

“土” の 調 査

池 田 俊 雄*

1. 土の調査の問題点はなにか

土構造物であると他のコンクリート等の構造物であるにかかわらず、変状や問題を生じた構造物の原因を調べてみるとその原因が地盤や土にあり、しかも調査不十分あるいは調査結果の解釈・活用を誤ったために生じたと考えられる場合がきわめて多い。

土の調査に関連して問題を生じた原因を大別してみると

- ① 調査そのものに欠陥があった場合
- ② 調査は一応良好といえるが、調査結果の表現が悪かったり、調査結果の解釈を誤った場合
- ③ 調査は完全であるが、せっかくの調査結果が、構造物の計画、設計、施工に活用されていない場合に分けて考えることができる。しかも、多くの場合この3つの事柄が重複している。

そこで、ここでは土の調査の細部についての問題は他の教科書¹⁾によっていただくことにして、上記の事柄にまとをしぼって述べてみたい。

2. 土質調査で問題のあった例

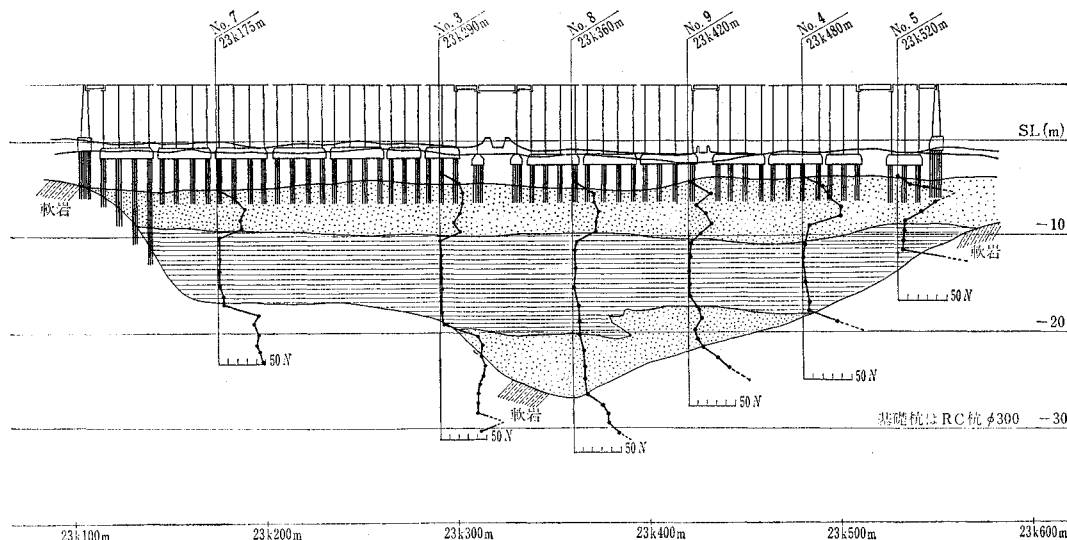
まず、二、三の例について述べてみる。

(1) 基盤層の凹凸

図一1 に示すものは、国鉄外房線の線増電化工事に関連して大網駅が高架橋として新設されるときに当初土質調査による縦断面図である。図で示されるとおり、深さ約 20 m に及ぶ砂層と粘土層からなる、かなり軟弱な沖積層地盤があり、基盤は第三紀軟岩層である。

この調査図によって、高架橋の設計者は当初上部砂層がかなり密であり、しかも連続していると判断し、この層を中間支持層とした杭基礎構造を考えた。もちろん、この砂層下の粘土層の高架橋荷重による圧密沈下も検討したうえでである。

しかし、設計者の一人が現地を踏査して図二で示されるように近接して丘陵地があり、しかも、沖積地との境界がおぼれ谷状になっていることから、高架橋予定地の下にも丘陵の尾根の部分と谷の部分が延長して伏在し



図一1 当初調査による土質縦断面図と中間支持杭による当初基礎設計

* 正会員 理博 日本国有鉄道構造物設計事務所長

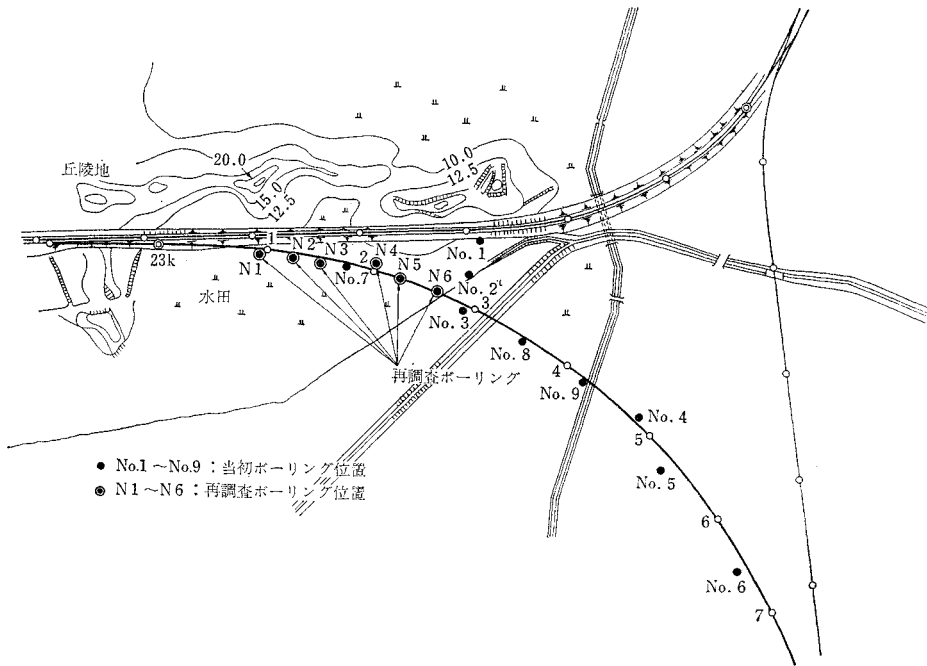


図-2 平面図およびボーリング調査位置

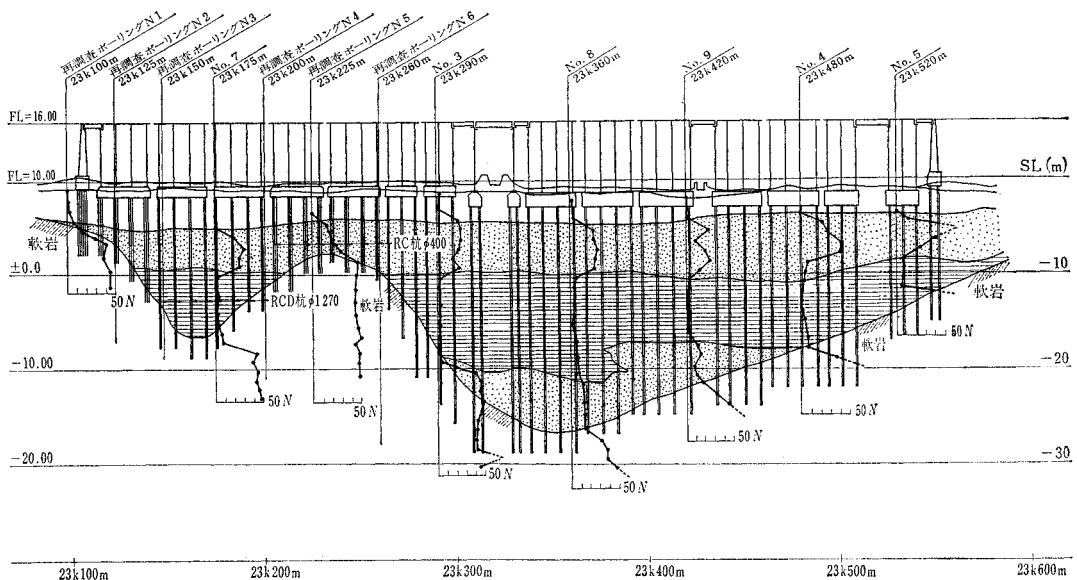


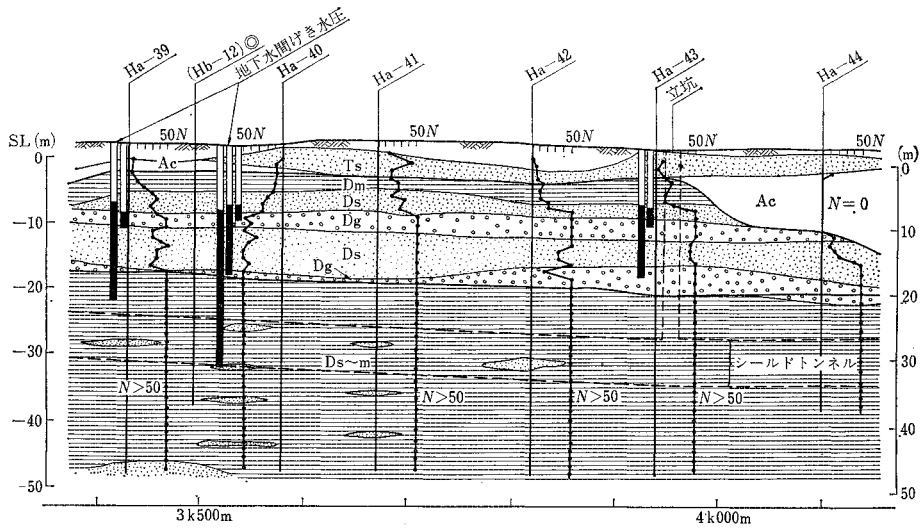
図-3 追加再調査ボーリングにより明らかになった土層断面図と、変更された基礎構造

ているはずだと判断した。したがって、高架橋下の地盤は図-1に示されるよりも、もっと基盤層深度に凹凸があるはずであり、砂層の連続性にも疑問が生じてくる。そうすると、先の中間支持杭による設計前提が成り立たない。

そこで、急速追加ボーリングが施工された結果、図-3に示されるように基盤層の凹凸と土層のつながりが判明した。設計は、この土質調査結果により図-3にみら

れるように、基礎は基盤岩に達する完全支持杭とし、深さに応じて場所打ちコンクリート杭による区間と打込みRC杭による区間に分けて行われることに変更された。図には示されていないが、基盤岩は横断方向にも傾斜していた。

この例での問題は、まず当初ボーリングの位置、間隔の選定にあたり、地形から当然予想される基盤岩の凹凸を考慮していないことと、さらに縦断面を描くにあつ



(Ha-39~44 は当初ボーリング、Hb-12 は後で追加したボーリングの位置を示す)

図-4 当初調査に基づく土質断面図

ても地形地質の配慮がなされておらず、単にボーリング柱状図を横につないだだけの地質縦断面図を描いたことであろう。また、設計者も当初描かれた地質断面図をうのみにしておれば間違った設計を行うところであったが、幸いにして設計初期の段階で現地踏査により気がつき、追加調査を行い、調査結果に従って地盤条件に適合した設計に変更したので事なきを得たものである。

(2) 工地上問題となる土質特性

図-4 はシールドトンネル工事着手前に行われた土質調査により描かれた土質縦断面図である。図でみられるように、地表面下 20 m 付近以下は N 値 50 以上の固結したシルト層を主体とした洪積層地盤である。シルト層間には砂層をはさみ、また、かなりの間げき水圧をもつものであることは、この当初の調査結果からも認められていたが、いずれもレンズ状で宙水のな性格をもつ地下水で、大部分は不透水性の固結性のシルト層が主体であり、工地上はさして問題のない地質であろうと想定された。

ところが実際に工事に着手してみると、シルト層が主体であるとみられた地層は 10~50 cm 程度の厚さをもつシルト層と砂層の互層であり、しかも、各砂層からは水圧をもった地下水が枯渇することなく湧出し、このため立坑ならびにシールド掘削時に崩壊を生じ作業に困難した。

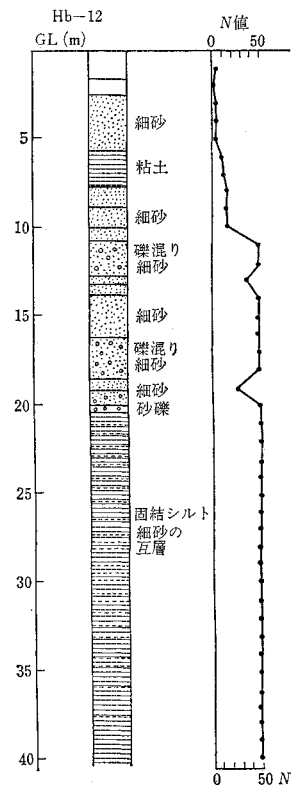
当初のボーリングでは 1 m おきにしか標準貫入試験を実施せず、コアとしてはシルト層のみよく採取され、砂はスライムとして水洗流失される場合が多いため、シルト層のみ強調されたものと思われる。後から施工するた

め追加されたボーリングでは、この点をとくに注意してオールコアリングによつたため、図-5 に示される柱状図のようにシルト層と砂層の互層を明確に認めることができた。

この例では、地下掘削における帯水砂層の重要性が調査時にあまり明確に認識されてなく、また、土質縦断面図の表現が不十分であったこと、ならびに計画・設計者の土質地下水条件に対する判断が甘かったことに問題があったと思われる。

図-6 は、同じシールド工場の他の場所における土質縦断面図である。ここでは、地表下 20 m 付近以深は N 値 50 以上の密に締まった砂層で、しかも地下

水は低下し枯渇しており、当初、工地上なら問題はないと判断された。しかし、工事中なるほど地下水はほとんどなかったが、一部で均等粒径の細砂層に遭遇し、固

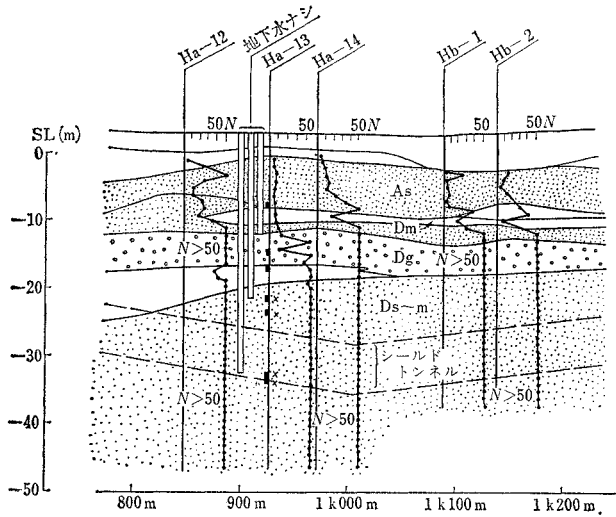


(20 m 以深の固結シルトと細砂の互層が明瞭につかめている)

図-5 追加ボーリングによる土質柱状図

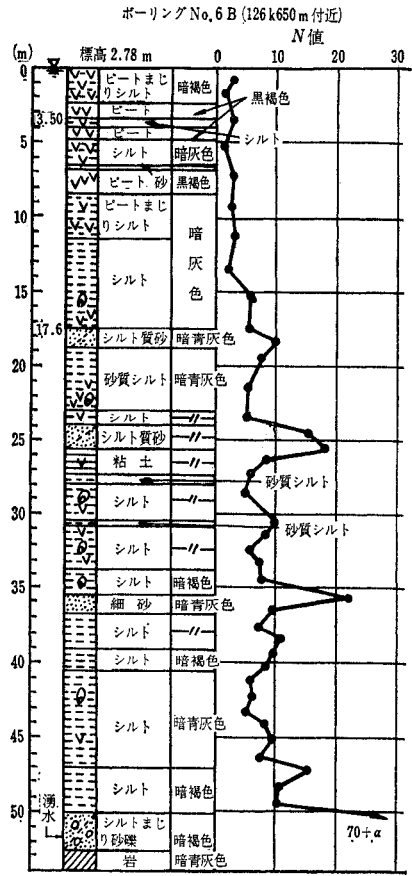
結分がなく、しかもからからに乾いた砂であるため、シールド切羽はさらさらと崩れて上部に空洞を生じ、掘削進行に難渋し、注入工法によりようやく突破した。

この例では、当初のボーリングで一応土質試験の一貫作業として図-6にも示されるように一部砂層の粒度試験が行われており、不十分ながら均等粒径砂の存在が予想された。この例では、乾いた均等粒径の砂がシールドトンネルの掘削に及ぼす影響についての経験が不足で、せっかくの調査データを活用できなかったことに問題が



(■印は土質試験位置、×印は均等係数が2~5であることを示す)

図-6 当初調査による土質柱状図



(50m以深の砂礫層からの湧水が記録されている)

図-7 吉原付近江尾橋梁土質柱状図

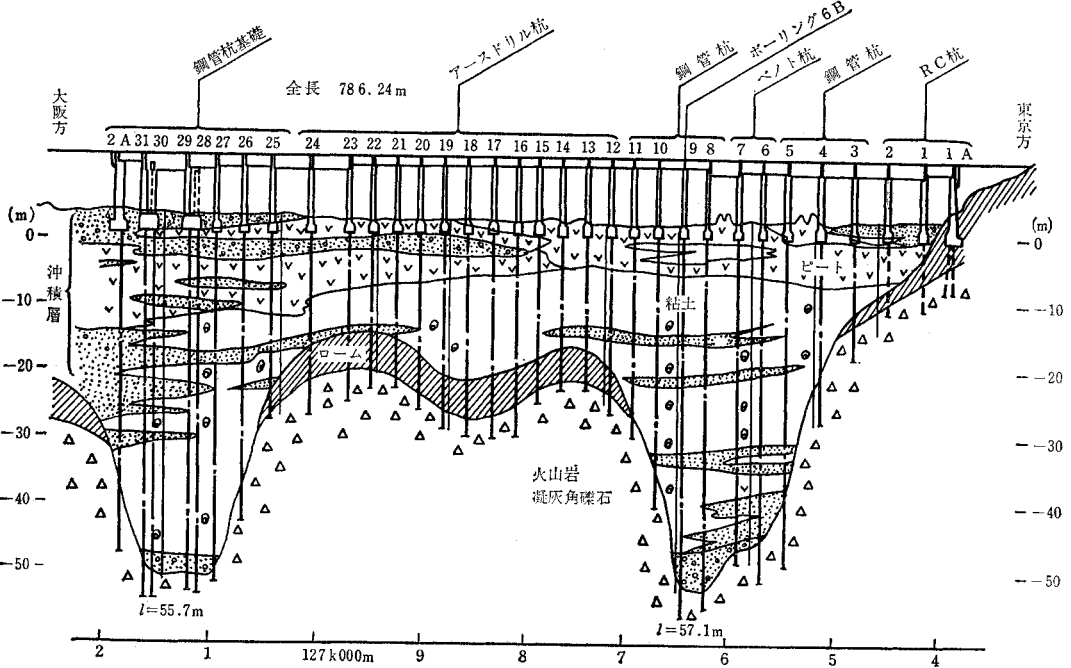


図-8 吉原付近江尾橋梁基礎地盤土質縦断面図

あると考えられる。

(3) 高い被圧地下水

図-7ならびに図-8は吉原市近傍のボーリング柱状図と土質縦断図である。このように、ここではやや軟弱な地盤であり、支持層までの深度が場所により50mにも及んでいる。設計者は基盤層の凹凸も考慮して橋梁基礎として場所打ち杭を採用し、まず一部の基礎について施工試験工事が行われた。コンクリート打設後載荷試験を行ったところ、設計荷重に満たない荷重でブレイクダウンを生じた。原因を究明したところ、-50m以深の基盤層中に、地表面上10m程度に及ぶ被圧地下水があり、これが原因で支持層付近の砂礫層に掘削中ボーリング破壊を生じたためであると想定された³⁾。

この例は、当初のボーリング調査で支持層付近から湧水があることをつかみながら、水圧の正確な測定などの追加調査を行わず調査に欠陥があったことと、さらに、場所打ち杭では地下水圧の高低がその成否を支配する鍵であるにもかかわらず、地下水圧の重要性に対する設計者の認識が甘かったことに失敗の原因がある。この地点は、富士、愛鷹両火山の裾野に位置し、地形地質的環境条件から当然高い被圧地下水の存在を、あらかじめ想定して調査ならびに設計を行うべきところであった。

3. 調査そのものの問題点

(1) 土の調査目的を把握すること

調査というものは、本来目的をもつものであることは自明である。ある場所に土を材料として土構造物をつくる場合、また、土よりなる地盤を構造物の基礎とする場合、あるいは地盤そのものを掘削する場合など、対象とする構造物の種類・規模ならびにその設計法、施工法によっても土の調査の目的は異なってくる。

いずれの場合にも

- ① なにを目的にして調べるのか
- ② なにがその場合問題となるのか
- ③ なにがわかればよいのか
- ④ どうすればそれがわかるのか
- ⑤ では必要にして十分な調査を行うには具体的になにをどういう手順ですればよいのか

という思考順序で調査計画を立て、それに従って調査を実行すれば、おのずから良い調査ができるはずである。

ところが、近ごろのように計画、調査、設計、施工などが完全に分化され、それぞれ別個のグループが行うようになると、とかく全体が見えなくなり、調査は調査のみ独立したものとして歩きはじめ、なにが目的であり、

なにが必要であるかを明確に把握せず、全く画一的な土質調査試験が行われる傾向にあることは憂慮すべきことであり、ここに問題の一端があるように思われる。

調査の第一歩はなにが調査の目的かの明確な把握である。

(2) なにが問題となるのか

調査の目的がはっきりしたとすれば、次はなにが問題であるのかである。前項の目的が人為的な要素が強いのにに対して、なにが問題となるかは、その地区の自然条件に支配されることが多い。例えば、構造物の基礎としても、あるいは大規模な土工にしても、軟弱地盤の存否とその規模、地盤沈下の有無、地すべり、がすいなどの特殊地盤、ならびに土質との関連についての地下水条件などは常に問題になる。一方、大玉石の存在する砂礫層などは、基礎の掘削やアーストンネルなどでは大きな問題であるが、盛土の基礎地盤としては、さして問題とはならない。

大事なことは、その目的に対して、自然地盤の、あるいはその土のなにが問題となるかをしっかりと認識することである。従来、この問題意識の不明確な調査がときどき見られるのは遺憾なことである。

(3) なにを調べればよいのか

調査にあたって留意すべき二、三の事項や、よくおかしやすいミスについて述べてみる。

地形や地質条件を考えずに、前述した2.(1)の例のように画一的な調査をしたために基盤層の凹凸や最も地盤不良な箇所を見落したり、鉄道や道路のような線状構造物で縦断方向にのみ調査を行い、横断方向に基盤層が著しく傾斜しているのに気づかず基礎の設計を行ったため施工時に困難することがある。これなどは、地形平面図をよく見ることによって、どこに埋設谷があるか、どこが最も地盤が弱そうであるか、ある程度判断がつくものである。地盤の予想をつけておくことは、ボーリング位置の決定など、能率的に落ちなく調査を進めるうえに必要なことである。

基盤層や軟弱層中にはさまれる砂、砂礫層中の地下水圧の調査が不十分なケースにしばしば遭遇する。前述の2.(2)および2.(3)はこのような例の一部である。とくに調査の目的が地下掘削やアーストンネルの場合には必須の条件である。また、地下水圧は季節の変動や、あるいは都会地や工場などに近接した地域では、人為的な変動もあることに留意すべきであろう。

一般的なボーリングや地下水調査、土質試験などは十分行われていても、地盤沈下の有無と程度についてなんらの調査も測定もなされていなかったため、地盤沈下に

基づくネガティブ・フリクションにより構造物が破壊した例が知られている。地盤条件や、環境条件から地盤沈下が推定される地域では、地下水圧の変動とともに沈下についての調査を忘れてはならない。

(4) どうすればわかるのか

調査の目的がはっきりし、問題になる事項がなんであるかわかれば、それを構造物の設計なり計画なりに反映させるために必要な諸数値を求めればよい。このための土質調査なり土質試験の行い方は、すでに多数の教科書³⁾に詳述されているとおりである。

(5) 能率的な調査手順

調査というものは、順序を踏まえて行うべきものである。これは非常に重要なことであるにもかかわらず、従来とかく画一的な1回きりの調査ですまそうとする傾向があった。例えば、鉄道とか道路などの線状構造物建設に伴う土質調査で、橋梁とかトンネルなど比較的重要な構造物予定地点のみ1回の調査ボーリングを行い、これで工事にとりかかったところ、重要構造物の間の思わぬ箇所に軟弱地盤を発見して工事に支障をきたしたり、あるいは地形などによる予察を無視して画一的に土質調査を発注したため、明らかに地形上砂礫地盤とわかる場所に多数の土質試験を伴うボーリングを行う無駄が行われたりすることが見られた。

無駄のない、また落ちのない、必要にして十分な調査というものは、まず全般的な概観からはじめて大局的な状況と問題点の把握を行い、問題点を順次しぼって次第に粗から精へと進むべきものである。

4. 調査結果の活用

土の調査の問題では、その結果の活用が最も大事なことである。いかに良い土質調査が行われても、それを正しく読み取り、活用することができなくては、なんのための調査かわからない。

要は

① 調査結果から、その建設目的に対して、なにが問題であるかを読みとること

② その問題に対し、構造物の設計はいかにあるべきかを考えること

③ そして、その地盤条件に適合した構造物の設計・施工を行なうことである。

まず、調査結果の把握であるが、ここで第一に問題となるのは調査結果の表現である。一般に、調査は調査会社が行い、その結果を利用するのは施工事業体や設計会

社であって、調査を行うものとそれを利用するものとは別個のグループである。したがって、調査結果ならびにその意味するところは正しく利用者に伝達されなければならない。ところが、従来の調査報告書は、単にボーリング柱状図や土質試験数値の羅列であったり、調査報告文が記されていてもその内容が適切でなかったり、誤った概念を読む者に与えるものがある。

地盤調査報告書の場合、なによりも大切なことはその調査結果をみることによって地盤状態をほうふつさせるとともに、問題点がどこにあるかがわかるものでなければならない。とくに、広い地域や長い線状の地域の調査場合には、ボーリング柱状図の羅列だけでなく、地盤の縦断面図および横断面図が、平面図(地形コンター入り)のもの、地質の記入があればなお良い)とともに必須のものであると思う。調査結果から正しく解釈されて描かれたこれらの断面図類は、これによってその地盤の良否、特徴、問題点のあり場所とその程度など、設計上必要とする諸条件が一見してわかり、これを読み取る能力のある技術者にとってきわめて有用な情報を提供する。

調査結果の活用にあたって最も困るのは、設計に必要とする基本的な土質のデータが肝じんな箇所について欠けていたり不十分であったり(例えば、地下掘削やシールドトンネルでの帯水層の地下水圧など)、あるいは土質試験値に信頼性の乏しいものがある(例えば、同一深度における土質の物理試験値と力学試験値がとうていあり得ないような組合せの数値となっているなど)ことである。土質調査結果にはできうればその精度、信頼性についても言及すべきであるし、またこれを利用する側の者は土質調査や試験値というものが条件に応じてどの程度の精度、信頼性があるものかということ認識したうえで使用すべきであろう。土質試験報告書にときに3桁を越える数値が記されている場合があるが、これはしばしば誤った概念を与えるものである。土質試験値は大部分は2桁程度、せいぜい3桁程度の精度を出ないし、ときには1桁しか意味がない場合もあることを調査者とともに設計者は銘記すべきであろう。

次に、最も重要な事項に移る。それは地盤や土質調査の結果をその建設目的の計画や設計、施工に反映させることである。この最も重要なこと(これが調査の目的である)が案外疎略に扱われて、調査の結果がどうであろうと、最初の計画時に考えた構造物の構想を少しも変えようとしない事例に出会うことがある。その原因は、前に述べたように調査者と計画者、設計者が異なり、相互の意志の伝達が十分でないこと、あるいは、後者が調査結果の意味するところを読み取れないことにあると思われる。土質調査の重要性はしばしばいわれ、また事実、土質調査はかなり実施されているにもかかわらず、それが

実際の工事に、いかされていない。調査は調査，設計は設計では，全くなんのための調査かということになる。

地盤調査の結果によっては，例えば構造物の基礎を対象とするとき地盤が予想と著しく異なる

ったり，あるいは，予想以上に不良の場合には，単に基礎構造の選定や変更のみにとどまらず，上部構造形式そのものの変更，さらに問題が大きい場合には，その構造物をそこにつくこと自体が問題になることがある。

問題のない良好な地盤の場合とはともかく，不良地盤や問題のある地盤にやむを得ず構造物をつくる場合には，地盤条件に見合った，適性な構造形式をとるべきものであり，地盤条件が構造物の性格を支配すべきものである。

例えば，軟弱層下の基盤までの深度に凹凸があり，途中に基盤層の浅いところがあることが判明した場合には，橋梁の基礎としてはこれを利用して橋台や橋脚の位置を決めた方が有利となることがある。また，これに伴って上部構造形式も当初設計を変更した方が得策となることもあるので，このような場合には，地盤状態をもととして全体を再検討し，最も地盤条件にマッチした構造

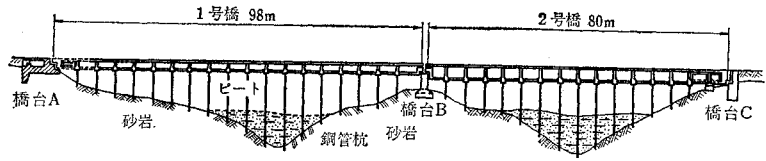


図-9 基礎地盤の状態を反映した構造物の一例

とすべきである。

図-9 に示したものは軟弱地盤下の基盤層の形状を利用して橋台をつくり，橋梁に加わる水平力は上下2枚のコンクリートスラブの横剛性を介して，この橋台に大部分とらせ，途中の基礎杭の軟弱層による水平抗力不足の問題を解決した特殊形式のRC ラーメン連続高架橋の例³⁾である。

土の調査というものは，その調査結果を活かしてこそ意味があるものである。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質調査法，土質工学会，1972年3月。
- 2) 土質工学会編：軟弱地盤における工事実施例，pp. 55～56，土質工学会，1966年3月。
- 3) 森重竜馬：軟弱地盤における特殊高架橋の設計，土木技術，22巻8号，1967年8月。

お待たせしました。待望の杭基礎設計の決定版

監修 工学博士 吉田 巖 杭基礎の設計実技とその解説

——主な内容——

第1章 設計一般	青木 重雄
第2章 基礎地盤調査と載荷試験	吉田 巖
第3章 既製小径杭(RC, PCおよび鋼杭)の設計例	小林 勲 石橋 長和
第4章 大径鋼管杭の設計例と問題点	
第5章 大径PC杭の設計例と問題点	足立 義雄
第6章 場所打ち杭(機械掘削)の問題点と計算例	矢作 枢
第7章 場所打ち杭(人力掘削)の設計(主として斜面上)	林 宣熙 高橋 道生
第8章 杭基礎の特殊問題	

道路橋下部構造設計指針・くい基礎の設計篇の改訂作業が，いま進められている。

本書は，工学博士吉田巖氏の監修で，改訂作業に直接たずさわる方々によって，最新の資料をもとに書下ろされた，杭基礎設計のための実務書である。

執筆にあたっては，専門書にありがちな，理論の先行をさげ，設計実務に即して図表および設計計算例を豊富に盛り込み，細部にわたって親切的な表現法を用いたので，比較的経験の少ない設計技術者にも，充分読みこなせる内容となっている。

したがって，本書は現時点においては最も新しい杭基礎工学書であり，杭基礎の計画，設計，施工にさいして，欠かすことのできない，貴重な手引き書でもある。

B5判 490ページ

定価6,500円 千別

弊社へ直接お申し込みください

株式会社 建設図書

東京都千代田区外神田2-2-17共同ビル
〒101 ☎03-255 6684 振替 東京62450