

戸建住宅を対象とした地下水位測定法と土質判別に関する研究

STUDY ON MEASURING THE GROUNDWATER LEVEL AND SOIL CLASSIFICATION FOR DETACHED HOUSES

金 哲鎬 ——— * 1 藤井 衛 ——— * 2
小川正宏 ——— * 1

Cholho KIM ——— * 1 Mamoru FUJII ——— * 2
Masahiro OGAWA ——— * 1

キーワード：
スウェーデン式サウンディング試験, 地下水位, 収束時間,
戸建住宅

We introduced the new groundwater measurement technique using a SWS test hole, a foraminite pipe and an Alternating Current (AC) resistivity sensor. A number of in-situ experiment was carried out to examine the effectiveness of the new technique. Two dimensional seepage flow analysis (FEM) was also carried out in order to simulate the groundwater flow surrounding the SWS test hole numerically, and it was found that the new technique may become an effective tool for the simple soil classification.

Keywords:
Swedish weight sounding test, Groundwater level, Elapsed time, Detached houses

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、戸建住宅に対する地盤調査および液状化に対する関心が社会的に高まりつつある。現在の宅地地盤の調査は、スウェーデン式サウンディング試験(以下、SWS試験)が主流^{1)~7)}であり、国土交通省告示第1113号で定められ、有力な地盤調査法として位置づけられている^{8)~10)}。そこで、筆者らは、宅地地盤の地下水位の情報を得るため、SWS試験孔を利用した地下水位測定法の開発を試みた。また、地下水位が収束していく過程が圧密沈下曲線のような双曲線に類似していることから、双曲線法による砂質土と粘性土の判別の可能性について、ボーリング調査から得られている粒度分布データやFEM浸透流解析結果と比較することにより土質判別の検討を行なった。この結果、SWS試験孔を利用した地下水位の測定により地下水位直下の土質(砂質土、粘性土)を判別できる可能性があることが認められたのでここに報告する。

2. 地下水位測定装置の開発

現状のSWS試験による宅地地盤の地下水位測定方法は、SWS試験実施時のロッドを目視観察する方法や、試験後の孔に水位計を挿入する方法などが挙げられる。しかし、前者は信頼性が乏しく、後者は土質によっては水位計の挿入が困難となり、測定不可能な場合がある。上記の現状の測定方法の問題点を踏まえて、有孔管、センサーとメジャーケーブルを開発した¹¹⁾。それらを写真1、写真2、写真3に示す。

本調査法では、従来のロッドと同径の外径19mmの有孔管(写真2)を使用し、先端にSWS試験のスクリーポイントを装着するため、調査深度まで容易に有孔管を再貫入することが可能である。また、地下水位測定用のメジャーケーブルは、2芯線の電極用絶縁ケーブルに、繊維製巻尺 JIS1 級(許容差±4.6mm[10m])を直接貼付することで測定精度を確保し、挿入時の圧縮に対して蛇行しない程度の硬さを持たせている。ケーブルの全長は、SWS試験の最大深度10mに対応するため、ロッド立ち上がり部を考慮して12mとした。メジャーの読み取りは、地盤工学会基準(JGS 1311-2003)「ボーリング孔を利用した砂質・礫質地盤の地下水位測定方法」¹²⁾同様1cm単位とした。先端のセ

ンサー端子間隔は、有孔管内での泥の影響と水切れに配慮し、シリコン樹脂製、1芯と2芯の隔離を25mm程度以上とした。なお、図1は、交流式比抵抗水位計による測定状況図である^{11),13)}。



写真1 SWS試験孔を利用した地下水位測定状況



写真2 有孔管φ19mm(内径7mm)



写真3 センサーとメジャーケーブル(φ5mm)

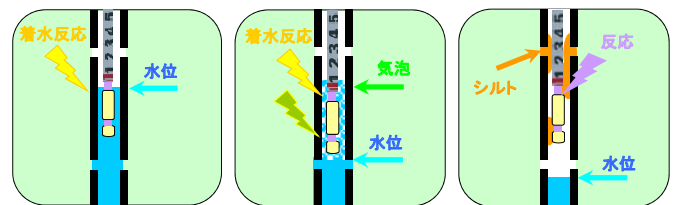


図-①標準的な水面の場合(導電率が一気に上昇)

図-②泡立っている場合(導電率は2段階で上昇)

図-③高含水比の粘性土が付着している場合

図1 交流式比抵抗水位計による測定

¹⁾ 報国エンジニアリング
(〒134-0088 東京都江戸川区西葛西3-9-23 KSビル11 4F)

²⁾ 東海大学工学部建築学科 教授・工博

¹⁾ Hokoku Engineering

²⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Search Institute, Tokai Univ., Dr. Eng.

①は標準的な水面の場合で、センサーが着水した場合に導電率が上昇する。②は水面が泡立っている場合、③は孔内に土が付着している場合で、泡と土によって導電率に変動が見られるが、水面に達した場合に導電率が上昇する。②及び③の場合でも直流式の水位計では水面を見誤る場合があったが、直流式に比べて地下水の電気分解が起きにくい交流式の電気比抵抗水位計を用い、アナログメータを採用することにした。直流式の水位計では、地下水の電気分解により電流が漸減し、しばらくすると落ち着くが、電極を動かしたり気泡がある場合はこれが繰返され、正確な地下水水位が測定できないためである。

3. 現場実験結果

現場実験で採用する基準水位としては、地盤中に打設した有孔 VP13 塩化ビニール管の水位を採用した。これについては、土槽実験で水位と有孔 VP13 塩化ビニール管の孔内水位との差がないことを確認した。写真 4 に示す土槽の寸法は、内寸 W500mm×D200mm×H1100mm である。実験土槽は、水中落下法で 7 号ケイ砂を投入することにより作成した。①有孔 VP25 塩化ビニール管、②有孔 VP13 塩化ビニール管、③有孔管(横穴はすべて直径 4mm@250mm)を貫入し、土槽内の水位を上昇および下降させたが、①②③に共に水位差がなかったことで、現場実験での地下水水位と測定水位の確認は、有孔 VP13 塩化ビニール管を用いて行った。

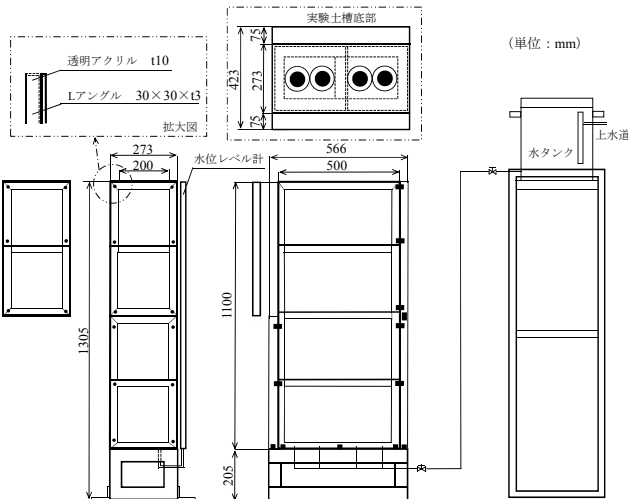


図 2 実験用土槽構成図



写真 4 基準水位に用いた観測井戸の実験

現場実験に際し、観測井戸により、地下水水位を確認する場合は、図 3 に示す通りあらかじめ実験位置から対称にそれぞれ 1m 離れた 2 箇所、SWS 試験を地表面から貫入不能となる(最大 10m)まで実施した直後に、その試験孔に VP13 の塩化ビニール管(外径 18mm, 内径 13mm, 横穴 4mm@250mm)を挿入して、観測井戸とした。前日に設置した観測井戸を地下水水位の基準水位とした。観測井戸の基準水位の測定は、交流式比抵抗水位計を用いて行い、ポーリング孔の場合は水面を目視確認し、直流式の投込み水位計を用いて測定を行った。

また、地下水水位の計測は、SWS 試験機で貫入試験を実施する要領で、以下の手順で実施した。SWS 試験直後にその孔を利用して有孔管を貫入した後、貫入不能となった時点から水位測定を開始し、測定水位が地下水水位(基準水位)まで収束する時間と水位の差を記録した。水位の測定は、有孔管の中空部に小口径水位計のケーブルを挿入し、電気抵抗の変化を利用して、有孔管孔内水位面の測定を交流式比抵抗水位計を用いて計測した。

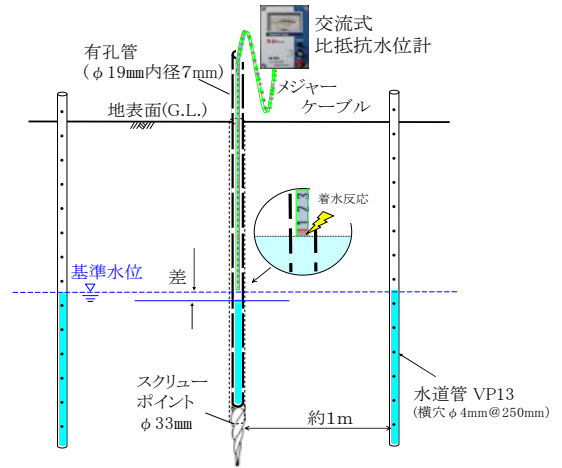


図 3 測定実験(観測井戸)の概略図¹³⁾

表 1 は国内 20 地点で実施した実験結果の一覧を示したものである。No.14 福岡県久留米市城島町ではクリーム状のシルト質の土が管内に入り込み、地下水水位が収束するまでに 30 分を要した¹¹⁾。砂質土地盤においては 5 分以内で収束している地点が 10 地点中 6 地点に対して、粘性土地盤においては、5 分以上収束に要している地点が 10 地点中 7 地点の結果から、土質(砂質土、粘性土)によって収束の傾向に違いが認められた。また、地下水水位(SWS 試験孔内水位)は 20 地点全てにおいて、30 分程度以内で収束している結果となった。

表 1 実験結果一覧表

| 推定土質 (地下水付近) | No. | 調査場所 | 調査 G.L.-(m) | 地下水位 | | 地下水位 G.L.-(m) | 収束 時間 | 水位 確認方法 |
|-----------------|-----|--------------|----------------|-----------|---------|------------------|----------|------------|
| | | | | 基準水位 m | 差 cm | | | |
| 砂質土 | 1 | 宮城県東松島市大曲 | 3.00 | 1.53 | 0 | 1.53 | 25分 | ボーリング |
| | 2 | 浦安市高洲 | 20.00 | 0.45 | 5 | 0.40 | 12分 | ボーリング |
| | 3 | 静岡県浜松市南区白羽町 | 3.50 | 1.82 | 2 | 1.80 | 15分 | 観測井戸 |
| | 4 | 岡山市北区東花尻 | 10.00 | 1.04 | 1 | 1.03 | 5分 | 観測井戸 |
| | 5 | 大阪府茨木市別院町 | 4.25 | 0.40 | 0 | 0.40 | 5分 | 観測井戸 |
| | 6 | 習志野市 | 10.00 | 1.15 | 0 | 1.15 | 4分 | 観測井戸 |
| | 7 | 浦安市富士見 | 10.00 | 2.20 | 1 | 2.19 | 7分 | 観測井戸 |
| | 8 | 静岡県藤枝市仮宿 | 5.95 | 0.90 | 0 | 0.90 | 3分 | 観測井戸 |
| | 9 | 山梨県笛吹市石和町窪中島 | 2.80 | 2.40 | 1 | 2.39 | 5分 | 観測井戸 |
| | 10 | 岡山県倉敷市曾原 | 10.70 | 1.12 | 0 | 1.12 | 5分 | ボーリング |
| 粘性土 | 11 | 山形県山形市成安 | 10.00 | 0.57 | 0 | 0.57 | 20分 | 掘削 |
| | 12 | 埼玉県草加市柿木町 | 10.00 | 0.67 | 0 | 0.67 | 10分 | 掘削 |
| | 13 | 茨城県銚田市上樋木 | 10.00 | 0.53 | 1 | 0.52 | 12分 | 掘削 |
| | 14 | 福岡県久留米市城島町 | 12.75 | 1.72 | 4 | 1.68 | 30分 | ボーリング |
| | 15 | 東京都足立区六本 | 10.00 | 0.41 | 0 | 0.41 | 15分 | ボーリング |
| | 16 | 佐賀県唐津市原 | 5.00 | 1.98 | 0 | 1.98 | 3分 | ボーリング |
| | 17 | 愛知県一宮市木曾川町 | 9.75 | 1.02 | 0 | 1.02 | 8分 | 観測井戸 |
| | 18 | 東京都江戸川区鹿骨 | 8.95 | 1.12 | 0 | 1.12 | 5分 | ボーリング |
| | 19 | 千葉県船橋市芝山 | 10.00 | 0.85 | 0 | 0.85 | 3分 | ボーリング |
| | 20 | 茨城県猿島郡境町 | 8.40 | 1.10 | 2 | 1.12 | 9分 | ボーリング |

※ボーリング調査による水位確認は、掘進完了後 24 時間静置した水位を確認した。
 ※観測井戸は、塩化ビニール管 (VP13mm, 横穴 φ4mm) を使用した。
 孔内水位と観測井戸の水位が一致することは室内実験で確認している。
 ※地下水位が浅い位置にあると予想される場合においては、地下水が確認できる深度
 まで掘削を行い、投げ込み式の水位計を用いて地下水位の測定を行った。

表 2 粒度分布一覧表

| 推定土質 (地下水付近) | No. | 調査場所 | 地下水位 G.L.-(m) | 収束 時間 | 水位 確認方法 | 粒度分布(地下水付近) | | | | | |
|-----------------|-----|--------------|------------------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | | | | 確分 (%) | 砂分 (%) | シルト分 (%) | 粘土分 (%) | 粗粒分 (%) | 細粒分 (%) |
| 砂質土 | 1 | 宮城県東松島市大曲 | 1.53 | 25分 | ボーリング | 0.1 | 77.2 | 7.6 | 15.1 | 77.3 | 22.7 |
| | 2 | 浦安市高洲 | 0.4 | 12分 | ボーリング | 6.5 | 81 | 8.4 | 4.1 | 87.5 | 12.5 |
| | 3 | 静岡県浜松市南区白羽町 | 1.8 | 15分 | 観測井戸 | 36.5 | 57.9 | 0 | 0 | 94.4 | 0 |
| | 4 | 岡山市北区東花尻 | 1.03 | 5分 | 観測井戸 | 7.3 | 79.1 | 8.6 | 5 | 86.4 | 13.6 |
| | 5 | 大阪府茨木市別院町 | 0.4 | 5分 | 観測井戸 | 0.1 | 72.7 | 17.3 | 9.9 | 72.8 | 27.2 |
| | 6 | 習志野市 | 1.15 | 4分 | 観測井戸 | 0 | 85.8 | 14.2 | 0 | 85.8 | 14.2 |
| | 7 | 浦安市富士見 | 2.19 | 7分 | 観測井戸 | 0.1 | 77.5 | 15.9 | 6.5 | 77.6 | 22.4 |
| | 8 | 静岡県藤枝市仮宿 | 0.9 | 3分 | 観測井戸 | 68 | 20 | 7 | 5 | 88 | 12 |
| | 9 | 山梨県笛吹市石和町窪中島 | 2.39 | 5分 | 観測井戸 | 0 | 52.2 | 47.8 | 0 | 52.2 | 47.8 |
| | 10 | 岡山県倉敷市曾原 | 1.12 | 5分 | ボーリング | 0.1 | 51.6 | 25.9 | 22.4 | 51.7 | 48.3 |
| 粘性土 | 11 | 山形県山形市成安 | 0.57 | 20分 | 掘削 | 0.2 | 30.6 | 30.1 | 39.1 | 30.8 | 69.2 |
| | 12 | 埼玉県草加市柿木町 | 0.67 | 10分 | 掘削 | 0 | 40.9 | 59.1 | 0 | 40.9 | 59.1 |
| | 13 | 茨城県銚田市上樋木 | 0.52 | 12分 | 掘削 | 1 | 19 | 38 | 42 | 20 | 80 |
| | 14 | 福岡県久留米市城島町 | 1.68 | 30分 | ボーリング | 0 | 32.5 | 36.1 | 31.4 | 32.5 | 67.5 |
| | 15 | 東京都足立区六本 | 0.41 | 15分 | ボーリング | 0 | 16.2 | 43.5 | 40.3 | 16.2 | 83.8 |
| | 16 | 佐賀県唐津市原 | 1.98 | 3分 | ボーリング | 1.6 | 33 | 40.5 | 24.9 | 34.6 | 65.4 |
| | 17 | 愛知県一宮市木曾川町 | 1.02 | 8分 | 観測井戸 | 0.8 | 19.2 | 45.5 | 34.5 | 20 | 80 |
| | 18 | 東京都江戸川区鹿骨 | 1.12 | 5分 | ボーリング | 0 | 45.9 | 37.5 | 16.6 | 45.9 | 54.1 |
| | 19 | 千葉県船橋市芝山 | 0.85 | 3分 | ボーリング | 1 | 28 | 37 | 34 | 29 | 71 |
| | 20 | 茨城県猿島郡境町 | 1.12 | 9分 | ボーリング | 0 | 42 | 37 | 21 | 42 | 58 |

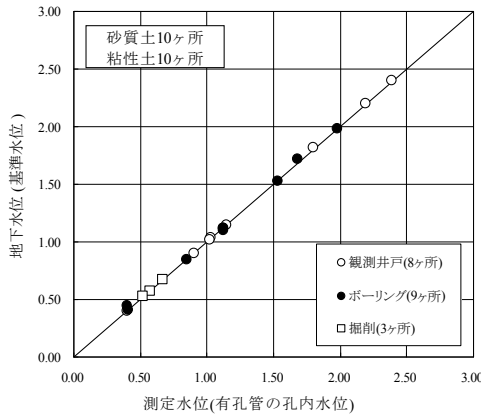


図 4 地下水水位 (基準水位) と有孔管の孔内水位との関係

図 4 に示す地下水水位 (基準水位) と測定水位 (有孔管の孔内水位) は、砂質土 10 地点、粘性土 10 地点の全 20 地点のデータを示している。20 地点すべてにおいて孔内水位は基準水位ときわめて良く一致しており、本測定法は地下水位の測定に有効であることが確認された。

図 5 に、土質別の測定水位と経過時間の結果を示す。SWS 試験後の孔に有孔管を貫入後、管内に流入する地下水位が下から徐々に上昇し、基準水位に近づいていく結果となった。図 5(a)は砂質土、図 5(b)は粘性土の結果である。土質別では、砂質土の収束時間が短い傾向にあり、シルト質の比較的透水性の低い土質において収束時間が長くなっていることが認められた¹¹⁾。

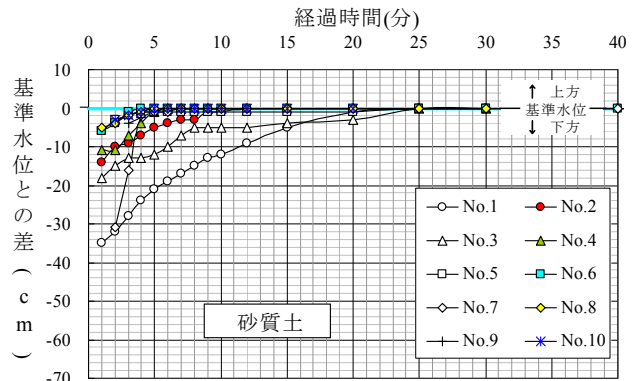


図 5 (a) 測定水位と経過時間(砂質土の結果)

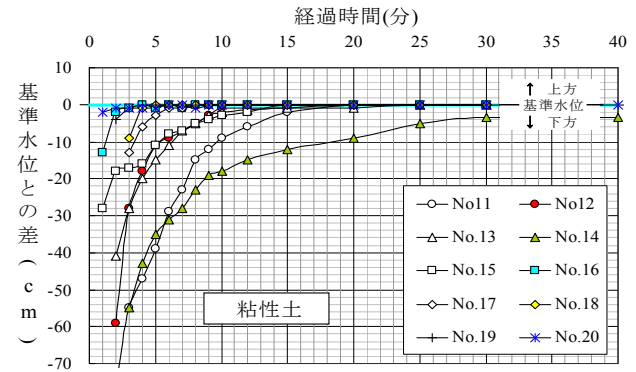


図 5 (b) 測定水位と経過時間(粘性土の結果)

以上の現場実験結果から、SWS 試験の貫入可能な深さまで地下水位の測定が可能であり、SWS 試験時の短期的な孔内水位を確認することが可能であることがわかった。

4. 土質の簡易的判別手法

小規模建築物を対象とした SWS 試験は、深さ 10m 以内の軟弱層が対象であるが、SWS 試験からは土質の判別が難しい。そこで、本測定法による経過時間と測定水位の関係から地下水直下の土質 (砂質土、粘性土) の簡易的な判別の可能性について検討した。

$$\text{双曲線モデル}^{14)} \quad h = t / (a + bt), \quad dh/dt = a / (a + bt)^2 \quad \dots (1)$$

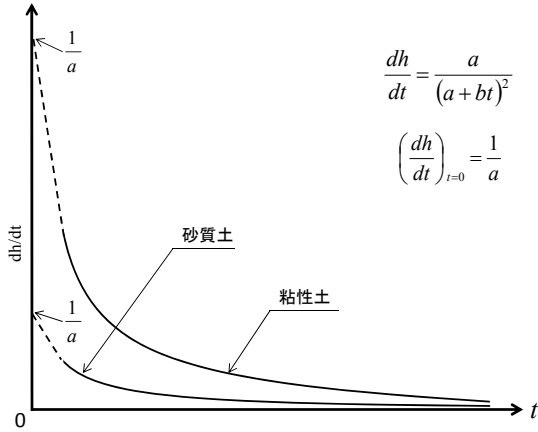


図6 双曲線モデルによる土質の判別

図5 (b)の現場実験での孔内水位 h 、経過時間 t は、過剰間隙水圧が徐々に消散し収束していく圧密沈下曲線と同様の双曲線に類似していることから、孔内水位の回復量とこれまでに得られている計測データから同定される双曲線パラメータ a, b について双曲線モデルによる整理を行った ((1)式)¹⁴⁾。さらに、対象土層の土質区分（あるいは透水性）と $t=0$ における dh/dt の値（双曲線モデルにおける初期勾配 $1/a$ と等価）を基にして、図6に示すような土質判別の可能性について検討を行った。

図7および図8に砂質土地盤および粘性土における経過時間 t と水位回復速度 dh/dt の関係を示す。

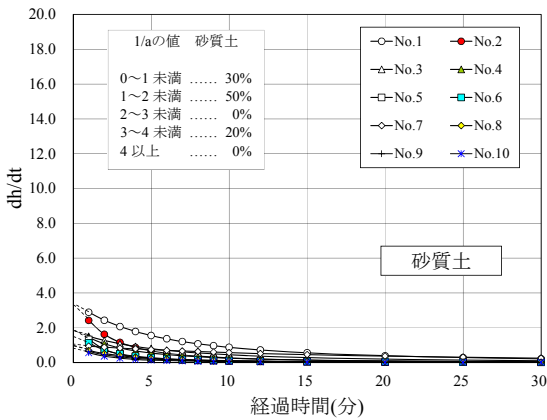


図7 経過時間 t と dh/dt の関係（砂質土地盤）

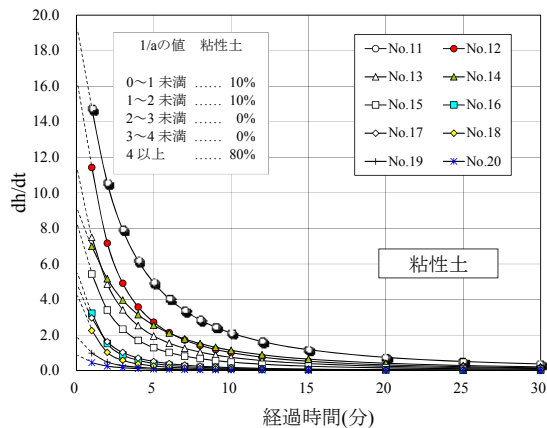


図8 経過時間 t と dh/dt の関係（粘性土地盤）

図7の砂質土10地点、図8の粘性土10地点での $t=0$ における dh/dt の関係を見ると、砂質土の dh/dt が4.0未満、粘性土は2地点を除き4.0以上となっており、砂質土は粘性土に比べて $(dh/dt)_{t=0}$ が相対的に大きくなることが認められた。粘性土の地盤でありながら砂質土地盤と同様の傾向を示している No.19, No.20 地点の2地点は、他の地点と異なり、前日および前々日の雨によるたまり水が確認されており、その影響が関係していると考えられる。よって、この2地点を除けば、今回の実験では $(dh/dt)_{t=0}=4.0$ が境界となっている。このことから、図9に示すように $(dh/dt)_{t=0}$ の大きさにより概略としての土質の判別を行うことができる可能性がある。

| | 10^{-9} | 10^{-8} | 10^{-7} | 10^{-6} | 10^{-5} | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-2} | 10^{-1} | 10^0 | 10^1 |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 透水性 | 実質上不透水 | 非常に低い | 低い | 中位 | 高い | | | | | | |
| 対応する土の種類 | 粘性土 | 微細砂, シルト 砂-シルト-粘土混合土 | 砂および礫 | 清浄な礫 | | | | | | | |
| 推定土質と $(dh/dt)_{t=0}$ の関係 | 大 ← $(dh/dt)_{t=0}$ → 小 | | | | | | | | | | |

図9 dh/dt と推定土質との関係

5. 浸透流解析

現場実験結果により経過時間 t と dh/dt の関係により土質の判別ができる可能性が認められたことから、水位の回復状況についてFEM解析により検証を行なった。解析手法として2次元非定常飽和-不飽和浸透流解析モデルを用いた。ここでは、有孔管内の孔内水位 h や初期水位から基準水位までの経過時間 t について、細砂地盤及び粘性土地盤の各2地点においてシミュレーション結果及び現場実験結果との比較を行なった。また、粘性土地盤は N 値が0の軟弱なシルト地盤で、収束までに30分程度要した地盤を対象とした。

透水係数は、Creagerの表^{12),15)}で求めた透水係数 k_c を、 N 値によって式(2)のように補正した¹⁶⁾。ここで、補正係数 λ は、自然状態の間隙比と k_c を求めた状態の間隙比の比率であり、 N 値と間隙比の相関性から推定される¹⁶⁾。

$$k = \lambda k_c \dots (2)$$

ここで、 k : 補正後の透水係数(cm/s), λ : 補正係数

なお、水は孔部およびロッド先端部を通してのみ周辺地盤から流入するとし、ロッドの表面積と孔面積との比が概ね1/10程度であることから、孔部における透水係数は地盤の1/10と設定した。孔部以外のロッド部は非透水とモデル化した。

地盤の水分特性曲線は、経験的によく用いられている「van Genuchtenモデル」¹⁷⁾、地盤解析ソフトウェア「midas GTS」を使用しFEM浸透流解析を行った。

図10に示す砂質土地盤における現場試験を再現するために、作成した2次元浸透流(FEM)モデルを図11に示す。解析モデルは、 $\phi 19\text{mm}$, $L=3.0\text{m}$ の有孔管を地盤中にモデル化することにより作成した。モデル幅として5m, モデル深さも同程度の5mと設定し、有孔管の左右1mまでは5cmピッチ、深さ方向も5cmピッチでメッシュの作成を行った。また、粘性土地盤のケースも同様にして解析モデルの作成を行った¹⁸⁾。時間が経過することにより、図12に示すように初期水位から基準水位に近づいていく。その課程における孔内水位と経過時間の関係を抽出した。

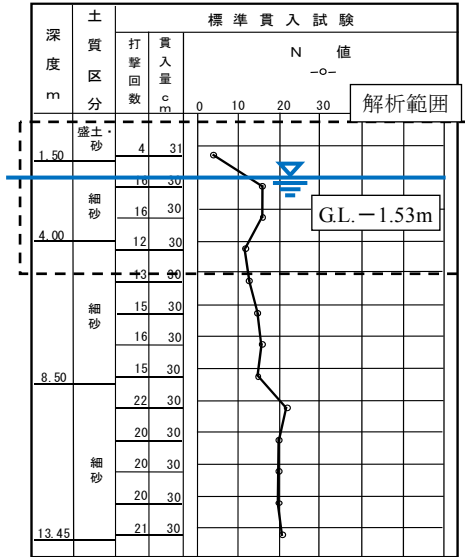


図10 ボーリング柱状図 (表2.No.1 細砂地盤)

図10に示す砂質土地盤における現場試験を再現するために、作成した2次元浸透流(FEM)モデルを図11に示す。解析モデルは、φ19mm、L=3.0mの有孔管を地盤中にモデル化することにより作成した。モデル幅として5m、モデル深さも同程度の5mと設定し、有孔管の左右1mまでは5cmピッチ、深さ方向も5cmピッチでメッシュの作成を行った。また、粘性土地盤のケースも同様にして解析モデルの作成を行った¹⁸⁾。時間が経過することにより、図12に示すように初期水位から基準水位に近づいていく。その課程における孔内水位と経過時間の関係を抽出した。

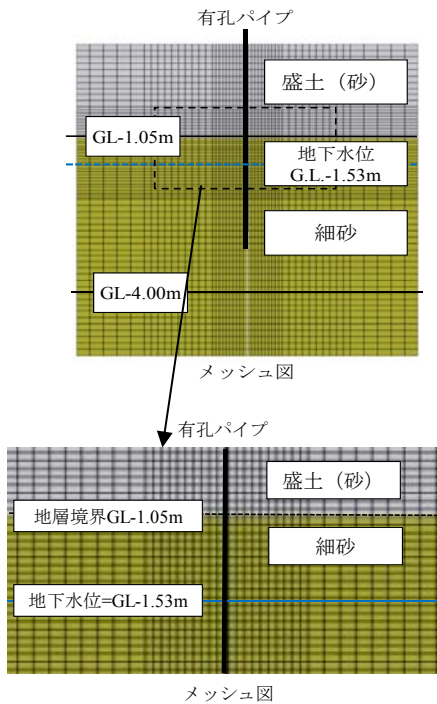


図11 浸透流解析モデル拡大図 (表2.No.1 細砂地盤)

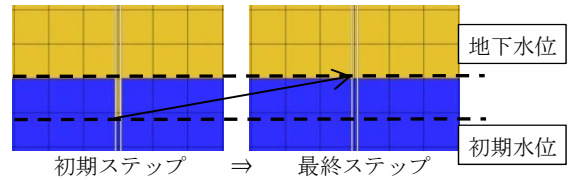


図12 浸透流解析ステップ図

細砂地盤における浸透流解析結果と実験結果を比較したグラフを図13に示す。なお、図14の細砂の透水係数は、Creagerの方法に基づき「微細砂」として提案されている $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ の平均的な値 $5.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 、土質条件は細砂と仮定した^{12),15)}。図13は、透水係数を0.5倍、2倍($2.5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$, $1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$)にして解析を行った結果である。また、解析における基準水位はG.L.-1.53m、初期水位はG.L.-1.85mであり、実験では収束するまでに30分程度要しているが、解析からもほぼ同様の結果が得られている。

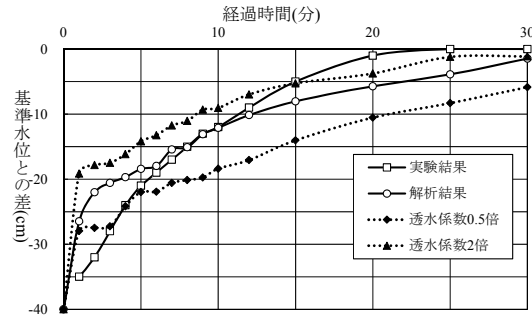


図13 実験結果と解析結果の比較グラフ (表2.No.1 細砂地盤)

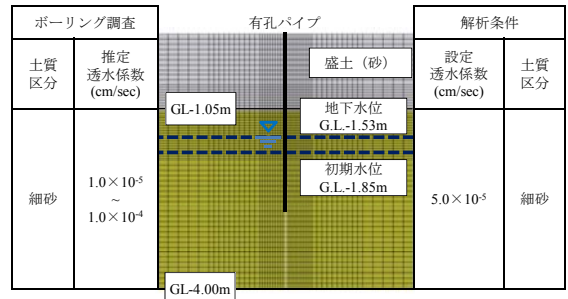


図14 実験結果と解析結果の比較 (表2.No.1 細砂地盤)

図15のボーリング調査結果(表2.No.14 砂質シルト地盤)の解析結果の比較を図16に示す。なお、図17においては、シルトの透水係数「砂質シルト」の $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ の平均的な値 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ と仮定した。実験時には有孔管内に軟弱なシルトの混入があったが、実験値と解析値の経過時間と基準水位の差のグラフ曲線は、ほぼ一致している。図16は、透水係数を0.5倍、2倍($2.5 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$, $1.0 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$)にして解析を行った結果である。さらに、図17(表2.No.14 砂質シルト地盤)においても図14と同様にボーリング調査と推定透水係数と解析の透水係数による土質区分の結果は概ね一致した。

以上のことから、SWS試験孔を利用した地下水位の測定結果と収束時間から地盤の透水係数を推測することにより、大まかではあるが土質の判別ができる可能性があることが示された。

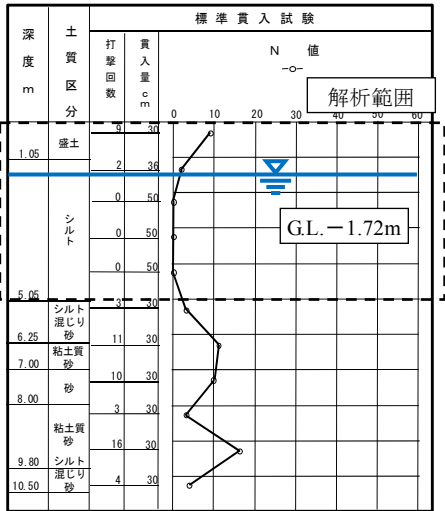


図 15 ボーリング柱状図 (表 2. No.14 砂質シルト地盤)

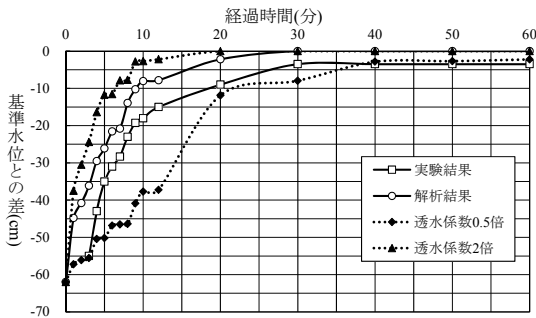


図 16 実験結果と解析結果の比較グラフ (表 2. No.14 砂質シルト地盤)

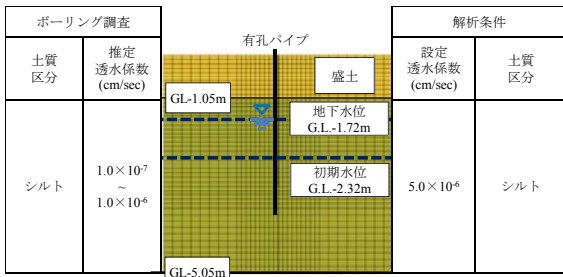


図 17 推定透水係数と解析の透水係数による土質区分 (表 2. No.14 砂質シルト地盤)

参考文献

- 1)日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針,2008,pp.31-37
- 2)住宅地盤品質協会：住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書,2011,pp.15-17
- 3)日本材料学会：実務者のための戸建住宅の地盤改良・補強工法,オーム社,2010,pp.50-51
- 4)日本木造住宅産業協会：木優住宅 地盤判定ガイド,2011,pp.112-117
- 5)高森 洋：地盤と基礎 100 の疑問,PHP 研究所,2009,pp.19-22
- 6)藤井 衛,若命善雄,真島正人,河村壮一：建築家のための土質と基礎 新ザ・ソイル,建築技術,2011,pp.76-77
- 7)坂口 理,二木幹夫：住宅基礎の設計ガイドブック,建築技術 2000 年 7 月号「別冊」,2000,pp.38-39
- 8)藤井 衛,田村昌仁,伊集院博：小規模建築物の地盤を対象としたスウェーデン式サウンディング試験方法の評価と問題点,日本建築学会構造系論文集 (557),2002.7,pp.121-128
- 9)直井正之：住宅をつくるための「住宅基礎の地盤」がわかる本,建築技術,2004,pp.43-45
- 10)藤井 衛：スウェーデン式サウンディング試験の長所と限界,最近のサウンディング技術と地盤評価シンポジウム 発表論文集,2009,pp.149-158
- 11)金 哲鎬,松下克也,岡野泰三,安達俊夫,藤井 衛：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法,日本建築学会学術講演梗概集(東北)2009, pp.635-636.
- 12)地盤工学会：地盤調査の方法と解説,2004, pp.280-288, pp.357-361.
- 13)金 哲鎬,松下克也,岡野泰三,安達俊夫,藤井 衛：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法(その 2),日本建築学会学術講演梗概集(富山),2010, pp.701-702.
- 14)地盤工学会：新編 土と基礎の設計計算演習,2000, pp.339-371
- 15)久保田敬一,河野伊一郎,宇野尚雄：透水設計へのアプローチ,鹿島出版会,1979,pp.75-79
- 16)N 値の話編集委員会：改訂 N 値の話,理工図書,pp.188-190
- 17)van Genuchten,M.Th.：A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America Journal, 1980, pp.892-898
- 18)Cholho Kim, Masahiro Ogawa, Kouji Tei, and Mamoru Fujii. "Primary Judgment of Liquefaction Possibility Based on Groundwater Level for Detached Houses", International Society of Offshore and Polar Engineering, 2011, pp.633-637.

[2012 年 6 月 16 日原稿受理 2012 年 8 月 17 日採用決定]

6. まとめ

SWS 試験孔を利用した地盤の補足調査法として、SWS 試験孔を利用した地下水位の測定法とその現場試験結果について検討した。また、試験孔内における地下水位の収束時間について、双曲線法や FEM 浸透流解析による検討を行ない、ボーリング調査から得られている土質状況と比較した。その結果、本測定法により地下水位直下における土質(砂質土、粘性土)について簡易的に推定できる可能性があることがわかった。今後は、SWS 試験結果と本測定法を併用することにより、戸建住宅の液状化による被害判定法の評価に発展させたい。また、今後の課題としては、複数の帯水層の把握も含めて、精度の向上を図りたいと考えている。