

建物の変状原因解明を目的とした地盤調査例

応用地質株式会社 平出 亜

1. まえがき

地盤調査は、一般に構造物の設計・施工の前に行われる。その結果から我々は基礎の設計に必要な地盤情報を得ている。しかし、地盤の複雑さや構造物の種類・施工法の多様性により、調査手法は一概に決められず、現場ごとにその調査方法を選定している。軟弱地盤での設計・施工においては、普通、地盤の支持力・沈下量・液状化等が問題となり、地盤情報はボーリング、サンプリング、原位置試験、室内土質試験を通して得ることとなる。その際、調査内容や数量が不十分であったり、調査結果の判断に適切さを欠いたりすると、問題点が把握されないままに造成工事や建物建設が行われ、施工時あるいは竣工後に、建物基礎や地盤に大きな変状を起こすことがある。建物基礎や地盤が変状すると、建物の上部構造や地盤中の配管類に種々の障害が発生し、ときには建物の使用が困難となることもある。

本報告では、建物や地盤に大きな変状を生じた事例を取り上げ、その原因解明を目的として実施した地盤調査例を紹介し、あわせて事前調査の考えかたについて述べる。

2. 事例1〈浸透水による盛土の沈下によって直接基礎の建物に変状が生じた例〉

2-1. 原因解明調査に至る経緯

山間部の河川に面した低地を利用して盛土造成された敷地に、直接基礎で工場が建設された。建物の竣工後3年経過した頃より、建物の不同沈下や建物周囲地盤のアスファルト舗装にクラックや陥没が発生する等の変状が認められるようになった。これらの変状は長期にわたり徐々に大きくなっていった。補修工事として、建物の柱およびブロック壁の嵩上げや建物基礎直下に生じた空洞のモルタル充填、アスファルトの再舗装等が行われた。しかしながら、その後もほぼ同一箇所で同様の変状が続き、数回にわたり沈下した部分の再舗装等が行われたが、依然として変状はおさまらず、かえって変状の進行が著しくなった。このため、変状の原因を解明するための調査を実施することとなった。なお、事前調査は建物規模が小さいこともあり、行われていなかった。

2-2. 調査の方法と結果

現地視察の結果、「盛土基礎地盤への水の浸透」がまず第一に推定されたため、変状状況のスケッチ、表流水経路調査、トレーサーによる漏水経路調査、変状部・非変状部でのボーリング調査、開削調査等を実施した。また、この調査で見つかった廃棄物の盛土材に対して室内土質試験（浸水沈下試験）を実施した。

調査の結果、次のことが明らかになった。

- ①敷地の地質分布は、上部より盛土（砂礫 B_s 、廃棄物 B_n ）と沖積層（砂質土 A_s 、砂礫 A_g ）に分けられる（図-1参照）。また、 B_n はプラスターボード・バルブ・ダンボール片等で構成され、全体が粘土状を呈する。
- ②山側から敷地への流入水および敷地から川への流出水は認められない。また、敷地内の井戸の水位も河川水位とほぼ同じレベルにあり、動水勾配は小さい。
- ③建物基礎底面は、 B_n 直上に位置する。
- ④地中にある浄化槽から延びる汚水管が、途中で破損している（図-1中に×印で示す）。この汚水管には浄化槽からの汚水の他、工場からの下水および雨水、洗車場からの排水がすべて集まっており、破損部分

“Site investigations to study the causes of differential settlement of buildings” : Akeshi Hiraide, OYO Corporation.

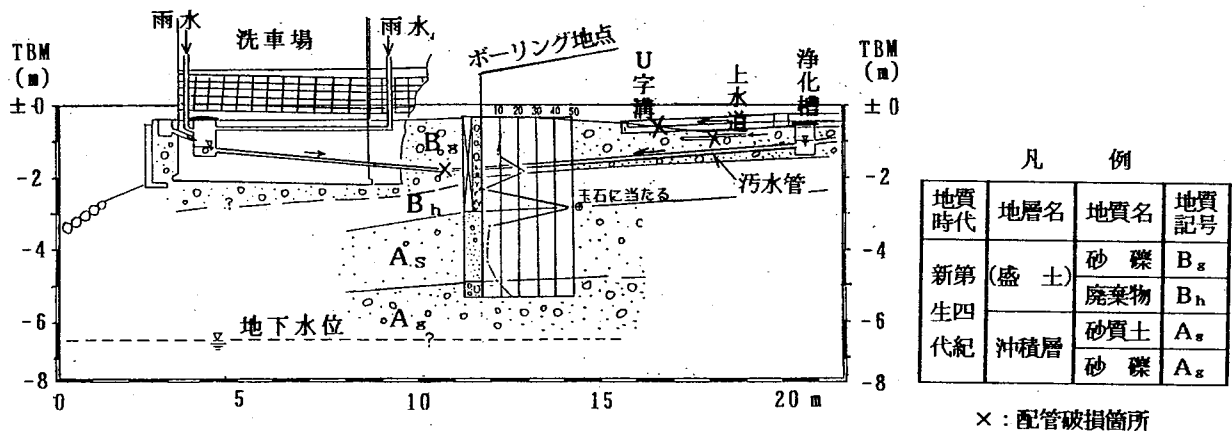


図-1 地質断面図

より汚水の流出が認められる。各配管の管底の水準測量によると、この破損部分が沈下のため最も低くなっている。

◎ B_h は浸水により大きな沈下を生じる。

2-3. 変状機構の推定

工場建設後、洗車場の排水や雨水などの地表からの浸透水によって、徐々に B_h が浸水し、B_h が多少沈下した。この沈下により、B_s 中に埋設されている汚水排水管の継目から漏水が生じるようになった。この漏水により不飽和状態であった B_h がさらに浸水して沈下が促進された。また、漏水の影響が A_s にも及ぶようになり、A_s の水締め効果による沈下も生じるようになった。さらに、B_h と A_s の沈下の進行に伴って漏水箇所（汚水管破損部分）の管底高さが最も低くなり、浄化槽からの汚水の他、洗車場からの排水や雨水も逆流するようになり、管破損部分からの漏水量が増加した。そして B_h, A_s の沈下量、沈下範囲ともに拡大していった。

3. 事例2（粘性土の圧密沈下により杭基礎の建物に変状が生じた例）

3-1. 原因解明調査に至る経緯

沖積層が厚く（事前調査によると25m程度）堆積する広さ約2haの敷地に、約1.5mの盛土が施工され、盛土施工の1年後より約1年かけてRC4階建の建物が建設された。事前調査として、敷地内で4本のボーリング調査が実施されている（図-2参照）。その調査結果によると、当敷地の地質分布状況は、上位より盛土、沖積層（砂質土 A_s, 粘性土 A_c）、洪積層Ⅰ（砂質土 D_{1s}, 粘性土 D_{1c}, 砂礫 D_{1g}）、洪積層Ⅱ（砂質土 D_{2s}, 粘性土 D_{2c}, 砂礫 D_{2g}）、古生層 P となっている（図-3参照）。

建物の基礎は、φ600mmのPHC杭を中掘り工法で施工され、D_{1s}を杭の支持層としている。変状は建物の竣工直後よりB棟を中心として発生し、竣工3年後にはA棟に対するB棟の不同沈下量は8cmに達した（図-4参照）。

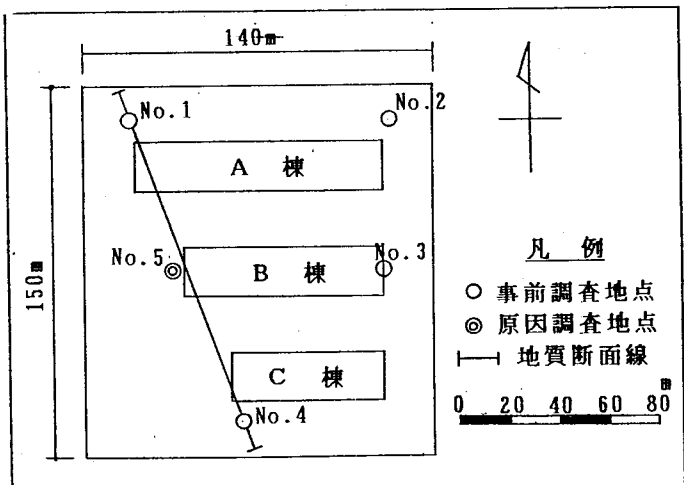


図-2 位置図

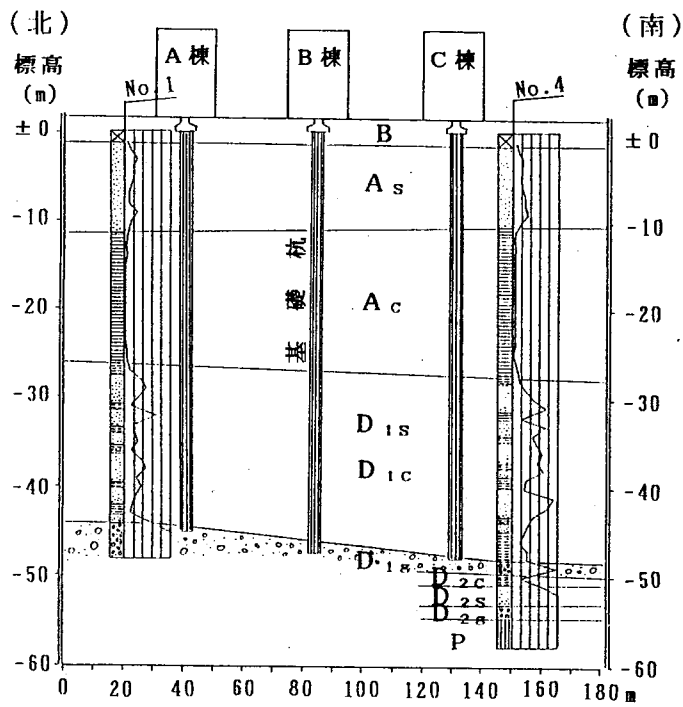


図-3 事前調査で作成した地質断面線

図-3と図-4の凡例

地質時代	地層名	地質名	記号	
新生代 第四紀	沖積世	盛土	B	
		沖積層	砂質土	A _s
	粘性土		A _c	
	洪積世	洪積層Ⅰ	砂質土	D _{1s}
			粘性土	D _{1c}
		洪積層Ⅱ	砂礫	D _{1g}
			粘性土	D _{2c}
			砂質土	D _{2s}
			砂礫	D _{2g}
	古生代	古生層	P	

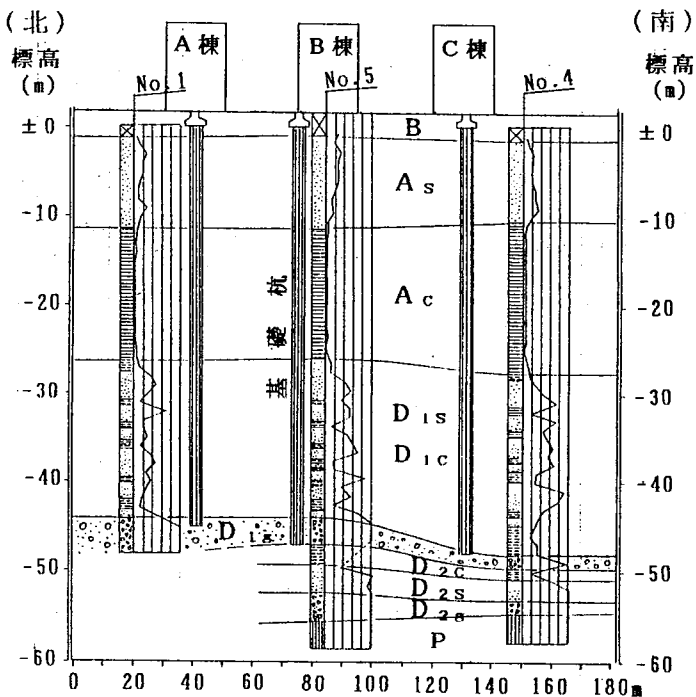


図-4 原因調査後作成した地質断面線

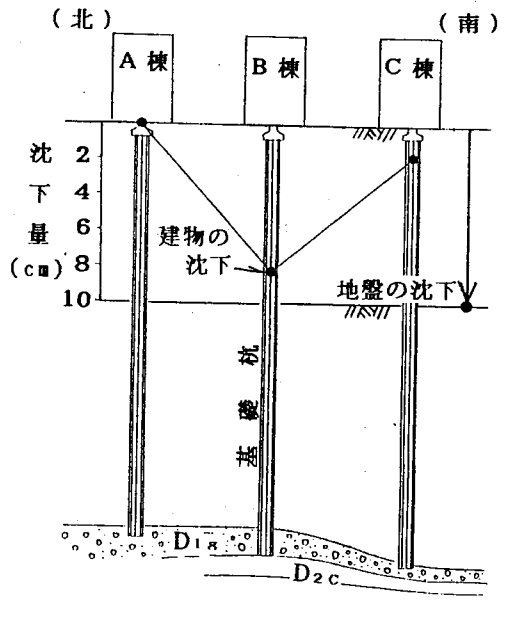


図-5 A棟に対する不同沈下状況模式図

また、建物周辺地盤の沈下も著しく、この時点での杭基礎構造物（沈下の少ないA棟）と周辺地盤との相対沈下量は10cmに達した。

3-2. 調査の方法と結果

支持層と杭施工深度との関係を明らかにするために、最も沈下の著しいB棟の西側でボーリング調査を実施した。その際、A。およびD_{2c}の強度・圧密特性を把握するため、これら各層から乱さない試料を採取し、室内土質試験を実施した。また、圧密沈下の検討に用いるため、A_s、D_{1s}、D_{1s}の間隙水圧も測定した。

調査および検討の結果、次のことが明らかになった。

- ① B棟西側では、D_{1s}の分布深度が事前調査から推定された深度より浅く、また、その層厚も薄かったため、基礎杭の先端が支持層と考えたD_{1s}の下面近くまで達している（図-5参照）。
- ② 当敷地の地盤は現在2～3cm/年の沈下量が生じている。この沈下量はD_{1s}の水位低下によるA。の沈下（広域地盤沈下の主原因と考えられる）と盛土荷重によるA。の沈下を足しあわせたものと説明出来る。また、残留沈下量は、約20cmと計算される。
- ③ 建物と地盤の沈下データによると、B棟西側の杭基礎の沈下は敷地地盤の沈下について進行しており、基礎の沈下量は敷地地盤の沈下量の約60%である。
- ④ 杭先端からD_{1s}下面までの厚さが薄いと、杭にネガティブフリクションがはたらいた場合、D_{2c}が圧密沈下を生じる（図-6参照）。

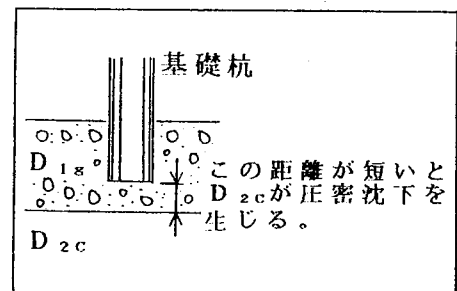


図-6 杭先端模式図

3-3. 変状機構の推定

約130m離れた2本のボーリング柱状図をもとに作成した地質断面図から、断面図中央に位置するB棟の杭長を決定し施工した。ところが実際には、この地点において支持層と考えたD_{1s}は予想していた深度よりも浅く、またその層厚も薄かったため、基礎杭の先端がD_{1s}層の下面近くまで入ってしまった。一方、広域地盤沈下及び盛土荷重によるA。層の圧密沈下によって杭にネガティブフリクションが作用し、杭先端には設計値を超える荷重が作用し始めた。この荷重によって、杭先端に分布するD_{2c}の圧密沈下が生じ、基礎杭が沈下した。杭先端からD_{2c}上面までの距離が短いほど、D_{2c}に作用する応力も大きいので、杭基礎の沈下量も大きくなった（図-5、図-6参照）。

4. 事例3 <高有機質土の沈下により直接基礎の建物に変状が生じた例>

4-1. 原因解明調査に至る経緯

10ha程度の敷地を切盛して造成し、一般住宅が建設された。事前のボーリング調査では、敷地の約半分は切土で住宅の基礎地盤として十分な地層が分布するが、残り半分は盛土であり、盛土の直下には腐植物を多く含む軟弱な粘性土A。の分布することが判明した。そのため、A。が分布する地域は地盤改良（プレロード工法）を行い、A。を改良したあと住宅が建設された。その後、実際に住宅が建設されてから約2年たった頃より、A。が分布する一部の地域で地盤沈下とそれに伴う建物の不同沈下が認められるようになった。住宅の最大傾斜角は建築後約5年で20mm/1000mmに達するものもあった。

4-2. 調査の方法と結果

事前調査報告書によると、変状が発生している地域には、軟弱な粘性土が最大20m程度の層厚で分布しており、その上部3～5mは腐植物を多量に含む高有機質土P。である可能性のあることが分かった。そこで、

さらに詳細に $P_t \cdot A$ の分布状況を把握するため、空中写真判読や沈下の著しい箇所でボーリング調査を実施した。その際、 $P_t \cdot A$ の力学的および物理・化学的性質を把握するため、乱さない試料採取を行い室内土質試験（含水量・密度・強熱減量・PH・圧密等の各試験）を実施した。また、現地で継続して水準測量を行い、敷地全体の経時的な沈下動向を把握した。

調査および検討の結果、次のことが明らかになった。

- ①造成前の当敷地は山地（古生層の分布する地域）と水田（ $P_t \cdot A$ の分布する地域）であり、山地から延びた複数の尾根が急な勾配で水田に没している。このことより、 $P_t \cdot A$ の分布地域においても基盤面（古生層上面）が傾斜しており、 $P_t \cdot A$ の層厚が急変していると推測された。
- ② P_t は、含水比100～500%、湿潤密度 $1.0 \sim 1.2 \text{g/cm}^3$ 、強熱減量40～100%、圧縮指数2～5という値を示し、未分解な植物繊維を多く含む高有機質土である。
- ③プレロード荷重に見合う荷重であらかじめ過圧密にした P_t の試料でも、ある時間が経過すると再び沈下を生ずる。また、その沈下曲線は、 $S - \log t$ 図上で直線状を示し（図-7参照）、いわゆる二次圧密と呼ばれる現象が見られる。
- ④敷地各所の沈下データを $S - \log t$ 図上に整理すると、やはり直線状に並ぶ傾向が見られる。

4-3. 変状機構の推定

プレロードを加えたため沈下しないと考えられた P_t が、高有機質土特有の大きな二次圧密沈下を生じた。そして、基盤が傾斜しているところ（ $P_t \cdot A$ の層厚が急変しているところ）、圧縮性の大きい P_t が特に厚く堆積しているところ、さらに切土と盛土の境界部に位置しているところ等で不同沈下が発生し、建物に変状をもたらした。

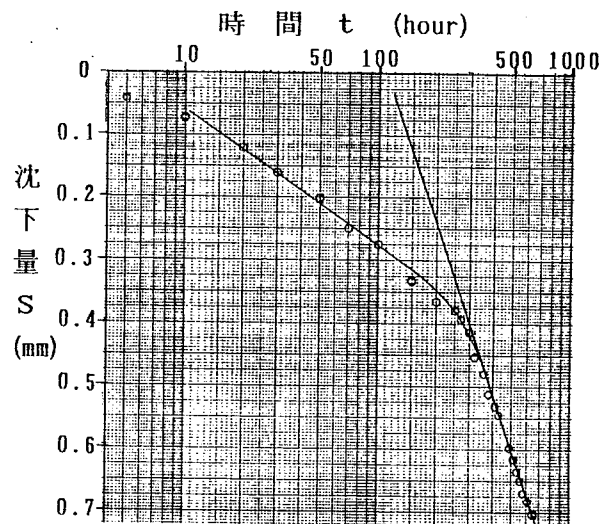


図-7 長期圧密試験による $s - \log t$ 関係図

5. 事前調査における留意点

これまで建物に変状した原因解明の調査例を述べてきたが、ここでは、それぞれの事例について事前調査における留意点を考えてみる。

事例1) 敷地が台地や丘陵・山地上に位置し、かつ地表より地山が分布する場合、比較的軽量の構造物については、事前調査なしで設計・施工されることもあるが、実際そのようにしても問題は少ないようである。しかし、山地であっても盛土などの人工地盤が分布するところでは、人為的に形成された地盤であるため様々な問題を生じる可能性がある。即ち、①地盤を構成する物質・性状が場所・深度によって急変する。②そのため、自然地盤のように周辺の地形・地質からその性状を推定することが困難である。③自然地盤には存在しないもの（例えば、廃棄物）がある。これらのことを考えると、盛土地盤に対しては特に慎重に対処することが必要と言える。

事例2) このケースでは、事前調査により概略の地質状況が把握され、問題点として盛土荷重による地盤沈下の可能性および $D_{1.0}$ の連続性の不確かさについて報告されている。これらの問題点については追加調査を行って検討するか、工程あるいは予算上の理由等で追加調査を行うことができない場合は、支持層としてより確実な下位の古生層Pを採用する等の対応が必要と言える。

事例3) ここで見られた P_t は典型的な高有機質土であり、圧縮性が極めて高く、長期にわたってクリープ変形的挙動を示しやすい特殊土である。特にその沈下特性には注意を要するところであり、一次圧密終了後も長期にわたって大きな沈下が継続することがある（二次圧密現象）。一般に普及している土質力学理

論は、主として無機質土に対して構築されたものであるから、高有機質土に対してはその対処を十分慎重に考えることが必要である。なお、高有機質土の判定にあたっては、①植物繊維を多く含む、②湿潤密度が小さい（ $1\sim 1.5\text{ g/cm}^3$ ）、③含水比が大きい（ $100\sim 1000\%$ ）、④強熱減量が大きい（ $20\sim 100\%$ ）、等の特長を目安にすることができる。

6. あとがき

これらの事例を見ると、適切な事前調査というものがいかに重要であるか改めて認識させられるが、事前に必要・十分な数量と内容を備えた調査を計画することは一般には難しいこともある。そこで事前調査の進めかたとして、次の点を強調しておきたい。

- ①必要情報の整理～まず、既存資料等を参考にして現地の地盤状況を想定し、地盤状況と計画建物の規模・構造・施工法等を考慮して、調査によって得たい情報を整理しておく。それに合った調査計画を考えること。
- ②調査内容の修正～調査を進めて行く過程で、地盤の性状が当初の予想と異なっていた場合には、新たな問題が出てきたり、設計の考え方が変わることもあるため、調査の途中で調査内容を見直したり、あとで追加調査を行なうなどの必要が出てくる。こういったケースにも面倒がらずに柔軟に対応して行く必要がある。
- ③段階的な調査～最初から考えられるすべての問題について調査を計画するのは無駄が多いこともある。できれば、調査を複数のステップに分けて実施し、各段階の調査結果を次の調査計画に生かせるように進めることが有効と考えられる。ただし、この場合、時間を要するので調査・設計の工期に十分余裕を持っておくことが必要である。

<参考文献>

- 1) 土質工学会編：土質基礎工学ライブラリー18，「土と基礎の沈下と変形の実態と予測」，1983.
- 2) 土質工学会編：現場技術者のための土と基礎シリーズ，「土質調査計画—その合理的な計画の立て方—」，1988.
- 3) 北海道開発局道路計画課：泥炭性軟弱地盤対策工指針，1988.
- 4) 深沢栄造・埴信之：プレローディング工法で過圧密状態にした高有機質土の二次圧密特性，高有機質土に関するシンポジウム発表論文集，1989.