

杭先端を支持する岩盤の条件と不陸・傾斜に対する調査法

飯島翔一・吉田英二・谷本俊輔・浅井健一・桐山孝晴

1. はじめに

近年、施工能力の向上や山岳部での施工事例の増加等により、岩盤を支持層とする杭の設計・施工事例が増加してきている¹⁾。たとえば、場所打ち杭工法においては、特殊なビットを用いることなどで、今まで掘削が困難であった岩盤についても、施工できるようになってきている。

岩盤を杭基礎の支持層とする場合には、一般に強固で良好な支持層とみなされ、高い鉛直支持力が期待でき、杭の沈下等の不具合が生じることはないと考えられてきたが、亀裂や風化等の影響で物性値や支持力が大きく異なることや施工時に杭先端地盤を乱すことなどにより、沈下等の不具合を起こす事例が散見されている^{例えば2)}。また、岩盤は地層の形成過程によって支持層全体が大きな不陸や傾斜を有することが少なくないため、支持層の選定や杭の根入れ深さの設定が難しい。このことから、対象とする岩盤が支持層になりうるかどうかを判断するために、適切な調査方法を示していく必要がある。

(国研) 土木研究所、(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会、(一社) コンクリートパイル建設技術協会、(一社) 日本基礎建設協会及び(一社) 全国地質調査業協会連合会は、岩盤を支持層とする杭基礎の地盤調査法、設計法及び施工法を明らかにすることを目的とした共同研究を平成27～29年度に実施した。

本稿では、共同研究で得られた知見のなかから「支持層とする岩盤の条件」、および「不陸・傾斜を把握するための地盤調査方法」を紹介する。

2. 支持層とする岩盤の条件

道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編³⁾(以下「道示Ⅳ」という。)で、杭先端を支持するための十分な抵抗が得られる支持層として選定するうえでの条件が粘性土層、砂層および砂れき層につい

て示されているが、岩盤については示されていない。そこで、支持層として選定できる岩盤の条件について検討を行った。粘性土層、砂層および砂れき層を支持層とする場合の目安は標準貫入試験 N 値が指標とされているが、標準貫入試験で局所的に存在する岩石やれきを叩くと極端に大きな N 値が得られる傾向があることから、岩盤に対しては N 値が地層全体の力学特性を表す指標とはならない場合があることに注意する必要がある。特に、岩盤の力学特性は風化、亀裂の程度に強く依存するため、これらをボーリングコアの目視観察によって確認し、岩盤全体の性状を支持層の選定に反映させることが重要となる。

道路橋に関する既往の基準類⁴⁾には、ボーリングコアの観察に基づいて岩盤の硬軟や風化、亀裂等の程度を評価するための岩盤分類が記載されている。この岩盤分類は、橋梁基礎の設計に広く用いられており、日本の様々な岩種に適用できる汎用的なものであることを考慮し、本報文ではこの岩盤分類を用いることにした。

その上で、岩盤を支持層として選定する際の目安は、岩盤を支持層とした杭基礎の不具合事例²⁾や載荷試験データ⁵⁾の分析に基づき、原則として CL 級以上とすることとした。 D 級の岩盤については、相対的に変形しやすく、支持力発現までに大きな変形が生じた風化花崗岩の事例²⁾のように、条件によっては過大な沈下等が生じるおそれがあるため、慎重に判断する必要がある。ただし、これまで収集した載荷試験結果では D 級の岩盤であっても十分な支持力等が得られているものが多いため、これらの載荷試験結果を踏まえて N 値 50 以上の地層が深度方向に安定して連続する場合には支持層として扱うことは可能と考えられるとの結論を得た。

3. 不陸・傾斜を把握するための地盤調査方法

岩盤は地層の形成過程において大きな傾斜や不陸を有する場合があるため、岩盤を支持層とする場合、不陸・傾斜に対する調査不足や判断の間違

いによって支持力不足や不同沈下等の不具合が発生する可能性があり、このような不具合に至るリスクをできるだけ低減できるような地盤調査を実施する必要がある。ここでは、これまでにあった不具合の事例を確認した上で、予備調査および本調査の各段階において実施すべき地盤調査の内容を整理し、その地盤調査を実施する方法について提案した。

3.1 不陸・傾斜による支持層の判断ミスの事例

① 支持層が橋軸方向に傾斜していた事例⁶⁾

図-1は橋梁基礎において設計時に当初想定した風化岩の支持層が、実際は大きく異なっていた事例である。これは、支持層の不陸や傾斜を想定せずに、図-1に示すような橋脚と橋脚の間で当初ボーリングを行い、各橋台、橋脚の位置で地盤調査を実施しなかったことが原因と考えられる。この事例を踏まえると、調査の留意点としては、橋台、橋脚の位置で地盤調査を行うことが重要となる。特に、地形判読や資料調査等により読み取った地形の形成過程から支持層の傾斜や不陸が予想される場合には、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と考えられる。

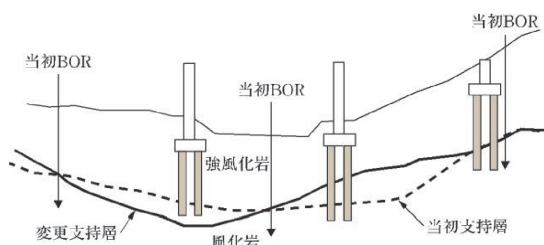


図-1 岩盤支持層が橋軸方向に傾斜していた事例

② 支持層が橋軸直角方向に傾斜していた事例⁶⁾

図-2は橋脚の位置でボーリング調査が行われたにもかかわらず、施工完了後に橋脚が傾く変状が生じた事例である。これは支持層の橋軸直角方向への傾斜を把握できなかったことが原因と考えられる。この事例を踏まえると、調査時の留意点としては、地形判読や資料調査等により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、対象とする構造物の範囲を網羅できるように地盤調査を実施することが重要となる。すなわち1構造物に1箇所の地盤調査では見逃すことが多く、複数の箇所でのボーリング調査、ボーリング調査とそれを補完するサウンディングの組合せ等の工夫

が必要であると考えられる。

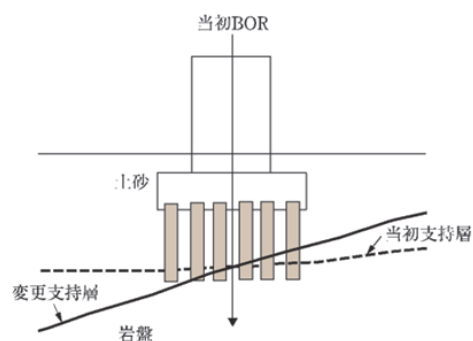


図-2 岩盤支持層が橋軸直角方向に傾斜していた事例

3.2 各調査段階における地盤調査内容

道示IVでは、地盤調査は予備調査と本調査に分けて実施することを標準としている³⁾。予備調査では、橋台、橋脚の位置や基礎形式等の検討さらには本調査の計画を適切に方向づけるため、支持層の力学的性状や空間分布などを大局的に把握することが必要となる。本調査では、支間割り、基礎形式等が決定された段階で調査を実施することとなるため、個々の橋台、橋脚の位置で調査を行う必要がある。

3.1の不具合事例から得られた留意点を踏まえ、各調査段階で不具合に至るリスクを低減するために効果的な地盤調査の組み合わせとして以下のような方法を提案した。

予備調査段階では、地質・地盤に関わるリスク要因⁷⁾が調査区間にどの程度あるのかを把握することにより、さらに詳細な地盤調査が必要であるかどうかを判定することが重要である。そのための調査として地形判読、物理探査、ボーリング調査などを行うことを提案した。

本調査段階は、道路橋の位置、規模が決まった段階での調査である。この段階では、道路橋の各橋台、橋脚の位置での調査が可能であることから、ボーリング調査による標準貫入試験とコア採取を基本とし、それを補完するサウンディングや物理探査との組合せにより平面的に支持層の深度変化を把握することを提案した。

サウンディングにはいくつか種類があるが、最も普及しているのは標準貫入試験である。しかし、標準貫入試験はボーリングを必要とするため、本調査の際、基礎1基あたり複数本のボーリングによって支持層の空間分布を把握することは、費用や工期等の制約から容易でない場合もある。その

ため、ボーリング調査点間を補完し支持層の不陸・傾斜を把握することを目的として、ボーリングによる地盤の削孔を必要としないサウンディングを適用できれば、すべてをボーリング調査による場合と比べてより経済的かつ短期間での調査が可能となる。ただし、試料採取のできないサウンディングを単独で用いると支持層の深度を見誤ることがあることから、必ずボーリング調査と併用し、ボーリング調査を補完するものと考えて適用すべきである。

ボーリング調査点間の補完としてのサウンディングの一つとして、大型動的コーン貫入試験（オートマチックラムサウンディング）が挙げられる。同試験を用いた岩盤支持層（泥岩）の不陸や傾斜の把握を試験的に実施した結果、泥岩上面の不陸を捉えるとともに、泥岩の強風化部と弱風化部の境界の不陸を推定し、岩盤の支持層の上面出現深度を確認することができた⁸⁾ことから、ボーリング調査を補完するサウンディングとしての有効性を確認できたといえる。

3.3 本調査における地盤調査の方法

本調査においては、ボーリング調査による標準貫入試験とコア採取を基本とし、それを補完するためにサウンディングや物理探査を組み合わせることが有効である。

それを踏まえ、ボーリング調査とサウンディングや物理探査を組み合わせる地盤調査を行う際に、不具合のリスクを低減するためにどのような方法で調査を行うか、調査の位置等について検討し、以下の①、および②の現場条件での調査方法を提案した。

① 広域に支持層の不陸・傾斜の可能性がある場合

3.1の①や②のように広域にわたって支持層の不陸・傾斜の可能性がある場合には、基礎毎に詳細な調査を行う前に代表地点でのボーリング、物理探査を用いて傾斜の方向、傾斜量を確認し、支持層の不陸・傾斜に合わせた各基礎の本調査計画を立案するのが有効である。

支持層の確認は、図-3および図-4に示すように、資料調査等で予想される図中の支持層線に対して、不陸・傾斜の方向と基礎の配置等から調査を計画し、支持層線が予想どおりであるかどうかを確認する。

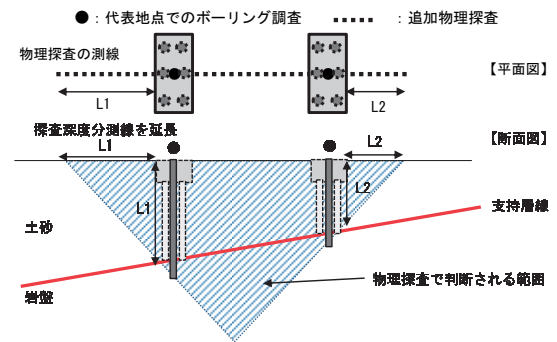


図-3 支持層の橋軸方向の傾斜の確認方法

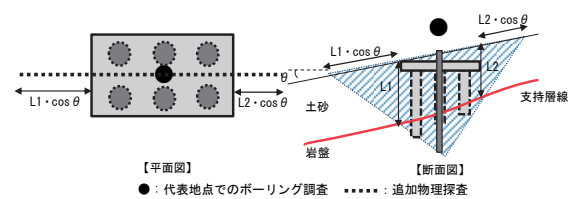


図-4 支持層の橋軸直角方向の傾斜の確認方法

② 同一基礎内で複雑に支持層線が変化する場合

広域の支持層線の不陸・傾斜に合わせて、予備調査で以下の1)～3)の傾向が推定される場合、以下に示すような、基礎毎にボーリング又はサウンディングを組み合わせる調査を行う。調査の結果、同一基礎内で複雑に支持層線が変化する場合には、追加ボーリング又は追加サウンディングを計画するのが良い。

1) 地表面と支持層の不陸・傾斜が同一傾向と推定される場合

山地部斜面などで地表面と支持層の不陸・傾斜が同一傾向と推定される場合には、図-5に示すように、地表面の条件に応じて、ボーリング又はサウンディングを組合せて計画する。

2) 地表面と支持層の不陸・傾斜が異なる傾向と推定される場合

山際部などで地表面と支持層の不陸・傾斜が異なる傾向と推定される場合には、隣接する山地部斜面などの状況等を踏まえながら、図-6に示すように、支持層線の傾きの方向や変化量を確認するため、必要な数量のボーリング又はサウンディングを組合せて計画する。

3) 風化等の影響によって岩盤層表面と支持層線が異なる傾向と推定される場合

風化等の影響によって岩盤層表面（強風化岩表面）と支持層線が異なる傾向と推定される場合、

支持層線の傾きの方向、風化等による変化量を確認するため、図-7に示すようにボーリング又はサウンディングを必要な数量を組合せて計画する。

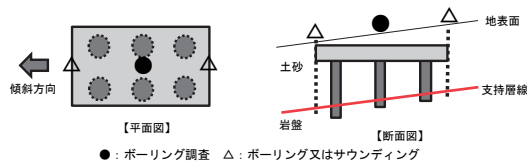


図-5 地表面と支持層の不陸・傾斜が同一傾向と推定される場合

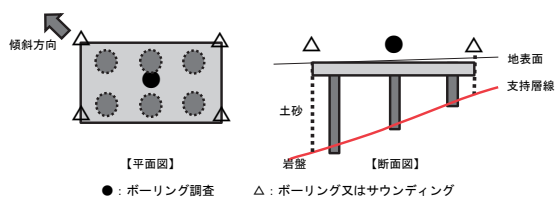


図-6 地表面と支持層の不陸・傾斜が異なる傾向と推定される場合

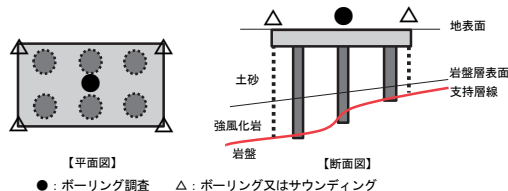


図-7 風化等の影響によって地表面と支持層の不陸・傾斜が異なる傾向と推定される場合

4. まとめ

岩盤を支持層とする杭基礎の施工が増えたこと、及び不具合事例が散見されるようになったことを契機として岩盤を支持層とする杭基礎の調査・設計・施工方法の共同研究を行った。本報文では成果のなかから「支持層とする岩盤の条件」、および「不陸・傾斜を把握するための地盤調査方法」について紹介した。「支持層とする岩盤の条件」については、既往の基準の岩に対する記述や岩盤を支持層とした载荷試験結果、不具合事例を整理

した結果を踏まえ、CL級以上の岩盤を支持層の選定の目安として提案した。「不陸・傾斜を把握するための地盤調査方法」については、予備調査段階において地形判読、物理探査、及びボーリング調査を行い、本調査段階において代表地点のボーリング調査による標準貫入試験とコア採取を基本とし、物理探査及びサウンディングで補完する手法を提案した。

詳細については報告書にまとめて令和2年度に公表する予定である。

参考文献

- 1) 七澤利明、眞弓英大、河野哲也、坂本裕司、田辺晶規、河村淳、宮原清、今野貴元：橋梁基礎形式の選定手法調査、土木研究所資料、第4339号、2016.10
- 2) 村中誠、岡田和弘、加藤昌明、宮部光貴：新東名高速道路 浜松いなさJCT～豊田東JCT間橋梁下部工の沈下対策工事－愛知県新城市－、土木施工 Vol.57, No.7, pp.194～198、2016
- 3) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編、2017.11
- 4) (公社) 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧、2012.4
- 5) 七澤利明、河野哲也、宮原清、大城一徳：杭の軸方向の支持力及びばね定数推定式の見直しと推定精度の評価に関する研究、土木研究所資料、第4374号、2018.3
- 6) 柳浦良行、浅井健一：岩を支持層とする杭基礎の地盤調査方法に関する取組み、基礎工、Vol.44、No.12、pp.23～26、2016
- 7) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン、2020.3
- 8) 浅井健一：サウンディングによる地層の深さ変化の面的把握技術、土木技術資料、第61巻、第8号、pp.14～19、2019

飯島翔一



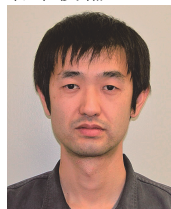
土木研究所構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ
研究員
IIJIMA Shoichi

吉田英二



土木研究所構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ
研究員
YOSHIDA Eiji

谷本俊輔



土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム (併) 橋梁構造研究グループ 主任研究員
TANIMOTO Shunsuke

浅井健一



土木研究所地質・地盤研究グループ 上席研究員
ASAI Kenichi

桐山孝晴



土木研究所構造物メンテナンス研究センター
耐震研究監
KIRIYAMA Takaharu