第２章　　地盤調査

目　次

Ⅰ. 基本コンセプト

①N 値を利用した地盤定数の評価 ･････････････････････････････････ 2- 1

Ⅱ. 中部知見

①土壌汚染調査･･･ 2- 2
②液状化調査･･･ 2- 3

Ⅲ. 設計標準

2-1 設計対象毎の調査方法 ･････････････････････････････････････ 2- 4
2-1-1 総則 ･･･ 2- 4
2-1-2 資料収集 ･･･ 2- 4
2-1-3 予備調査 ･･･ 2- 5
2-1-4 詳細調査 ･･･ 2- 6
2-2 地質断面図 ･･･ 2- 9
2-2-1 地質断面図付一般図作成 ･････････････････････････････････ 2- 9
2-2-2 地質断面図付一般図の活用 ･････････････････････････････ 2-11
2-3 対象別調査方法の概説 ･････････････････････････････････････ 2-15
2-3-1 土工 ･･･ 2-15
2-3-2 橋梁及び道路構造物 ･････････････････････････････････････ 2-19

Ⅰ．基本コンセプト

① Ｎ値を利用した地盤定数の評価

土砂等を対象とした一般的な地盤調査は、図-2-Ⅰ-1 に示すようなロータリー式ボーリングマシンによって、コアを採取しないノンコアボーリングで行われる。

但し、通常はこれと併せて深さ方向に 1m 毎に標準貫入試験が行われ、試験結果であるＮ値とともに、写真-2-Ⅰ-1 に示す標準貫入試験用サンプラーによって試料採取が行われる。

この様に標準貫入試験は、貫入試験と同時に土砂が採取できるという他のサウンディングにない特筆すべき利点を有している。

このため 1951 年頃に我が国へ導入されて以降、各方面で比較試験が行われ、特殊土を除く地盤で適用性が認められ広く普及した。

同時に豊富なデータの蓄積により、表-2-Ⅰ-1 に示すように、Ｎ値とせん断抵抗角：φなど、色々な地盤定数との関係が提案されており、設計に用いる指標の一つとしてＮ値を積極的に取り入れてきている。

しかし、Ｎ値は、あくまでも土の硬軟、締まり具合を間接的にあらわす相対的な指標であり、地盤定数との相関性が必ずしも高くない場合がある事を念頭に置く必要がある。[1)]

このため､Ｎ値を利用して地盤定数を評価した場合、設計結果として構造寸法が過大となったり、地盤改良が必要となる等、地盤定数の評価により建設コストが大きく左右される場合は、適宜、原位置試験や不攪乱試料を採取して力学試験を実施するなどの詳細調査を実施して、より正確に地盤定数を評価する必要がある。

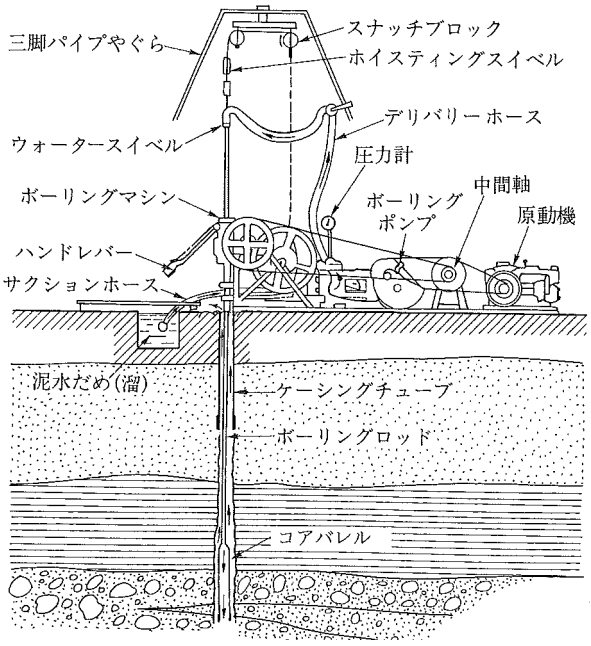


図-2-Ⅰ-1 ロータリー式ボーリングマシン[1)]

写真-2-Ⅰ-1 標準貫入試験用サンプラー

表-2-Ⅰ-1 Ｎ値を利用した地盤定数の例

Ｎ値を利用した地盤定数の例		詳細調査方法の例
(1)	砂質土のせん断抵抗角：φ	不攪乱試料採取＋三軸圧縮試験
(2)	砂質土の液状化強度比：R_L	不攪乱試料採取＋繰返し三軸圧縮試験
(3)	粘性土の一軸圧縮強さ：q_u	不攪乱試料採取＋一軸圧縮試験
(4)	変形係数：E_s	孔内水平載荷試験
		不攪乱試料採取＋三軸圧縮試験
(5)	支持力(直接基礎、杭基礎)	平板載荷試験、杭の載荷試験

Ⅱ．中部知見

①　土壌汚染調査

地山の切土掘削やトンネル工事において、自然由来の重金属に起因する土壌汚染や水質汚染が各地で顕著化している。

中部地方で発生した例では、図-2-Ⅱ-1 に示すように、美濃帯泥岩中に含まれた黄鉄鉱が切土掘削され空気と触れたことにより酸化し、硫酸が生成し水質汚染が発生した。

しかし、黄鉄鉱全てにこの様なことが発生するのではなく、写真-2-Ⅱ-1 に示すように同じ地域で採取した黄鉄鉱のサンプルでも、A試料は風化の進んだもの、B試料は結晶度が高いものの２つで水質状況を見比べたところ、A試料は pH=4.2 と強い酸性を示すのに対し、B試料は pH=7.5 とほとんど変化がありませんでした。[2)]

A試料の様に風化したものは、一般に岩の割れ目の僅かの隙間に存在し、一例を挙げると写真-2-Ⅱ-2 に示すように、緑化法面に一部茶褐色化したところが見られるが、これが黄鉄鉱の酸化作用で植物が枯れたためであり、原因とする物質が如何に僅かな箇所にあるかが理解できると思われる。

従って、この様な物質をボーリング調査で確認することは大変困難である。

このため、自然由来の重金属などは、道路事業区域付近における地形、地質、地盤、地下水、有害物質の状況などを、国土交通省の土地総合情報ライブラリー や（独）産業技術総合研究所など機関が発行している各種地質図、各地方自治体が所有する地盤、土壌、地下水に関する既存資料等からマクロ的に把握することが重要である。

更に、これらの調査を通じて実施する事は、自然由来に起因する重金属の有無や埋蔵量を推定するのではなく、自然由来に起因する土壌汚染の可能性があれば、計画段階から工事における発生土の土質試験や処理方法等を予め計画立案するなどのリスクマネジメントを行う事が求められる。

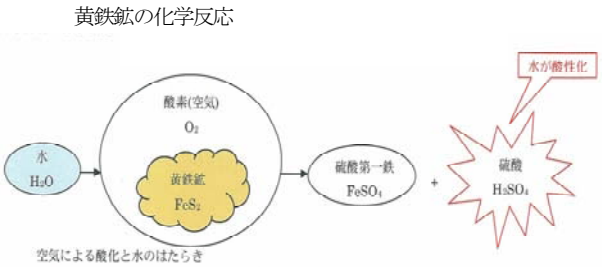


図-2-Ⅱ-1　黄鉄鉱による酸性水発生メカニズム

写真-2-Ⅱ-1　風化の違う黄鉄鉱のサンプル例[2)]

写真-2-Ⅱ-2　黄鉄鉱に起因する法面の酸化

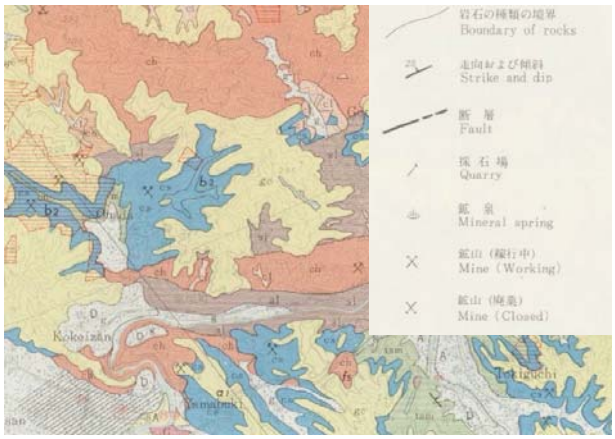


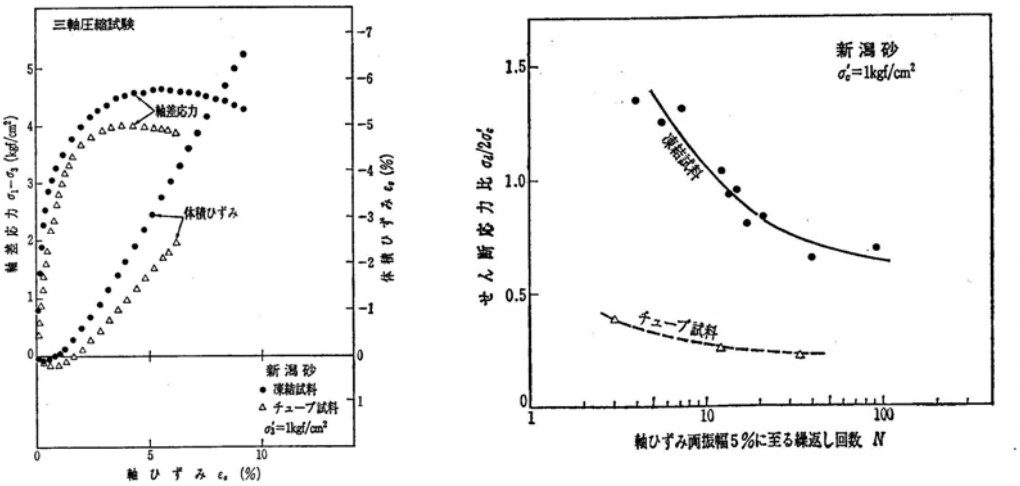
図-2-Ⅱ-1　地質図の例
（国土交通省 HP 土地総合情報ライブラリー）
http://tochi.mlit.go.jp/seido-shisaku/kokudo-chousa

② 液状化調査

支持力や円弧すべりなどの土質に係る静的な問題を検討する場合、N値などを用いて簡易的に検討を行い、対策工法が必要になるなど詳細な検討が必要と判断された場合、シンウォールサンプラーなどの二重管または三重管サンプラーなどで不攪乱試料を採取し（以下「チューブ試料」という。）、この試料を用いてc，φ等の静的力学特性を求めて詳細な検討を行う事となる。

一方、液状化調査では、上記静的問題と同様にチューブ試料で液状化強度を求めようとすると正確なデータが得られないので注意が必要である。

すなわち地盤を凍結させてサンプリングする凍結試料とチューブ試料を比較すると、図-2-Ⅱ-2 に示すように、(a)に示す静的せん断強度ではチューブ試料、凍結試料とも大差ないものの、(b)の液状化強度の比較では、大きく差がでている。



(a)静的せん断強度の比較　　(b)液状化強度の比較

図-2-Ⅱ-2 チューブ試料と凍結試料の強度の比較[3)]

これは、非粘性土の強度の内、排水せん断強度は主に密度に支配されて決まる。したがって乱れによって微視構造がある程度変わっても、原位置の密度を保持した試料であれば、原位置の排水せん断強度を推定するに十分である場合が多い。一方、液状化強度は密度に加え微視構造に支配される。これは微視構造が非排水せん断時の間隙水圧変化を支配する負のダイレタンシー特性と対応しているためである。したがって液状化強度を求めるためには原位置の密度だけを保持した”乱さない試料”では不十分で、微視構造も保持した良質の不攪乱試料が望ましい。

しかし一方で、凍結工法は図-2-Ⅱ-3 に示すように、液体窒素で地盤を凍結させるため、多額の費用を要することから、軽々に実施できる方法ではない。

このため液状化調査においては、安易にチューブ試料による液状化判定を行うのではなく、道路橋示方書に基づき液状化判定し、必要に応じて適切に土質定数を設定することや、有限要素法による静的解析（ＡＬＩＤ）等を用いて地盤の変形解析を行う事[4)] 等が優先される。

これらの結果によって工事コストが大きく左右され、更なる液状化判定の検討が必要となった時、改めて凍結サンプリングを検討することとなる。

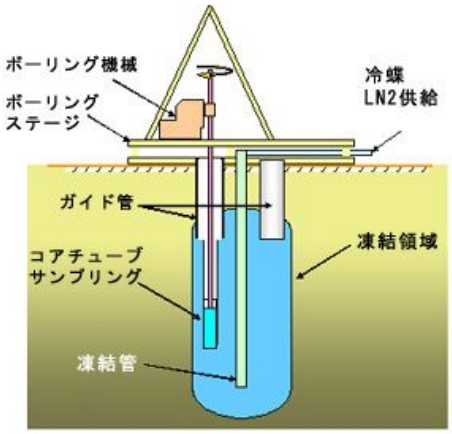


図-2-Ⅱ-3　凍結サンプリング

Ⅲ．設計標準

2-1 設計対象毎の調査方法

2-1-1　総　　則

地盤調査は、事業の各段階で必要な情報を効果的に得る必要がある。ここでは、予備設計（道路予備設計 B、橋梁予備設計、トンネル予備設計）着手前、および詳細設計（道路詳細設計、橋梁詳細設計、トンネル詳細設計）着手前について、設計の目的に応じ、図-2-Ⅲ-1 のフローのように予備調査および詳細調査に区分し取りまとめた。

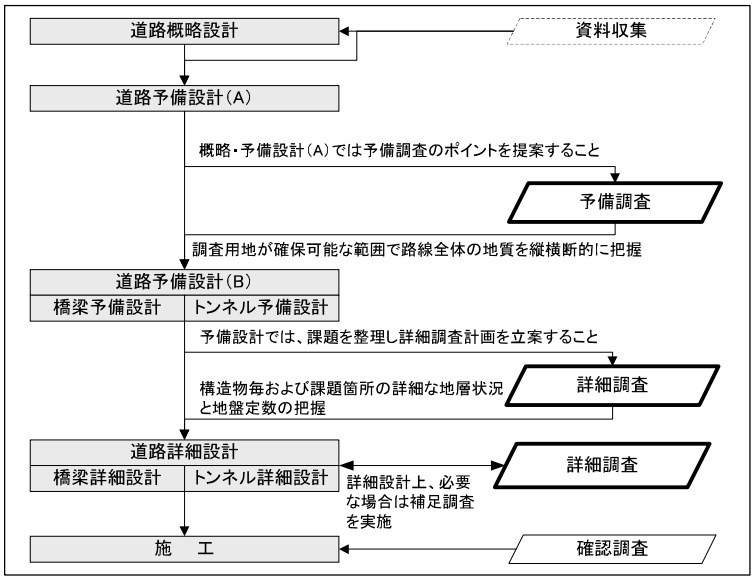


図-2-Ⅲ-1　地盤調査の位置づけ

2-1-2　資料収集

地盤調査は、具体的な調査計画や地質縦断図などの取りまとめにあたって、事前に各種資料を収集整理するとともに地形判読なども踏まえて検討することが必要である。収集する資料としては、以下のような内容を参照されたい。

表-2-Ⅲ-1　資料調査の項目

資料名	仕様	出典など
地形図	1/50,000, 1/25000	国土地理院
空中写真	1947 年以降の各年代あり	国土地理院、民間
地質図	1/200,000, 1/50,000,	土地分類基本調査 注1)、自治体 HP の GIS 情報など
土地利用図	1/200,000	土地分類基本調査 注1)、自治体 HP の GIS 情報など
災害履歴図	1/200,000	土地分類基本調査 注1)、自治体 HP の GIS 情報など
過去の土質調査資料		国土地盤検索サイト注2)
地盤情報システム TRABIS		中部技術事務所（データベース）
工事記録		過去の改築、管理に関する近傍の資料
地質文献資料	日本の地質「中部地方」など	日本地質学会など

注 1)国土交通省 HP 土地総合情報ライブラリー
http://tochi.mlit.go.jp/seido-shisaku/kokudo-chousa より閲覧可能である。

注 2)国土地盤情報検索サイト Kunijiban　http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html より閲覧可能である。

2-1-3　予備調査

1)　調査の目的・位置付け

予備調査は、道路予備設計（B)、橋梁予備設計、トンネル予備設計の着手前に実施するため、路線全体の地層状況を把握することを目的とする。

予備設計着手前は、橋台、橋脚やトンネル坑口、擁壁などの構造物位置が決定していないため、設計対象の構造物位置で調査することは困難である。

調査時点では用地取得前であるため、調査は地権者の承諾が必要であり、調査場所が制限されることが予想される。このため、予備調査は、調査可能な用地で路線全体の地層状況を把握することを目的とし、路線全体の地質縦断図および主要な箇所の地質横断図を作成する。

2)　調査の着眼点

(1)　地質上の課題把握

①　全体的な地質の把握

構造物基礎の計画位置等は不確定であるため、全体の地層状況を縦横断的に把握し、地質断面図付一般図のもととなる地質縦断図、横断図を作成できるよう位置を計画する。

②　問題となる地形地質条件の抽出

予備調査は、事業計画上大きな問題となるような地形地質リスクについて、資料や現地踏査等により入念に抽出し、必要な箇所において地質調査を実施する。

※地形地質リスクの例：地すべり、大規模崩壊地、土石流、軟弱地盤および液状化地域、土壌汚染の問題層、支持層の傾斜が大きい地域、トンネル周辺の水利用、落石斜面など。

(2)　調査位置の選定

ボーリング調査の位置は、以下の点に留意し選定すること。

①　調査用地の確保が問題ないこと。

②　道路計画上の切盛境（橋台が想定される場所)。

③　周辺の地形から尾根や谷の延長線上など支持層ラインの変化点。

④　横断方向に支持層が傾斜していることが推察される場合は、道路中心より支持層の深い側で調査を行うよう留意する。

⑤　切土安定勾配の検討箇所など用地、事業費の検討上必要な断面。

⑥　高盛土箇所。

⑦　大規模な擁壁・函渠が想定される箇所。

⑧　トンネル坑口が想定される箇所

⑨　トンネル想定区間の、概略な地質把握（物理探査による)。

(3)　ボーリングの打ち止め

支持層は、一般に砂層でN値30 以上、粘性土でN値20 以上とされているが、支持層確認の場合は、実務上はN値 50 以上の層を 5m 確認することを目安としてよい。ただし、支持層のN値にばらつきがある場合や層厚が十分でない場合は、杭長等を踏まえて判断すること。また、耐震設計上の基盤面の確認のため、代表箇所は十分に堅固な層まで深く調査すること。

(4)　調査内容

予備調査は、ボーリングと標準貫入試験を基本とした概略の地層把握を計画し、予備設計上の土質定数決定に必要な最低限の原位置試験や室内土質試験を実施する。また、トンネルや大規模な切土は、弾性波探査による地層の速度層分布から地山の状況を把握することも有効である。

2-1-4　詳細調査

1)　調査の目的・位置付け

詳細調査は、予備調査で全体的な地質を把握した結果をもとに、詳細設計を実施するために必要な調査を実施する。調査は、橋梁基礎など主要な構造物におけるジャストボーリングや設計計算に必要な土質定数の把握、予備設計における課題事項の検討に必要な調査を実施することを目的とする。以下に各道路構造の調査項目および留意点を示す。

2)　調査の着眼点

(1)　調査位置の選定

ボーリング調査の位置は、以下の点に留意し選定すること。

①　橋梁区間

原則として、各基礎の位置で実施することとし、以下の点に留意し選定すること。

a)　斜面上の橋台は地形を踏まえ対角で調査を実施し、縦横断方向の地層の傾斜を把握する。

b)　海沿いで山地が近い場所等は、地表は平坦でも支持層が急傾斜している場合がある。このような場所は、周辺の地形を考慮し、縦断方向だけでなく横断方向の支持層傾斜も考慮し、基礎の左右で調査を実施する。

c)　平野部で地層状況が水平な場合は、箇所数を省略することができる。

②　土工区間

詳細設計上の課題に対し実施することとし、以下のような箇所を選定すること。

a)　切土抑止工など、アンカー定着層の確認。

b)　軟弱地盤における近接影響箇所。

c)　函渠・擁壁の位置（原則として函渠は左右、擁壁は高さ最大箇所）。

③　トンネル区間

課題に対する検討箇所を選定すること。

a)　断層破砕帯の確認。

b)　低土被り部などの対策設計区間。

(2)　調査内容

詳細調査は、詳細設計に必要な地質縦断横断図の作成、土質定数の把握、および予備設計における課題解決について必要な内容を計画する。調査内容は、以下のような点については特に留意することとし、設計対象における具体的な調査項目について参考として表-2-Ⅲ-2～表-2-Ⅲ-5に示した。なお、詳細な調査方法は「地盤調査の方法と解説」（社団法人地盤工学会編）を参照すること。

①　ボーリングの打ち止めは予備調査で記載した内容を基本とするが、大口径深礎や直接基礎など大きな基礎において支持層のＮ値がばらつく場合は、基礎の短辺程度まで深く確認するなど留意すること。

②　軟弱地盤では、橋台の側方移動や杭の水平変位、ネガティブフリクションや背後地盤の残留沈下、液状化などが問題となるため、必要な原位置試験や土質試験を計画すること。

③　トンネル区間において、周辺水利用に対して問題があった場合は、事前調査としての水文調査を実施する必要がある。また、今後の課題や、施工中のモニタリング案を検討する。

表-2-Ⅲ-2　調査目的と必要な調査項目（切土）

調査項目 ＼ 調査目的	地形判読	地形地質踏査	調査ボーリング	弾性波探査	速度検層	土質試験	岩石試験	資料調査	備　考
切土法面勾配の決定	○	◎	◎	○		○			
斜面・法面の安定対策工検討	◎	◎	◎	○	○	○	○		長大法面は詳細に計画
盛土材への転用の可否			◎			○	○		粒度、スレーキングなど
土壌汚染のリスク判定							○	◎	

◎：必ず実施，○必要に応じ実施

※　調査ボーリングは、未固結層は標準貫入試験を併用したコアボーリングを標準とし、岩盤で標準貫入試験が実施できない場合は、オールコアボーリングとする。

土質・岩石試験は、ボーリングコアおよび標準貫入試験資料を使用して実施し、地山の評価、施工性（掘削方法）、盛土材料等の特性について把握することとする。

表-2-Ⅲ-3　調査目的と必要な調査項目（盛土・軟弱地盤・一般構造物）

調査項目 ＼ 調査目的	地形判読	地形地質踏査	調査ボーリング	ＰＳ検層	孔内水平載荷試験	土質試験（物理）	土質試験（力学）	土質試験（圧密）	備　考
盛土のすべり安定検討 直接基礎（函渠・擁壁）	○	◎	◎			◎	◎	○	力学試験は三軸圧縮試験（UU）が望ましいが、均質な粘土では１軸圧縮試験も可とする。 強度増加率を求める場合は必要に応じて三軸圧縮試験(CU)を実施
盛土の圧密沈下検討	○	◎	◎			◎		◎	
近接影響		◎	◎	○		◎	◎	◎	地下水影響は、別途必要な調査を検討すること。
液状化対策		◎	◎	○		◎	○		
杭基礎（函渠・擁壁）	○	◎	◎		○	◎	◎	◎	

◎：必ず実施，○必要に応じ実施

※　調査ボーリングは、斜面は標準貫入試験を併用したコアボーリングとし、平地で洪積層、沖積層など第四紀層の未固結層は標準貫入試験併用でノンコアボーリングを標準とする。

室内土質試験の内、物理試験は、標準貫入試験の試料が使用可能であるが、一軸圧縮、三軸圧縮、圧密などの力学試験を実施する場合は、サンプリング（乱さない試料採取）を行うこととする。

三軸圧縮試験方法については、圧密・排水等の条件について、適切な条件を選定すること。

表-2-Ⅲ-4　調査目的と必要な調査項目(橋梁)

調査項目 / 調査目的	地形判読	地形地質踏査	調査ボーリング	孔内水平載荷試験	PS検層	土質試験（物理）	土質試験（力学）	土質試験（圧密）	平板載荷試験	備　考
基礎工の検討(直接基礎)	◎	◎	◎		○	◎	◎	◎	○	平板載荷は必要に応じて施工時に実施する
基礎工の検討（杭基礎）	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎		孔内水平載荷試験は低圧・中圧・高圧を適宜選択する 軟弱地盤は、背面盛土の検討に必要な調査も検討する
基礎工の検討（深礎・ケーソン）	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	○	平板載荷は必要に応じて施工時に実施する

◎：必ず実施，○必要に応じ実施

※　調査ボーリングは、斜面は標準貫入試験を併用したコアボーリングとし、平地で洪積層、沖積層など第四紀層の未固結層は標準貫入試験併用でノンコアボーリングを標準とする。

孔内水平載荷試験は、杭基礎は杭頭部の地盤反力を把握するため、杭長の上部 1/3 程度の範囲でＮ値が小さい箇所などで実施する。深礎・ケーソンは、変形が基礎全体に作用するため、深い位置の地層においても実施すること。

室内土質試験については、前頁の盛土調査同様、サンプリングや試験条件等に留意すること。

表-2-Ⅲ-5　調査目的と必要な調査項目（トンネル）

調査項目 / 調査目的	地形判読	地形地質踏査	調査ボーリング	弾性波探査	電気探査	岩石試験	速度検層	孔内水平載荷試験	水文調査	湧水圧試験	備　考
坑口位置の選定	◎	◎	◎	◎							
掘削工法の検討			◎	◎	◎	◎					
地山分類	◎	◎	◎	◎	○	◎	○				
坑口周辺の構造物検討	◎	◎	◎								
補助工法検討			◎	◎	○	○	○	○		○	
湧水処理検討		◎	○						◎	○	
周辺影響		◎							◎		

◎：必ず実施，○必要に応じ実施

※　トンネルは連続した構造物であり、山地内の地質を完全に把握にすることには限界がある。このため、予備調査・詳細調査の各段階において、課題や不明点をその後の追加調査や施工段階の調査などに引き継げるよう、申し送り事項を整理すること。

2-2　地質断面図

2-2-1　地質断面図付一般図作成

1)　地質断面図付一般図の作成

地質縦断図は地質調査の成果物としてとりまとめられるものの、橋梁の基礎杭を設計する場合、近傍のボーリング柱状図を参照して設計している状況にある。このため地質の状況を深さ方向の 1 次元でしか考えられていないケースも見受けられ、この場合、支持層の傾斜の有無や、地層の水平方向の連続性など地層を 3 次元で考えていない懸念も生じる。

橋梁や一般構造物等の設計にあたっては、一般図または構造図へ地質断面図を記載し、3 次元的な検討が行えるよう地質断面図付一般図を作成する。

地質断面図付一般図の仕様を表-2-Ⅲ-6 に示す。

表-2-Ⅲ-6　地質断面図付一般図の仕様

<table>
<tr><th>作成図面</th><th>対象構造物</th><th>縮尺</th><th>範囲</th><th>記載内容</th></tr>
<tr><td>対象構造物区間の地質断面図・平面図</td><td rowspan="2">橋梁
地下横断歩道等
共同溝
地下駐車場
トンネル
擁壁
函渠工</td><td>V=1/200
H=1/1,000
または
V=1/100
H=1/500</td><td>適宜</td><td rowspan="2">・対象構造物：躯体、基礎杭、置換コンクリート基礎、地盤改良体等
・地層構成(岩石及び未固結層の分布と性状)、地層構成表
・ボーリング柱状図
・断層・破砕帯・亀裂等の分布と規模
・湧水および地下水位
・支持層、基盤面
・弾性波探査、調査ボーリングの位置</td></tr>
<tr><td>構造物ごとの地質断面図</td><td>1/100
または
1/200</td><td>構造物幅＋左右各 5m 程度以上</td></tr>
</table>

(1)　地質断面図付一般図作成の留意点

①　対象構造物区間の地質断面図・平面図

対象構造物区間全体について、表-2-Ⅲ-6 に示す記載内容を記した縦断図と平面図を 1 枚に編集した図面を作成する。

また、連続高架橋等、構造物の延長が長い場合は、一定範囲の地質状況を確認・把握できるように設計担当区間のみでなく、図-2-Ⅲ-2 に示すように隣接工区も含めた側面図を作成するものとする。

②　構造物ごとの地質断面図

山地部や山地に近い平野部、海沿いで山地が近い場所、河川に近い場所等では、地層や支持層が道路縦断方向だけでなく、道路横断方向に傾斜していることがある。また、構造物付近に破砕帯等の弱線、支持層の急激な変化、過去に採掘・埋戻された形跡等が確認された場合は、構造物位置での地層構成や支持層の傾斜や深さの変化が予想される。このような場合、表-2-Ⅲ-7 に示す記載内容を記した構造物ごとの地質断面図を作成するものとする。

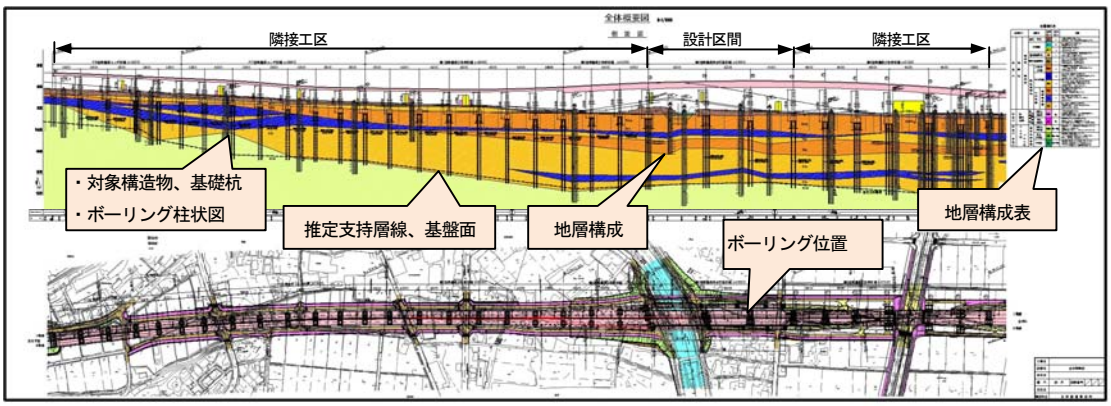


図-2-Ⅲ-2 対象構造物区間の地質断面図・平面図の例（連続高架橋）

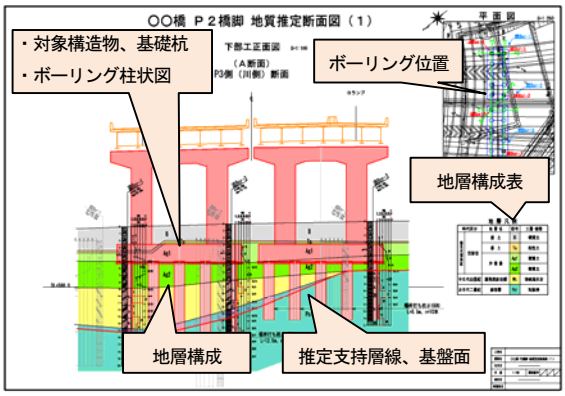


図-2-Ⅲ-3 構造物ごとの地質断面図の例（橋梁）

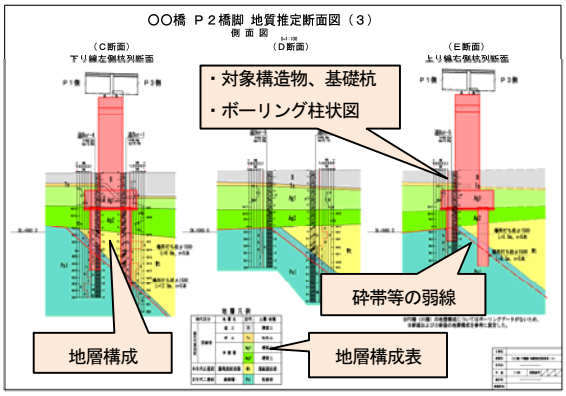


図-2-Ⅲ-4 構造物ごとの地質断面図の例（橋梁）

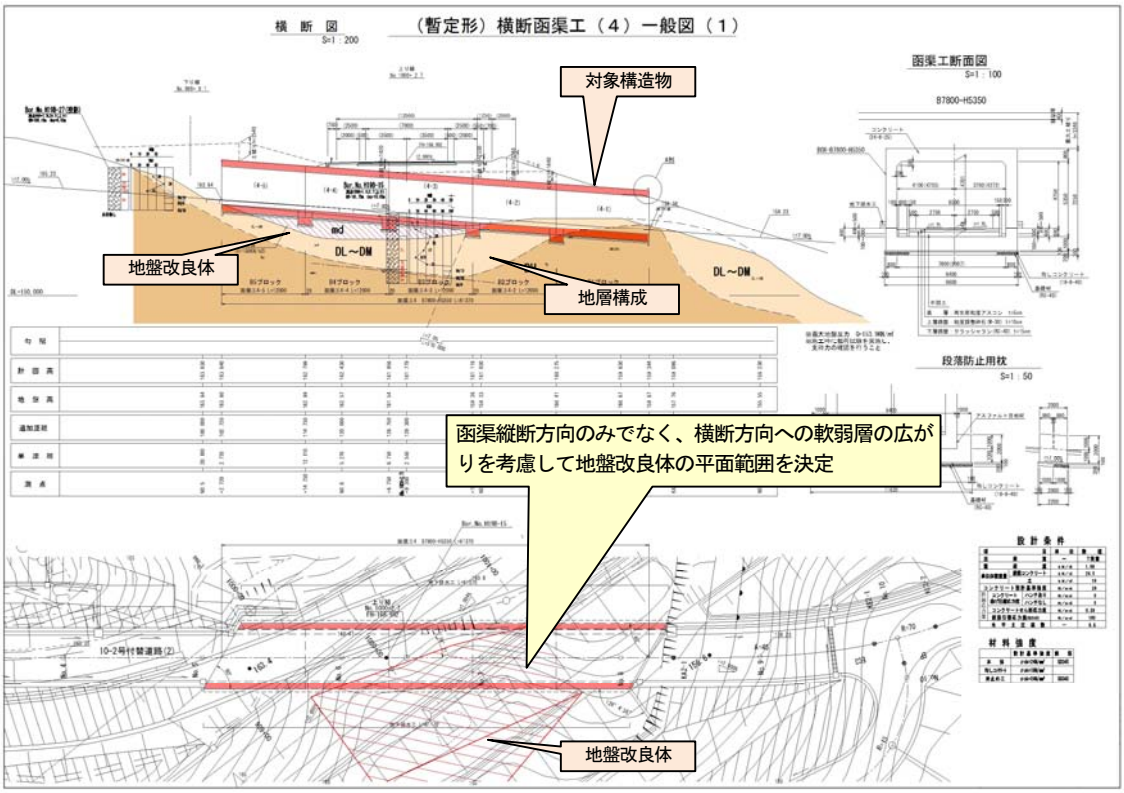


図-2-Ⅲ-5(1) 対象構造物区間の地質断面図の例(函渠工)

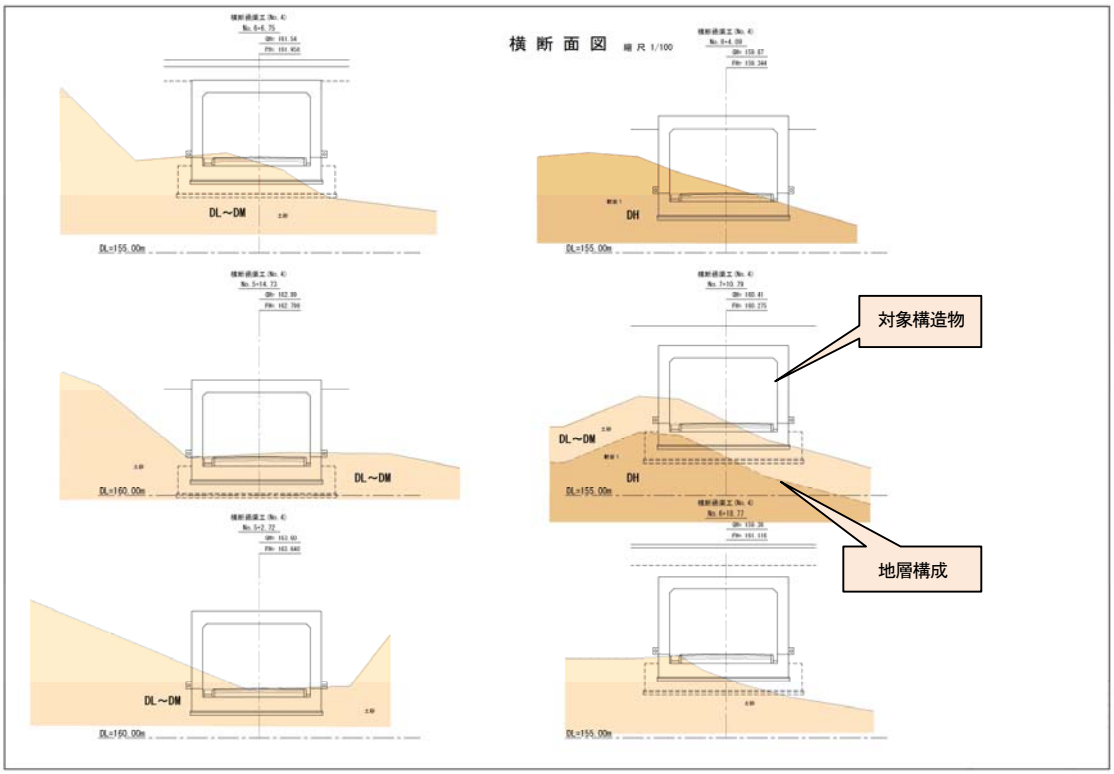


図-2-Ⅲ-5（2）　対象構造物区間の地質断面図の例(函渠工)

2)　地質断面図作成時の土質分類について

地質断面図の作成にあたっては、ボーリング柱状図の土質区分だけでなく、粒度試験結果にも着目し、図-2-Ⅲ-6 三角座標による方法や塑性図など土質の分類も参考にし、地質縦断図を作成するものとする。

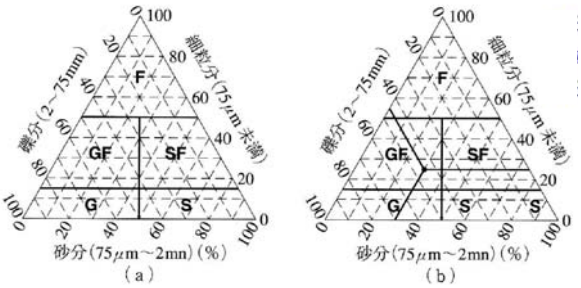


図-2-Ⅲ-6　三角座標による土質分類

【解説】

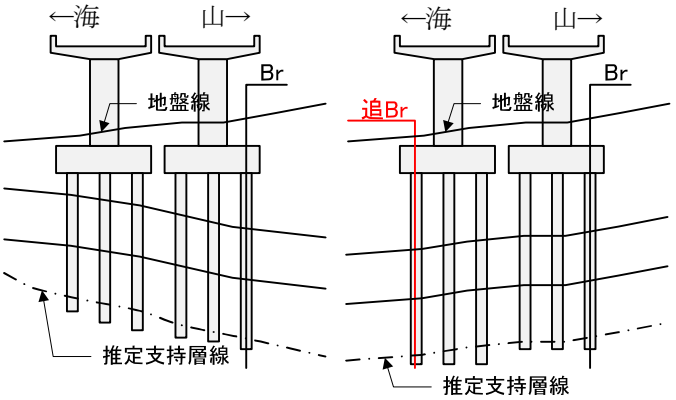
平野部の三角州などでは、堆積環境の変化で砂質土と粘性土の中間的な土質の箇所も多く、ボーリング柱状図の土質区分のみでは、正確に土質を分類できないことが懸念される。このため、粒度試験結果にも着目した土質の分類方法も参考に地質断面図を作成するよう規定した。

2-2-2　地質断面図付一般図の活用

地質断面図付一般図は、地質構造を３次元で考えることができるため、設計業務の打合せ時、地質調査の計画時、工事発注時、工事着手時の設計照査時等において、前項で規定した「地質断面図付一般図」を活用し、支持層位置や基盤面の確認、試験杭位置の選定、その他設計上の課題の抽出・対策案の選定等に活用し、設計成果の品質向上に資するものとする。

1)　支持層の傾斜、方向の確認

既往の地質横断図において、図-2-Ⅲ-7(a)のように地表面と中間層や支持層の傾斜方向が異なっている場合、中間層や支持層の傾斜が間違っていることも考えられる。このような場合は、周辺の地形（山地の傾斜方向、海岸線の方向、河川流下方向等）を確認のうえ、追加地質調査を行い図-2-Ⅲ-7(b)に示すような地質断面図を作成することで、地層、支持層の傾斜を確認することができる。

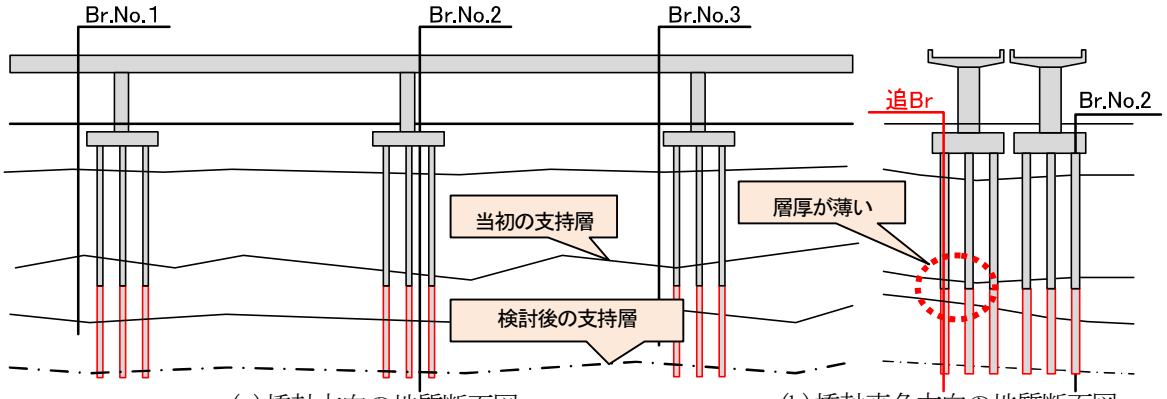


(a)既往調査結果　　(b)追加地質調査結果

図-2-Ⅲ-7　支持層の傾斜、方向の確認

2)　支持層深さ・厚さの確認

橋軸方向の支持層厚さが、図-2-Ⅲ-8(a)のように層厚が一定していない場合、橋軸直角方向の支持層厚さも変化していると考えられる。このような場合は、橋軸直角方向に追加地質調査を実施し、図-2-Ⅲ-8(b)に示す地質断面図を作成することで、橋軸直角方向の支持層厚さが確認でき、薄層支持の検討、最適な支持層の選定及び杭長の決定に活用できる。



(a)橋軸方向の地質断面図　　(b)橋軸直角方向の地質断面図

図-2-Ⅲ-8　支持層深さ・厚さの確認

3)　破砕帯等の位置、傾斜方向、深さ等の確認

図-2-Ⅲ-9 のように既往地質調査結果より橋脚付近に破砕帯が確認されているような場合、基礎杭位置にて橋軸方向、橋軸直角方向に数本の追加地質調査を行い、図-2-Ⅲ-10 のような構造ごとの地質断面図(横断図、側面図)を作成することで、破砕帯の位置、傾斜方向、深さ等が確認でき、適切な基礎杭長さが決定できる。

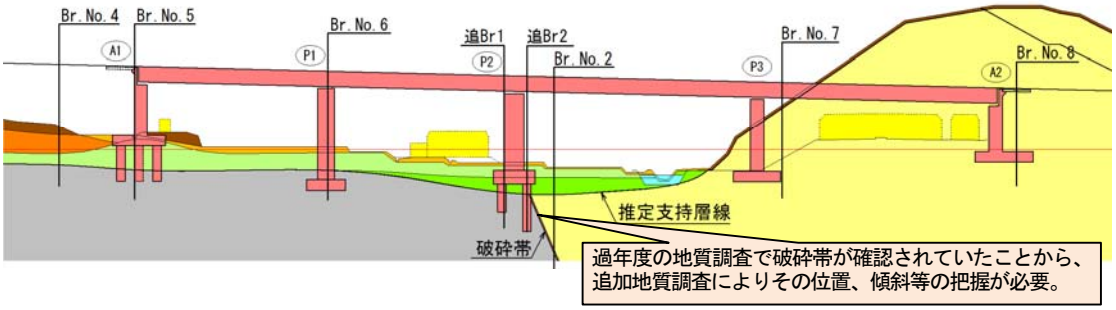
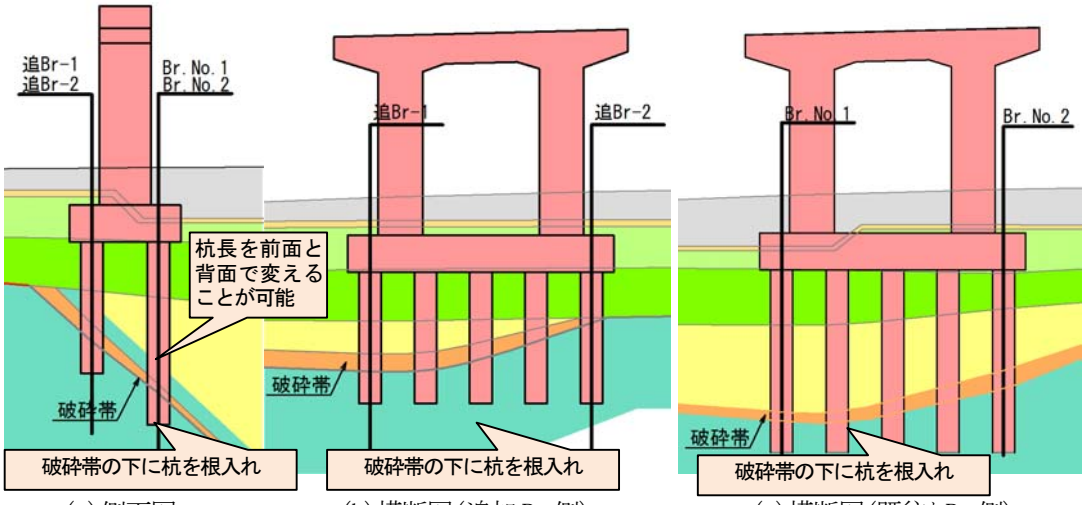


図-2-Ⅲ-9　破砕帯等の位置、傾斜方向、深さ等の確認



(a) 側面図　(b) 横断図(追加 Br 側)　(c) 横断図(既往ホ Br 側)

図-2-Ⅲ-10　破砕帯等の位置、傾斜方向、深さ等の確認

4)　中間軟弱層の確認

図-2-Ⅲ-11 のように中間層に軟弱粘性土層がレンズ状に存在する場合、その範囲を把握し負の摩擦力に対する検討等、基礎杭の設計に反映する必要がある。地質縦断図に加え、地質横断図を作成することで、その広がりを確認できる。

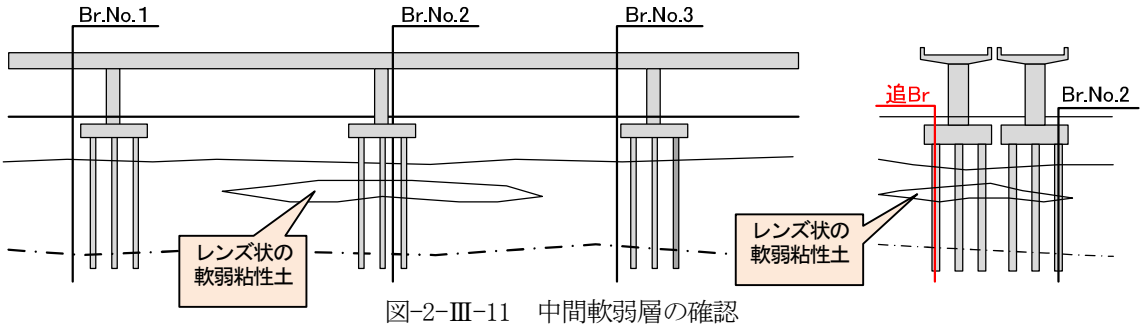


図-2-Ⅲ-11　中間軟弱層の確認

5)　擁壁の支持層の確認

直接基礎の擁壁において、図-2-Ⅲ-12 のように支持層が擁壁延長方向で局所的に深くなっている場合がある。この場合、擁壁横断方向の地質断面図を作成することで、支持層の深さ、傾斜、広がりが明確となり、置換コンクリート基礎や地盤改良工の範囲を適切に設定できる。

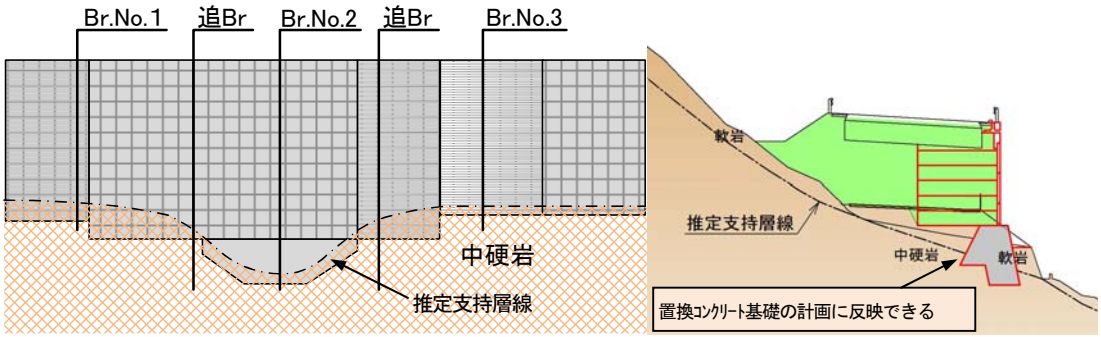


図-2-Ⅲ-12　擁壁の支持層の確認

6)　液状化による地盤流動の可能性がある地盤

地質縦断図の活用事例として、地盤流動が予想される地形及び地盤の把握がある。「液状化による地盤流動の可能性があるケース」[5] としては、図-2-Ⅲ-13 に示すタイプⅠのように液状化層が連続しており、かつ地表面の傾斜が大きい場合。タイプⅡのように下部構造に近接して水路や河川等があり、液状化による偏土圧が作用する場合。タイプⅢのように液状化層が連続しており、液状化層の傾斜が大きい場合が考えられる。

このように、地質縦断図は支持層だけでなく、液状化層の層厚や傾斜、軟弱粘性土に関する近接影響など広範な見方が可能となる。

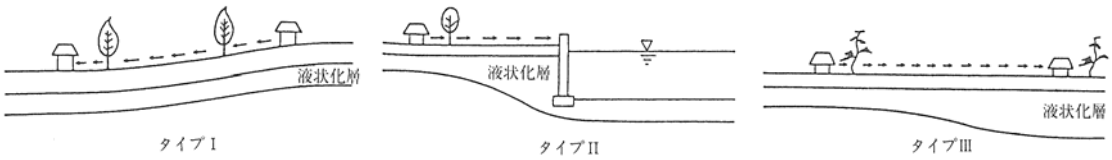


図-2-Ⅲ-13　液状化による地盤流動の可能性がある地形・地質[5]

2-3　対象別調査方法の概説

設計にあたっては、地質調査と緊密に連携することで精度向上や様々な施工上の問題を回避することが可能である。このため、設計に対して地質的な知識が重要な事項として、すべり計算や平板載荷試験について留意点や具体的な計算例を示す。

2-3-1　土工

土工におけるすべり安定計算には、斜面崩壊や、地すべり、盛土、液状化など様々な目的があり、予備設計等の工法選定時や具体的な対策工の詳細設計まで計算の精度も様々である。ここでは、盛土の安定照査で検討頻度が高い円弧すべりや、工事発注等の条件が必要となる緩速盛土について留意点を示す。

1)　円弧すべり検討

盛土の円弧すべりについて目的・検討方法と土質定数を設定する上での留意点について示す。

(1)　円弧すべり検討の必要性

盛土の設計は、標準的な形で計画すれば所定の安全率は確保できることとしている。しかし、以下のような場合は、すべり安定が確保できないおそれがあり、円弧すべり検討が必要である。

①　盛土高、勾配が表-2-Ⅲ-7 の標準範囲を超える場合。
②　盛土材料が表-2-Ⅲ-7 以外の特殊土な場合。
③　盛土の基礎地盤が軟弱地盤や地すべりのように不安定な場合。
④　降雨や浸透水の影響を受けやすい場合。
⑤　盛土法面が常時及び洪水時等に冠水したり法尻が侵食される恐れがある場合。

表-2-Ⅲ-7　盛土材料及び盛土高に対する標準法面勾配の目安

盛土材料	盛土高(m)	勾配	摘要
粒度の良い砂(S),礫及び細粒分混じり礫(G)	5m 以下	1:1.5～1:1.8	支持地盤の支持力が十分にあり、浸水の影響がなく、締固め管理が可能な盛土に適用する。 ()の統一分類は代表的なものを参考に示したものである。 標準法面勾配の範囲外の場合は安定計算を行う。
	5m～15m	1:1.8～1:2.0	
粒度の悪い砂(SG)	10m 以下	1:1.8～1:2.0	
岩塊(ずりを含む)	10m 以下	1:1.5～1:1.8	
	10m～20m	1:1.8～1:2.0	
砂質土(SF),硬い粘質土,硬い粘土(洪積層の硬い粘質土,粘土,関東ローム等)	5m 以下	1:1.5～1:1.8	
	5m～10m	1:1.8～1:2.0	
火山灰質粘性土(V)	5m 以下	1:1.8～1:2.0	

(2)　土質定数の設定における留意点

①　円弧すべりの特徴

常時の安定計算では以下の図の①のように表層付近の粘性土で生じる場合が多く、②のような砂質土では常時は比較的安定している場合が多いが地震時は液状化の問題がある。また、③のような深い位置の粘土まではすべりが及ばない場合が多い。

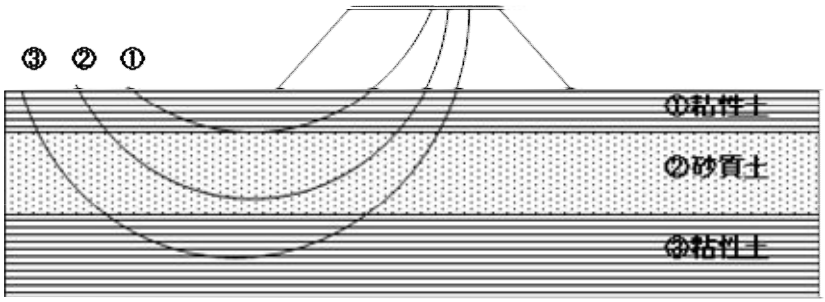


図-2-Ⅲ-15　円弧すべりの特徴

② 土質定数設定における留意点

円弧すべり計算においては、以下の点に留意し土質定数を設定すること。

a) 表層部の粘性土（図-2-Ⅲ-15 の粘性土①）は、円弧すべり計算に対して粘着力が大きく影響する。このため、検討位置付近の室内土質試験により地盤定数を設定することが必要である。

試験項目：湿潤密度試験，一軸圧縮試験または三軸圧縮試験(uu)，緩速盛土など強度増加を見込んだ計算では三軸圧縮試験(cu)なども実施することが望ましい。

b) 砂質土層（図-2-Ⅲ-15 の砂質土②）は、常時ではすべりに対して問題は少ないため、φはN値より算出しても良いこととする。大規模な盛土に対し、液状化について検討する場合は、粒度試験を実施するとともに、対策費用が大きい場合はP2-3 のような試験も実施することが望ましい。

c) 深部の粘性土（図-2-Ⅲ-15 の粘性土③）は、すべりへの影響は少ない場合が多いため、近傍の調査により路線としての代表値があれば、これを採用してもよい。高盛土など深い場所まですべりの影響がある場合は、表層部と同様な試験が必要である。

2)　緩速盛土

緩速盛土の設計にあたっての目的・検討方法と留意点・必要な条件・調査方法について以下に示す。

(1)　緩速盛土の概要

軟弱地盤の地域において盛土を設計する場合、すべり安定が確保できずに所定の高さまで盛土が構築できない場合がある。こうした場合の安定対策として、経済性の面から「緩速盛土」が優先的に検討されている。

軟弱な粘性土は、盛土の荷重で圧密が進行すると、強度が増加する特性がある。「緩速盛土」はこの特性を利用し、特別な工法を用いずに圧密による粘性土の強度増加を待ちながら、時間をかけて盛土することで、盛土の安定を図る工法である。

(2)　検討手法

①　検討手順

検討は以下のフローのとおりである。検討にあたっては、以下の点について明確にできるよう検討する。

a)　工事発注に対して、施工者に指定すべき事項

ア)　1 次盛土の限界高さ。

イ)　2 次盛土以降時の必要地盤強度

ウ)　2 次・3 次盛土の限界高さ（必要性の判断）

エ)　2 次・3 次盛土において、次の段階盛土に進む時点で必要な地盤強度

b)　工事管理および事業計画上必要な事項

・各盛土段階の放置期間により発注工事の工期設定および事業工程を計画

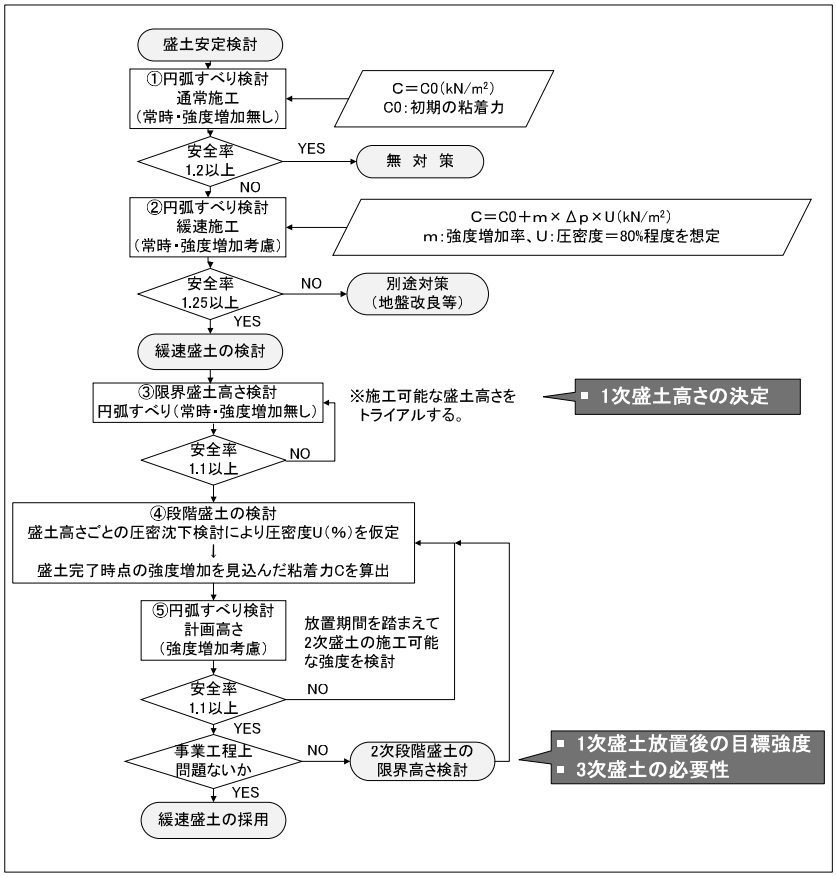


図-2-Ⅲ-16　緩速盛土の検討フロー

② 設計条件の設定方法

a) 強度増加後の粘着力c

$c = c_0 + m \times \Delta p \times U$ (kN/m²)　　初期状態が正規圧密状態の場合

$c = c_0 + m \times (p_0 - p_c + \Delta p) \times U$ (kN/m²)　盛土荷重により初期状態が正規圧密状態となる場合

$c = c_0$ (kN/m²)　　盛土荷重の載荷後も過圧密状態の場合

ここに、　c_0＝初期の粘着力（kN/m²）

m　＝強度増加率

Δp＝盛土などの荷重による鉛直応力の増分（kN/m²）

p_0＝すべり面に関わる初期の鉛直有効応力、p_c＝圧密降伏応力（kN/m²）

U　＝圧密度（%）

上記の設定に必要な土質定数を把握するため、以下の土質試験を実施する。

b) 物理試験：土粒子の密度，含水比，粒度，液性限界塑性限界，湿潤密度

c) 力学試験：一軸圧縮試験または三軸圧縮試験(uu)，三軸圧縮試験(cu)，圧密試験

※留意点

緩速盛土設計で用いる強度増加率mは、三軸圧縮試験(cu)により実測値として得ることができるが、三軸圧縮試験(cu)は等方圧密の影響で、多少過大な値となる恐れがある。このため、強度増加率は「軟弱地盤対策工指針 P83」の一般値や塑性指数 Ip から換算する Skempton の関係式(m=0.11＋0.0037Ip)などと比較し、総合的に採用値を決定する。なお、大規模盛土は、盛土荷重の影響が大きいため、「K0 圧密による三軸圧縮試験(cu)」など精度の高い試験方法も検討することが望ましい。

(3) 施工条件（工事発注条件）

工事仕様として次の事項を規定する。

① 1 次盛土の限界高さ高さ（初期の限界盛土高さ）。

② 2 次盛土移行時の必要強度

③ 2 次盛土の限界高さ（必要な場合）

※留意点

工期設定にあたっては、各段階の放置期間を参考とする。

盛土立ち上げ中は、側方変位に留意し、はらみ出しがある場合は盛土施工を止めるなど盛土の安定を損なわないよう情報化施工を行う。

2-3-2　橋梁及び道路構造物

1)　平板載荷試験

(1)　概要

橋梁の直接基礎、擁壁、ボックスカルバートについて、許容鉛直支持力度を求める場合、いずれも「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」の「10.3.1 基礎底面地盤の許容鉛直支持力」に従って算出することとされ、この規定では、荷重の偏心傾斜及び支持力係数の寸法効果を考慮しており、これらを考慮していない平板載荷試験の結果をそのまま用いることはできない。

しかし、平板載荷試験結果でも「極限支持力」という形で結果が報告され、上記方法で算出したものと混同している事例が散見され、もし平板載荷試験結果をそのまま用いると許容鉛直支持力度を過小評価することにもなりかねない。

このため、橋梁の直接基礎、擁壁、ボックスカルバートについて、平板載荷試験結果から許容鉛直支持力度を求める方法を、「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」の「10.3.1 基礎底面地盤の許容鉛直支持力」に従って算出する計算例を以下に示す。

(2)　支持力算定の流れ

以下に支持力算定の流れを示す。(3)にこの流れに基づいた実例を示す。

①平板載荷試験の実施（平板載荷試験の極限支持力（kN）の測定）

⇩

②平板載荷試験の極限支持力を用いて、道示式（解 10.3.6）に基づき支持地盤の c、φを逆算

⇩

③推定した c、φを道示式（10.3.1）にあてはめて実基礎の極限支持力、許容鉛直支持力を算定し、作用鉛直力以上であることを照査

(3)　平板載荷試験による実基礎の極限支持力の算定手法

ここでは、ボックスカルバートについて、平板載荷試験結果から実基礎の極限支持力を算定し、鉛直支持力を照査する手法を実例として示す。

①　設計条件

a）地盤条件

ア）支持地盤の湿潤重量　：γ=19 kN/m^3

イ）根入れ地盤の湿潤重量：γ=18 kN/m^3

b）フーチング底面に作用する鉛直力（常時）

ア）鉛直力　V=1500 kN/m

（ボックスカルバートの延長 1m あたり。フレーム解析により算出したフーチング底面の作用鉛直力である。）

イ）有効載荷面積あたりの鉛直力

$q = V/B_e = 1500/6.0 = 250.0$ kN/m^2

ここで、

B_e：有効載荷幅 = 6.0m

（ボックスカルバートの常時の有効載荷幅は、基礎底面に鉛直力のみが作用するため、ボックスカルバートの全幅 6.0m となる。）

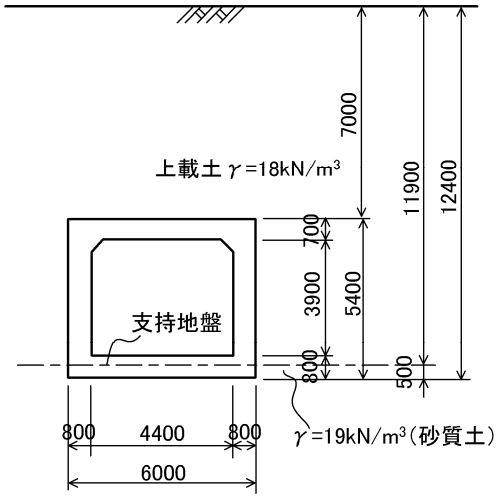


図-2-Ⅲ-17　ボックスカルバートの設計条件

② 平板載荷試験の実施（平板載荷試験の極限支持力（kN）の測定）

・平板載荷試験の極限支持力：18 kN

・載荷板の直径：φ0.3 m

③ 平板載荷試験の極限支持力を用いて、支持地盤のc、φを逆算

「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」10.3.1、解説3)、(解 10.3.6)に基づき、平板載荷試験の結果から、支持地盤のc、φを算出する。

ここで、本計算における支持層は砂質土であるため、既往の土質試験等からcを仮定し、下式よりφを算定するものとする。cは砂質土のため0 kN/m^{2}と仮定する。

$$Q_u = \frac{\pi \cdot B^2}{4}\left(1.3 \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + 0.3 \cdot B \cdot \gamma_1 \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma\right) \quad \text{(解 10.3.6)}$$

ここに、

Q_u：18 kN

B　：0.3 m

c　：0 kN/m^2

γ_1　：19 kN/m^2

$S_\gamma = (B^*)^{\mu} = (1.0)^{-1/3} = 1.0$

（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p303､304より）

ここに、

$B^* = B_e/B_0$、ただし、$1 \leqq B^*$　（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p304より）

$B^* = 0.3/1.0 = 0.3 \rightarrow 1 \leqq B^*$より、$B^* = 1.0$となる。

B_e：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅(m)

平板載荷試験においては鉛直力のみが作用するため、荷重の偏心は無い。よって、基礎の有効載荷幅は載荷板の直径0.3mとなる。

B_0：1.0 m　（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p304より）

$\mu = -1/3$　（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p304より）

以上を上式にあてはめると、

$18 = \pi \times 0.3^2 / 4 \times (1.3 \times 0 \times N_c \times S_c + 0.3 \times 0.3 \times 19 \times N_\gamma \times 1.0)$

$18 = 0.0707 \times (0 + 1.71 \times N_\gamma)$

$N_\gamma = 148.9$

「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p303､図-解 10.3.3より、$N_\gamma = 148.9$に対するφを読み取る。下図より、φ=43°となる。

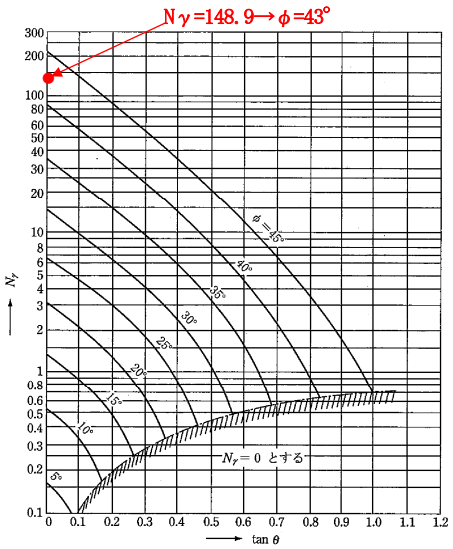


図-解 10.3.3　支持力係数N_γを求めるグラフ

左図において、tanθは荷重の傾斜を示す。平板載荷試験においては、鉛直力のみで荷重の傾斜はないため、θ=0°となる。よって、tanθ=tan0°=0となる。

④　平板載荷試験から推定したc、ϕから実基礎の極限支持力を算定

③で求めたc = 0kN/m^2、ϕ = 43°を「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」10.3.1、(2)の式（10.3.1）にあてはめて実基礎の極限支持力を算定する。

ここでは、常時に対する極限支持力の算定を示す。

a）支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量

ア）支持地盤の単位体積重量 γ_1 = 19.00 kN/m^3

イ）根入れ地盤の平均単位体積重量 γ_2 = 18.04 kN/m^3

ここで、γ_2は根入れ地盤の単位体積重量の平均値のため、地盤各層の単位体積重量と層厚から加重平均して求める。

(19kN/m^3×0.5m+18kN/m^3×11.9m) ／12.4m = 18.04 kN/m^3

b）上載荷重：q=γ_2･D_f=18.04×12.4 = 223.7 kN/m^2

基礎の有効根入れ深さ D_f=12.4 m

c）荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅：B_e = B-2e_B = 6.000-2×0.000=6.000 m

B=6.000 m(基礎幅)

e_B=0.000 m(荷重の偏心量)

（ボックスカルバートの常時のため、鉛直力のみとなり荷重の偏心量は0mとなる。）

d）有効載荷面積：A_e=6.000×1.000 = 6.000 m^2（奥行き1mあたりの有効載荷面積）

e）基礎の形状係数（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p300より）

α = 1.0

β = 1.0

（ボックスカルバートは帯状基礎のため、「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」表-解10.3.3より、1.0となる。）

f）根入れ効果に対する割増係数（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p300より）

κ = 1+0.3･(D_f'/B_e) = 1+0.3×(0.500/6.000) = 1.025

良質な地盤への根入れ深さ D_f'=0.500 m

g）支持力係数の寸法効果に関する補正係数

（「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p303,304より）

寸法効果に対する補正係数 $\lambda=\mu=\nu$=-1/3

ア）S_c = $(c^*)^{\lambda}$ = $1.000^{(-1/3)}$ = 1.0

地盤の粘着力 c = 0 kN/m^2

c^* = c/c_0 = 0/10 = 0　ただし、1≦c^*≦10より、c^*=1.0となる。

c_0 = 10 kN/m^2

イ）S_q = $(q^*)^{\nu}$ = $10^{(-1/3)}$ = 0.464

q^* = q/q_0 = 223.7 / 10 = 22.37　ただし、1≦q^*≦10より、q^*=10となる。

q_0 = 10 kN/m^2

ウ）S_γ = $(B^*)^{\mu}$ = $6.0^{(-1/3)}$ = 0.550

B^* = B_e/B_0 = 6.0/1.0 = 6.0 m　ただし、1≦B^*。

B_0 = 1.0 m

h）荷重の傾斜を考慮した支持力係数

ア）地盤の内部摩擦力 ϕ = 43.00°

イ）荷重の傾斜角 tanθ = 0.0（θ=0.0°）

ここで、ボックスルカルバートの常時のため、鉛直力のみとなり荷重の傾斜角は0°となる。

ウ）支持力係数（以下のグラフ参照）

N_c：道示Ⅳ、図-解 10.3.1 より、 ϕ=43° に対応する値を読み取る。→N_c=100

N_q：道示Ⅳ、図-解 10.3.2 より、 ϕ=43° に対応する値を読み取る。→N_q=100

N_γ：道示Ⅳ、図-解 10.3.3 より、 ϕ=43° に対応する値を読み取る。→N_γ=150

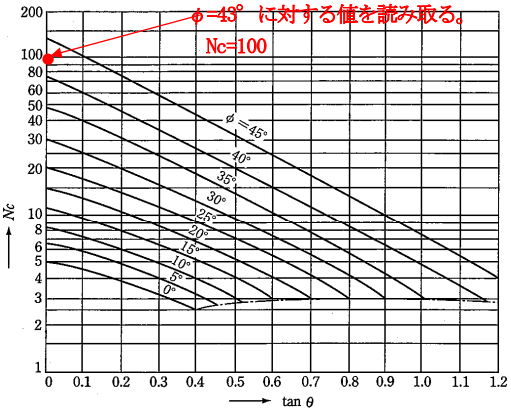


図-解 10.3.1　支持力係数 N_c を求めるグラフ

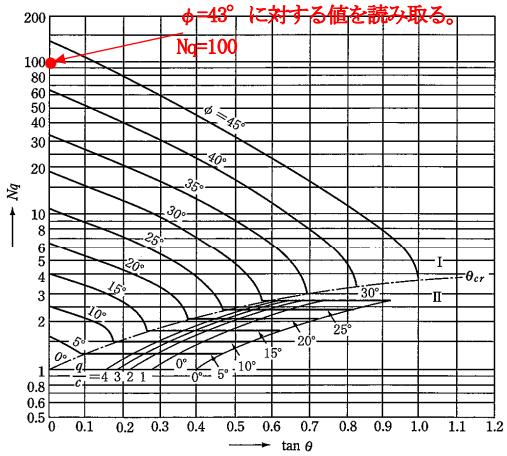


図-解 10.3.2　支持力係数 N_q を求めるグラフ

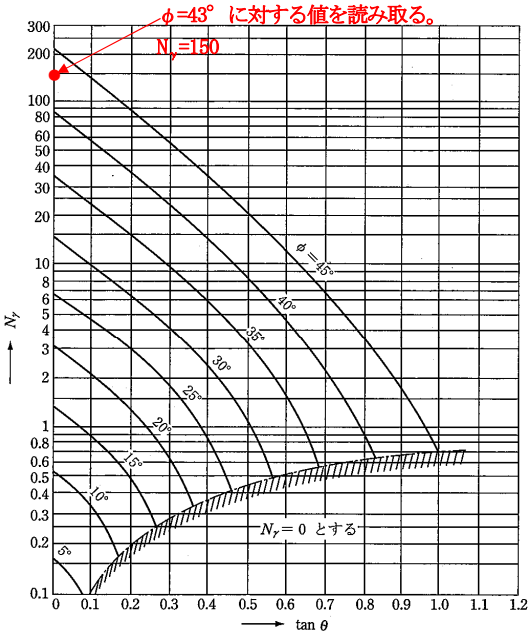


図-解 10.3.3　支持力係数 N_γ を求めるグラフ

i）基礎底面地盤の極限支持力

$Q_u=A_e\cdot\{\alpha\cdot\kappa\cdot c\cdot N_c\cdot S_c+\kappa\cdot q\cdot N_q\cdot S_q+1/2\cdot\gamma_1\cdot\beta\cdot B_e\cdot N_\gamma\cdot S_\gamma\}$

$=6.0\times\{1.0\times1.025\times0\times100\times1.0+1.025\times223.7\times100\times0.464$

$+1/2\times19.00\times1.0\times6.0\times150\times0.550\}$

$=92,050$ kN

j）実基礎の鉛直支持力の照査

ア）許容鉛直支持力：$Q_a = Q_u / \alpha / A_e = 92,050/3/6.0 = 5,113$ kN/m^2

α：安全率 = 3（常時、「道路橋示方書･同解説 Ⅳ下部構造編」p297 より）

A_e：有効載荷面積 = 6.000 m^2

イ）作用鉛直力：q = 250.0 kN/m^2　（①の設計条件を参照）

ウ）鉛直支持力の照査

$Q_a = 5,113 > q = 250$ kN/m^2　(OK)

以上より、平板載荷試験結果を用いた鉛直支持力の照査の結果、許容値を十分満足するため、基礎地盤は作用力に対して十分安全である。

【参考文献】

1)地盤工学会：地盤調査の方法と解説, p165

2)多治見砂防国道事務所：第２回新滝ヶ洞溜池の水質異常に係る対策協議会審議資料, 2003. 8. 26

3)時松孝次、大原淳良：講座　地盤の熱的問題－8. 凍結の応用－8. 2 凍結サンプリング, 土と基礎, 38-11, pp61-68, 1990

4)時耕清志：盛土構造における地震時液状化対応について, 平成 19 年度事業研究発表会, 中部地整

5)浜田政則：液状化による地盤の側方移動, 土木学会誌別冊増刊, pp65-67, 1989. 6