

## 水浸沈下による家屋の被害調査と水浸沈下量の予測

大日本土木（株）	正会員	片岡昌裕
大阪市立大学	正会員	望月秋利
近畿大学	正会員	阪口 理
西松建設（株）		江頭信之

### 1. はじめに

硬質粘土や軟岩を主材料とする盛土上の家屋が、建設後比較的早い時期に、降雨や生活用水の水浸に伴って急激に沈下する例が報告されている。三笠ら<sup>1)</sup>はこの種の沈下を「水浸沈下」と名付け、その原因を盛土材料の水浸による脆弱化であることを指摘した。その後島ら<sup>2)</sup>は軟岩を、西ら<sup>3)</sup>、山口ら<sup>4)</sup>は泥岩を、また望月ら<sup>5)</sup>、片岡ら<sup>6)</sup>は硬質粘土や頁岩を対象に室内圧縮試験を実施して、水浸による沈下特性を検討した。

盛土の水浸沈下量の予測については野田ら<sup>7)</sup>が泥岩を、またBrandonら<sup>8)</sup>が砂質粘土を対象に行っている。しかしいずれも室内で締め固めた試料を用いた圧縮試験結果に基づいたもので、実盛土地盤の水浸沈下量の推定には至っていない。

この種の沈下は乾燥地帯で問題となることも多く、Ordemirら<sup>9)</sup>、Nabilら<sup>10)</sup>、Kyleら<sup>11)</sup>の研究がそれらの代表的なものである。彼らは実盛土にピットを設けて、水浸沈下 (collapse settlement) が生じるか否かの判定のために平板載荷試験 (plate load test) を実施している。しかし、これらの試験装置は大がかりで、試験期間や費用を考えると一般的な宅地盛土に簡単に適用できるものではなく、また本研究の目的である盛土の水浸沈下量の予測法として検討されたものでもない。また最近ではHoustonら<sup>12)</sup>が、筆者らが開発した試験装置 (図-5参照) と同種の装置を開発しているが、装置と試験方法の報告に留まり、既設盛土の水浸沈下量を推定した研究は、筆者の知る限りではない。

本研究は、1960年代に大阪府下で造成された盛土宅地を対象としたもので、水浸沈下被害を生じた家屋が建設後30余年を経過していることから、ちょうど建て替え時期に当たり、被害状況の調査および水浸沈下量予測についての調査依頼をきっかけに実施したものである。そこで、まずこれらの家屋の基礎部の沈下量をはじめとする被害状況を調査するとともに、筆者らが開発した「原位置載荷・水浸沈下試験」を被害宅地で実施し、盛土地盤の水浸沈下特性を検討することから始めた。この試験は鋼製の円筒と載荷板で構成され、載荷状態のまま原地盤に給水し、直接水浸沈下量を計測できるもので、硬質粘土や固結シルトを主体とした盛土の施工管理方法の検討のために用いた手法である<sup>13)、14)</sup>。

しかし、この試験装置を用いて既設盛土に生じる水浸沈下量を予測する場合、実際の盛土上の家屋と比較して載荷応力やその影響域が小さく、さらに水浸域も異なるという問題がある。したがって、まずこれらの関係を検討した後、水浸沈下量を予測するという手順を取った。さらにこの予測方法の妥当性について、予測値と実際の被害家屋の水浸沈下量を比較・検討し、その結果をまとめた。

### 2. 沈下被害と地盤の調査

研究の対象は大阪南部の丘陵地で、1962～63年にかけて造成された大阪層群上部層 (硬

---

Settlement damages of houses due to permeation of water and a method for prediction of the settlement. : Masahiro. Kataoka (Dainippon Construction), Akitoshi. Mochizuki (Osaka City Univ.), Osamu. Sakaguchi (Kinki Univ.), Nobuyuki. Egashira (Nishimatu Construction)

質粘土) を主材料とする盛土である。施工方法についての記録は入手できなかったが、住民からの聞き取り調査では、ほとんどがブルドーザーによって転圧されたとのことで、おそらく材料はリッピングされた後、粘土塊の状態でも盛り立てられたものと推定される。筆者らは、硬質粘土を用いた盛土試験で、ブルドーザーによる転圧だけでは水浸沈下被害が避けられないことを指摘したが<sup>13)</sup>、施工当時は水浸沈下現象そのものが理解されておらず、またこのようなブルドーザーによる施工が一般的で、この現場が特別というわけではない。

この地域の多くの家屋は1964年～65年に建設されたもので、調査は不同沈下の被害集中域の家屋40軒を対象に行ったが、その内水浸沈下による被害をこうむった家屋は12軒であった。本論文ではその中の2軒を選んで結果をまとめた。表-1は沈下に関する聞き取り調査の結果である。B宅では家屋建設直後に、またA宅ではそれよりも遅いが3年以内に、家屋基礎部の亀裂、建具の開閉不良として水浸沈下被害が発生した。

表-1 家屋の被害状況 (聞き取り調査)

造成	1963年完了	1963年完了
家屋	A宅: プレハブ (布基礎)、1964年11月完成	B宅: 木造住宅 (布基礎)、1964年完成
(発生時期)	1964~65年	1966~67年
被害状況	①家屋の東側の各部屋の開口部がねじれた感じがするようになった。 ②東側の門柱が傾いた。 ③北側の家屋基礎部にひび割れが生じた。	①北東の角部屋の窓が閉めにくくなる。 ②東側のコンクリートブロックが約10cm北側へ傾く。 ③門柱が約3cm傾き、門が閉まりにくくなる。 ④北東部のコンクリート製の階段に不同沈下が生じる。

表-2はこれらの家屋で実施した原位置試験項目を、また表-3はこれらの宅地から採取した試料の主な物理的性質を示したものである。図-1に試料の締固め曲線を示す。得られた $\rho_{dmax}$ を基に、A宅、B宅それぞれの盛土の締固め度(Dc)を計算するとそれぞれ80、88%で、現在採用されている締固め基準に基づく盛土のDc( $\geq 85\sim 90\%$ )<sup>15)</sup>よりもやや低い。また飽和度はA宅で71%、B宅では100%であった。

表-2 原位置試験項目

試験項目	測定点数
(1) 載荷・水浸沈下試験	1点
(2) 動的コン貫入試験	3~4点
(3) 密度試験 (R. I計器)	3点
(4) 不同沈下量	家屋基礎

表-3 各宅地の基本性質

家屋	湿潤密度 $\rho_w$ (t/m <sup>3</sup> )	含水比 $w_n$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	締固め度 Dc (%)	飽和度 Sr (%)
A	1.80	21.3	1.48	80	71.3
B	2.00	22.9	1.63	88	100.0

これらの結果と水浸沈下被害の発生時期を考え併せると、B宅では家屋建設直後の比較的早い時期に水が地盤に浸透してしまっただけの対し、A宅では部分的に未水浸の状態にあることが推定される。したがってB宅地盤に対してはすでに地盤が緩んでいることを、またA宅地盤に対しては今後何らかの原因で水が浸透すると、水浸沈下が生じる可能性を考えておかねばならない。

図-2はこれらの家屋基礎の沈下量を示したものである。沈下量は建設当初水平に仕上げられた家屋基礎部で水盛り法(ビニールパイプ両端の水位差を順次計測する方法)によって求めたもので、最大の不同沈下量はA宅で12cm、B宅で4cmに達している。

図-3はこれらの結果から各部分で変形角(沈下量/距離)を算定し、その最大値( $\theta_{max}$ )を示したものである。図中には建築学会が提示している「木造建築物の不同沈下障害の段階(表-4参照)<sup>16)</sup>」も示した。これによればこれらの家屋は第2~3段階の障害に相当する。

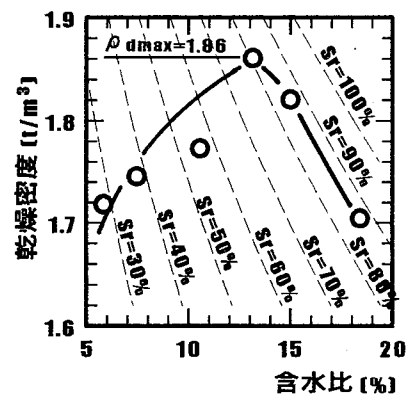


図-1 締固め曲線

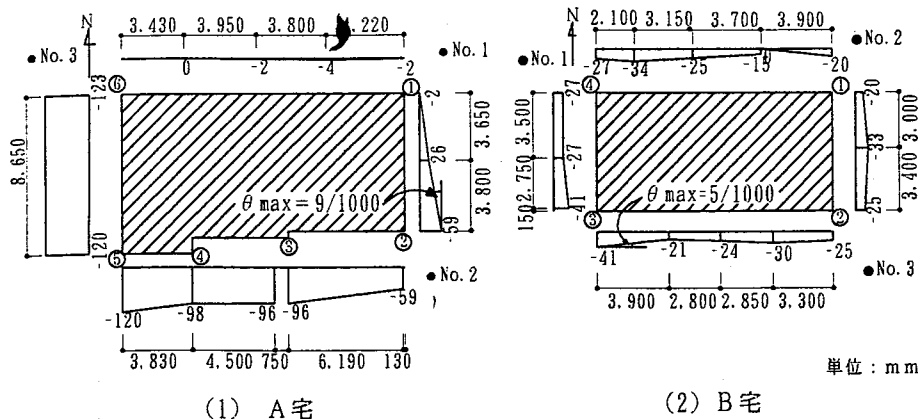


図-2 家屋基礎部の不同沈下量

表-4 木造建築物の不同沈下障害と変形角<sup>\*1</sup>

段階	不同沈下障害の状況	変形角の限度
初期段階	モルタル外壁・コンクリート犬走りにされつが生じる。	1/1000
第1期段階	つか立て床の不陸を生じ、布基礎・土間コンクリートに亀裂が入る。	3/1000
第2期段階	壁と柱の間にすきまが生じ、壁やタイルに亀裂が入る。窓・額縁や出入口枠の接合部にすきまが生じ、ブロック塀など外部構造物に被害が生じる。	5/1000
第3期段階	柱が傾き、建具の開閉が不良となる。床が傾斜して支障を生じる。	10/1000
最終段階	柱の傾斜が著しく倒壊の危険がある。床の傾斜もひどく使用困難である。	15/1000

1)日本建築学会(1988)：小規模建築物基礎設計の手引き，pp59より抜粋

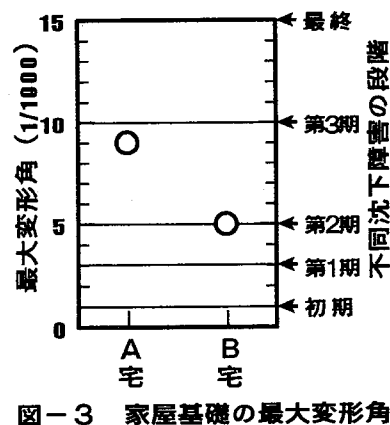


図-4 はこれらの家屋の宅地で実施した小型動的コーン貫入試験<sup>5)</sup>の結果を示したものである。この試験は先端シュアの単位面積当たりの重錘落下エネルギーを標準貫入試験機のそれと同じにしたもので、その結果をN'値と称している。図中には筆者らが以前に原位置載荷・水浸沈下試験結果に基づいて設定した水浸沈下被害が生じる危険領域<sup>13)</sup>も併記した(盛土材料はほぼ同じ)。また試験の実施位置は図-2に示した。

いずれの宅地でもN'値が深度の増加にともない急激に大きくなる地点(No.1)が見られ、他の測定地点(No.2,3)とは異なった分布を示す。聞き取り調査による情報も参考にするとA宅ではNo.1地点を含む北東側が、B宅では同様に西側が切土地盤と推定される。すなわち切土・盛土の境界は明確にはわからないが、家屋はその境界上に建てられており、計測した相対沈下量はそのまま水浸沈下による不同沈下量と考えてよい。またA宅地で盛土と推定されるNo.2,3地点で深度約3~4mまでが、またB宅地のNo.2地点では約3~3.5mまでが危険領域内にあり、地盤全体がやや緩い状態にある。

### 3. 原位置載荷・水浸沈下試験

図-5 は原位置載荷・水浸沈下試験機の概要を示したものである。試験方法は、まず小型動的コーン貫入試験で造成時の地盤状態が保存されている箇所(盛土部分)を選んで試験位置を決定する。次に家屋基礎の根入れと等しい深さ(50cm)まで削孔し、そこで小型動的コーン貫入試験を実施して水みち(直径10

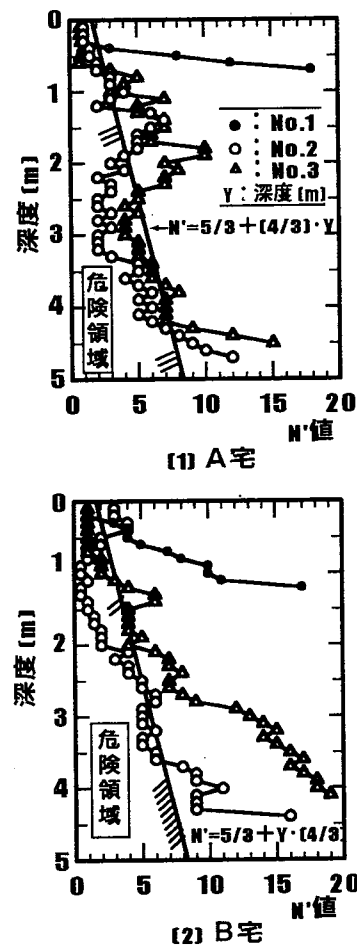


図-4 N'試験結果

mm、深さ約4~5m)を設定した後、試験装置を設置する。荷重方法は非水浸の状態では2.5、5、10tf/m<sup>2</sup>まで段階的に荷重し、10tf/m<sup>2</sup>荷重のまま一定水位(試験機底部から5cm)を保つように60~70分間給水し、その後15tf/m<sup>2</sup>まで荷重を増加し、各段階の沈下量を計測する。

図-6は原位置荷重・水浸沈下試験で得られた時間-沈下量関係を示したものである。A宅地盤では非水浸状態で生じる沈下量は、全沈下量の35%、給水(10tf/m<sup>2</sup>荷重状態)段階では23%、15tf/m<sup>2</sup>荷重増加段階では42%と各段階で沈下を生じる。またB宅地盤では、非水浸状態で全沈下量の63%が生じ、給水および荷重増加段階ではそれぞれ約15%程度の沈下割合となった。

図-7は、筆者らが以前に硬質粘土を材料とする宅地造成工事の試験盛土(転圧直後のDc=95%、Sr=33%)で実施したブルト・ザによる2回転圧時の時間-沈下量関係<sup>13)</sup>を示したものである。非水浸状態ではほとんど沈下を生じなかった(全沈下量の3%)が給水後には63%、荷重増加段階には34%の沈下が生じた。

この沈下性状の違いは、図-7の結果が施工直後であるのに対して、今回の宅地盛土は造成後長い年月を経て、ある程度地盤に水が浸透した点を考える必要がある。すなわち、飽和度および沈下性状からA宅盛土にはある程度の浸水が、またB宅盛土はほぼ水浸の状態にある、と考えられる。したがって、ここでは初期状態(盛土造成直後)に対して増加する水浸沈下量を、非水浸状態で計測した沈下量も含めた水浸沈下量と考えた。

#### 4 原位置荷重・水浸沈下試験を用いた盛土の水浸沈下量の予測

原位置荷重・水浸沈下試験を用いて盛土上の家屋で生じる水浸沈下量を予測する場合、試験と家屋では盛土内の応力の大きさやその影響域、さらに水浸域がかなり異なるため、得られた水浸沈下量をそのまま盛土に適用できない。そこでまずこれらの関係を検討した後に、当宅地を対象に原位置荷重・水浸沈下試験による予測法を検討し、実測値との比較を行い、さらに予測方法を検証した。

図-8は盛土の水浸沈下量の予測フローを示したものである。まず原位置荷重・水浸沈下試験で得られる水浸沈下量を、試験により水浸沈下が生じる層厚で除し、圧縮ひずみに換算して図-9に示す「荷重重-圧縮ひずみ関係」を求めておく。次に、盛土上の家屋でも水浸沈下が生じる盛土層厚を求め、この層厚

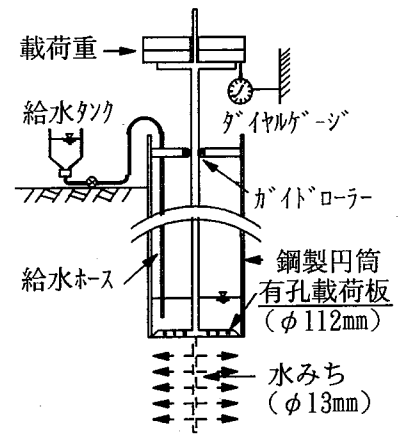
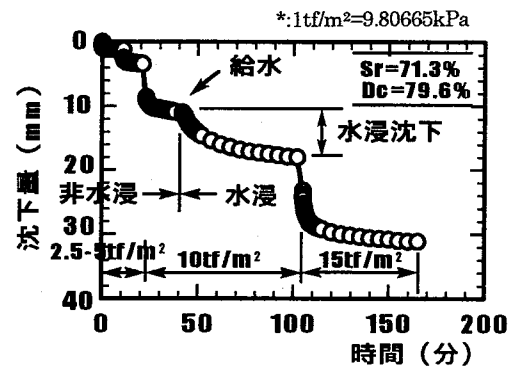
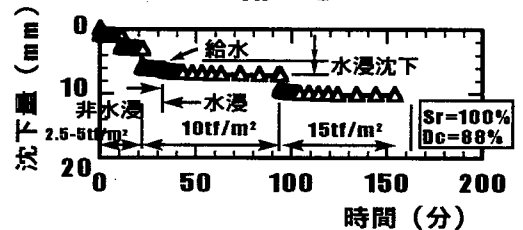


図-5 原位置荷重・水浸沈下試験機



(1) A宅



(2) B宅

図-6 時間-沈下量関係 (原位置荷重・水浸沈下試験)

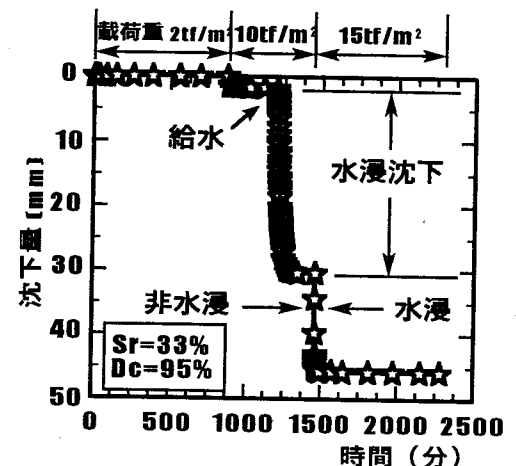


図-7 時間-沈下量関係 (試験盛土:ブルト・ザ-2回転圧)

内の応力に対応する圧縮ひずみを、図-9の関係から求める。最後に求めた圧縮ひずみにこの層厚を乗じて水浸沈下量を算定する。

ここで、予測に当たっては原位置載荷・水浸沈下試験、および実盛土で水浸沈下が生じる層厚を決定する必要があるが、水浸沈下は載荷状態で地盤への水の浸透にともなって生じるものであるから、水浸沈下が生じる層厚は「荷重の影響域」、「水の浸透域」と「水浸沈下の可能性のある層厚」のうちで最も小さい値になるはずである。そこで、前2者の領域を有限要素法による線形弾性解析と不飽和浸透解析で、「水浸沈下の可能性のある層厚」を小型動的コーン貫入試験による地盤の強度分布から検討した。

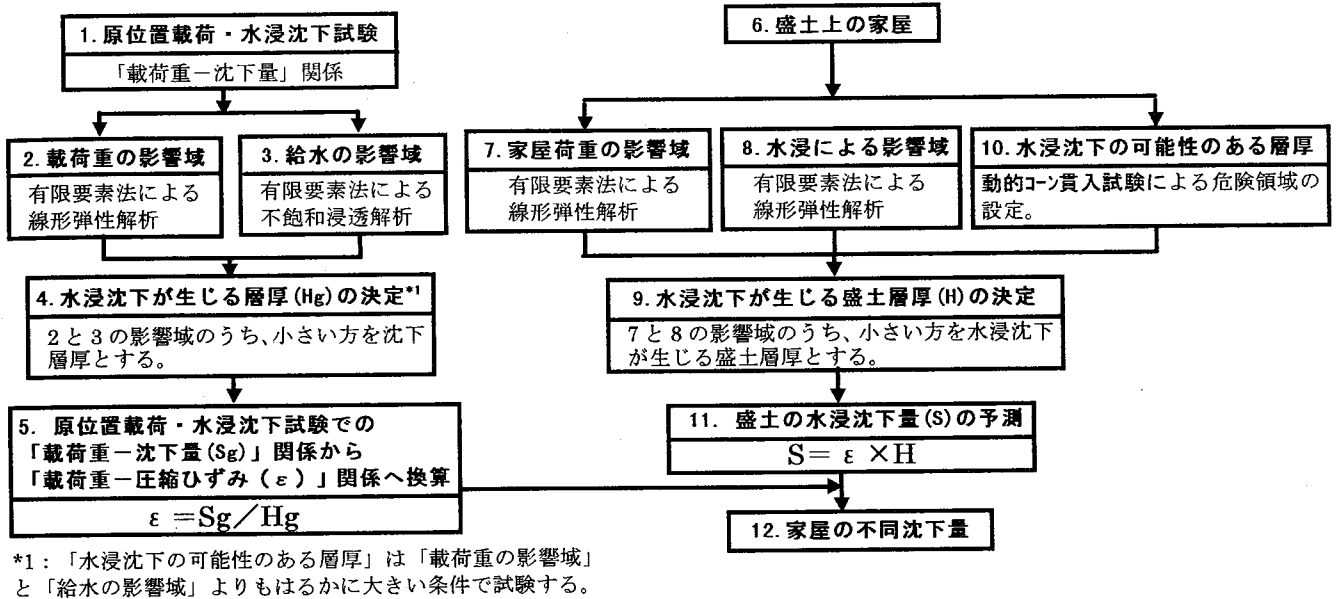


図-8 盛土の水浸沈下の予測フロー

#### 4. 1 原位置載荷・水浸沈下試験に対する「水浸沈下が生じる層厚」の決定

「応力の影響域」の検討では、試験機の形状を考慮して軸対象モデルとし、地盤の弾性係数は、A宅地盤で試験の2.5tf/m<sup>2</sup>載荷重で生じた沈下に合致するようにして(E=120tf/m<sup>2</sup>)有限要素解析を行った。図-10は各載荷段階での載荷重の影響値(I)と載荷板からの深度の関係を示したものである。影響値は載荷板直径の2倍(22.4cm)で約0.05~0.1を示し、それ以深は載荷による影響はほとんどなくなる。この結果を踏まえて22.4cm(2D)までを「応力の影響域」とした。

次に「水の浸透域」は、試験の給水状況を考慮して試験機底部に水が5cm湛水したモデルにより検討した。表-5に解析条件を示す。地盤の水分保持特性はA宅地盤から採取した試料を原位置と同じ密度で締固め、5種類の含水比に調整した各試料に小型の土壤水分計センサーを挿入して土のサクションと体積含水率の関係を求めた後、Van-Genuchten法<sup>17)</sup>によってサクション(φ)-体積含水率(θ)関係およびサクション(φ)-比透水係数(Kr)関係を求めた。図-11にこれらの関係を示す。図-12は給水後60分経過時点での載荷板付近の浸透状況を示したものである。

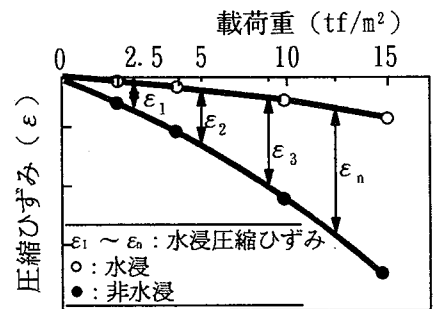


図-9 応力-圧縮ひずみ関係 (原位置載荷・水浸沈下試験)

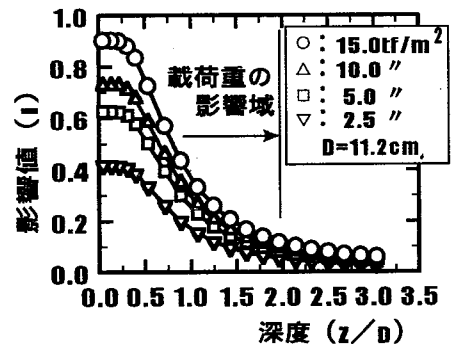


図-10 載荷重の影響域 (原位置載荷・水浸沈下試験)

図中には載荷重 (10tf/m<sup>2</sup>) の影響値 (I) が0.1および0.05の等応力線も示した。I = 0.05以上の領域のほとんどが飽和度(Sr) 92%以上になっており、載荷重の影響域はほぼ飽和状態になる。すなわち本試験に対する「水浸沈下が生じる層厚」は、載荷重の影響域で決まる。圧縮ひずみ(ε)は、式(1)で換算する。

$$\varepsilon = Sg/2D \quad \text{式(1)}$$

ここに、D : 載荷板の直径 (2D=22.4cm)

Sg : 原位置載荷・水浸沈下試験による  
水浸沈下量(cm)

#### 4. 2 盛土上の家屋に対する「水浸沈下が生じる層厚」の決定

「家屋荷重の影響域」の検討では、家屋荷重の他に土被り圧の影響を無視できないので、有限要素法(線形弾性解析、平面ひずみ条件)の自重解析より盛土中の応力を求め、さらに家屋基礎(布基礎: 根入れ深さ50 cm)底面に家屋荷重が載荷したときの応力を加えて求めた。なお今回の調査では詳細な家屋荷重が不明であり、またA、B宅の家屋タイプも異なるので、「一般的な布基礎底面にかかる家屋荷重」として建築学会が提示している値<sup>16)</sup>を参考に2.7tf/m<sup>2</sup>とした。

図-13は家屋基礎以深の応力と深度の関係を示したものである。応力は深度約1mまでは家屋の荷重による影響が認められるが、それ以深では深度に比例して大きくなる。

次に「水浸による影響域」を検討する。水浸域は家屋建設後にどのような状況で水が盛土内に浸入したのかは不明なのでその設定は難しい。この点に関して、望月ら<sup>18)</sup>は水浸沈下被害が生じた家屋基礎を伝わって水が盛土に直接流れ込む現象を報告している。ここではこの状況を想定して、図-14に示すように基礎部に5 cm水が湛水したモデルで2次元不飽和浸透解析を実施した。なお、解析に用いた境界条件や初期条件、地盤の水分保持特性は表-5と同じである。

図-15は地盤のカッションと時間の関係を、家屋基礎底面からの深さ毎に示したものである。カッションの値は約1ヶ月でほぼ一定値を示し、深度3mでは飽和度(Sr)が約90%、4mでは87%とかなり高くなるが、深度4.3mではSrは72%と低く、顕著な増加は認められない。すなわち家屋基礎底面から約3~4mまでが水の浸透の影響を受け、水浸する領域と考えることが

表-5 解析条件

モデル	軸対象モデル
水分保持特性	図-11参照
入力条件	載荷板底部より5cm湛水
境界条件	地下水位(深度-10m)
初期条件	A宅の飽和度(71.3%)

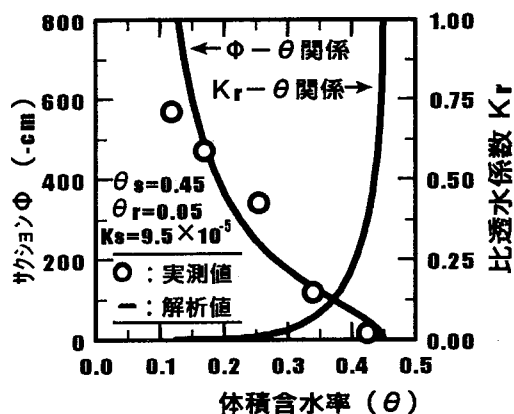


図-11 土の水分保持特性

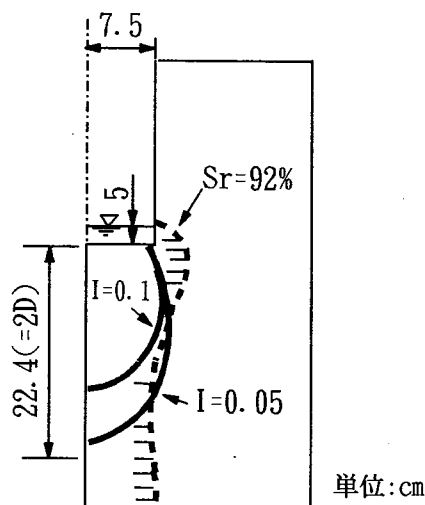


図-12 載荷板付近の浸透状況  
(原位置載荷・水浸沈下試験)

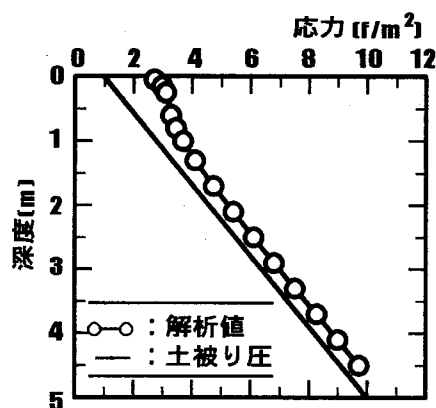


図-13 基礎直下の応力分布

できる。もちろん基礎からの水の浸入程度によって飽和度は異なるが、盛土部のN'値（図-4参照）が深度3~4mで急増している点を、水浸によって脆弱化し強度が低下したと考えると、この解析結果はほぼ妥当ではないかと考えられる。

最後に「水浸沈下の可能性のある層厚」について検討する。すでに水浸沈下が生じる危険領域については図-4に示したが、盛土材料が当宅地でもほぼ同じと考えられるので、この領域で判断すると、A宅では約3~4m、B宅では約3~3.5mである。これらの検討に基づいて、実盛土の水浸沈下が生じる層厚を約3または4mとした。

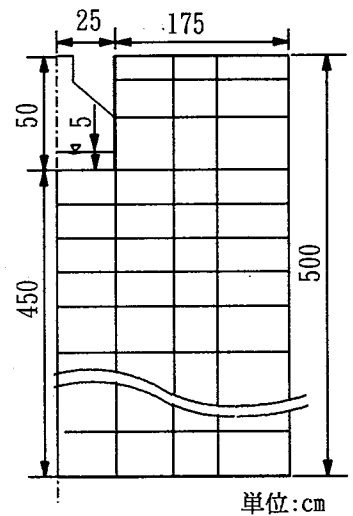


図-14 解析モデルの概要 (家屋基礎)

#### 4.3 予測値と被害家屋の水浸沈下量の比較

図-16は、図-6に示した原位置載荷・水浸沈下試験結果を沈下量と載荷重の関係にプロットし直したもので、A宅盛土で計測した結果をA線、B宅盛土で計測した結果をB線とした。B宅盛土は、前述した通り水浸状態と考え、0~10tf/m<sup>2</sup>間の結果をそのまま水浸による圧縮ひずみ推定用の荷重-水浸沈下曲線とした。A線に対しては10~15tf/m<sup>2</sup>間の水浸沈下曲線が得られているので、図中に示す破線のように0~10tf/m<sup>2</sup>間を補間し、圧縮ひずみ推定用の荷重-水浸沈下曲線とした。

沈下量の推定は「水浸沈下の生じる層厚」を10~12層に分け、各深さの中央で家屋荷重と土被り荷重の合計応力を求め、その応力に対応する水浸圧縮ひずみを図-16から求める。予測沈下量は式(2)で計算する。

$$S = \sum \varepsilon_i \times H_i \quad \text{式(2)}$$

ここで、S : 家屋の水浸沈下量

$\varepsilon_i$  : 各層の水浸による圧縮ひずみ

$H_i$  : 各層の層厚

図-17は予測値と被害家屋の水浸沈下量（実測値）の比較を示したものである。実測値は仮定した水浸沈下層厚（3または4m）を用いた予測値の間に入り、ほぼ妥当な予測法であることを裏付けている。もちろんこの予測は盛土造成当時の再現が完全なものではなく、いくつかの仮定に基づいている。しかし、高度な調査や管理が可能なフィルムなどの重要構造物とは異なり、宅地造成工事ではむしろこのようなケースが普通であろう。今後も実測例を増やしていきたいと考えている。

もう一つの視点として家屋の実測沈下量はA、B宅地盤とも原位置載荷・水浸沈下試験で得られた全

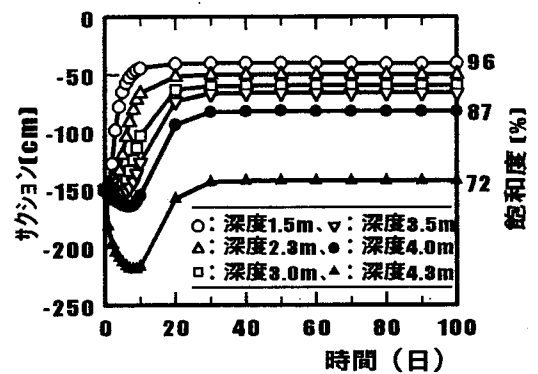


図-15 家屋基礎直下のサクション変化

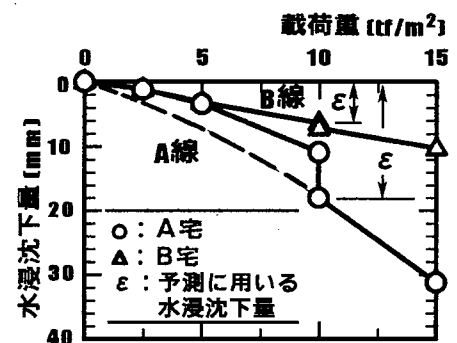


図-16 載荷重-沈下量関係

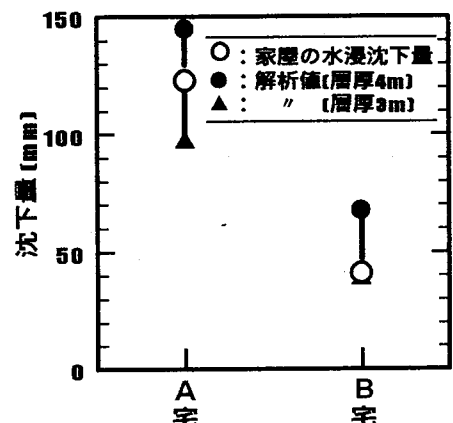


図-17 予測値と実測値の比較

沈下量の約4倍となった。この比率の意味は必ずしも理論的ではないが、種々の検討が実施できないような場合の実盛土での水浸沈下量の目安として意味を持つのではないかと考えている。

## 5. 結論

水浸沈下被害を生じた宅地盛土上の家屋の被害状況や地盤状態の調査を行うとともに、原位置載荷・水浸沈下試験を被害宅地で実施し、盛土の水浸沈下量を予測した。以下に得られた主な結果を示す。

(1)水浸沈下被害はB宅では家屋建設直後に、またA宅では3年以内に発生し、家屋基礎部の亀裂、建具の開閉不良といった障害が生じた。

(2)これらの家屋は、小型動的コーン貫入試験結果や住民からの聞き取りによる情報から判断すると切・盛土境界にあると考えられる。また盛土の締固め度はA宅地盤で80%、B宅地盤で88%とやや緩い地盤であった。

(3)原位置載荷・水浸沈下試験および実盛土で「水浸沈下が生じる層厚」を有限要素法による線形弾性解析や不飽和浸透解析および動的コーン貫入試験による強度分布から求めた。その結果、この層厚は原位置載荷・水浸沈下試験に対しては22.4cm (2D)、盛土に家屋に対しては3または4mと設定した。

(4)設定した「水浸沈下が生じる層厚」を用いて原位置載荷・水浸沈下試験結果から「載荷重-圧縮ひずみ」関係を求め、この関係を実盛土に適用して水浸沈下量を予測し、実測値と比較・検討した。その結果、実測値は予測値の範囲内にあり、ほぼ妥当な予測法であることが裏付けられた。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、被害調査においては被害地域の住民の、また地盤調査においては大阪市立大学大学院修了生、吉田勝氏（現京都府）の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)三笠正人・望月秋利・川本祥史：宅地沈下に関する一考察、第8回土質工学研究発表会、pp.399-402,1972.
- 2)島博保・今川史郎："スレキング"材料(ぜい弱岩)の圧縮沈下と対応策、土と基礎、Vol.28, No.7, pp.45-52,1980.
- 3)西勝・中橋隆・木村豊：軟岩の基本的性質と変形特性、建設工学研究報告、第29号, pp.169-180.,1987
- 4)山口晴幸・森洋一・黒島一郎・福田誠・桜田良治："第3紀泥岩の乾湿繰返し条件下における膨張・沈下特性、第26回土質工学研究発表会、pp.391-394.,1991
- 5)望月秋利・片岡昌裕・金田逸朗：締固めた硬質粘土の水浸沈下特性と動的コーン貫入強度、不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム, pp.109-116, 1987.
- 6)片岡昌裕・望月秋利・木下哲生・阪口理：頁岩の載荷状態での水浸・乾燥に伴う沈下特性とその推定、地盤工学会論文報告集、Vol.36, No.2, 1996.
- 7)野田耕・西勝：軟岩盛土の水浸沈下に関する研究、土木学会論文集、第391号/VI-8、pp.77-85.,1988.
- 8)Brandon, S.L., and Gardner, W.S.: Hydrocompression settlement of deep fills, Proc. ASCE, G. E., Vol.116, No. 10, pp.1536-1548.,1990.
- 9)Ordemir, I. and Ozkan, Y.: Compression of alluvial deposits due to wetting, Proc. of International Conference on SMFE Vol.4, pp.2217-2221, 1985.
- 10)Nabil F. Ismael, Omayya Al-Khalidi, And Mohammad A. Mollah: Saturation Effects On Valcareous Desert, Transportation Research Record Vol.1089, Pp.39-48, 1986.
- 11)Kyle M. Rollins, Ralph L. Rollins, Trevor, D. S., and Beckwith, H.: Identification and Characterization of Collapsible Gravels, ASCE., Vol.120, No.3, pp528-542.1994.
- 12)Houston, S. and Mahmoud H.: Down-Hole Collapse Test System, A.S.C.E Vol.121, No.4, pp.341-349,1995.
- 13)望月秋利・片岡昌裕・金田逸朗：原位置載荷・水浸沈下試験の施工管理への応用、土と基礎、Vol.37, No.7, pp.29~34.,1989.
- 14)片岡昌裕・望月秋利：硬質粘土および軟岩盛土の施工法の検討、土質工学会 中部支部、調査・設計・施工技術報告会、pp.58-69, 1992.
- 15)山本毅史：宅地造成における粗粒材料の現場締固めの評価、土質工学会、粗粒材料の現場締固め、pp.235-239, 1990.
- 16)日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き、1988.
- 17)Van Genuchten, M. Th.: Calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed form analytical model, Princeton Univ. Research Report No.78-WR-08.,1978.
- 18)望月秋利・三笠正人・川本祥史：宅地造成地の水浸による沈下の検討例、土と基礎、Vol.33, No.4, pp.25-32.,1985.