

総説 戸建て住宅基礎・地盤の障害要因とその対策

若命 善雄*

1. はじめに

高度成長期以前の宅地の多くは、自然堤防や丘陵地といった良好な地盤に構えられていた。しかし、都市への人口集中に伴い、都市近郊の後背湿地、谷底平野などの軟弱地盤に盛土造成が行なわれたり、傾斜地をひな壇状に切盛造成した人工地盤を宅地として利用するケースが急増している。一方、建物を安全に支えるという大きな役割を担っているのが基礎である。その基礎に伝達された建物荷重を支えているのが地盤であることはいまでもない。しかし、戸建て住宅の機能性や安全性を問う場合、居住者は建物本体つまり上部構造の表面的な性能や家具、調度品などに目が向きがちである。地盤沈下によって建物が傾斜したり、大雨や大地震時に地すべりなどの地盤災害が生じない限り、見えない地盤や基礎への意識は低く、建物本体にお金をかけても地盤調査や基礎工事費は極力削減したいと思っている。そのため、住宅供給会社もユーザーの要求に応じるあまり、地盤や基礎を軽視しがちになり、結果として竣工後に生じた基礎の沈下障害の補償や修復費に多大な出費を強いられることがしばしば見受けられる。

筆者は長年にわたり、戸建て住宅を対象とした地盤と基礎に関するコンサルティング業務に携わってきた。本書では、その経験を踏まえ、住宅基礎の沈下障害の要因とその防止対策について述べる。

2. 沈下障害の要因

戸建て住宅基礎の沈下障害は、①地盤に起因する場合、②地盤調査に起因する場合、③基礎の計画・設計に起因する場合、④基礎の施工に起因する場合の4種類に大別できる。

ここでは、①から③を中心に原因を探ってみる。

2.1 地盤に起因した沈下障害

建物の沈下障害は、総沈下量そのものより不同沈下量や傾斜角の大小による影響に起因する。もちろん、一般論として不同沈下量は総沈下量にも比例している場合が多い。

宅地地盤の(不同)沈下の要因の一例を図-1に示す。

- ①圧密沈下の可能性のある軟弱層(沖積層)の存在
 - ・軟弱層の厚さが異なっている

- ・盛土層の厚さが異なっている
- ・軟弱層が厚く、建物荷重が偏心している

②盛土(埋土)層の存在

- ・盛土の締固めが不十分
- ・盛土材として不適当な地盤材料を使用
- ・建物が切土と盛土の境界を跨っている

③擁壁の存在

- ・擁壁背面の埋戻しが不十分
- ・建物が地山と埋戻層を跨っている
- ・擁壁の傾斜や沈下により背面地盤が沈下

2.2 地盤調査に起因した沈下障害

一般の建物の調査では標準貫入試験が実施されるが、住宅ではスウェーデン式サウンディング(以下、SWSという)試験のみ実施されることが多い。この調査は、簡便かつ低コストで地盤の硬軟を判断できることに加え、国土交通省告示1113号に許容支持力が示されたことから、わが国では戸建て住宅の地盤調査法の主流となっている。

ただし、以下のような技術的課題を抱えている。

- ① 礫などにより貫入が困難になる。
- ② 土質の判別が正確にできない。
- ③ $W_{sw} = 1 \text{ kN}$ 未満自沈層の扱いが困難。

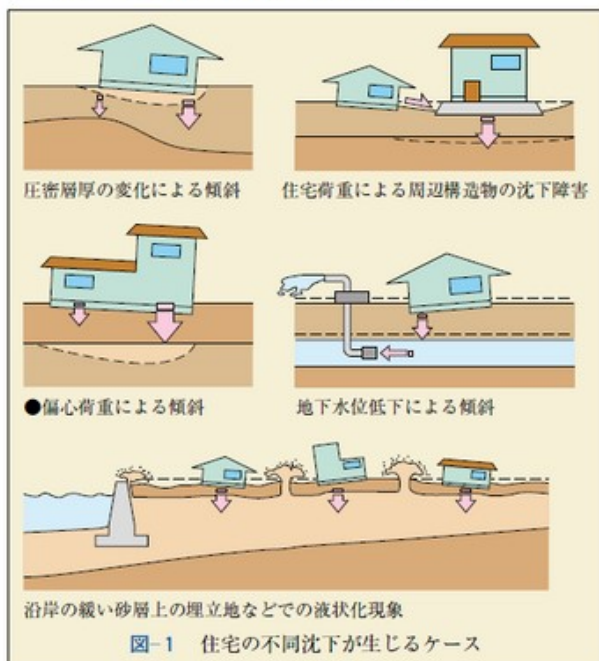


図-1 住宅の不同沈下が生じるケース

- ④ 圧密特性あるいは圧密の進行度合いを評価することができない。
- ⑤ スクリューポイントの貫入方法でも手動式と機械式

で明らかに異なる数値を示すことがある。

そのため、調査した地盤の土質特性を誤って基礎の設計を行なった結果、不同沈下した事例も少なくない。

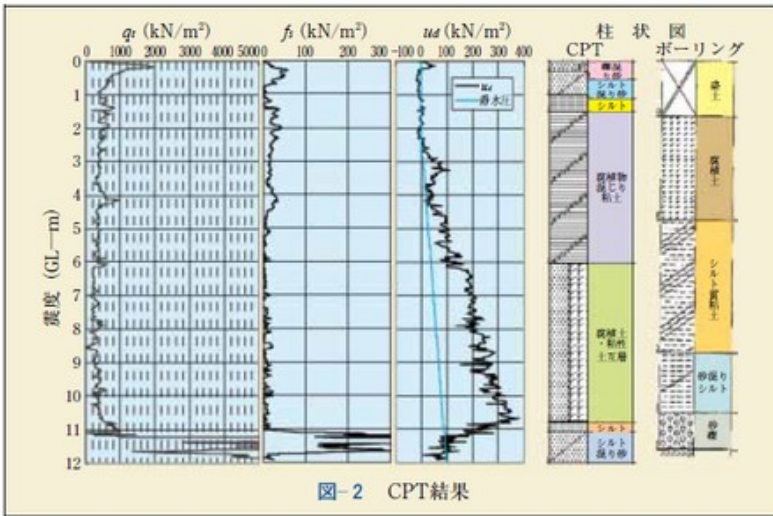


図-2 CPT結果

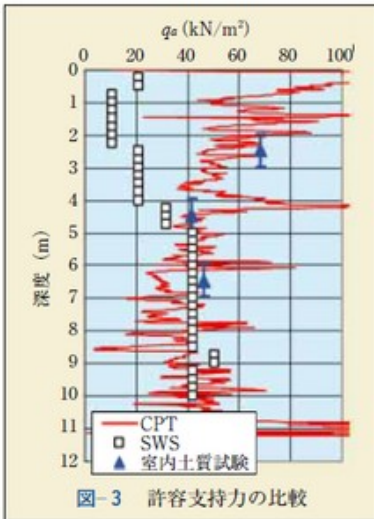


図-3 許容支持力の比較

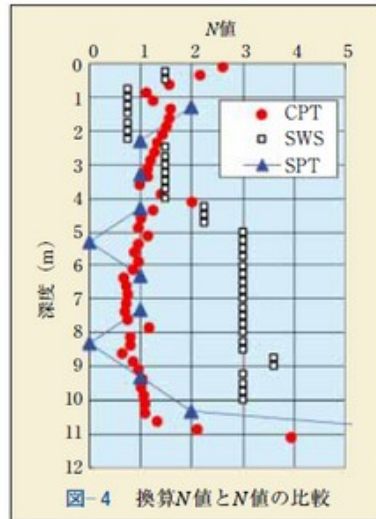


図-4 換算N値とN値の比較

たとえば、盛土層では礫を混入することが多く、貫入時にスクリューポイントが礫に当り貫入不可となったり、強さ・硬さを過大評価することが多い。一方、粘性土層や腐植土層では圧密特性の正確な情報を得ることができないので、通常は測定された W_{sw} や N_{sw} および既往の相関式から一軸圧縮強さ、続いて圧密降伏応力 p_c や体積圧縮係数 m_v を推定し、圧密沈下の可能性や沈下量を予測している。当然、相関式はばらつきが大きく、圧密沈下の可能性や沈下量を安全側に評価した場合は問題ないが、危険側に評価した場合には、沈下障害を発生する確率は高くなる。特に、圧縮性の高い腐植土では繊維質の影響により W_{sw} や N_{sw} から推定した圧密定数を用いて沈下量を予測すると、危険側の結果を与えることが多く、結果としてトラブルの発生事例も多い。図-2、図-3、図-4 は同一敷地内で実施したSWS試験、三成分コーン貫入試験 (CPT試験)、標準貫入試験および不攪乱試験による土質試験結果を対比して示したものである。SWS試験では土質判別や力学特性を正確に評価することは難しく、特に腐植土や砂混り粘性土の強度特性を過大評価する場合がある。

CPT試験結果で得られた土質分類はボーリング柱状図と比較すると、粘性土か砂の区分はほぼ一致している。また、許容支持力や圧密降伏応力は室内試験結果と比較的よく一致していることがわかる。このようなことからSWS試験と併用することで、より精度の高い調査が可能となり、沈下事故を回避できる。

2.3 基礎・設計に起因した沈下障害

住宅で採用される基礎形式は、図-5 に示すように、直接基礎 (布基礎、べた基礎)、地盤改良 (表層改良、柱状改良)、地盤補強、杭基礎に大別される。

沈下障害の多くは地盤に問題があるにもかかわらず、地盤調査が不十分であったり不適切であったことによって地盤の評価を誤り、適切な対策をせずに直接基礎を採用したことによって生じることが多い。特に圧密沈下では、表-1 に示すように土の性状・地層・荷重などで大きく異なるので、前もって全体の地盤を把握する必要がある。しかし、地盤改良を行なった場合でも、① その下部の圧密層の存在を予見できなかつ

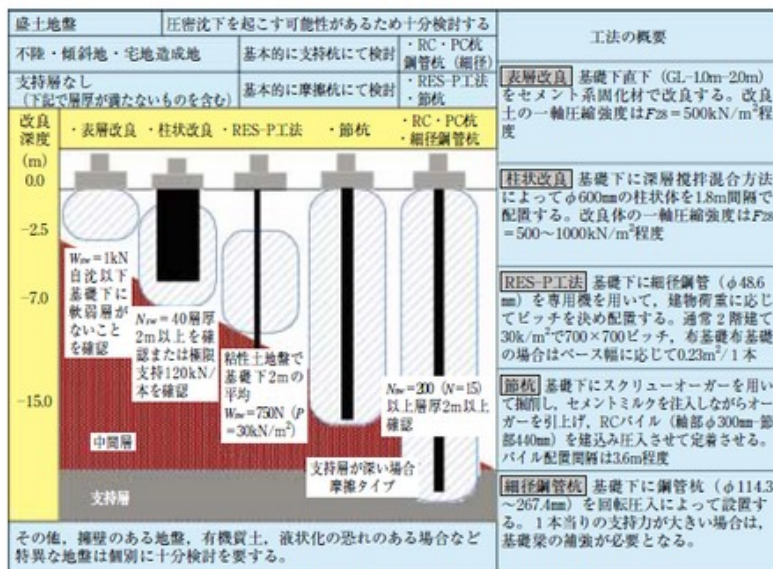


図-5 住宅地盤で用いられる主な地盤改良法

表-1 圧密沈下に影響する要因

	沈下が大きい	→	沈下が小さい
土質	粘性土		砂
含水比	80%	大→小	30%
透水性	10 ⁻⁵ m/s	小→大	10 ⁻³ cm/s
間隙比	2.5	大→小	1
単位体積	15kN/m ³	小→大	18kN/m ³
圧密係数	c _v =100cm/day	大→小	c _v =100cm/day
体積圧縮係数	m _v	小→大	
圧密降伏応力	P _y		
地層	沈下が生じる層	厚い	⇒ 薄い
層厚	圧密時間	長い	⇒ 短い
荷重	荷重が重い	大	⇒ 小
面積	面積が大きい	大	⇒ 小

た、②沈下予測を実施しなかったり予測方法を誤った、③セメント系改良に不向きな土質が存在し必要な改良強度が得られなかった、などの場合には沈下障害を生じることがある。また、杭基礎や細径鋼管を用いた場合でも、以下のような課題を抱えている。

2.3.1 地盤補強工法

地盤補強工法とは、柱状改良や直径5～15cm程度の細径鋼管により地盤を補強し、支持力増加と沈下抑止を期待した基礎工法であり、きわめて杭基礎に近い支持機構からパイルド・ラフト基礎的な支持機構までさまざまである。これらの基礎はSWS試験結果に基づいて設計を行なうので、支持層の強度特性の評価や圧密層の判断を誤ったり、沈下予測精度を欠くと沈下障害を発生することがある。当然盛土荷重による圧密沈下の影響は大きいので注意する必要がある。

2.3.2 杭基礎

一般の建物で使用されるような杭基礎を採用すれば、沈下障害は少なくなるが、杭工事、基礎梁せいの増加によりコストアップは避けられない。ただしSWS試験結果より支持層を確認することや、周辺の環境条件や敷地の制約上、採用できない場合も多い。また、盛土造成を行なって日が浅く、盛土荷重による圧密沈下が終了していない場合には、杭基礎を採用しても杭の拔上がり、上下水道管の流動障害や破断、土間コンクリートの沈下などの障害を起こす。

3. 沈下障害を防止するための対策

戸建て住宅の沈下障害を防止するには、①土地の履歴を十分に調査すること、②必要十分な地盤調査を行なって地盤特性を正確に評価すること、③①と②の結果に基づき最も適切な基礎形式を選定し、高精度な基礎設計を行なうことが求められている。中でも最も重要な項目は、適切な地盤調査を行なって地盤特性を正確に評価し、この結果を基礎の設計・施工に反映させることである。

3.1 適切な地盤調査

既に述べたように、戸建て住宅では一般的にまず

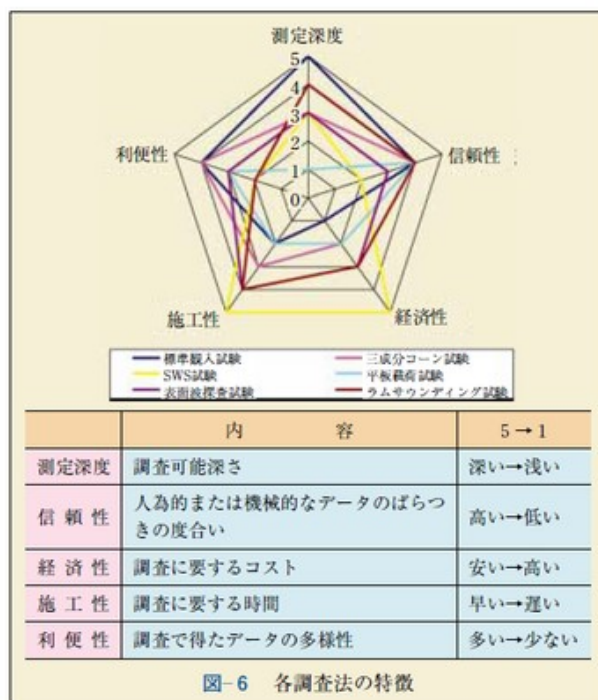


図-6 各調査法の特徴

SWS試験が実施される。明らかに圧密沈下や液状化の危険性がない場合、あるいは柱状地盤改良や杭基礎の採用によりその対策を講じた場合を除き、SWS試験の追加調査として標準貫入、土質試験（粒度試験、一軸圧縮試験、圧密試験）、三成分コーン貫入試験CPT、表面波探査試験、平板荷重試験、ラムサウンディング試験などを地盤条件や敷地条件に応じて適宜組合わせて実施し、土層構成と各土層の力学特性を正確に把握する必要がある。CPT試験は摩擦、間隙水圧の連続データが得られ、3つの成分を組み、深さ1cm程度の精度で、貫入抵抗、周面を合わせることで、非排水せん断強さ、許容支持力、あるいは簡易的な土質判別、液状化判定、圧密度の判定を行なうことができる。表面波探査試験は、地表面に設けた起振器（起震源）と受振器を用いて弾性波の反射・屈折による到達時間を測定し、その解析結果から土層構成や傾斜、各土層の弾性波速度を推定するのに利用される。参考として、図-6に各調査法の特徴をグラフ化して示し、図-7に追加調査の選定フローを示す。

なお、SWS試験のみを実施する場合でも、スクリー音から土質を判断するだけでなく、少なくとも特殊なサンプラーにより土質を目視確認しない限り、沈下障害がなくなることはないと思われる。

3.2 適切な基礎設計

既に述べたように、適切な地盤調査や沈下予測を行なって、図-5に示した地盤補強を高精度に設計かつ施工すれば、沈下障害の大部分は防止できる。

しかし、地盤沈下地帯あるいは盛土による圧密が終了していない未圧密地盤では、支持杭を採用しても前述のような障害を発生する可能性がある。このような地盤では、高度な沈下解析技術が必要となるものの、図-8に示すような摩擦杭やパイルド・ラフト基礎的な支持機構

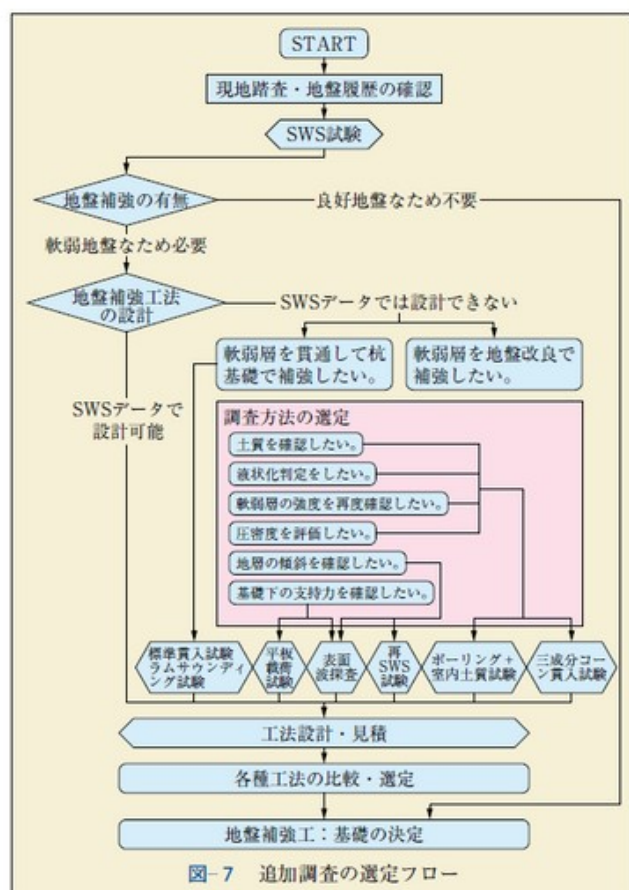


図-7 追加調査の選定フロー

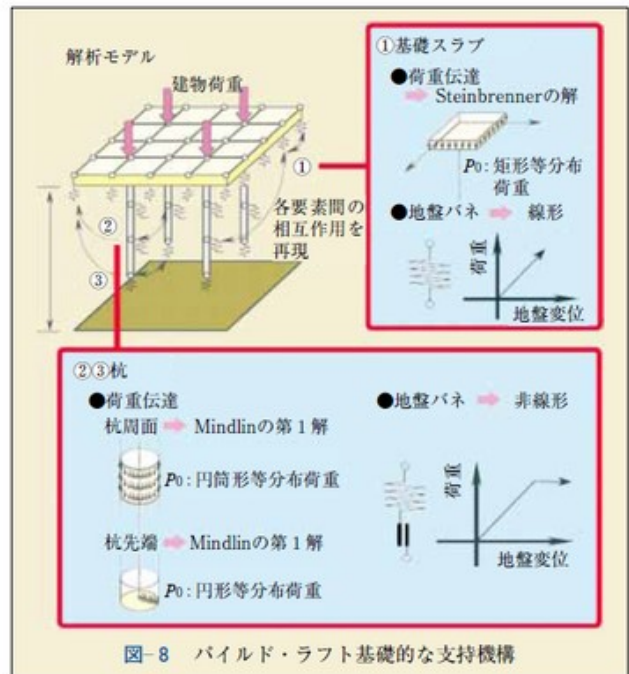


図-8 バイルド・ラフト基礎的な支持機構

となる地盤補強、あるいは図-9に示す余盛工法が有効である。余盛工法は建築分野では馴染みは薄い、土木分野では軟弱粘性土地盤の改良工法として古くから利用されている。その原理は、土の圧密特性を利用したもので、圧密沈下に伴い土の間隙が縮小することにより地盤強度の増加を図り、かつ建物建設後の残留沈下を抑止する。

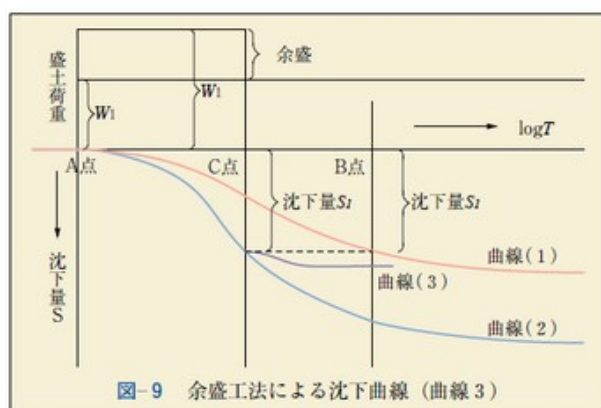


図-9 余盛工法による沈下曲線（曲線3）

は低減するものである。図-9に盛土工法による時間-沈下量曲線を通常の盛土を行なった場合と対比して示す。

図中、盛土開始時点をA点、盛土開始からある一定時間経った時点をB点で表す。曲線(1)のB点を沈下量 S_1 とすると、(2)曲線においては沈下量 S_1 はB点より早い時点C点が得られる。

したがって、盛土荷重 W_1 により圧密沈下 S_1 を生じさせようとする余盛を含めた盛土荷重 W_2 でスタートし、C時点で余盛分を除荷する工法をとれば、曲線(3)で沈下が進み、盛土荷重 W_1 によればB点で得られる沈下量 S_1 がC地点で得られ、B～C点間の時間が短縮できる。

一般の盛土造成工事では、建物建設後も長期にわたって地盤沈下するが、余盛工法では、一般の盛土より大きな盛土荷重で圧密沈下を促進させ、所定の沈下量に達した時点で余盛分を除去することにより、地盤を正規圧密状態あるいは過圧密状態とし、地盤面を計画造成高さとした場合の残留沈下を抑止することができ、建物の沈下障害だけでなく、設備配管類の沈下障害も防止することができる。

4. あとがき

戸建て住宅の基礎・地盤にかかわる法制度の整備・強化、また居住者の意識の向上により住宅供給会社や調査・施工会社の責任はますます高まると予想される。このような状況の中で、戸建て住宅の沈下障害にかかわるトラブルを防止するには、地盤調査から基礎の設計・施工までを適切かつ確実に行なえるように技術力を高め、技術者を育成することが不可欠であることはいうまでもない。具体的には、数値解析の開発と学会などへ情報を開示することである。また一方では居住者に対して、目に見えない地盤の調査方法の重要性や基礎地盤補強の大切さを十分に説明し、それに見合った費用を出してもらえよう環境の醸成も必要と考える。

参考文献

- 1) 稲田倍徳：軟弱地盤の調査から設計・施工まで、鹿島出版会。
- 2) 高田徹ほか：地盤調査のキホンと地盤補強方法の選び方、建築知識、pp. 44～149, 2006, 9。
- 3) 高田徹、佐藤隆、田村昌仁：小型三成分コーン貫入試験の開発と適応性の検証（その1、2）、第41回地盤工学会研究発表講演集、pp. 151～152, 2006, 7。