号 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus Chironomus (Diptera, Chironomidae).(1978)  
(日本産ユスリカ科 Chironomus 属9種の成虫, サナギ, 幼虫の形態の比較)
- ※第4号 スモッグチャンパーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究—昭和52年度 中間報告.(1978)
- ※第5号 芳香族炭化水素-窒素酸化物系の光酸化反応機構と光酸化二次生成物の培養細胞に及ぼす影響に関する研究—昭和51,52年度 研究報告.(1978)
- ※第6号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(II)—一霞ヶ浦を中心として—昭和53年度.(1979)
- ※第7号 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera).(1979)  
(日本産ユスリカ科20種の成虫, サナギ, 幼虫の形態学的研究)
- ※第8号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究—昭和52,53年度 研究報告.(1979)
- ※第9号 スモッグチャンパーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究—昭和53年度 中間報告.(1979)
- ※第10号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究—昭和51~53年度 特別研究報告.(1979)
- ※第11号 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity.(1980)  
(大気汚染物質の植物影響およびその植物毒性の機構に関する研究)
- ※第12号 Multi-element analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation.(1980)  
(コンピュータ制御装置を利用したフレームおよび誘導結合プラズマ分光法による多元素同時分析)
- ※第13号 Studies on chironomid midges of the Tama River.(1980)  
Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.  
Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.  
(多摩川に発生するユスリカの研究  
—第1報 その一支流に見出されたユスリカ各種の分布と下水による汚染度との関係  
—第2報 その一支流に見出された Chironominae 亜科の20種について)
- ※第14号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究—昭和53,54年度 特別研究報告.(1980)
- ※第15号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究—昭和54年度 特別研究報告.(1980)
- ※第16号 計測車レーザーレーダーによる大気汚染遠隔計測.(1980)
- ※第17号 流体の運動および輸送過程に及ぼす浮力効果—一臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究—昭和53,54年度 特別研究報告.(1980)
- ※第18号 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material.(1980)  
(環境標準試料「リョウブ」の調整, 分析および保証値)
- ※第19号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(III)—一霞ヶ浦(西浦)の湖流—昭和53,54年度.(1981)
- ※第20号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(IV)—一霞ヶ浦流域の地形, 気象水文特性およびその湖水環境に及ぼす影響—昭和53,54年度.(1981)
- ※第21号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(V)—一霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価—昭和53,54年度.(1981)
- ※第22号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(VI)—一霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量—昭和53,54年度.(1981)
- ※第23号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(VII)—一湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究—昭和53,54年度.(1981)
- ※第24号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(VIII)—一富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関する研究—昭和53,54年度.(1981)
- ※第25号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(IX)—一Microcystis(藍藻類)の増殖特性—昭和53,54年度.(1981)
- ※第26号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(X)—一藻類培養試験法による AGPの測定—昭和53,54年度.(1981)
- ※第27号 陸水域の富栄養化に関する総合研究( )—一研究総括—昭和53,54年度.(1981)
- ※第28号 複合大気汚染の植物影響に関する研究—昭和54,55年度 特別研究報告.(1981)
- ※第29号 Studies on chironomid midges of the Tama River.(1981)  
Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.  
Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.  
(多摩川に発生するユスリカ類の研究  
—第3報 夏の調査で見出されたエリユスリカ亜科 Orthoclaadiinae 各種の記載と, その分布の下水汚染度との関係について  
—第4報 南浅川の冬期の調査で見出された各種の分布と記載)
- ※第30号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究—昭和54,55年度 特別研究報告.(1982)
- ※第31号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究—昭和55年度 特別研究報告.(1981)
- ※第32号 スモッグチャンパーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究—一環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究1)—昭和54年度 特別研究中間報告.(1982)



- ※第33号 臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究—大気運動と大気拡散過程のシミュレーション—昭和55年度 特別研究報告.(1982)
- ※第34号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究—昭和55年度 特別研究報告.(1982)
- ※第35号 環境面よりみた地域交通体系の評価に関する総合解析研究.(1982)
- ※第36号 環境試料による汚染の長期モニタリング手法に関する研究—昭和55,56年度 特別研究報告.(1982)
- ※第37号 環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究.(1982)
- ※第38号 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material.(1982)  
(環境標準試料「池底質」の調整, 分析及び保証値)
- ※第39号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究—昭和56年度 特別研究報告.(1982)
- ※第40号 大気汚染物質の単一及び複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究—昭和56年度 特別研究報告.(1983)
- ※第41号 土壌環境の計測と評価に関する統計学的研究.(1983)
- ※第42号 底泥の物性及び流送特性に関する実験的研究.(1983)
- ※第43号 Studies on chironomid midges of the Tama River.(1983)  
Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June with description of 15 new species.  
Part 6. Description of species of the subfamily Orthocladiinae recovered from the main stream in the June survey.  
Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.  
(多摩川に発生するユスリカ類の研究  
—第5報 本流に発生するユスリカ類の分布に関する6月の調査成績とユスリカ亜科に属する15新種等の記録  
—第6報 多摩本流より6月に採集されたエリユスリカ亜科の各種について  
—第7報 多摩本流より3月に採集されたユスリカ科の各種について)
- ※第44号 スモッグチャンパーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究—環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究2)—昭和54年度 特別研究中間報告.(1983)
- ※第45号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究—昭和53~55年度 特別研究総合報告.(1983)
- ※第46号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究—昭和54,55年度 特別研究報告 第1分冊.(1983)
- ※第47号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究—昭和54,55年度 特別研究報告 第2分冊.(1983)
- ※第48号 水質観測点の適正配置に関するシステム解析.(1983)
- ※第49号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究—昭和57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第50号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(I)—霞ヶ浦の流入負荷量の算定と評価—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第51号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(II)—霞ヶ浦の物質循環とそれを支配する因子—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第52号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(III)—霞ヶ浦高浜入における隔離水界を利用した富栄養化防止手法の研究—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第53号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(IV)—霞ヶ浦の魚類及び甲かく類現存量の季節変化と富栄養化—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第54号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(V)—霞ヶ浦の富栄養化現象のモデル化—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第55号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(VI)—富栄養化防止対策—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第56号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(VII)—湯ノ湖における富栄養化とその防止対策—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第57号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(VIII)—総括報告—昭和55~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第58号 環境試料による汚染の長期的モニタリング手法に関する研究—昭和55~57年度 特別研究総合報告.(1984)
- ※第59号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究—光化学スモッグチャンパーによるオゾン生成機構の研究—大気中における有機化合物の光酸化反応機構の研究—昭和55~57年度 特別研究報告(第1分冊).(1984)
- ※第60号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究—光化学エアロゾル生成機構の研究—昭和55~57年度 特別研究報告(第2分冊).(1984)
- ※第61号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究—環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究1)—昭和55~57年度 特別研究報告(第3分冊).(1984)
- ※第62号 有害汚染物質による水界生態系のかく乱と回復過程に関する研究—昭和56~58年度 特別研究中間報告.(1984)
- ※第63号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究—昭和56年度 特別研究報告.(1984)
- ※第64号 複合大気汚染の植物影響に関する研究—昭和54~56年度 特別研究総合報告.(1984)
- ※第65号 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 1.(1984)  
(複合大気汚染の植物に及ぼす影響—第1分冊)
- ※第66号 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 2.(1984)  
(複合大気汚染の植物に及ぼす影響—第2分冊)
- ※第67号 環境中の有害物質による人の慢性影響に関する基礎的研究—昭和54~56年度 特別研究総合報告.(1984)
- ※第68号 汚泥の土壌還元とその環境影響に関する研究—昭和56~57年度 特別研究報告.(1984)
- ※第69号 中禅寺湖の富栄養化現象に関する基礎的研究.(1984)

- ※第70号 Studies on chironomid midges in lakes of the Nikko National Park.(1984)  
Part I. Ecological studies on chironomids in lakes of the Nikko National Park.  
Part II. Taxonomical and morphological studies on the chironomid species collected from lakes in the  
Nikko National Park.  
(日光国立公園の湖沼のユスリカに関する研究  
— 第1部 日光国立公園の湖のユスリカの生態学的研究  
— 第2部 日光国立公園の湖沼に生息するユスリカ類の分類学的, 生態学的研究)
- ※第71号 リモートセンシングによる残雪及び雪田植生の分布解析.(1984)
- ※第72号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究—環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究  
(フィールド研究2)—昭和55~57年度 特別研究報告(第4分冊).(1985)
- ※第73号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究—昭和55~57年度 特別研究総合報告.(1985)
- ※第74号 都市域及びその周辺の自然環境に係る環境指標の開発に関する研究. 環境指標—その考え方と作成方法—昭和59年度  
特別研究報告.(1984)
- ※第75号 Limnological and environmental studies of elements in the sediment of Lake Biwa.(1985)  
(琵琶湖底泥中の元素に関する陸水学及び環境化学的研究)
- ※第76号 A study on the behavior of monoterpenes in the atmosphere.(1985)  
(大気中モノテルペンの挙動に関する研究)
- ※第77号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究—昭和58年度 特別研究報告.(1985)
- ※第78号 生活環境保全に果たす生活者の役割の解明.(1985)
- ※第79号 Studies on the method for long term environmental monitoring—Research report in 1980-1982.(1985)  
(環境試料による汚染の長期的モニタリング手法に関する研究)
- ※第80号 海域における赤潮発生モデル化に関する研究—昭和57/58年度 特別研究報告.(1985)
- ※第81号 環境影響評価制度の政策効果に関する研究—地方公共団体の制度運用を中心として.(1985)
- ※第82号 植物の大気環境浄化機能に関する研究—昭和57~58年度 特別研究報告.(1985)
- ※第83号 Studies on chironomid midges of some lakes in Japan.(1985)  
(日本の湖沼のユスリカの研究)
- ※第84号 重金属環境汚染による健康影響評価手法の開発に関する研究—昭和57~59年度 特別研究総合報告.(1985)
- ※第85号 Studies on the rate constants of free radical reactions and related spectroscopic and thermochemical  
parameters.(1985)  
(フリーラジカルの反応速度と分光学的及び熱力学的パラメーターに関する研究)
- ※第86号 GC/M Sスペクトルの検索システムに関する研究.(1986)
- 第87号 光化学二次汚染物質の分析とその細胞毒性に関する研究—昭和53~58年度 総合報告.(1986)
- ※第88号 都市域及びその周辺の自然環境等に係る環境指標の開発に関する研究II. 環境指標—応用例とシステム—昭和59年  
度 特別研究報告.(1986)
- 第89号 Measuring the water quality of Lake Kasumigaura by LANDSAT remote sensing.(1986)  
(LANDSATリモートセンシングによる霞ヶ浦の水質計測)
- ※第90号 ナショナルトラスト運動にみる自然保護にむけての住民意識と行動—知床国立公園内100平方メートル運動と天神崎  
市民地主運動への参加者の分析を中心として.(1986)
- ※第91号 Economic analysis of man's utilization of environmental resources in aquatic environments and national  
park regions.(1986)  
(人間による環境資源利用の経済分析—水環境と国立公園地域を対象にして)
- ※第92号 アオコの増殖及び分解に関する研究.(1986)
- ※第93号 汚泥の土壌還元とその環境影響に関する研究(I)—昭和58~59年度 特別研究総合報告 第1分冊.(1986)
- ※第94号 汚泥の土壌還元とその環境影響に関する研究(II)—昭和58~59年度 特別研究総合報告 第2分冊.(1986)
- ※第95号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(I)—汚濁負荷の発生と流出・流達—昭和58~59年度 特別研究報  
告.(1986)
- ※第96号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(II)—水草帯・河口域・池沼の生態系構造と機能—昭和58~59年  
度 特別研究報告.(1986)
- ※第97号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(III)—水路及び土壌による水質の浄化—昭和58~59年度 特別研究  
報告.(1986)
- ※第98号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(IV)—自然浄化機能を活用した処理技術の開発と応用—昭和58~  
59年度 特別研究報告.(1986)
- ※第99号 有害汚染物質による水界生態系のかく乱と回復過程に関する研究—昭和56~59年度 特別研究総合報告.(1986)
- 第100号 バックグラウンド地域における環境汚染物質の長期モニタリング手法の研究—特定汚染選択的検出法及び高感度分  
析技術の開発—昭和58~60年度 特別研究報告.(1986)
- ※第101号 複合ガス状大気汚染物質の生体影響に関する実験的研究—昭和57~60年度 特別研究報告.(1986)
- ※第102号 地球規模大気質変動に関する予備的研究.(1986)
- 第103号 環境調和型技術としての電気自動車の評価に関する基礎的研究.(1987)
- ※第104号 Studies on chironomid midges in lakes of the Akan National Park.(1987)  
(北海道阿寒国立公園の湖におけるユスリカ相の研究)
- ※第105号 畑地土壌における水分と諸元素の動態.(1987)
- ※第106号 筑波研究学園都市における景観評価と景観体験に関する研究.(1987)
- 第107号 遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究—昭和59~60年度 特別研究報告.(1987)

- ※第108号 植物の大気環境浄化機能に関する研究—昭和57～60年度 特別研究総合報告.(1987)
- ※第109号 地域環境評価のための環境情報システムに関する研究.(1987)
- ※第110号 海域における赤潮発生のモデル化に関する研究—昭和59～60年度 特別研究総合報告.(1987)
- ※第111号 Application of X-ray photoelectron spectroscopy to the study of silicate minerals.(1988)  
(ケイ酸塩鉱物研究へのX線光電子分光法の応用)
- 第112号 光化学汚染大気中における有機エアロゾルに関する研究—有機エアロゾルの生成と挙動に関する研究—昭和58～61年度 特別研究報告.(1988)
- ※第113号 光化学汚染大気中における有機エアロゾルに関する研究—昭和58～61年度 特別研究総合報告.(1988)
- ※第114号 水界生態系に及ぼす有害汚染物質の影響評価に関する研究—昭和60～61年度 特別研究報告.(1988)
- ※第115号 複合ガス状大気汚染物質の生体影響に関する実験的研究—昭和57～61年度 特別研究総合報告.(1988)
- 第116号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(V)—汚濁負荷の発生と流出・流達—昭和58～61年度 特別研究報告.(1988)
- ※第117号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(VI)—湖沼の生態系構造と自然浄化—昭和60～61年度 特別研究報告.(1988)
- ※第118号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(VII)—自然浄化機能を活用した水路・土壌による浄化と処理技術の開発—昭和60～61年度 特別研究報告.(1988)
- ※第119号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(VIII)—自然浄化システムの評価方法—昭和60～61年度 特別研究報告.(1988)
- ※第120号 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究(IX)—昭和58～61年度 特別総合研究報告(1988)
- 第121号 Studies on the chironomid midges of lakes in Southren Hokkaido.(1988)  
(北海道南部の湖におけるユスリカ相の研究)
- 第122号 擬似ランダム変調CWライターの開発とフィールド観測への応用.(1989)
- ※第123号 バックグラウンド地域における環境汚染物質の長期モニタリング手法の研究(II)—離島及び山岳地における大気汚染成分濃度とその変動—昭和58～62年度 特別研究報告.(1989)
- ※第124号 環境科学研究用に開発したニホンウズラの遺伝学的及び微生物学的特性.(1989)
- 第125号 Chironomidae of Japan: checklist of species recorded, key to males and taxonomic notes.(1989)  
(日本及び東アジア産ユスリカ科のカタログと雄成虫の検索表)
- 第126号 バックグラウンド地域における環境汚染物質の長期モニタリング手法の研究(III)—摩周湖における水試料の代表性と底質中の汚染記録—昭和58～62年度 特別研究報告.(1989)
- 第127号 新潟県六日町における消雪用揚水に伴う地盤沈下性状.(1990)

(改称)

国立環境研究所研究報告

- 第128号 Development of an intelligent decision support system for environmental modeling and planning.(1991)  
(環境のモデリングと計画のための知的意思決定支援システムの開発)
- 第129号 先端技術における化学環境の解明に関する研究(I)—塩化ジベンゾフランとダイオキシン—昭和62年度～平成元年度 特別研究報告.(1991)
- 第130号 都市型環境汚染による健康影響・リスクの環境保健モニタリング手法に関する研究.(1993)
- 第131号 アスベストの新分析法に関する研究.(1993)
- 第132号 自由記述法による生活環境に関する地域住民の意識の調査と分析.(1994)
- 第133号 水環境における農業流出に関する研究報告.(1994)
- 第134号 宮床湿原の生態系構造.(1995)
- 第135号 新潟県上越市の地盤沈下性状と新しい地盤沈下観測システムの開発.(1997)

※ 残部なし

Report of Special Research Project of the National Institute for Environmental Studies:

- ※No. 1\* Man activity and aquatic environment—with special references to Lake Kasumigaura—Progress report in 1976.(1977)
- ※No. 2\* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants—Progress report in 1976-1977.(1978)

Research Report from the National Institute for Environmental Studies\*:

- ※No. 3 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus Chironomus (Diptera, Chironomidae).(1978)
- ※No. 4\* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system—Progress report in 1977.(1978)
- ※No. 5\* Studies on the photooxidation products of the alkylbenzene-nitrogen oxides system, and on their effects on cultured cells—Research report in 1976-1977.(1978)
- ※No. 6\* Man activity and aquatic environment—with special references to Lake Kasumigaura—Progress report in 1977-1978.(1979)
- ※No. 7 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera).(1979)
- ※No. 8\* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants—Research report in 1977-1978.(1979)
- ※No. 9\* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system—Progress report in 1978.(1979)
- ※No. 10\* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants—Progress report in 1976-1978.(1979)
- ※No. 11 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity.(1980)
- ※No. 12 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer controlled instrumentation.(1980)
- ※No. 13 Studies on chironomid midges of the Tama River.(1980)
  - Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
  - Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
- ※No. 14\* Studies on the effects of organic wastes on the soil ecosystem—Progress report in 1978-1979.(1980)
- ※No. 15\* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants—Research report in 1979.(1980)
- ※No. 16\* Remote measurement of air pollution by a mobile laser radar.(1980)
- ※No. 17\* Influence of buoyancy on fluid motions and transport processes—Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region—Progress report in 1978-1979.(1980)
- ※No. 18 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material.(1980)
- ※No. 19\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Lake current of Kasumigaura(Nishiura)—1978-1979.(1981)
- ※No. 20\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Geomorphological and hydrometeorological characteristics of Kasumigaura watershed as related to the lake environment—1978-1979.(1981)
- ※No. 21\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Variation of pollutant load by influent rivers to Lake Kasumigaura—1978-1979.(1981)
- ※No. 22\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Structure of ecosystem and standing crops in Lake Kasumigaura—1978-1979.(1981)
- ※No. 23\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Applicability of trophic state indices for lakes—1978-1979.(1981)
- ※No. 24\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Quantitative analysis of eutrophication effects on main utilization of lake water resources—1978-1979.(1981)
- ※No. 25\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Growth characteristics of Blue-Green Algae, *Mycrocystis*—1978-1979.(1981)
- ※No. 26\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Determination of algal growth potential by algal assay procedure—1978-1979.(1981)
- ※No. 27\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas—Summary of researches—1978-1979.(1981)
- ※No. 28\* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Progress report in 1979-1980.(1981)
- ※No. 29 Studies on chironomid midges of the Tama River.(1981)
  - Part 3. Species of the subfamily Orthocladiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
  - Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
- ※No. 30\* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment—Progress report in 1979-1980.(1982)
- ※No. 31\* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants—Research report in 1980.(1981)

---

\* Starting with Report No.3, the series title was changed.

- ※No. 32\* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system—Progress report in 1979—Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1).(1982)
- ※No. 33\* Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region—Simulation of atmospheric motions and diffusion processes—Progress report in 1980.(1982)
- ※No. 34\* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution—Research report in 1980.(1982)
- ※No. 35\* Comprehensive evaluation of environmental impacts of road and traffic.(1982)
- ※No. 36\* Studies on the method for long term environmental monitoring—Progress report in 1980-1981.(1982)
- ※No. 37\* Study on supporting technology for systems analysis of environmental policy—The Evaluation Laboratory of Man-Environment Systems.(1982)
- ※No. 38 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material.(1982)
- ※No. 39\* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution—Research report in 1981.(1983)
- ※No. 40\* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants—Research report in 1981.(1983)
- ※No. 41\* Statistical studies on methods of measurement and evaluation of chemical condition of soil—with special reference to heavy metals—.(1983)
- ※No. 42\* Experimental studies on the physical properties of mud and the characteristics of mud transportation. (1983)
- ※No. 43 Studies on chironomid midges of the Tama River.(1983)
  - Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June, with description of 15 new species.
  - Part 6. Description of species of the subfamily Orthocliniinae recovered from the main stream in the June survey.
  - Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.
- ※No. 44\* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system—Progress report in 1979—Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere(Part 2).(1983)
- ※No. 45\* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem—Outlines of special research project—1978-1980.(1983)
- ※No. 46\* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem—Research report in 1979-1980,Part 1.(1983)
- ※No. 47\* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem—Research report in 1979-1980,Part 2.(1983)
- ※No. 48\* Study on optimal allocation of water quality monitoring points.(1983)
- ※No. 49\* The development and evaluation of remote measurement method for environmental pollution—Research report in 1982.(1984)
- ※No. 50\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Estimation of input loading of Lake Kasumigaura—1980-1982.(1984)
- ※No. 51\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—The function of the ecosystem and significance of sediment in nutrient cycle in Lake Kasumigaura—1980-1982.(1984)
- ※No. 52\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Enclosure experiments for restoration of highly eutrophic shallow Lake Kasumigaura—1980-1982.(1984)
- ※No. 53\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Seasonal changes of the biomass of fishes and crustacia in Lake Kasumigaura—1980-1982.(1984)
- ※No. 54\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Modeling the eutrophication of Lake Kasumigaura—1980-1982.(1984)
- ※No. 55\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Measures for eutrophication control—1980-1982.(1984)
- ※No. 56\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Eutrophication in Lake Yunoko—1980-1982.(1984)
- ※No. 57\* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters—Summary of researches—1980-1982. (1984)
- ※No. 58\* Studies on the method for long term environmental monitoring—Outlines of special research project in 1980-1982.(1984)
- ※No. 59\* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides system—Photochemical ozone formation studied by the evacuable smog chamber—Atmospheric photooxidation mechanisms of selected organic compounds—Research report in 1980-1982, Part 1.(1984)
- ※No. 60\* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides system—Formation mechanisms of photochemical aerosol—Research report in 1980-1982, Part 2.(1984)
- ※No. 61\* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides system—Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere(Part 1)—Research report in 1980-1982, Part 3.(1984)

- ※No. 62\* Effects of toxic substances on aquatic ecosystems—Progress report in 1980-1983.(1984)
- ※No. 63\* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment—Progress report in 1981.(1984)
- ※No. 64\* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Final report in 1979-1981.(1984)
- ※No. 65 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 1.(1984)
- ※No. 66 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 2.(1984)
- ※No. 67\* Studies on unfavourable effects on human body regarding to several toxic materials in the environment, using epidemiological and analytical techniques—Project research report in 1979-1981.(1984)
- ※No. 68\* Studies on the environmental effects of the application of sewage sludge to soil—Research report in 1981-1983.(1984)
- ※No. 69\* Fundamental studies on the eutrophication of Lake Chuzenji—Basic research report.(1984)
- ※No. 70 Studies on chironomid midges in lakes of the Nikko National Park.  
Part I. Ecological studies on chironomids in lakes of the Nikko National Park.  
Part II. Taxonomical and morphological studies on the chironomid species collected from lakes in the Nikko National Park.(1984)
- ※No. 71\* Analysis on distributions of remnant snowpack and snow patch vegetation by remote sensing.(1984)
- ※No. 72\* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides system—Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere—Research report in 1980-1982, Part 4.(1985)
- ※No. 73\* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides system—Final report in 1980-1982.(1985)
- ※No. 74\* A comprehensive study on the development of indices system for urban and suburban environmental quality—Environmental indices—Basic notion and formation.(1984)
- ※No. 75 Limnological and environmental studies of elements in the sediment of Lake Biwa.(1985)
- ※No. 76 A study on the behavior of monoterpenes in the atmosphere.(1985)
- ※No. 77\* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution—Research report in 1983.(1985)
- ※No. 78\* Study on residents' role in conserving the living environment.(1985)
- ※No. 79 Studies on the method for long term environmental monitoring—Research report in 1980-1982.(1985)
- ※No. 80\* Modeling of red tide blooms in the coastal sea—Research report in 1982-1983.(1985)
- ※No. 81\* A studies on effects of implementing environmental impact assessment procedure—With particular reference to implementation by local governments.(1985)
- ※No. 82\* Studies on the role of vegetation as a sink of air pollutants—Research report in 1982-1983.(1985)
- ※No. 83 Studies on chironomid midges of some lakes in Japan.(1985)
- ※No. 84\* A comprehensive study on the development of assessment techniques for health effects due to environmental heavy metal exposure—Final report in 1982-1984.(1985)
- ※No. 85 Studies on the rate constants of free radical reactions and related spectroscopic and thermochemical parameters.(1985)
- ※No. 86\* A novel retrieval system for identifications of unknown mass spectra.(1986)
- No. 87\* Analysis of the photochemical secondary pollutants and their toxicity on cultured cells—Research report in 1978-1983.(1986)
- ※No. 88\* A comprehensive study on the development of indices systems for urban and suburban environmental quality II—Environmental indices—Applications and systems.(1986)
- No. 89 Measuring the water quality of Lake Kasumigaura by LANDSAT remote sensing.(1986)
- ※No. 90\* National trust movement in Japanese nature conservation—Trustworthy or illusion?(1986)
- ※No. 91 Economic analysis of man's utilization of environmental resources in aquatic environments and national park regions.(1986)
- ※No. 92\* Studies on the growth and decomposition of water-bloom of Microcystis.(1986)
- ※No. 93\* Studies on the environmental effects of the application of sewage sludge to soil(I)—Research report and papers(Part 1)in 1983-1984.(1986)
- ※No. 94\* Studies on the environmental effects of the application of sewage sludge to soil(II)—Research report and papers(Part 2)in 1983-1984.(1986)
- ※No. 95\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(I) —Drainage and flowing down of pollutant load—Research report in 1983-1984.(1986)
- ※No. 96\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(II) —Structure and function of the ecosystems of littoral zone—Research report in 1983-1984.(1986)
- ※No. 97\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(III) —Self-purification in stream and soil—Research report in 1983-1984.(1986)
- ※No. 98\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(IV) —Development and application of wastewater treatment technologies utilizing self-purification ability —Research report in 1983-1984.(1986)
- ※No. 99\* Effects of toxic substances on aquatic ecosystems—Final report in 1981-1984.(1986)
- No.100\* Studies on the methods for long-term monitoring of environmental pollutants in the background regions

- Development of highly sensitive and selective analytical methods for measurement of pollutants in the background regions-Progress report in 1983-1985.(1986)
- ※No.101\* Experimental studies on the effects of gaseous air pollutants in combination on animals.(1986)
- ※No.102\* A review on studies of the global scale air quality perturbation.(1986)
- No.103\* Technological assessment of electric vehicle from the environmental protection viewpoint.(1987)
- ※No.104 Studies on chironomid midges in lakes of the Akan National Park.(1987)  
Part I.Distribution of chironomid larvae in Lake Akan, Lake Panke and Lake Kusyaro.  
Part II.Chironomid midges collected on the shore of lakes in the Akan National Park, Hokkaido  
(Diptera, Chironomidae)
- ※No.105\* Formulation of the dynamic behavior of water and solutes leaching through the field soil.(1987)
- ※No.106\* Appraised landscape and thier environmental value in Tsukuba Science City.(1987)
- No.107\* Studies on remote sensing for spatial and temporal analysis of environment-Research report in 1984-1985.  
(1987)
- ※No.108\* Studies on the role of vegetation as a sink of air pollutants-Final report in 1982-1985.(1987)
- ※No.109\* Studies on environmental information system for regional environmental evaluation.(1987)
- ※No.110\* Modeling of red tide blooms in the coastal sea-Final report in 1984-1985.(1987)
- ※No.111 Application of X-ray photoelectron spectroscopy to the study of silicate minerals.(1988)
- No.112\* Study on the organic aerosols in the photochemically polluted air-Studies on formation and behavior of organic aerosols-Research report in 1983-1986.(1988)
- ※No.113\* Study on the organic aerosols in the photochemically Polluted air-Final report in 1983-1986.(1988)
- ※No.114\* Studies on the assessment of the hazard of chemical substances to aquatic ecosystems-progress report in 1985-1986.(1988)
- ※No.115\* Experimental studies on the effects of gaseous air pollutants in combination on animals-Final report in 1982-1986.(1988)
- No.116\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(V)  
-Drainage and flowing down of pollutant load-Research report in 1983-1986.(1988)
- ※No.117\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(VI)  
-Lake restoration and ecosystems-Research report in 1983-1986.(1988)
- ※No.118\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(VII)  
-Use of self-purification in soil and stream, and development of biological waste water treatment technology-Research report in 1985-1986.(1988)
- ※No.119\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(VIII)  
-Evaluation methods of self-purification water treatment system-Research report in 1985-1986.(1988)
- ※No.120\* Comprehensive studies on effective use of natural ecosystems for water quality management(IX)  
-Final report in 1983-1986.(1988)
- No.121 Studies on the chironomid midges of lakes in Southren Hokkaido.(1988)
- No.122\* Development of pseudo-random modulation CW lidar and its application to field measurements.(1989)
- ※No.123\* Studies on the methods for long-term monitoring of environmental pollutants in the background regions (II)  
-Atmospheric pollutants on the remote island and mountains: concentrations and variations-Research report for FY 1983-1987.(1989)
- ※No.124\* Studies on the genetic and microbiological characteristics of the Japanese quail exploited for the research of environmental science.(1989)
- No.125 Chironomidae of Japan: checklist of species recorded, key to males and taxonomic notes.(1989)
- No.126\* Studies on the methods for long-term monitoring of environmental pollutants in the background regions (III)  
-Representativeness of water samples and historical change of pollutants in sediment of Lake Mashu-  
Research report for FY 1983-1987.(1990)
- No.127\* Land subsidence caused by pumping for melting snow in Muika-machi, Niigata Prefecture.(1990)
- No.128 Development of an intelligent decision support system for environmental modeling and planning.(1991)
- No.129\* Studies for a systematic evaluation of chemosphere under highly advanced technologies (I)-Chlorinated dibenzofurans and chlorinated dibenzodioxins-Research report for FY 1987-1990.(1991)
- No.130\* A comprehensive study on the methods of monitoring on the hearth effects/risk of environmental pollutions in urbanized area.(1993)
- No.131\* Studies on the new methods of asbestos analysis.(1993)
- No.132\* Analysis of Local Residents' Awareness of the Life Environment through Free Response Data.(1994)
- No.133\* Studies on Bunoff of Pesticides in Water Environment.(1994)
- No.134\* Ecosystem Structure of Miyatoko Mire.(1995)
- No.135\* Studies on Land Subsidence of the Joetsu, Niigata, Japan and Development of New Land Subsidence Observation System.(1997)

\* in Japanese

※ out of stock

RESEARCH REPORT FROM  
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

No. 135

国立環境研究所研究報告 第135号  
(R-135-'97)

---

【平成8年10月31日編集委員会受付】  
【平成9年2月27日編集委員会受理】

平成9年3月31日発行

発行 環境庁 国立環境研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16番2

電話 0298-50-2343 (ダイヤルイン)

---

印刷 株式会社 イセブ

〒305 茨城県つくば市天久保2-11-20

Published by the National Institute for Environmental Studies  
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan  
March 1997

本報告書は再生紙を使用しています。





# ボーリング柱状図

調査名 地盤沈下地域の地盤調査

ボーリング No. 1

事業・工事名

No. 1

ボーリング名	No. 1	調査位置	新潟県上越市大手町5-40(上越市公民館敷地内)
発注機関	環境庁国立環境研究所		北 緯
調査業者名	株式会社 東京ソイルリサーチ (03-3410-7221)	主任技師	東 経
調査員	角 下 啓	主任技師	東 経
ボーリング機	ハンマー落し用機	試錐機	ボンプ
エンジン	ロータリー式オイルド(D2-G型)		

標高 尺高 (m)	層厚 (m)	柱状 図	土質 区分	色相 対対 調度	相対 密実 度	記 事	孔内 水位 (m)	標準貫入試験 10mの 打撃回数 (m)	コア採取率 (%)		原位置試験 深 度 (m)	試験名 および結果	採取 深度 (m)	採取 方法	調査 月日
									0	100					
1	0.20	1.80	1.80	黄褐色	粘土	及深達しり粘土(混入物はコンクリート塊、レンガ)細砂少量混入。色調の変化無し。	11.00	0	0						
2	0.80	1.20	3.00	黄褐色	粘土質細砂	混砂層。									
3	0.40	1.60	4.60	黄褐色	粘土	粘子は細かい。3.00~3.45mの層に混入。3.75~4.00mの層に細砂混入。4.10~4.30mの層に混入。									
4	0.20	2.20	8.80	黄褐色	粘土	4.60~5.00mの層に細砂混入。含水率高い。5.00~5.60mの層に細砂混入。									
5	0.20	3.00	10.80	黄褐色	粘土	所々細砂を多量に混入。(層厚2~20mm)含水率高い。10.00~10.40mの層に細砂混入。所々細砂を混入する。									
6	0.20	4.70	15.50	黄褐色	粘土	層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~50mm)砂の粒は細かい。含水率高い。									
7	0.20	5.00	17.00	黄褐色	粘土	粘着性乏しい。									
8	0.20	5.10	18.10	黄褐色	粘土	所々円盤を少量混入。所々粘土を混入。									
9	0.20	5.15	21.25	黄褐色	シルト質粘土	所々細砂を多量混入。層の形状は円盤一帯円盤。20.70~21.00mの層に細砂混入。									
10	0.20	5.25	23.80	黄褐色	粘土	上部粘土が多量混入。下部に行くに従って粘土が粗くなる。21.25~22.65mの層に粘土を混入。22.65~23.80mの層に粘土を混入(層厚2~20mm)含水率高い。									
11	0.20	5.00	28.80	黄褐色	粘土	所々円盤を多量に混入。(層厚2~35mm)所々粘土を混入。所々粘土を混入。含水率高い。									
12	0.20	5.05	31.15	黄褐色	粘土	上部に黄褐色の部分有り。粘土は細かい。									
13	0.20	5.05	32.80	黄褐色	粘土	所々円盤を多量に混入。層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~80mm)32.80~32.95mの層に黄褐色の粘土を混入。35.00~35.45mの層に粘土を混入。35.45~35.60mの層に粘土を混入(層厚2~20mm)層下部での含水率高い。									
14	0.20	5.10	39.80	黄褐色	粘土	粘土は細かい。所々粘土を混入。41.50~41.85mの層に粘土を混入。									
15	0.20	5.15	42.35	黄褐色	粘土	所々円盤を多量に混入。(層厚2~10mm)木片を少量混入。含水率高い。									
16	0.20	5.10	45.30	黄褐色	粘土	所々粘土を多量混入。44.50m付近は黄褐色を呈す。									
17	0.20	5.00	51.30	黄褐色	五石混じり粘土	層は安山岩。チャートで安山岩主体層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~200mm)砂の粒は細かい。含水率高い。48.00m付近の含水率高い。									
18	0.20	5.00	53.30	黄褐色	五石混じり粘土	層は安山岩。石灰岩で安山岩主体層の形状は円盤。所々粘土を混入に供す。									
19	0.20	5.05	54.65	黄褐色	粘土	53.90~53.95mの層に粘土を混入。54.35mの層に粘土を混入(層厚2~20mm)含水率高い。									
20	0.20	5.05	57.90	黄褐色	粘土	所々粘土を混入。粘着性乏しい。									
21	0.20	5.00	58.90	黄褐色	粘土	57.80~58.90mの層に粘土を混入。58.90~59.40mの層に粘土を混入。59.40~59.70mの層に粘土を混入。60.20~60.60mの層に粘土を混入。61.15~61.65mの層に粘土を混入。61.85~62.30mの層に粘土を混入。(所々粘土を分選)									
22	0.20	5.05	62.30	黄褐色	粘土	所々円盤を多量混入。(層厚2~35mm)含水率高い。									
23	0.20	5.05	65.90	黄褐色	粘土	上部粘土を多量混入。所々少量の砂分を混入。所々少量の層を混入。62.90m~72.25mの層に粘土を混入(粘土は非常に細かい)含水率高い。									
24	0.20	5.05	74.10	黄褐色	粘土	粘土は均一。所々粘土を少量混入。									
25	0.20	5.05	77.80	黄褐色	粘土	層上部はシルト分を含む。77.80~78.15mの層に粘土を混入。(層厚2~20mm)含水率高い。									
26	0.20	5.05	80.00	黄褐色	粘土	所々粘土を混入。所々粘土を混入。層厚2~20mm。含水率高い。									
27	0.20	5.05	84.55	黄褐色	粘土	粘土は細かい。所々粘土を混入。84.55~84.70mの層に粘土を混入。									
28	0.20	5.05	86.15	黄褐色	粘土	層は安山岩。チャートで安山岩主体層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~70mm)85.40~85.55mの層に粘土を混入。85.80~86.15mの層に粘土を混入(粘土は細かい)86.15~90.15mの層に粘土を混入。91.30~91.45mの層に粘土を混入。									
29	0.20	5.05	92.95	黄褐色	粘土	所々円盤を少量混入。(層厚2~10mm)92.90~92.95mの層に粘土を混入。ガスが混入する。									
30	0.20	5.05	99.60	黄褐色	粘土	層は安山岩。石灰岩。チャートで安山岩主体層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~200mm)含水率高い。92.95~93.00mの層に粘土を混入。									
31	0.20	5.05	99.60	黄褐色	粘土	97.90~98.05mの層に粘土を混入。99.60~99.80mの層に粘土を混入。									
32	0.20	5.05	101.10	黄褐色	粘土	層は安山岩。石灰岩。チャートで安山岩主体層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~250mm)含水率高い。									
33	0.20	5.05	104.55	黄褐色	粘土	層は安山岩。チャートで安山岩主体層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~100mm)102.00m付近の層は比較的層厚が小さい(2~60mm)104.50~105.15mの層106.40~106.85mの層107.40~107.70mの層108.20~108.60mの層109.40~110.15mの層層厚。層は所々小断層による。含水率高い。									
34	0.20	5.05	127.40	黄褐色	粘土	層は安山岩。石灰岩。チャートで安山岩主体層の形状は円盤一帯円盤。(層厚2~150mm)所々粘土を混入。120.20~120.35mの層に粘土を混入。121.35~122.00mの層に粘土を混入。含水率高い。									
35	0.20	5.05	128.35	黄褐色	粘土	127.40~128.35mの層に粘土を混入(層厚20~30cm)128.35~128.80mの層に粘土を混入。129.80~129.50mの層に粘土を混入。									
36	0.20	5.05	130.60	黄褐色	粘土	層砂を少量混入。130.45~130.60mの層に粘土を混入。132.90~133.05mの層に粘土を混入。層厚2~20mm。含水率高い。									