

## スウェーデン式サウンディング試験による住宅の基礎地盤評価方法の適用性

## Applicability of Design Method for Housing Foundation with Swedish Weight Sounding Test

神村 真 Makoto KAMIMURA ((同) for)  
 神村香月 Kazuki KAMIMURA ((同) for)  
 中田幸男 Yukio NAKATA (山口大学大学院)  
 渋谷朋樹 Tomoki SHIBUYA ((株)サムシング)

スウェーデン式サウンディング試験は、住宅の基礎地盤調査に適用される最も一般的な調査方法である。建築基準法では、この試験結果に基づく地盤の評価方法が定められているが、この試験方法には様々な課題があることが報告されている。著者らは、不同沈下した住宅でのスウェーデン式サウンディング試験結果を分析することで、住宅の基礎地盤評価方法の課題を確認し、これに基づき新しい地盤調査方法の開発を行った。ここでは、不同沈下事例の分析結果から得られた現在の住宅の基礎地盤評価方法の適用性と課題について報告する。

キーワード：住宅，不同沈下，スウェーデン式サウンディング試験（IGC：E02，E03，H01）

## 1. はじめに

簡易な地盤調査方法として知られるスウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS 試験と称す）は、戸建て住宅に代表される小規模建築物建設のための地盤調査において広く利用されている。この試験は、建築基準法施行令第 93 条（地盤及び基礎ぐい）に基づく技術的基準において、長期許容支持力度を算出するための地盤調査方法である静的貫入試験に位置付けられる<sup>1)</sup>。同技術基準では、試験結果を用いた長期許容支持力度の計算式や建築物自重による沈下の影響検討の必要条件が示されている。一方、日本建築学会は、SWS 試験を用いた小規模建築物の基礎設計方法や注意事項を記した設計指針の中で、SWS 試験が簡易法として優れたものであるが、土試料採取が困難であることや貫入力不足等、適用限界があることを指摘している<sup>2)</sup>。

一方、住宅・リフォーム紛争処理支援センターの 2016 年度年次報告書によると、新設戸建て住宅における地盤の沈下に起因する問い合わせ件数は 116 件で<sup>3)</sup>、新設住宅の沈下によるトラブルは、同年の新設戸建て住宅の着工棟数が 429,618 棟であることから<sup>4)</sup>、少なくとも約 3/10,000 の頻度で発生していると考えられる。しかし、戸建て住宅引き渡し以前に不同沈下が生じた場合や、消費者と企業間で示談が成立している場合は、その事実が公開されることはなく、不同沈下の発生件数の実態は明らかではない。このため、新設住宅での不同沈下の発生件数は、住宅・リフォーム紛争処理支援センターの報告件数よりも多いことが推測できる。このことは、事前に実施する地盤調査や調査結果の評価方法に課題が残されているものと考えられる。

著者らは、SWS 試験の課題を解決することを目的として、比較的簡易に標準貫入試験を実施することが可能な地

盤調査装置を開発した<sup>5)</sup>。機器開発に先立ち、機器に要求される機能確定のため、既存住宅の不同沈下事例から、現行の地盤調査方法とその結果の評価方法の適用性について調査した。ここでは、その結果の一部について報告する。

## 2. 既存の地盤性能評価方法

2.1 スウェーデン式サウンディング試験<sup>6)</sup>

SWS 試験では、図-1 に示すスクリーポイントを地中に 250mm 貫入させるために必要なおもり荷重  $W_{sw}$  (0.05, 0.15, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00kN の 6 段階) を計測する。また、スクリーポイントの貫入量が 250mm に到達する以前に  $W_{sw}$  が 1.00kN に達した場合、スクリーポイントを半回転させる。この時にスクリーポイントの 1m 当りの半回転数  $N_{sw}$  を計測する。この作業を深度方向に繰返し、地盤の深度方向の強さを計測する。

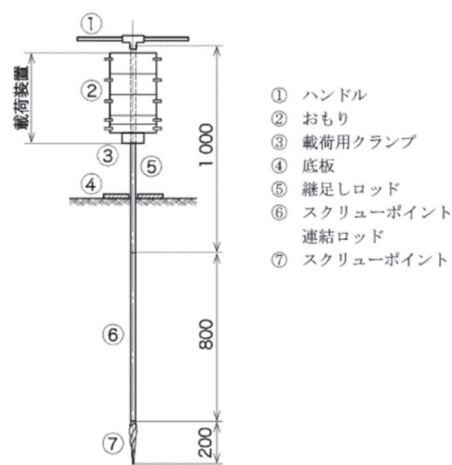


図-1 SWS 試験装置の概要（単位：mm）

## 2.2 長期許容支持力度の算出方法

図-2 に、SWS 試験を用いた場合の、小規模建築物の基礎地盤の性能評価手順を整理して示す。

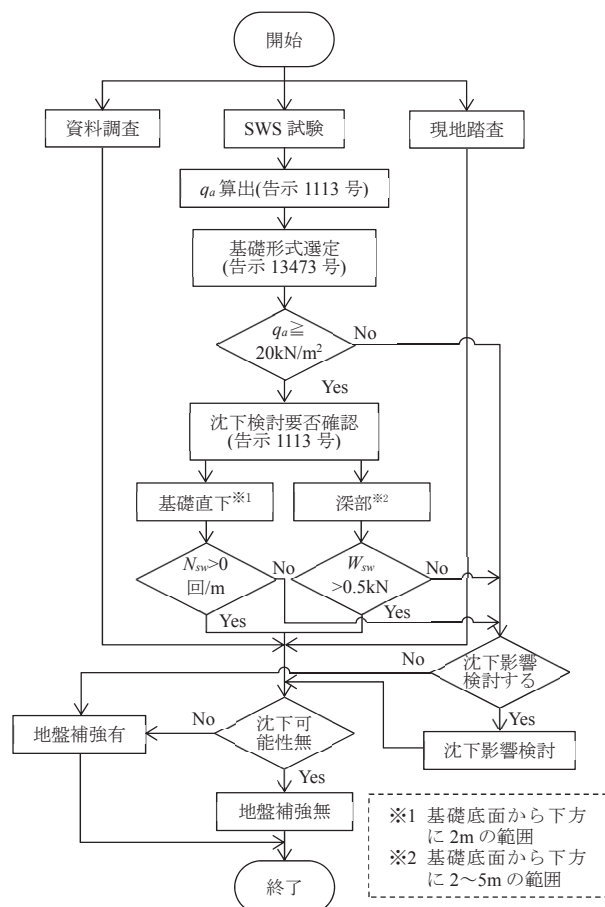


図-2 小規模建築物の基礎地盤性能評価の手順

### 2.2.1 長期許容支持力度

長期許容支持力度  $q_a$  は、建築基準法施行令第 93 条から SWS 試験結果に基づき、式(1)によって算出することが定められている<sup>1)</sup>。しかし、式(1)では、 $W_{sw}$  が 1kN 以下の地層が連続する地盤の  $q_a$  を過大評価する可能性があるため、日本建築学会は、式(2)の使用を推奨している<sup>7)</sup>。本報告では、式(2)を用いて  $q_a$  を算出することとした。

$$q_a = 30 + 0.6\overline{N_{sw}} \quad (1)$$

$$q_a = 30\overline{W_{sw}} + 0.64\overline{N_{sw}} \quad (2)$$

ここに、 $q_a$ ：地盤の長期許容支持力度(kN/m<sup>2</sup>)、 $\overline{W_{sw}}$ ：基礎の底部から下方 2m 以内の距離にある地盤の SWS 試験におけるおもりの重さの平均値(kN)、 $\overline{N_{sw}}$ ：基礎の底部から下方 2m 以内の距離にある地盤の SWS 試験における 1m 当りの半回転数(150 を超える場合は 150 とする)の平均値(回/m)とする。

建築基準法施行令第 38 条には、建築物の基礎は、建築物の構造、形態及び地盤の状況を考慮して国土交通大臣が定めた構造方法を用いるものとしなければならないとし

て、平成 12 年建設省告示 1347 号に、改良後の地盤の長期許容支持力度に応じて表-1 に示す基礎形式を定めている<sup>8)</sup>。図-3 に、べた基礎と布基礎の断面形状の模式図を示す。

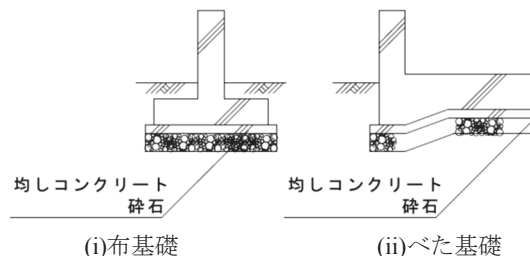


図-3 基礎形状

表-1 地盤の長期許容支持力度と選択可能な基礎形式

改良後地盤の長期許容支持力度 $q_a$ (kN/m <sup>2</sup> )	採用可能な基礎形式
20 未満	基礎ぐい
20 以上 30 未満	基礎ぐい、べた基礎
30 以上	基礎ぐい、べた基礎、布基礎

### 2.2.2 沈下検討の要否確認

平成 13 年国土交通省告示 1113 号第 2 では、地震時に液化化する恐れがある地盤の場合、または、式(1)を用いる場合は、基礎の底部から下方 2m 以内の距離にある地盤に  $W_{sw}$  が 1kN 以下の層が存在する場合もしくは基礎底部から下方 2m を超え 5m 以内の距離にある地盤に  $W_{sw}$  が 0.5kN 以下の層が存在する場合には、建築物の自重による沈下とその他の地盤の変形などを考慮して建築物又は建築物の部分に有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめなければならないこととしている(図-4 参照)<sup>1)</sup>。

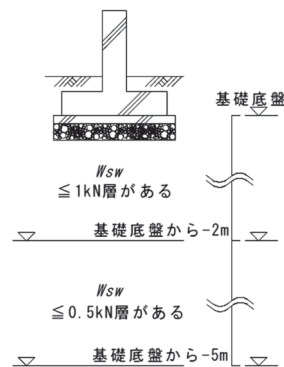


図-4 建築物自重の影響検討条件

SWS 試験結果から、上記条件を満足することが明らかになった場合、建築物の自重で地盤が沈下する可能性が高いと判断し、採取した土試料から明らかに沈下の可能性が低いと判断できる場合を除いて、何らかの地盤補強を行うことを提案することが一般的である。

### 2.2.3 沈下の影響検討

日本建築学会は、小規模建築物の場合、沈下の影響検討の内容として、表層部については、支持力検討が即時沈下

の検討を兼ねていると考え、深部の圧密沈下については、SWS 試験結果や自然含水比から圧密未了から正規圧密状態にある地層（圧密対象層）での圧密沈下量を予測することとし、圧密沈下量の予測方法として、式(3)、(4)を示している。なお、日本建築学会は、“圧密対象層を、 $W_{sw}$ が0.75kN程度以下の層と読み替えてもよい”としている<sup>9)</sup>。一方、若命らは、一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係結果から式(5)を提案し<sup>10)</sup>、式(7)によってSWS 試験結果から一軸圧縮強さを推定すれば、圧密降伏応力を予測可能であることを示した。加藤らも同様の方法で式(6)を提案し、式(5)との類似性を指摘している<sup>11)</sup>。

式(3)、(4)に現れる係数は、式(7)~(11)を用いることで、自然含水比やSWS 試験結果を用いて算出することができる<sup>12)</sup>。特に、式(4)は、式(7)、(11)を用いることで、SWS 試験結果のみから沈下量を予測することができる。

式(11)中の地域によって変化する係数 $\alpha$ は、竹中は $\alpha=80$ <sup>13)</sup>、佐藤ら、志村らは関東地方の地表近くの土を対象として $\alpha=52$ を<sup>14),15)</sup>、西田らは、関西地方の表層付近の過圧密粘性土を対象にした試験結果から $\alpha=67$ を<sup>16)</sup>、それぞれ提案している。竹中と西田らは、過圧密領域での $m_v$ の変動範囲が正規圧密領域での変動域に比べて小さいことから、式(11)による $m_v$ の推定の妥当性を示している。これらのことから、式(4)、(7)、(10)、(11)を用いて沈下量を予測する場合、過圧密粘性土を対象とすることが妥当と考えられる。

$$S=C_c \cdot H/(1+e_0) \cdot \log(1+\Delta\sigma/p_c) \quad (3)$$

$$S=m_v \cdot \Delta\sigma \cdot H \quad (4)$$

$$p_c=1.2q_u \quad (5)$$

$$p_c=1.79q_u \quad (6)$$

ここに、 $S$ ：沈下量(m)、 $C_c$ ：圧縮指数、 $H$ ：対象層厚(m)、 $e_0$ ：対象層の初期間隙比、 $p_c$ ：圧密降伏応力(kN/m<sup>2</sup>)、 $m_v$ ：体積圧縮係数(m<sup>2</sup>/kN)、 $\Delta\sigma$ ：建築物荷重によって土中に発生する応力増分(kN/m<sup>2</sup>)とする。

$$q_u=45W_{sw}+0.75N_{sw} \quad (7)$$

$$C_c=0.01 \cdot w_L \quad (8)$$

$$e_0=(1+w_n/100) \cdot (2.65/\rho)-1 \quad (9)$$

$$m_v=1.0 \times 10^{-5} \cdot w_n^4 \quad (10)$$

$$m_v=1/(\alpha \cdot c) \quad (11)$$

ここに、 $q_u$ ：一軸圧縮強さ(kN/m<sup>2</sup>) ( $W_{sw}$ ：SWS 試験での荷重の大きさ(kN)、 $N_{sw}$ ：SWS 試験での貫入量1m当りの半回転数(回/m))、 $w_L$ ：液性限界(%) ( $w_L \doteq 1.1 \cdot w_n$ とすることができる。 $w_n$ は自然含水比(%))、 $\rho$ ：土の湿潤密度(g/cm<sup>3</sup>)、 $A$ ：次式で表される係数 ( $A=1.2-0.0015(\sigma_0+\Delta\sigma/2)$ )、 $\alpha$ ：地域によって変化する係数、 $c$ ：粘着力(kN/m<sup>2</sup>) ( $c=q_u/2$ )とする。

一方、敷地内で地下水位が確認できない台地・段丘地形のように比較的標高の高い地形に位置する造成宅地においては、盛土や擁壁背面の埋戻地盤の性能評価が必要にな

る。工藤らは、これらの人工地盤の性能を評価するための基準として、表-2に示す値を提案している<sup>17)</sup>。このように、小規模建築物にとって良好な基礎地盤が出現する台地・段丘地形や傾斜地等に位置する造成宅地では、切土と盛土が混在する場合が多く、盛土地盤の要求性能に着目した性能評価が必要であることが分かる。

表-2 造成地盤と埋戻地盤の評価基準例<sup>17)</sup>

区分	評価基準
宅地造成地盤	基礎下から下方2m以内の間において平均 $N_{sw}>0$ かつ $W_{sw}=1kN$ とする。
擁壁背面などの埋戻地盤	対象範囲でN値が5程度以上(平均 $N_{sw} \geq 40$ かつ $N_{sw}>0$ )とする。

図-5に、以上の沈下影響検討の手順を整理して示す。図から、正規圧密領域が存在すると判定された場合、 $C_c$ を推定するための含水比計測が必要となるので、SWS 試験に加えて土試料の採取が必要となる。SWS 試験では土試料採取は困難である場合が多く、告示1113号第2のただし書に基づき沈下の影響検討が必要と判定された段階で、何らかの沈下対策の提案を行うことが一般的である。

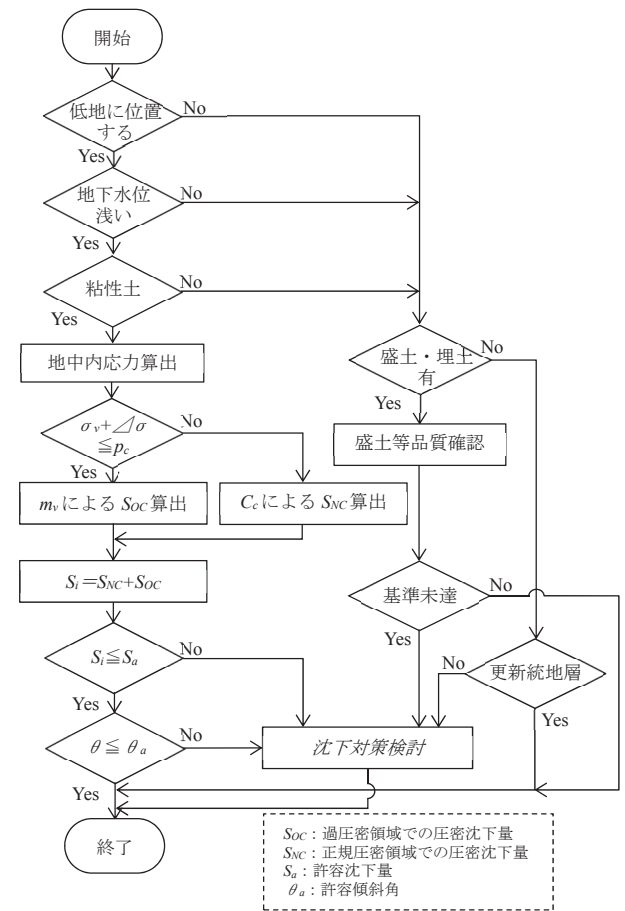


図-5 小規模建築物での沈下影響検討の手順

なお、日本建築学会は、表-3に示す許容沈下量 $S_a$ の参考値を示している<sup>18)</sup>。また、「住宅の品質確保の促進等に

関する法律（以下、品確法と称す）第 70 条に基づき規定される技術的基準では<sup>18)</sup>、傾斜角の大きさによって構造物に瑕疵が存在する可能性の目安を、表-4 のように定義している。この表から、長期許容傾斜角  $\theta_a$  は、 $3 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$  の間で設定することが妥当と考えられる。

表-3 許容沈下量  $S_a$  の参考値（単位：mm）<sup>18)</sup>

沈下の種類 基礎形式	即時沈下		圧密沈下	
	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値 <sup>1)</sup>	25	30~(40)	100	100~150
最大値 <sup>2)</sup>	40	60~(80)	200	200~300

- 1)基礎に不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値
- 2)基礎に幾分か亀裂が発生するが障害には至らない限度値
- 3)最大値は剛性の高いべた基礎での値

表-4 不同沈下の判定の目安<sup>19)</sup>

レベル	勾配 $\theta$	構造体力上主要な部分に 瑕疵が存する可能性
1	$\theta < 3 \times 10^{-3}$	低い
2	$3 \times 10^{-3} \leq \theta < 6 \times 10^{-3}$	一定程度存する
3	$\theta \geq 6 \times 10^{-3}$	高い

### 3. 既存の地盤性能評価方法の適用性確認

#### 3.1 確認方法と使用不同沈下事例の概要

##### 3.1.1 確認方法

表-5 に、著者らが収集した全国 15 箇所での不同沈下事例での SWS 試験結果と不同沈下量の一覧を示す。すべての不同沈下事例は、戸建ての木造平屋又は二階建て住宅が、その自重によって不同沈下したと考えられる事例で、品確法が施行された 2001 年以降に地盤調査が実施されたものである。これらの不同沈下事例を、各建築物が位置する地形によって二つに区分した。一つは、谷底平野、海岸平野・三角州等の軟弱な地層が堆積する地形に位置するもので、建築物自重による圧密沈下が不同沈下に関与したと考えられる事例である。この事例は、水田などの軟弱な地盤上に盛土を行うことで宅地造成した事例である。もう一つは、台地・段丘や丘陵地等、住宅の基礎地盤に適した地層が分布する地形に位置するもので、建築物自重による即時沈下が不同沈下に関与したと考えられる事例である。この事例は、傾斜地に切土及び盛土することで宅地造成した事例である。いずれの事例も擁壁の状態等から推測して、建設当初は比較的新しい造成地であったと考えられる。

図-6 に、表-5 に示した相対沈下量  $\Delta S$ 、傾斜角  $\theta$  の定義を示す<sup>18)</sup>。なお、表-5 での相対沈下量  $\Delta S$  は、建築物の隅角部付近で計測された沈下量の内、最大沈下量と最小沈下量の差異で、傾斜角  $\theta$  は、 $\Delta S$  を、両沈下量が計測された二測点間の距離で除した値である。

これらの不同沈下事例を対象として、図-2 に基づき地盤の性能評価を行った。その結果を、表-5 に記載したが、その詳細は後述する。なお、これらの不同沈下事例では、住宅建築開始前または不同沈下の発生後に SWS 試験が実

施されているが、圧密試験や含水比試験が行われていないため、正規圧密領域での圧密沈下量の予測ができない。このため、告示 1113 号第 2 のただし書に基づく沈下の影響検討の要否判定までを行った。

表-5 不同沈下事例

地形	No.	SWS 試験結果			不同沈下量		判定		沈下
		最小 $W_{sw}$ (kN)	最小 $N_{sw}$ (回/m)	最小 $q_a$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Delta S$ (mm)	$\theta$ (*10 <sup>-3</sup> )	支持力	判定	
谷底平野等	3	0.25	0	23	50	7	○ ×	要	
	63	1.00	0	65	48	5	○ ○	要	
	64	1.00	0	37	52	7	○ ○	要	
	66	0.50	0	54	69	6	○ ○	要	
	82	0.75	0	42	29	4	○ ○	要	
	83	0.50	0	29	30	5	○ ×	要	
	89	1.00	0	61	33	5	○ ○	要	
	92	1.00	0	64	37	4	○ ○	要	
	99	0.50	0	34	25	2	○ ○	要	
台地・段丘等	12	0.50	0	23	87	8	○ ×	要	
	44	0.25	0	21	21	5	○ ×	要	
	47	0.50	0	18	31	6	× ×	要	
	58	1.00	0	63	23	2	○ ○	要	
	59	1.00	0	58	28	5	○ ○	要	
	90	1.00	44	102	13	1	○ ○	不要	

○：対象基礎形式が採用可能，×：対象基礎形式が採用不可  
要：沈下の影響検討が必要，不要：沈下の影響検討が不要

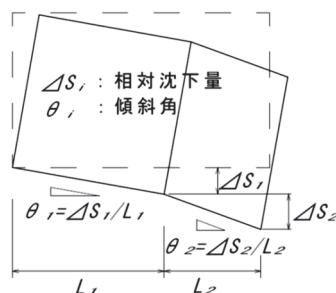


図-6 相対沈下量と傾斜角の模式図<sup>18)</sup>に加筆

##### 3.1.2 用いる不同沈下事例の概要

図-7 に、相対沈下量と傾斜角の関係を示す。図中には、既往の研究成果も併せて示した。芳賀は、長野県の沖積地盤上の住宅地における不同沈下計測結果から式(12)の関係を<sup>20)</sup>、田村らは、墨田、江東、足立、江戸川、葛飾区及びその周辺地区で土木・建築工事前に実施された家屋調査結果から式(13)を<sup>21)</sup>、品川らは、液状化被害を受けた住宅の被害状況調査結果から式(14)を<sup>22)</sup>、それぞれ求めている。既往の研究成果は、いずれも相対沈下量  $\Delta S$  に比例して傾斜角  $\theta$  が増加する傾向を示し、 $\theta$  の  $\Delta S$  に対する増加率は、 $0.1 \times 10^{-3}$  程度の値を示している。今回用いた不同沈下事例は、全国各地の事例であるが、 $\Delta S \sim \theta$  関係が既往研究での分布範囲に一致する。図中には、表-4 に示した  $\theta$  のレベル区分も示した。大部分の事例は、構造物に瑕疵の可能性が、“一定程度存する”とされる  $\theta$  が  $3 \times 10^{-3}$  以上  $6 \times 10^{-3}$  未満の領域に位置することが分かる。また、 $\theta$  がレベル 1 でも不同沈下として扱われた事例が 3 例あった。このことは、住人が不具合を感じる建築物の傾斜の大きさには個人

差があり、住宅の要求性能の定義と取り扱いの困難さを示すものと言える。

$$\theta = 0.1 \times 10^{-3} \cdot \Delta S \quad (12)$$

$$\theta = (0.16 \cdot \Delta S + 0.31) \times 10^{-3} \quad (13)$$

$$\theta = 0.0863 \times 10^{-3} \cdot \Delta S \quad (14)$$

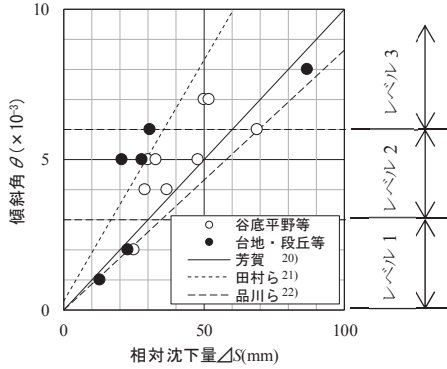


図-7 相対沈下量と傾斜角の関係

### 3.2 建築基準法に基づく評価

3.1 で示した表-5 には、各不同沈下事例での建築基準法に基づく地盤性能評価結果を示した。表から、長期許容支持力度  $q_a$  は、No.47 を除く事例で  $20\text{kN/m}^2$  を上回っており、べた基礎の適用が可能であることが分かる。しかし、一部の事例では、 $q_a$  は  $20\text{kN/m}^2$  以上  $30\text{kN/m}^2$  未満であり、布基礎の適用は不可であることが分かる。また、事例 No.90 を除き、基礎下から下方に  $2\text{m}$  の範囲での最小  $W_{sw}$  が  $1\text{kN}$  以下かつ最小  $N_{sw}$  がゼロを示しており、SWS 試験結果から、建築物自重による地盤の沈下の影響検討が必要であることが確認できていたことが分かる。

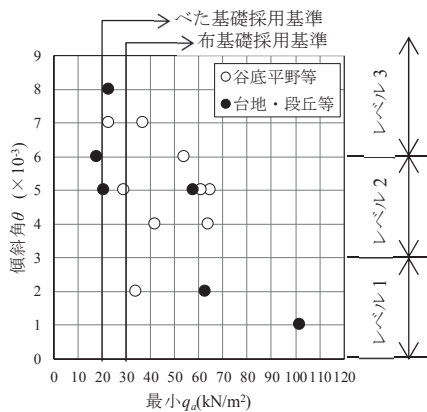


図-8 最小  $q_a$  と傾斜角の関係

図-8 に、最小  $q_a$  と傾斜角の関係を示す。最小  $q_a$  がべた基礎や布基礎の採用基準を上回る場合でも、傾斜角  $\theta$  が  $6 \times 10^{-3}$  を超える不同沈下が生じている。また、圧密沈下の可能性がない台地・段丘等の地形に位置する事例でも、 $\theta$  がレベル2 から3 を示すものが確認できる。このことは、各測点でのSWS 試験結果の差異についての検討の重要性を示すものと考えられる。

これらのことから、現行の地盤性能評価方法は、不同沈下発生の可能性を予測するために有効な方法ではあるが、沈下の影響検討の要否判断の誤りによって不同沈下が発生していることが分かる。なお、谷底平野等の地形に分類される事例では、造成盛土自重による残留沈下の可能性についても評価が必要と考えられる。

### 3.3 沈下の影響検討

#### 3.3.1 谷底平野等での事例

これらの事例では、地下水位が地表付近に確認されるとともに、粘性土であることが確認されているので、図-5 に従って、有効上載圧と圧密降伏応力  $p_c$  の比較を行った。有効上載圧は、次式で、 $p_c$  は式(5)で算出した。なお、ここでは、基礎形式が不明であるので、建築物荷重は無視した。また、ここでは、単位体積重量に仮定値を使用した。有効上載圧は、正規圧密層の判定に大きな影響を及ぼすので、より高い精度で沈下の可能性検討を行うためには、対象地層の含水比と単位体積重量を実測する必要がある。

$$\sigma_v = \gamma_t \cdot z \quad (15)$$

$$\sigma_v' = \gamma_t \cdot z_{GWL} + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot (z - z_{GWL}) \quad (16)$$

ここに、 $\sigma_v$ ：地下水位で浅での有効上載圧( $\text{kN/m}^2$ )、 $\gamma_t$ ：地盤の湿潤単位体積重量( $\text{kN/m}^3$ ) ( $\gamma_t = 16\text{kN/m}^3$  と仮定)、 $z$ ：深度(m)、 $z_{GWL}$ ：地表面から地下水位までの深度(m)、 $\gamma_{sat}$ ：飽和単位体積重量( $\text{kN/m}^3$ ) (ここでは、便宜上  $\gamma_{sat} = \gamma_t$  とした) とする。

図-9 に、有効上載圧  $\sigma_v'$  と圧密降伏応力  $p_c$  の深度分布を示す。図中には擁壁や法面によってできた、隣接地との高低差を表すため、隣地の地表面高さ GL を併記した。

事例 No.3, No.63, 64, 66, 99 では、 $\sigma_v'$  が  $p_c$  と一致または下回る区間が確認でき、基礎底面以下に正規圧密領域があることが推測できる。なお、事例 No.63 では、図-10(i) から、正規圧密領域と考えられる  $GL-2.5 \sim -8.5\text{m}$  付近に、告示 1113 号第 2 のただし書で規定された沈下の影響検討が必要な地層は認められない。これから、告示 1113 号で示された沈下の影響検討の必要条件のみでは、沈下の影響検討の要否判定が不十分な場合があることが分かる。田村らは<sup>23)</sup>、軟弱な地盤の場合、SWS 試験装置のロッド周面に作用する周面摩擦力の影響で  $N_{sw}$  が過大評価される場合があることを報告しており、事例 No.63 の  $GL-2.5\text{m}$  以下も同様の原因で  $N_{sw}$  が過大評価されているものと推測される。

また、事例 No.63 や No.64 のように正規圧密領域が連続する地形で建築物自重による圧密沈下量の予測を行う場合、乱れの少ない試料を用いた圧密試験を実施し、式(3)による沈下量予測を行うことが望ましい。しかし、小規模建築物の場合、工期や予算の制約で圧密試験を実施できない場合が多い。このような場合は、SWS 試験結果と物理試

験結果から圧密沈下量の予測を行うことも可能であるので(式(5)~(11)参照), 少なくとも, 乱された土試料採取とそれを用いた物理試験の実施を計画し, 沈下量の予測を行う必要があると考えられる.

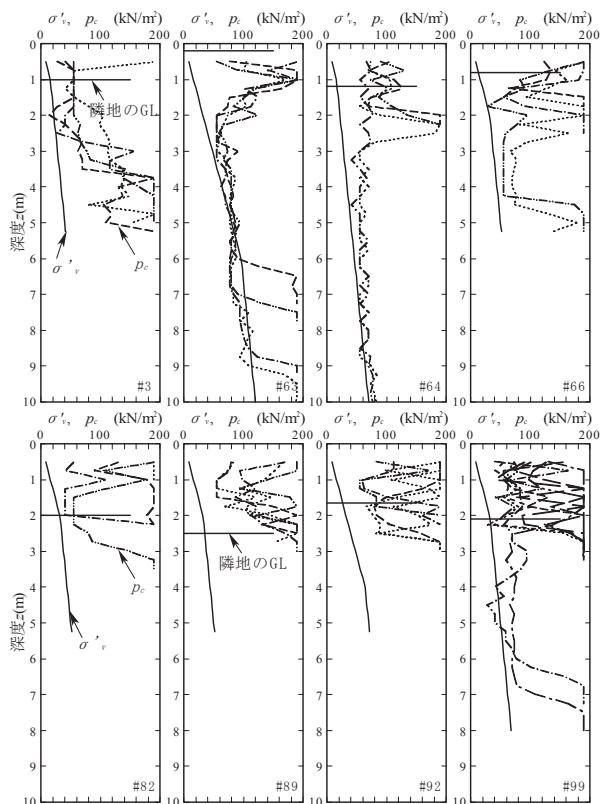


図-9 圧密降伏応力と有効上載圧の深度分布

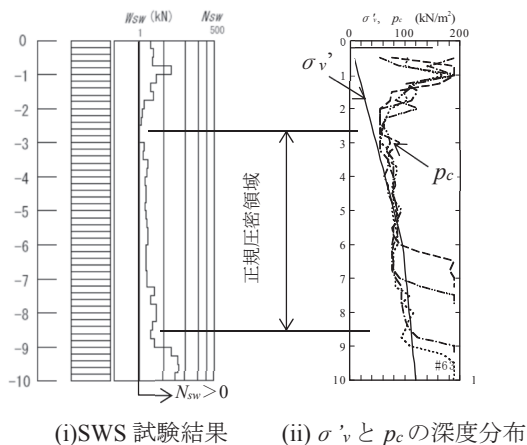


図-10 SWS 試験結果の深度分布 (事例 No.63)

一方, 事例 No.82, 89, 92 では,  $\sigma'_v$  は常に  $p_c$  よりも小さく, 正規圧密領域は見られない. これらの事例は, いずれも水田上に盛土を行った事例で, 軟弱な地盤上に盛土を施工するために旧地表面付近の地層を対象にサンドマットの敷設や表層改良工法などの軟弱地盤対策が実施されていることが推測される. この3事例では, SWS 試験結果から推定した  $p_c$  の深度分布が, 隣接地の地表面位置付近で終了していることから, SWS 試験では, 軟弱地盤対策がなされた層を貫通することができなかったものと考え

られる. このことから, SWS 試験結果から地盤の性能評価を行う場合で, 既存資料や周辺環境から SWS 試験では貫入不能となる地層の存在が考えられる場合, 標準貫入試験やコーン貫入試験等, より適用範囲の広い試験方法を用いた地盤調査計画の立案が必要と考えられる.

### 3.3.2 台地・段丘での事例

台地・段丘や丘陵地などに位置する宅地は, 傾斜地に切土および盛土を行い宅地造成することが一般的であるので, 盛土地盤と切土地盤での即時沈下量の差によって, 不同沈下が発生すると考えられる. ここでは, 敷地内での地盤強度の違いを確認するため, 図-11 に示す敷地内で実施した複数の SWS 試験結果から得られた換算  $N$  値の深度分布を用いる. なお, 換算  $N$  値は, 全層粘性土と仮定して式(17)から算出した<sup>2)</sup>. 図中には, 隣地の地表面位置(擁壁やのり面の地上高さに相当)と換算  $N$  値が  $3(W_{sw}=1kN)$  の直線を併せて示した.

$$N=3W_{sw}+0.05N_{sw} \quad (17)$$

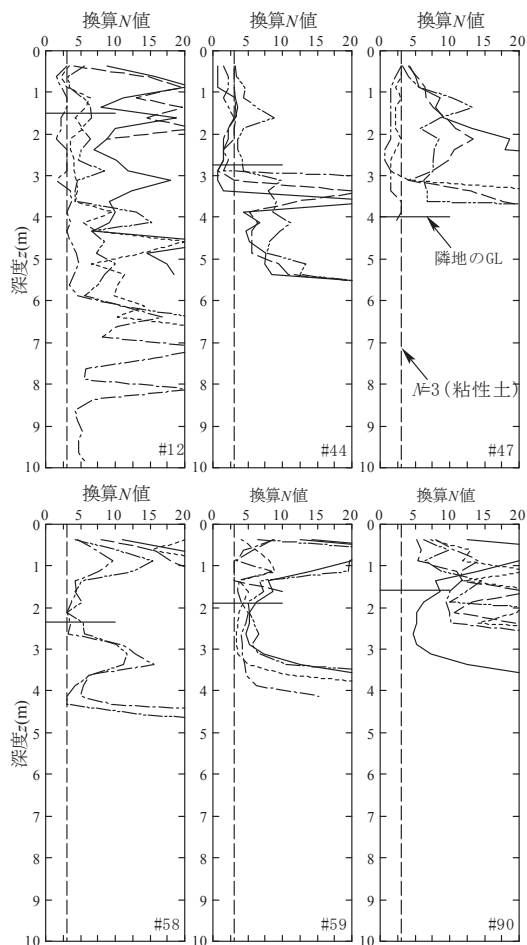


図-11 換算  $N$  値の深度分布

図から, 測点毎に換算  $N$  値の深度分布がばらつくことが分かる. 中でも事例 No.12, 47, 58, 59 では, 地表面からある深度まで換算  $N$  値が 3 程度の一定値を示す測点と

地表面付近から換算  $N$  値が 10 を超える値を示す測点とが混在している。これは、敷地内に、切土地盤と盛土地盤という変形強度特性が異なる二種類の地盤が存在していることを示している。これらの事例では、換算  $N$  値の大きい地盤から換算  $N$  値の小さい地盤の方向に住宅が傾斜しており、測点毎の地盤強度の差異を評価することで、不同沈下の発生を防止できるものと考えられる。このことから、台地・段丘等、傾斜地に位置する造成宅地で、その性能評価を行うためには、図-5 に示した沈下検討の要否判定に加えて、敷地内での地盤強度のばらつきの評価や SWS 試験の測点ごとの即時沈下量の予測が必要と考えられる。

#### 4. まとめ

検討結果を以下に整理して示す。

- (1) 推定した有効上載圧と圧密降伏応力の比較結果から、 $N_{sw}$  が計測された地層でも正規圧密領域と判定される場合があることが分かった。このことから、告示 1113 号第 2 のただし書による沈下検討の要否判定のみでは、圧密沈下発生の可能性を判断できない場合があることが分かった。
- (2) 正規圧密となる区間での圧密沈下量の予測には、乱れの少ない試料を用いた圧密試験の実施が必要であるが、物理試験結果からも圧密沈下量の予測が可能である。このため、正規圧密領域での沈下量予測のためには、少なくとも乱された土試料を採取し、それを用いた物理試験の実施が必要である。
- (3) SWS 試験は、その試験能力の制約上、貫入不可能となる場合がある。周辺状況から考えて、貫入不可能になった深度以深に軟弱な地層が存在すると考えられる場合は、標準貫入試験やコーン貫入試験等、より適用範囲の広い試験方法を用いた調査計画を立案する必要がある。
- (4) 台地・段丘地形や傾斜地等に位置する造成宅地では、一般的な支持力評価や沈下検討の要否判定に加え、測点ごとの地盤強度や深度分布のばらつきを考慮した即時沈下量の予測が必要と考えられる。

以上のことから、小規模建築物の基礎地盤の性能評価を実施するためには、比較的容易に土試料が可能で、SWS 試験よりも大きな貫入能力を有する調査装置が必要であることが分かった。

#### 謝辞

本報告の作成に当たっては、(株)サムシング前俊守社長に、多大なる支援を賜った。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成 13 年告示 1113 号，2001.

- 2) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.33-37，2008.
- 3) 公益財団法人住宅・リフォーム紛争処理支援センター：住宅相談統計年報 2017，p.25，2016.
- 4) 国土交通省：建築着工統計調査，住宅着工統計，2016 年度，第 13 表，2017.
- 5) 神村真，中田幸男，田部井香月：小規模建築物を対象とした振動圧入掘削によるボーリング調査技術の開発，日本建築学会技術報告集，Vol.23，No.55，pp.857-862，2017.
- 6) 日本工業規格：JISA 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法，2013.
- 7) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.74-76，2008.
- 8) 建設省：平成 12 年告示 1347 号，2000.
- 9) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.79-85，2008.
- 10) 若命善雄，工藤賢二：住宅の沈下要因と判定，建築技術，No.2，pp.126-131，2004.
- 11) 加藤清次，渡辺佳勝，小川正宏，垣内広志，相沢彰彦，大賀雅則，新松正博，藤井衛，杉山太宏：沖積層におけるスウェーデン式サウンディング試験と土質試験の結果比較（その 2：一軸圧縮強さと圧密降伏応力の推定），日本建築学会大会学術梗概集，pp.693-694，2017.
- 12) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.47-52，2008.
- 13) 竹中準之助：粘土のサンプリングとその信頼度，土質材料の力学の試験法における問題点，日本材料試験協会・土木学会・土質工学会関西支部，pp.1-22，1962.
- 14) 佐藤浩介，安達俊夫，田村昌仁，志村晃一：軟弱地盤における戸建住宅の不同沈下挙動に関する研究（その 1 圧密沈下式  $m_v$  の適用性），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.501-502，2003.
- 15) 志村晃一，安達俊夫，田村昌仁，古澤悟，小林精二，黒柳信之：戸建住宅の基礎を対象とした沈下の検討方法に関する研究（その 1 圧密沈下の予測法と沈下障害事例），第 39 回地盤工学会研究発表会概要集，pp.1365-1366，2004.
- 16) 西田一彦，田村昌仁，安川郁夫，中山義久，井上啓司：表層地盤の沈下予測のための圧密常数の評価（小規模建築物基礎の沈下予測のために），第 39 回地盤工学会研究発表会概要集，pp.893-894，2004.
- 17) 工藤賢二，浜口雄二：宅地地盤の性能評価例，基礎工，pp.47-50，2003.
- 18) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.85-87，

- 2008.
- 19) 建設省：平成 12 年建設省告示第 1653 号, 2000.
- 20) 芳賀保夫：木造建物の不同沈下と障害，土と基礎，Vol.41, No.11, pp.59-64, 1993.
- 21) 田村昌仁，伊奈潔，藤井衛，川村政史，水谷羊介：既存戸建て住宅の基礎の沈下・傾斜及びひび割れ等に関する実態調査，日本建築学会構造系論文集，第 586 号，pp.101-106，2004.
- 22) 品川恭一，藤井衛：戸建住宅基礎の不同沈下に関する不具合事象の原因，地盤工学ジャーナル，Vol.9, No.1, pp.85-92, 2014.
- 23) 田村昌仁，藤井衛，安川郁夫，新納秀樹，奥田悟，安枝政昭，足立由紀夫：自動スウェーデン式サウンディング試験にもとづくロッド周面摩擦についての考察，第 39 回地盤工学会発表会概要集，pp.91-92, 2004.

(2018 年 6 月 16 日 受付)