

「岩を支持層とする杭基礎の調査法」に関する
検討委員会報告書（案）

平成 29 年 1 月

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

まえがき

H27年度に発生した横浜の建築基礎において、杭先端が傾斜・風化の可能性のある岩（支持層）に未到達となり、大きな社会問題となった。この原因のひとつとして、注意すべき地形・地質（傾斜・風化がある岩）における調査が不十分であったことが考えられている。

従来、杭基礎の設計・施工（支持層が土砂・岩盤）に対するボーリングは、土砂ボーリングが主体であった。そのため、岩盤の亀裂・風化で変化する支持層の深さ、支持力をN値では十分に設計・施工に反映できなかった。

本委員会では、岩を支持層とする場合にコアを採取する「岩盤ボーリング」を基本とし、コアの観察、岩石試験などを用いた支持層の考え方を示した。さらに、この支持層を確認するために必要な地盤調査方法について提案を行っている。

この委員会で得られる成果を踏まえて、地盤調査を行えば、杭基礎の設計・施工時のトラブルを未然に防げる手助けにできると考える。

本報告書をまとめるあたり、具体的な現地調査を支持層の硬軟に応じて3か所（長崎、岡山、福島）おこない、現場に合った提案ができるように工夫を行った。

<謝辞>

本委員会では、清田准教授（東京大学生産技術研究所、学識経験者）、七澤上席研究員（国立研究開発法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター、国土交通省）にオブザーバーとして参加していただき、岩を支持層とする杭基礎の支持層調査に関して、貴重な意見をいただいたことに関し、謝辞を申し上げます。

委員会のメンバーは以下の通りである。

委員長：柳浦良行（全地連 WG 主査、基礎地盤コンサルタンツ（株））

委員：萩原育夫（全地連 WG 委員、サンコーコンサルタント（株））

委員：濱田泰治（全地連 WG 委員、川崎地質（株））

委員：奥井裕三（全地連 WG 委員、応用地質（株））

委員：大賀政秀（全地連 WG 委員、(株)ダイヤコンサルタント）

委員：西川隆夫（全地連 WG 委員、中央開発（株））

オブザーバー：七澤利明（土木研究所、上席研究員）

オブザーバー：清田隆（東京大学生産技術研究所、准教授）

事務局：池田俊雄（全地連）

事務局：山本 聡（全地連）

事務局：野村英雄（全地連 WG 委員、基礎地盤コンサルタンツ（株））

事務局：白井康夫（全地連 WG 委員、基礎地盤コンサルタンツ（株））

目 次

| | |
|---|----|
| 1. 委員会の目的 | 1 |
| 2. 岩を支持層とする杭基礎のトラブル事例と地盤調査における留意点 | 2 |
| 2.1 支持層が縦断方向に傾斜していた | 2 |
| 2.2 支持層が横断方向に傾斜していた | 2 |
| 3. 岩を支持層とする杭基礎の調査時の課題の整理 | 4 |
| 4. 課題1（岩盤の支持層の考え方、調査・試験方法が明確でない）に対する解決方法の提案 | 4 |
| 4.1 岩盤柱状図の作成 | 4 |
| 4.2 生成年代、亀裂、風化を考慮した岩盤の分類 | 7 |
| 4.3 支持層確認後の掘進長の目安 | 7 |
| 4.4 調査試験方法 | 8 |
| 5. 課題2（支持層の傾斜（地形：オボレ谷、性状：風化、亀裂）の見分け方が判らない）に対する解決方法の提案 | 9 |
| 5.1 支持層の傾斜の可能性の有無の見分け方の整理 | 9 |
| 5.1.1 地形形成において支持層全体の深さが変化 | 9 |
| 5.1.2 岩盤の亀裂の発達と風化の進行による支持層の深さの変化 | 12 |
| 5.1.3 地形判読、地形地質踏査、ボーリング、物理探査、サウンディングおよび考察による支持層の深さの変化の把握 | 13 |
| 5.2 調査計画の立案 | 20 |
| 5.3 地質平面部、地形地質縦断面図の作成 | 20 |
| 6. 課題3（支持層に傾斜（橋台の幅で1 m以上）の可能性のある場合の詳細な調査方法と限界が判らない）に対する解決方法 | 24 |
| 6.1 各調査手法の特徴 | 24 |
| 6.2 支持層の特性に応じた各調査手法の組み合わせ | 29 |
| 7. 課題4（地盤調査で得られた地質リスク情報の設計者、施工者への伝達方法（予備調査、本調査）が判らない）の解決方法 | 31 |
| 7.1 予備調査における地質リスク情報の整理 | 31 |
| 7.2 本調査における地質リスク情報の整理 | 32 |
| 8. 今後の課題 | 33 |
| 8.1 コンサルティング業務の追加事項としての積算の必要性 | 33 |
| 8.2 残された課題 | 35 |

<参考資料>

- ・岩盤の支持層評価確認のためのチェックシート(案)

1. 委員会の目的

既存の杭基礎の設計施工に対する指針である「道路橋示方書下部構造編（道路協会）」や「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」では、土砂（粘土、砂、砂れき）に対する杭の支持層、支持力の考え方を示してあるが、岩盤に対しては明確な考え方を示していない。

本委員会では、岩を支持層とする杭基礎の支持層の考え方を明らかにし、その支持層を得るために必要な調査、試験方法について提案をおこなった。提案に当たっては、現地に合った提案とするため、具体的な現場において調査を行い基礎データの収集を行った。

2. 岩を支持層とする杭基礎のトラブル事例と地盤調査における留意点

地形の形成過程から支持層の深さが橋台・橋脚および建築構造物の範囲内で1 m以上変化することがある。そのことを想定せずに調査・設計・施工が行われた場合には、以下のような杭の支持層への未達による支持力不足や不同沈下の発生などの地質リスクが発生している。

2.1 支持層が縦断方向に傾斜していた

図 2.1 は渡河橋梁において設計時の支持層が実際と異なった事例である。原因は、橋台、橋脚のジャストポイントで地盤調査が実施されなかったためである。

調査の留意点としては、橋台、橋脚位置では、ジャストポイントで地盤調査を行うことである。特に、周辺地形地質から支持層の傾斜が予想される箇所では、複数本のボーリング調査、サウンディング、物理探査などを行う等の工夫が必要である。

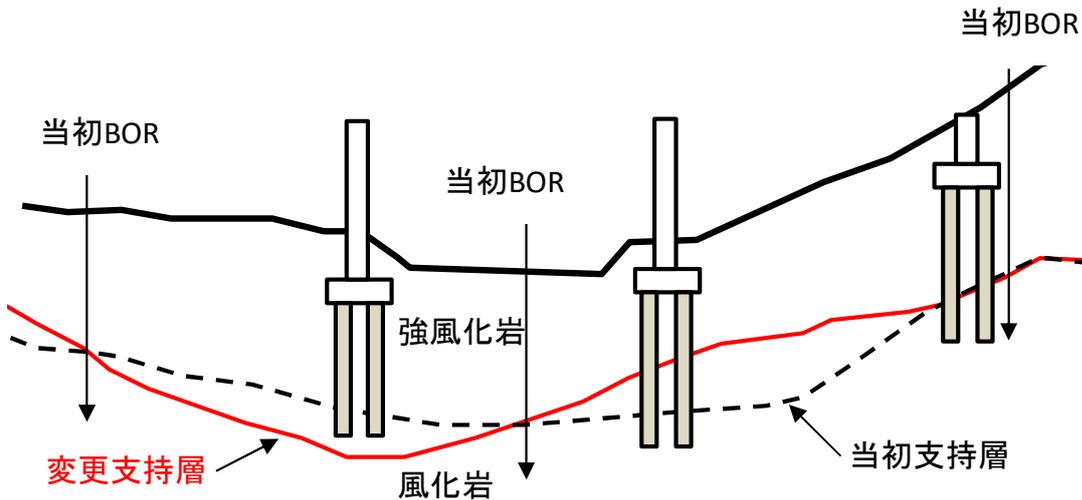


図 2.1 支持層が亀裂・風化で凸凹していた事例

※支持層の変更は、風化岩の傾斜・不陸だけでなく亀裂、風化の影響でも変化

2.2 支持層が横断方向に傾斜していた

図 2.2 はジャストポイントでボーリングが行われたにもかかわらず、施工完了後に本体が傾く変状が生じた事例である。原因は、支持層の横断方向の傾斜を把握できなかったためである。

調査時の留意点としては、横断方向に支持層が傾斜することが予想される場合には、対象範囲を網羅する地盤調査を実施することである。このような場合には、1 構造物に 1 孔では見逃すことが多く、複数の孔の配置、ボーリング調査を補完するサウンディング等の組合せ等の工夫が必要である

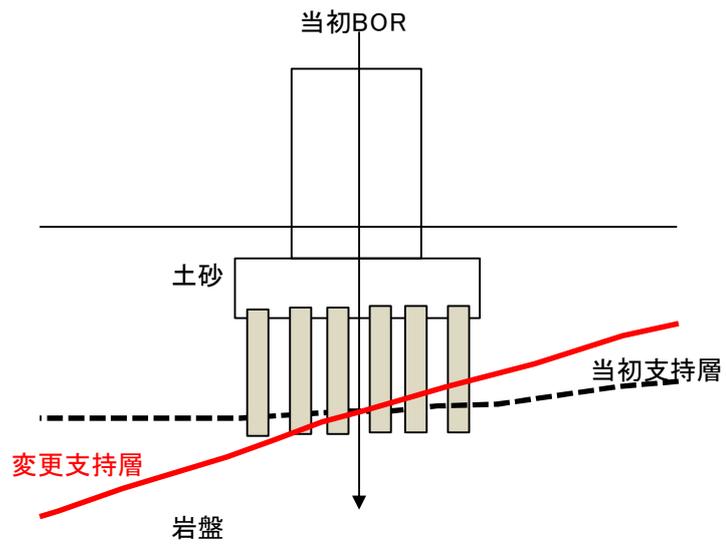


図 2.2 支持層の傾斜が想定と異なった事例

※支持層の変更は、風化岩の傾斜・不陸だけでなく亀裂、風化の影響でも変化

3. 岩を支持層とする杭基礎の調査時の課題の整理

杭基礎のトラブル事例から考えられる地質リスクは、「支持層の深さが変化する」ことである。支持層の深さの変化には、地形の形成過程による岩盤支持層全体の傾斜、岩盤が過去に受けた力や地下水の影響による亀裂や風化などが考えられる。

具体的な課題は、以下のとおりである。

- ・ **課題1**：岩盤の支持層の考え方、調査・試験方法が明確でない
岩種、岩級区分（軟岩、硬岩）に応じた岩の支持層としての考え方を整理し、必要な調査試験方法を整理する。
- ・ **課題2**：支持層の傾斜（地形：オボレ谷、性状：風化、亀裂）の見分け方が判らない
注意すべき地形地質により生じる支持層の傾斜の可能性の有無の見分け方を整理（主として予備調査段階）し、業務内で確実にを行うための施策をまとめる。
- ・ **課題3**：支持層に傾斜（橋台の幅で1 m以上）の可能性のある場合の詳細な調査方法と限界が判らない
支持層の傾斜（橋台の幅で1 m以上）の可能性のある場合に、詳細設計を行ううえで必要な調査方法を整理（主として本調査段階）するとともに、調査の限界（言い換えれば地質リスクとして残る）を示す。業務内でこれらを確認するための施策をまとめる。
- ・ **課題4**：地盤調査で得られた地質リスク情報の設計者、施工者への伝達方法（予備調査、本調査）が判らない
注意すべき地形地質地域（支持層の傾斜以外）に橋梁基礎を築造する場合の設計・施工上の留意点を設計者、施工者に伝達する方法について整理する。

4. 課題1（岩盤の支持層の考え方、調査・試験方法が明確でない）に対する解決方法の提案

岩種、岩級区分（軟岩、硬岩）に応じた岩の支持層の支持層としての考え方を整理し、必要な調査試験方法を整理する。

以下に、課題1に対する対応策を記載する。

4.1 岩盤柱状図の作成

岩の支持層の評価には、岩種、岩級区分、風化、亀裂等の観察を行う必要があるが、従来のN値による評価を主体とした土砂ボーリング（ノンコアボーリング）では、岩の評価に必要なデータが得られない。そのため、岩を支持層とする場合には、岩盤ボーリング（コアボーリング）を行い、採取したコアを観察して岩盤柱状図を作成する。

図4.1と表4.1に岩盤柱状図及び観察項目の例を示し、表4.2に岩級区分と物理力学特性の関係例を示す。岩盤の工学的特性と関連した指標である岩級区分は、岩盤の硬さ（風化や変質の程度）、割れ目面の頻度や状態等に基づくものであり、地質専門技術者によるコア観察並びに体系的な区分が必要となる。

表 4.1 コア観察項目の区分例

(「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い保管要領(案), 平成 27 年 6 月」)

| | | | |
|------|------|--|--------------------------------------|
| コア形状 | I | | 長さ50cm以上の棒状コア。 |
| | II | | 長さが50～15cmの棒状コア。 |
| | III | | 長さが15～5cmの棒状～片状コア。 |
| | IV | | 長さが15～5cmの棒状～片状コア。 |
| | V | | 長さが5cm以下の棒状～片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの。 |
| | VI | | 主として砂状のもの。 |
| | VII | | 主として粘土状のもの。 |
| | VIII | | コアの採取ができないもの。スライムも含む(記事欄に理由を書く)。 |

| 硬軟 | 硬軟区分 | |
|----|------|--------------------------------|
| | 記号 | |
| A | 極硬 | ハンマーで叩くと金属音、DBで2cm/min以下 |
| B | 硬 | ハンマーで軽い金属音、DBで2～4cm/min以下 |
| C | 中軟 | ハンマーで叩くと濁音、容易に割れる。DBで3cm/min以上 |
| D | 軟 | 脆弱で指で割り潰れる。MCで掘進可 |
| E | 極軟 | 粉体になりやすい。MCで無水掘可 |

DB：ダイヤモンドビット、MC：メタルクラウン

| 割れ目状態 | 割れ目状態区分 | |
|-------|---------------------------------------|--|
| | 記号 | |
| a | 密着している、あるいは分離しているが割れ目沿いの風化・変質は認められない。 | |
| b | 割れ目沿いの風化・変質は認められるが、岩片はほとんど風化・変質していない。 | |
| c | 割れ目沿いの岩片に風化・変質が認められ軟質となっている。 | |
| d | 割れ目として認識できない角礫状、砂状、粘土状コアとなっている。 | |

表 4.2 岩級区分と物理・力学特性の例

(「地盤工学への物理探査技術の適用と事例、平成 13 年 10 月」をもとに作成)

| 岩級区分 | 性 状 | 模式図 | 弾性波速度 (km/s) | | | | | 一軸圧縮強さ (×10MPa) | | | | | 電気比抵抗値 (Ω・m) | | | | | | |
|--------|--|-----|--------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|----|--------------|----|----|----|--|--|--|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | 風化作用を著しく受け軟質化し、小岩塊化進み、土砂状化している部分もある。ハンマー打撃で容易に崩れ打音も著しく濁った音である。 | | S | | P | | | | | | | | | | | | | | |
| CL | 風化作用を受け軟らかい岩質ではあるが、岩塊として残っている。ハンマー打撃で濁った音を出し容易に岩塊が分離する。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CM | 風化作用を受け岩質も部分的に軟らかくなっている。割れ目、節理も多く、ハンマー強打によって割れ目沿いに剥離する。打音はやや濁った音を出す。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CH | 造岩鉱物は部分的に風化作用を受けているが、岩質は比較的堅硬である。割れ目は密着しているが、ハンマー打音では少し濁った音を出すことがある。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B A | 新鮮堅硬で、割れ目、節理はほとんどなく密着している。風化・変質を受けていることは少なく、ハンマー打音では澄んだ音を出す。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.2 生成年代、亀裂、風化を考慮した岩盤の分類

生成年代、亀裂、風化を考慮した岩盤の分類を表 4.3 に示す。各分類に従い、今後支持力算定式を整理する。

表 4.3 生成年代、亀裂、風化を考慮した岩盤の分類

| 年代 | 硬岩、軟岩の区分 | | | | 母岩の硬軟 | 亀裂の発達 | 風化の進行 | 呼称 |
|------|----------|-------|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| | 区分 | N値 | 一軸圧縮強度目安 | 変形係数目安 | | | | |
| 鮮新世前 | 硬岩 | 300以上 | 10MN/m ² 以上 | 500MN/m ² 以上 | A~C | 小 | - | 新鮮岩または亀裂の少ない岩(硬岩) |
| | | | | 500MN/m ² 未満 | | 大 | - | 亀裂の多い岩(硬岩) |
| 鮮新世 | 軟岩 | 300未満 | 1MN/m ² 以上 | 500MN/m ² 未満 | C~E | - | 小~大 | 風化している岩(軟岩) |
| | | | | | D~E | - | - | 堆積軟岩(土丹、シルト岩) |
| その他 | | | | | | | | 圧縮性の高い軟岩(風化花崗岩など) |
| | | | | | | | | 被圧が考えられる岩 |
| | | | | | | | | スレーキングの影響がある岩 |

4.3 支持層確認後の掘進長の目安

現場での支持層確認後の掘進長の目安を表 4.4 に示す。

表 4.4 岩盤における支持層確認後の掘進長の目安(斜面上の深礎基礎設計施工便覧に追加)

| 支持層が確認された 深さ | 確認後の掘進長 (m) | | |
|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| | 堆積軟岩 (N 値 50 以上) | 軟岩 (C _L 級) | 硬岩 (C _M 級以上) |
| 地表から 5 m 未満 | 10 | 10 | 5 |
| 地表から 5 m 以深 | 5 | 5 | 3 |

留意点

- ・ 大規模構造物の場合、予備設計で設定されている基礎底面から、基礎の短辺長程度まで掘進する。
- ・ 岩盤(着岩)か転石かの判断をするために、5m以上はコア採取で確認する。
- ・ 表 4.4 には無いが、本州四国連絡橋の建設に当たっては、D 級の風化花崗岩を D_L~D_H 級に細分し、D_H 級岩盤を支持層とした事例がある。ただし、風化が進んだ花崗岩は N 値が高くても大きな変形を示すことがあるので注意が必要である。
- ・ 土丹に代表される堆積軟岩は岩盤分類上では D 級であるが、一軸圧縮強度が $qu > 1000 \text{ kN/m}^2$ 以上を示すものは支持層として良く採用されている。なお現場調査中に支持層の判別のための一軸圧縮試験を行うことは現実的ではないが、このような場合、N 値が 50 以上であれば支持層として十分な強度を持っていることが多い。

4.4 調査試験方法

岩を支持層とする調査試験法を表 4.5 に示す。

表 4.5 生成年代、亀裂、風化を考慮した調査試験方法（案）

| 硬岩軟岩 | コアの硬軟 | ボーリングコアの形状 | | | RQD | 調査試験法 | | | | | 呼称 | 目安 | | |
|------|-------|------------|-----|------------------------|-------|-----------------|------|-----------------|-----|--------|--------------|-------|--------------------|------------|
| | | 記号 | 模式図 | 原位置試験 | | 室内試験（優先順位は左側高い） | | | N 値 | 一軸圧縮強度 | | 変形係数 | | |
| | | | | 標準貫入試験 | | 孔内水平載荷試験 | 一軸 | 三軸又は多段階三軸 | | | | | 一軸+引張+Vp+速度検層（原位置） | |
| | | | | | N 値 | E | qu、E | 亀裂、風化を考慮したc、φ、E | | | | | | |
| 硬岩 | A~C | I | | 棒状 50cm以上 | 100 | ○ | - | ○ | - | - | 新鮮岩又は亀裂の少ない岩 | 300以上 | 10MN/m2以上 | 500MN/m2以上 |
| | | II | | 長柱状 15-50cm | 100 | ○ | - | - | ○ | ○ | | | | |
| | | III | | 短柱状、ほとんど円形コア 5-15cm | 0-100 | ○ | - | - | ○ | ○ | 亀裂の多い岩 | | | |
| | | IV | | 岩片状、不円形コアが多い 5cm以下 | 0 | ○ | - | - | - | - | | | | |
| | | V | | 礫状 コア径を残す | 0 | ○ | - | - | - | - | | | | |
| 軟岩 | C~E | I | | 棒状 50cm以上 | 0 | ○ | ○ | ○ | - | - | 風化している岩 | 300未満 | 1MN/m2以上 | 500MN/m2未満 |
| | | II | | 長柱状 15-50cm | 0 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | | | | |
| | | III | | 短柱状、ほとんど円形コア 5-15cm | 0 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | | | | |
| | | IV | | 岩片状、不円形コアが多い 5cm以下 | 0 | ○ | ○ | - | ○ | - | | | | |
| | | V | | 礫状 コア径を残す | 0 | ○ | ○ | - | ○ | - | | | | |
| | | VI | | 砂状 岩形、コア形なし | 0 | ○ | ○ | - | ○ | - | | | | |
| | | VII | | 粘土状 | 0 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | | | | |
| 堆積軟岩 | D~E | I | | | 0 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | 堆積軟岩 | | | |

留意点

- ・ 亀裂性の岩盤で一軸試験を行った場合には、以下の道路トンネルの亀裂補正の考え方を準用し、補正を行う。

なお、地山の一軸圧縮強度は、亀裂等の存在が無視できる地山においては試料の一軸圧縮強度を適用できるが、亀裂等の影響が大きい地山においては準岩盤強度 qu' (kN/m²) を用いることができる。

V_p : 地山の弾性波速度 (縦波, km/s)

$$q_u' = \left(\frac{V_p}{v_p} \right)^2 \times q_u \quad v_p : \text{試料の超音波伝播速度 (縦波, km/s)}$$

一般的に $v_p \geq V_p$ であるが、スレーキング性や土被り等の関係で $V_p \geq v_p$ となる場合は、 $v_p = V_p$ として準岩盤強度を求める。

原位置で測定した弾性波速度は亀裂の影響や拘束圧の影響を受ける。この内、亀裂の影響は弾性波速度を遅く、拘束圧の影響は弾性波速度を早くする方向に働く。これに対して室内で測定する弾性波速度は、供試体試料には亀裂は無く、拘束圧は解放されている。図 4.2 は原位置と室内の弾性波速度の比較であるが、弾性波速度が低い領域ほど原

位置での測定値が室内のそれに比べて大きい傾向がある。このような事例は応力解放の影響が大きくて亀裂の少ない軟質な堆積軟岩で多いと考えられる。このような場合には補正式の注釈にあるように室内での測定値を用いることで安全側の扱いとなる。また、一軸圧縮強度も応力解放された状態で測定していることを考えればさらに安全側の措置となる。

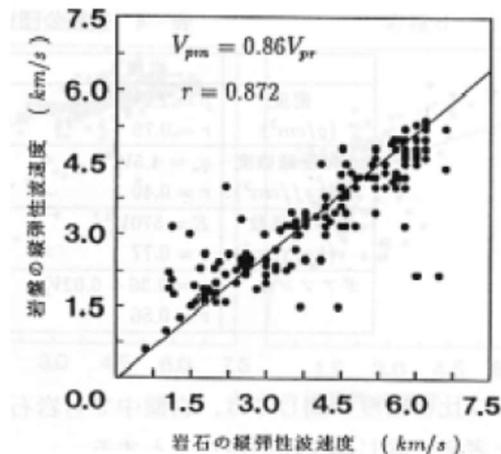


図 4.2 原位置と室内の弾性波速度の比較

- ・ 風化の程度によっては変形しやすいために支持力発現までに大きな変形が生じるなど、岩の状態によっては、強度・変形特性が支持層に達しない場合がある。このため、過大な変形等が生じるおそれのある場合には、他の層を支持層とするなどの対応（杭基礎設計便覧、H27年3月、P155）の検討に必要な変形係数 E についても、地盤調査で確認する。

5. 課題2（支持層の傾斜（地形：オボレ谷、性状：風化、亀裂）の見分け方が判らない）に対する解決方法の提案

注意すべき地形地質により生じる支持層の傾斜の可能性の有無の見分け方を整理（主として予備調査段階）し、業務内で確実にを行うための施策をまとめる。

課題2に対する対応策を以下に示す。

5.1 支持層の傾斜の可能性の有無の見分け方の整理

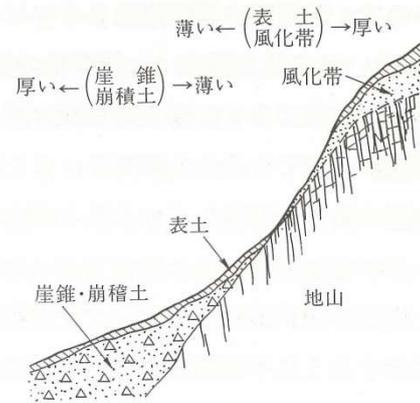
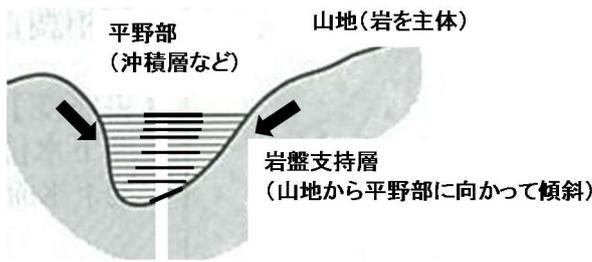
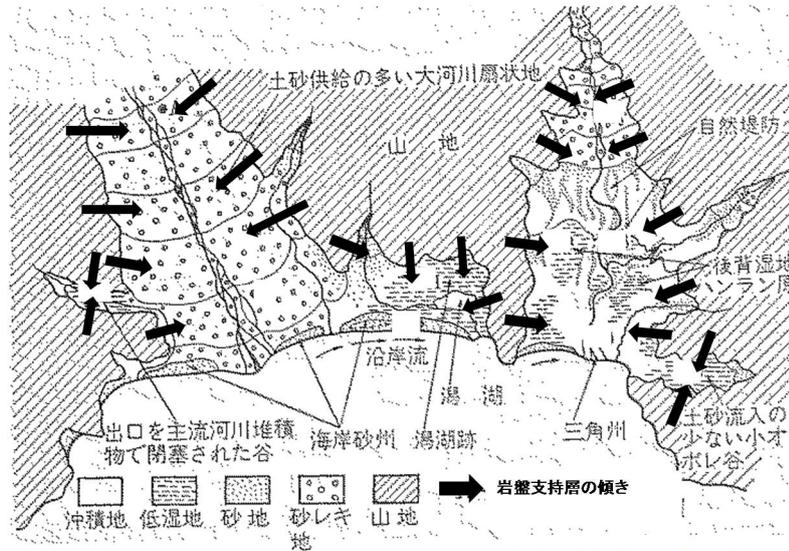
支持層の深さの変化には、地形の形成過程による岩盤支持層全体の傾斜、岩盤が過去に受けた力や地下水の影響による亀裂や風化が考えられる。

支持層の傾斜の可能性に関しては、主に予備調査段階での検討事項である。

5.1.1 地形形成において支持層全体の深さが変化

沖積平野発達史による地形形成から考えると、図 5.1 に示すように岩を主体とする山地と平野部との境界では、岩が平野部の下にもぐりこみ、小オボレ谷付近の模式断面図のように、岩盤支持層の深さが山地から平野部に向かって深くなることが多い。このような箇所を構

造物を設計施工する場合には、支持層の傾斜を疑う必要がある。



【小オボレ谷における岩盤支持層の傾斜の例】

【傾斜地の例】

(地盤工学会：傾斜地と構造物—その調査・設計および維持管理—、平成2年12月)

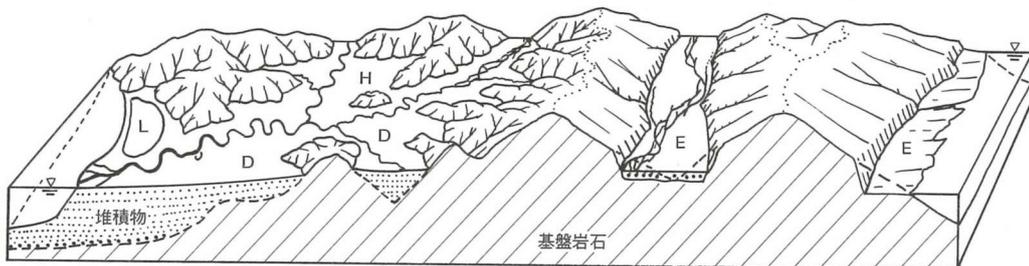


図 5.1.4 堆積低地と侵蝕低地の模式図

D：堆積低地，E：侵蝕低地，L：湖沼，H：島状丘陵。

【堆積低地と侵蝕低地の例】

(鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第2巻低地、平成10年4月)

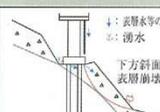
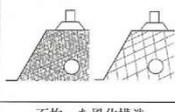
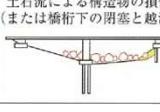
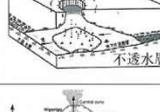
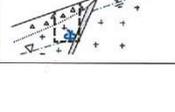
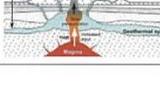
図 5.1 山地近傍での岩盤支持層の傾斜状況

5.1.2 岩盤の亀裂の発達と風化の進行による支持層の深さの変化の評価

岩盤は、過去の浸食・変形作用・風化作用等によって強度や亀裂頻度等の性状が不均質となっている材料と位置づけられ、支持層の評価に当たっては過去並びに将来における地質現象と対応づけて岩盤性状を把握することが重要となる。表 5.1 に岩盤が支持層と想定される地質調査において注意すべき地質条件を示す。岩盤の支持層としての適否及び支持力等には、硬岩地山の場合には亀裂状態（発達頻度や方向性等）が、また軟岩地山の場合には岩の強度が大きく影響し、これらの岩盤性状に関するグルーピング（岩級区分）と、その空間的な広がり（深さ）を岩盤の形成過程を踏まえて評価することが必要となる。さらに、断層破碎帯、斜面変動（土砂災害）、空洞、火山活動等の有無や性状を調査し、支持層としての長期的な安定性を評価することが必要である。

表 5.1 支持層調査において留意すべき主な地質条件

〔岩盤における調査と試験方法、H29年12月〕

| 注意すべき地質条件 | 概念図 | 想定される影響 | 注意すべき地質条件 | 概念図 | 想定される影響 |
|-------------------------|---|---|----------------------------------|--|--|
| 不整合構造 溺れ谷 |  | 支持層の不陸 | 落石 表層崩壊 地すべり |  | 施工時の被災 施工性の低下（移動土塊） 供用時（流末処理等）の被災 土圧バランスの変化（側部崩壊） |
| 不連続面 流れ盤構造 |  | 支持層の不均一性 強度特性の異方性・寸法効果 岩盤すべり | 土石流 |  | 施工・供用時の被災 施工性の低下（巨礫） 土圧バランスの変化（側部浸食） |
| 風化構造 |  | 支持層の不陸・不均一性 施工性低下（風化残留核） | 空洞 （石灰岩） （地下壕跡） （休廃止鉱山） |  | 支持層の不均一性（安定性） 施工・施工時の陥没災害 湧水（地下水の集中） 重金属溶出・酸性水 |
| 流れ盤構造 断層破碎帯 熱水変質帯 |  | 支持層の不陸・不均一性 施工時の突発湧水 重金属溶出・酸性水 膨潤性地山（粘土鉱物） 活断層による構造物の変形 | 火山堆積物 （火山地域） |  | 有毒ガス コンクリート構造物の劣化 |

5.1.3 地形判読、地形地質踏査、ボーリング、物理探査、サウンディングおよび考察による支持層の深さの変化の把握

岩の支持層の深さの変化を把握するための詳細な調査が必要であるかどうかの判定をするため、沖積平野の形成過程を考慮した地形判読、地形地質踏査、ボーリング調査、物理探査、サウンディングおよび支持層傾斜に関する考察などを行う。

(1) 沖積平野の形成過程を考慮した地形判読

山岳地では、現地踏査により容易に岩の支持層の深さの変化の有無を把握できる。丘陵地や平野部では、地表面が水平に近いことが多く、現地踏査だけでは支持層の深さの変化の有無を把握することは困難である。このような場合には、図5.2に示すような沖積平野形成過程を考慮した地形判読を行い、支持層の傾斜や凸凹の程度を評価する。

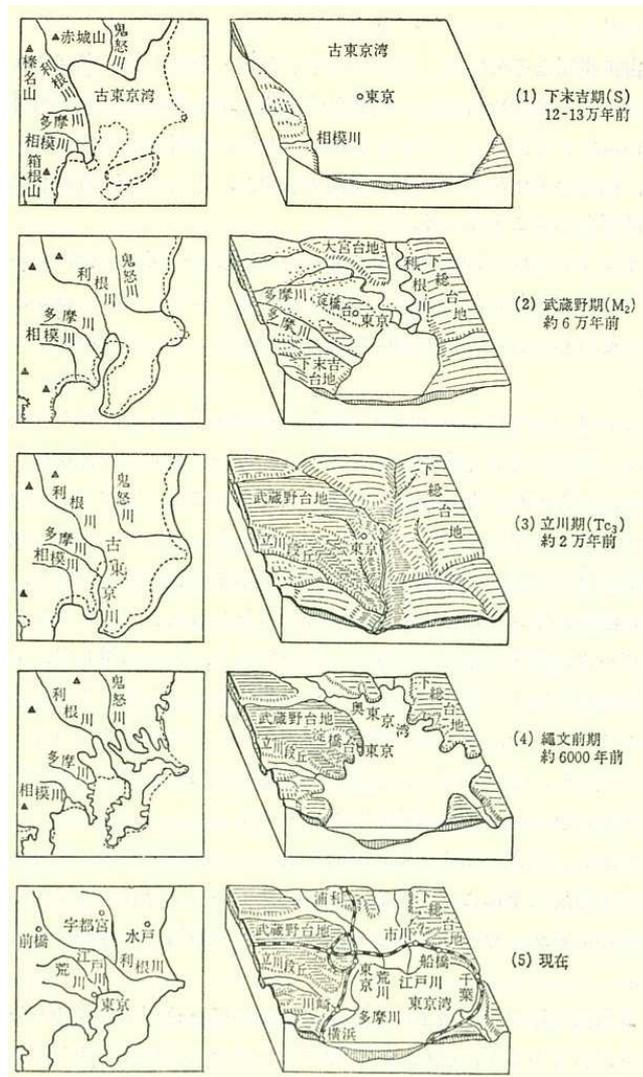


図 5.2 関東平野と東京の地形の変遷

(「東京の自然史：貝塚爽平、紀伊国屋書店、1979年3月」)

左列の▲は活動中の火山

右列の断面にみえる黒い層は関東ローム層の上部（立川ロームと武蔵野ローム）、点は河岸段丘砂礫層、縦線は主に海成層（成田層群と沖積層）

(2) 地形地質踏査

沖積平野の形成過程を踏まえて地形地質踏査（簡易指標試験併用）を行い、表 5.2～5.4 に示すような地形・地質等を現地で確認し、ボーリング、物理探査、サウンディング調査を計画する。計画に当たっては、表 5.5 に示すような公開されている地盤情報データベースを利用する。

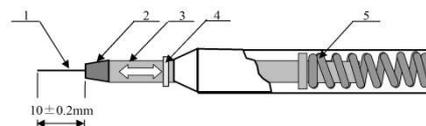
表 5.2 地形の観察・調査項目

（東日本高速道路株式会社：土質地質調査要領、平成 24 年 7 月）

| 地 形 | 現 地 踏 査 の 調 査 事 項 |
|-----------------|---|
| 山 地 | 構成岩種、断層、節理、褶曲軸、走行・傾斜、崖錐、被覆物質の状況 |
| 岩 石 台 地 | 被覆物質の状況、比高、硬さ、分布 |
| 砂 礫 台 地 | 被覆物質の状況、比高、崩壊状況、地下水の状況（地下水面を切る切土は施工および維持が困難） |
| 火 山 灰 台 地 | 堆積物質の状況、崩壊状況、地下水の状況、（地下水面を切る切土は施工が困難、のり面崩壊の恐れがある） |
| 溶 岩 台 地 | 比高、厚さ、硬さ |
| 谷 底 平 野 | 堆積物質の状況、河川及び地下水の状況 |
| 扇 状 地 | ” ” |
| 三 角 州 | ” ” |
| 海 岸 | 砕波の海岸線からの距離、飛散状況、沿岸流の方向 |
| 河 川 敷 | 堆積物の状況、基盤の露出状況 |
| 干 潟 | 干満差、堆積物質の状況 |
| 地 す べ り 地 | 地すべりの位置、亀裂の状況、すべり面の性質、活動状況（方向および規模）、地下水、植生などの被害状況、土地利用状況、池の分布 |
| 崩 壊 地 | 崩壊以前の推定地形、原斜面傾斜、崩壊面の方向、傾斜、湧水、植生状況 |
| 泥 流 お よ び 土 石 流 | 形状、起伏、植生の状況（土工は困難になりやすい） |
| 崖 錐 | 植生の状況、構成物質の状況、地下水の状況（大きい崖錐の切土は極めて困難で地すべり、崩壊を起こしやすい） |
| 砂 丘 | 植生の状況、砂丘の形態、移動の速さ、飛砂の状況 |
| 低 湿 地 | 湿潤の程度、植生、堆積物質の状況 |
| 天 井 川 | 比高、幅、伏流水の状況 |
| 傾 斜 変 換 線 | 上下斜面の傾斜角、地形の連続性（岩質および断層などの推定）浮石の状況 |

表 5.3 簡易指標試験の例

| 区分 | 試験方法 |
|------------|---------------------------|
| 硬さ (硬岩) | エコーチップ硬さ試験 シュミットハンマー試験 |
| 硬さ (軟岩) | 針貫入試験、ピック貫入試験 土壤硬度計 |
| 岩質 | 色彩色差測定、帯磁率計 |
| 水質 | pH計、電気伝導度計、DO計、水温計 |



- 1 貫入針
- 2 チャック
- 3 スピンドル
- 4 浮動指標
- 5 ばね

（針貫入試験装置の例）

表 5.4 露頭の観察・調査項目

(東日本高速道路株式会社：土質地質調査要領、平成 24 年 7 月)

| 地 形 | 露 頭 の 観 察 ・ 調 査 項 目 |
|------------------------|---|
| 未 固 結 堆 積 物 | 礫・砂・粘土・碎屑物の分布状況・厚さ・締め具合 礫の大きさと形状、マトリックスの粒度、含水状態、転石の安定性 |
| 岩 質 | 岩石の種類および名称と硬軟の度合 |
| 地 層 の 層 理 | 走向傾斜、堆積の状況（切り取り面が地層の走向傾斜と一致すると崩壊が起 こりやすい）、褶曲構造 |
| 岩 の 割 れ 目 お よ び 節 理 | 割れ目の開口程度、走向、傾斜、間隔、連続性、密着性、粘土の存在の有 無、斜面との角度、水のしみ出し、湧水 |
| 風 化 お よ び 変 質 | 規模、分布、軟らかさ、粘土化、湧水状況（特に第三紀層）、まさ、変朽安 山岩、蛇紋岩、温泉変質、斜面との角度 |
| 破 砕 帯 断 層 | 走向、傾斜、範囲、破碎の程度、幅、充填物の状態、粘土の挟在の有無、 水のしみ出し、湧水、斜面との角度 |
| 湧 水 お よ び 表 面 水 | 湧水の位置、水温、量、圧力の観測、帯水層、遮水層、地下水面・表面水 の位置および分布、土質の含水状態および冬期における凍結融解の状況、 飲料水、灌漑用水などの概況 |

表 5.5 公開されている地盤情報データベースの例

(日本道路協会：杭基礎設計便覧、平成 27 年 3 月)

| 名称 | 地域等 | 提供・管理 |
|-----------------------------|------|-----------------------|
| 統合地下構造データベース:ジオ・ステーション | 全国 | (独)防災科学技術研究所 |
| 国土地盤情報検索サイトKunijiban | 全国 | (独)土木研究所 |
| 全国電子地盤図 | 全国 | 地盤工学会 |
| 北海道地盤情報データベース | 北海道 | 地盤工学会北海道支部 |
| 東北地盤情報システム みちのくGIDAS | 東北地方 | 東北地盤情報システム研究会 |
| ほくりく地盤情報システム | 北陸地方 | 北陸地盤情報活用協議会 |
| 地盤情報データベース | 関東地方 | 地盤工学会関東支部 |
| 関西圏地盤情報データベース | 近畿地方 | 関西圏地盤情報協議会 |
| 四国地盤情報データベース | 四国地方 | 四国地盤情報活用協議会 |
| 九州地盤共有データベース | 九州地方 | 地盤工学会九州支部 |
| とちぎ地図情報公開システム | 栃木県 | 栃木県県土整備部技術管理課 |
| 栃木県 地質調査資料 | 栃木県 | 栃木県県土整備部建築課 |
| 群馬県ボーリングMap | 群馬県 | (公財)群馬県建設技術センター |
| e-コバトン環境マップ | 埼玉県 | 埼玉県環境部温暖化対策課 |
| 千葉県地質環境インフォメーションバンク | 千葉県 | 千葉県環境生活部水質保全課 |
| 東京の地盤(web版) | 東京都 | 東京都建設局土木技術支援・人材育成センター |
| かながわ地質情報MAP | 神奈川県 | (財)神奈川県都市整備技術センター |
| 横浜市地行政地図情報提供システム「地盤View」 | 横浜市 | 横浜市環境創造局政策調整部環境科学研究所 |
| ガイドマップかわさき(地質図集) | 川崎市 | 川崎市環境局環境対策部環境対策課 |
| 県域統合型GISぎふ | 岐阜県 | 岐阜県県土整備部技術検査課 |
| 静岡県統合基盤地理情報システム | 静岡県 | 静岡県高越基盤部建設支援局技術管理課 |
| 三重県地図情報サービス「Mic Click Maps」 | 三重県 | 三重県県土整備部公共事業運営課 |
| 鈴鹿市シティサイト(土地情報) | 鈴鹿市 | 鈴鹿市都市整備部都市計画課 他 |
| 神戸JIBANKUN | 神戸市 | 神戸の地盤・減災研究会 |
| しまね地盤情報配信サービス | 島根県 | 島根県土質技術研究センター |
| 岡山県地盤情報 | 岡山県 | 岡山地質情報活用協議会 |
| 徳島県地盤情報検索サイト | 徳島県 | 徳島県県土整備部建設管理課 |
| 高知地盤災害関連情報ポータルサイト | 高知市 | 高知地盤災害情報評価委員会 |
| かごしま地盤情報閲覧システム | 鹿児島県 | (公財)鹿児島県建設技術センター |

(3) ボーリング調査

1) ボーリングによる構造物位置の支持層の深さの把握

岩盤ボーリング (N 値併用のオールコアボーリング) により、地層構成、支持層の深さを把握する。

2) コア採取による岩種、岩級区分の把握

採取されたコアを観察し、岩種、岩級区分を把握し、岩盤柱状図として整理する。

3) 原位置試験、室内試験による岩盤性状の把握

硬岩、軟岩における亀裂、風化の程度に応じて、支持力算定の指標値となるせん断強度 (一軸圧縮強度、粘着力、内部摩擦角、変形係数など) を求める。表 5.6 に支持層層付近での原位置試験、室内試験の例を示す。

表 5.6 支持層付近での原位置試験、室内試験の例

| 硬岩軟岩 | コアの硬軟 | ボーリングコアの形状 | | | RQD | 調査試験法 | | | | | 呼称 | 目安 | | |
|------|-------|------------|-----|------------------------|-------|------------------|------|------------------|-----|--------|--------------|-------|---------------------|------------|
| | | 記号 | 模式図 | 原位置試験 | | 室内試験 (優先順位は左側高い) | | | N 値 | 一軸圧縮強度 | | 変形係数 | | |
| | | | | 標準貫入試験 | | 孔内水平荷重試験 | 一軸 | 三軸又は多段階三軸 | | | | | 一軸+引張+Vp+速度検層 (原位置) | |
| | | | | | N 値 | E | qu、E | 亀裂、風化を考慮した c、φ、E | | | | | | |
| 硬岩 | A~C | I | | 棒状 50cm以上 | 100 | ○ | - | ○ | - | - | 新鮮岩又は亀裂の少ない岩 | 300以上 | 10MN/m2以上 | 500MN/m2以上 |
| | | II | | 長柱状 15-50cm | 100 | ○ | - | - | ○ | ○ | | | | |
| | | III | | 短柱状、ほとんど円形コア 5-15cm | 0-100 | ○ | - | - | ○ | ○ | 亀裂の多い岩 | | | |
| | | IV | | 岩片状、不円形コアが多い 5cm以下 | 0 | ○ | - | - | - | - | | | | |
| | | V | | 礫状 コア径を残す | 0 | ○ | - | - | - | - | | | | |
| 軟岩 | C~E | I | | 棒状 50cm以上 | 0 | ○ | ○ | ○ | - | - | 風化している岩 | 300未満 | 1MN/m2以上 | 500MN/m2未満 |
| | | II | | 長柱状 15-50cm | 0 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | | | | |
| | | III | | 短柱状、ほとんど円形コア 5-15cm | 0 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | | | | |
| | | IV | | 岩片状、不円形コアが多い 5cm以下 | 0 | ○ | ○ | - | ○ | - | | | | |
| | | V | | 礫状 コア径を残す | 0 | ○ | ○ | - | ○ | - | | | | |
| | | VI | | 砂状 岩形、コア形なし | 0 | ○ | ○ | - | ○ | - | | | | |
| | | VII | | 粘土状 | 0 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | | | | |
| 堆積軟岩 | D~E | I | | | 0 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | 堆積軟岩 | | | |

(4) 物理探査

物理探査としては、図 5.3 に示すように地盤に振動を与えてその伝搬速度から地層構成を推定する弾性波探査や表面波探査などがある。深度的には 10~100m まで対応可能であるが、支持層深度に対する精度は 2~10m 程度であり、概略の支持層の傾斜を把握することが可能である。

留意点としては、探査深度に応じた測線幅が必要であり、事前に地権者の了解を得る必要がある。また、表面波探査では、地表面がほぼ水平であることが現地条件となる。

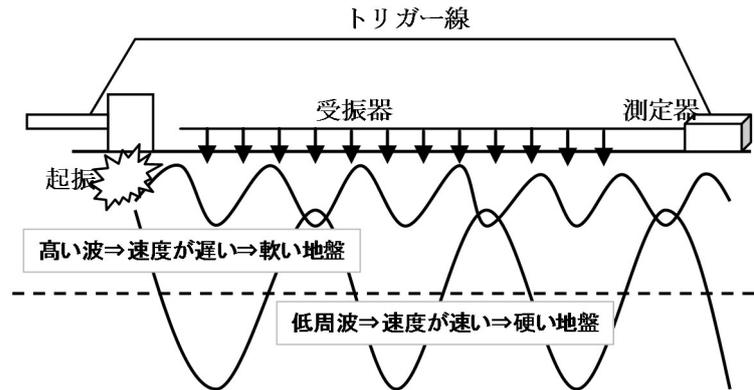


図 5.3 表面波探査の例

(5) サウンディング

岩の支持層を調査可能なサウンディング方法としては、動的コーン貫入試験（図 5.4 参照）やスウェーデン式サウンディングなどがある。調査可能深度としては、岩の支持層上部の地盤が軟弱層である場合には、GL-10~20m 程度まで対応可能である。支持層深度での N 値は、動的コーン貫入試験で 50 以下、スウェーデン式サウンディングでは 10 以下であり、軟岩を支持層かつ小規模な構造物の調査に適する。また、概略の支持層の傾斜を把握することが可能である。

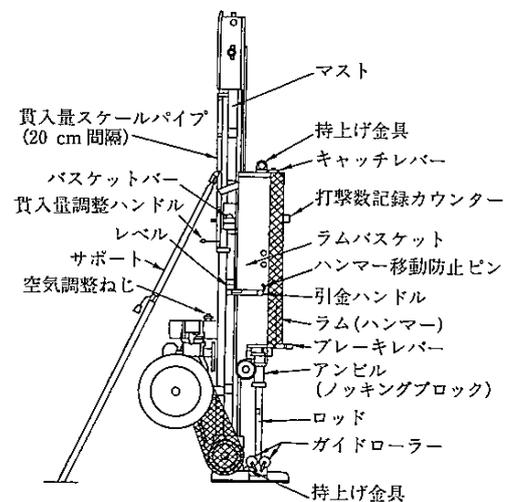


図 5.4 オートマチックラムサウンディングの例

サウンディングは、図 5.5 に示すように、ボーリング調査の補間方法としては有効な方法である。

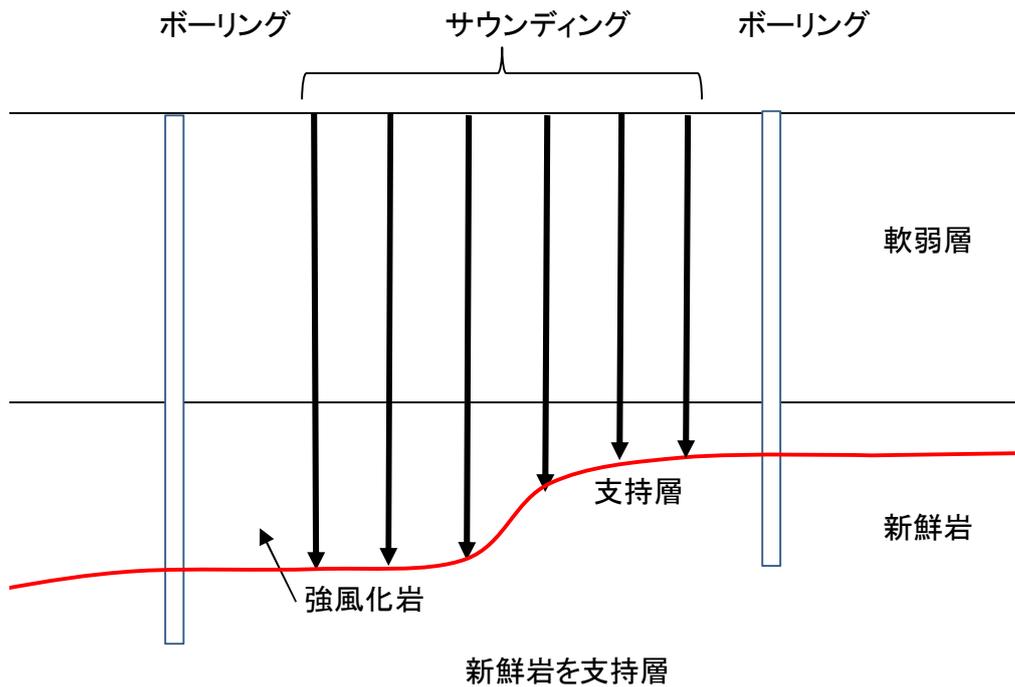


図 5.5 ボーリングの補間方法としてのサウンディング

サウンディング適用上の注意すべき地形地質を以下に示す。

適用可能な GL-10~20m は、支持層までの地層が軟弱であることが前提である。中間層に N 値 20 程度の砂層が連続する場合には、貫入不能となり支持層と勘違いする場合がありますので注意が必要である。(図 5.6(a)参照)。

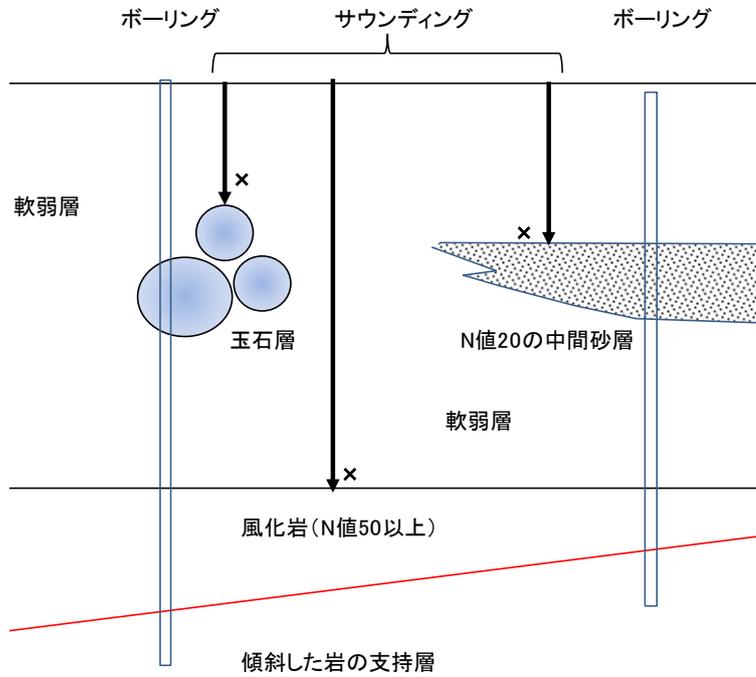
岩の支持層を N 値 50 以上に設定する場合には、図 5.5(a)に示すように、サウンディングでは支持層まで到達しないことがあるので注意が必要である。

風化花崗岩では、亀裂に沿って玉ねぎ状の風化が進むことが多く、風化の状況によってはサウンディングが適用できない場合があるので注意が必要である。(図 5.6(b)参照)

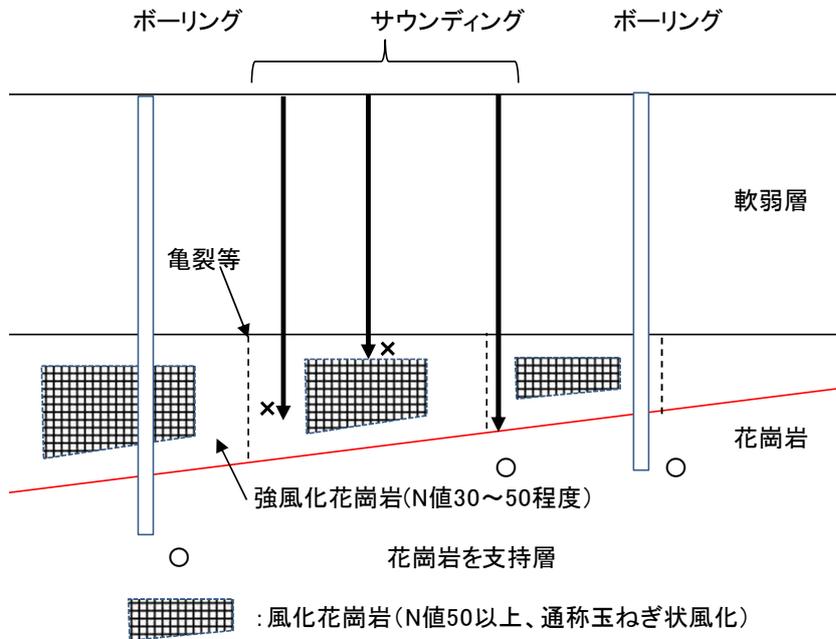
これらの留意点を踏まえると、サウンディングは単独で用いることは支持層の深度、傾斜の有無の判断を誤ることがある。必ずボーリングと併用し、ボーリングの補助的なものと考えて調査をすべきである。

(6) 支持層傾斜に関する考察

沖積平野の形成過程、ボーリング調査、地形地質踏査、物理探査、サウンディング結果を踏まえて、支持層の傾斜に関して考察を行う。考察結果は、後述する地形地質縦断面図に整理する。



【(a) 支持層の上に風化岩、玉石、中間砂層がある例】

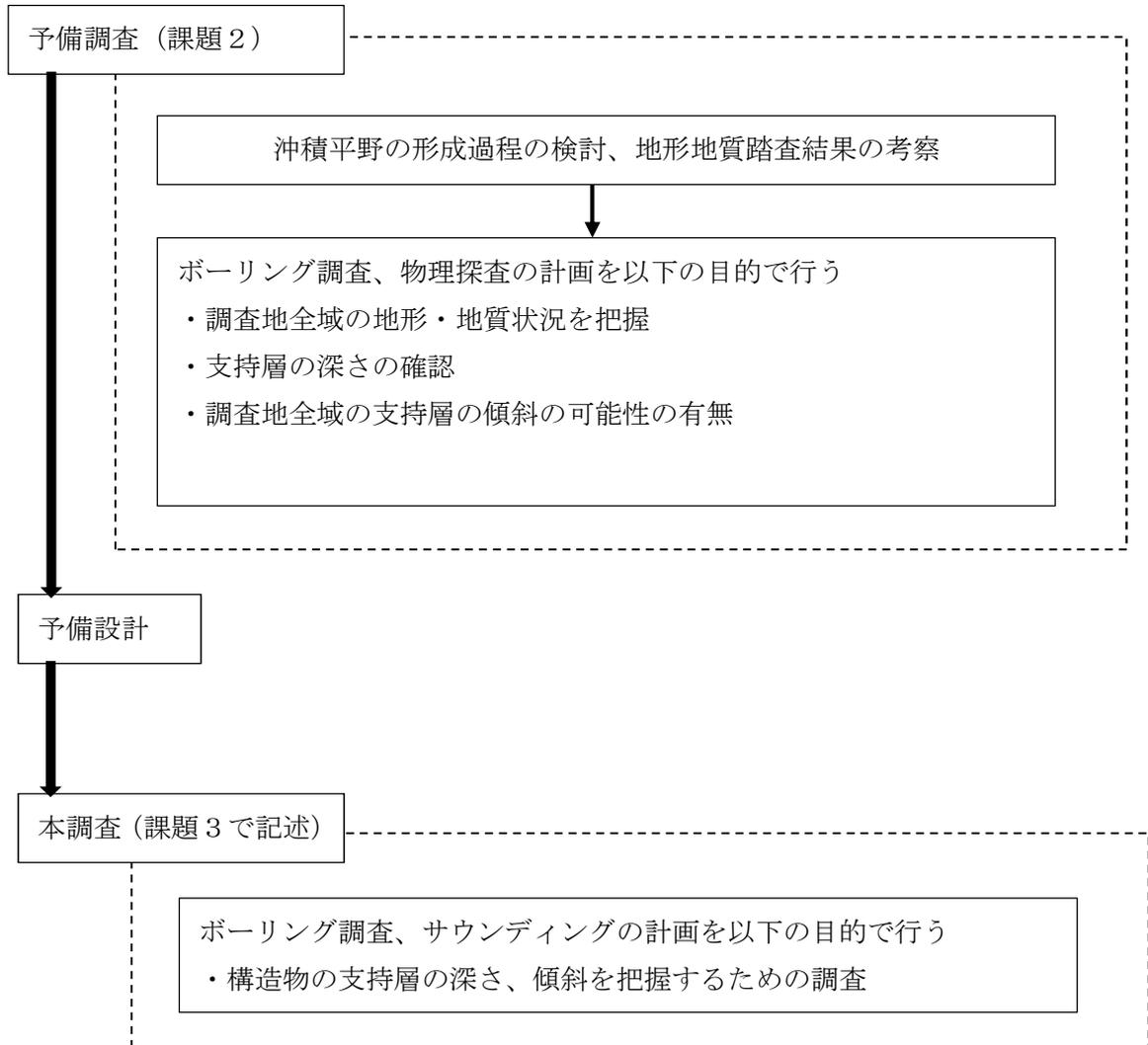


【(b) 花崗岩の支持層上部の風化の例】

図 5.6 サウンディング適用上の注意すべき地形地質

5.2 調査計画の立案

支持層の傾斜の有無を評価するため、沖積平野の形成過程、地形地質踏査を踏まえて以下のような調査を計画する。



5.3 地質平面部、地形地質縦断面図の作成

沖積平野の形成過程、地形地質踏査、ボーリング調査、物理探査、サウンディングおよび考察を踏まえて、「調査地全域の地形・地質状況」、「支持層の深さ」、「調査地全域の支持層の傾斜の可能性の有無」、「その他注意すべき地形地質」を整理した地質平面図、地形地質縦断面図を作成する。

地層線および支持層線は、ボーリング間で地層の連続性が不確実および傾斜や不陸が想定される場合には、破線等による表現とし、設計者や後続調査技術者に、地質リスクとして確実に伝達するものとする。

図 5.7 に地質平面図、地形地質縦断面図の例を示す。

地質凡例

| 地質時代 | 地層名 | 地質記号 | 記 事 |
|--------------------|--------------------|------|---|
| 新第三紀 第四紀 沖積層 | 扇状堆積物 | dt | 山麓斜面および谷間に分布する。砂質土～硬泥り土を主体とし、緩い勾配にある。 |
| | 扇状地堆積物 (土石流堆積物) | fd | 花崗岩を底層間に挟みこむ。扇状地堆積物より締り度の良い硬質土。 |
| | 流紋岩 | Rh | 扇状地で花崗岩の上位に分布する。30°程度の傾斜を有する。露出している箇所は、地表では転石として観察される。 |
| | 花崗岩 | Gr | 当群地の土なる基盤層。粗粒花崗岩を主体とし、部分的に細粒基岩を含む。基岩付近では変質が進行しているほか、変質し白濁した岩相を呈することが多い。 |

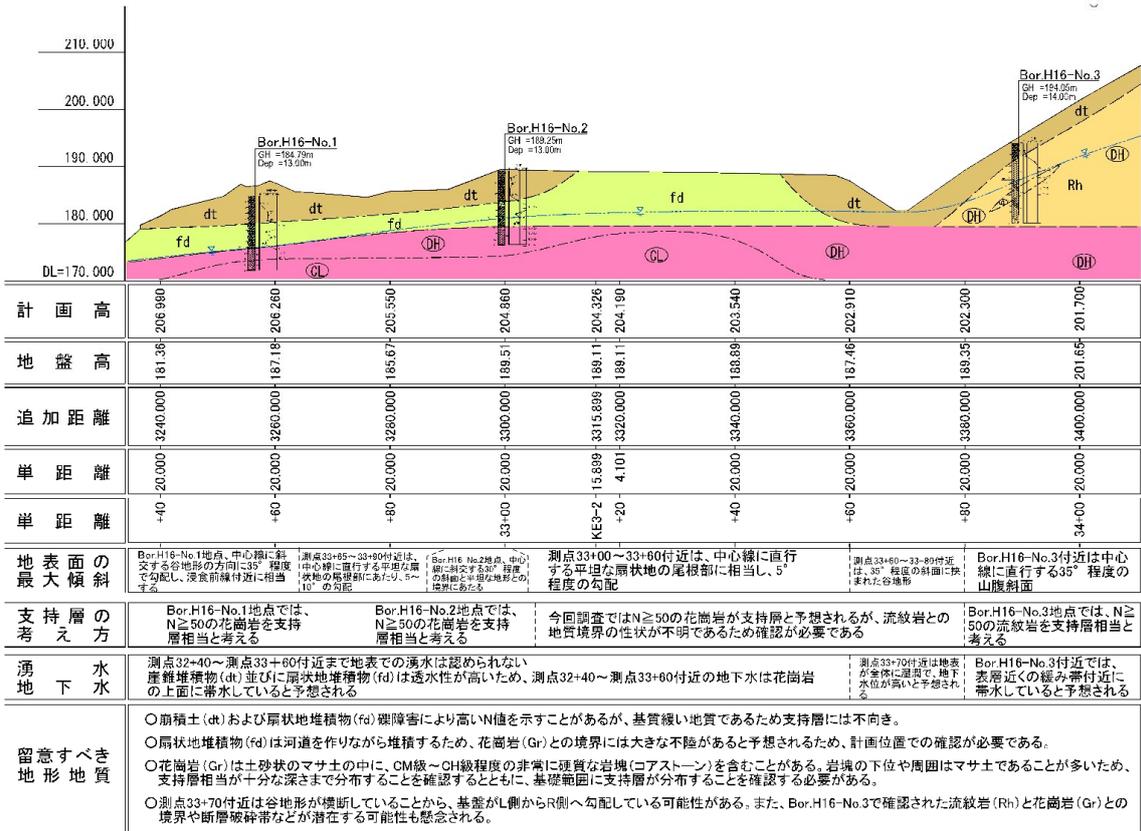
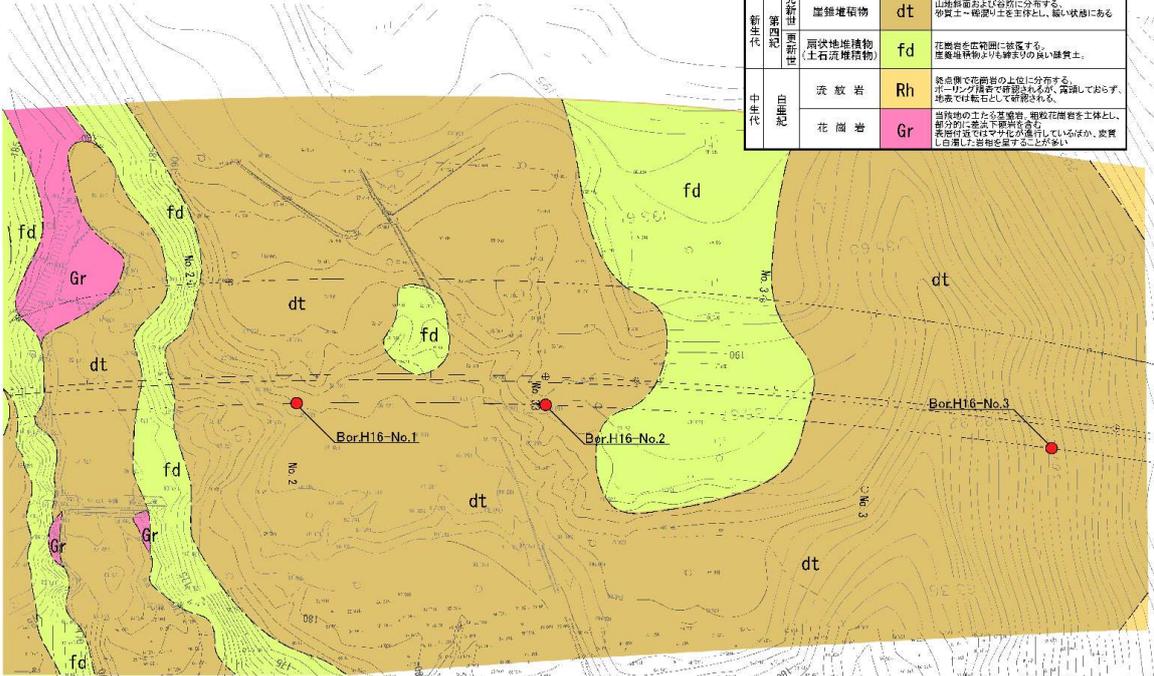


図 5.7 (3) 地形地質縦断面図の例 (丘陵、山地部)

6. 課題3（支持層に傾斜（橋台の幅で1 m以上）の可能性のある場合の詳細な調査方法と限界が判らない）に対する解決方法

支持層に傾斜（橋台の幅で1 m以上）の可能性のある場合に、詳細設計を行ううえで必要な調査方法を整理（主として本調査段階：構造物の位置、規模が決まった段階）するとともに、調査の限界（言い換えれば地質リスクとして残る）を示す。

以下に課題3に対する対応策を示す。

6.1 各調査手法の特徴

ボーリング調査に替わる補完調査手法として、表 6.1 に各種サウンディング、表 6.2 に物理探査をまとめる。

表 6.1 ボーリングの補完を目的とした主なサウンディングの種類

| 調査方法 | | 機械式コーン貫入試験 (オートマチック ラムサウンディング) | スウェーデン式サウンディング | ポータブルコーン貫入試験 | 簡易動的コーン貫入試験 | 電気式静的コーン貫入試験 (CPTU) | 標準貫入試験 (ボーリング) |
|----------|----------|--|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| 主な目的 | | 地盤の硬軟、締まり具合の判定 | 地盤の硬軟、締まり具合、地盤構成、基礎地盤の支持力算定 | 軟弱地盤のコーン貫入抵抗、表土のトラフィカビリティ | 自然斜面の表層部、宅地等小規模建築物基礎の支持力算定 | 地盤構成、力学特性、液状化強度、弾性波速度など | 地盤の硬軟、締まり具合の判定、土質試料の採取 |
| 調査方法 | | φ45mm の円錐の打撃貫入 63.5kg のハンマーを 50cm 自由落下) | φ33mm のスクリーポイントを 1000N の荷重と回転貫入 | φ28.6mm の円錐を人力で静的貫入 | φ25mm 円錐の打撃貫入 5kg のハンマーを 50cm 自由落下 | 断面積 1000mm ² (φ36mm 程度) の円錐を静的貫入 | SPT サンプラー(外径 51mm) の打撃貫入 (63.5kg のハンマーを 76cm 自由落下) |
| 作業範囲の条件 | 広さ | 2.5m×5m 程度 ※傾斜地は足場仮設要 | 2m×2m 程度 | 1m×1m 程度 | 1m×1m 程度 | 2.5m×5m 程度 車載方もあり ※傾斜地は足場仮設要 | 5m×5m 程度 ※傾斜地は足場仮設要 |
| | 高さ | 地表より最低 3m | 2m 程度 | 1.5m 程度 | 1.5m 程度 | 2m 程度～ | 地表より最低 3m |
| 測定物理量 | | Nd | Nsw, Wsw | qc | Nd | qc (先端抵抗), fs (周面摩擦力), u (間隙水圧) | N 値 |
| | | 20cm 貫入に要する打撃回数 | 25cm 貫入に要する荷重と半回転数 | 10mm/s の貫入速度における荷重計の目読み (10cm 程度ごと) | 10cm 貫入に要する打撃回数 | 20mm/s の貫入速度による連続測定 | 30cm 貫入に要する打撃回数 |
| 調査能力 | 適用深度 (m) | 20m | 10m 程度 周面摩擦力の影響 | 5m 程度 | 3～5m 程度 周面摩擦の影響 | 26～60m (コーンタイプ、地盤反力による) | 制限なし |
| | 摘要 N 値 | 50 程度 | 10 程度 | 5 程度 | 10 程度 | 15 以下 (車載型は 50 以下) | 換算 300 以上 |
| | 支持層の確認精度 | N 値 50 以下で上端深度のみ 精度 20cm | N 値 10 以下で上端深度のみ 精度 25cm | N 値 5 以下で上端深度のみ 精度 10cm | N 値 10 以下で上端深度のみ 精度 10cm | N 値 15 以下で上端深度のみ 精度 10cm | 換算 N 値 300 以上、層厚確認 精度 10cm |
| 足場の必要性 | | 傾斜地では足場仮設が必要 | 半自動式は傾斜地で足場仮設必要 | 不要 | 不要 | 傾斜地では足場仮設が必要 | 傾斜地では足場仮設が必要 |
| | | 足場仮設※直接費 平坦地 5.5 万円 傾斜地 20 万円 水上 40 万円程度 | | | | | |
| 岩盤の支持層評価 | 上端面 | 軟岩 (N 値 50 以下) であれば可能 | 岩盤層の上部に中間層が無い場合のみ可能 | | | | ○ |
| | 層厚 | | × | | | | ○ |
| | 地層傾斜・凹凸 | 軟岩 (N 値 50 以下) であれば可能 | 岩盤層の上部に中間層が無い場合のみ可能 | | | | ○ |
| 経済性 ※直接費 | | 7,000 円/m (土砂) | 5,000 円/m (土砂) | 5,000 円/m (土砂) | 3,000 円/m (土砂) | 9,000 円/m (土砂) | 11,000 円/m (土砂) 24,000 円/m (岩盤) |
| 合評価 | | BOR 程度の準備工が必要 地層の目視観察は不能。 | 礫や中間層で貫入不能 風化層等の見分けは困難 | 地表付近の軟質部の厚さ確認に限定 | 地表付近の軟質部の厚さ確認に限定 | 反力必要・作業効率はやや劣る | 地層の目視確認可能 |

表 6.2 地盤構造の推定に用いる主な物理探査の種類

| 調査方法 | | 弾性波探査 | 表面波探査(高密度) | 微動アレイ | トモグラフィ |
|----------|---------|--|---------------------------------------|--|--|
| 主な目的 | | 地盤の速度構造・断層 | 地盤の速度構造・空洞調査・液状化予測 | 構造物周辺地盤のS波速度構造 | 精度の高い速度構造 |
| 施工方法 | | 多チャンネルの地震計を配置し、人工的な起振による振動を測定する。 | 多チャンネルの地震計を配置し、人工的な起振による振動(表面波)を測定する。 | 複数の地震計を地表面に配置し、自然な地盤振動を測定する。 | 複数のボーリング孔を利用し、孔間の物理量を面的に入手する。 |
| 測定物理量 | | 弾性波速度(P波・S波) | 表面波速度 | 表面波速度(常時微動) | 弾性波速度・比抵抗 |
| 作業範囲の条件 | 広さ | 受振器の設置する延長×幅 | 探査深度の2倍以上の測線長 | 測定深度の2倍以上 地震計の配置箇所は1㎡程度であるが、地震計間隔と箇所数に制限がある | ボーリング作業可能範囲 |
| | 平坦性 | 不問 | 起伏のなだらかな平坦地 | 基本的に平坦地 | 不問 |
| | 高さ | 不問 | 不問 | 不問 | ボーリング可能な3~5mの離隔 |
| | 水上 | ○ | × | × | ○ |
| 調査能力 | 適用深度(m) | 起振のエネルギーにより数10m~数100m(おおよそ探査深度の5~10倍の測線長) | 10m程度(重量300kg級起振器でも20~30m程度) | 数10m~数1000m(最大アレイ半径程度)20m以浅の極表層は困難 | 起振のエネルギーにより数10m~数100m |
| | 概略精度(m) | 2m程度(起振源による) | 2m程度 | 数m(配置間隔による)深さ方向のみ | 2~5m |
| | 適用地盤 | 中間低速度層、薄層の検出は困難 | 起伏の激しい箇所、浅部が深部より高い速度層を持つところは難。 | 水平成層構造の地盤が前提 複雑な地盤構成は不適 | 特に不問 孔間の人工物等の検出 |
| | 備考 | 岩盤分類等の力学的特性の評価 大きな振動限が近くにある場合は困難 | 起振器利用と多チャンネルの2方式 精度は数10cm以上 | 地盤振動を利用した表面波探査 | 医療用X線CTの応用 複数のボーリング孔が必要 精度は孔間距離の1/10程度 |
| 岩盤の支持層評価 | 上端面 | ×ボーリングと併用することにより、当該層の速度分布のみ可能(精度は2m程度) | | | |
| | 層厚 | ×1mの精度を満たすことは困難 | | | |
| | 地層傾斜・凹凸 | 有無のみ可 | 有無のみ可 | 1アレイでは不可 | 有無のみ可 |
| 経済性 ※直接費 | | 320万円/km | 450万円/km | 50万円/1箇所 | 200万円/1孔間 |
| 総合評価 | | 探査深度の倍以上の測線長を要する | 平坦地が前提のため不可 | 平坦地が前提 傾斜を求めることは1アレイでは困難 | ボーリング孔を複数用意する必要があり、経済性に劣る |
| | | 総じて1mの精度を満たすことは現実的に困難であり、概略調査時等の広域な地盤性状の把握に限定される | | | |

図 6.1 に、物理探査、サウンディングおよびボーリング調査による支持層可能調査深度および支持層での調査精度を示す。

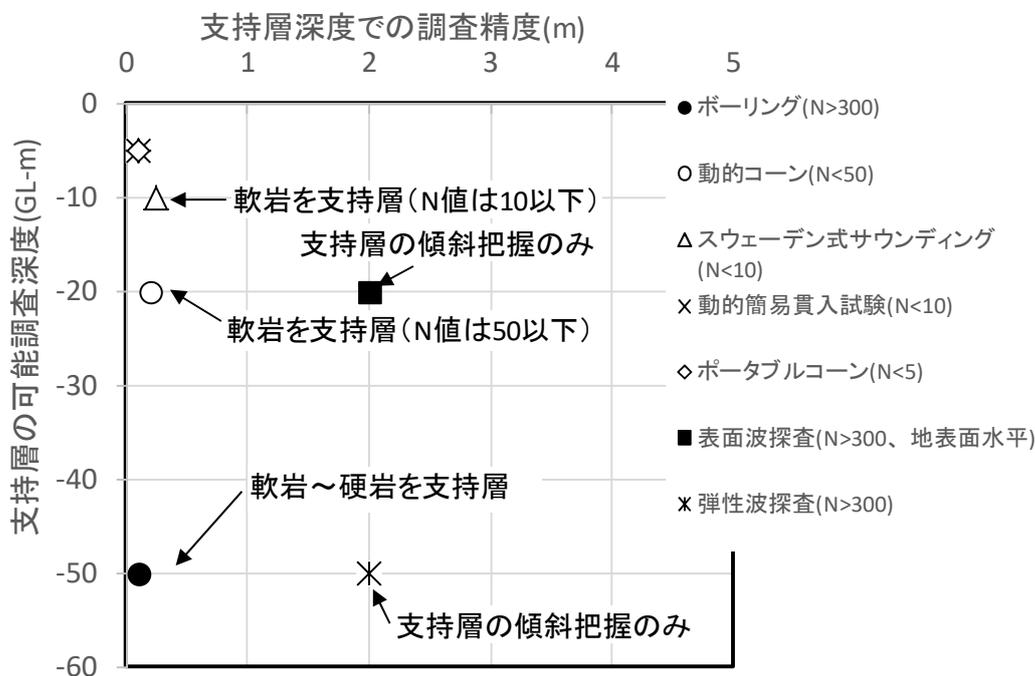


図 6.1 各種調査方法の比較

(ボーリング、物理探査は GL-50m 以深でも調査可能)

各種調査方法を比較し、ボーリングの補完としての特徴をまとめる。

ボーリング調査：軟岩～硬岩の支持層で調査可能

サウンディング調査：軟岩の支持層とする小規模の構造物の調査可能

物理探査：支持層の傾斜把握のみに適用可能

○各種サウンディング

各種サウンディングは、一般的に、安価で施工性がよいとされ、特に岩盤調査においては、比較の結果、ボーリング調査の補完として目的の達成度・時間・費用を考慮すると、サウンディングの中でも貫入エネルギーの大きいオートマチックラムサウンディングが最も適していると思われる。

一方で、オートマチックラムサウンディングは、貫入エネルギーを得るために、施工機械が大きく、ボーリングと同様の仮設・搬入方法が必要となるため、条件によっては、作業全体の時間の低減はわずかにとどまり、精度と効率のバランスを考えると必ずしもサウンディングが適しているとは言い難い場合がある。

したがって、計画時には施工条件や軟弱層の厚さ、中間層の有無といったことを既存の調査結果を参考に調査方法を決定することが重要である。

○物理探査

物理探査は、非破壊調査であり、基本的にボーリングに比べて、現地での仮設や作業期間が短く、作業性が高い。そのために、平坦地かつ比較的浅部に支持層がある場合は、表面波探査や微動アレイは、非常に効果的である。しかし、山間部や橋台などの傾斜地では適さず、深部を探るためには倍以上の測線長が必要となるといった調査地(敷地)の制約がある。

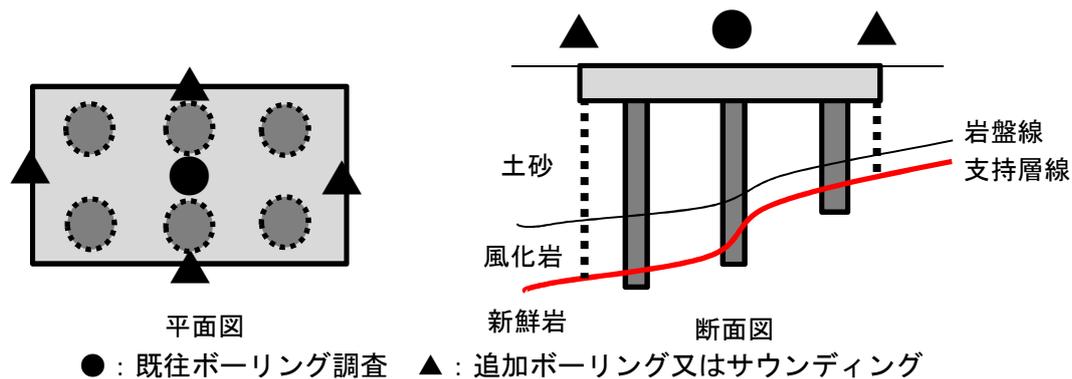
また、物理探査によって得られた速度・比抵抗値は、岩種や密度といった物性の違いによっても変化するため、硬軟や風化・亀裂状態はボーリングによるコア観察によって補うことが必須となる。さらに、得られた測定値は測点間隔や読み値の精度誤差のため、主目的である1mの精度といったものは期待できず、現段階では、杭の打設長を決定するなどの詳細調査では不適と言わざるを得ず、概略調査として地層の傾斜の有無等の判断材料に用いるなどの使い分けが必要と考える。

6.2 支持層の特性に応じた各調査手法の組み合わせ

構造物の目的、規模により要求される支持層となる深度は異なるため、その条件から適切に支持層の深度、傾斜を把握するため、経済性、効率性を考慮した調査計画を立案する。

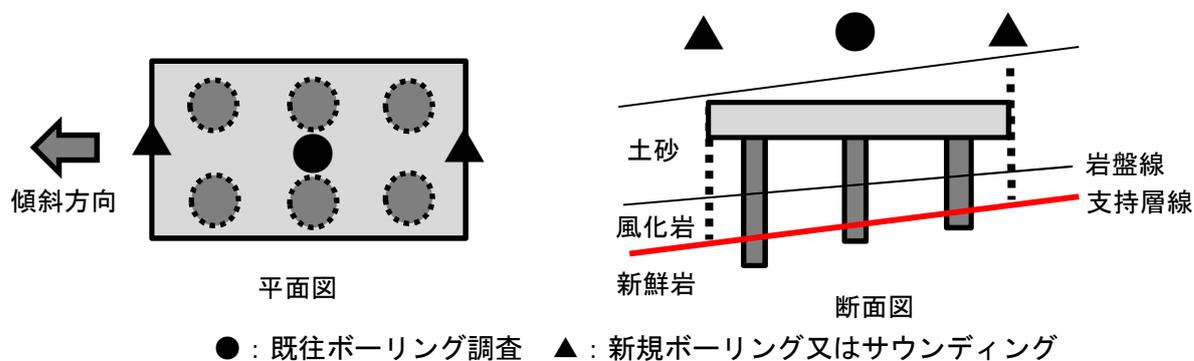
ここでは、計画構造物に対して中央でボーリング調査がすでに行われているものと仮定し、以下に風化による劣化進行具合や埋没谷・褶曲等によって支持層が傾斜していると推測される場合の支持層ラインを確認する調査計画例を示す。

(1) 地表面が平坦な場合(各構造物)

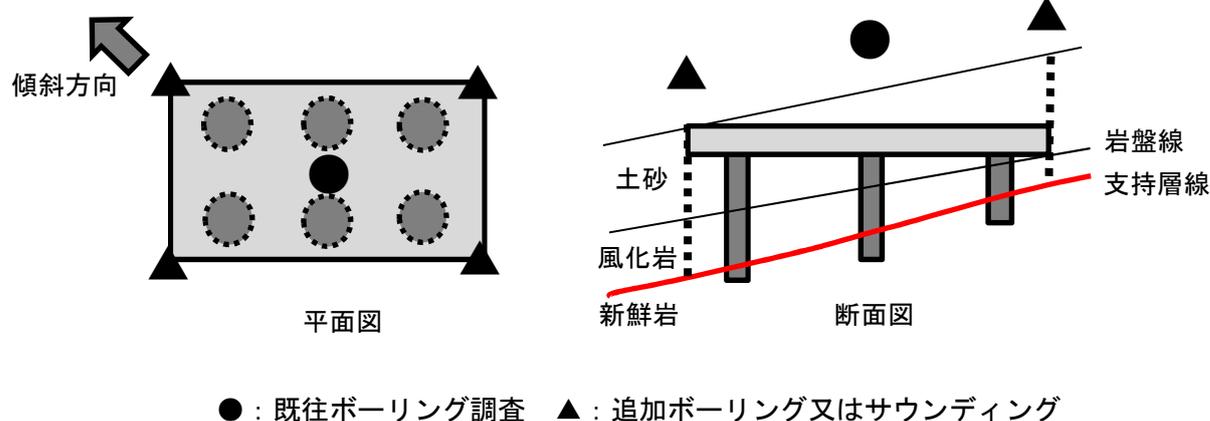


(2) 地表面が傾斜している場合(各構造物)

(a) 構造物に対して直角方向に傾斜している場合

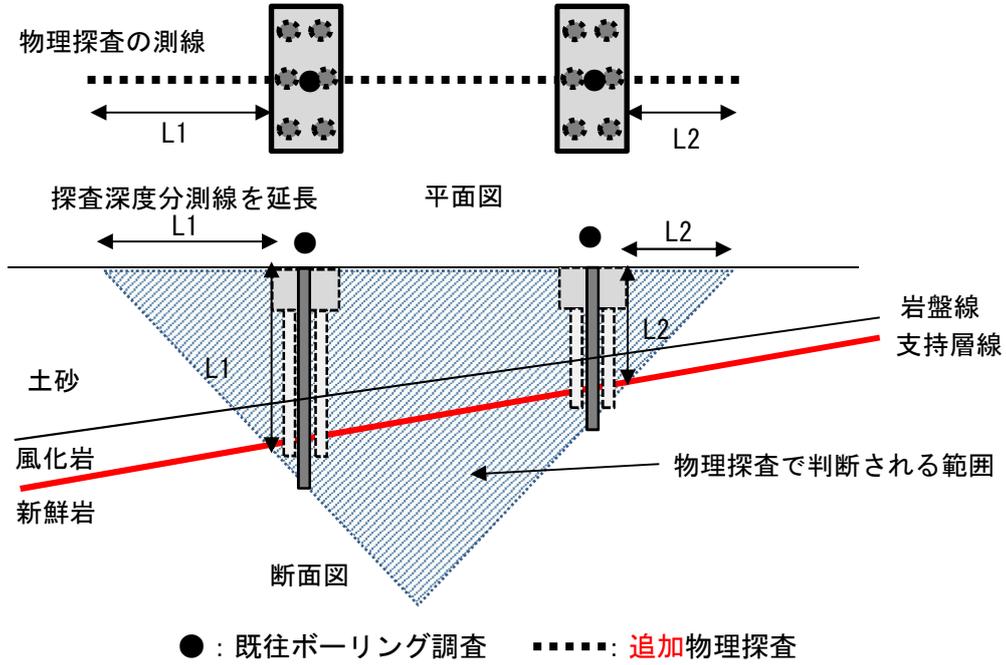


(b) 構造物に対して斜めに傾斜している場合

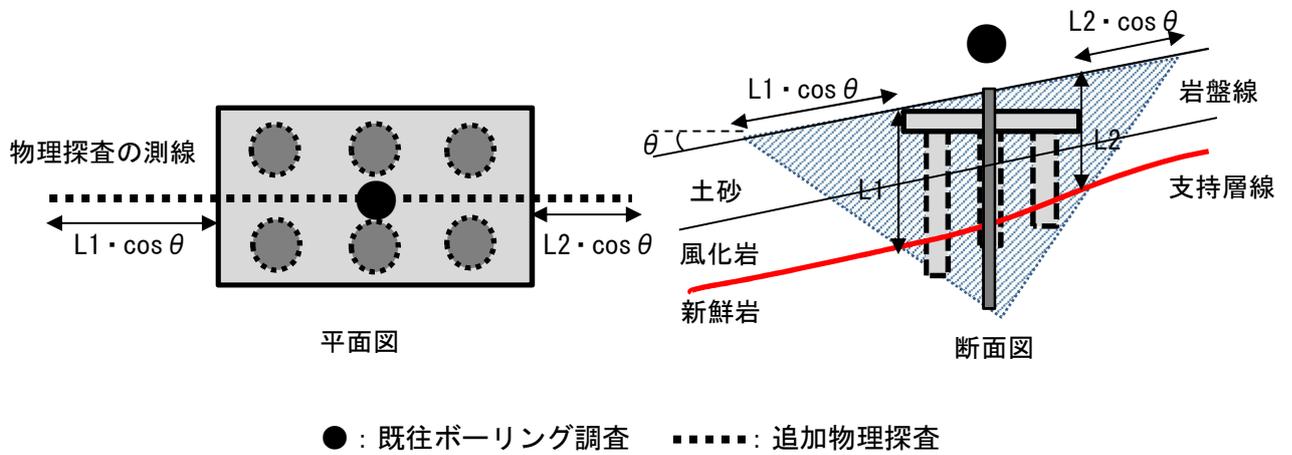


(3) 広域にわたって支持層の傾斜を確認する場合

(a) 道路線形の縦断方向に対しての探査測線



(b) 道路線形の縦断方向に対しての探査測線



7. 課題4（地盤調査で得られた地質リスク情報の設計者、施工者への伝達方法（予備調査、本調査）が判らない）の解決方法

注意すべき地形地質地域に橋梁基礎を築造する場合の設計・施工上の留意点を設計者、施工者に伝達する内容について、予備調査、本調査における地質リスク情報として整理する。なお、伝達方法としては、添付資料の「岩盤の支持層評価確認のためのチェックシート」を活用する。

以下に課題4に対する対応策としての地質リスク情報を示す。

7.1 予備調査における地質リスク情報の整理

(1) 予備調査実施計画段階（着手時）

検討対象地点の地質リスクの可能性を確認し、地質リスクを評価するための予備調査計画の立案がなされているかを確認する。

- ・地質リスクの可能性を想定した検討対象地点の計画
- ・地形図・空中写真・地盤情報データベース等の収集を主体とした資料調査の計画
- ・現地踏査（地形地質踏査）とそのとりまとめ手法の計画
- ・橋梁地点周辺のボーリング調査位置の計画
- ・岩級評価を行うためのボーリングコア採取の計画
- ・岩盤支持層の岩級評価を基にしたボーリング掘進長の計画

(2) 予備調査段階（調査時）

地質リスクを評価するための予備調査を実施しているかを確認する。

- ・地形判読や空中写真判読により架橋地点周辺における地形・地質の特徴を地形図等の平面的な情報からの的確な読み取り。
- ・既存情報などの資料調査により対象地における地形・地質の成因に関する基礎知識の習得。
- ・地形判読や資料調査結果をもとに架橋地点周辺における道路や河床に沿った地形地質踏査の実施。
- ・地質リスクを評価できる調査位置でのボーリング掘削および掘進長の実施。
- ・岩級区分が可能な良質なボーリングコアの採取の実施。

(3) 成果品取りまとめ段階（完了時）

地質リスクの評価結果、総合解析とりまとめ、本調査への申し送りを記載されているかを確認する。

- ・地質調査の結果から計画路線沿いの帯付縦断図の作成。
- ・帯付縦断図には地質縦断図、地形図、地形分類図を記載し、地質縦断図の測線に合わせて地形区分、地質構成、岩盤支持層に関する所見を明記した帯枠を記載。

- ・地形地質踏査の結果を、微地形区分図や地質平面図として取りまとめ、岩盤支持層の傾斜や凹凸に関する評価事項・問題点を同図中に記載。
- ・岩盤支持層は風化等を考慮した岩級区分に基づいた選定。
- ・選定した岩盤支持層の傾斜の有無とその方向、凹凸や不陸、風化度合等についての考察。
- ・実際の橋脚・橋台設置位置で行われる本調査ボーリングに対して予備調査で抽出した地質リスクにもとづく本調査計画の立案。
- ・帯付縦断面図や地質平面図に示した地質リスク潜在箇所毎に、横断方向のボーリング本数と配置等の具体的な調査方法の計画。

7.2 本調査における地質リスク情報の整理

(1) 本調査実施計画段階（着手時）

予備調査報告書、予備設計報告書および現地踏査等により岩盤支持層に関する地質リスクの可能性を確認し、地質リスクを評価するための本調査計画の立案がなされているかを確認する。

- ・予備調査報告書の「総合解析とりまとめ」に記載された、岩盤の支持層評価に関する考察に対する検討および計画。
- ・「本調査への申し送り」内容に対する検討および計画。
- ・予備調査・予備設計の報告書を踏まえ、橋台・橋脚計画位置の現地踏査の計画。
- ・橋梁基礎計画位置での調査ボーリング・サウンディング・物理探査等の計画。

(2) 本調査段階（調査時）

地質リスクを評価するための本調査を実施しているかを確認する。

- ・橋梁基礎計画位置（縦断・横断）での現地踏査、ボーリング掘削および掘進長の実施。
- ・想定していた岩盤支持層の変化が激しく、追加調査の必要性。
- ・当初想定していた以外に岩盤支持層設定上の地質リスク低減のための追加調査の必要性。

(3) 成果品取りまとめ段階（完了時）

- ・岩盤の支持層の設定に関する設計・施工上の留意点、追加調査の必要性などを記載。
- ・岩盤の支持層に関する所見を記載した地質縦断面図、横断面図の作成。
- ・本調査においても解明しきれなかった地質リスクについて、本設計時や施工時に行うべき追加調査があれば、その具体的内容についての言及（申し送り事項）。

8. 今後の課題

8.1 コンサルティング業務の追加事項としての積算の必要性

前章までに岩の支持層とする杭基礎の調査法に関して検討したが、これらの調査法に対する調査計画の立案、平面図・断面図等の作成、設計者への申し送りなどを行うに当たっては、極めて高度な専門的知識と豊富な経験を要する業務であるため、次頁の図に示すとおりコンサルティング業務の対象となる。

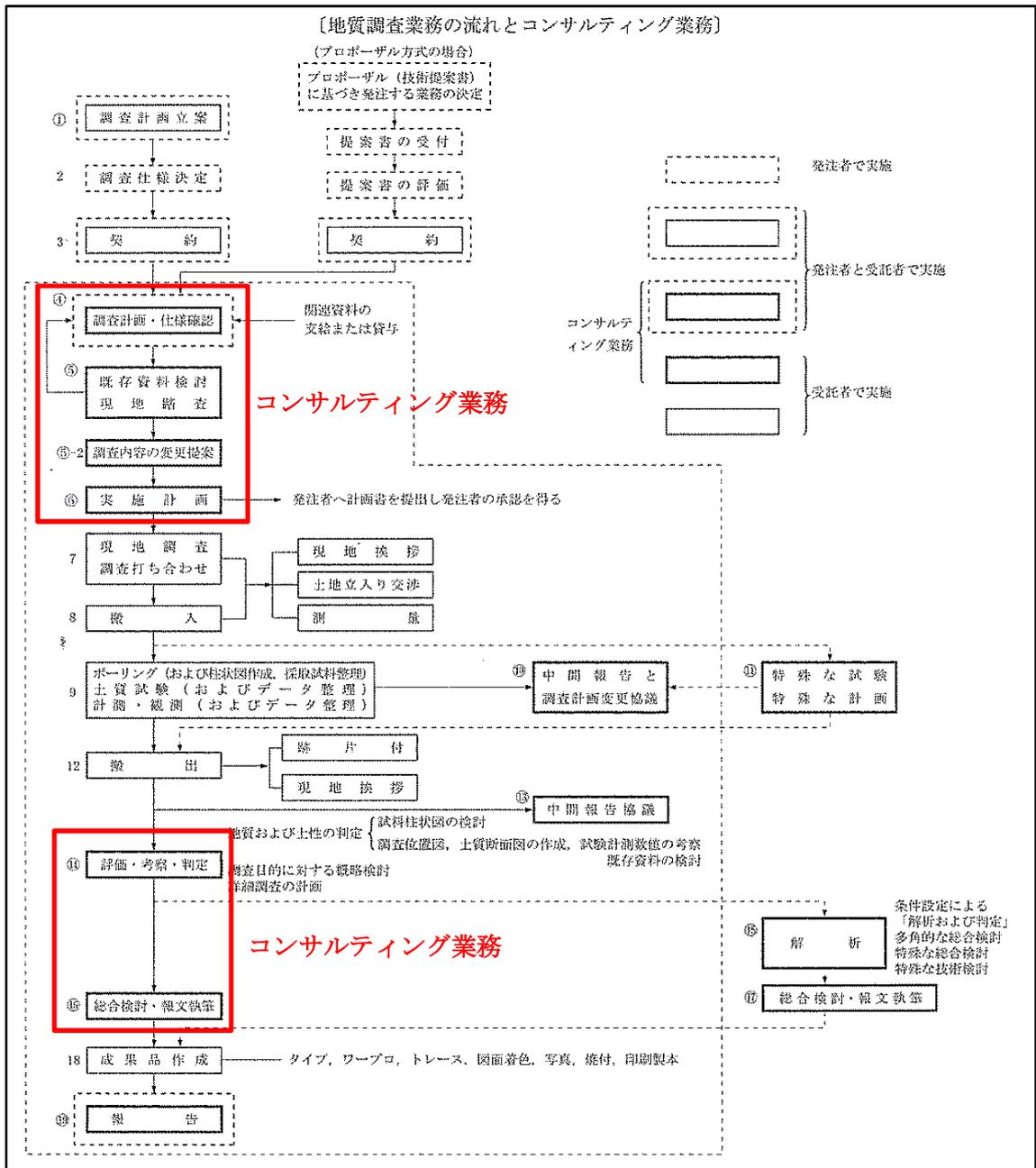
本検討では、岩を支持層とする杭基礎のトラブル事例から調査時の具体的な課題（1～4）を抽出し、それらに対する解決方法についての提案を行い、整理したが、設計業務等標準積算基準書（平成28年度版（監修）国土交通省大臣官房技術調査課（発行）一般財団法人経済調査会）における、2-7 解析等調査業務の適用範囲に含まれていないと考えられる追加されるべき事項を以下に示す。

1) 岩を支持層とする杭基礎の調査（特に予備調査段階）を着手するに当たっては、既存資料の収集、地形地質踏査、地形判読（空中写真判読）などの結果を含めた『**実施計画書**』の立案・作成が重要となり、コンサルティング業務の追加事項として積算されるべきである。

2) 評価においては、ボーリングコア調査、物理探査、サウンディングの結果をもとに、『**岩の支持層の傾斜、凹凸、不陸、風化度合を記載した岩盤柱状図、微地形分類図あるいは地質平面図、帯付断面図（縦断・横断）**』を作成することが重要となり、コンサルティング業務の追加事項として積算されるべきである。

3) 総合検討（総合解析の取りまとめ）においては、『**傾斜、凹凸、不陸、風化度合に関する岩の支持層の評価結果**』を総合的に考察することが重要となり、コンサルティング業務の追加事項として積算されるべきである。

4) さらに、予備調査で抽出した地質リスクに基づいた『**本調査計画（詳細調査計画）**』を立案・作成するとともに、予備設計者等への申し送り事項とすることが重要となり、コンサルティング業務の追加事項として積算されるべきである。



「全国標準積算資料 土質調査・地質調査 平成 27 年度改訂歩掛版」
(一般社団法人全国地質調査業協会連合会) より

8.2 残された課題

今回の委員会において、以下の課題が残された。

【課題1】

風化花崗岩は岩級区分を DL～DH 級に細分し、DH 級岩盤を支持層とした事例がある。ただし、風化が進んだ花崗岩は N 値が高くても大きな変形を示すことがある。風化・亀裂の程度と支持層としての適性は今後整理していく必要がある。

【課題2】

堆積軟岩を支持層とする場合、一軸圧縮強度が $q_u > 1000 \text{ kN/m}^2$ 以上を示すことが支持層としての目途となる。しかしボーリング調査中に一軸圧縮強度を確認して掘り止めすることは現実的ではない。そのため、支持層としての適性を判定できる孔内原位置試験や、採取コアに対してその場で実施できる試験が求められており、既存の試験方法の適用性の検討や、新たな試験方法の開発が求められる。

【参考資料】

- 岩盤の支持層評価確認のためのチェックシート(案)

道路橋基礎の品質向上のためのチェックシート(案)
(支持層評価編)

業 務 名 :

発 注 者 名 :

確認の日付：平成〇〇年〇〇月〇〇日

| | | | |
|------|-------|-------|-----|
| 発注者印 | 総括調査員 | 主任調査員 | 調査員 |
| | | | |

岩盤の支持層評価確認のためのチェックシート

| 予備調査段階で必要な確認事項 | | 予備調査編 | | | | | 予備調査編 | | | | |
|-----------------|--------|-------------|--------|--|-------------------------|---|------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| 確認時期 | 項目 No. | 検討項目 | 内容 No. | 主内容 | 対象項目 | 確認状況 | 確認日 | 確認資料 | 確認内容 | 業注押の確認 (役職の記入) | |
| 調査実施段階 (調査時) | 3 | 地形判断による評価 | 1 2 | 岩盤の支持層傾斜・不陸・風化度合等を想定するた 1めの採集地点周辺における地形判断を行っている か。 2 採集地点周辺における地形判断によって、岩盤の支 持層傾斜・不陸・風化度合等を想定されているか。 | 【選択】 ○: 対象 x: 対象外 | 【選択】 ○: 全項目調査済 △: 一部項目調査済 x: 未確定 | 項目を確認した 日付を記入 | 確認できる資料 の名称、頁等を 記入 | 確認状況○、△の内容について、具体的に記述すること | 【選択】 項目調査済 未確認 | |
| | 4 | 空中写真判断による評価 | 1 2 | 岩盤の支持層傾斜・不陸・風化度合等を想定するた 1めの採集地点周辺における空中写真判断を行った か。 2 採集地点周辺における空中写真判断によって、岩盤 の支持層傾斜・不陸・風化度合等を想定することがで きる調査位置の選定となっているか。 | 【選択】 ○: 対象 x: 対象外 | 【選択】 ○: 全項目調査済 △: 一部項目調査済 x: 未確定 | 項目を確認した 日付を記入 | 確認できる資料 の名称、頁等を 記入 | 確認状況○、△の内容について、具体的に記述すること | 【選択】 項目調査済 未確認 | |
| | 5 | 地形地質踏査による評価 | 1 2 | 岩盤の支持層傾斜・不陸・風化度合等を想定するた 1めの採集地点周辺における地形地質踏査を行った か。 2 採集地点周辺における地形地質踏査によって、岩盤 の支持層傾斜・不陸・風化度合等を想定することがで きる調査位置の選定となっているか。 | 【選択】 ○: 対象 x: 対象外 | 【選択】 ○: 全項目調査済 △: 一部項目調査済 x: 未確定 | 項目を確認した 日付を記入 | 確認できる資料 の名称、頁等を 記入 | 確認状況○、△の内容について、具体的に記述すること | 【選択】 項目調査済 未確認 | |
| | 6 | ボーリング調査位置 | 1 2 | 調査位置は、地形判断、資料調査、現地踏査結果を 踏まえて選定されているか。 岩盤の支持層傾斜・不陸・風化度合等の地質リスク が評価できる調査の位置や掘進長(深さ)となっている か。 | 【選択】 ○: 対象 x: 対象外 | 【選択】 ○: 全項目調査済 △: 一部項目調査済 x: 未確定 | 項目を確認した 日付を記入 | 確認できる資料 の名称、頁等を 記入 | 確認状況○、△の内容について、具体的に記述すること | 【選択】 項目調査済 未確認 | |
| | 7 | ボーリング調査内容 | 1 | 支持層となる岩盤の岩盤区分が可能となるコアが採 取されたか。 | 【選択】 ○: 対象 x: 対象外 | 【選択】 ○: 全項目調査済 △: 一部項目調査済 x: 未確定 | 項目を確認した 日付を記入 | 確認できる資料 の名称、頁等を 記入 | 確認状況○、△の内容について、具体的に記述すること | 【選択】 項目調査済 未確認 | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

岩盤の支持層評価確認のためのチェックシート

| 確認時期 | | 本調査段階で必要な確認事項 | | 対象項目 | 確認状況 | 確認日 | 確認資料 | 確認内容 | 発注時の確認 (役職の記入) | |
|-----------------------|-----------|---|--|--|---|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--|--|
| | | 項目 No. | 内容 No. | | | | | | | |
| 調査実施計画 段階 (着手時) | 1 検討対象の確認 | 1 | <p>検討対象の確認</p> <p>主な内容 ……重点項目(条件確定に時間がかかる項目)であり、条件未確定の場合は、業務履行に影響</p> | <p>【選択】</p> <p>○:対象 ×:対象外</p> | <p>【選択】</p> <p>○:全項目研究費 △:一部項目研究費 ×:未確定</p> | <p>確認日</p> <p>項目を確認した日付を記入</p> | <p>確認できる資料の名称、頁等を記入</p> | <p>項目を特定した内容について、具体的に記述すること</p> | <p>【選択】</p> <p>○:確認済 △:確認済 ×:未確認</p> | |
| | | | | <p>1 架橋地点は確認したか。</p> | ○ | | | | | |
| | | | | <p>2 予備調査報告書、予備設計報告書および現地調査等により支持層に関する地質リスクを確認したか。</p> | ○ | | | | | |
| | 2 調査内容の確認 | 1 | <p>予備調査報告書、予備設計報告書を踏まえ、橋台・橋脚計画位置の現地調査を計画しているか。</p> | ○ | | | | | | |
| | | | <p>2 予備調査報告書、予備設計報告書および現地調査等より岩盤の支持層傾斜・凹凸・不陸・風化度合等の後者のために、調査計画への配慮が必要な調査箇所があるか。</p> | ○ | | | | | | |
| | | | <p>3 岩盤の支持層傾斜・凹凸・不陸・風化度合等の検討が必要な基礎で適切な調査計画が行われているか。</p> | ○ | | | | | | |
| 3 現地調査での確認 | 1 | <p>「総合解釈取りまとめ」において、岩盤の支持層評価に関する考察の記載を行うことが、計画されているか。また、申し送り事項を計画に反映しているか。</p> | ○ | | | | | | | |
| | | <p>橋梁基礎計画位置(縦断・横断)でのボーリング本数および距離感が満足しているか。</p> | × | | | | | | | |
| | | <p>岩盤の支持層傾斜・凹凸・不陸・風化度合等の検討に必要な調査において、想定していた支持層の変化が激しく、追加調査の必要性はないか。</p> | ○ | | | | | | | |
| 調査実施段階 (調査時) | 3 | <p>3 当初想定していた以外に支持層調査上の地質リスク低減のために追加調査すべきことはないか。</p> | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

岩盤の支持層評価確認のためのチェックシート

| | | 本調査編 | | | | | | | |
|------------------------|-------------------|----------------|--|--------------------------|--|------------------|------------------|----------------------|--|
| 確認時期 | 項目 No. | 本調査段階で必要な確認事項 | | 対象項目 | 確認状況 | 確認日 | 確認内容 | 発注時の確認 (依頼の記入) | |
| | | 検討項目 | 内容 No. | | | | | | |
| 成果取りまとめ 段階 (完了時) | 4 | 支持層に関する評価結果 | <div style="background-color: yellow; width: 20px; height: 20px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> 主な内容 ……重点項目(条件決定に時間がかかる項目であり、条件未決定の場合は、業務履行に影響 | ○:対象 ×:対象外 | 【選択】 ○:全項目確定済 △:一部項目確定済 ×:未確定 | 確認した項目を確定した日付を記入 | 確認できる資料の名称、頁等を記入 | 【選択】 ・確認済 ・未確認 | |
| | | | | 1 | 岩盤支持層の傾斜に関する事項は記載したか。 | ○ | | | |
| | | | | 2 | 岩盤支持層の凹凸、不陸に関する事項は記載したか。 | ○ | | | |
| | 5 | 地質縦断面図、横断面図の作成 | 1 | 地質縦断面図、横断面図を作成したか | ○ | | | | |
| | | | 2 | 岩盤の支持層評価に関する事項は記載したか。 | × | | | | |
| | | | 3 | 岩盤支持層の風化度合いに関する事項は記載したか。 | | | | | |
| 6 | 追加調査計画の立案(申し送り事項) | 1 | 本設計時あるいは施工時に追加調査を行って確認すべき事項とその方法を記載したか。 | ○ | | | | | |