

特 別 講 演

(13 : 30 ~ 14 : 20)

司 会 : 澤 田 欽 次

濃尾平野の広域地盤沈下と地下水問題

名古屋大学 工学部 正会員 植下 協

1. まえがき

濃尾平野における地盤変動が初めてまとまった資料として報告されたのは建設省中部地方建設局の『昭和30年度地盤変動調査報告書(伊勢湾周辺地域)』¹⁾である。

この報告書は中部地方建設局を中心とし、関係官庁および学識経験者からなる伊勢湾沿岸地域地盤変動調査協議会によるもので、水準測量と潮位変動から地盤変動が把握されているが、地下水の過剰揚水などに伴う地層の圧密収縮の加速による地盤沈下現象については触れられていない²⁾。

その頃までの濃尾平野における地盤沈下は、1885年および時折行われた一等水準点の測量から知られていたが、明治24年(1891)10月28日の濃尾地震、昭和19年(1944)12月7日の東南海地震、昭和20年(1945)1月13日の三河地震などによる地殻変動によるものが主体であると考えられてきた(図-1参照)。

濃尾平野の地盤沈下が人々の注目を集めて議論されたようになるのは昭和34年(1959)9月26日の伊勢湾台風による高潮災害時に伊勢湾臨海域が長期間の浸水をこうむってからである。この大災害時に侵入した海水が長期にわたり約180km²のゼロメートル地域を水没させ、濃尾平野の地盤沈下問題が認識されるようになった。

伊勢湾台風の後復旧工事が行われた水準点網が整備された後、昭和36年(1961)2月から昭和41年(1966)2月までの5年間にわたり、国土地理院中部地方測量部が指導のもとに、愛知県、名古屋市、名古屋港管理組合、三重県によって、一等・二等水準点における測量が毎年実施され、地盤沈下に関する貴重な資料が提供された。

昭和41年(1966)に上記5年間の測量成果を分析するたため、愛知県・名古屋市・名古屋港管理組合から9名を擁して、名古屋大学地盤変動研究グループ(代表者:飯田淑事)³⁾が組織された。このことは、急速な地盤沈下の進行が大きな海拔ゼロメートル地帯をかかざる濃尾沖積臨海平野にとって重大な問題として理解され、

昭和41年(1966)に上記5年間の測量成果を分析するたため、愛知県・名古屋市・名古屋港管理組合から9名を擁して、名古屋大学地盤変動研究グループ(代表者:飯田淑事)³⁾が組織された。このことは、急速な地盤沈下の進行が大きな海拔ゼロメートル地帯をかかざる濃尾沖積臨海平野にとって重大な問題として理解され、

Geotechnical Study on Land Subsidence and Groundwater in Nōbi Plain : Kano UESHITA (Department of Geotechnical Engineering, Nagoya University)

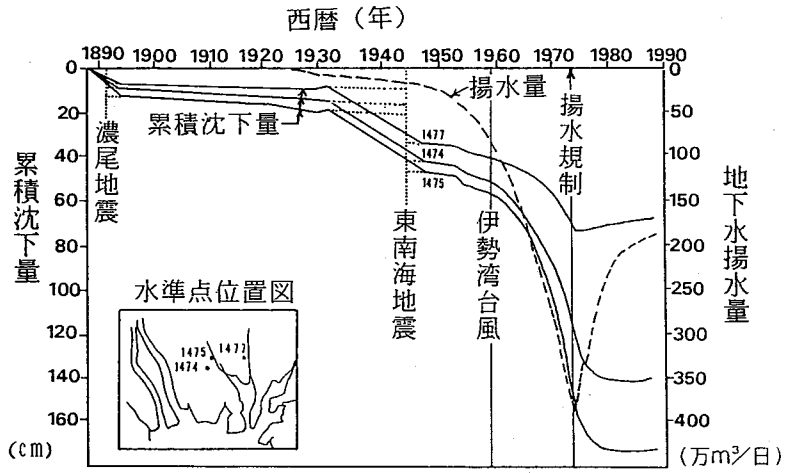


図-1 濃尾平野南部における地盤沈下の経過ならびに濃尾平野域からの揚水量の経年変化

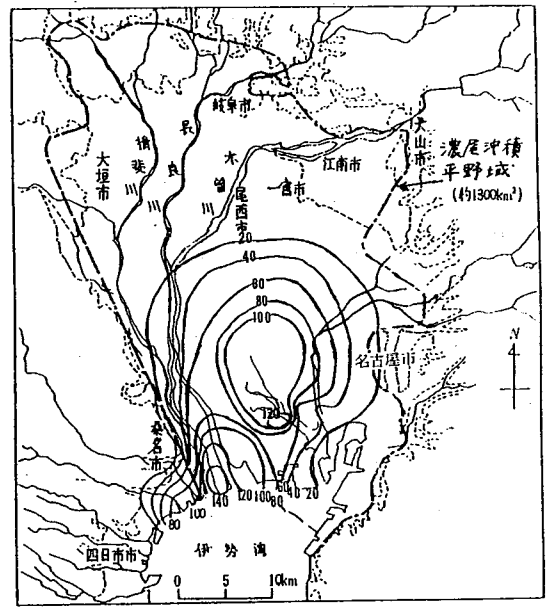


図-2 濃尾沖積平野域と伊勢湾台風後の累積地盤沈下量(単位 cm)

域的な調査研究態勢の確立の必要性が認識された理由である。

この名古屋大学地盤変動研究グループの構成員は飯田浪孝（理学部・地球物理）、井岡弘太郎（文学部・地形成学）、嘉藤良次郎（教養部・地質学）、桑原 徹（理学部地球科学教室出身、名城大学・地質学）、横尾義實（工学部・建築学）、植下 協（工学部・土質力学）であった。

この名古屋大学地盤変動研究グループの報告書²⁾の中で植下⁴⁾が修復海岸堤防の荷重による地盤沈下については説明できない広域地盤沈下の生じていることと土質力学的に説明し（図-3参照）、井岡⁵⁾が地下水液面上げの大きい地点で地盤沈下の大きいことと指摘（図-4参照）している。

この報告書²⁾が「濃尾平野の地盤沈下現象は地下水利用にもとづく地層の圧縮収縮による」と論じた最初のものであるといわれている²⁾。

一方、昭和36年から昭和40年にかけて三重県木曾岬村から四日市市にいたる沿海地域で地盤沈下は北伊勢地盤沈下調査会⁶⁾によって明らかにされ、報告書がまとめられている²⁾。

濃尾平野の地盤沈下が地下水の過剰揚水による地盤の圧縮収縮であると学術的に指摘されたのが昭和42年（1967）であるということは、その頃まで名古屋での状況が東京・大阪などに比べて、地盤沈下問題に対する学術的研究に遅れがあったことと示している。

その頃の名古屋における地盤沈下問題に対する理解は、東京・大阪にくらべ名古屋の街が地盤の低い熱帯性沖積台地を中心として発展しており、地盤沈下が身近に感じ難い地盤条件にあったこと、そして木曾三川のそと濃尾平野沿海部は水が豊かであり、地下水を汲んでも東京・大阪のように地盤沈下の原因にはならず、濃尾平野の地盤沈下は地殻変動による自然災害のなものであると⁷⁾がしばしば強く主張されたので、昭和49年（1974）に名古屋市・愛知県、そして昭和50年（1975）に三重県が上記各大地盤変動研究グループの学術研究の結論²⁾にもとづいて公害防止条例による揚水規制を施行するまで地下水の利用量は増大しつづけて（図-1参照）、昭和48年（1973）の日揚水量は380万 m^3 、そしてその年の最大沈下量は23.5 cm/年の状況にまでなった。

2. 濃尾平野における地盤沈下の土質力学と環境地盤工学的研究

昭和41~42年に各大地盤変動研究グループが本格的に濃尾平野の地盤沈下研究に取り組むなか、研究の推進を併行して発表活動を活発にせし得たのは理由が当時の水準測量結果の⁸⁾根拠があった。このことは伊勢湾台風で死者5000人、負傷者15000人という甚大な高潮災害の直後、なお地盤沈下が進行している事実を公表して住民に心配させ

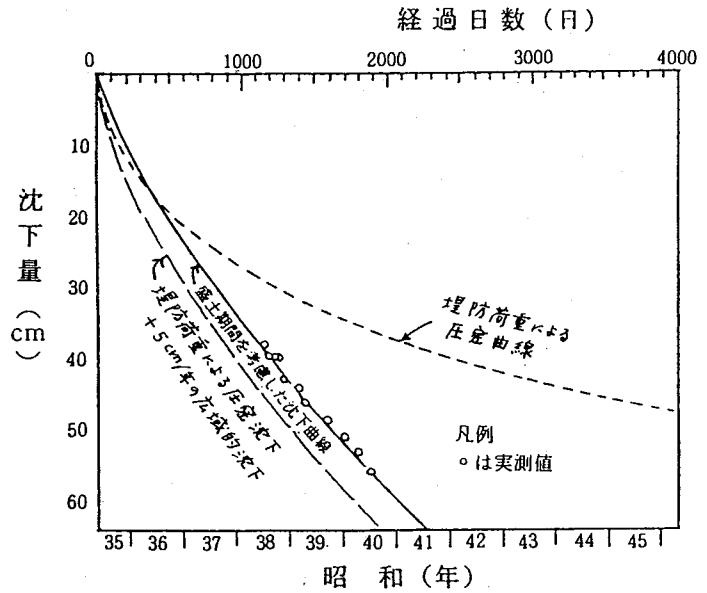


図-3 木曾岬修復海岸堤防の沈下解析（植下，1967）⁴⁾

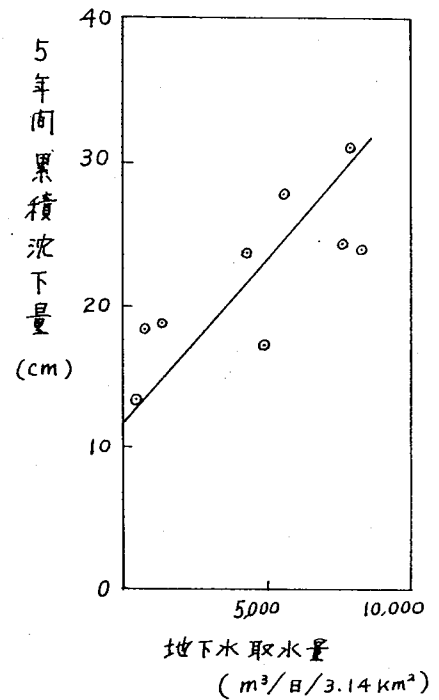


図-4 5年間累積沈下量と地下水取水量との関係

（木曾川デルタの海岸部（沖積泥層20m以上）に対する井岡（1967）の研究⁵⁾より作図）

い方がよいとの行政担当者や配慮があったためであると考えている。

昭和42年(1967)に公害対策基本法が制定され、「地盤沈下」が典型七公害の一つとして定められ、昭和46年(1971)に環境庁が、毎年のように日本の地盤沈下状況と報告する環境白書が出されるようになって、濃尾平野の地盤沈下について調査結果も公表され、関連しての研究成果も発表し得る時代に推移した。

筆者は昭和41年度の研究¹⁾以来、濃尾平野の地盤沈下が水圧低下による粘土層の圧縮現象と見ていた中で、私達の土質力学が実社会の地盤沈下防止に役に立たなければ申し訳ないと思いで、濃尾平野の地盤沈下に関係するある中野委員会・調査研究会に参加し、問題も解決するたりの研究協力を行ってきた。

筆者の研究室で行った研究は図-5に示す「広域地盤沈下対策作業の流れ」の中で「実態研究」なるべく「将来予測研究」にあたる部分である。

昭和40年代初頭における土質工学者としての筆者の濃尾平野地盤沈下問題への取り組みについては、帯水層の水圧低下状態と明らかにし、それによる深度200mぐらいまでの第四紀層の粘土層と砂層の圧縮膨水現象を計算(図-6参照)すれば土質工学者の任務はほぼ終了したと考えていた。

(しかしながら、昭和40年代には濃尾平野の地盤沈下が年々増大し、この問題への取り組みとして、建設省国土地理院、建設省中部地方建設局、名古屋市など昭和49年頃から、鉛直断面二次元差分モデル、平面二次元差分モデルなどで地下水収支のシミュレーション計算を始めるようになった。一方、昭和49年から始まった発案地盤沈下研究会で発案局長が、「地下水収支シミュレーション計算が役に立つようになるのはいつのことでしょう?」と言われたことに対し、上述した従来の土質工学者の枠内の貢献では地盤沈下問題の学問的解決と見てもらえないことも痛感した。

そこで、昭和50年度には濃尾地下水盆のほとんども含む三次元有限要素モデル(その平面領域は図-7参照)による計算^{2),9)}を開始した。この有限要素三次元モデルによる研究を始めた地盤工学の理由は次のようであった。

1) それ以前に行われていた濃尾平野における鉛直断面二次元モデルならびに平面断面二次元モデルの作業を見て、濃尾地下水盆のすべてを三

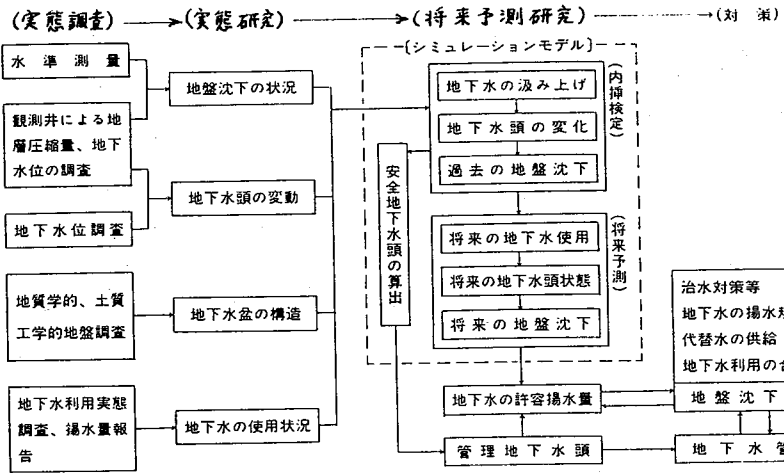


図-5 広域地盤沈下対策作業の流れ

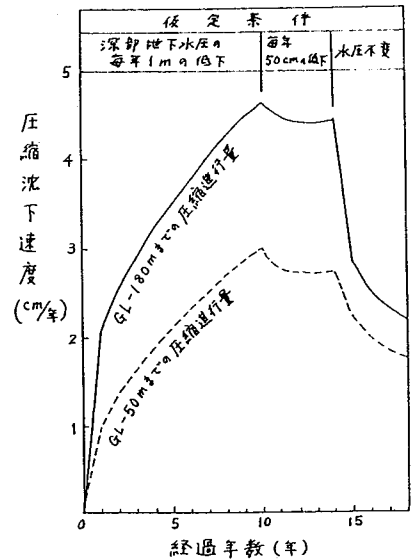


図-6 水圧低下による圧縮沈下速度の試算(植下, 1967)⁴⁾

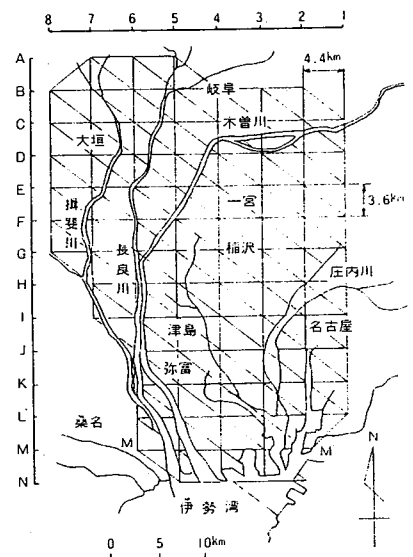


図-7 濃尾地下水盆三次元有限要素モデルの平面領域

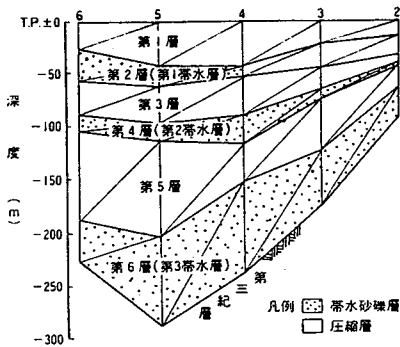


図-8 濃尾地下水盆三次元有限要素モデルの前部M-M'断面(図-7参照)

次元の力カバーするシミュレーション計算と実施しにくいから、地盤工学的に満足できる結果は得られなと考えたこと。

2)有限要素法によるモデルの方が差分法によるモデルよりも全体的に現実の地盤状態に近いためと考えたこと。

昭和50年代の初頭に濃尾平野地盤沈下問題に対し、濃尾地下水盆三次元有限要素モデルによる研究推進も可能に背景として次の条件があった。

1)濃尾平野地下水盆の地質構造について名城大学栗原教授¹⁰⁾による研究がかなり進められていた。

2)濃尾平野地下水盆の地下水利用状況が、環境庁、建設省、愛知県、岐阜県、三重県、名古屋市^{11,12)}によって全体的に調査され、その調査結果の整理と取りまとめが栗原教授¹³⁾によってなされてきた。

昭和50年度の棚橋¹⁴⁾による研究¹⁵⁾も、昭和51年からは佐藤^{14,15)}が引継ぎ、改善を加えながら研究の完成に導いた。昭和51年以降の濃尾地下水盆三次元有限要素モデルによる研究の改良点と推進は次のようであった。

①モデルの深さを第四紀層のすべてが含まれるような深度400mぐらまで深め、第3帯水層帯水層まで含むモデルに拡大した(図-8参照)。

②モデルの各要素の透水係数と比貯留量と圧密試験、揚水試験、柱状試験などにもとづき、地盤工学的に納得できる値とした(図-10参照)。

③昭和36年から昭和51年までの15年間の内挿検定に基づき、将来の地下水利用条件に対応する地下水位回復の予測を示した¹⁶⁾(図-11参照)。

④昭和52年の地下水頭状態からの将来予測として、

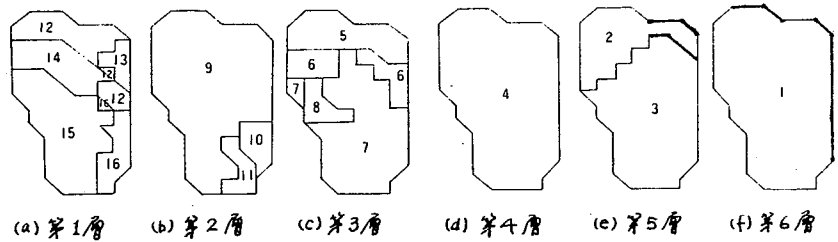


図-9 濃尾地下水盆モデルにおける土質区分

凡例 ○モデルに与えた値を示す。○内の番号は、図9の土質領域である。

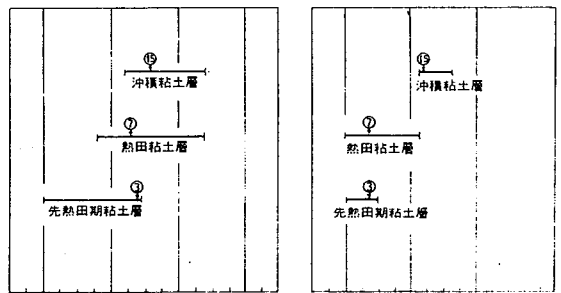
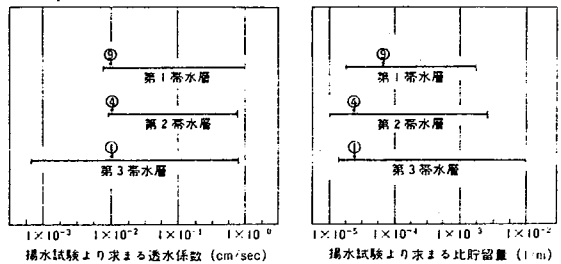
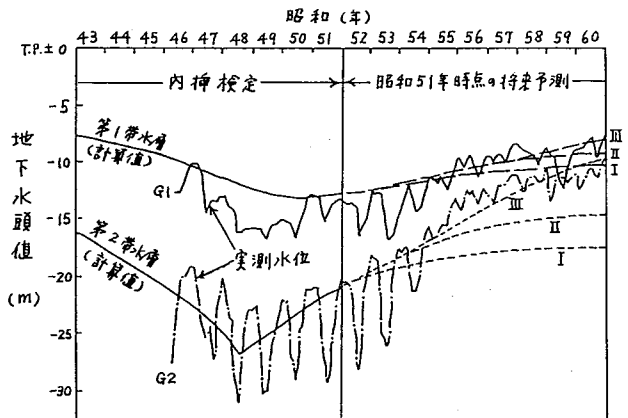


図-10 内挿検定後のモデル各部に与えられた土質パラメータと揚水試験・圧密試験結果の対応



図中の将来予測の条件
 I: 昭和51年の揚水量が昭和52年以降も続く場合
 II: 昭和51年の揚水量と昭和52年に2割カットする場合
 III: 昭和51年の揚水量と昭和52年から毎年1割ずつ、5年間でカットする場合

図-11 昭和51年までの内挿検定による三次元シミュレーションによって得られた松中観測井付近の地下水頭の予測計算値¹⁶⁾とその後計測された実測値との比較

「昭和60年に到達させる地下水頭目標値」と「昭和52年から昭和60年までの累積沈下量」なる2つに「昭和60年における地盤沈下速度」を因-12のように鉛直一次元シミュレーション計算によって求めた¹⁷⁾。

⑤濃尾地下水盆三次元有限要素モデルと三重県長島町白鷺地点での鉛直一次元有限要素モデルを併用して、昭和52年以降の揚水量削減条件による累積地盤沈下の傾向を図-13のように予測した^{18),19)}。

この将来予測には地下水位回復による第三紀層以深の浮き上り現象も加味されている¹⁹⁾。この昭和52年時点の将来予測にその後の水単点の測量結果を記入した加、昭和52年以降揚水量がほぼ5割カットされた予測値に対応した沈下状態を示している。

昭和50年頃、中央公害対策審議会地盤沈下部会が専門委員の立場からこの筆者に対し、東大「公害原簿」公開講座の予備地グループから筆者が公害問題に対する取組みの状況について質問と要望があった。そのよりの時代を要請ももたせてゆく責任も考え、この頃以来、筆者がこの地盤沈下研究は可能なかぎり公表を行ってきた。

昭和53年5月の東海三県地盤沈下調査会記者発表資料「昭和52年における濃尾平野の地盤沈下の状況」には昭和52年度の研究成果の図-11を載せ、「昭和51年揚水量の5割程度の揚水削減をしなければ、昭和60年時点で地下水頭もG.L.-10m程度(地盤沈下をほぼ停止できる状態)に回復できない」と述べたが、この記者発表資料とまじりながら調査会の会報では誠に緊張を満ちた討論があったことが思い起こされる。

3. 濃尾平野の地下水管理と地盤環境保全について

我が国では昭和30年代の経済高度成長により環境面でマイナス効果が顕在化し、昭和40年代から公害対策時代がしばらく続いてきたが、今日ではかつての後進的な環境行政から先を見据えた視野の環境保全行政が求められる時代となっている。

将来にわたる濃尾平野地下水保全の視点は次のような点を以てすべきである。

- ① 渇水気象が続いたときや、地震による給水不能の非常事態を以て平常時以上の地下水利用を許してもかゝる地盤沈下(年間2cm程度以上の累積沈下)が発生しない安全度をもつ管理地下水頭状態を常時保つ。
- ② 上記管理地下水頭は地震時に地盤が不安定(砂地盤での液状化、発生など)とならない範囲のものである。
- ③ 各帯水層の管理水頭は、「不圧地下水頭 > 第1被圧地下水頭 > 第2被圧地下水頭 > 第3被圧地下水頭」のように下位の帯水層の地下水頭ほど若干低い状態に設定する。
- ④ 各帯水層の地下水質が悪化(塩水化等)しない水頭状態であることにも配慮する。

以上のよくなる考えによる濃尾平野の理想的地下水状態の姿も具体的数値で表示し、それを参考に地下水盆を管理してゆくべきであると考えている。

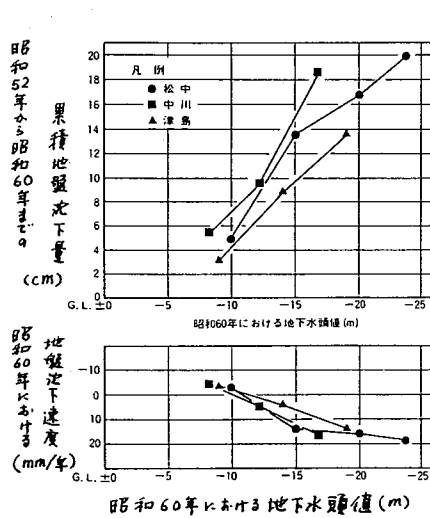


図-12 昭和60年の地下水頭値に対する昭和52年から60年までの累積地盤沈下量と昭和60年における地盤沈下速度の予測¹⁷⁾(昭和52年時点での予測値)

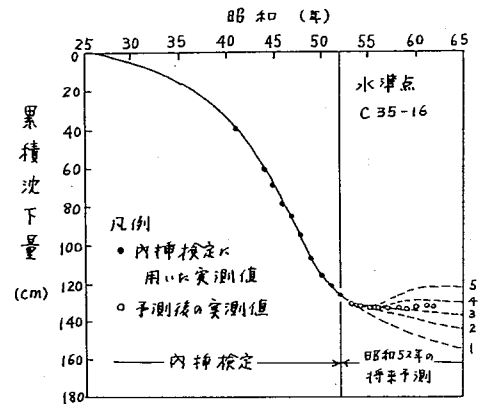


図-13 三重県長島町白鷺での昭和52年までの地盤沈下の内挿検定とその後の揚水条件に対応する地盤沈下の予測^{18),19)}と実測値との比較

図中の将来予測の条件
 1: 昭和52年以降同じ揚水量削減の場合
 2: 昭和53年以降揚水量が2割カットの場合
 3: 昭和54年以降揚水量が更に4割カットの場合
 4: 昭和55年以降揚水量が更に6割カットの場合
 5: 昭和56年以降揚水量が更に8割カットの場合

最近は地球の温暖化に伴う海面上昇が心配されている。日本最大の海抜ゼロメートル地帯274km²（大潮平均高潮面下約400km²）をもつ濃尾平野を海没から守るためには親水性と防災目的を兼ね備えたスーパ-堤防を築造してゆく構想が環境工学的に好ましい方向であろう。このスーパ-堤防の中に建設廃材等の発棄物が收容できれば今日の環境問題への一層の貢献となる。

4. おすび

土質工学会中部支部企画委員会に依頼により、筆者が長年取組んできた濃尾平野の地盤沈下と地下水問題とにこ取りまよめてみて、昭和40年代土質工学者の濃尾平野保全への切なる願いが20余年を経た今日ほぼ達成されたこととを目的と取り上げて感慨深しゅうがある。この四半世紀、名古屋大学の筆者の研究室で当地域の地盤と地下水問題に関連しての研究に従事した多くの職員・院生・学生の努力があったこととを思い、歴代各位の協力に感謝している。また、東海三県地盤沈下調査会、愛知県地盤沈下研究会、三重県地盤沈下調査研究会などにお世話になった多くの方々に対してもこの機会に心からのお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省中部地方建設局：昭和30年度地盤変動調査報告書（伊勢湾周辺地域），1956.
- 2) 東海三県地盤沈下調査会：濃尾平野の地盤沈下と地下水，名古屋大学出版会，1985.
- 3) 名古屋大学地盤変動研究グループ：伊勢湾北部地域地盤沈下調査報告書，1967.
- 4) 植下 協：伊勢湾北部地域地盤沈下の土質力学の考察，同上報告書，pp. 127~149, 1967.
- 5) 井岡弘太郎：伊勢湾北部地域地盤沈下の地下水利用法の考察，同上報告書，pp. 103~125, 1967.
- 6) 北伊勢地盤沈下調査会：北伊勢地盤沈下調査報告書，1967.
- 7) 松次 勲：沿海地域における地盤沈下の研究——とくに濃尾平野南部の地盤沈下——，文部省科学研究費（特定研究）「災害の地域的特異性に関する基礎的総合研究」報告書，pp. 16~33, 1966.
- 8) 棚橋 斉：濃尾平野地盤沈下の解析，名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文，1976.
- 9) 植下 協，板橋一雄，棚橋 斉：濃尾平野地盤沈下の解析，土木学会第31回年次学術講演会概要集Ⅲ，pp. 183~184, 1976.
- 10) 桑原 徹：濃尾傾動盆地の発生と地下の第四系，地盤沈下の実態とそれに対する対策に関する調査研究報告書，愛知県環境部，pp. 111~182, 1975.
- 11) 環境庁，建設省，愛知県，岐阜県，三重県：昭和48年度濃尾平野地下水揚水量等実態調査報告書，1974.
- 12) 名古屋市：昭和48年度名古屋市地下水揚水量等実態調査報告書，1974.
- 13) 桑原 徹：濃尾平野における地下水利用と地下水水位変動の実態，地盤沈下の実態とそれに対する対策に関する調査研究報告書，愛知県環境部，pp. 59~108, 1975.
- 14) 佐藤 健：濃尾平野の地盤沈下と水収支解析，名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文，1977.
- 15) 佐藤 健：濃尾平野の地下水状態と地盤沈下に関する研究，名古屋大学大学院工学研究科博士論文，1981.
- 16) 植下 協，佐藤 健：濃尾平野の適正揚水量に関する研究，土木学会論文報告集，No. 247, pp. 137~146, 1979.
- 17) 植下 協，佐藤 健：濃尾平野地盤沈下に対する安全地下水頭の研究，土木学会論文報告集，No. 299, pp. 65~72, 1980.
- 18) 植下 協，佐藤 健：将来の地下水利用と地盤沈下の関係と評価する方法について——濃尾平野の場合と例として——，土木学会第8回環境問題シンポジウム講演論文集，pp. 19~24, 1980.
- 19) 植下 協，佐藤 健：濃尾平野地盤沈下の将来予測について，昭和57年度自然災害科学中部地区シンポジウム講演要旨集，p. 24, 1982.