

## 観測井による石狩湾岸地域の地盤沈下の長期変動 —精密水準測量との比較および層別沈下について—

Long term variation of land subsidence in the Ishikari Bay coastal area measured by  
observation well :  
comparison with precise leveling survey and difference in settlement by layer

深見浩司  
Hiroshi Fukami

### Abstract

Geological Survey of Hokkaido is maintaining the observatories for groundwater level and land subsidence in the Ishikari Bay coastal area from 1970s. We are observing the land subsidence by nine wells at six observatories. These long term variations of observation data were confirmed using the precise leveling surveys, which measured the elevations of the bench mark and the observation wells at each observatory.

The comparison between the observations and the precise leveling surveys revealed the influences about the observation foot tool and the observation well on the results of the land subsidence. From the comparison, I derived the differences of the land subsidence; settlement by layers, and calculated the land subsidence rate for each layer at the observatories. The maximum land subsidence rate at confined aquifer whose depth was deeper than 100m and the confining layer just top of this aquifer was 3mm/year at Shinkouhigashi observatory, and those rates were lower than 2mm/year at other observatories.

キーワード: 観測井, 地盤沈下, 長期変動, 精密水準測量, 石狩湾岸地域

Key words: Observation Well, Land Subsidence, Long term Variation, Precise Leveling Survey, Ishikari Bay coastal area

### I はじめに

北海道立地下資源調査所(当時, 現在は地質研究所)は, 1971年, 札幌市北西部の低地に, 北海道で最初の地下水位・地盤沈下観測所を開設した。その後, 札幌市北部～石狩湾岸地域に観測井を増設しながら, 観測を継続している。

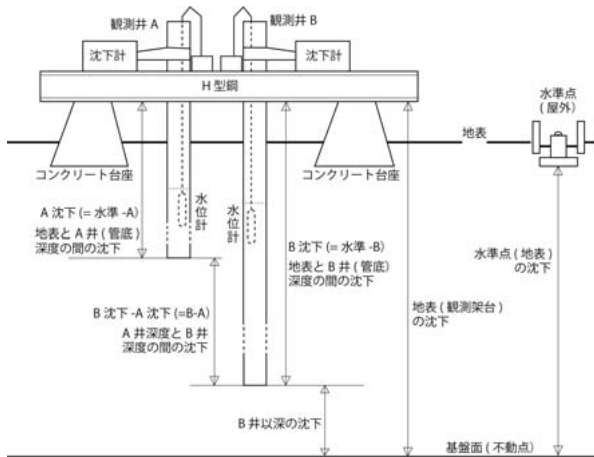
一方, 札幌市は, 1973年に地盤沈下の状況を把握するため水準点を設置し, 精密水準測量を開始した。水準点は, 順次, 郊外に増設されていった。その結果を受けて, 1978年からは, 北海道が, 札幌市周辺の石狩町(当時, 現在は市)・当別町・江別市に水準点を設置した。これにより, 札幌市と連携をとりながら, 石狩平野北西部地域をカバーする体制が整備され, 1984年まで, 毎年1回の精密水準測量を継続した。

このような, 当時の公害行政とは別に, 石狩湾岸では, 石狩湾新港の建設とその後背地の工業団地の造成が, ほぼ同時期に進められていた。この開発計画における水供給は, ダム開発(表流水)で計画されていたが, それによる水供給は進まなかった。しかし, 1970年代後半からは, 後背地に企業が進出しはじめた。個

別の事業者が地下水を利用した場合, 地盤沈下や塩水化などが生じてもなかなか対策が取れなかった本州各地の事例を参考に, 石狩湾新港地域では, 揚水井の一元的な管理を行えないかといった地下水利用の方策が模索された。そして1984年に, 暫定的に深度100m以深に分布する深部帯水層群の地下水を利用していく計画(「石狩湾新港地域暫定工業用水道事業」)を策定して, 表流水による水供給を待つこととなった。

この「暫定工業用水道事業」の環境保全対策として, 地下水位・地盤沈下観測井による観測を含む地下環境モニタリングが実施されることになり(北海道, 1984), それについては, 当所が担当することとなった。7年ないし10年を目途とした「暫定工業用水道事業」は, 様々な事情から, 1991年には「石狩湾新港地域に係る地下水揚水計画」(北海道, 1991)と名称が変更され, 地下水の揚水が延長された。その後もダム建設の遅れなどがあって, 「地下水揚水計画」は2012年度まで2回延長され, 地下環境モニタリングも継続されてきた。2013年度から当別ダムの運用が開始される。これにより, 石狩湾新港地域の水供給に関しては, 表流水による手当がなされるため, 「地下水揚水計画」は終了するこ





第2図 観測井による地盤沈下観測の模式図，および水準点との関係

Fig. 2 Schematic diagram of land subsidence measurements by observation wells, and the relation with the bench mark.

位置する。第1図には紅葉山砂丘と泥炭の分布も示した。紅葉山砂丘の内陸側は表層に泥炭などが分布する軟弱地盤で、海側は表層に砂層が分布する砂堤列である。第1表にまとめたように、観測井は6観測所に9井あり、1970年代に4観測所、80年代と90年代にそれぞれ1観測所が設置された。このうち、「暫定工業用水道」で取水対象とした深部帯水層群を観測する深度が100 m 以深の観測井は3井（3観測所）である。

第2図に地下水位・地盤沈下観測井における観測を模式的に示す。観測井は、地下水位を観測しながら、その管底深度と地表の間の地盤沈下を観測する。実際には、地表に設置したコンクリート台座にH型鋼をのせて観測架台とし、地表（観測架台）の観測井に対する垂直方向の変動（沈下または上昇）を観測する。観測井Aの地盤沈下（A沈下）は地表とA井の（管底）深度の間、観測井Bの地盤沈下（B沈下）は地表とB井の深度の間、のそれぞれの沈下（圧密）量を観測する。B沈下とA沈下の差（B-A）は、B井とA井の深度間の沈下（圧密）を示す。B井以深で地盤沈下が生じている場合は、B沈下は地表（観測架台）の沈下量よりも小さくなる。

観測所の外には、精密水準測量で使用する水準点を設置している。水準点（地表）の標高は、精密水準測量により測定される。その時には、観測井の管頭標高も求めている。観測井で観測される沈下量は、地表と観測井（管頭）の沈下量の差である。その観測結果は、精密水準測量による水準点標高と観測井の管頭標高との差（水準-A、水準-B）の変化に等しいので、観測と測量を比較すれば検定ができる。しかし、地盤沈下が軽微な場合は、各年の精密水準測量に誤差があるので、検定には長期にわたるデータの蓄積が必要になる。

観測井による観測と精密水準測量を比較する場合、

観測架台と水準点の動きの不一致、ネガティブフリクション（沈下に伴う下向きの力）による観測井の沈降、などで観測に誤差が生じる。ネガティブフリクションを軽減するため、二重管式の観測井も作成されているが（川森（1978）、第1表）、それらの問題を確認する必要がある。また、大きな地盤沈下が生じて、沈下計の観測値を正しく修正できなかった場合にも、観測は精密水準測量結果とずれることがある。

### III 精密水準測量の概要

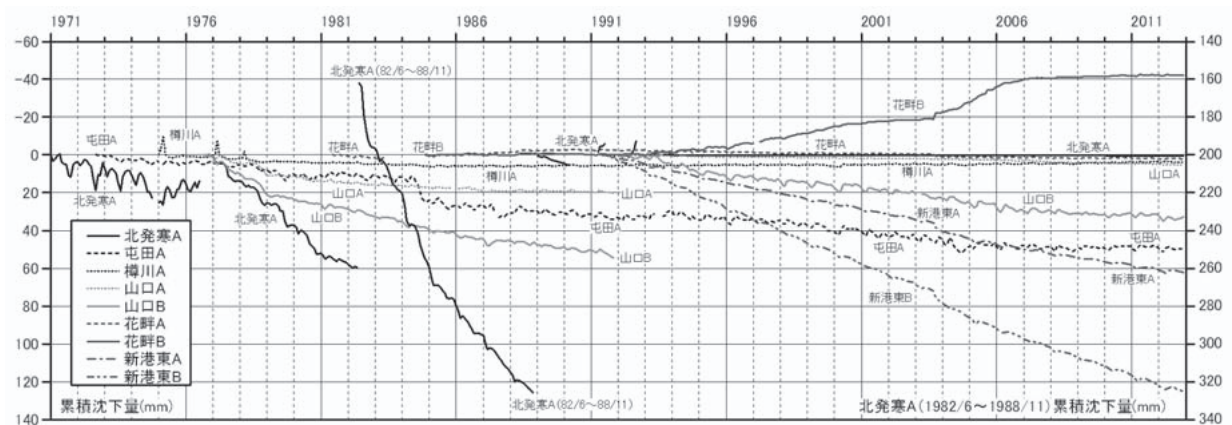
札幌市の精密水準測量は、公共測量の一級水準測量として1973年から開始され、同時に測量の原標（水準原標）を札幌市西区西野に設置した。原標は、その後の国土地理院の改測などにより不動点（基準点）として使用可能であることが確認されている。精密水準測量は毎年10月1日を基準日として、1973～1977年までその範囲を広げて実施された。1978～1984年には、札幌市の他、北海道により前述の3市町にも拡大されて広範に行われるようになった。

1984年に「暫定工業用水道事業」が開始されたが、それ以降2004年までは、広範な精密水準測量は3年に1回の隔年で、札幌市の主要部と石狩湾新港地域及び周辺地域は毎年実施する方式で継続された。2005年に札幌市の実施方式が変更となったため、石狩湾新港地域及び周辺地域では、2005・2006年と2011・2012年に、2年をかけて路線を変えて精密水準測量が実施された。これらの精密水準測量により、第1図に示した多くの水準点で標高が測定され、その変化から各地域の地盤沈下の状況が把握された。地下水位・地盤沈下観測所の水準点標高や観測井の管頭標高についても、精密水準測量路線が観測所を通過する際に、10月1日を基準日として求められた。

### IV 観測井の観測結果

第3図は「観測記録」と同様に、観測井の毎月1日24時の累積沈下量を時系列でまとめたものである。これをもとに、観測から得られた地盤沈下の経年変化の特徴について述べる。

北発寒観測所は軟弱地盤地域の泥炭分布域に位置するため（第1図）、北発寒A（深度130m）は他の観測井よりも沈下量が大きかった。北海道で最初に作成された地下水位・地盤沈下観測所であり、泥炭の影響もあって観測開始後に観測架台に問題が生じた。このため、1976年の観測所改築の際に観測架台を変更し（松下、1977）、観測井の累積沈下量を0にした。その後1982年5月に隣接する道路の工事により100mm以上の地盤沈下が生じたが、観測は継続できた。1982年6月～1988年11月の累積沈下量は第3図の右軸に示した。観測用



第3図 観測井地盤沈下経年変化図

Fig. 3 Graph showing long term variation of land subsidence measured by observation well.

地での学校新設に伴い、1988年に観測架台基礎の改変、1991年にコンクリートピットを観測架台とする変更を行い、累積沈下量のリセットが繰り返された。1993年以降の観測では、地盤沈下がほとんど生じていない結果となっている。

屯田観測所は、近傍に泥炭は分布しないが、軟弱地盤地域に位置する(第1図)。このため、屯田A(深度82.5m)は、井戸深度が100m以浅の他の観測井よりも地盤沈下が大きい。

樽川観測所は、紅葉山砂丘の海側の浜堤列地域に位置する(第1図)。樽川A(深度87m)では、観測初期に凍上による冬期の地盤上昇が生じたが、その後の対策によりおさまった。観測深度がほぼ同じ屯田Aと比較すると、沈下量は小さい。

山口観測所は観測井が2井あり、層別の地盤沈下が観測できる。道路の新設に伴い、1991年に直近に観測井を再掘削し、1992年に観測所を移転した。このため、1992年から累積沈下量を0にして観測を継続した。観測所移転前は、山口B(深度146.5m)は屯田Aよりも地盤沈下が大きく、山口A(深度35m)は屯田Aと同程度であった。移転後は山口A、山口Bともに地盤沈下量が小さくなり、山口Aは浜堤列地域の樽川Aと同程度となった。山口Bの沈下速度も小さくなったが、屯田Aよりはやや大きく観測されている。

花畔観測所は1980年に設置され、調査地域の地下水位・地盤沈下観測井としては井戸深度が小さい2井からなる。浜堤列地域に位置するため(第1図)、花畔A井(深度58.7m)は、観測開始から樽川Aと同様の変動を示した。一方、花畔B井(深度12m)は、1990年代の半ばから地盤が上昇するような特異な観測結果となっている。

新港東観測所は、「暫定工業用水道事業」開始後の1991年に設置された観測所で、石狩湾新港地域内で唯一の100m以深の地下水位・地盤沈下観測井である。石狩砂丘の海側の海浜地域に位置する(第1図)。新港

東A(深度81.3m)は100m以浅の観測井では最大の地盤沈下を示し、新港東B(深度188.7m)とともに、移転後の山口Bよりも大きい。新港東Aの影響を除いたB-A(81.3~188.7m間、深部帯水層群とその揚水に直接影響される直上の加圧層)の沈下量は1991~2012年の21年間で63mmであり、年平均沈下速度は3.0mm/年となった。

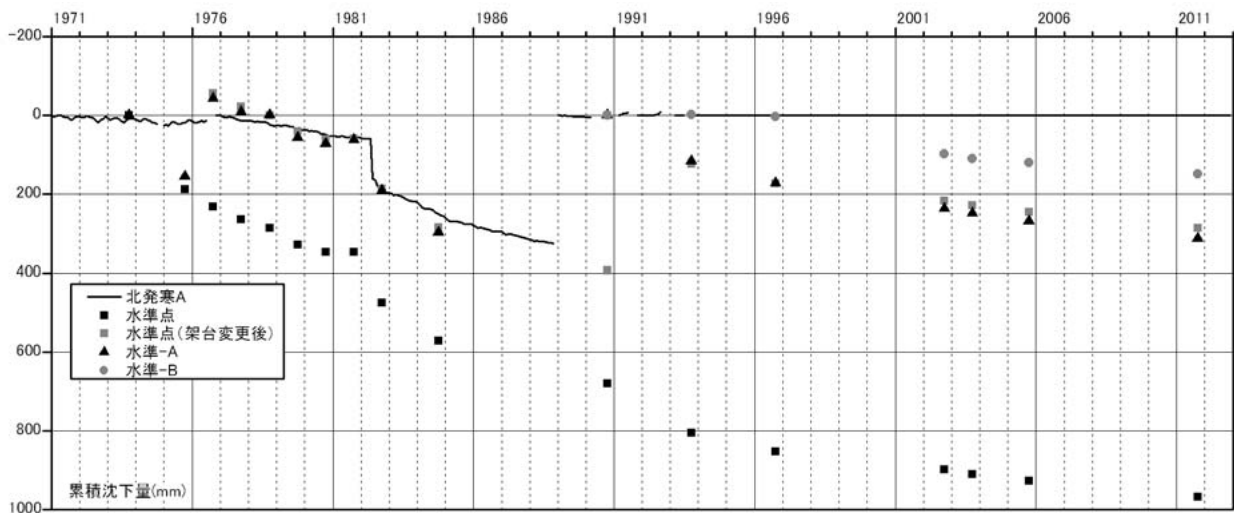
## V 観測井と精密水準測量の比較

次に、観測井の観測結果を、精密水準測量(以下、本項では測量とする)による水準点標高と観測井の管頭標高から求めた地盤沈下と比較する。このため、観測井から得られた累積沈下量を折れ線で、測量による水準点標高の変化から求めた各年10月1日の累積沈下量を■(水準点)で、水準点標高と観測井の管頭標高との差の変化から求めた観測井と比較する累積沈下量を▲(水準-A, 水準-B)で、それぞれを表し、観測所毎に第3図と同様の時系列図を作成して、検討することにした。検討に当たっては、特に、深部帯水層群とその直上の加圧層以深の地盤沈下に注目した。

### V.1 北発寒観測所

第4図に北発寒Aの観測と測量の比較を示した。地盤沈下量が大きいため、縦軸の縮尺を第3図の1/5にした。水準点の測量は1973年から開始された。水準点の累積沈下量(水準点, ■)は2011年までの38年間で1m近くに達している。

1971~1975年の観測(北発寒A, 折れ線)と測量(水準-A, ▲)の比較から、観測井は地盤沈下を正しくとらえていないことがわかる。このため、前述したように1976年に観測架台が変更された。1976年~1988年の観測結果と比較しやすくするため、測量による累積沈下量は1978年10月1日を0として図示した(水準点(架台変更後)と水準-A)。1976年以降、1980年代



第4図 観測井と測量の累積沈下量の比較 (北発寒)

Fig. 4 Comparison of accumulated land subsidence between observation well and bench mark, Kitahassamu.

の北発寒 A と水準-A の関係は、1982年に大きな地盤沈下があったものの第4図では良好といえる。

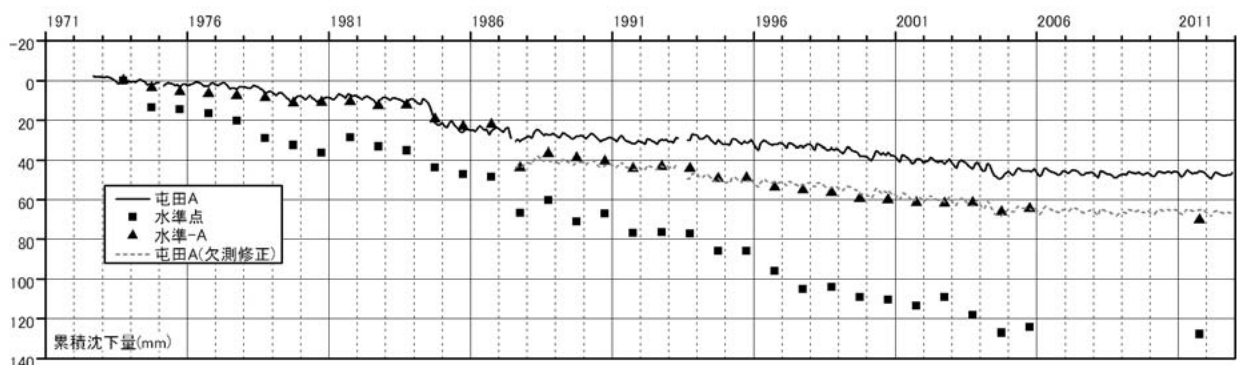
1988年にも観測架台の変更を行ったので、水準点(架台変更後)と水準-Aを、測量が実施された1990年10月1日に再び0にした。この時から、北発寒 B (深度6mの水位観測井)の管頭標高を測量で求め、表層の影響を調べた(水準-B, ●)。コンクリートピットによる地盤沈下観測に変更した北発寒 A ではほとんど地盤沈下が生じていない観測結果である。しかし、測量によれば1990~2011年の21年間の地盤沈下量(年平均沈下速度)は、水準-A (0~130m間)で312.8 mm (14.9mm/年)、水準-B (0~6m間)で148.7mm (7.1 mm/年)と求まり、地盤沈下が継続していることが確認された。A-B (6~130m間)の年平均沈下速度は7.8 mm/年となった。観測井の地質から、A-Bの沈下の大部分は15m以浅で生じていることが確実である(泥炭の広域沈下に関する研究委員会, 2002)。しかし、その部分を分離できないので、北発寒観測所では深部帯水層群直上の加圧層以深の沈下量の把握はできない。

1990年以降の水準点(架台変更後)の地盤沈下量は水準-Aより26mm程小さいので、単管式の北発寒 A では、ネガティブフリクションによる観測井の沈降がある。しかし、累積沈下量に占める比率が小さいので、水準点(架台変更後)と水準-Aはほぼ同じ沈下量とみなせる。従って、北発寒 A 以下の深度(130m以深)では、ほとんど地盤沈下が生じていないと判断できる。

## V.2 屯田観測所

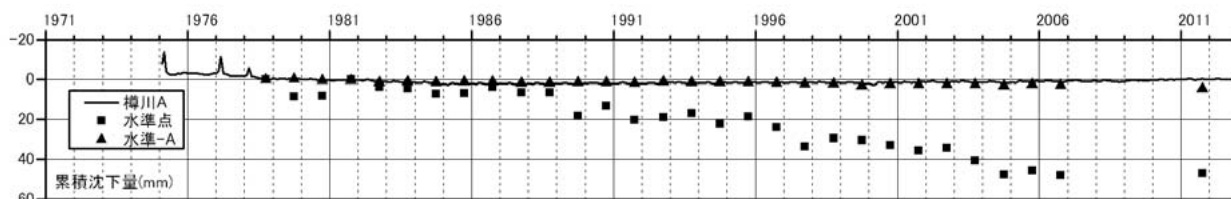
第5図は屯田 A の観測と測量の比較である。第3図の縦軸と同縮尺で図示すると、観測開始日と測量開始日の違いにより累積沈下量がずれる。そこで両者をより厳密に比較するため、観測開始後の測量開始年の基準日(10月1日)に累積沈下量が0になるように観測値を補正して図示した。屯田観測所では、観測井による観測は1972年から開始され、水準点の測量は1973年から開始された。そこで観測値(屯田 A)を1973年10月1日に0にして測量と比較した。

屯田観測所は、表層地質の影響で100m以浅の観測



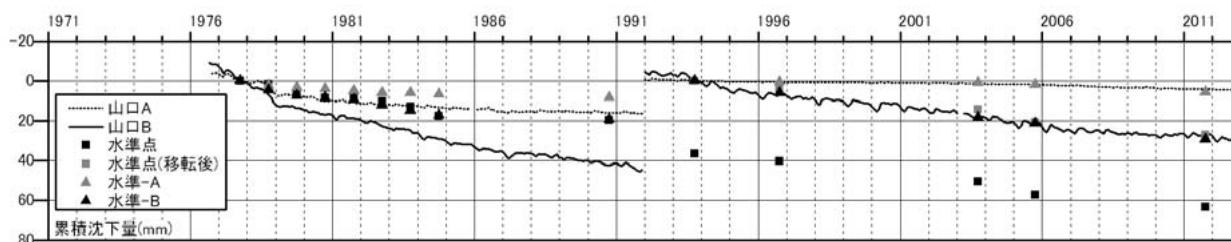
第5図 観測井と測量の累積沈下量の比較 (屯田)

Fig. 5 Comparison of accumulated land subsidence between observation well and bench mark, Tonden.



第6図 観測井と測量の累積沈下量の比較 (樽川)

Fig. 6 Comparison of accumulated land subsidence between observation well and bench mark, Tarukawa.



第7図 観測井と測量の累積沈下量の比較 (山口)

Fig. 7 Comparison of accumulated land subsidence between observation well and bench mark, Yamaguchi.

井としては沈下量が大きい。しかし、それ以深でも地盤沈下が生じているので、水準点の沈下量は水準-Aよりも大きくなる。また、1987年の欠測以降、観測（屯田A）と測量（水準-A）の値がずれた。この年には水準点に移転され、観測所周辺で工事が行われた。水準点の移転比高が測定され、水準点の累積沈下量は継続できたが、水準-Aは屯田Aよりも約13mm沈下量が大きくなった。1993年の欠測時にもずれた可能性がある。そこで屯田Aのずれを、その後の測量値（水準-A）を用いて修正し、屯田A（欠測修正）とした。これにより、観測と測量の関係は長期にわたって良好になったので、欠測後の観測記録の連結に問題があったと考えられる。

屯田観測所では、1973～2011年の38年間では、水準-A（0～82.5m間）の地盤沈下量（年平均沈下速度）は70.4mm（1.9mm/年）となる。水準点では127.8mm（3.4mm/年）の沈下量（速度）となったので、屯田A（82.5m）以深、つまり、深部帯水層群直上の加圧層以深の年平均沈下速度は1.5mm/年となった。

### V.3 樽川観測所

樽川観測所では、観測井による観測は1975年から、水準点の測量は1978年から開始されたので、観測値（樽川A）を1978年10月1日で0にして比較した（第6図）。IVで述べたように、観測による沈下量は小さい。測量による水準-Aの累積沈下量もほぼそれと一致した。水準点は、屯田観測所同様、水準-Aより大きな累積沈下量となっている。1978～2011年の33年間の地盤沈下量（年平均沈下速度）は水準-A（0～87m間）で4.4mm（0.1mm/年）、水準点は47.1mm（1.4mm/年）なので、樽川A（87m）以深の年平均沈下速度は1.3mm/年である。

### V.4 山口観測所

第7図は山口Aと山口Bの観測と測量の比較である。山口観測所では、観測井による観測は1976年から、水準点の測量は1977年から開始された。また、1992年に移転した観測所では、その時に累積沈下量をリセットして観測を開始した。水準点も移設されたが、移設時に比高を確認したので、水準点の累積沈下量は継続された。

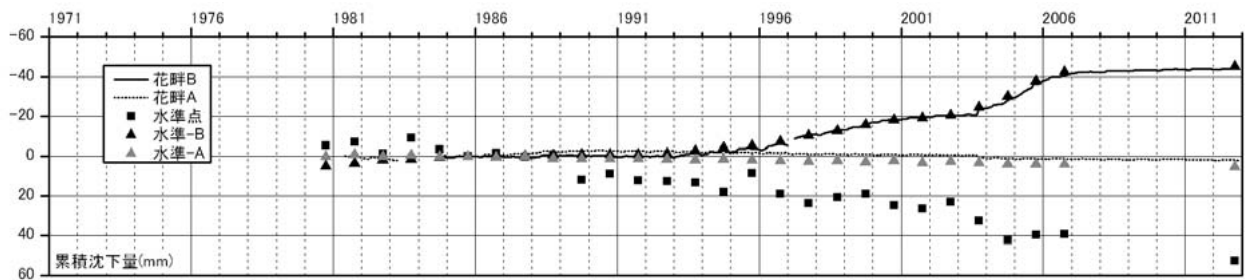
1976～1991年の観測値（山口Aと山口B）については、1977年10月1日の値を0にして比較した。また、1992年からの観測値は、測量が行われた1993年10月1日を0にして、水準点（移転後）と比較した。同時に水準-Aと水準-Bも0にした。

移設前の1991年までは、観測井の累積沈下量が、測量から得られた値よりも大きくなっている。測量による1977～1990年の13年間の地盤沈下量（年平均沈下速度）は、水準-A（0～35m間）では8.5mm（0.7mm/年）、水準-B（0～146.5m間）では19.2mm（1.5mm/年）で、水準-Bと水準点とほぼ同じ沈下量（速度）であった。山口B以深では地盤沈下が生じておらず、B-A（35～146.5m間）の年平均沈下速度は0.8mm/年と求まった。

1992年の移設後は、観測と測量の差がほとんどなくなり、良好な関係となった。1993～2011年の18年間の沈下量（速度）は、水準-Aで5.7mm（0.3mm/年）、水準-Bで29.2mm（1.6mm/年）となった。水準点（移設後）と水準-Bの沈下量（速度）はこの期間もほぼ同じであった。しかし、水準-Aが小さくなったので、B-Aの年平均沈下速度は1.3mm/年と大きくなった。

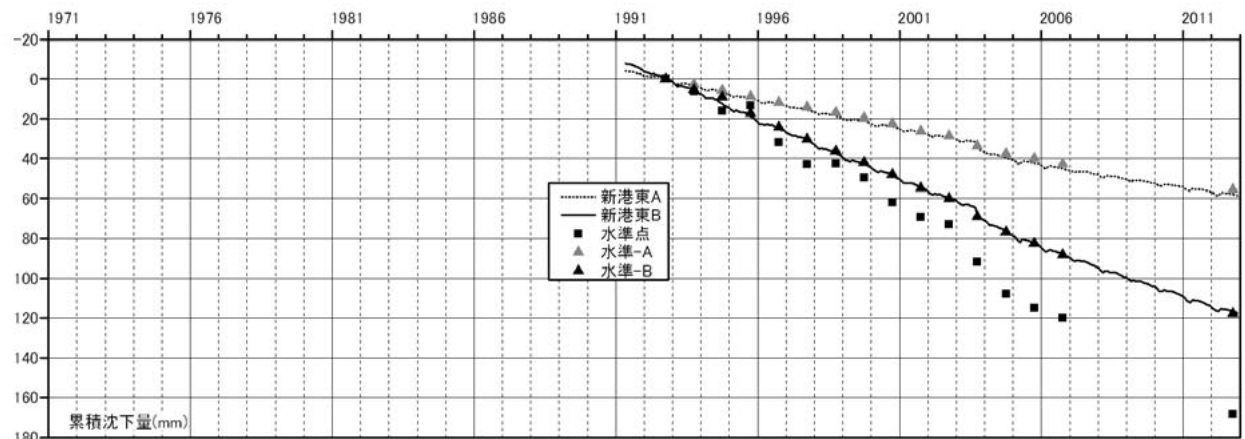
水準-Bの沈下速度が移設でほとんど変わらず、山口B以深で地盤沈下はない。従って、移設前の観測





第8図 観測井と測量の累積沈下量の比較 (花畔)

Fig. 8 Comparison of accumulated land subsidence between observation well and bench mark, Ban-naguro.



第9図 観測井と測量の累積沈下量の比較 (新港東)

Fig. 9 Comparison of accumulated land subsidence between observation well and bench mark, Sinkouhigashi.

(山口 B) が測量 (水準-B) より約20mm 大きくなったのは、観測架台が水準点より沈降したためと判断できる。この期間では、山口 A と水準-A の差が山口 B と水準-B の差より小さいが、これは移設前の山口 A 井が沈降 (ネガティブフリクション?) しているためである。山口 A 井が $0.4\sim 0.5\text{mm}/\text{年}$ で沈降し、水準-A の沈下速度を大きく (B-A の沈下速度を小さく) しているとして訂正すると、水準-A は $0.3\sim 0.2\text{mm}/\text{年}$ 、B-A は $1.2\sim 1.3\text{mm}/\text{年}$ となり、移設後の沈下速度と整合する。山口 A (35m) 以深 (深部帯水層群とその直上の加圧層にほぼ相当) の年平均沈下速度は、 $1.3\text{mm}/\text{年}$ とした。山口 B (146.5m) 以深でも、地盤沈下が生じていないことが確認できた。

#### V.5 花畔観測所

花畔観測所では、観測井による観測が1981年から、測量は1980年から開始されたが、観測・測量ともに、1985年10月1日を0として比較した (第8図)。

IVでも述べたが、花畔 B で地盤が上昇しているように観測されていることが特異である。しかし、観測と測量の適合度は良い。花畔 A は、樽川 A や1992年以降の山口 A とほぼ同じ沈下量を示すことから、観測架台に問題はないと判断できる。これらのことから、花畔 B が1990年代半ばから沈降 (自重?) し、見か

け上、地盤の上昇との観測結果になったことを確認できた。2000年代後半には、観測井の沈降はおさまってきた。花畔 B による地表付近の評価はできないが、花畔 A に問題はない。

花畔観測所では、1985～2012年から27年間の地盤沈下量 (年平均沈下速度) は、水準-A (0～58.7m) で $5.1\text{mm}$  ( $0.2\text{mm}/\text{年}$ )、水準点で $52.4\text{mm}$  ( $1.9\text{mm}/\text{年}$ ) となった。従って、花畔 A (58.7m) 以深の年平均沈下速度は $1.7\text{mm}/\text{年}$ となる。

#### V.6 新港東観測所

新港東観測所での観測井による観測は1991年から開始され、水準点の測量は1992年から開始された。観測 (新港東 A と新港東 B) を1992年10月1日に0として比較した (第9図)。

新港東 A、新港東 B とともに、年々累積沈下が増大し、大きな地盤沈下を示す観測井となっている。測量との関係は良好で、層別の地盤沈下の状況が正確に把握できる観測井といえる。また、水準点の累積沈下量が水準-B よりも大きく、観測井以深でも地盤沈下が生じている点が、他の深部帯水層群の観測井と異なっている。

1992～2012年の20年間の地盤沈下量 (年平均沈下速度) は、水準-A (0～81.3m 間) で $55.5\text{mm}$  ( $2.8\text{mm}/\text{年}$ )

年), 水準-B (0~188.7m 間) で117.9mm (5.9mm/年), 水準点で168.4mm (8.4mm/年) である。従って, 深部帯水層群とその直上の加圧層 B-A (81.3~188.7m 間) の年平均沈下速度は3.1mm/年, 新港東 B (188.8m) 以深のそれは2.5mm/年となった。

新港東 A の年平均沈下速度は, 他の100m 以浅の観測井より大きい。この一因は, 新港東観測所が海浜地域に位置するためと考えている。現砂丘である石狩砂丘の海側(海浜)の表層部は, 内陸(浜堤列)よりも堆積年代が新しく圧密度は小さい。実際, 測量においても, 海浜地域の水準点は(第1図参照), 泥炭分布地域を除くと, 比較的大きな沈下速度を示していた。表層地質が, 新港東 A の観測結果に影響しているのであろう。

新港東 B の年平均沈下速度は, 現在, 観測井では最大である。そして, 深部帯水層群とその直上の加圧層 B-A の年平均沈下速度も, 他の観測所より大きいことが判明した。B-A の沈下速度の大きさについて, これまでのところ, 地下水位のみで説明することは難しいようだ。今後, 深部帯水層群以深で地盤沈下が生じていたことにも留意して観測を継続していけば, 新たな情報が得られるかもしれない。

## VI まとめ

1984年から継続された「石狩湾新港地域及び周辺地域の地下環境モニタリング」に, 一応の区切りが付き, 地盤沈下に関する長期にわたるデータも得られた。そこで, これまで検討しなかった, 地下水位・地盤沈下観測井による地盤沈下の観測を, 精密水準測量による水準点標高と観測井の管頭標高から得られる地盤沈下と比較した。まとめは, 以下のとおりである。

(1) 北発寒・山口・花畔観測所では, 観測と精密水準測量の比較から, 観測架台や観測井が, 観測結果に及ぼす影響を把握できた。また, 屯田観測所では, 欠測時に生じたずれを修正すれば, 観測と精密水準測量がほぼ一致することを確認した。

(2) これらの問題を確認後, 各観測所において, 精密水準測量の結果をもとに, 観測井深度と地表の間の地盤沈下(観測井が2井の場合は2井間), 観測井以深の地盤沈下について, 年平均沈下速度を算出した。100m 以浅の観測井しかない屯田・樽川・花畔観測所でも, 深部帯水層群直上の加圧層以深の沈下速度(1.3

~1.7mm/年)が算出できた。

(3) 上記の層毎の解析によれば, 表層沈下が大きいところ(紅葉山砂丘の内陸の泥炭分布地域と石狩砂丘の海側の海浜地域)以外では, 地盤沈下は軽微であることが明らかとなった。深部帯水層群の直上の加圧層以深の沈下速度が不明な北発寒観測所を除く屯田・樽川・山口・花畔の4観測所では, 深部帯水層群とその直上の加圧層の年平均沈下速度は2mm/年以下であった。新港東観測所ではそれよりもやや大きく3mm/年となり, 観測井以深で地盤沈下が生じていることを確認した。北発寒・山口観測所では, 観測井以深では地盤沈下が生じていなかった。

(4) 新港東観測所は観測精度が高く, 他の観測所と若干異なる観測結果となっている。地盤沈下について新たな情報が得られる可能性もあり, 今後, その観測は重要な役割を果たすことが期待される。

各観測所の問題を考慮しつつ観測を継続すれば, 石狩湾岸地域の地盤沈下の状況を把握できると考えている。札幌市の精密水準測量と連携して, 何年かに1度, 石狩湾新港地域で精密水準測量を実施すれば, 更なる情報も得られるであろう。

## 文 献

- 地質研究所 (2012): 石狩湾新港地域及び周辺地域の地下環境モニタリング—平成23 (2011) 年の結果の概要—。地質研究所, 16p (手記)。
- 泥炭の広域沈下に関する研究委員会 (2002): 北海道の泥炭地盤と沈下の対策。(社)地盤工学会北海道支部, 94p。
- 深見浩司 (2012): 地下水位地盤沈下観測記録X X X III (平成23年札幌市北部~石狩地区)。地質研究所, 66p。
- 北海道 (1984): 石狩湾新港地域暫定工業用水道事業に係る環境保全対策について。石狩湾新港地域開発連絡協議会環境保全部会, 50p。
- 北海道 (1991): 石狩湾新港地域に係る地下水揚水計画及び環境保全対策。北海道, 50p。
- 北海道 (1997): 石狩湾新港地域に係る環境影響評価書(確定)及び資料編。北海道, 398p, 資料編358p。
- 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, 50, 161-172。
- 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—その1—。地下資源調査所報告, 49, 89-99。