

地下水位・地盤沈下記録の一考察

— 1977~1978年, 北発寒・山口両観測所について —

A Study of Groundwater Level and Land Subsidence in Kitahassamu and Yamaguchi Observatory, Sapporo City, Hokkaido

嵯峨山 積

Tsumoru SAGAYAMA

まえがき

札幌扇状地以北の低地には多くの河川が存在し、南部地域の扇状地および北・西部地域の丘陵とともに本地域における地下水涵養源の役割をはたしている。また、低地下には砂礫よりなる良好な帯水層が発達し、道内でも地下水の豊富な地域として知られている。

しかしながら人口の都市集中化、郊外の開発および工業の発達などにより地下水の利用度が高まり、無尽蔵とおもわれた本地域の地下水も年々水位*の低下を生じてきている。それは1950年頃まで札幌扇状地に数多く見られた湧水が涸渇したことや北部郊外における深井戸が1965年頃自噴を停止したことなどに見られる。

地下水位低下現象が著しく進むと地層中の間隙水が絞り出され、その結果地層の収縮が生じ地盤沈下

が起こる。このような公害を起こすことなく貴重な水資源である地下水を有効に利用するためには、地下水とその入れ物である地盤について長年にわたる調査・研究が必要である。

地下資源調査所では1970年より「地盤調査」事業の一環として北発寒・屯田・石狩No.1・石狩No.2・分部越・樽川および山口の7観測所における地下水位・地盤沈下記録を集積してきた(道立地下資源調査所1976・1978)。

筆者は1977年4月より地下水位・地盤沈下観測業務を担当し、「昭和51年~昭和52年地下水位・地盤沈下観測記録」のとりまとめを行ったが、これは記録集であるため解析・考察はおこなっていない。

本文は今まで集積した記録の中から、特に北発寒・山口における1977・1978年の記録を取り上げ、その変化傾向と原因および水位と沈下の関係を述べたものである。今後の地盤・地下水調査の一資料と

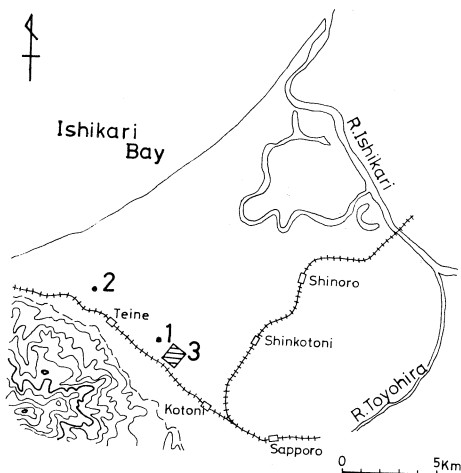
第1表 観測所概要

Table. 1 Summary of Observatory

(* 地表からの深度)

	北発寒観測所		山口観測所		
	A	B	A	B	C
所在地	札幌市西区発寒1154の3		札幌市西区手稲山口9番地1		
観測開始日	1971. 1. 1	1977. 4. 20	1976. 10. 9	1976. 9. 21	1976. 10. 6
観測目的	被圧地下水 地盤沈下	自由地下水	被圧地下水 地盤沈下	被圧地下水 地盤沈下	自由地下水
口径(mm)	150	40	125	200	40
観測井深・度*(m)	130	6	35	146.5	6
ストレーナ深度*(m)	105~110.5	5.6~5.9	18.4~23.9	111.5~117.0 122.5~128.0	5.6~5.9

※ 被圧地下水では圧力水頭のことである。



第 1 図 観測井位置図

Fig. 1 Locality map of observation wells.

1. 北発寒観測所 2. 山口観測所 3. 発寒鉄工団地

なれば幸いである。

「地盤調査」の担当者である当所松下勝秀主任研究員には本文の内容について御指導・御議論いただいた。小原常弘水理地質科長には観測に関する御指導・御援助とともに本文をまとめる機会を与えていただき御討論願った。その他、週一回の観測業務に御協力いただいた方々は下記の通りである。当所和気徹物理探査科長、広田知保研究員、和田信彦研究員、石狩開発株式会社小野興宏氏。

ここに明記して以上の方々に心より感謝の意を表わすものである。

I 観測井および記録の概要

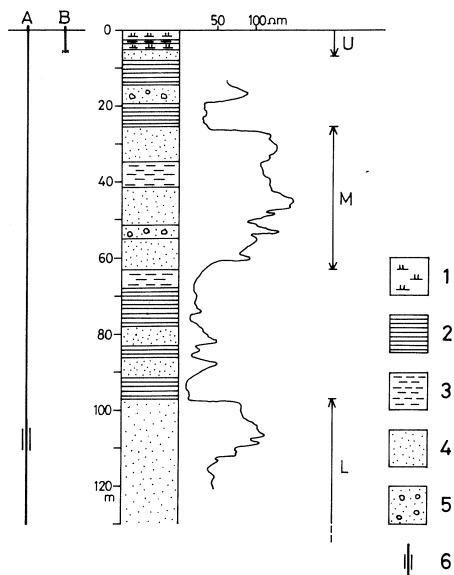
第 1 表に北発寒・山口両観測所の概要を示した。

本文では北発寒の被圧地下水の記録を A 水位、地盤沈下記録を A 沈下、自由地下水のを B 水位とする。

山口においても同様に A 水位、A 沈下、B 水位、B 沈下、C 水位とよぶ。

本地域の帯水層区分は山口 (1970) の定義にもとずいて用いた。

両観測所はともに手稲山麓東方約 2 km に位置し、両者間の距離は約 4 km である。北発寒観測所より南東約 1.2 km 離れた所に発寒鉄工団地が広がり、多量の地下水を利用している (第 1 図)。



第 2 図 北発寒観測井柱状図

Fig. 2 Geological columnar section in Kitahassamu.

1. 泥炭 2. 粘土 3. シルト 4. 砂
5. 砂礫 6. ストレナー U. 浅部帯水層 M. 中部帯水層群 L. 深部帯水層群

松下 (1977) は北発寒—山口地域における地下地質について報告し、いわゆる基盤は鮮新統の西野層に対比される火山角礫岩であり標高—125—138 m のほぼ平坦な侵食面を形成するとしている。そして、この基盤を覆って広がる地層中の帯水層については、山口 (1970) 定義による深部帯水層群、中部帯水層群を用いて区分している (第 2 図、第 6 図)。

1 北発寒観測所

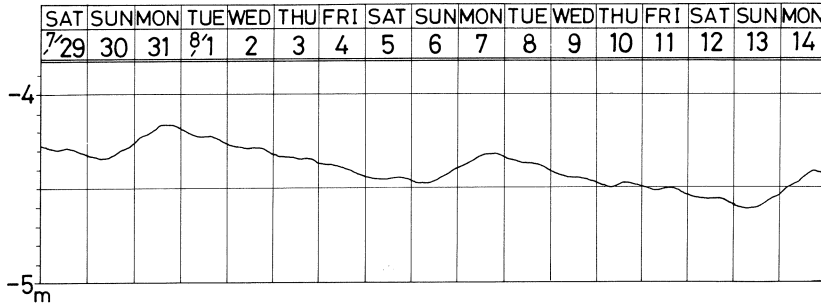
A 水位は深部帯水層群を対象にしている。観測開始日である 1971 年 1 月 1 日の日平均水位*は標高** 1.917 m であったが、8 年後の 1979 年 1 月 1 日には—4.384 m となり、年平均約 80 cm の割合で水位低下が生じている。

第 3 図は 1978 年 7 月 29 日から 8 月 14 日の水位変化図である。この図から 2 通りの変化がよみとれる。

1 つは日曜日の 7 時頃から翌日曜日 18 時頃にかけての水位回復である。他の 1 つは月曜日 18 時頃から 6 日後の日曜日 7 時頃までのゆるやかな水位低

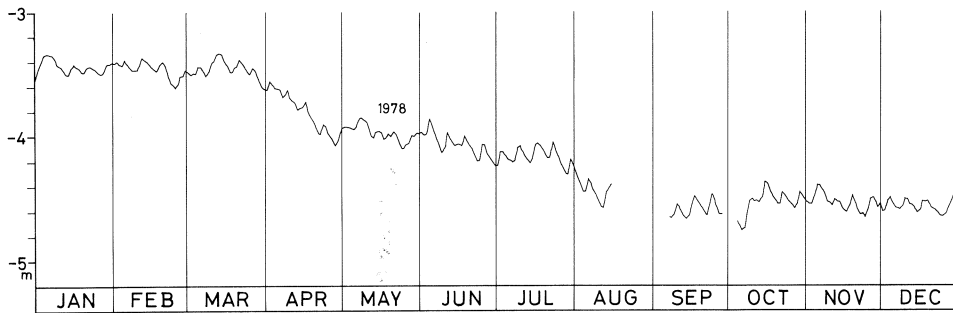
* 1 日における 4, 8, 12, 16, 20, 24 時の水位を平均したものである。

** 文中および図中の水位は全て標高で示した。



第3図 北発寒A水位変化図 (1978)

Fig. 3 Weekly fluctuation of groundwater level at Kitahassamu A(1978).



第4図 北発寒A水位年間変化図 (1978)

Fig. 4 Fluctuation of groundwater level at Kitahassamu A(1978).

下である。このような変化は第4図の年間変化図で7日間隔のピークとして表現されている。

また、日曜日から翌日月曜日にかけての水位回復幅は夏が大きく冬は小さい。

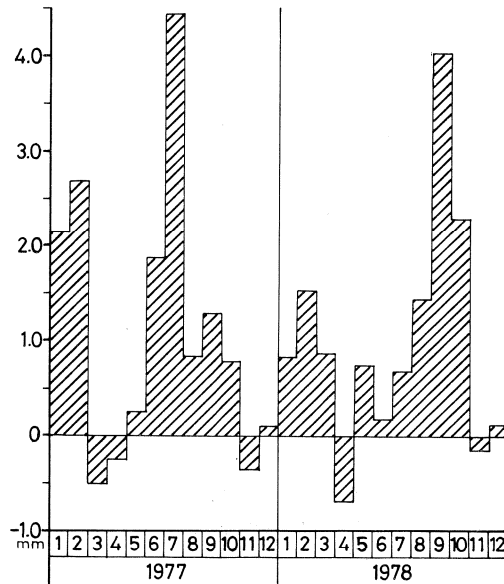
A沈下は地表下130mまでの地層の沈下量を記録している。本文では1977年以降の記録を用いたが、それによると年間平均14mm程度の沈下を示している。

第5図は月ごとの沈下(+), 浮上(-)を表わしたものである。この図によれば沈下が大きく進む時期は夏期および冬期で、逆に浮上する時期は春期および秋期である。これは北海道における渇水期および豊水期に対応している。

2 山口観測所

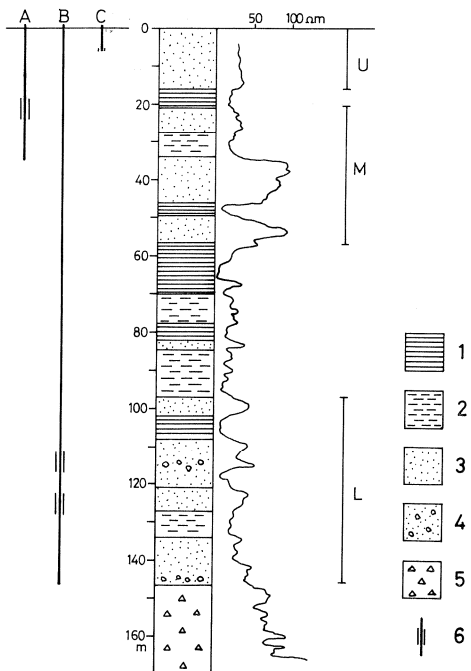
A水位は中部帯水層群を対象にしている。1年間の水位低下量は1976年12月31日から1977年12月31日では38.1cmであり、同様に1977年12月31日から1978年12月31日では13.4cmである。

B水位は深部帯水層群を対象にしている。12月15日を基準日とするB水位の年間水位低下量は1976~1977年で66.8cm, 1977~1978年で65.8cmで



第5図 北発寒A沈下月間沈下量

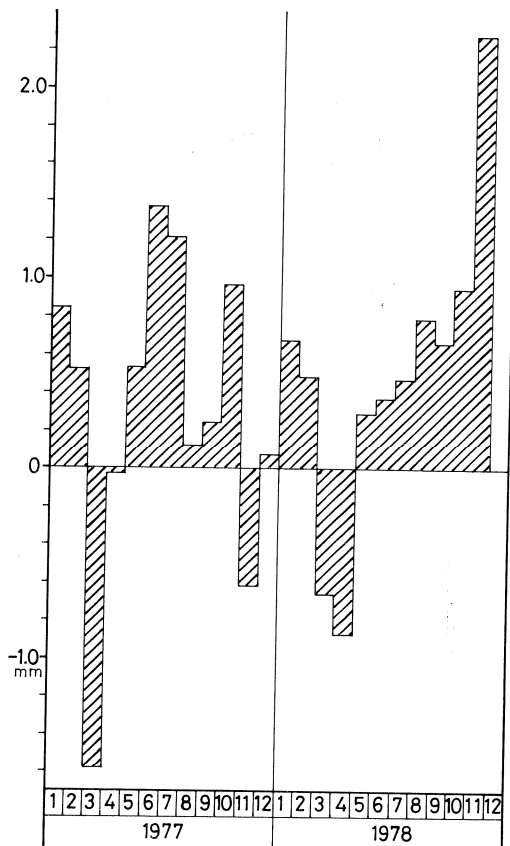
Fig. 5 Monthly land subsidence at Kitahassamu A. (沈下をプラス, 浮上をマイナスとした。以下同じ)



1. 粘土 2. シルト 3. 砂 4. 砂礫
5. 火山角礫岩 6. ストレーナー U. 浅部帯水層 M. 中部帯水層群 L. 深部帯水層群

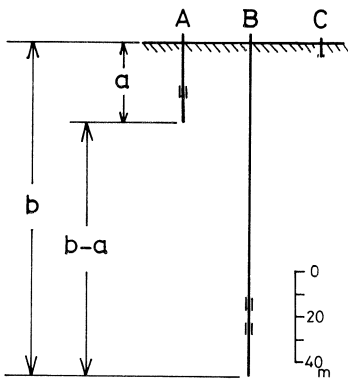
第 6 図 山口観測井柱状図

Fig. 6 Geological columnar section in Yamaguchi.



第 8 図 山口 A 沈下月間沈下量

Fig. 8 Monthly land subsidence at Yamaguchi A.



第 7 図 山口観測井略図

Fig. 7 Illustration of Yamaguchi wells.

A. A 観測井 B. B 観測井 C. C 観測井

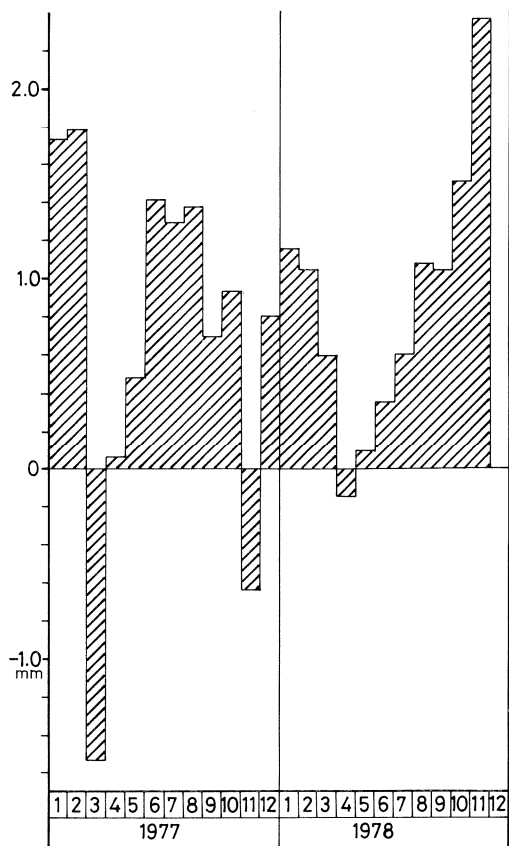
ある。

A 沈下は地表下 35 m までの地層(第 7 図 a 区間に相当)の沈下量を記録している。年間沈下量は 3 ~ 4 mm 程度である。年間の変化を見ると A 沈下は山口 C 水位と非常によく相関する。第 8 図では、沈下・浮上がそれぞれ北海道における渇水期・豊水期に対応している。

B 沈下は地表から基盤まで 146.5 m 間の地層(第 7 図 b 区間に相当)の沈下量を記録している。年間沈下量は 8 ~ 9 mm 程度である。第 9 図で、沈下が大きく進むのは主に渇水期である夏と冬である。

第 10 図は A・B 両沈下の年間変化図である。

B 沈下から A 沈下を差し引いた値は第 7 図の b - a 区間(地表下 35 ~ 145 m 間)の地層の沈下量を表わしている。これを山口 B - A (B マイナス A) 沈下とし、第 11 図に年間変化を示した。第 12 図には月間沈下量を示した。この図から主に夏期と冬期に



沈下が進んでおり、特に冬期の方がより大きな沈下を示すことがわかる。

II 水位と沈下の関係

1 北発寒A水位とA沈下の関係

第13図は1977年および1978年におけるA水位とA沈下の値を7日おきにとりA水位-A沈下曲線とした。この曲線から近似的に求められる直線は x を水位、 y を沈下量とすると

$$y = -(1.33x + 3.59) \times 10^{-2}$$

となる。

次にA沈下の観測区間の地層が全て粘土質とみなして、みかけの体積圧縮係数 mv を求めると

$$S = H \cdot \Delta p \cdot mv \dots\dots(1)$$

から、 $mv = S / \Delta p \cdot H = 1.33 \times 10^{-2} / 1 \times 1,000 \times 130 = 1.02 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$ となる。

ただし、 S : 沈下量 H : 沈下区間の厚さ Δp : 水圧変化である。

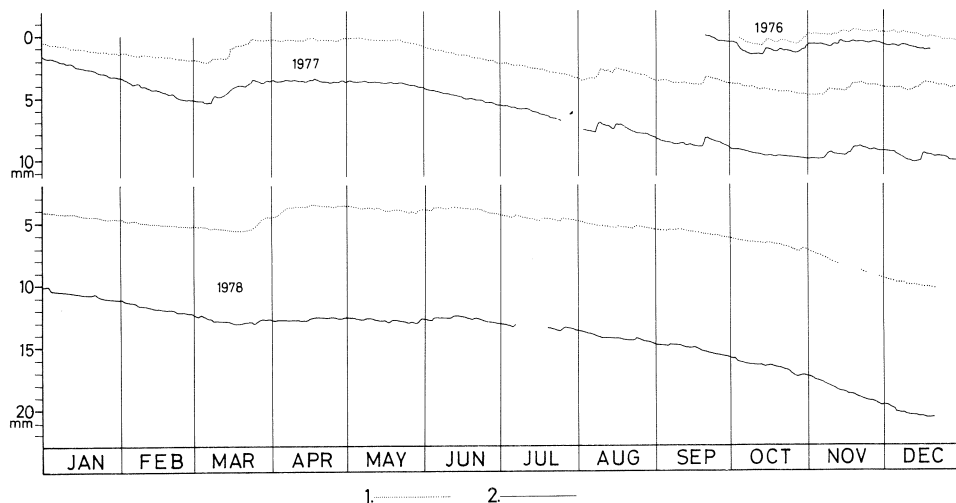
観測井柱状図より観測区間の地層から砂層・砂礫層を除いて体積圧縮係数を求めると、 $H = 48 \text{ m}$ であるから、

$$mv = 1.33 \times 10^{-2} / 1 \times 1,000 \times 48 = 2.77 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

となる。

第9図 山口B沈下月間沈下量

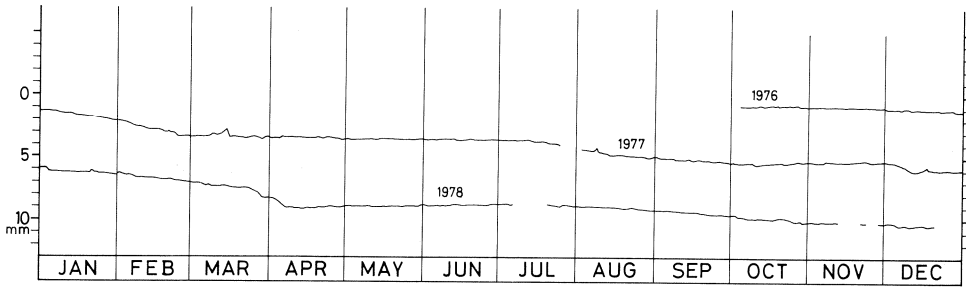
Fig. 9 Monthly land subsidence at Yamaguchi B.



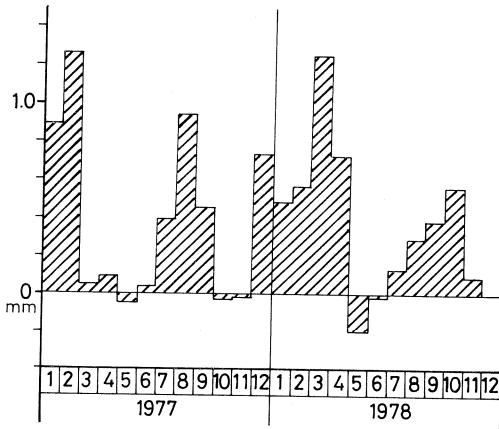
第10図 山口A沈下・B沈下年間変化図(1977~1978)

Fig. 10 Variation of land subsidence at Yamaguchi A and B (1977~1978).

1. A沈下 2. B沈下



第 11 図 山口 B-A 沈下年間変化図 (1976~1978)
 Fig. 11 Variation of land subsidence at Yamaguchi B-A(1976~1978).



第 12 図 山口 B-A 沈下月間沈下量
 Fig. 12 Monthly land subsidence at Yamaguchi B-A.

2 山口 A 水位と A 沈下の関係

第 14 図は 1977 年の A 水位 - A 沈下曲線である。この曲線の特徴の 1 つは他のものと比較して変化が非常に少ないことである。

曲線の変化傾向から求めた直線の式は

$$y = -(9.06x - 14.81) \times 10^{-3}$$

である。

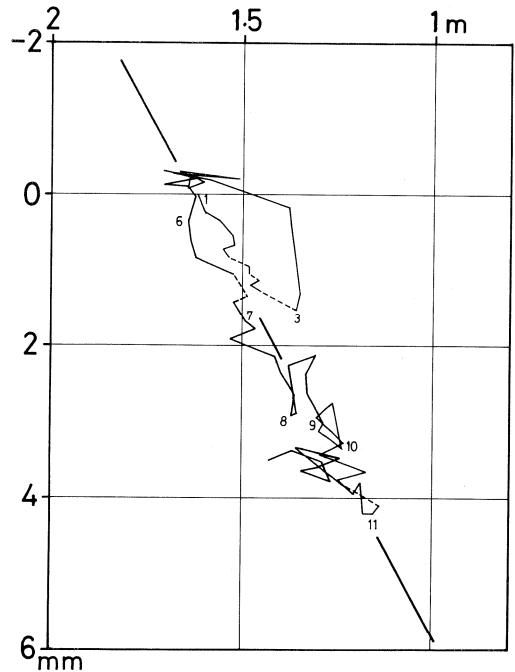
次に体積圧縮係数 mv を北発寒同様に求めると、(1)式より

$$mv = 9.06 \times 10^{-3} / 1 \times 1,000 \times 35 = 2.59 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{kg}$$

となる。

砂層・砂礫層を除いた係数は、 $H=12\text{m}$ より

$$mv = 9.06 \times 10^{-3} / 1 \times 1,000 \times 12 = 9.55 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{kg}$$

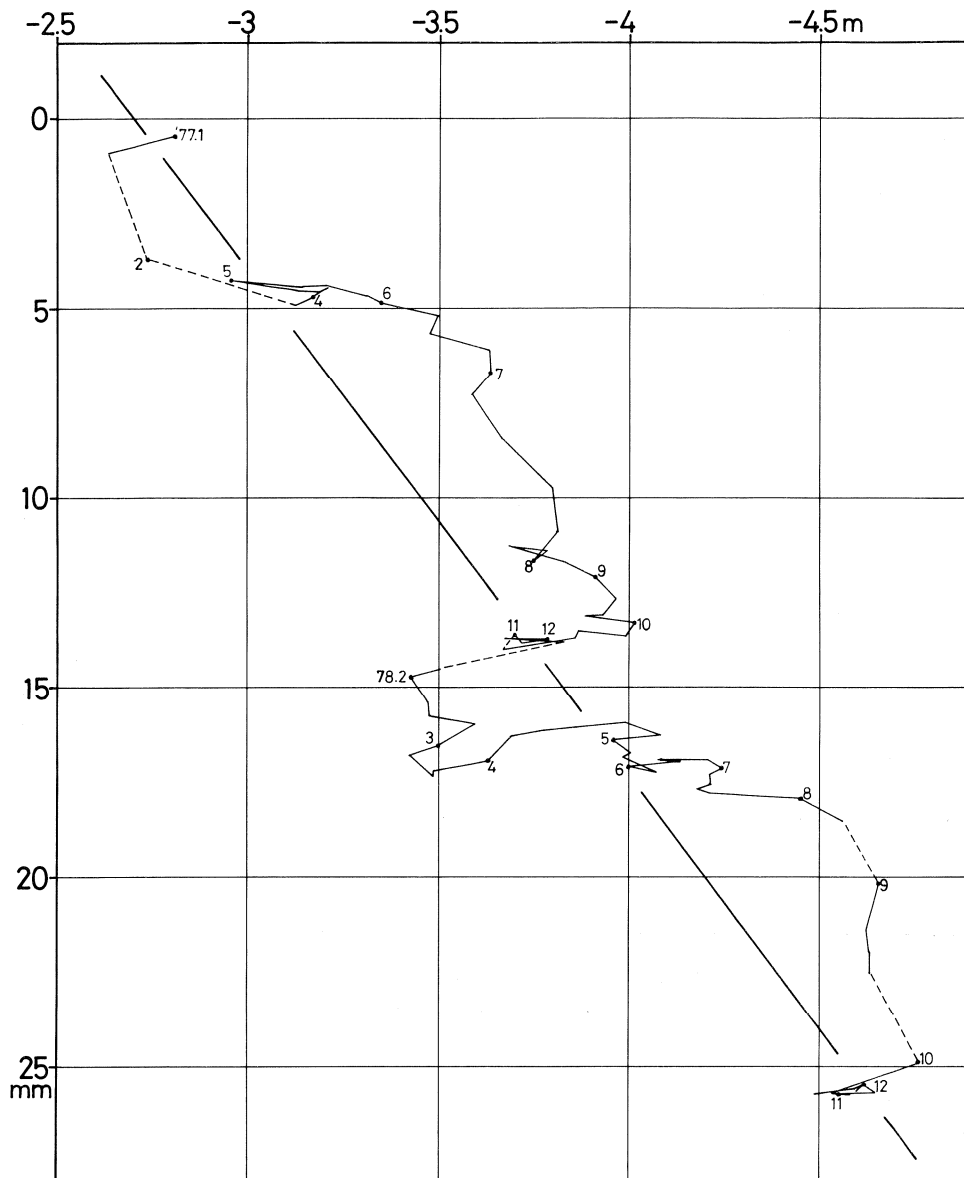


第 14 図 山口 A 水位 - A 沈下曲線 (1977)
 Fig. 14 Relation curve of groundwater level and land subsidence at Yamaguchi A (1977).

となる。

3 山口 B 水位と B 沈下の関係

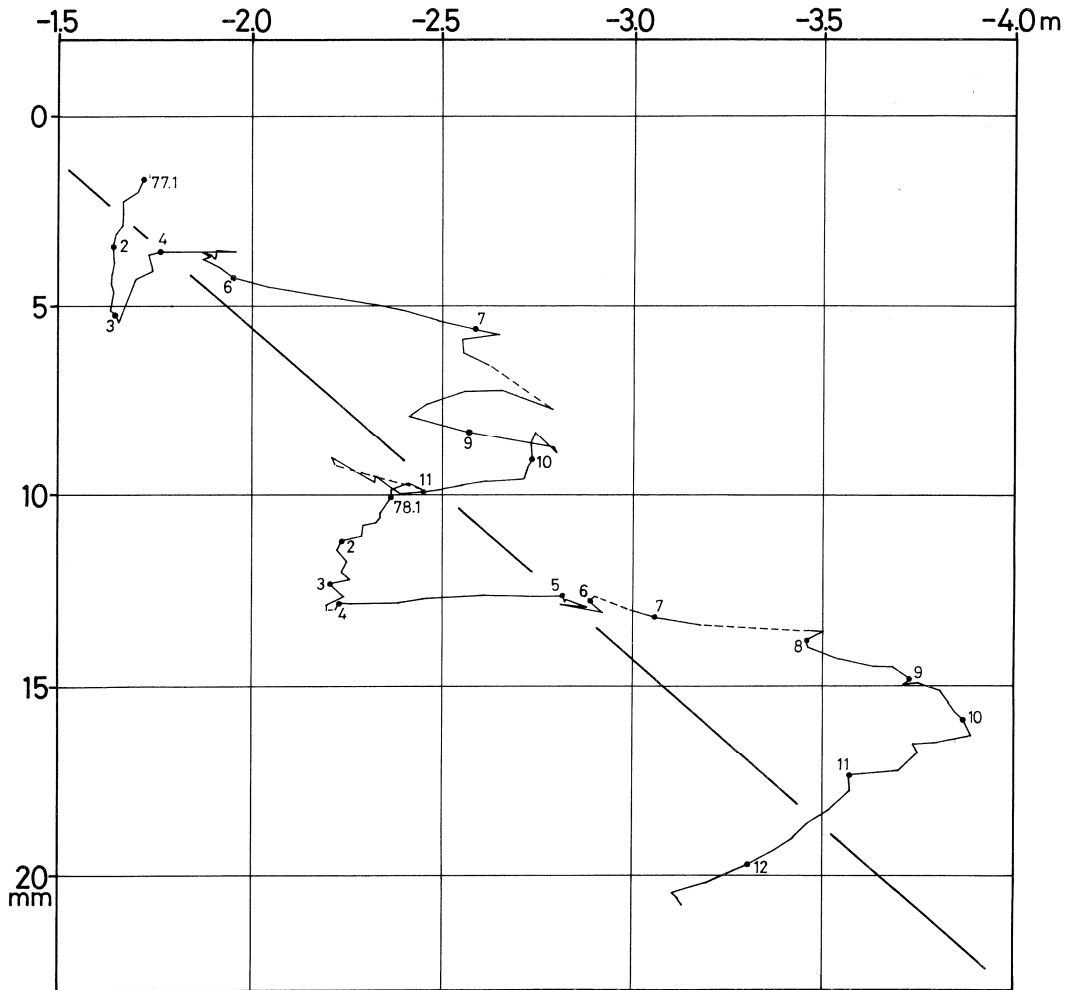
深部帯水層群における水位と、地表から基盤までの地層の沈下量の関係は北発寒 A 水位 - A 沈下で示した。また、山口 B 水位 - B 沈下も同様の関係を表わすものである。一方、山口 B - A 沈下は主に B 水位と関係があるものと考えられる。このため、以下に山口 B 水位 - B 沈下と B 水位 - (B - A) 沈下の



第13図 北発寒A水位-A沈下曲線 (1977~1978)

Fig. 13 Relation curve of groundwater level and subsidence at Kitahassamu A (1977~1978).

(破線は欠測を示す。以下同じ)



第 15 図 山口 B 水位 - B 沈下曲線 (1977~1978)

Fig. 15 Relation curve of groundwater level and land subsidence at Yamaguchi B (1977~1978).

2 通りの関係を示した。

第 15 図は 1977 年と 1978 年における山口 B 水位 - B 沈下曲線である。

曲線から求めた直線式は

$$y = -(8.75x + 12) \times 10^{-3}$$

となる。

さらに体積圧縮係数 mv は、(1)式より

$$mv = 8.75 \times 10^{-3} / 1 \times 1,000 \times 145 = 6.03 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

となる。

砂層・砂礫層を除いた係数は、 $H = 66 \text{ m}$ より

$$mv = 8.75 \times 10^{-3} / 1 \times 1,000 \times 66 = 1.33 \times$$

$$10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

である。

4 山口 B 水位と (B - A) 沈下の関係

B 水位 - (B - A) 沈下曲線を第 16 図に示した。

第 15 図の B 水位 - B 沈下曲線と比較すると、本曲線は 35 m 以浅の地層の沈下・浮上が除かれているため、よりなめらかな変化を示す。

曲線より求めた直線の式は

$$y = -(5.38x + 7.54) \times 10^{-3}$$

である。

体積圧縮係数 mv は、(1)式より

$$mv = 5.38 \times 10^{-3} / 1 \times 1,000 \times 110 = 4.89 \times$$

われる。水位のピークは揚水ポンプの停止によるものである。また、夏と冬における水位回復幅の違いは揚水量の違いによるものと思われる。

次に、月間沈下量からみると、北発寒・山口ともに沈下が渇水期、浮上が豊水期に対応している。こ

kg)の深度146.5 mまでの地層、山口B-A ($4.89 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{kg}$)の深度35~146.5 m間の地層となる。

一般に正規圧密粘土の体積圧縮係数は $6.0 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{kg}$ であり、過圧密粘土では $7.5 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{kg}$ である(土質工学ハンドブック)。これを各現観測井

の値と比較すると、1桁小さくなっている。これは水位一沈下曲線から求めた係数は粘土やシルトばかりでなく、砂や礫をも含んだ見かけの体積圧縮係数であるためと思われる。

砂層および砂礫層を除いた係数では山口 A ($mv = 9.55 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{kg}$) と北発寒 A ($2.77 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{kg}$) が正規圧密粘土の係数に近い値として出てくる。

水位一沈下曲線からは、観測期間が短いにもかかわらず特徴的な動きを読みとることができる。1つは山口 A に見られるように狭い範囲で複雑に動くもの、他の1つは北発寒 A、山口 B、山口 B-A に見られるような凹凸状の規則的な動きを呈するものである。前者は地表に近い、正規圧密をうけた地層の動きを示し、後者は山口 B-A のようなより深部の、過圧密をうけた地層の動きを主に示しているものと思われる。

ただ、北発寒 A では砂層・砂礫層を除いた体積圧縮係数が正規圧密に近い値を示すにもかかわらず、水位一沈下曲線では過圧密をうけた地層の動きである凹凸状を呈する。一方、北発寒-山口地域における地層対比 (松下 1977) から、北発寒におけるより深部の地層が正規圧密をうけたものとは考えられない。このため、北発寒 A では過圧密をうけた地層が正規圧密に近い体積圧縮係数を示していることになる。これは北発寒における地盤沈下および深部帯水

層群の地下水位低下の大きさを物語るものである。

あ と が き

今まで述べてきたことをまとめると以下の通りである。

1) 深部帯水層群に相当する北発寒 A 水位の年間平均水位低下は約 80 cm である。水位の変化には付近の工場における揚水の影響がみられる。

同じ深部帯水層群である山口 B 水位の年間平均水位低下は約 66 cm である。

2) 北発寒 A 沈下は年間平均約 14 mm の沈下を示す。

山口観測所には深さの異なる A 沈下・B 沈下が存在し、各地層の沈下量の違いをみごとに記録している。A 沈下は年平均約 4 mm、B 沈下は約 9 mm の沈下量である。

北発寒・山口の沈下記録には地表から 20~30 m の間の地層の沈下・浮上の影響が出ている。

3) 水位一沈下曲線からその変化傾向、直線の式および体積圧縮係数を明らかにした。体積圧縮係数が最も大きいのは山口 A で、以下北発寒 A、山口 B、山口 B-A となる。砂・礫も含めた見かけの係数では一般の値と 1 桁違って出てくる。砂層・砂礫層を除いた係数では山口 A とともに水位低下および沈下量の大きい北発寒 A が正規圧密粘土に近い値を示している。

文 献

土質工学会 (1965) : 土質工学ハンドブック, 枝報堂.
 北海道立地下資源調査所 (1976) : 地下水位・地盤沈下観測記録 (昭和 46 年~昭和 50 年, 札幌北部~石狩地区), p. 203.
 北海道立地下資源調査所 (1978) : 地下水位・地盤沈下観測記録 (昭和 51 年~昭和 52 年, 札幌北部~石狩地区), p. 117.
 川森博史 (1978) : 地盤沈下観測井の構造と作成, 地下資源調査所報告 No. 50, p. 161~172.
 松下勝秀 (1976) : 石狩湾新港地域地下水調査報告 [II] 帯水層の性状および地下水位観測結果について, 北海道立地下資

源調査所.
 松下勝秀 (1977) : 石狩低地帯の地下水位低下および地盤沈下について [I], 地下資源調査所報告, No. 49, p. 88~99.
 水収支研究グループ (1976) : 地下水盆の管理, 東海大学出版会.
 テルツァギ・ペック (1955) : 土質力学, 丸善株式会社.
 山口久之助ほか (1964) : 1/10 万水理地質図幅「札幌」および同説明書, 北海道立地下資源調査所.
 山口久之助 (1970) : 石狩湾岸低地の地下構造と地下水, 地下資源調査所報告, No. 41, p. 1~35.