

ノート

福井県における地盤沈下の状況

森 英倫・高田 敏夫

State of Ground Subsidence in Fukui Prefecture

Hidemichi MORI, Toshio TAKATA

昭和40年代に国土地理院が全国の地盤変動状況を調査した結果、福井県では、福井平野の福井市南部地域において地盤沈下が認められた。県では、昭和50年に「福井県地盤沈下対策要綱」を制定するとともに、県と福井市は、地下水位や地盤沈下の監視を20年以上にわたって実施してきた。

今回、この監視結果等を解析し、地下水位および累積沈下量の経年変化、ならびに地下水採取量等と地下水位の関係を明らかにした。また、地下水位の変動を考慮した地盤沈下予測法により予測を行い、地下水位変動幅と年間地盤沈下量の予測値の関係を検討した。

1 はじめに

昭和40年代に国土地理院が全国の地盤変動状況を調査した結果、福井県では、福井平野の福井市南部地域において地盤沈下が認められた。特に、福井市下荒井では、41年から46年までの5年間に最大18.1cm(年平均3.6cm)、46年から49年までの3年間に25.4cm(年平均8.5cm)の沈下を記録した。

このため、県では、昭和50年に「福井県地盤沈下対策要綱」を制定するなど地盤沈下を防止するための諸対策を講じた。この結果、地下水位は年々上昇傾向を示し、地盤沈下は53年以降沈静化している。

今回、福井市内で県と福井市が20年以上にわたって実施してきた地下水位や地盤沈下の監視結果等を解析したところ、若干の知見を得たので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

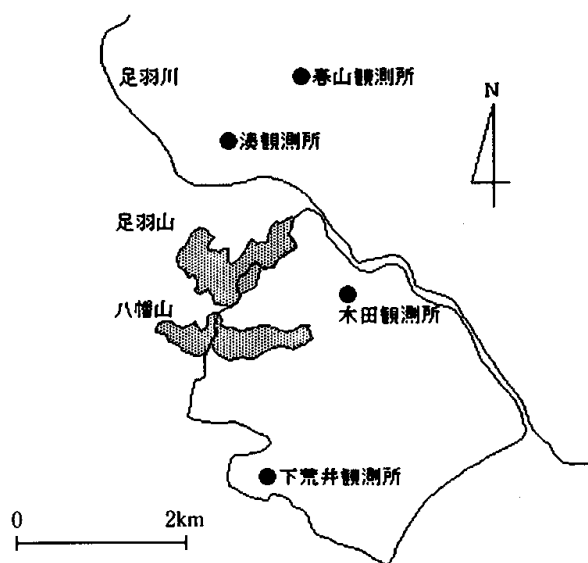
福井平野は、山地に囲まれ、北西において日本海に流下している九頭竜川およびその支川の足羽川等によって埋積された沖積平野である。土質は、粘土、シルト～砂、礫層の互層からなる。顕著な砂礫層が3層認められており、このうち2層(概ね20～40m、60～85m)は、帯水層として利用されている。

昭和40年代に地盤沈下が認められた福井市南部地域は、福井平野の南部に位置し、昭和50年制定の「福井県地盤沈下対策要綱」により、約14km²が対象地域として指定された。この地域では、地下水採取の抑制、節水合理化の推進ならびに地下水位および地盤沈下の観測などの諸対策が講じられている。

今回、調査に用いた地下水位および地盤沈下の観測井は、地盤沈下が認められた福井市南部地域内に県が設置した木田観測所および下荒井観測所ならびに南部地域外に福井市が設置している春山観測所および湊観測所である。

表1 地盤沈下観測所の設置等

観測所名		木田観測所		下荒井観測所		春山観測所		湊観測所
観測井の深度		28m	130m	25m	51m	43m	150m	204m
所在地		福井市木田町1丁目1360 明倫中学校		福井市下荒井町八幡神社		福井市文京3丁目13-1 春山小学校		福井市学園 1丁目4-8 湊小学校
施行主体		福井県	福井市	福井県		福井市		福井市
構造	ストレーナー位置	26.5～28.0	50.5～57.5 61.0～66.5 75.5～81.0	23.0～25.0	49.0～51.0	38.5～42.5	70.0～75.5 83.0～88.5 128.0～133.5	72.0～79.5 88.5～90.5 96.5～99.5 132.5～138.0
測定項目	地下水位	測定	測定	測定	測定	測定	測定	測定
	地盤沈下	測定	測定	—	測定	測定	測定	測定



福井県地盤沈下対策要綱対象地域
(福井市南部地域)

図1 観測所の位置

調査に用いた地下水位および地盤沈下の観測所の位置等を図1および表1に示した。

2.2 測定方法

地下水位は静電容量式水位計、地盤沈下は差動トランス式沈下計により測定している。

また、解析に用いた福井市南部地域における地下水採取量は、「福井県地盤沈下対策要綱」に基づき地下水採取者から県に報告されたものである。

3 結果および考察

3.1 各観測所における地下水位および地盤沈下の状況

別図1に各観測所における地下水位および累積沈下量の経年変化を示した。

いずれの観測所においても、年々地下水位は上昇してきており、これに伴って累積沈下量も横ばいになっている。

浅井戸と深井戸がある観測所においては、地下水位および累積沈下量ともに、それぞれ同様な月変化の傾向が認められるが、木田観測所の累積沈下量については、28m井に比べて130m井の変動が著しい。

また、130m井の累積沈下量が28m井の累積沈下量の概ね2倍であることから、地表面から地表面下28mまでの累積沈下量と地表面下28mから130mまでの累積沈下量がほぼ等しく、地表面下28mから130mまでの地層において累積沈下量の変動が大きいことがわかる。

春山観測所においては、昭和61年以降、150m井よりも43m井の累積沈下量が多い。このことから、地表面下150mまでの累積沈下量のほとんどは地表面下43mまでにおいて発生していることがわかる。

3.2 福井市南部地域における地下水採取量の状況

3.2.1 経年変化

図2に福井市南部地域における地下水採取量の経年変化を示した。

これによると、地下水採取量は年々減少してきており、特に大口工場においては、昭和52年から平成12年までの23年間で半以下になっている。

また、昭和52年当時は、地下水採取量の55%を大口工場が占め、33%が市上水道、12%が中小事業所であったが、平成12年においては大口工場が43%、市上水道が45%、中小事業所が12%となった。

3.2.2 月変化

図3に福井市南部地域における地下水採取量の月変化を示した。

これによると、夏季と冬季に地下水採取量が増加する傾向が明らかであるが、地下水採取量の減少に伴い、平成12年においては、月変化がほとんどなくなっている。

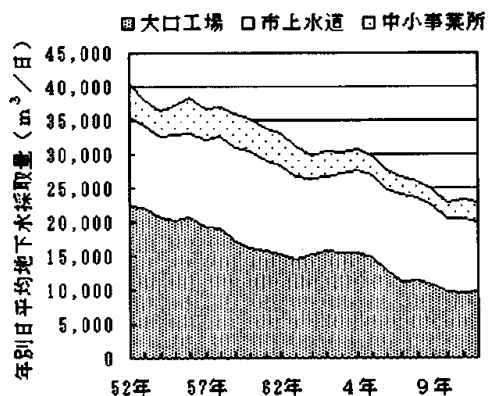


図2 福井市南部地域における地下水採取量の経年変化

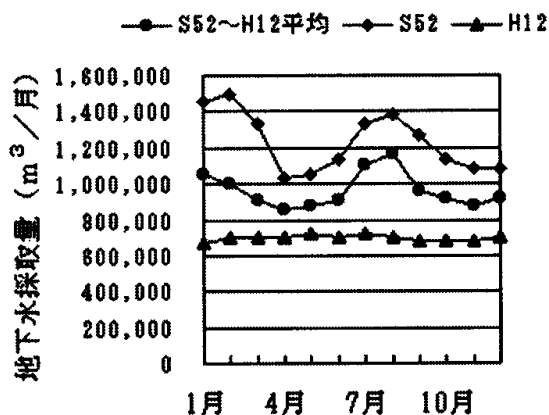
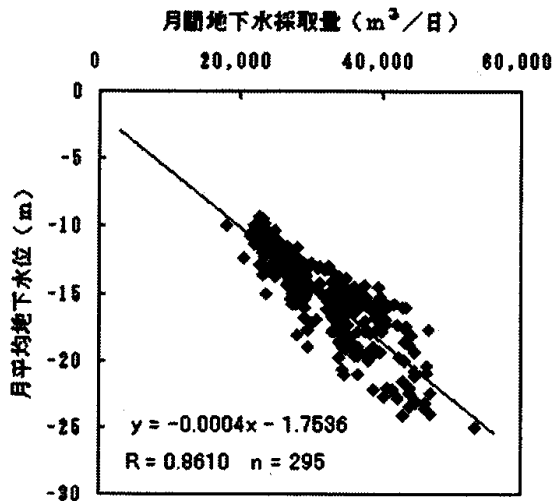
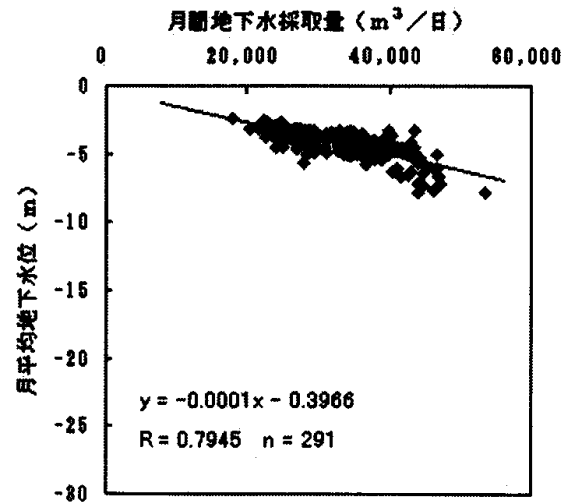


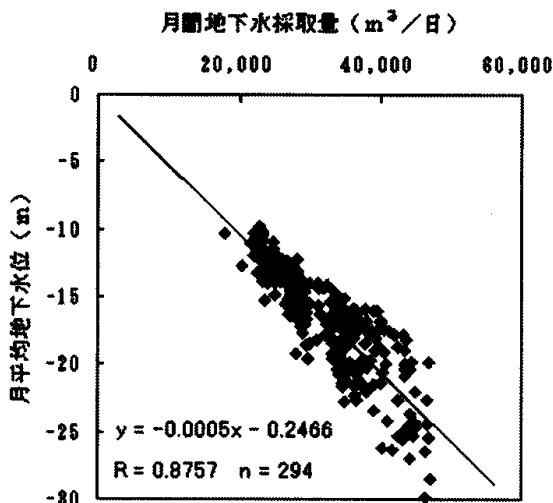
図3 福井市南部地域における地下水採取量の月変化



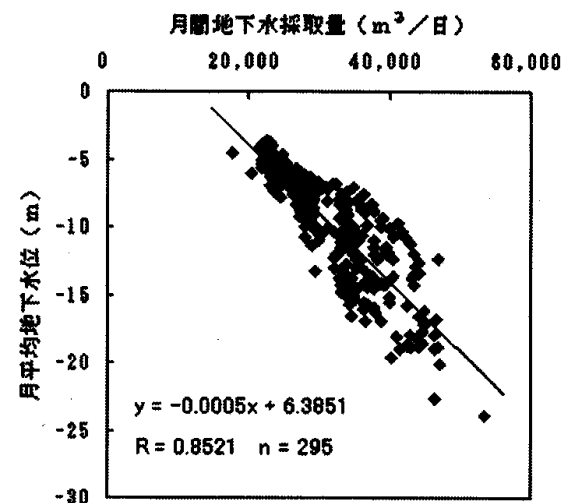
(1) 木田28m井



(3) 下荒井25m井



(2) 木田130m井



(4) 下荒井51m井

図4 福井市南部地域における月間地下水採取量と月平均地下水位の関係

3.3 地下水採取量と地下水位の関係

図4に福井市南部地域における月間地下水採取量と木田観測所および下荒井観測所における月平均地下水位の関係を示した。

これによると、相関係数は木田28m井が0.86、130m井が0.88、下荒井25m井が0.79、51m井が0.85とよい相関が認められた。これは、東京都練馬区の例¹⁾の0.88とはほぼ同程度であった。

また、図5に年間地下水採取量と年平均地下水位の関係を示した。

これによると、相関係数は木田28m井が0.96、130m井が0.96、下荒井25m井が0.87、51m井が0.94と月間値よりもさらに相関がよくなっている。

月間値、年間値ともに下荒井25m井の相関がよくない

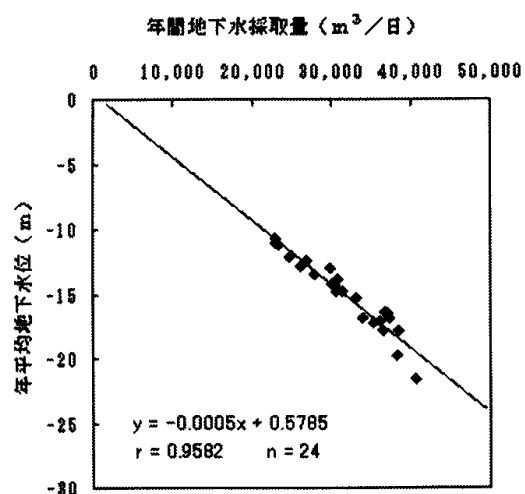
原因として、地下水位にほとんど変化がないことが考えられる。

3.4 降水量等と地下水位との関係

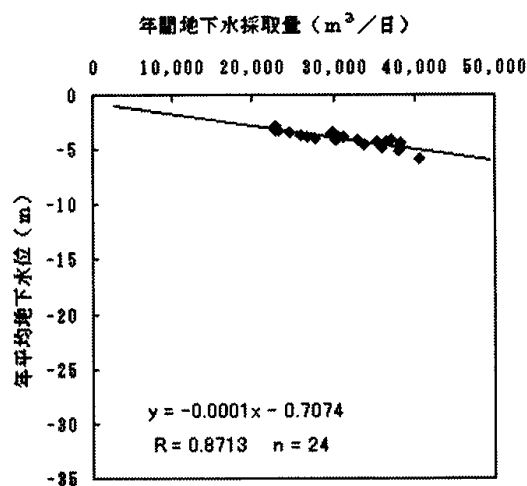
3.4.1 降水量と地下水位との関係

図6に木田観測所における平成10年から12年までの月平均地下水位と福井地方気象台における降水量の変化を示した。

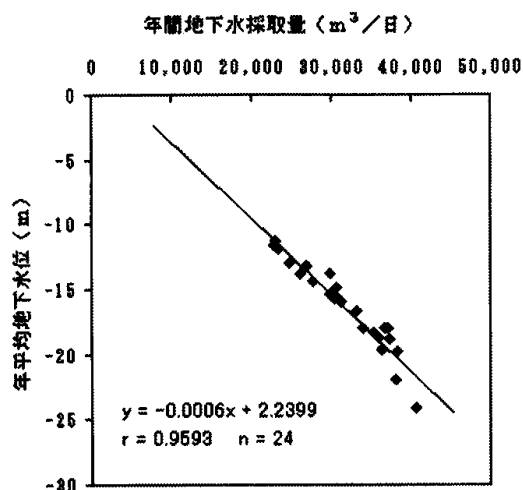
大阪府では、降水量の少ない7・8月に地下水位が大きく低下する例が報告されている²⁾が、当県においては、降水量の少ない平成12年7・8月においても著しい地下水位の低下は認められていない。むしろ、降水量の多い冬季において地下水位が著しく低下する傾向が認められ、これは、降雪による融雪の影響と考えられる。



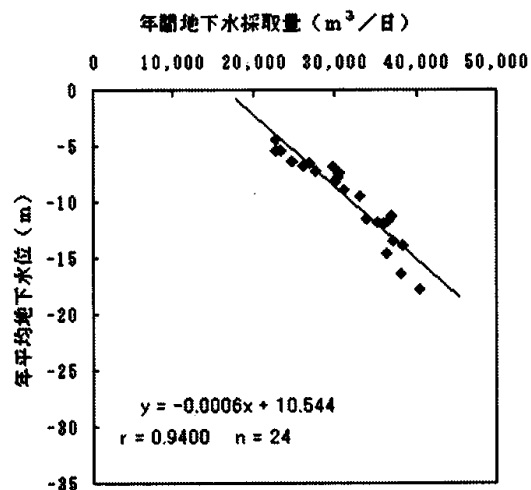
(1) 木田28m井



(3) 下荒井25m井



(2) 木田130m井



(4) 下荒井51m井

図5 福井市南部地域における年間地下水採取量と年平均地下水位の関係

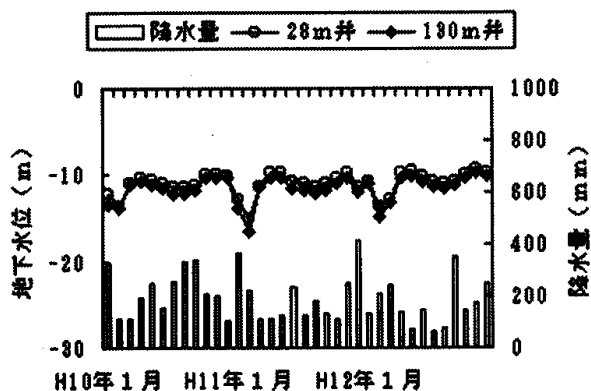


図6 月平均地下水位と降水量の変化(木田観測所)

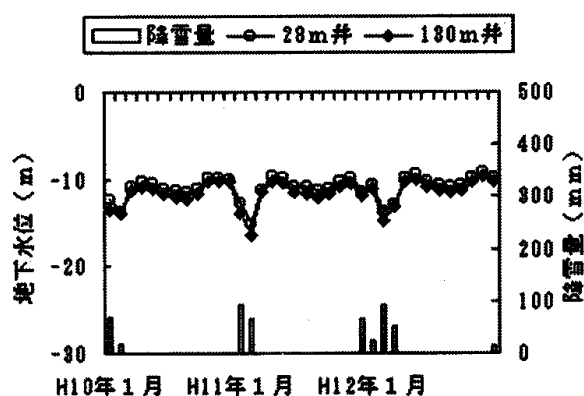
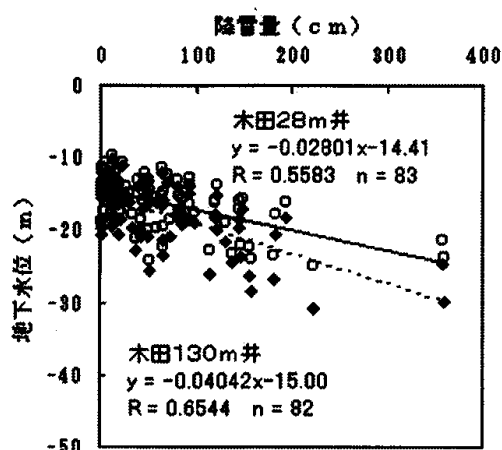
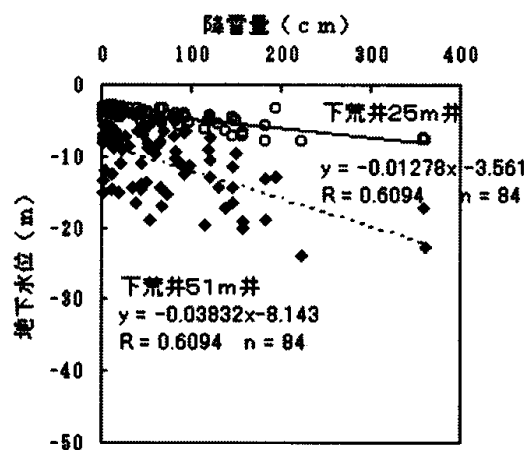


図7 月平均地下水位と降雪量の変化(木田観測所)



(1) 木田観測所



(2) 下荒井観測所

図8 降雪量と地下水位の関係

3.4.2 降雪量との関係

図7に木田観測所における平成10年から12年までの月平均地下水位と福井地方気象台における降雪量の変化を示した。

これによると、降雪が認められた期間において地下水位が著しく低下している傾向が認められる。これは、地下水を融雪に利用していることによると考えられる。この傾向は、すべての観測井で同様であった。

なお、参考までに木田観測所および下荒井観測所における昭和52年から平成12年までの降雪月における降雪量と地下水位の関係を図8に示した。

3.5 地下水位の変動を考慮した地盤沈下の予測

3.5.1 予測方法

望月³⁾は、入手が困難な新たな土質データなどの情報を用いずに、地下水位観測結果と地盤沈下観測結果の既存情報を用いた地盤沈下予測式を提案している。

これは、地下水位変動が一定であった場合に、経年的な地盤沈下量の変化がTerzaghiの一次元圧密理論曲線によって説明できるという仮定に基づいた次式をもとにしている。

$$\delta S_i = S_{P0} \{1 - \exp(-C_R \delta t_i)\}$$

δS_i : 累積沈下量

S_{P0} : 観測開始年における残存沈下量

C_R : 地盤の圧密進行に関する係数

δt_i : 観測開始からある観測年までの経過時間

ここで、

$$\delta S_{n+1} = S_{n+1} - S_n$$

とし、 S_{P0} は地下水位変動幅 Δh の一次関数と仮定して

$$S_{P0} = A_w \Delta h + B_w$$

で表すと、

$$\delta S_{n+1} = A \cdot \Delta h + B \cdot S_n + C \quad \dots (1)$$

$$A = A_w \{1 - \exp(-C_R)\}$$

$$B = - \{1 - \exp(-C_R)\}$$

$$C = B_w \{1 - \exp(-C_R)\}$$

となる。

各月の地下水位の12か月分の移動平均の連続する2つの平均を傾向変動の推定値とし、これと各月の地下水位の差の1年間における最大値と最小値の絶対値の和を Δh とした。

表2 予測式の係数等

	木田観測所		下荒井観測所	春山観測所		湊観測所
	28m井	130m井	51m井	43m井	150m井	204m井
A	0.255	0.468	0.120	0.0448	-0.0839	0.742
B	-0.0701	-0.164	-0.165	-0.0348	-0.145	-0.656
C	1.28	5.74	14.6	0.738	1.61	1.97
A_w	3.64	2.85	0.726	1.29	-0.577	1.13
B_w	18.3	35.0	88.0	21.2	11.1	3.00
C_R	0.0727	0.179	0.181	0.0354	0.157	1.07

3.5.2 予測結果

各観測井ごとに得られた予測式(1)の係数A、B、Cおよびこれらの値から求めた A_w 、 B_w 、 C_R を表2に示す。

各観測井ごとに得られた予測式に、各測定年の地下水位変動幅 Δh を代入して年間地盤沈下量の予測値を求め、前年の累積沈下量の予測値に加えて各年における累積沈下量の予測値とし、実測値と比較した。なお、各観測井ともに、当初、一年の途中で観測を開始しているため、累積沈下量の初期値は実測値を用いた。相関係数の算出に当たっては、初期値を除いた。

各観測井の累積沈下量の予測値と実測値を別図2に示した。また、各観測井の年間沈下量の予測値と実測値の関係を別図3に示した。

これらによると、木田28m井、130m井、下荒井51m井および春山43m井については相関係数がいずれも0.9以上で相関がよかったが、春山150m井および湊204m井については、相関係数がそれぞれ0.798、0.667でありよくなかった。

3.5.3 考察

3.5.3.1 係数

A、B、Cは、 $-0.0893 \leq A \leq 0.742$ 、 $-0.656 \leq B \leq -0.0348$ 、 $0.738 \leq C \leq 14.6$ の範囲であり、関東平野北部地域の例⁴⁾の $0.124 \leq A \leq 137$ 、 $-0.867 \leq B \leq -0.0115$ 、 $-35.6 \leq C \leq 44.3$ と比較して異なる値となった。また、福井平野における予測では、予測式(1)の係数Aの絶対値は、いずれの地点においても1以下と関東平野北部地域の例と比較して著しく小さいことから、予測値は、地下水位変動幅 Δh の影響をあまり受けないことがわかる。

特に、春山150m井については、係数Aが負であり、地下水位変動幅が大きいほど年間沈下量がマイナス（隆起）に作用することとなる。これは、地下水位の変動に比べて、累積沈下量が10mm程度と非常に小さいデータをもとに係数A、B、Cを決定したことによると考えられる。また、このことは、年間沈下量の実測値と予測値の相関がよくない原因でもあったと考えられる。

A_w 、 B_w 、 C_R は、 $-0.577 \leq A_w \leq 3.64$ 、 $3.00 \leq B_w \leq$

88.0 、 $0.0354 \leq C_R \leq 1.07$ の範囲であった。

地下水位変動幅の Δh の最大値は、木田130m井が13.7m、下荒井51m井が11.6m、春山150m井が10.8mであった。

最小値は、下荒井25m井の0.791mから木田28m井の2.91mまでであり、観測井による大きな違いはなかった。

3.5.3.2 地下水位変動幅と年間沈下量の関係

ここで、予測式(1)の $\Delta h = 0$ とし、 S_n に平成12年における予測値を代入して $B \cdot S_n + C$ を算出すると表3のとおりとなる。

この結果から、福井市南部地域外の春山観測所においては、予測式では、地下水位変動幅 Δh を0mと仮定しても平成13年における年間沈下量 δS_{n+1} は43m井が0.277mm、150m井が0.402mmになることとなる。

逆に、予測式(1)の $\delta S_{n+1} = 0$ とし、 S_n に平成12年における予測値を代入して Δh を算出すると表4のとおりとなる。

この結果から、予測式では、地下水位変動幅 Δh を、木田28m井が3.5m、130m井が5.0m、下荒井51m井が2.1m、湊204m井が4.9mに抑えれば、平成13年における年間沈下量 δS_{n+1} は0mmになることとなる。

4 まとめ

- (1) いずれの観測所においても、年々地下水位は上昇してきており、これに伴って累積沈下量も横ばいになってきている。
- (2) 福井市南部地域における地下水採取量は年々減少してきており、特に大口工場においては、23年間で半分以下になっている。
- (3) 福井市南部地域における地下水採取量は、夏季と冬季に増加する。
- (4) 福井市南部地域における月間地下水採取量と月平均地下水位は、よい相関が認められた。年間値は、月間値よりもさらに相関がよくなっている。
- (5) 降雪量の多い冬季において地下水位が著しく低下する傾向が認められ、これは、融雪の影響と考えられる。
- (6) 地下水位の変動を考慮した地盤沈下予測法による予

表3 $\Delta h = 0$ のときの δS_{n+1} ($B \cdot S_n + C$)

	木田観測所		下荒井観測所	春山観測所		湊観測所
	28m井	130m井	51m井	43m井	150m井	204m井
$B \cdot S_n + C$	-0.891	-2.35	-0.256	0.277	0.402	-3.63

表4 $\delta S_{n+1} = 0$ のときの Δh

	木田観測所		下荒井観測所	春山観測所		湊観測所
	28m井	130m井	51m井	43m井	150m井	204m井
Δh	3.49	5.02	2.13	-6.18	4.80	4.89

測結果は、春山43m井および湊204m井以外については相関がよい。春山150m井および湊204m井については、地下水位の変動に比べて累積沈下量が非常に小さいことにより相関がよくないと考えられる。

- (7) この予測法は、福井平野の特に過去に地盤沈下が認められた福井市南部地域への適用に有効である。
- (8) 福井平野における予測値は、地下水位変動幅の影響をあまり受けない。
- (9) 福井市南部地域外の春山観測所においては、予測式で地下水位変動幅を0と仮定しても平成13年における年間地盤沈下量はプラスになることとなる。
- (10) 予測式では、春山観測所以外について地下水位変動幅を一定に抑えれば、平成13年における年間地盤沈下量は0になることとなる。

5 謝辞

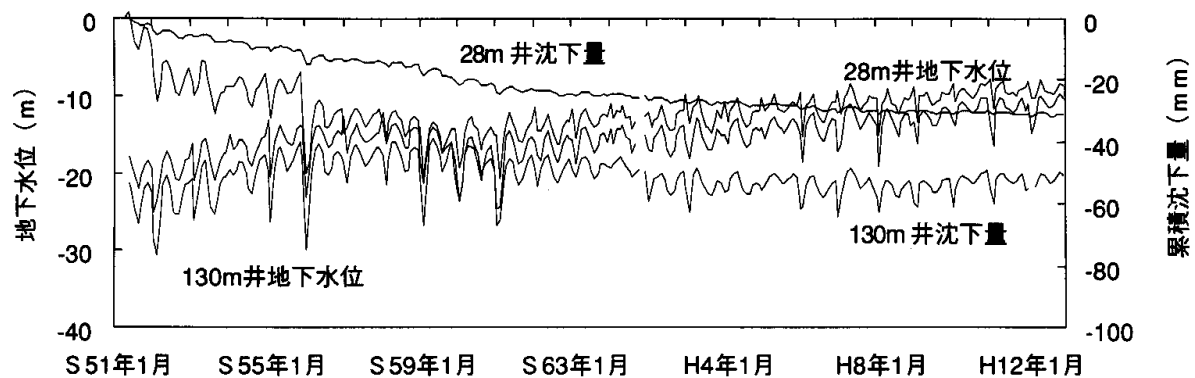
地下水位の変動を考慮した地盤沈下予測法について、茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻、望

月紀子さんから多くの論文や貴重なデータの送付をいただき、深く感謝します。

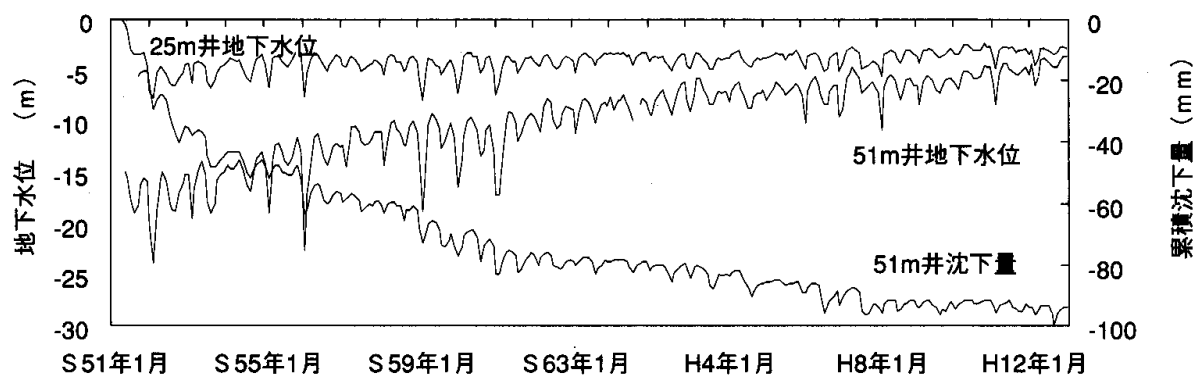
また、福井市から地下水位および地盤沈下量の観測結果の提供をいただき、感謝します。

参考文献

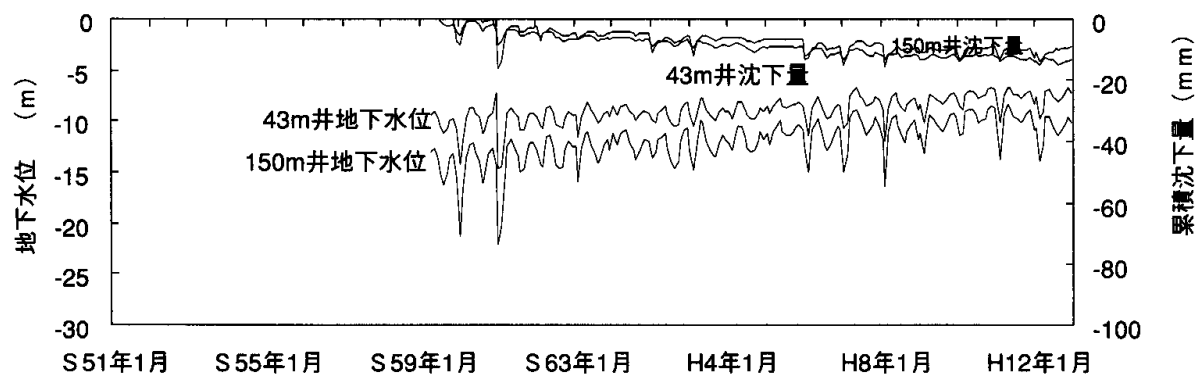
- 1) 東京都土木技術研究所：「平成10年地盤沈下調査報告書」, p.21, 平成11年7月.
- 2) 大阪府環境農林水産部環境指導室保全課：「平成12年地盤沈下・地下水位観測年報」, p.12, 平成12年.
- 3) 望月紀子ほか：地盤沈下・地下水位観測結果を用いた地盤沈下予測法, 社団法人地盤工学会：「第35回地盤工学研究発表会発表講演集」, pp.691-692, 2000年6月.
- 4) 望月紀子ほか：地下水位の変動を考慮した地盤沈下予測とGIS援用モニタリング, 土木学会：「第55回年次学術講演会」, p.CS-250, 平成12年9月.



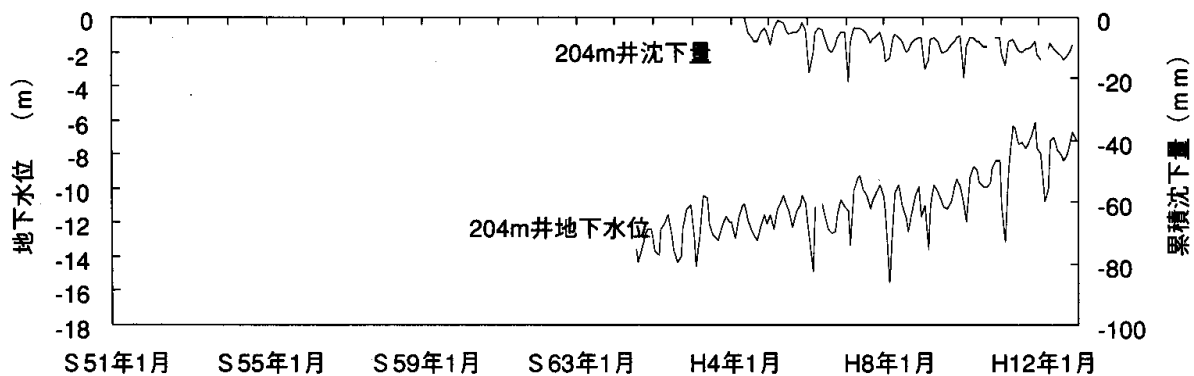
(1) 木田観測所



(2) 下荒井観測所

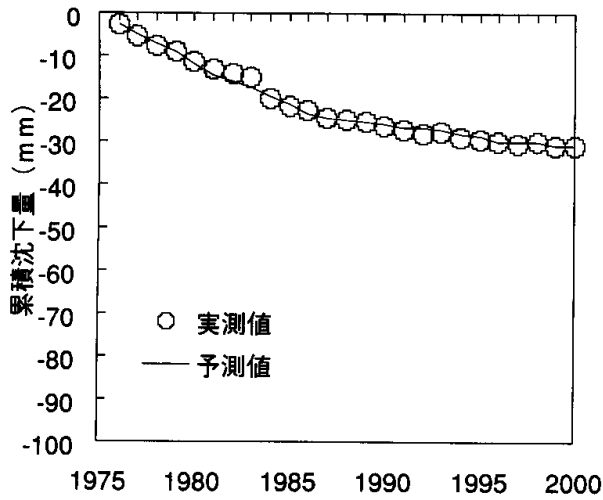


(3) 春山観測所

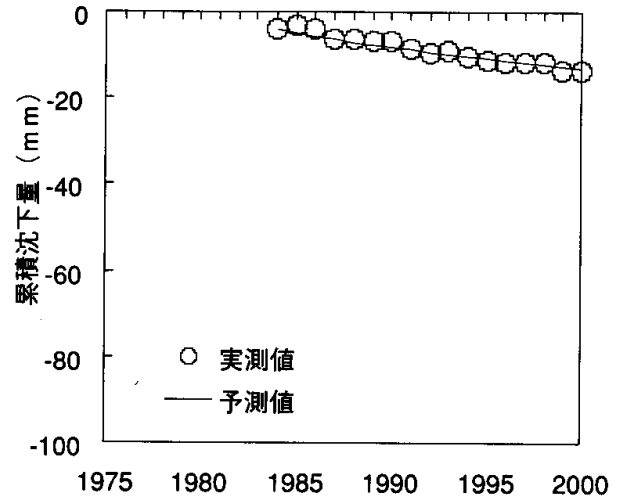


(4) 湊観測所

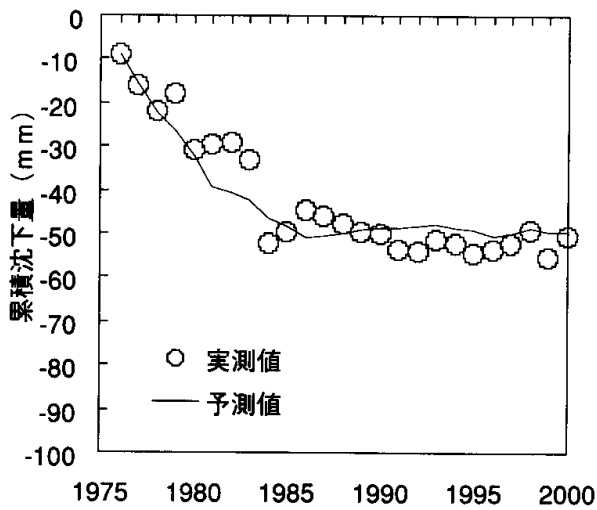
別図1 各観測所における地下水位および累積沈下量の経年変化



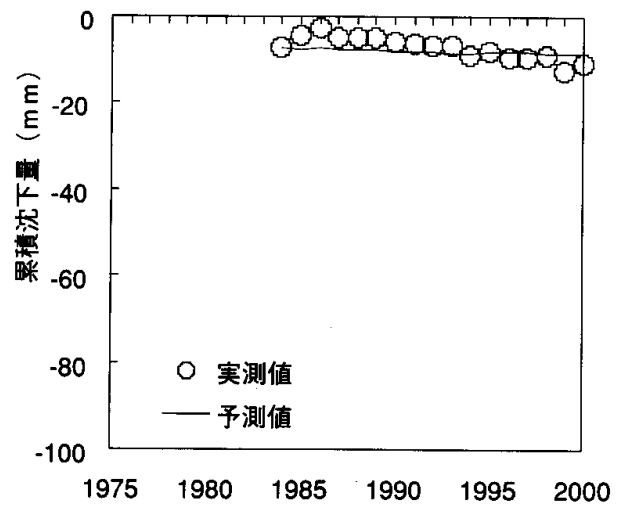
(1) 木田28m井



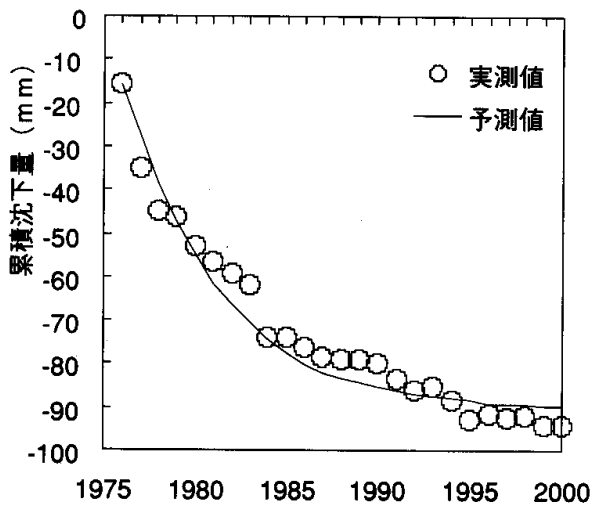
(4) 春山43m井



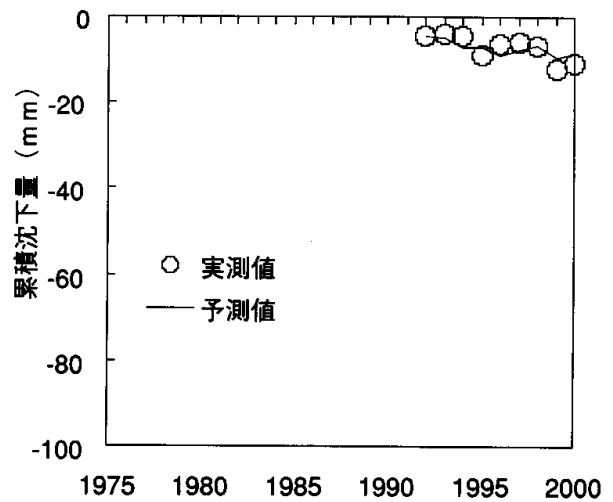
(2) 木田130m井



(5) 春山150m井

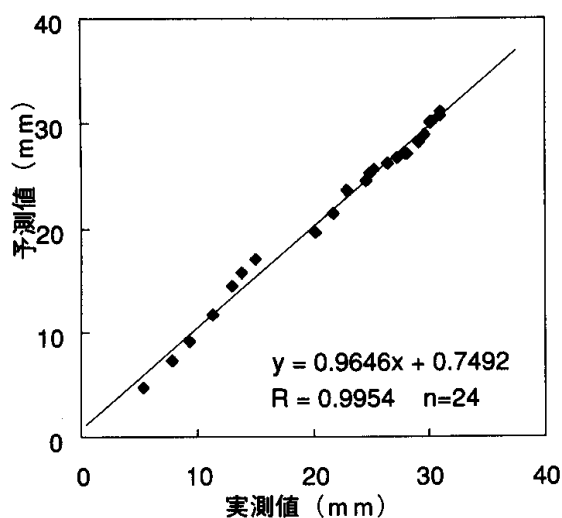


(3) 下荒井51m井

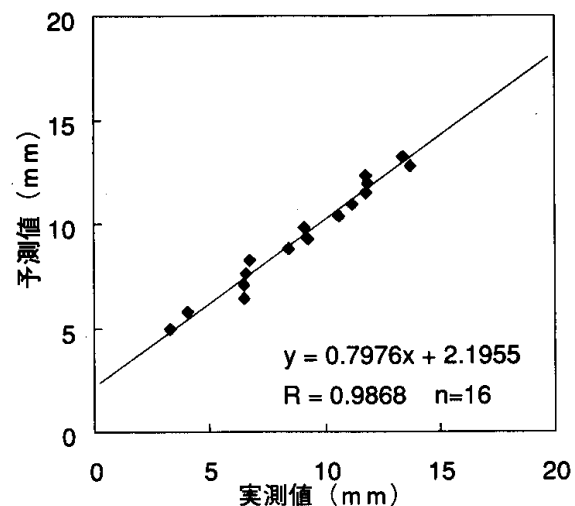


(6) 湊204m井

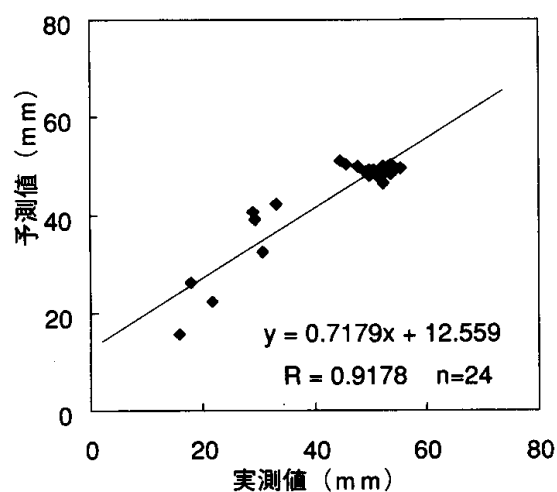
別図2 累積沈下量の予測値と実測値



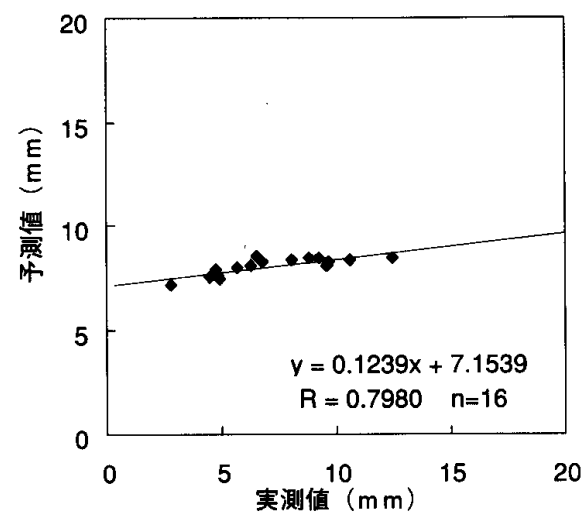
(1) 木田28m井



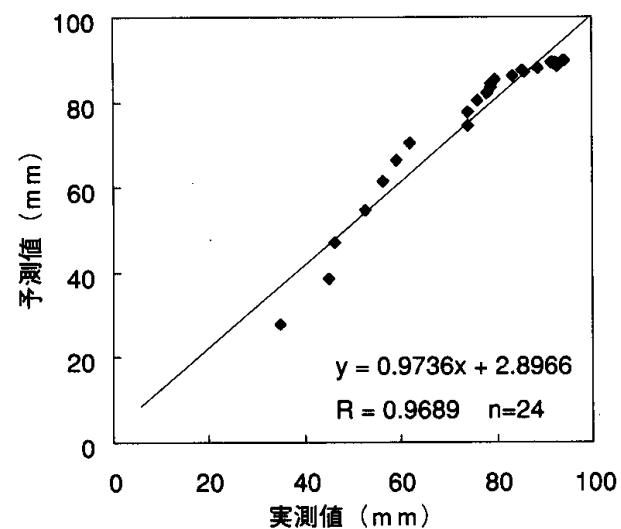
(4) 春山43m井



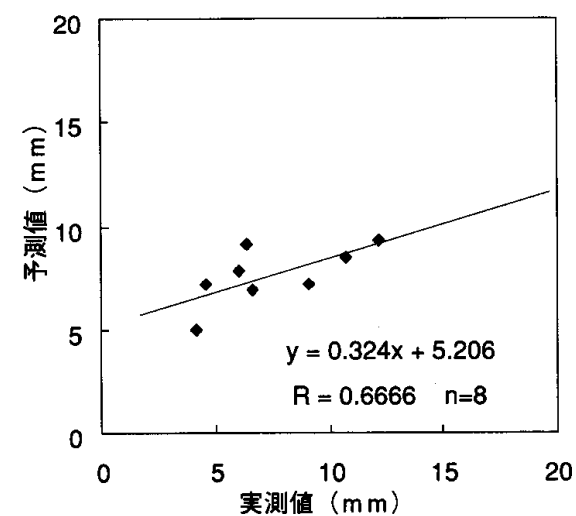
(2) 木田130m井



(5) 春山150m井



(3) 下荒井51m井



(6) 湊204m井

別図3 年間沈下量の予測値と実測値の関係