

平成14年度地盤調査方法に関する調査

報 告 書

平成 15 年 3 月

国土交通省 都市・地域整備局大都市圏整備課
大深度地下利用企画室

まえがき

本資料は、「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」において定義されている大深度地下を地盤調査結果などを用いて適切に特定するため、大深度地下特定のための地盤調査及び地盤調査結果を用いた大深度地下特定の一連の作業における技術的事項について定め、事業者等関係者の技術的解釈を統一することにより大深度地下使用制度の適正かつ円滑な運用に資するために作成された。

本資料の作成にあたり、平成 12 年度及び平成 13 年度に国土庁及び国土交通省から社団法人地盤工学会に、地盤調査手法に関する調査、大深度地下特定の地盤調査マニュアル(案)の作成等を依頼し、社団法人地盤工学会において「大深度地下地盤調査マニュアル検討委員会」を設置し、種々の検討を行った。それらの検討に加えて、平成 14 年度委員会においては、実際のデータを用いた大深度地下特定のケーススタディについて検討を加え、大深度地下特定のための地盤調査マニュアル(案)を作成したものである。

本マニュアル案では、大深度地下特定のための地盤調査手法、地盤調査手法の組み合わせと調査の流れ、地盤調査の密度及び精度、安全幅などがケーススタディなどを基に検討され、マニュアル案の中に盛り込まれている。

今後、本資料の活用により、事業者等関係者が共通の技術的基準のもとに、適正かつ円滑なる大深度地下利用が行われることを期待する。なお、本資料は、大深度地下利用状況等を踏まえ、今後にも必要な修正を行っていく予定である。

最後に、「大深度地下地盤調査マニュアル検討委員会」の山田清臣委員長(日本大学名誉教授)及び各委員をはじめ、マニュアル(案)の検討段階から本資料の作成に至る 3 ヶ年の過程でご協力をいただいた関係各位に深く感謝する。

大深度地下地盤調査マニュアル検討委員会名簿

委員長	山田清臣	日本大学名誉教授
副委員長	芦田 譲	京都大学教授 大学院工学研究科資源工学専攻
委員兼幹事	鎌尾彰司	日本大学専任講師 理工学部 土木工学科
委員兼幹事	田中莊一	応用地質株式会社 取締役兼専務執行役員
委員	阿南修司	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ（地質）主任研究員
	伊藤 洋	財団法人電力中央研究所 我孫子研究所 地圏環境部長
	太田秀樹	東京工業大学教授 大学院理工学研究科 国際開発工学専攻
	諏訪靖二	財団法人地域地盤環境研究所 技術コンサルタント部長
	得丸昌則	株式会社ダイヤコンサルタント 情報システム部 情報システム室長
	福井謙三	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 地質部部長
	松澤 宏	応用地質株式会社 中部支社 技師長
	吉田 望	応用地質株式会社 技術本部 技師長（旧地盤工学会調査・研究部長）
	村山浩和	国土交通省 都市・地域整備局大都市圏整備課長 兼大深度地下利用企画室長
	中島正人	国土交通省 都市・地域整備局大都市圏整備課 大深度地下利用企画官
オブザーバー	中山俊雄	東京都 土木技術研究所 地象部 主任研究員
旧委員	本東 信	国土庁 大都市圏整備局 計画課大深度地下利用企画室長
	猪股 実	国土交通省 都市・地域整備局企画課 都市地域調整官

目次

	頁
まえがき	i
大深度地下地盤調査マニュアル検討委員会構成	ii
目次	iii
概要編	1
本編	7
第1章 総則	8
1.1. マニュアルの目的	8
1.2. マニュアルの内容	9
1.3. 適用の範囲	10
1.4. 用語	15
1.5. 関連基準	17
第2章 大深度地下使用制度における地盤調査	19
2.1. 大深度地下の定義	19
2.2. 大深度地下使用事業の手続きの流れ	21
2.3. 大深度地下使用事業において必要な地盤情報	23
2.4. 支持地盤の定義と地盤特性	25
第3章 大深度地下特定のための地盤調査の方法	42
3.1. 地盤調査の流れ	42
3.2. 大深度地下特定のための地盤調査手法と調査項目	44
3.3. 調査手法の組み合わせ	49
3.4. 調査の密度及び精度と大深度地下の特定	53
3.5. 事業段階における地盤調査	64
3.6. 地盤調査以外の方法による支持地盤の推定	65
第4章 地盤調査の計画と実施	67
4.1. 調査計画	67
4.2. 既存資料の収集	69
4.3. 現地踏査	71
4.4. 調査の実施と結果の処理	72
第5章 大深度地下証明書類の作成方法	79
5.1. 大深度地下証明書類	79
5.2. 大深度地下証明書類作成の事例	80
5.3. 支持地盤の特定の事例	88
5.4. 大深度地下証明書類作成上の課題とその対応	93

参考資料	94
参考資料 1 地盤調査手法の特徴整理表	95
参考資料 2 地盤調査手法の適用実績	100
参考資料 3 浅層反射法実施における留意事項	105
参考資料 4 高層建築物における支持層の例	111

概 要 編

第1章 総則

1.1. マニュアルの目的

「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」（以下「法」という。）において定義されている大深度地下は支持地盤の位置によって決まるため、地盤調査結果等を用いて事業地域における地盤の性状を適切に把握し、所定の強度特性を有する地盤の深さ及び支持地盤の厚さとその連続性を評価することによって支持地盤を特定しなければならない。本書は、大深度地下特定のための地盤調査及び調査結果を用いた大深度地下特定の一連の作業における技術的事項を定めることを目的とする。

1.2. マニュアルの内容

本マニュアルは、大深度地下の特性を踏まえた調査方法の選定から、調査結果を用いた大深度地下特定書類の作成までの大深度地下特定に関する一連の作業における技術的事項を定めており、標準的な調査手法をまとめている。

1.3. 適用の範囲

本書は、法に基づく大深度地下使用事業において、大深度地下を特定するために実施する地盤調査及び調査結果を用いた大深度地下特定に適用する。

なお、今後の技術開発等により、本書に示していない調査手法の採用が可能となった場合には、大深度地下特定に対する適用性について十分な検討を行った上で採用してもよい。

1.4. 用語

本書に用いる用語の定義は以下の通りとする。なお、JIS で定義されている用語については JIS の定義に従うものとする。

用 語	定 義
地盤調査	工学的な目的で行われる地質調査、土質調査、原位置試験等の総称。
支持層	現状において建築物（土木構造物を含む）の基礎を支持している地盤ならびに建築物の基礎を支持することができる地盤の総称。
支持地盤	支持層のうち施行令第 2 条に定める強度を有する地盤でかつ大深度地下として所要の厚さを有することが確認された地盤。
大深度地下特定	地盤調査等によって、大深度地下と認められる深度を決定すること。
N 値	標準貫入試験によって求められる地盤の粗密・硬軟を表す相対的強度の指数。日本工業規格（JIS A 1219）で試験方法が規定されている。他の試験によって求められる換算 N 値とは区別する。
換算 N 値	標準貫入試験以外の試験によって求められた地盤の粗密・硬軟を表す値から換算式によって推定した N 値。標準貫入試験によって得られた N 値と区別するために換算 N 値と表す。

1.5. 関連基準

調査の実施にあたっては、法や準拠すべき法規について事前に十分調査を行わなければならない。また、本書によるほか、大深度地下使用技術指針や各事業の関連する基準類に準拠するものとする。

第2章 大深度地下使用制度における地盤調査

2.1. 大深度地下の定義

大深度地下とは、以下に示す①又は②のいずれか深い方以上の深さの地下をいう。

- ① 建築物の地下室及びその建設の用に通常供されることがない地下の深さとして政令で定める深さ（地表から 40m）
- ② 当該地下の使用をしようとする地点において通常の建築物の基礎ぐいを支持することができる地盤(支持地盤)として政令で定めるもの（くい許容支持力度 2500kN/m^2 を有する地盤）のうち最も浅い部分の深さに政令で定める距離（10m）を加えた深さ

支持地盤の位置を特定することにより、①又は②のいずれか深い方を求め、大深度地下が特定される。

2.2. 大深度地下使用事業の手続きの流れ

大深度地下特定のための地盤調査は、大深度地下使用認可申請に先立って実施し、調査結果に基づき、当該事業区域が大深度地下にあることを明らかにした大深度地下特定書類を作成しなければならない。

2.3. 大深度地下使用事業において必要な地盤情報

大深度地下特定のための地盤調査の計画及び実施にあたっては、大深度地下特定に必要な地盤情報を得ると同時に、他の必要な情報も得ることができるよう配慮して調査の計画を行う。

2.4. 支持地盤の定義と地盤特性

支持地盤は、建築物の基礎ぐいの許容支持力度が 2500kN/m^2 以上を有する地盤とする。原則として、当該地盤の N 値が 50 以上であることにより判断してよい。また、支持地盤は、建築物及び基礎ぐいの根入れに必要な厚さを有するとともに、建築物荷重に対し地盤が十分な強度となるような厚さを有しなければならない。

ただし当該地域において、建築物基礎が上記で定義される支持地盤よりも深い地盤を支持層として利用する可能性が考えられる場合には、これに配慮して支持地盤を決定する必要がある。

第3章 大深度地下特定のための地盤調査の方法

3.1. 地盤調査の流れ

地盤調査の実施にあたっては、既存の資料から調査地域の支持地盤の状況を調査するとともに、民有地への立入りの許可等調査の実施にあたって必要な手続きを行い、大深度地下特定を行うのに必要な地盤情報が得られるよう、適切に計画を立案した上で調査を実施しなければならない。

既往の地盤調査結果を用いる場合には、使用する調査結果の信頼性について十分な検討を行わなければならない。

3.2. 大深度地下特定のための地盤調査手法と調査項目

大深度地下特定のために用いる地盤調査手法の選定にあたっては、調査手法の特徴、調査位置における土地利用状態、想定される支持地盤の特徴等に十分配慮しなければならない。

なお、標準貫入試験以外の調査手法を用いる場合には、調査結果を N 値に換算して支持地盤の評価を行うものとする。この場合、調査箇所において用いる手法による換算 N 値と標準貫入試験による N 値の相関関係について、確認を行うことが望ましい。

3.3. 調査手法の組み合わせ

大深度地下特定のための地盤調査は、調査地域で想定される支持地盤の地質的特徴、深さ、厚さ、支持地盤となる地層の連続性と土地利用状態等を考慮して、適切な地盤調査手法を選定し、必要に応じてそれらを適切に組み合わせ、実施しなければならない。

3.4. 調査の密度及び精度と大深度地下の特定

地盤調査結果から大深度地下特定を行う場合には、現地の支持地盤の状況及び調査方法・結果の特徴を考慮して、調査の密度及び精度に従った適切な安全幅を見込んで支持地盤を特定しなければならない。

3.5. 事業段階における地盤調査

事業の計画段階において大深度地下特定を行った場合にも、必要に応じて、事業実施段階においても大深度地下の確認を行うことが望ましい。

事業実施段階において、大深度地下特定のための地盤調査を実施する場合には、他の目的で行う地盤調査と十分に調整を行い、調査を実施することが望ましい。

3.6. 地盤調査以外の方法による支持地盤の推定

地盤調査結果以外の情報を活用して、支持地盤の推定を行ってもよい。ただし、使用する情報の特徴や信頼性について、十分な検討を行う必要がある。

第4章 地盤調査の計画と実施

4.1. 調査計画

地盤調査の実施にあたっては、調査の目的と内容をよく理解し、地盤を構成する土や岩の特徴や調査結果の活用の方法等をよく認識したうえで、総合的な見地から均衡のとれた調査計画を立てるように努力する必要がある。

4.2. 既存資料の収集

企画、計画段階における調査では、はじめに資料収集整理を主とする調査を実施する。既存データを使用する際には、データの取得方法等についてチェックを行い、データの品質を評価することが必要となる。

4.3. 現地踏査

現地踏査は、現地調査に先立って調査の対象となる地区に直接赴き、地形・地盤状況・自然環境・社会環境等に関して調査・確認し、以後の調査に関わる現地情報を得るための作業である。前項の資料調査の結果を活用して、あるいは資料調査と並行して実施する。

本 編

第1章 総則

1.1. マニュアルの目的

「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」（以下「大深度地下法」という。）において定義されている大深度地下は支持地盤の位置によって決まるため、地盤調査結果等を用いて事業地域における地盤の性状を適切に把握し、所定の強度特性を有する地盤の深さ及び支持地盤の厚さとその連続性を評価することによって支持地盤を特定しなければならない。本書は、大深度地下特定のための地盤調査及び調査結果を用いた大深度地下特定の一連の作業における技術的事項を定めることを目的とする。

【解説】

本マニュアルは、大深度地下使用制度の適正な運用を目的として、大深度地下特定のための地盤調査の実施及びその結果の利用の上で必要な技術的事項を定めたものである。

本マニュアルでは、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法施行令第2条の支持地盤の特定に必要なボーリング調査の間隔、支持地盤の連続性の確認、調査手法の組み合わせ等について記述している。

大深度地下使用制度とは、土地所有者等による通常の利用が行われない深さの地下として定義される大深度地下において、原則として事前の補償なく使用権を設定できることを定めた制度である。

本制度の適用を受ける事業における大深度地下の使用認可にあたっては、事業が大深度地下で施工されることが必要である。

事業者は調査結果に基づいて事業区域が大深度地下にあることを証明する書類を作成し、大深度地下の使用認可の申請を行う必要があるが、大深度地下の判断は認可要件ともなるため、地盤調査とその結果の利用に対する申請側と認可側の技術的解釈を統一する必要がある。

大深度地下及び支持地盤の定義については第2章に記している。大深度地下は支持地盤の位置によって決まるため、支持地盤を特定する必要がある。したがって、支持地盤の判定の条件となる強度特性を有する地盤の深さ及び厚さの把握とその連続性の評価に必要な地盤情報を得るために、地盤調査の実施及び調査結果の利用を行う必要がある。

地盤調査としては、地上の一点から実施するボーリングを用いた調査が一般的であるが、大都市ではボーリング掘削を実施できない場合もあり、地表面からのボーリング掘削を伴わない調査手法が必要となる場合がある。また、支持地盤を水平方向に連続的に判定可能な調査手法が必要となる場合がある。

調査方法を決定するにあたっては、現地状況に応じて適切な地盤調査手法を選定し、必要に応じてそれらの手法を組み合わせることになる。

従来の地盤調査では、支持層の特定を目的とする場合、所定の調査位置において、その直下の地盤のみを調べる場合が多く、そこで用いられる個々の地盤調査手法について規定された基準類は存在するが、大深度地下特定のための地盤調査に十分対応できない可能性が考えられるため、今回、本マニュアルをとりまとめることとした。

なお、ここで対象とするマニュアル利用者は、申請を行う事業者及び審査を行う行政機関、大深度地下特定のための地盤調査を行う技術者とする。

1.2. マニュアルの内容

本マニュアルは、大深度地下の特性を踏まえた調査方法の選定から、調査結果を用いた大深度地下特定書類の作成までの大深度地下特定に関する一連の作業における技術的事項を定めており、標準的な調査手法をまとめている。

【解説】

大深度地下の特定は、一般の場合、標準的な手法によって行うことができる。

大深度地下特定を合理的に実施するには、既存地盤調査結果等の既存資料を適切かつ有効に活用する必要がある。また、実際の調査手法の選定にあたっては、各地盤調査手法の特性を考慮する必要がある。

本マニュアルでは、JIS や学会基準等の規定がない調査手法であっても、その手法の特徴・実績等から判断して、大深度地下特定に有効となる場合があると考えられるものについては取り上げている。これら調査手法の採用にあたっては、調査方法等について十分な検討を行う必要がある。また、それら調査手法について今後基準類が整備された場合には、そちらも参考とされたい。

本マニュアルでは、大深度地下特定に適用可能な調査手法を整理するとともに、現地状況に応じた調査手法の選定及び組み合わせの考え方について記述している。また、実際の事業における地盤調査に関わる諸制約を想定し、調査結果を利用する際の安全幅の設定にあたっての考え方も記載している。さらに、大深度地下特定のための地盤調査に用いられる可能性が特に高いと考えられるいくつかの調査手法について、実施上の注意点も記載している。

本マニュアルでは大深度地下特定のための地盤調査についてのみ記述しており、実際の調査にあたっては地下水調査等の他の地盤調査と適切に組み合わせて実施することが必要である。

1.3. 適用の範囲

本書は、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法に基づく大深度地下使用事業において、大深度地下を特定するために実施する地盤調査及び調査結果を用いた大深度地下特定に適用する。

なお、今後の技術開発等により、本書に示していない調査手法の採用が可能となった場合には、大深度地下特定に対する適用性について十分な検討を行った上で採用してもよい。

【解説】

本マニュアルの対象事業は、大深度地下法第4条に定める事業であり、表-1.1に示すとおりである。

対象地域は、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法施行令（以下「施行令」と記す）第3条に定める地域であり、表-1.2に示すとおりである。

対象施設は、大深度地下使用技術指針・同解説（平成13年6月）と同じく、都市部における一般的なトンネルを想定し、直径15m以下の単円シールドトンネルを基本とした。これら以外の工法・規模・形状のものについては、対象とする地盤条件、施設の設置深度等の諸条件が大きく異なる場合が想定されるため、基本的には適用の範囲外とした。しかし、そのような施設に対しても、適切な配慮を行うことにより本マニュアルを適用することが可能であり、十分な検討を行った上で、本書を参考としてもよい。

なお、基礎とトンネルの離隔距離について図-1.1にイメージを示す。

本書に記載されている調査手法は、本書の作成時点において実績のある手法をもとに整理を行ったものであり、今後の技術開発によって新たな手法が開発され、大深度地下特定に有効であると考えられる場合には、十分な検討を行った上で、その手法を採用してもよい。

（対象事業）

大深度地下使用制度が対象とする事業としては、大深度地下法第4条において、表-1.1に挙げるものが定められている。

（対象地域）

大深度地下使用制度の対象地域は、大深度地下法第3条において、「人口の集中度、土地利用の状況その他の事情を勘案し、公共の利益となる事業を円滑に遂行するため、大深度地下を使用する社会的経済的必要性が存在する地域として政令で定める地域」とされ、施行令において表-1.2及び図-1.2～1.4に示す地域が対象地域として指定されている。

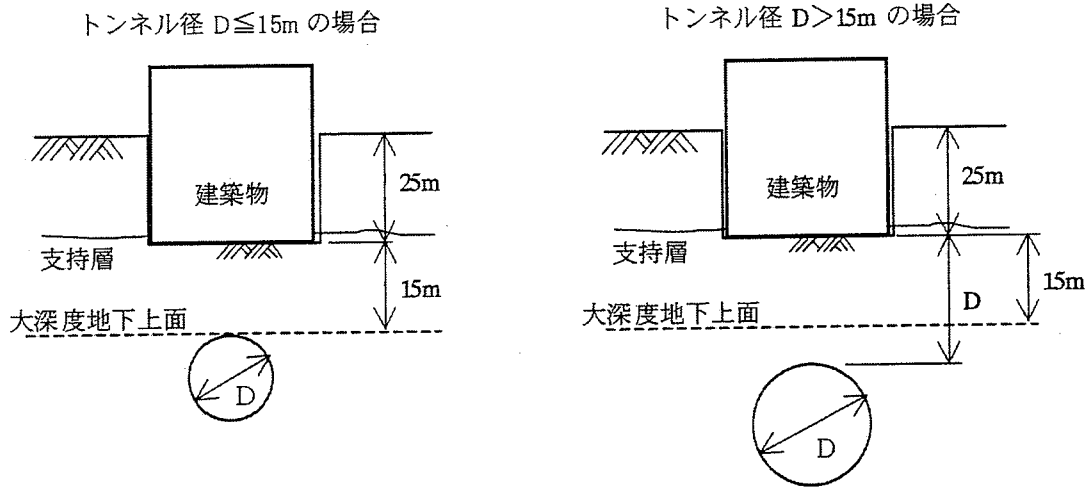
表－1.1 大深度地下使用制度の対象事業

分類	対象事業の範囲
道路	① 道路法による道路に関する事業
河川	② 河川法が適用され、若しくは準用される河川又はこれらの河川に治水若しくは利水の目的をもって設置する水路、貯水池その他の施設に関する事業
農業施設	③ 国、地方公共団体、緑資源公団又は土地改良区（土地改良区連合を含む。）が設置する農業用道路、用水路又は排水路に関する事業
鉄道	④ 鉄道事業法第7条第1項に規定する鉄道事業者が一般の需要に応ずる鉄道事業の用に供する施設に関する事業
	⑤ 日本鉄道建設公団が設置する鉄道又は軌道の用に供する施設に関する事業
	⑥ 軌道法による軌道の用に供する施設に関する事業
電気事業	⑦ 電気通信事業法第12条第1項に規定する第一種電気通信事業者がその事業の用に供する施設に関する事業
	⑧ 電気事業法による一般電気事業、卸電気事業又は特定電気事業の用に供する電気工作物に関する事業
ガス事業	⑨ ガス事業法によるガス工作物に関する事業
水道事業	⑩ 水道法による水道事業若しくは水道用水供給事業、工業用水道事業法による工業用水道事業又は下水道法による公共下水道、流域下水道若しくは都市下水路の用に供する施設に関する事業
水源施設	⑪ 水資源開発公団が設置する水資源開発公団法第18条第1項第1号の施設及び同条第2項第1号の愛知豊川用水施設に関する事業
その他	⑫ ①から⑪に掲げる事業のほか、土地収用法第3条各号に掲げるものに関する事業又は都市計画法の規定により土地を使用することができる都市計画事業のうち、大深度地下を使用する必要があるものとして政令で定めるもの（ただし、現在、本号に該当する事業はない。）
	⑬ ①から⑫に掲げる事業のために欠くことができない通路、鉄道、軌道、電線路、水路その他の施設に関する事業（附帯事業）

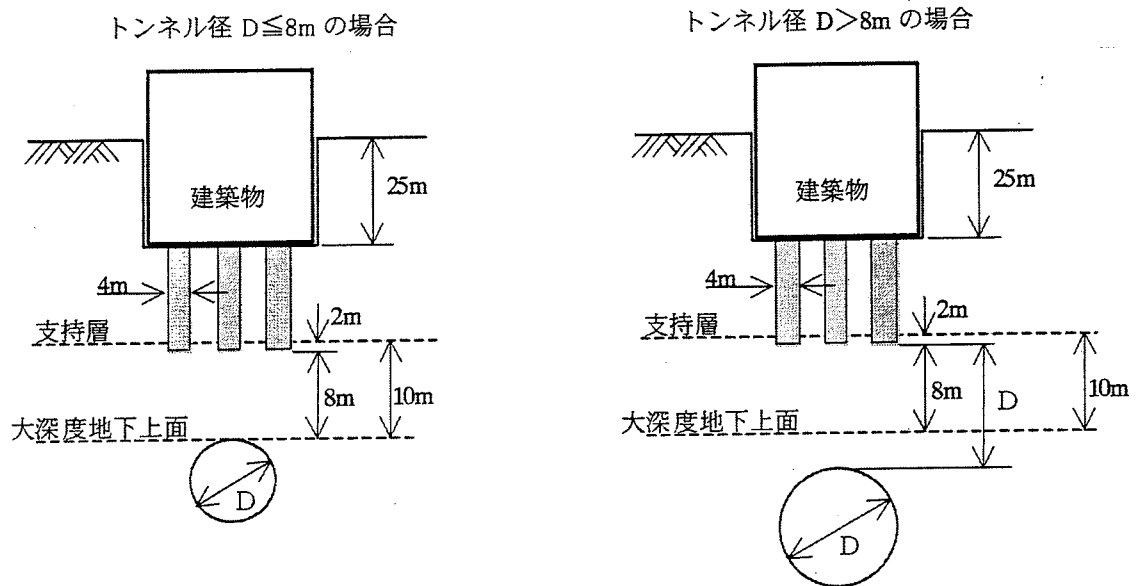
表－1.2 大深度地下使用制度の対象地域

対象地域の名称	対象地域の範囲
首都圏	その区域の全部又は一部が首都圏整備法第2条第3項に規定する既成市街地又は同条第4項に規定する近郊整備地帯の区域内にある市（特別区を含む。）及び町村の区域
近畿圏	その区域の全部又は一部が近畿圏整備法第2条第3項に規定する既成都市区域又は同条第4項に規定する近郊整備区域の区域内にある市町村の区域
中部圏	その区域の全部又は一部が中部圏開発整備法第2条第3項に規定する都市整備区域の区域内にある市町村の区域
備考：この表に掲げる区域は、平成13年4月1日において定められている区域によるものとする。	

直接基礎の場合

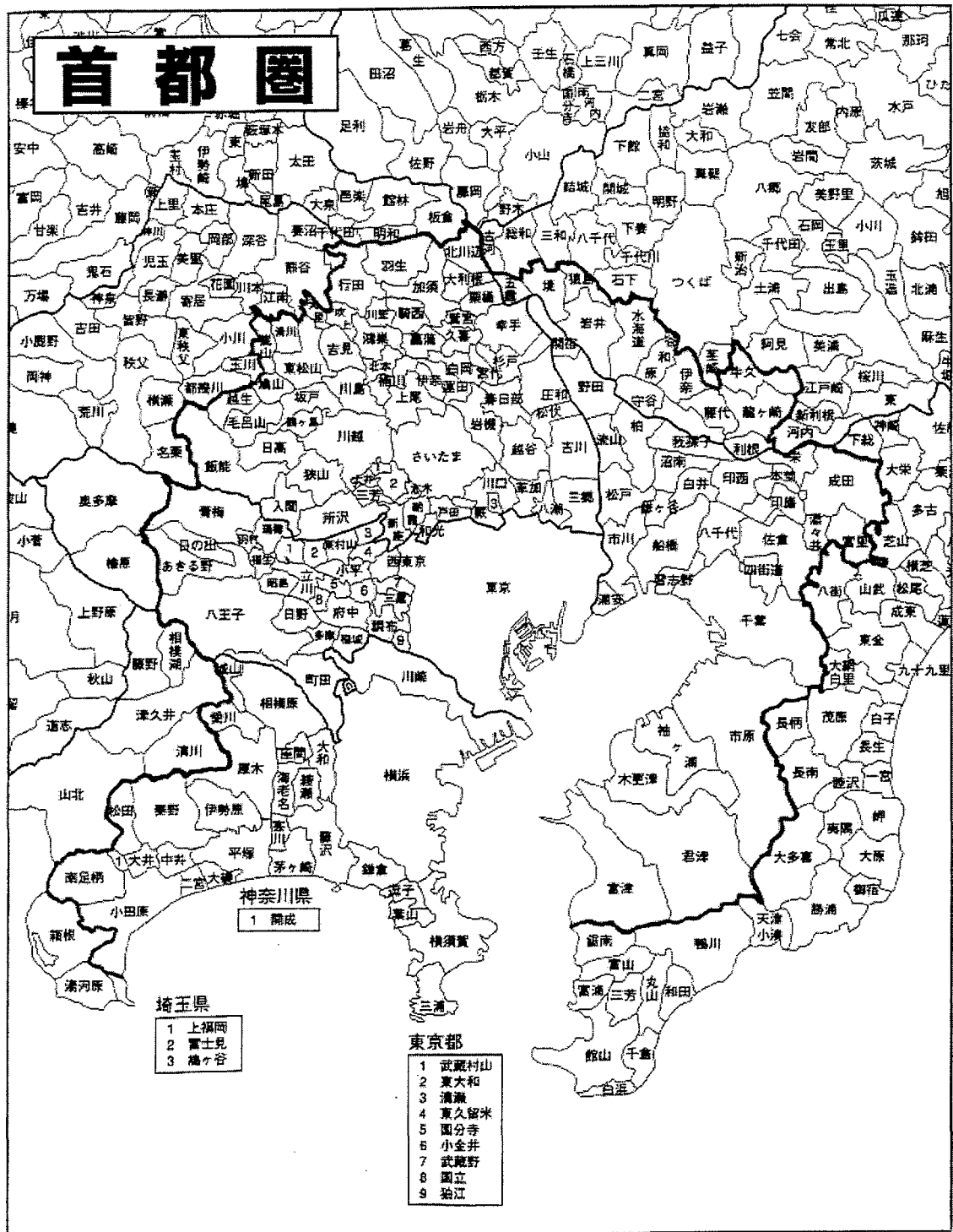


杭基礎の場合



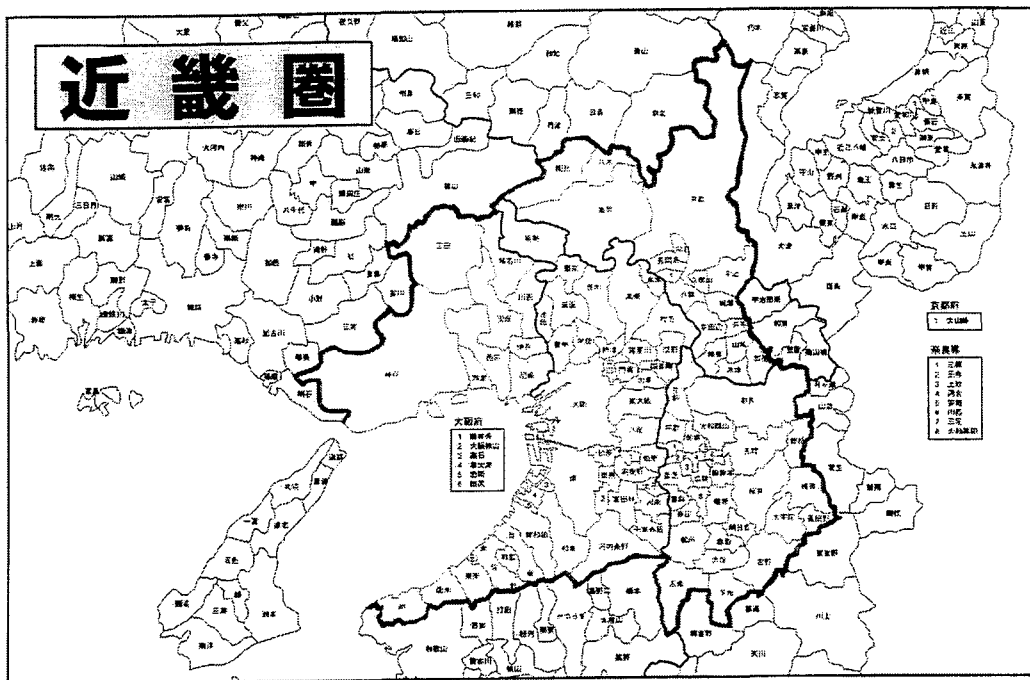
注：ここでの支持層とは、本資料において
は支持地盤のことである。

図-1.1 離隔距離のイメージ
(出典：大深度地下使用技術指針・同解説)



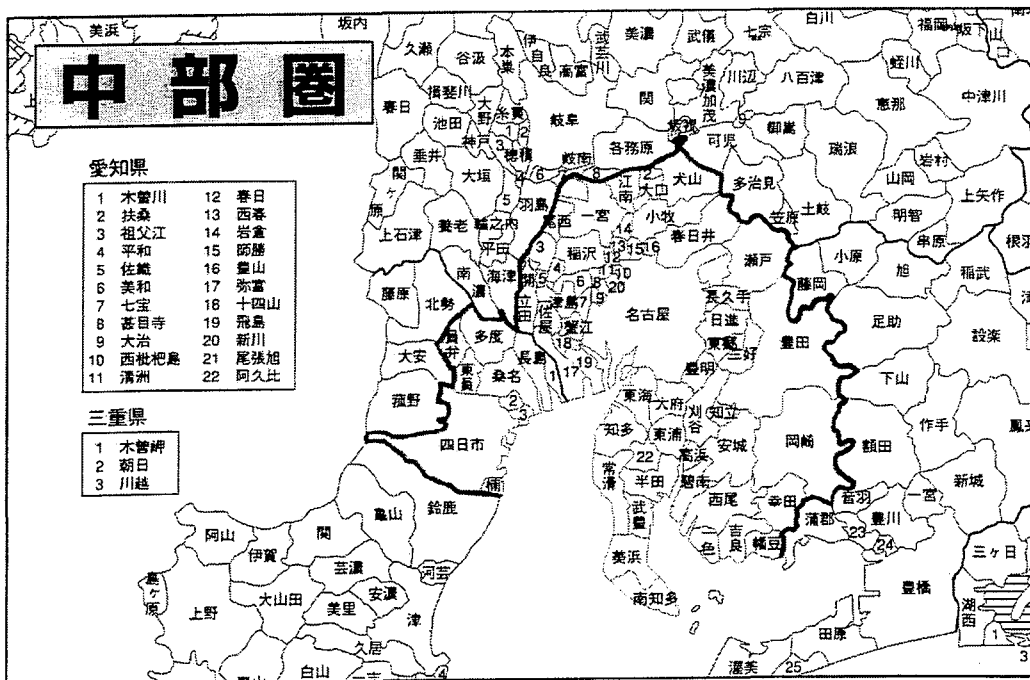
注:太線で囲まれた範囲が対象地域である。なお、この図は平成
13年4月1日において定められている区域によるものである。

図-1.2 大深度地下使用制度の対象地域(首都圏)



注:太線で囲まれた範囲が対象地域である。なお、この図は平成
13年4月1日において定められている区域によるものである。

図-1.3 大深度地下使用制度の対象地域(近畿圏)



注:太線で囲まれた範囲が対象地域である。なお、この図は平成
13年4月1日において定められている区域によるものである。

図-1.4 大深度地下使用制度の対象地域(中部圏)

1.4. 用語

本書に用いる用語の定義は以下の通りとする。なお、JIS で定義されている用語については JIS の定義に従うものとする。

用語	定義
地盤調査	工学的な目的で行われる地質調査、土質調査、原位置試験等の総称。
支持層	現状において建築物（土木構造物を含む）の基礎を支持している地盤ならびに建築物の基礎を支持することができる地盤の総称。
支持地盤	支持層のうち施行令第2条に定める強度を有する地盤でかつ大深度地下として所要の厚さを有することが確認された地盤。
大深度地下特定	地盤調査等によって、大深度地下と認められる深度を決定すること。
N 値	標準貫入試験によって求められる地盤の粗密・硬軟を表す相対的強度の指数。日本工業規格（JIS A 1219）で試験方法が規定されている。他の試験によって求められる換算 N 値とは区別する。
換算 N 値	標準貫入試験以外の試験によって求められた地盤の粗密・硬軟を表す値から換算式によって推定した N 値。標準貫入試験によって得られた N 値と区別するために換算 N 値と表す。
地盤調査	ある地域の地質の状況を知るために地表及び地下における地層・岩石の分布、年代、相互関係、地質構造等を確認又は推定する調査の総称。

【解説】

この他、解説のみに共通に用いられている主な用語は次のとおりである。

用語	定義
土質調査	土層構成・土の物理化学的性質・力学的性質等の地盤情報を得るための調査の総称。
物理探査	地盤の弾性波速度や電気比抵抗値等の物理量を計測して地盤の性質を調べる調査の総称。
ボーリング	地盤調査等を目的として機械器具を用いて地盤を削孔する手法。
サウンディング	貫入試験。ロッドに取り付けた抵抗体を地中に貫入し、そのときの貫入抵抗から原位置における土層や地層の相対的強度を求める試験方法。
トモグラフィ	地表及びボーリング孔等を利用して探査対象領域を取り囲むように測定点を設置し、多くの測定点での観測結果から地盤の構造等を解明する方法。
検層	ボーリング孔を利用して、孔壁周辺の地層の物理的又は化学的量を連続的に深度と対応させて測定する方法。
浅層反射法 地震探査	地表付近で人工的に弾性波（ P 波又は S 波）を発生させ、地中を伝播して屈折・透過・反射を経て戻ってくる反射波を測定し、地盤の地質構造や物性値を把握する探査手法。都市市街地における浅層部の探査では一般に S 波を利用する

用語	定義
計測ボーリング	ボーリング時の削孔抵抗等から深度方向に連続的に地盤強度等を評価する方法。
深度方向の調査	標準貫入試験や各種サウンディング等、地表面上の1点で実施し、深度方向にのみ地盤情報を得ることを目的とする調査。
連続性の調査	浅層反射法やトモグラフィ等、地盤の地質構造を推定して地層の連続性を二次元的又は三次元的に評価することを目的として実施する調査。

1.5. 関連基準

調査の実施にあたっては、大深度地下法や準拠すべき法規について事前に十分調査を行わなければならない。また、本書によるほか、大深度地下使用技術指針や各事業の関連する基準類に準拠するものとする。

【解説】

地盤調査の計画・実施にあたっては、安全衛生等に関する以下の法規・基準に準拠しなければならない。

各事業の関連する基準類、関連する地盤調査に関する基準類を以下に示す。

(調査実施にあたって準拠すべき主な関連法規)

1) 地盤調査に係る主な関連法規

労働安全衛生法

労働安全衛生法施行令、労働安全衛生規則、酸素欠乏症等防止規則、粉じん障害防止規則、事務所衛生基準規則

じん肺法

じん肺法施行規則

消防法

危険物の規制に関する政令

火薬類取締法

火薬類取締法施行令、火薬類取締法施行規則

高圧ガス取締法

2) 大深度地下の使用認可手続きに係る主な関連法規

道路法

河川法

鉄道事業法

軌道法

電気通信事業法

電気事業法

ガス事業法

水道法、工業用水道事業法、下水道法

水資源開発公団法

土地収用法

都市計画法

建築基準法施行令第93条

3) 事業の影響の評価に係る主な関連法規

文化財保護法

環境影響評価法

(代表的な関連基準類)

トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説
道路トンネル技術基準（構造編）・同解説
道路橋示方書・同解説
鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル
河川・砂防技術標準（案）
下水道施設計画・設計指針と解説
水道施設設計指針・解説
水道維持管理指針
水道施設耐震工法指針・解説
電気設備に関する技術標準
ガス工作物技術標準

(地盤調査に関する関連基準類)

標準貫入試験方法(JIS A 1219 : 2001)の解説
地盤調査法
道路土工－土質調査指針

第2章 大深度地下使用制度における地盤調査

2.1. 大深度地下の定義

大深度地下とは、以下に示す①又は②のいずれか深い方以上の深さの地下をいう。

- ① 建築物の地下室及びその建設の用に通常供されることがない地下の深さとして政令で定める深さ（地表から 40m）
- ② 当該地下の使用をしようとする地点において通常の建築物の基礎ぐいを支持することができる地盤(支持地盤)として政令で定めるもの（くい許容支持力度 2500kN/m^2 を有する地盤）のうち最も浅い部分の深さに政令で定める距離（10m）を加えた深さ

支持地盤の位置を特定することにより、①又は②のいずれか深い方を求め、大深度地下が特定される。

【解説】

大深度地下は、通常の利用が行われない地下と定義されており、建築物の地下室及び通常の建築物の基礎の設置に支障が生じないことに配慮して定められた、少なくとも 40m よりも深い地下のことであり、その深さは、支持地盤の深さにより決定される。

支持地盤が地下 30m よりも浅い場合は地下 40m より下の空間が大深度地下であり、支持地盤が地下 30m よりも深い場合は、例えば、支持地盤上面が地下 50m の場合は、50m に 10m を加えた地下 60m より下の空間が大深度地下となる。

なお、河川、湖沼等の水域に関わる大深度地下については、周辺陸地における大深度地下と連続する地下を大深度地下とみなすこととする（具体的には、上記の①については、水域の両端の地下 40m を結ぶ線の深さとし、②の深さと比較していずれか深い方の深さとなる）。

「建築物の地下室及びその建設の用に通常供されることがない地下の深さとして政令で定める深さ」は、施行令第1条において地表から 40m と規定されている。これは、地下室の用に通常供されることがない地下の深さ 25m に、地下室建設のために基礎底深さから隔てる必要のある距離（離隔距離）15m を加えた距離である。

したがって、支持地盤が 25m 以浅の場合は、建築物基礎として、直接基礎又はくい基礎を想定し、支持地盤が 25m 以深の場合は、くい基礎を想定することとなる。

当該地下の使用をしようとする地点において通常の建築物の基礎ぐいを支持することができる地盤（支持地盤）としては、施行令第2条第1項においてくいの許容支持力度が 2500kN/m^2 を有する地盤と規定されている。

支持地盤のうち最も浅い深さに加える距離は、施行令第2条第3項において 10m と規定されている。これは、支持地盤へのくいの根入れとくいの着底面から下方の地盤を乱さないことを考慮した値である。

図-2.1 に大深度地下の定義を示す。

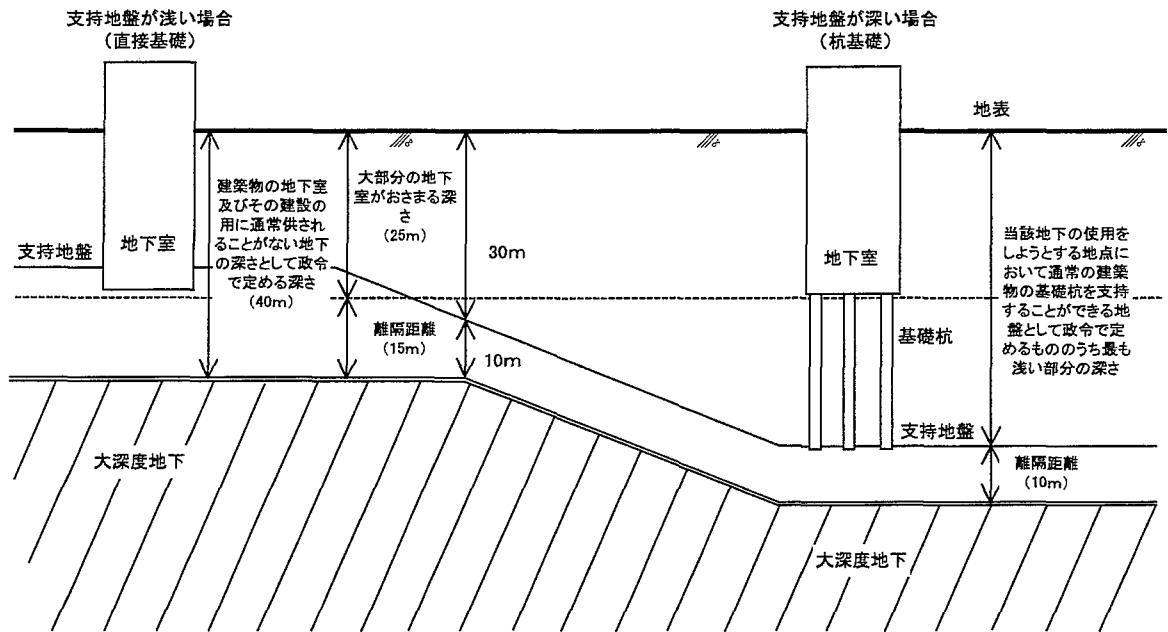


図-2.1 大深度地下の定義

2.2. 大深度地下使用事業の手続きの流れ

大深度地下特定のための地盤調査は、大深度地下使用認可申請に先立って実施し、調査結果に基づき、当該事業区域が大深度地下にあることを明らかにした大深度地下証明書類を作成しなければならない。

【解説】

本マニュアルは、大深度地下を特定するための地盤調査に関するものであるが、大深度地下使用事業における事業の計画から施設完成までの手続きのうち、事業者が行う主な手続きの流れを示すと図-2.2のとおりである。

大深度地下使用制度は、土地所有者等による通常の利用が行われない深さの地下として大深度地下を定義し、大深度地下という特別の空間に限って、土地所有権に優先して公共の利益となる事業のために使用権を設定しようとするものであり、土地の収用・使用に関する一般法である土地収用法と比較して、事後補償の手続き等、特別の手続き等を定めるものである。

したがって、使用認可にあたっては、「事業が対象地域における大深度地下で施工されるものであること」を審査する必要があり、その判断資料として、使用認可申請書に「事業区域が大深度地下にあることを証する書類」を添付しなければならない。

なお、大深度地下法施行規則（以下「施行規則」という）では、上記書類は、「ボーリング調査、物理探査等による地盤調査の結果を記載して、当該事業区域が大深度地下にあることを明らかにしたもの」とされている。

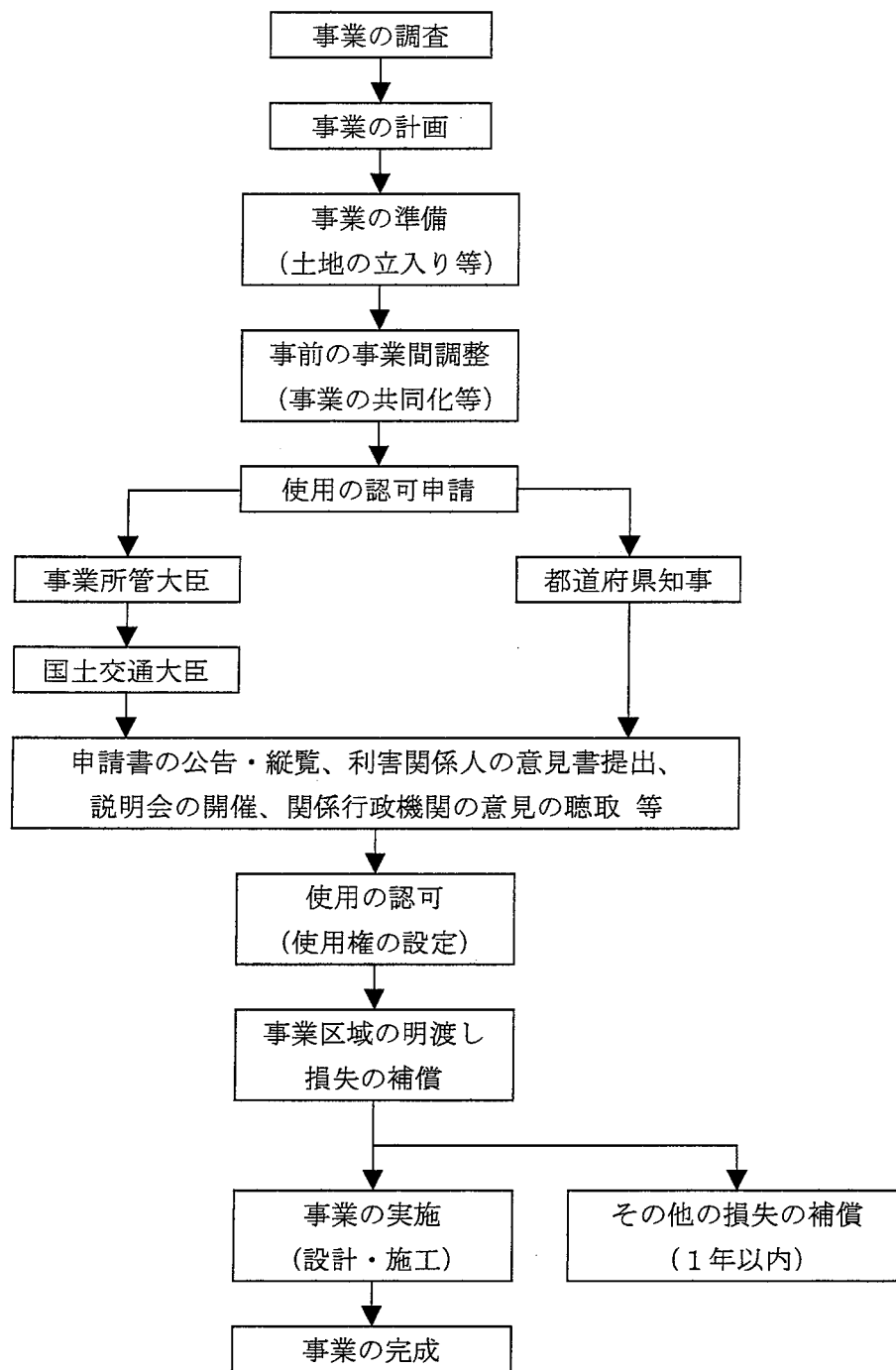


図-2.2 大深度地下使用事業の手続きの流れ
(出典:大深度地下使用法使用認可申請マニュアル、一部加筆)

2.3. 大深度地下使用事業において必要な地盤情報

大深度地下特定のための地盤調査の計画及び実施にあたっては、大深度地下特定に必要な地盤情報を得ると同時に、他の必要な情報も得ることができるように配慮して調査の計画を行う。

【解説】

大深度地下の使用認可手続きは、その事業種別によっては、都市計画法に基づく都市計画事業認定手続きや環境影響評価法に基づく環境影響評価手続きと並行して実施される場合がある。

地下施設の環境影響評価は地下水等について実施されることが考えられるが、これら調査の実施時期は、大深度地下特定のための地盤調査とほぼ同時期になると考えられる。

また事業の実施段階においても、大深度地下の確認のための地盤調査が実施されることが想定されるが、この段階においては、施工中アセスメント、施設の設計(詳細設計)、施工管理のための情報を得ることを目的とした地盤及び地下水の調査が同時期に実施されることが考えられる。

以上のように、大深度地下特定のための地盤調査は、その他の目的の調査と併せて実施することも可能である。調査の計画及び実施にあたっては、他の調査も考慮して合理的に行うことが望ましい。

事業の各段階において必要になると考えられる地盤情報の例を表-2.1 に示す。各地盤情報に対応した調査手法例も示しているが、対象地域の地形・地質的条件によってその他の調査手法が可能な場合もある。

表-2.1 大深度地下使用事業において必要な地盤情報とその時期

調査項目 (地盤情報)	調査手法例	大深度地下 特定が目的 の調査	その他の目的の調査		
			事業計画段階	事業実施段階	
			環境影響評価	詳細設計	施工管理
支持地盤の 深さ	ボーリング・サウンディ ング・物理探査	○		○	○
支持地盤の 厚さ	ボーリング・検層・コア 観察	○		○	○
支持地盤の 連続性	ボーリング・サウンディ ング・物理探査	○		○	○
地質名	ボーリング・コア観察	○		○	○
N値	標準貫入試験	○		○	
せん断弾性 波速度	PS 検層			○	
単位体積重 量	湿潤密度試験			○	
粒度分布	粒度試験			○	
地盤の強度	標準貫入試験・孔内水平 載荷試験・室内土質試験			○	
地盤の変状					○
地盤の変形 性	標準貫入試験・孔内水平 載荷試験			○	
地下水位・間 隙水圧	透水試験・間隙水圧測定		○	○	○
透水性	透水試験		△	△	
地下水の流 向・流速			△	△	
圧密特性	圧密試験		△	△	
水質	採水・水質分析		○	△	△
溶存ガス	採水・ガス分析		○	△	○

○：ほぼ必須で実施する項目

△：必要に応じて実施する項目

2.4. 支持地盤の定義と地盤特性

支持地盤は、建築物の基礎ぐいの許容支持力度が 2500kN/m² 以上を有する地盤とする。原則として、当該地盤の N 値が 50 以上であることにより判断してよい。また、支持地盤は、建築物及び基礎ぐいの根入れに必要な厚さを有するとともに、建築物荷重に対し地盤が十分な強度となるような厚さを有しなければならない。

ただし当該地域において、建築物基礎が上記で定義される支持地盤よりも深い地盤を支持層として利用する可能性が考えられる場合には、これに配慮して支持地盤を決定する必要がある。

【解説】

(1) 支持地盤の定義と特性

くい基礎の支持地盤としては、施行令に基づき、くいの許容支持力度が 2500kN/m² 以上となる地盤とする。

基礎ぐいの許容支持力度は、昭和 46 年建設省告示第 111 号で第 3 の 1 の表の(三)項において長期応力に対する地盤の許容支持力の欄に掲げられている以下の式より算出された数値を、基礎ぐい先端の面積で除して算出する。

$$R_a = \frac{1}{3} \left\{ \underbrace{15 \bar{N} A_p}_{\text{①}} + \underbrace{(\bar{N}_s L_s / 5 + \bar{q}_u L_c / 2) \psi}_{\text{②}} \right\}$$

R_a : 地盤の許容支持力 (tf)

$\bar{N}$: くい先端付近の N 値の平均値 (60 を超えるときは 60 とする。)

A_p : くい先端の有効断面積 (m²)

$\bar{N}_s$: くい周囲の地盤のうち砂質地盤の N 値(25 を超えるときは 25 とする。)の平均値

L_s : くいとその周囲の地盤のうち砂質地盤に接する長さの合計 (m)

$\bar{q}_u$: くい周囲の地盤のうち粘土質地盤の一軸圧縮強度 (10 を超えるときは 10 とする。) の平均値 (tf/m²)

L_c : くいとその周囲の地盤のうち粘土質地盤に接する長さの合計 (m)

ψ : くいの周囲の長さ (m)

※注：①項はくいの先端支持力に関する項で、②項はくいの周面摩擦力に関する項。

①と②を足したものがくいの支持力に対応する。

直接基礎の支持地盤としては、大深度地下使用技術指針・同解説（平成 13 年 6 月）に基づき、地盤の許容応力度が 1000kN/m² 以上となる地盤とする。

地盤の許容応力度は、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号で第 2 の表の(1)項において長期に生ずる力に対する地盤の許容応力度を定める場合の欄に掲げられている以下の式により算出するものとする。

$$q_a = \frac{1}{3} (i_c \alpha C N_c + i_\gamma \beta \gamma B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q)$$

q_a : 地盤の許容応力度 (kN/m²)

i_c, i_γ, i_q : 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角に応じて次の式によって

計算した数値

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2$$

$$i_\gamma = (1 - \theta/\phi)^2$$

ここで、 θ ： 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角（度）

（ θ が ϕ を超える場合は ϕ とする）

ϕ ： 地盤の特性によって求めた内部摩擦角（度）

α, β ： 基礎荷重面の形状に応じて表-2.2 に掲げる係数

C ： 基礎荷重面下にある地盤の粘着力（ kN/m^2 ）

B ： 基礎荷重面の短辺又は短径（ m ）

N_c, N_γ, N_q ： 地盤内部の摩擦角に応じて表-2.3 に掲げる支持力係数

γ_1 ： 基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量又は水中単位体積重量（ kN/m^3 ）

γ_2 ： 基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量又は水中単位体積重量（ kN/m^3 ）

D_f ： 基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ（ m ）

表-2.2 形状係数

基礎荷重面の形状	円形	円形以外の形状
α	1.2	$1.0 + 0.2 B / L$
β	0.3	$0.5 - 0.2 B / L$

(注) B ： 基礎荷重面の短辺又は短径（ m ）

L ： 基礎荷重面の長辺又は長径（ m ）

表-2.3 支持力係数

内部摩擦角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度	25 度	28 度	32 度	36 度	40 度以上
N_c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	25.8	35.5	50.6	75.3
N_γ	0	0.1	0.4	1.1	2.9	6.8	11.2	22.0	44.4	93.7
N_q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	14.7	23.2	37.8	64.2

(注) この表に掲げる内部摩擦角以外の内部摩擦角に応じた N_c, N_γ, N_q は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とする。

地盤の支持力を直接調べる方法としては、鉛直載荷試験等があるが、通常地盤の支持力を直接調査することは合理的でないため、その他の地盤調査結果により支持地盤を決定してよいものとした。

建築物及び橋梁等の基準類では、粘性土では $N \geq 20$ 、砂質土では $N \geq 30$ の地盤を目安としているものが多く、また過去の建築物の調査等からも、 N 値が 50 以上の地盤は、地盤の許容応力度 1000kN/m^2 以上、くいの許容支持力度 2500kN/m^2 以上を有することから、当該地層の N 値が 50 以上であることにより支持地盤を決定してよいこととした。なお、参考資料には高層建築物における支持層の例を示している。

各種技術基準、指針等においては表-2.4に示すように支持地盤の目安を設定している。

支持地盤は、大深度地下施設が設置された場合でも、建築物底面及びくいの先端からの荷重を下方の地盤に確実に伝達できる厚さを有していなければならない。くい基礎の場合でも、以下の理由により支持地盤に必要な厚さは概ね5m程度あればよいと考えられるため、厚さ5mを大深度地下の特定にあたって必要な支持地盤層厚の目安とする。ただし、上記の方法により支持力を算定することによって2500kN/m²が確保されていれば、支持地盤の層の厚みは5mなくとも良いものとする。

- 基礎ぐいの根入れ長としては、2mを想定する（建築物の場合：くい径3m、根入れ長1/2d以上⇒2m、橋梁の場合：くい径2m、根入れ長1d⇒2m）。
- 大深度地下施設設置時の地盤のゆるみに対して、基礎くい先端から大深度地下施設上端までの地盤により抵抗できるよう、建築物荷重に対して十分なせん断耐力を有する必要がある。
- くい基礎の支持地盤層厚はくい径の3倍程度必要（くい径1.5m×3=4.5m）。（首都高速道路公団 下部構造物設計基準 1992.4）
- 厚さは5m程度以上。（東京都建設局 土質調査要領 1990.4）
- 基礎は東京礫層等の洪積世以前の堅固な地層に支持させることを原則とする。[解説]昭和56年建設省告示第1793号第2に基づく第1種地盤（岩盤・硬質砂礫その他主として第三紀以前の地層）又は第2種地盤（主として洪積層又は厚さ5m以上の良好な砂・礫及び砂礫等の沖積層）に支持させることを原則とする。（東京都 建築構造設計指針 1991.12）

図-2.4及び図-2.5に支持地盤の特定に注意が必要になると考えられる事例を示す。

図-2.4のように、埋没谷、河岸段丘、断層等がある場合は、支持地盤が急変あるいは不連続となることがある。対象事業がこれらの河岸段丘等と平行に計画される場合は、調査断面の違いによって支持地盤深度が大きく変化するので注意が必要である。

ある地層において一部のみが支持地盤相当の強度を持つことにより、支持地盤の上面深度が地層を横断する場合もある。図-2.5は沖積層である七号地層の一部が支持地盤となる例である。七号地層は、主にシルト層、砂層の互層によって形成される地層であり、砂層については地域によってN値50以上、層厚5m以上を有する場合がある。

既存の建築物基礎が上記で定義される支持地盤よりも深い地盤を支持層として利用している場合や、将来、当該地域に高層建築物等が建設される場合に上記で定義される支持地盤よりも深い地盤を支持層として利用する可能性が考えられる場合には、これに考慮して支持地盤を特定する必要がある。

実際に建築物の支持層を決定する際には、支持地盤相当の特性を持つ層よりも深部の層の圧密沈下の問題や活断層の影響についても考慮する必要がある。

なお、対象地域が山地や丘陵部の場合には、岩盤が露頭したり、比較的浅い深度から岩盤となっている。そのような場合には、N値を直接的に調査しなくても、地形・地質学的な知見の整理と地質調査結果に基づいて、40m以深を大深度地下として特定することも可能である。

参考までに、N値が50以上の場合の、地盤の許容応力度及びくいの許容支持力度を前述の方法により試算する。

①くいの許容支持力度

地盤の N 値が 50 以上の場合にくいの許容支持力度が 2500 kN/m^2 ($=254.9 \text{ tf/m}^2$) を満足するくい周辺地盤の物性を、砂質地盤の場合と、粘土質地盤の場合について検討する。

高層建築物の地下利用の現状（日本建築センター）によれば、高層建築物におけるくいの最小径は既製コンクリートくいの場合 400mm であり、また、高層建築物の地下室の深さは通常 25m の範囲内におさまっている。

くいの許容支持力度を試算するにあたって、これらの条件より最も厳しい条件と想定されるくい径 400mm 、くい長としては大深度地下法で定める最も浅い深度である 40m から基礎底深さを差し引いた 15m として検討する。

①-1 砂質地盤

$$R_a / A_p = \frac{1}{3} \{ 15 \bar{N} A_p + \bar{N}_s L_s / 5 \times \psi \} / A_p \geq 2500 \text{ kN/m}^2 \quad (=254.9 \text{ tf/m}^2)$$

から $\bar{N}_s$ は 0.49 以上となる。深度 25m よりも深い砂質地盤の N 値が 1 を下回することは考えられず、くいの許容支持力度は 2500 kN/m^2 を上回る値となる。

①-2 粘土質地盤

$$R_a / A_p = \frac{1}{3} \{ 15 \bar{N} A_p + \bar{q}_u L_c / 2 \times \psi \} / A_p \geq 2500 \text{ kN/m}^2 \quad (=254.9 \text{ tf/m}^2)$$

から $\bar{q}_u$ は 0.196 tf/m^2 以上となる。深度 25m よりも深い粘土質地盤の一軸圧縮強さ q_u の値が 1 tf/m^2 を下回することは考えられず、くいの許容支持力度は 2500 kN/m^2 を上回る値となる。

このように、支持地盤の N 値が 50 以上である場合には、くいの許容支持力度は 2500 kN/m^2 以上となる。

②地盤の許容応力度

基礎形状を正方形 $70\text{m} \times 70\text{m}$ とし、 i_c, i_s, i_q : 鉛直の場合は 1 、 $\alpha : 1.2$ 、 $\beta : 0.3$ 、 $C = 0$ 、大崎の式 ($\phi = \sqrt{20 \times N} + 15$) より $\Phi = 46.6^\circ$ となるが建築基礎構造設計指針(1988)を参考に -8° して $\Phi = 38.6^\circ$ 、 $N_c : 66.7$ 、 $N_\gamma : 76.4$ 、 $N_q : 55.0$ 、 $\gamma_1, \gamma_2 : 7.85 \text{ kN/m}^3$ 、 $D_f : 0$ とした場合の地盤の許容応力度は

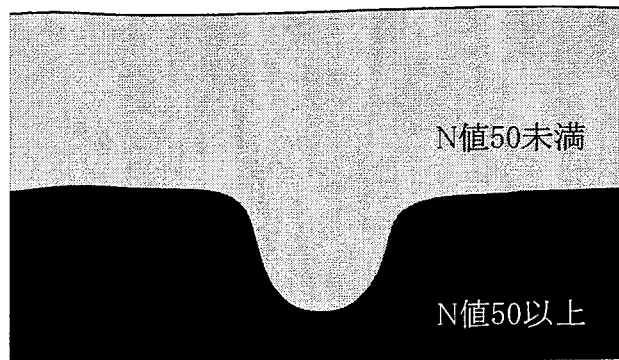
$$q_a = \frac{1}{3} (i_c \alpha C N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q) = 4200 \text{ kN/m}^2$$

となり、 N 値が 50 以上の場合に地盤の許容応力度は大深度地下使用技術指針・同解説（平成 13 年 6 月）で定める 1000 kN/m^2 以上となる。

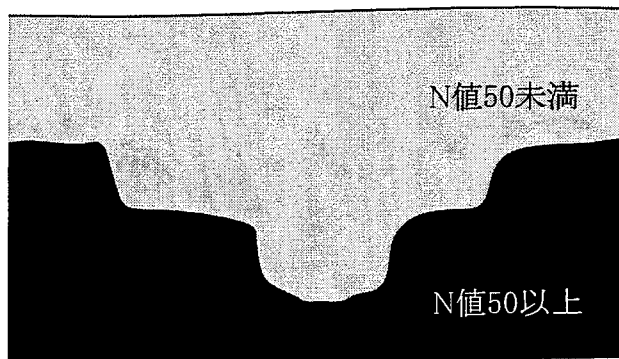
表－2.4 基準・指針等に示されている支持地盤に関する表記

(出典:大深度地下使用技術指針・同解説)

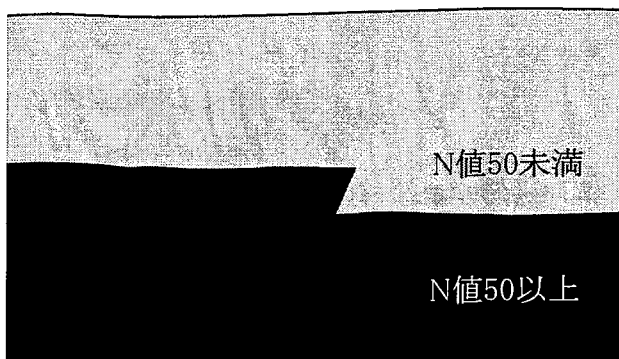
No.	設計分野	名 称	制定・編集機関	発行年月	支持地盤の定義等
1	道路橋	道路橋示方書・同解説IV下部構造編	日本道路協会	1996.12	・粘性土:N 値≥ 20、ないし $q_u \geq 40\text{N/cm}^2$ ・砂質土:N 値≥ 30
2	道路橋	設計要領第二集	日本道路公団	1998.11	・粘性土:N 値≥ 20、砂質土:N 値≥ 30。 ・くいの場合、支持地盤層厚はくい先端よりくい基礎を仮想ケーソンと考えた最小幅の 1.5 倍以上必要。また、最小幅の 3 倍以内に軟弱層が存在する場合は、薄層支持のくいとしての検討が必要。 ・先端地盤強化型場所打ぐい工法では、厚さ 5m 以上の N 値≥ 30の層が必要
3	道路橋	土質地質調査要領	日本道路公団	1992.4	〔(設計要領第二集 1990.7 (旧版) より、抜粋)〕 ・良質な層は、砂質土で $30 \leq N$ 値< 50、粘性土で $20 \leq N$ 値< 30。 ・堅固な層は、砂質土で $50 \leq N$ 値、粘性土で $30 \leq N$ 値
4	道路橋	下部構造物設計基準	首都高速道路公団	1992.4	・$30 \leq N$ 値の洪積砂層、洪積砂礫層、洪積礫層。 ・$20 \leq N$ 値の硬質粘土層。 ・くい基礎の支持地盤層厚はくい径の 3 倍程度必要。
5	道路橋	設計基準第 2 部 構造物設計基準 (橋梁編)	阪神高速道路公団	1990.6	・砂層と砂礫層:$30 \leq N$ 値、粘性土層:$20 \leq N$ 値。 ・支持地盤の厚さがくい基礎を仮想ケーソンと考えたときの最小幅の 1.5 倍以下であれば、下層地盤の支持力及び沈下についての検討が必要。また、1.5 倍ある場合でも 3 倍以内に軟弱層又は圧密層がある場合は、沈下の検討が必要。
6	道路・河川 構造物	土質調査要領	東京都建設局	1990.4	・砂層と砂礫層:$30 \leq N$ 値 ・粘土層:$20 \leq N$ 値($q_u \leq 50 \sim 100\text{N/cm}^2$ 以上。) ・厚さは 5m 程度以上。
7	河川構造物	建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説・調査編及び設計編 [I]	建設省河川局	1997.1	・堰及び樋門の設計において、 ・砂層と砂礫層:$30 \leq N$ 値 ・粘性土層:$20 \leq N$ 値
8	鉄道構造物	鉄道構造物等設計基準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物	鉄道総合技術研究所	1997.4	・直接基礎では $30 \leq N$ 値の砂質土、$20 \leq N$ 値の粘性土、岩盤。 ・ケーソン基礎では、砂質土地盤で $30 \leq N$ 値、粘性土地盤で $20 \leq N$ 値、且つ基礎の支持力及び変位に関して下層の影響を受けない十分な厚さのある地層。
9	建築	① 基礎の設計等に関する東京都取扱要領 (案) ② 高層建築物の構造設計に関する東京都取扱要領 (案) (いずれも③建築構造物設計指針中の掲載資料)	① 東京都 ② 東京都 ③ 東京都建築構造行政連絡会	① 1991.4 ② 1991.4 ③ 1991.12	・② 基礎は東京礫層等の洪積世以前の堅固な地層に支持させることを原則とする。〔解説〕昭和 56 年建設省告示第 1793 号第 2 に基づく第 1 種地盤 (岩盤・硬質砂礫その他主として第三紀以前の地層) 又は第 2 種地盤 (主として洪積層又は厚さ 5m 以上の良好な砂・礫及び砂礫等の沖積層) に支持させることを原則とする。



埋没谷



河岸段丘(埋没段丘)



断層

図-2.4 支持地盤が急変する場合の例

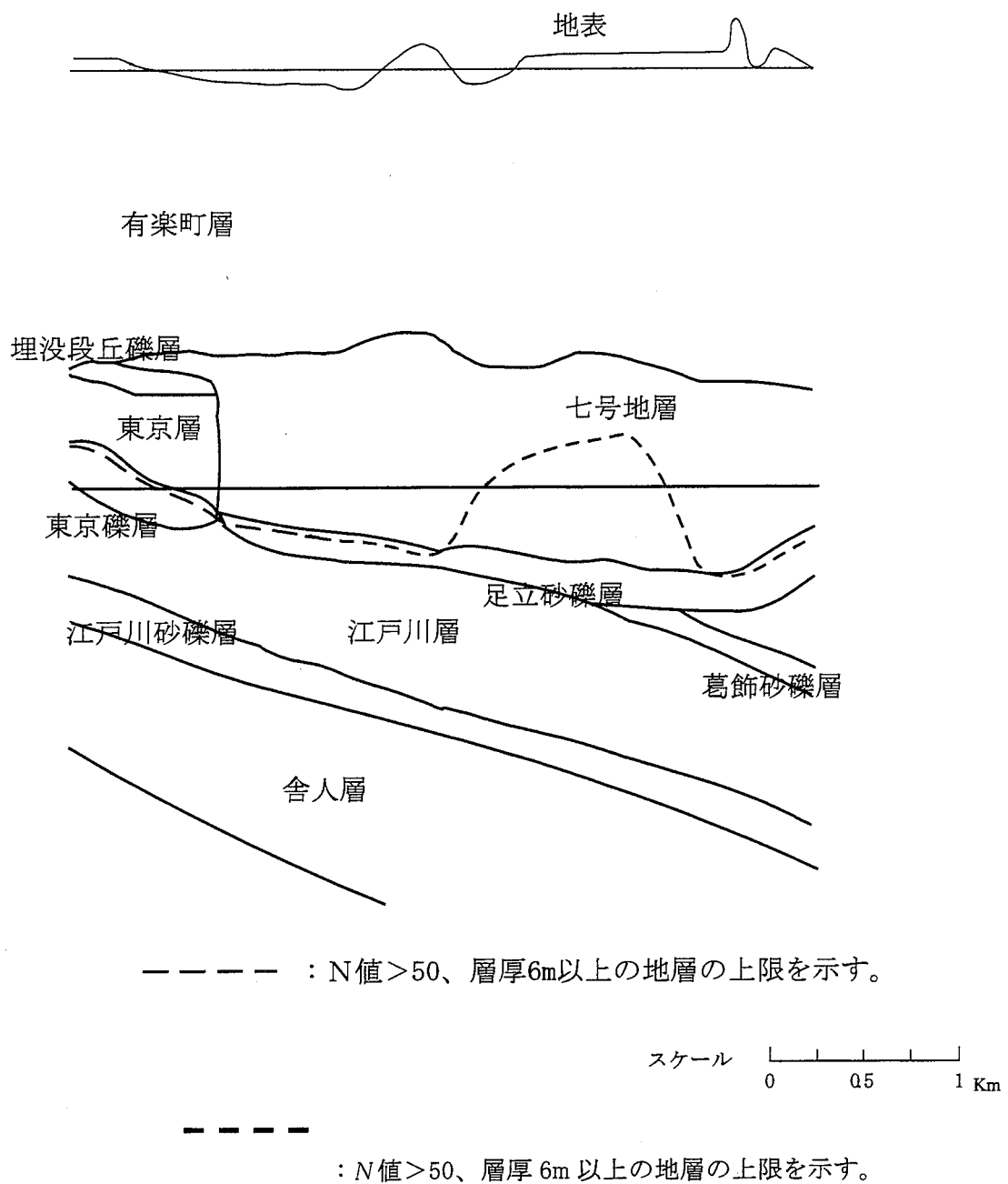


図-2.5 支持地盤の上面が地層中を横断する場合の例
資料:「大深度地下マップ・同解説」を一部抜粋・加筆

(2) 三大都市圏の地質との対応

以下に三大都市圏の大深度地下の地質についてその特徴を記す。なお、表-2.5、表-2.6 及び表-2.7 には、首都圏、近畿圏及び中部圏について大深度地下で支持地盤となることが多いと考えられる代表的な地層について、その地質工学的特性を整理して示す。ここでは、大深度地下の特定に注意がより必要となる沖積低地部を中心に記述している。なお、表に示した地層以外が支持地盤となることもある。また、東京周辺、大阪周辺、名古屋周辺の地質断面図の例を図-2.6、図-2.7 及び図-2.8 に示す。以下は、「大深度地下マップ・同解説」を資料の一つとして記述しており、各地域の地形・地質概要について同書を参照すれば、大深度地下の事業計画においても参考になると考えられる。

(a) 首都圏

東京都の地下地質は、一般に下位から上位にかけて、中・古生層、第三紀中新世の五日市町層群・三浦層群、第三紀鮮新世～第四紀前期更新世の上総層群（北多摩層、東久留米層、舎人層、江戸川層）、前期～中期更新世の東京層群（高砂層、東京層及び世田谷層）及び下末吉ローム層、第四紀後期更新世の関東ローム層（武蔵野・立川ローム層）や段丘堆積物（武蔵野礫層、立川礫層）、そして完新世の有楽町層及びその相当層（沖積層）よりなる。

一般に東京都低地部で支持地盤の条件を満たすのは、東京層基底の東京礫層以深の地層が大半であるが、七号地層の砂層や七号地層基底の足立砂礫層の他、埋没段丘礫層が支持地盤となる地域もある。東京層も上部の砂質土で支持地盤となる部分があり、層の連続性は良いが、低地中央部では欠如する部分もある。東京礫層の地表からの基底深度は 15～45m である。

荒川の葛西橋～新船堀橋付近の兩岸を中心とする地域では N 値 50 以上の七号地層の砂層が厚く堆積し、支持地盤となっており、その深度は 40m 以上 50m 未満である。足立区綾瀬・青井・加平の周辺地域では支持地盤上面深度が非常に複雑に分布するが、これはこの付近が古荒川の埋積谷の中にあるためであると考えられる。また、東京港湾地域ではほとんどの地域で支持地盤上面深度が 50m より深くなるが、一部豊洲～有明地域で支持地盤上面深度が 40m より浅くなることが知られている。これはこの地域に埋没段丘が分布し、その下位に東京層及び東京礫層が分布するためであると考えられている。隅田川流域一帯では深度 30～40m に N 値 50 以上の埋没段丘礫層が厚く分布し、支持地盤となっている。

一方、東京都台地・丘陵部では、東京層、東京礫層の他、段丘礫層や東久留米層が支持地盤となりうるが、段丘礫層は支持地盤とならない地域も多い。武蔵野台地東部では東京礫層が支持地盤となる地域が多い。

神奈川県東部や埼玉県南東部、千葉県北西部の低地部は東京都と連続する地下地質であるが、地層の呼称は地域によって変化する場合が多く注意を要する。

神奈川県東部では、三浦層群や上総層群が代表的な支持地盤となる。上総層群の上限深度は 10～40m 以深であり、支持地盤となる三浦層群や上総層群は、沖積層や段丘堆積層に削られているため、起伏に富む。

千葉県東京湾沿岸では、下総層群、上総層群が支持地盤となる。下総層群、上総層群とも連続性は良く、北西にゆるく傾斜している。下総層群は房総半島中部から北に分布する。

埼玉県南東部から茨城県西部のうち、荒川低地や中川低地では、沖積層が浅く段丘礫層もな

い地域では、下総層群が支持地盤となることが多い。古奥東京湾の分布域で、七号地層の層厚が厚い所では、七号地層が支持地盤となり、その深度は40m程度となる。

(b) 近畿圏

近畿圏の地質を考える際に地域を大阪平野部（堺から東大阪、西大阪、尼崎から西宮の一部や北摂の一部を含む）、神戸扇状地部（西宮市の一部から神戸市須磨区くらいまで）、京都盆地部（京都市内の南部の低地）の3つに分けて考える必要がある。

大阪平野では、沖積層の下位に広く分布する第1洪積砂礫層（天満砂礫層、伊丹礫層とも呼ばれる）及び第2洪積砂礫層（第2天満砂礫層、川西礫層と呼ばれる）が支持地盤となる。第1洪積砂礫層は支持層として一般的に広く利用されている。しかし、旧河川位置で削剥を受けている箇所等第1洪積砂礫層の層厚が薄い部分では第2洪積砂礫層を支持層としていたり、超高層建築の場合は一部の地域（上町台地等）を除いては、第2洪積砂礫層を支持層としている場合が多い。これは、第1洪積砂礫層を支持層とすると、建物・構造物荷重による下位の洪積第1粘土層（天満粘土層、Ma12層とも呼ばれる）の圧密沈下が問題となるためであり、その下の第2洪積砂礫層を支持層とすることによって、支持層深度がG.L.-60m以深となる場合もあり、特に湾岸地域では70mを越える深さとなっている。第1洪積砂礫層、第2洪積砂礫層ともに大阪湾岸の西大阪地域では海に向かい深くなる。

神戸地域は大阪平野の周辺地域で見られる層相と類似するが、地表面から扇状地性の砂礫層が続き、その下位に洪積層が分布しているが地層の構成はあまり詳しくわかっていない。神戸地域の支持層はほとんどが表層近くの砂礫層であり、大阪平野のように深くはないことから調査ボーリング深度の浅いものが多く、深部の地層層序は全域的には解明されていない。1995年の兵庫県南部地震以後深層地盤の解明が進んできたが、六甲山と平地部の境界には活断層が分布しており、また、沖積層やその下位の砂礫層は扇状地性の堆積物なので、特に六甲山に平行した方向の地層変化は著しく連続性に乏しい。また、沿岸から沖合いの埋立地地下には厚い大阪層群の分布が判明しており、第1洪積互層、第2洪積互層等の支持層が広く分布していることやこの支持層は活断層の影響を受けて撓曲していること等も分かっている。

京都地域で兵庫県南部地震以後に、文部省の地下構造調査により深層地盤の解明が進められ、洪積層では大阪層群の海成粘土層であるMa9層の存在が確認されている。しかし、地表面の地層は砂質土優勢の沖積の扇状地性堆積物、その下位にはやはり砂礫層優勢の段丘堆積物が広く分布しており、これが構造物基礎の支持層となっているのは、神戸地域に類似している。したがって、超高層ビル等の支持層も比較的浅い位置にある。北部の扇状地部には、全般にN値の高い砂礫層が卓越し、洪積層と沖積層の区分が困難である。

近畿圏における大阪平野、神戸扇状地、京都盆地等の低地周辺の丘陵部には大阪層群が一般に露出しており、地表付近から支持地盤相当の強度となる。また、近畿圏の対象地域には山地部も比較的多く含まれ、そのような地域では基盤岩が支持地盤となるが、周辺山地は花崗岩、古生層、第三紀層が分布しており、それが風化した地盤では独特の特性を示すことが知られている。

奈良盆地に関しては、高層建築が少ないため既存の資料が少ないのが現状であるが、支持層は比較的浅い位置に出現する。

(c) 中部圏

中部圏は、地質構成によって、東から、西三河平野、猿投一知多隆起帯、濃尾傾動地塊、伊勢平野北部の4地域に分けられる。西三河平野は沖積平野と段丘が広がる地域、猿投一知多隆起帯は丘陵地帯、濃尾傾動地塊は西部が広大な濃尾平野、東部は名古屋東部丘陵である。そして伊勢平野北部には沖積平野、段丘、丘陵が広がる。

西三河平野は、南東縁と北西縁に沖積平野（低地）がある。平野主要部は、北から南に低くなる段丘地帯である。沖積層は、上流側では主に砂礫層、下流では下部が沖積層基底礫層（BG）の第一礫層（G1、層厚 10m 程度）である。G1 上面は深い場所で T.P.-30~-40m にあり、支持層としても利用されている。沖積層の下位には中部更新統の挙母層、第三紀の東海層群があり、いずれも支持層となる。段丘地帯は、北端部が東海層群からなる丘陵、主要部が中上部更新統（洪積層）からなる段丘である。段丘層は、中位段丘（碧海台地）の碧海層（上部更新統、層厚 30m 以下）や高位段丘の挙母層（中部更新統、層厚 50~60m）で、碧海層は N 値が 5~30 程度でやや軟弱であるが、挙母層はほとんど N 値 50 を超え、支持地盤として問題はない。挙母層の下位にある東海層群は地下に厚く広がる。東海層群上限面の最深部は、三河湾臨海部よりやや内陸側の安城市南部や西尾市北部にあり、およそ T.P.-85m である。

濃尾傾動地塊は、西部が広大な濃尾平野、東部は名古屋東部丘陵で、西側が大きく沈降する傾向（傾動）にあるため、地層の多くは、西に向かって厚く、かつ深くなっている。濃尾平野では、沖積層基底部の第一礫層（G1、層厚 10~20m）、および第二礫層（G2、層厚 30m 以下）等が支持層である。いずれも平野のほぼ全域に広がり、 N 値 50 以上を有し、支持層としてばかりでなく、帯水層としても広く利用されている。平野東縁や北縁では沖積層全体が礫層となるため、この区域では G1 が地表に露出すると言ってもよい。G1 の上面は、北・東縁の地表から西に向かって深くなり、西縁部で T.P.-70m に達する。G1 の下位には上部更新統の熱田層がある。熱田層は、上半部が砂層（層厚 60m 以上）、下半部は海成粘土層（層厚 60m 以上）からなる。熱田層の下位に G2 がある。G2 の上面は、浅い北東縁では地表付近にあり、深い西縁では T.P.-200m 付近にある。G2 の下位には砂礫・泥互層からなる中部更新統が厚く発達しており、さらに下位には東海層群がある。傾動地塊東半部の名古屋東部丘陵には東海層群が広く露出し、支持地盤としてほとんど問題がない。

伊勢平野北部は、北部が東海層群からなる丘陵、中南部のうち東半分は沖積平野、西半分が段丘・丘陵である。なお、濃尾傾動地塊（濃尾平野）とは活動的な活断層の養老断層で境される。中南部の東半分を占める沖積平野は、上位から沖積層、古伊勢湾層、そして支持層として問題がない東海層群からなる。沖積層は上部と下部が砂礫層からなり、砂礫の部分で N 値 30~50 以上とやや高いが、ほかではやや軟弱あるいは軟弱である。沖積層の基底面は、濃尾平野に近い北部で深く T.P.-60m 付近にあり、南部では T.P.-30m 以浅である。沖積層の下位には、濃尾平野の熱田層に対比される古伊勢湾層（層厚 20m 以下）がある。基底面は濃尾平野に近い北部で深く T.P.-80m にあり、南部では T.P.-50m 以浅である。 N 値は 8~15 とやや軟弱である。沖積平野と西側の段丘・丘陵との境界部には、養老断層の南の延長にあたる桑名断層と四日市断層が走っている。

(参考資料)

- ・「大深度地下マップ・同解説」、国土庁・東京都土木研究所・財団法人地域地盤環境研究所・川崎地質株式会社 編著、2000 年
- ・「新版 東京港地盤図」、東京都港湾局 編、2001 年
- ・「関東主要地域概略地盤図」、建設省関東地方建設局 編著、1985 年
- ・「日本の地質」、木村敏雄・速水格・吉田鎮男 著、1993 年
- ・「埼玉県の地形と地質」、堀口萬吉 著、1980 年
- ・「関西地盤」、(社)土質工学会関西支部 関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会・地下空間の活用と技術に関する研究協議会 編、1992 年
- ・「関西地層分布図－大阪平野－」、関西地盤情報活用協議会地盤研究委員会 編、1998 年
- ・「新関西地盤－神戸および阪神間－」、関西地盤情報活用協議会地盤研究委員会 編、1998 年
- ・「新関西地盤－京都盆地－」、関西地盤情報活用協議会地盤研究委員会 編、2002 年
- ・「都市地盤調査報告書 第9巻 愛知県衣浦地区の地盤」、建設省計画局・愛知県 編、1965 年
- ・「都市地盤調査報告書 第2巻 伊勢湾南部臨海地帯の地盤」、建設省計画局・三重県 編、1962 年
- ・「都市地盤調査報告書 愛知県一宮地区の地盤」、建設省計画局・愛知県・一宮市編、1965 年
- ・「愛知県の地質・地盤 資料編 (その1 尾張部)」、桑原 徹監修・応用地質調査事務所、愛知県防止会議地震部会、1983 年
- ・「愛知県の地質・地盤 資料編 (その2 三河部)」、桑原 徹監修・応用地質調査事務所、愛知県防止会議地震部会、1981 年

表-2.5 三大都市圏の大深度地下地盤に関する地質工学的特性の整理(首都圏)

地域	首都圏			
	東京都低地部	東京都台地・丘陵部	神奈川県東部	千葉県東京湾沿岸部
支持地盤となる代表的な地層の名称	七号地層、足立砂礫層、埋没段丘礫層、東京層、東京礫層	東京層、東京礫層、段丘礫層、東久留米層	三浦層群、上総層群、相模層群	下総層群、上総層群、東京礫層
地層の深度分布	七号地層は地表からの基底深度は30～70m。足立砂礫層は七号地層の基底礫層で、低地中央部の埋没谷を埋積した形で分布し、地表からの基底深度は50～75m、厚さは約10m。埋没段丘礫層は隅田川流域付近の深度30～40m付近に層厚3～6mで分布する。東京層の地表からの基底深度は低地では15～40m。東京礫層は東京層基底に分布し、地表からの基底深度は15～45m、厚さは2～10m。	東京層の地表からの基底深度は台地で20～30m。東京礫層は東京層基底に分布し、地表からの基底深度は15～45m、厚さは2～10m。段丘礫層は武蔵野台地の表層近くに層厚3～10mで分布する。東久留米層は段丘礫層の下位に存在する。	深部地盤は下位から上位へ、三浦層群、上総層群、相模層群からなる。丘陵・台地の代表地盤は、三浦層群、上総層群が対象となる。上総層群の上限深度は10～40m以深。東京湾沿岸の低地の代表地盤は、上総層群であり、地表からの上限深度は5～40m。	台地を洪積層が、低地を沖積層が構成し、洪積層は沖積層の基盤となっており、解析により台地部で河谷状地形、臨海部で埋没谷となっている。上総層群の堆積後、房総半島北部から関東平野中央部にかけて厚い中～上部更新統が堆積し、この地域ではこれを下総層群としている。最も厚い船橋付近では厚さ400m以上に達することが知られる。沖積層の中でN値が50を超える部分はまれである。葛西付近では深度50m前後の東京礫層が支持地盤となる。
地層の連続性	七号地層は層厚変化に富む。東京層は上部の砂質土で支持地盤となる部分があり、層の連続性は良いが、低地中央部では欠如する部分もある。東京層は東京層基底に分布し、分布地域を東京層と同じくする。なお工学における東京礫層は、地質学でいう東京礫層のみとは限らない。	武蔵野台地東部では東京礫層が支持地盤となる地域が多く、連続性は良い。段丘礫層も連続性は良い。東久留米層は東部に向けて層厚が薄く、区部では薄くなるが、代々木付近でも約40mの層厚である。	三浦層群は三浦半島南部に、上総層群はこの上位に広く分布する。相模層群は丘陵・台地に断片的に分布し、岩相変化を伴う。	下総層群は一般に連続性は良いが、その深度は大きく変化する。七号地層相当層は古奥東京湾の地域沿いには連続している。段丘堆積礫層は武蔵野台地・入間台地・東松山台地・大宮台地などに分布し、連続性は良いもののその深度は地域により大きく変化する。
地層の傾斜、上限面の起伏	東京層は東へきわめて緩く傾斜している。七号地層は層厚の厚い部分で支持地盤となり、支持地盤上面が地層を横断する場合同様に多く見られる。	段丘礫層は支持地盤とならない地域も多く、支持地盤上面が地層を横断する場合はよく見られる。	三浦層群は東西方向に長軸をもつ褶曲が発達する。上総層群の全体的傾斜は北東へ2～4度。相模層群は地域性を有する傾斜を示す。これらの層は、沖積層(有楽町層相当層)、段丘堆積層などに削られているため起伏に富む。	下総層群は古奥東京湾の地理に従った起伏があり、地層の傾斜は一概に判断できない。七号地層相当層の傾斜は水平に近いが、地層の上限面と支持地盤の上限面は一致しない。段丘堆積礫層は丘陵状であり、地域により異なる。

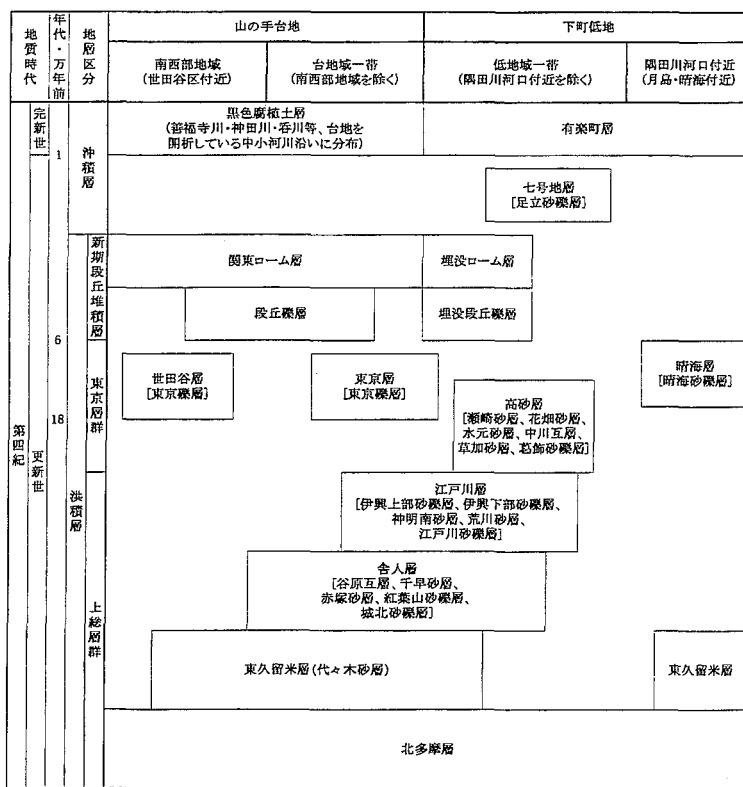
*ここでの O.P とは大阪湾平均潮位を基準とした標高

表-2.6 三大都市圏の大深度地下地盤に関する地質工学的特性の整理(近畿圏)

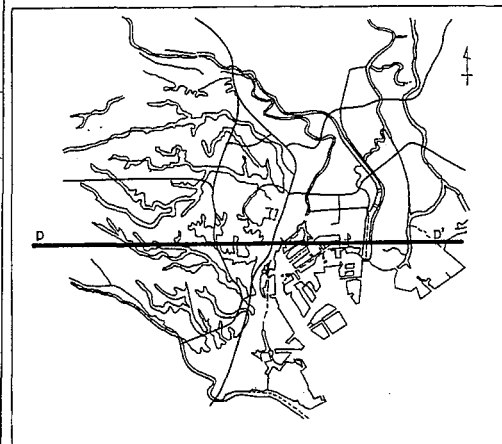
地域	近畿圏		
	大阪平野部	神戸扇状地	京都盆地
支持地盤と なる代表的な 地層の名称	第1洪積砂礫層(天満砂礫層、伊丹礫層) 第2洪積砂礫層(第2天満砂礫層、川西礫層)	第1洪積互層、 第2洪積互層	沖積砂礫層、 洪積層(段丘層)
地層の 深度分布	第1洪積砂礫層は大阪湾岸の西大阪地域では海 に向かいO.P.-25mから大阪湾岸ではO.P.-35m以 下。層厚は10m以下の部分が多いが住之江区岸 里～南港では層厚15m前後と厚い。大阪湾沿岸の 一部にはこの地層が削剥された個所がある。東大 阪地域では東部生駒山地に向かい層厚を増す が、近畿自動車道より西側では薄く概ね4m以下。 第2洪積砂礫層は西大阪平野では海に向かい上 面標高が深くなり大阪駅付近でO.P.-40m前後、大 阪湾岸でO.P.-50mに達する。東大阪地域では O.P.-15mから東に向かい深くなる。層厚は10m以 上と考えられている。	埋立部では、第1洪積互層が認められ、厚い砂礫 層から砂層と粘性土層との細かい互層にまで層相 変化し、層厚の変化も激しい。ポートアイランドで厚 く、芦屋付近では薄い。海岸平野部から山麓扇状 地にかけて洪積層が礫質となり、下位の洪積層と の区分が困難となる。沖積層の下面は大阪湾に向 かって緩やかに傾斜して下がっており、国道2号付 近ではO.P.±0m前後、旧海岸線付近ではO.P.- 10m前後である。	南部に分布する沖積層は、桂川と宇治川の間の低 地部では地表より粘性土層が主体である軟弱な地 層が15m程度分布するが、北に行くにしたがい扇 状地性の礫層が主体となる。その下位にN値50以 上の砂礫層が広く分布している。北部の扇状地部 には、全般にN値の高い砂礫層が卓越し、洪積層 と沖積層の区分が困難である。粘性土主体の地層 は地表付近にわずかに見られる。
地層の 連続性	第1洪積砂礫層は上町台地とその東側、北部の鶴 見緑地周辺部に分布しない部分がある。第2洪積 砂礫層は上町台地及びその東側を含んで南北に 地層の分布状況が不明瞭なところがある。上町台 地の東側では地層の水平方向への連続性が悪く なるため支持地盤上面は大きくばらつく。西大阪平 野では第1洪積砂礫層の層厚が薄く支持地盤上面 が深くなる部分がある。尼崎から伊丹にかけてはこ の地層は伊丹礫層と呼ばれているが連続性がよく て伊丹台地上では浅くに分布している。	沖積層やその下位の砂礫層は扇状地性の堆積物 なので、特に六甲山に平行した方向の地層変化が 著しく連続性に乏しい。	北部においても、御室、山ノ内～花園など部分的 にN値の低い地層が厚いところがある。鴨川東側 には東山丘陵から桃山丘陵に沿って扇状地性のN 値の低い地層が分布している。
地層の傾斜、 上限度の起伏	上町台地の西側では各地層が緩やかに大阪湾側 に傾斜し深くなり、東側では生駒山に向かって傾斜 して深くなっている。	沖積層の下面は大阪湾に向かって緩やかに傾斜 し、洪積層の緩やかに起伏した上面を覆っている。	N値の低い地層は、北部の扇状地性地盤の地域 では一般に薄く、十条より南側で厚い。

表-2.7 三大都市圏の大深度地下地盤に関する地質工学的特性の整理(中部圏)

中部圏				
地域	西三河平野	猿投-知多隆起帯	濃尾傾動地塊	伊勢平野北部
支持地盤となる代表的な地層の名称	第一礫層(G1)、 孝母層、三好層、 東海層群	八事層、三好層、 加木屋層、武豊層、 東海層群	第一礫層(G1)、熱田層上部、 第二礫層、海部累層、 第三礫層、弥富累層、 八事層、唐山層、東海層群	沖積層下部砂礫層 (伊勢神戸層)、 水沢扇状地堆積物、 力尾累層、東海層群
地層の 深度分布	第一礫層は沖積平野(低地)でT.P.-10~-50m以浅。孝母層は沖積平野(低地)ではT.P.-40~-50m以深、段丘地帯ではG.L.-30m以浅。三好層は地表面から。東海層群は全域でT.P.-85m以深。	いずれの地層も地表面から。	第一礫層は濃尾平野でT.P.0~-50m以深。熱田層上部は濃尾平野でT.P.0~-90m以深、熱田台地では地表面から。第二礫層は濃尾平野でT.P.-10~-200m以深。海部累層・第二礫層・弥富累層はT.P.+20~-230m以深。八事層・唐山層は地表面から。東海層群は濃尾平野ではT.P.0~-800m以深、東部丘陵は地表面から。	伊勢神戸層は沖積平野でT.P.-20~-40m以深。水沢扇状地堆積物は段丘地帯で地表面から。力尾累層は丘陵で地表面から。東海層群は丘陵で地表面から、沖積平野ではT.P.0~-80m以深。
地層の 連続性	第一礫層は沖積平野のほぼ全域。孝母層は段丘地帯・沖積平野のほぼ全域。三好層は断片的。東海層群はこの地域の全域。	八事層・三好層・加木屋層・武豊層は断片的。東海層群はこの地域の全域。	第一礫層は濃尾平野内のほぼ全域。熱田層上部は熱田台地およびその周辺と濃尾平野内のほぼ全域。第二礫層・海部累層・第三礫層・弥富累層は濃尾平野内のほぼ全域。八事層・唐山層は頭部丘陵西縁部に断片的。東海層群はこの地域の全域。	伊勢神戸層は沖積平野内のほぼ全域。水沢扇状地堆積物はそれぞれの段丘面内でのみ連続的。力尾累層は段丘縁辺で断片的。東海層群はこの地域の全域。
地層の傾斜、 上限面の起伏	第一礫層・孝母層・三好層は傾斜・上限面ともほぼ水平。東海層群は断層近傍で急傾斜するが、ほかの区域ではゆるやかに南西に傾斜。	八事層・三好層・加木屋層・武豊層は断層近傍で急傾斜し、上限面は起伏が大きい。東海層群は断層近傍で急傾斜するものの、ほかの区域では北東部で南西に緩く傾斜、南部では北東に緩く傾斜。	第一礫層・熱田層上部第二礫層・海部累層・第三礫層・弥富累層は非常に緩く西傾斜、上限面も同様。八事層・唐山層は緩く西傾斜するが上限面は起伏が大きい。東海層群は断層近傍で急傾斜するものの、ほかの区域では緩く西傾斜、上限面は凹凸がある。	伊勢神戸層・水沢扇状地堆積物は傾斜・上限面ともほぼ水平。力尾累層は丘陵縁辺・断層近傍で急傾斜、上限面も起伏が大きい。東海層群は断層近傍で急傾斜し、ほかの区域でも緩く傾斜、上限面も起伏がやや大きい。



位置図



(注) 1. 新期段丘地帯層については細分化せず、ローム層と段丘礫層に大別してある。
2. []内は当該地層中の砂及び砂礫の各部層名である。

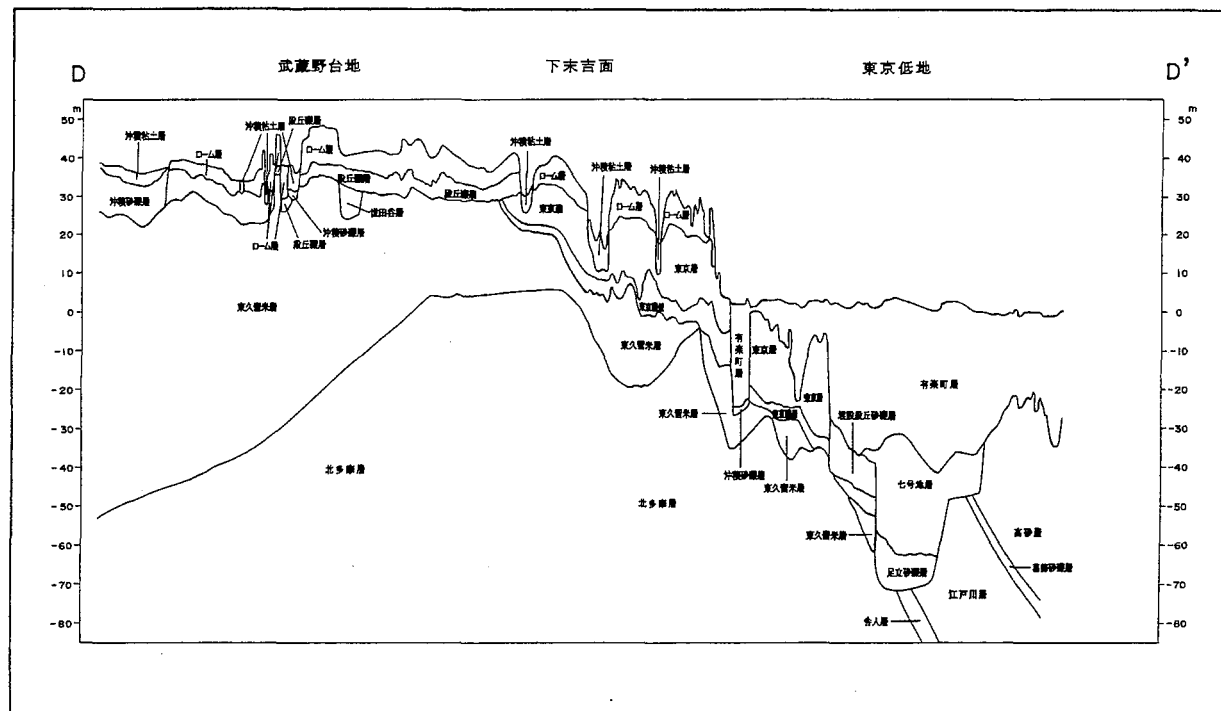


図-2.6 首都圏(東京都区部周辺)の地質断面図の例
資料:大深度地下マップ・同解説(一部加筆)

地質時代		大阪平野	
第四紀	完新世	沖積層	上部層
			中部粘土層
			下部層
	後期	上部洪積層	第1洪積砂礫層
			Ma12層
			第2洪積砂礫層
			Ma11層
	更新世	大阪層群	(砂・礫・粘土層)
			Ma10層
			Ma9層
			Ma8層
			Ma7層
Ma6層			
Ma5層			
Ma4層			
前期	Ma3層		
	Ma2層		
	Ma1層		
	Ma0層		
			Ma-1層

位置図

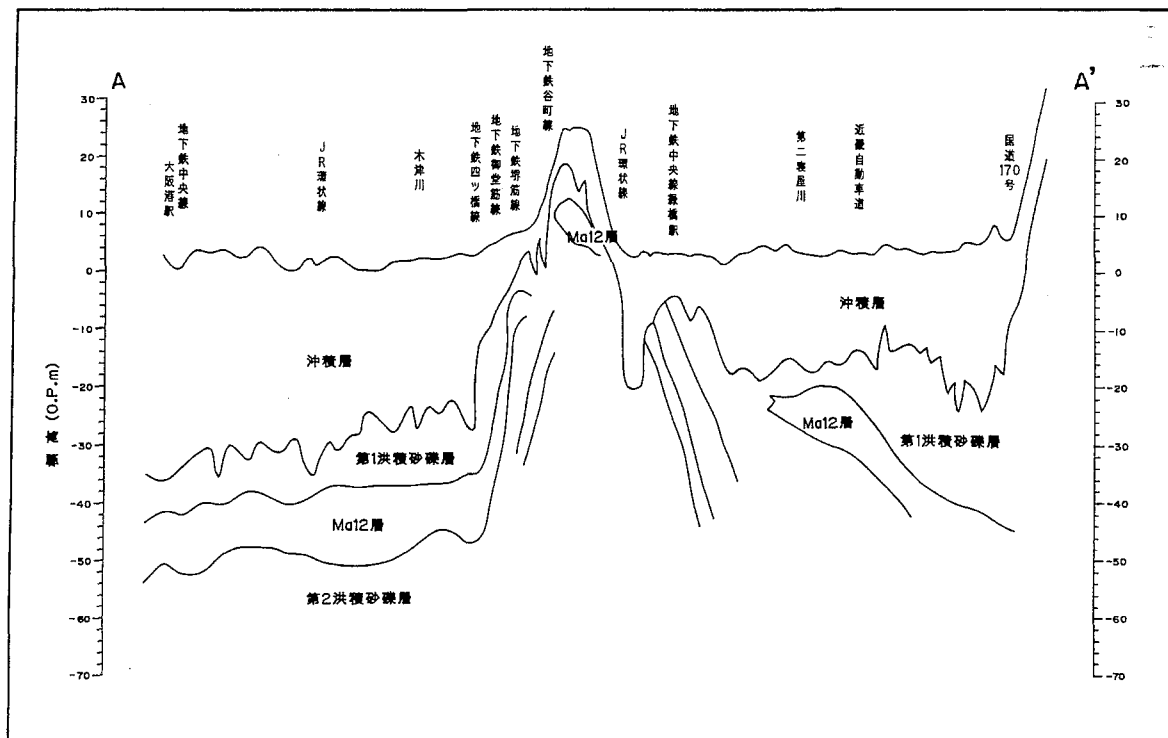


図-2.7 近畿圏(大阪市周辺)の地質断面図の例
資料:大深度地下マップ・同解説(一部加筆)

地質時代	濃尾平野	熱田台地など	東部丘陵
第四紀	完新世		
	後期	鳥居松礫層 大曾根層	
	更新世	熱田層 上部 下部	
	中期	海部・弥富果層	
第三紀	前期	八事層 唐山層	
	鮮新世	東海層群	矢田川累層 瀬戸陶土層
	中新世	中新統	瑞浪層群(品野層)

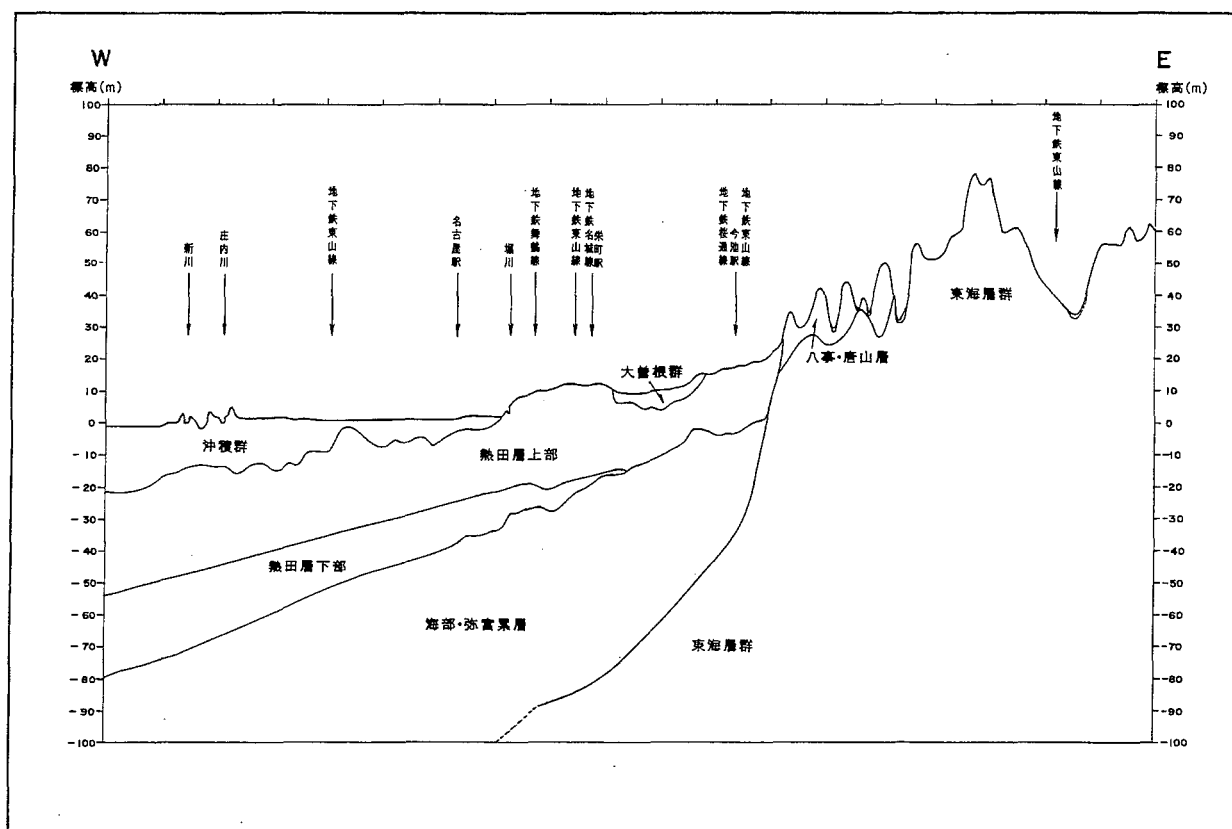
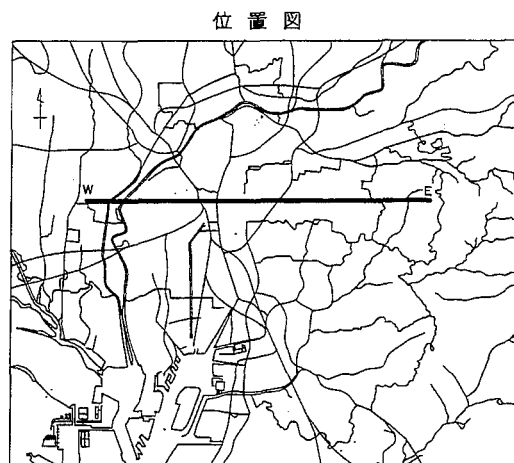


図-2.8 中部圏(名古屋市周辺)の地質断面図の例

資料:大深度地下マップ・同解説(一部加筆)

第3章 大深度地下特定のための地盤調査の方法

3.1. 地盤調査の流れ

地盤調査の実施にあたっては、既存の資料から調査地域の支持地盤の状況を調査するとともに、民有地への立入りの許可等調査の実施にあたって必要な手続きを行い、大深度地下特定を行うのに必要な地盤情報が得られるよう、適切に計画を立案した上で調査を実施しなければならない。

既往の地盤調査結果を用いる場合には、使用する調査結果の信頼性について十分な検討を行わなければならない。

【解説】

大深度地下特定のための地盤調査の実施にあたっては、調査を合理的に進めるため、調査地域における既存の地盤調査結果を収集・分析した上で、調査位置を選定するとともに、調査を実施する上で必要となる、土地の立入り等の許可を取得するための手続きを行い、調査及び大深度地下特定が適切に実施できるよう計画する必要がある。大深度地下特定のための地盤調査の流れは図-3.1 のようになる。

調査地域の支持地盤の特徴については、既存の文献によりある程度推定できる場合がある。大深度地下法の対象地域である都市部においては、すでに多くの地盤調査が実施されていることから、河岸段丘や埋没谷等規模の大きな地層の変化部については、ある程度把握できていると考えられる。

既往の調査結果等から詳細な調査を実施すべき区域を絞り込むことによって、合理的に調査を実施することが可能である。

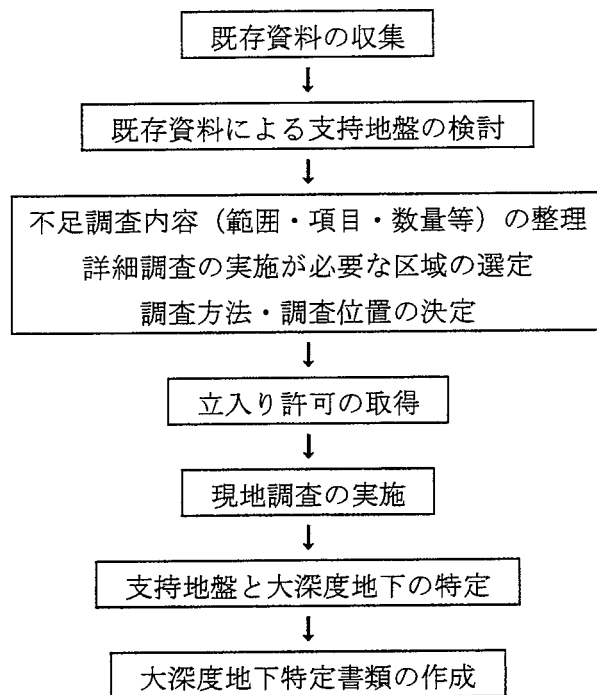
大深度地下特定のための地盤調査の実施時期においては、事業の進捗状況によっては十分な現地調査を行えない場合がある。また、大深度地下事業区域全域に対して詳細な調査を行うことは困難である場合が多い。

よって、調査地域付近で過去に実施された地盤調査の結果や地盤図等の各種地盤資料を有効に活用して合理的に大深度地下特定を行う必要がある。

既存の地盤調査としては、公共事業の他、建築物の建設時の調査等があり、既存の地盤調査結果を用いる場合には、調査実施時期によって地表面高や地層の同定の解釈が現在とは異なっている場合があるので、十分な検討を行い、その使用方法について判断しなければならない。また、データの吟味を十分に行い、その精度について注意する必要がある。

施設が長距離にわたって民有地地下に設置される場合や、施設が計画されているルート上に調査が実施可能な公共用地が見つからない場合等、民有地において地盤調査を実施する必要がある場合がある。

調査の実施にあたっては、調査位置を適切に選定するとともに、許可等が必要な場合には、大深度地下法第9条に定めるように、調査のための立入りの許可を得る等の必要な手続きを行わなければならない。また、調査の実施にあたっては、現地状況等に配慮して調査を実施する必要がある。



図－3.1 大深度地下特定の流れ

3.2. 大深度地下特定のための地盤調査手法と調査項目

大深度地下特定のために用いる地盤調査手法の選定にあたっては、調査手法の特徴、調査位置における土地利用状態、想定される支持地盤の特徴等に十分配慮しなければならない。

支持地盤の特定は N 値によって行うものとする。

なお、標準貫入試験以外の調査手法を用いる場合には、調査結果を N 値に換算して支持地盤の評価を行うものとする。この場合、調査箇所において用いる手法による換算 N 値と標準貫入試験による N 値の相関関係について、確認を行うことが望ましい。

【解説】

大深度地下特定にあたっては、調査位置で支持地盤になると想定された地盤について、必要な範囲で強度及び深さと厚さを連続的に把握する必要がある。

その地盤調査手法はそれぞれ特徴を持っており、調査位置の状況に応じてさまざまな手法を選定することが可能である。

大深度地下特定に適用可能と考えられる地盤調査手法を表-3.1、表-3.2 及び表-3.3 に示す。表には規格・基準の有無を示したが、JIS 等の規定がない調査手法でも、方法等について十分な検討を行うことにより採用は可能である。ただし、それら調査手法について今後基準類が整備された場合には、その規格・基準に従い調査する必要がある。

大深度地下特定に用いる場合の判断項目としては、①適用深度、②ボーリング孔の必要性、③ N 値 50(又は支持力)の確認の可否、④ N 値 50 相当部に対する必要厚さ確認の可否、⑤支持地盤上面境界の確認の可否、⑥支持地盤の連続性の確認の可否がある。

これら①、②の特徴を考慮した上で、調査位置における土地利用状態や想定される支持地盤の特徴等を検討して③～⑥のいずれかの項目について調査可能であると判断できる場合、他の調査手法と組み合わせること等により、大深度地下特定に適用可能である。

なお、①適用深度で「～25m」と「30m 程度」のように評価項目を細分している。これは、直接基礎を想定するのが支持地盤上面の位置が 25m 以浅の場合に限るからであり、また、30m を境に支持地盤上面に対する大深度地下の定義が変わるためである。

調査手法の選定に際しては以下のような点に留意する必要がある。

- ①について。適用深度が支持地盤と想定している調査対象地盤の深さに達しているか判断する必要がある。支持地盤が地表面付近にある場合には、スウェーデン式サウンディングのような手法も採用可能である。
- ②について。現地状況によっては、大深度地下施設を設置する直上の地表面で、削孔を伴う調査の実施が困難である場合もある。ボーリング孔を必要とする手法としては、計測ボーリングのように調査と同時に削孔が必要なものや貫入試験や孔内載荷試験、検層のように削孔されたボーリング孔を利用するものがある。一方、トモグラフィのように直上ではなく調査位置の周辺でボーリング孔を必要とする手法や、浅層反射法地震探査のように必ずしもボーリング孔を必要としない手法もある。
- ③について。調査手法には、標準貫入試験のように N 値を直接的に得ることが出来る手法がある。一方、計測ボーリングのように削孔トルク等の値を換算式より N 値に換算する手法や、浅層反射法地震探査やトモグラフィあるいはコア観察のように直接的には N 値を調べる事ができない手法等がある。浅層反射法地震探査のような手法では、既存

あるいは新規に実施する、標準貫入試験等を伴うボーリング調査結果との補完により、調査結果から間接的に支持地盤を特定する必要がある。また、コア観察においても、インデックス試験等を併用することによって、隣接ボーリング孔の調査結果との比較を行い、間接的に支持地盤相当の強度を確認することができる。この項目の判定基準は、直接的に N 値又は支持力を得る試験については「○」とし、間接的な算出になる場合は「△」とした。

- ④について。支持地盤は、 N 値 50 以上の所定の厚さを有する地盤により定義されるため、深さ方向の調査において、支持地盤上面の確認だけでなく厚さも確認する必要がある。スウェーデン式サウンディングや計測ボーリングの一部では、 N 値 50 以上の地層に対する貫入が困難な手法がある。
- ⑤について。性状が大きく変化する部分についてその境界が調査可能であれば、直接的に N 値 50 の境界を調査できなくても、支持地盤の深さを確認した隣接するボーリング孔での調査結果との補完により支持地盤の深さの特定が可能である。
- ⑥について。地盤調査には、ボーリング・サウンディングのような地表面の 1 点から深さ方向にのみ調査する調査手法（深度方向の調査）と浅層反射法地震探査・トモグラフィのような水平方向に連続的に調査可能な調査手法（連続性の調査）がある。深度方向の調査については、各孔での調査結果を結ぶことによって支持地盤を推定することになる。この項目の判定基準は、直接的に単一の手法で連続性の把握が可能な場合のみ「○」とし、分解能に問題がある場合等条件によって適用可能な場合は「△」とした。なお、複数孔で実施しなければ連続性の把握が不可能な場合は「×」とした。

各地盤調査手法の概要と利用目的は参考資料に示している。各手法の利用にあたってはその特徴を十分に理解し、適切な方法で調査を実施する必要がある。

また、手法によっては、大深度地下特定を目的とする調査以外の地下水調査等のような他目的の調査に兼用ができるため、全体の調査計画の中で調整を行った上で手法の選定をすることが望ましい。

新たな技術開発等を受け、ここで表に抽出した調査手法以外の手法の採用を検討する場合には、大深度地下特定への適用性を十分に検討した上で、採用を判断してよい。

なお、調査手法のうち、浅層反射法地震探査と計測ボーリングについてはその実績表を p.p.92～p.p.96 の参考資料に示している。

支持地盤の判定は N 値によって行うため、標準貫入試験以外の手法を採用する場合は、その測定結果を N 値に換算して評価する。この換算式は定義されたものを使用すべきであるが、その妥当性について調査箇所において検討し、確認することが望ましい。

なお、対象地域が山地や丘陵部で、岩盤が露頭したり、比較的浅い深度から岩盤となっている場合は、物理探査・土質調査といった数値的な結果を得られる調査手法でなくても、コア観察等の地質調査手法を用いて深度 40m 以深を大深度地下と特定することも可能である。

表-3.1 大深度地下特定に適用可能な地盤調査手法(物理探査)

調査手法	規格・基準	評価項目							
		①適用深度		②ボーリング孔の必要性	③N値50(または支持力)の確認	④N値50相当部の厚さ5mの確認	⑤支持地盤とそれより浅い部分との境界の把握	⑥支持地盤の連続性の把握	
		～25m	30m程度						
屈折法地震探査	—	○	○	C	△ N値とV _s の相関式より推定	△ 測定条件によっては評価可能	△ 速度差により評価	○	
浅層反射法地震探査	—	○	○	C	△ 速度から関係式により推定	△ 測定条件によっては評価可能	○	○	
電気探査	—	○	○	C	× 概要調査であり、精度は劣る	× 概要調査であり、精度は劣る	△ 分解能にやや課題あり	△	ほぼ測線長に近い長さにわたって把握可能
表面波探査	—	○	○	C	△ N値とV _s の相関式より推定	× 概要調査であり、精度は劣る	△ 分解能にやや課題あり	△	分解能にやや課題あり
弾性波トモグラフィ	—	—	—	ボーリング孔に依存	B △ N値とV _s の相関式より推定	△ 分解能にやや課題あり	△ 分解能にやや課題あり	△	弾性波の到達距離とコストとの関係で決まる
比抵抗トモグラフィ	—	—	—	ボーリング孔に依存	B △ 調査地域での相関性を検討すれば評価可能	△ 分解能にやや課題あり	△ 分解能にやや課題あり	△	比抵抗の分解能にやや課題あり
VSP	—	—	—	ボーリング孔に依存	A △ N値と速度の相関式より推定	○	△ 速度差により評価	×	複数孔での実施すれば可能
HSP	—	—	—	トンネル前方調査で、前方への適用範囲は広い。トンネル深度に依存	A △ N値と速度の相関式より推定	× トンネル前方調査である	× トンネル前方調査である	×	トンネル前方調査である
速度検層	JGS 1122-1995	—	—	ボーリング孔に依存	A △ N値と速度の相関式より推定	○	△ 速度差により評価	×	複数孔で実施すれば可能
電気検層	JGS 1121-1995	—	—	ボーリング孔に依存	A △ 調査地域での相関性を検討すれば評価可能	△ 分解能にやや課題あり	△ 分解能にやや課題あり	×	複数孔で実施すれば可能
密度検層	—	—	—	ボーリング孔に依存	A × 密度とN値との直接的な関係はない	△ 地層の厚さの判断材料となる事もある	△ 密度差により評価	×	複数孔で実施すれば地層の連続性の判断材料となる
ボアホールテレビ	—	—	—	ボーリング孔に依存	A × 孔壁画像とN値との直接的な関係はない	△ 地層の厚さの判断材料となり得る	× 孔壁画像とN値との直接的な関係はない	×	複数孔で実施すれば地層の連続性の判断材料となる

評価の基準 :○ 適用可能 △ 条件によって適用可能 × 適用不可

ボーリング孔の必要性 :A 対象位置でボーリング孔を必要とする B 対象位置周辺でボーリング孔を必要とする C ボーリング孔を必要としない

海外の基準を準用できるものは、その使用を妨げるものではない

表-3.2 大深度地下特定に適用可能な地盤調査手法(土質調査)

調査手法			規格・基準	評価項目									
				①適用深度		②ボーリング孔の必要性	③N値50(または支持力)の確認	④N値50相当部の厚さ5mの確認	⑤支持地盤とそれより浅い部分との境界の把握	⑥支持地盤の連続性の把握			
				～25m	30m程度								
動的貫入試験	標準貫入試験(SPT)		JIS A 1219:2001	○	○	A	○	玉石を除くあらゆる地盤	○	○	○	×	複数孔で実施すれば可能
	オートマチックラムサウンディング		(スウェーデン土質工学会の規格に準じる)	○	△	A	△	主な対象はN値30以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値30以下の地盤を対象とする	△	×	複数孔で実施すれば可能
	鉄研式(中型、大型)動的円錐貫入試験		—	×	×	A	△	主な対象はN値30以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値30以下の地盤を対象とする	△	×	複数孔で実施すれば可能
	土研式動的円錐貫入試験		—	×	×	A	×	表層のみを対象とすることから大深度地下特定には適用できない	×	表層のみを対象とすることから大深度地下特定には適用できない	△	×	表層のみを対象とすることから大深度地下特定には適用できない
	簡易動的コーン貫入試験		JGS 1433-1995	×	×	A	×	表層のみを対象とすることから大深度地下特定には適用できない	×	表層のみを対象とすることから大深度地下特定には適用できない	△	×	表層のみを対象とすることから大深度地下特定には適用できない
	大型貫入試験		—	○	○	A	○		○	○	○	×	複数孔で実施すれば可能
	回転式大型動的貫入試験		—	○	○	A	△	主な対象はN値30以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値30以下の地盤を対象とする	△	×	複数孔で実施すれば可能
静的貫入試験	静的コーン貫入試験	オランダ式二重管コーン貫入試験	JIS A 1220:2001	○	○	A	△	主な対象はN値40以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値40以下の地盤を対象とする	△	×	複数孔で実施すれば可能
		三成分コーン貫入試験	JGS 1435-1995	○	○	A	△	主な対象はN値40以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値40以下の地盤を対象とする	△	×	複数孔で実施すれば可能
	スウェーデン式サウンディング		JIS A 1221:2002	×	×	A	△	主な対象はN値40以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値40以下の地盤を対象とする	△	×	複数孔で実施すれば可能
	サイズミックコーン(SCPT)		—	○	○	A	△	主な対象はN値40以下の地盤であり、適用には検討が必要	×	N値40以下の地盤を対象とする	○	×	複数孔で実施すれば可能
	計測ボーリング		—	○	○	A	△	相関式により推定	○		○	×	複数孔で実施すれば可能
平板載荷試験			JGS 1521-1995	×	×	C	△	地表面あるいは試験坑内での実施のため、適用できる条件はきわめて限定される	×	地表面あるいは試験坑内での実施のため、大深度地下特定には適用できない	×	×	地表面あるいは試験坑内での実施のため、大深度地下特定には適用できない
孔内水平載荷試験	荷重分布方式	LLT(1室型)	JGS 1421-1995	—	ボーリング孔に依存	A	○	最大加圧力=2.5MPa	△	測定深度ピッチによる	△	×	複数孔で実施すれば可能
		エラストメータ(1室型)	JGS 1421-1995	—	ボーリング孔に依存	A	○	最大加圧力=10MPa	△	測定深度ピッチによる	△	×	複数孔で実施すれば可能
		プレシオメータ(3室型)	JGS 1421-1995	—	ボーリング孔に依存	A	○	最大加圧力=10MPa	△	測定深度ピッチによる	△	×	複数孔で実施すれば可能
		KKT(等変位方式)	JGS 1421-1995	—	ボーリング孔に依存	A	○	最大加圧力=5～33MPa	△	測定深度ピッチによる	△	×	複数孔で実施すれば可能
		セルフボーリング式プレシヤメータ	—	—	ボーリング孔に依存	A	○	最大加圧力=10MPa	△	測定深度ピッチによる	△	×	複数孔で実施すれば可能
深層載荷試験			—	—	ボーリング孔に依存	A	○		△	測定深度ピッチによる	△	×	複数孔で実施すれば可能

評価の基準 :○ 適用可能 △ 条件によって適用可能 × 適用不可

ボーリング孔の必要性 :A 対象位置でボーリング孔を必要とする B 対象位置周辺でボーリング孔を必要とする C ボーリング孔を必要としない

海外の基準を準用できるものは、その使用を妨げるものではない

表－3.3 大深度地下特定に適用可能な地盤調査手法(地質調査)

調査手法	規格・基準	評価項目							
		①適用深度		②ボーリング孔の必要性	③N値50(または支持力)の確認	④N値50相当部の厚さ5mの確認	⑤支持地盤とそれより浅い部分との境界の把握	⑥支持地盤の連続性の把握	
		～25m	30m程度						
コントロールボーリング	—	○	○	A	△	△	△	×	複数孔で実施すれば地質的判断により可能
コア観察	—	—	ボーリング孔に依存	A	△	△	△	×	複数孔で実施すれば地質的判断により可能
微化石分析	—	—	ボーリング孔に依存	A/C	×	△	△	×	複数孔で実施すれば地質的判断により可能
テフラ分析	—	—	ボーリング孔に依存	A/C	×	△	△	×	複数孔で実施すれば地質的判断により可能
地質年代測定	—	—	ボーリング孔に依存	A/C	×	△	△	×	複数孔で実施すれば地質的判断により可能
三次元地質解析	—	—	ボーリング孔に依存	—	×	×	△	△	地質情報とボーリング調査結果を組み合わせる

評価の基準 : ○ 適用可能 △ 条件によって適用可能 × 適用不可

ボーリング孔の必要性 : A 対象位置でボーリング孔を必要とする B 対象位置周辺でボーリング孔を必要とする C ボーリング孔を必要としない

海外の基準を準用できるものは、その使用を妨げるものではない

3.3. 調査手法の組み合わせ

大深度地下特定のための地盤調査は、調査地域で想定される支持地盤の地質的特徴、深さ、厚さ、支持地盤となる地層の連続性と土地利用状態等を考慮して、適切な地盤調査手法を選定し、必要に応じてそれらを適切に組み合わせて、実施しなければならない。

【解説】

支持地盤の判定は N 値によって行うため、大深度地下特定のための地盤調査においては、ボーリングに伴って実施する標準貫入試験や各種サウンディングが有効な調査手段となる。

しかし、そのような調査はあくまで地表の1点から深度方向に実施する調査であり、調査結果をもとに支持地盤の状態について水平方向への連続性を把握するためには適切な調査位置・数量を決定することが重要である。

ボーリング間隔を狭めて密に実施すれば、より精度よくかつ連続性を含めて支持地盤の特定が可能となるが、支持地盤の連続性の把握を目的とする場合、必ずしも密なボーリングを実施しなくとも、ボーリングした箇所の支持地盤の上面がどのように連続して存在するかを調査すればよい。

支持地盤は、埋没谷や旧河道、埋没段丘等によって局所的に急変している場合もあるため、大深度地下を厳密に特定するためには、施設設置位置全域において、水平方向に連続的に支持地盤の深さを調査する必要がある。

支持地盤の連続性を調査するための手法としては浅層反射法地震探査や表面波探査等があり、各調査手法の特徴を考慮した上で適切に組み合わせることにより、精度よく大深度地下を特定することができる。この浅層反射法地震探査に併せてボーリング調査を併用する場合には、ボーリング調査の間隔は、浅層反射法地震探査の記録に応じて適切に設定することができる。

支持地盤の連続性を調査するためには、浅層反射法地震探査のように地盤の連続性を直接調査可能な手法以外にも、先に述べたようにボーリング等深度方向のみの調査を密に実施する方法もある。連続性を調べることに主眼を置く場合は、簡易な試験を選定して多数の地点で行えばよい。

ただし、現地状況によっては、ボーリング掘削を伴う調査を実施することが困難な場合がある。その場合には浅層反射法地震探査等掘削を伴わずに調査可能な手法や、コントロールボーリングやトモグラフィ等当該地表面から直接削孔しないで調査可能な手法を選定する必要がある。

このように地盤調査の実施にあたっては、現地状況等に応じて、適切に調査手法を組み合わせる必要がある。

調査手法の組み合わせと大深度地下特定までの調査の流れの例として、ボーリング及び標準貫入試験等による地表面上の1点から深度方向に調査する手法（「深度方向の調査」）と浅層反射法地震探査等の水平方向に連続的に調査する手法（「連続性の調査」）を考えた場合に、それらを組み合わせる方法について、図-3.2に示す。

以下で、図-3.2について説明する。なお、この例では基本的に、土地の利用状態については当該地表面を利用した調査が可能であることを前提にしている。

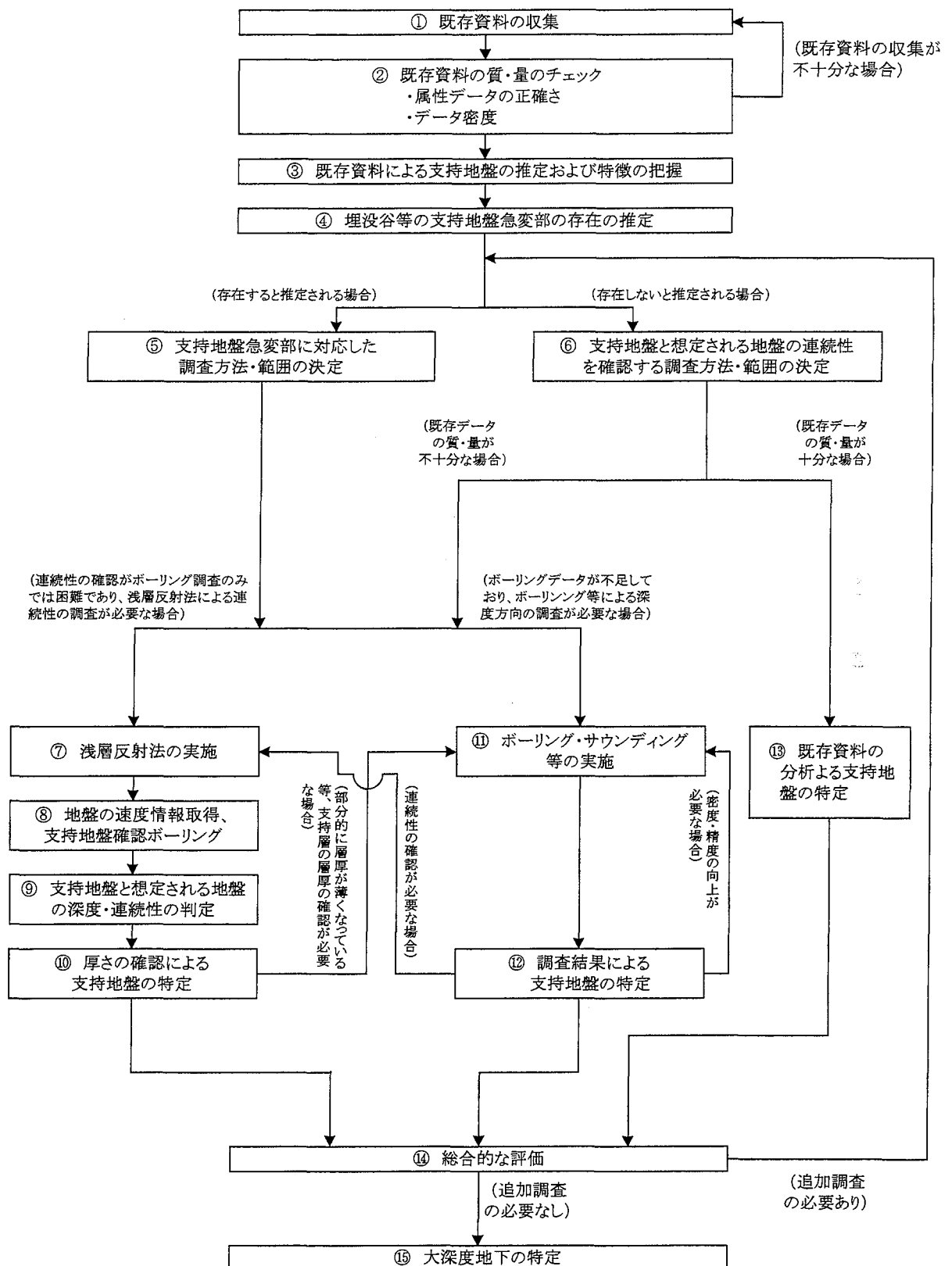


図-3.2 大深度地下特定のための調査手法の組み合わせと調査の流れの例

- ① はじめに調査地域における既存資料を収集・分析する。既存資料としては、大深度地下法の対象地域における地盤資料（表-4.1 参照）のほか、調査地域周辺の既存調査結果等がある。
- ② 既存資料の質・量についての検討を行う。特に、孔口標高・地点座標が正確であるかどうか、また、データの密度について、線形構造物の場合は対象地域において 100m 程度に 1 データがあるかどうかを目安にデータ量のチェックを行う。もし、これらのデータの質・量が十分でない場合には、既存資料の収集を再度行うか、新規調査による大深度地下の特定を行うこととする。
- ③ 収集した既存資料から、対象地域の地形・地質の特徴を整理するとともに、支持地盤を推定し、特徴を把握する。対象地域が山地や丘陵の場合で浅い深度から岩盤になっている場合等、対象地域の地形・地質的条件によっては、既存資料の分析・整理のみで深度 40m 以深を大深度地下と特定することも可能である。
- ④ 既存の地盤図や収集したボーリングデータの整理により、対象地域周辺において埋没谷等の支持地盤急変部が存在するかどうか判断する。
- ⑤ 支持地盤急変部の存在が推定される場合には、それに対応した調査方法・調査範囲の決定を行う。
- ⑥ 支持地盤急変部が存在しないと推定される場合には、支持地盤と想定される地盤の連続性を確認する調査方法・調査範囲の決定を行う。既存資料において精度が良いと判断できるデータが十分な密度で存在している場合は、既存資料の利用のみで支持地盤の特定を行うことも可能である。既存データの質・量が不十分で現地調査を行う場合には、ボーリングのみでは連続性について評価が不十分である等、浅層反射法による連続性の調査が必要なのか、ボーリング等による深度方向についての調査が必要であるか評価が不十分なのかを判断し、調査方法の選定を行う。
- ⑦ ボーリングによる支持地盤の連続性の判断が困難な場合には、浅層反射法地震探査等の連続性の調査を実施する。
- ⑧ 連続性の調査を中心に調査を実施する場合においても、調査の精度を上げるためにボーリングを実施する場合もある。浅層反射法地震探査においては、反射波が伝播してくる地盤の速度情報を取得することによって調査の精度が良くなるので、既存資料に速度情報が無い場合は、VSP、速度検層、屈折法地震探査、ボーリング等の他の調査手法を併用することが望ましい。
- ⑨ ボーリングの結果と比較・検討することによって連続性の調査における精度を向上させることができる。
連続性の調査を行った場合でも、調査の精度が問題となる箇所については、支持地盤の深度や連続性について確認を行うことが必要となる場合もある。
- ⑩ 連続性の調査によって支持地盤と想定される地盤について深さと連続性が把握できた場合でも、連続性の調査のみで厚さが把握できない場合は、支持地盤と特定するために既存の調査結果やボーリング等の他の手法で厚さを把握する必要がある。
上記の流れによって連続性の調査を中心にした支持地盤の特定を行う。この場合には連続的に支持地盤が特定されているため、安全幅を設定する必要はない（安全幅については 3.4 章において詳述する）。

- ⑪ 既存資料によって支持地盤がほぼ水平であることが推定される場合や連続性の確認後に支持層の層厚等の再確認を必要とした場合は、深度方向の調査によって支持地盤の深さや厚さを把握する。適切な数量で実施することによって水平方向への連続性も把握可能である。
- ⑫ 調査結果により支持地盤の特定を行う。この場合、必要に応じて支持地盤の特定の安全幅を設定するものとする。
- 深度方向の調査のみで支持地盤の連続性について明確とならない場合は、引き続き、連続性の調査を実施することが必要である。
- なお、深度方向の調査を追加して調査の密度を上げることにより、支持地盤の連続性を確認することも可能である。
- また、調査の精度に課題が生じた場合は、深度方向の調査を追加して調査の精度を向上させる必要がある。
- ⑬ 精度の高い既存データが十分な量で存在し、100m 程度に 1 データ以上の密度で支持地盤の上面深度と厚さが確実に把握できる場合は、新規の現地調査を伴わずに支持地盤を特定することも可能である。この場合、必要に応じて支持地盤の特定の安全幅を設定するものとする。
- また、調査対象地域における既存の地盤調査結果や既存資料からの地形・地質の特徴についての整理結果から、支持地盤が地表付近に存在することが明確な場合等も、既存資料の分析・検討のみで大深度地下を特定することが可能である。
- ⑭ 上記の流れによって支持地盤の特定がなされたら、追加調査の必要性についての検討を行う。
- この場合、地質情報等も参考にし、適切に支持地盤の特定に関する評価を行う。もし、地質情報との対比によって異常域が確認された場合には、その地域について適切な追加調査を計画・実施する。
- ⑮ 支持地盤の特定が適切になされれば、その深度に施行令第 2 条第 3 項で定められる距離 10m を加えた深さ、もしくは施行令第 1 条で定められている地表から 40m のうちいずれか深い方以上の深さが大深度地下となる。

3.4. 調査の密度及び精度と大深度地下の特定

地盤調査結果から大深度地下特定を行う場合には、現地の支持地盤の状況及び調査方法・結果の特徴を考慮して、調査の密度及び精度に従った適切な安全幅を見込んで支持地盤を特定しなければならない。

【解説】

大深度地下特定にあたっては、当該地域の支持地盤特性を踏まえ、調査手法とそのデータの精度及び密度、地盤調査手法の組み合わせおよび安全幅の設定について検討する必要がある。

大深度地下の特定に関しては、以下に示すように、地盤特性に応じて適切に既存データやボーリング調査結果等を用いることにより、支持地盤を特定することができる。

ボーリング調査を実施する場合、既存データ及びボーリング調査結果とあわせて浅層反射法地震探査等の物理探査手法を用いることにより支持地盤の連続性を確認することができ、大深度地下を特定することができる。一方、ボーリングのような深度方向の調査のみの場合は、点状の調査結果を包絡することにより、支持地盤の連続性を推定するが、連続性の推定の過程では誤差が生じる。また、標準貫入試験以外の手法を用いて N 値を調べる場合、標準貫入試験との誤差を有する場合がある。このため、支持地盤の連続性を物理探査等により確認することが困難な場合、大深度地下の特定にあたっては深度方向の調査結果に加えて、地質条件を勘案した安全幅を設定することが必要となる。この安全幅は、ボーリング調査の調査間隔が 100m 程度である場合、10m とすることにより支持地盤を適切に特定することができる。この 10m の安全幅の数値については、本章に示す複雑な地質状況における支持地盤の検討事例をもとに設定している。調査間隔を変えて行った検討では、調査間隔を 20m 程度から 100m 程度と変えても安全幅を 10m とすることによって支持地盤を適切に特定することが可能であった。ただし、既存資料を含めてデータの量が不十分な場合等により、支持地盤が急変する可能性がある地域において、深度方向の調査結果に加えて安全幅を設定して支持地盤の推定を行う場合には、合理的な安全幅の設定に関して調査地域ごとに検討する必要がある。また、既存資料や物理探査によって支持地盤の深さ及びその分布が推定可能であれば、ボーリング調査の間隔を大きくすることができる。この場合、推定結果の不確実性を十分検討し、必要に応じて安全幅の設定値を検討する。

深度方向の調査から支持地盤を特定する場合の安全幅の設定についてその概念を図-3.3 に示す。2 点のボーリング位置での情報から連続性を推定するもっとも簡単な方法は、直線補間する方法（図-3.3 の「直線補間」の線）であるが、この考えでは、実際に支持地盤が直線的に変化していない限り誤差が発生する。そこで、図-3.3 に示すように、直線補間より一定の安全幅を見込み、そこに支持地盤を設定することで安全側の評価として支持地盤を設定することができる。実際にはボーリング孔の位置では支持地盤は確定しているが旧河岸段丘等では支持地盤が急変している可能性があるため、ボーリング孔の位置でも安全幅を一律に設定する。このような考え方で、安全側の設定として支持地盤上面の位置を図-3.3 の実線（「安全幅を考慮した支持地盤の特定」の線）に設定することが可能である。

事業区域において調査を行うことが困難な場合は、地質条件を勘案して事業区域近傍の調査結果を用いることも可能である。この場合、事業区域の状況をよく把握できるよう調査地点を

バランスよく十分に配置し、必要な調査を実施することが必要である。

図-3.4 及び 3.5 にはボーリング調査の間隔及び安全幅についての事例検討の結果を示す。

事例検討は東京都区部の複雑な地質状況を示す地点で実施しており、東西方向 1000m×南北方向 400mの範囲内に 180 本の既存ボーリングデータがあり、これらのデータを用いて検討を実施している。

ボーリング調査の間隔を検討するため、100mメッシュと 200mメッシュの中から乱数で 1 点のデータを抽出し、それらのデータを用いて支持地盤面を作成した結果を図-3.4 に示している。200mメッシュのデータでは全データを用いての結果に比較して支持地盤面の形状に差が認められるが、100mメッシュで作成した支持地盤面はほぼ全データを用いた支持地盤面にかなり近い状況となっている。更に図-3.5 には、これらのデータから作成した地質縦断図を示すが、100mメッシュのデータを用いた作成した支持地盤面に安全幅を 10m設定することによって、支持地盤面を特定できている。

これらのことから、ボーリングの調査の間隔が 100m程度の場合には、安全幅を 10mとすることによって支持地盤が特定できると判断している。

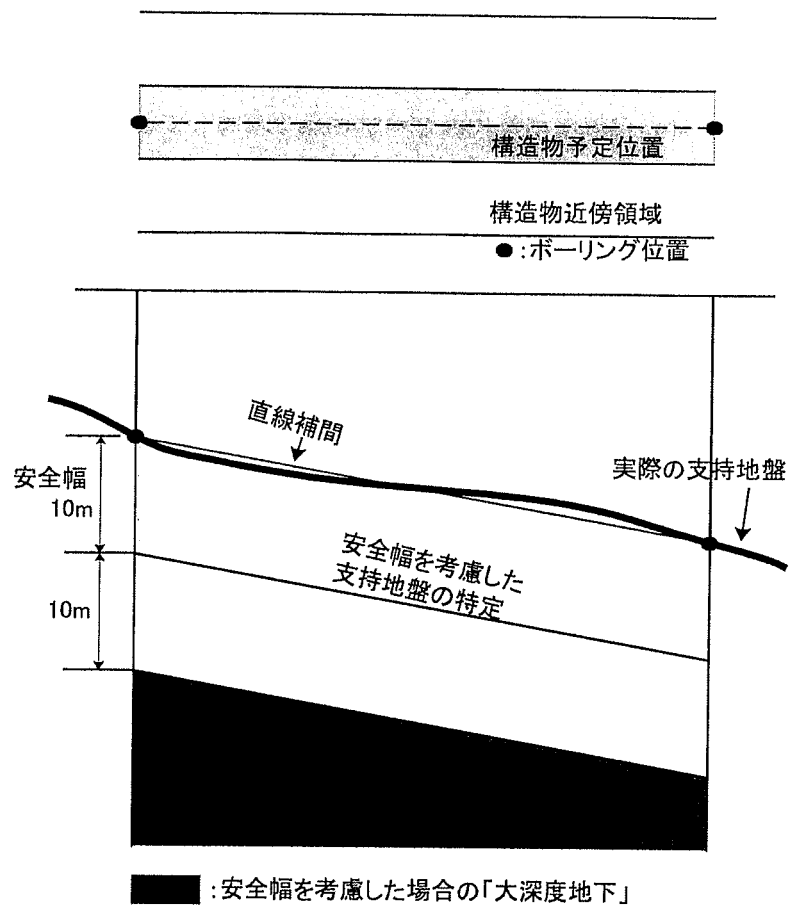
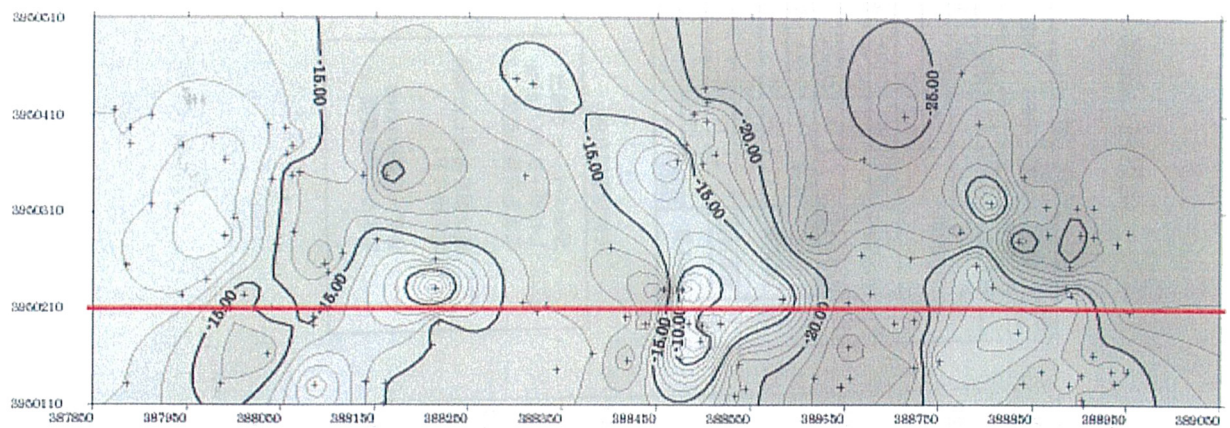
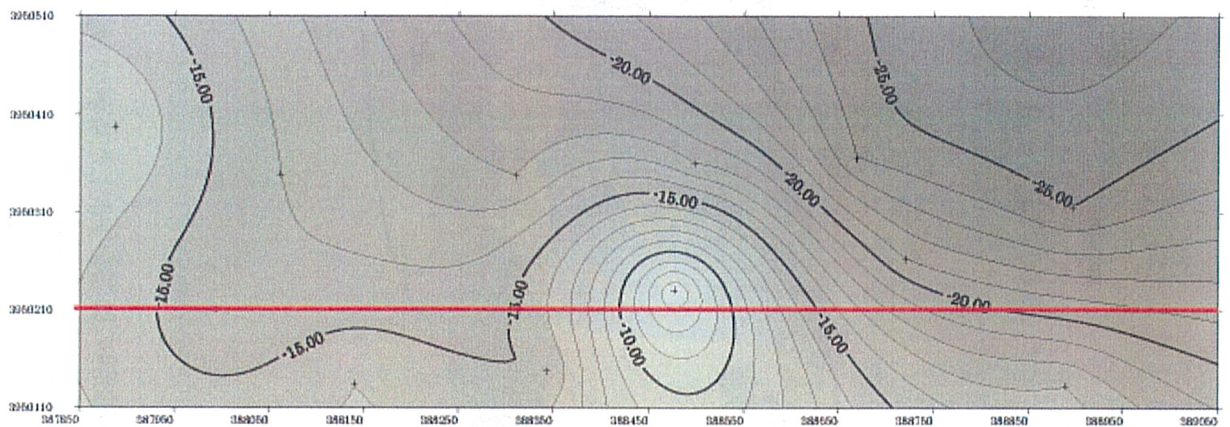


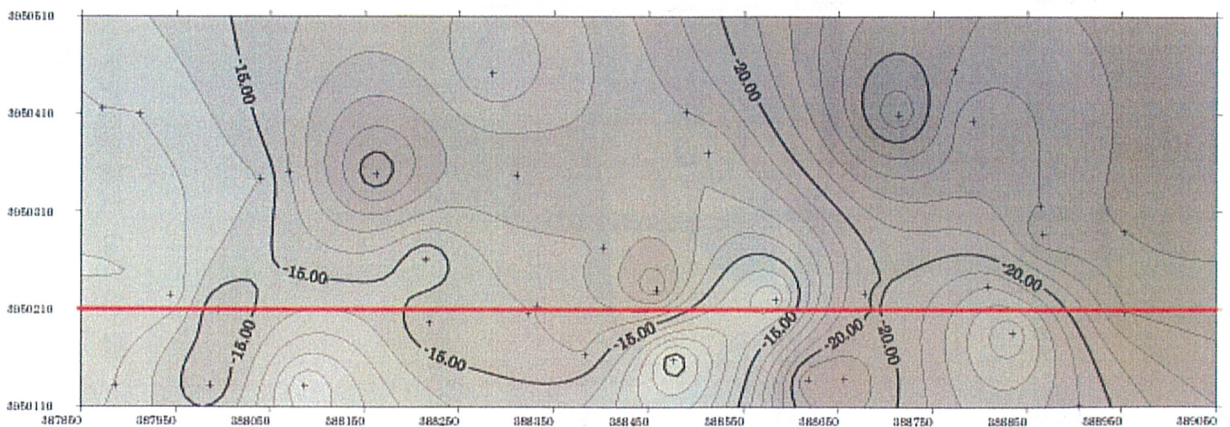
図-3.3 安全幅を考慮した大深度地下特定の概念図



(a) 全データを用いた支持地盤モデル



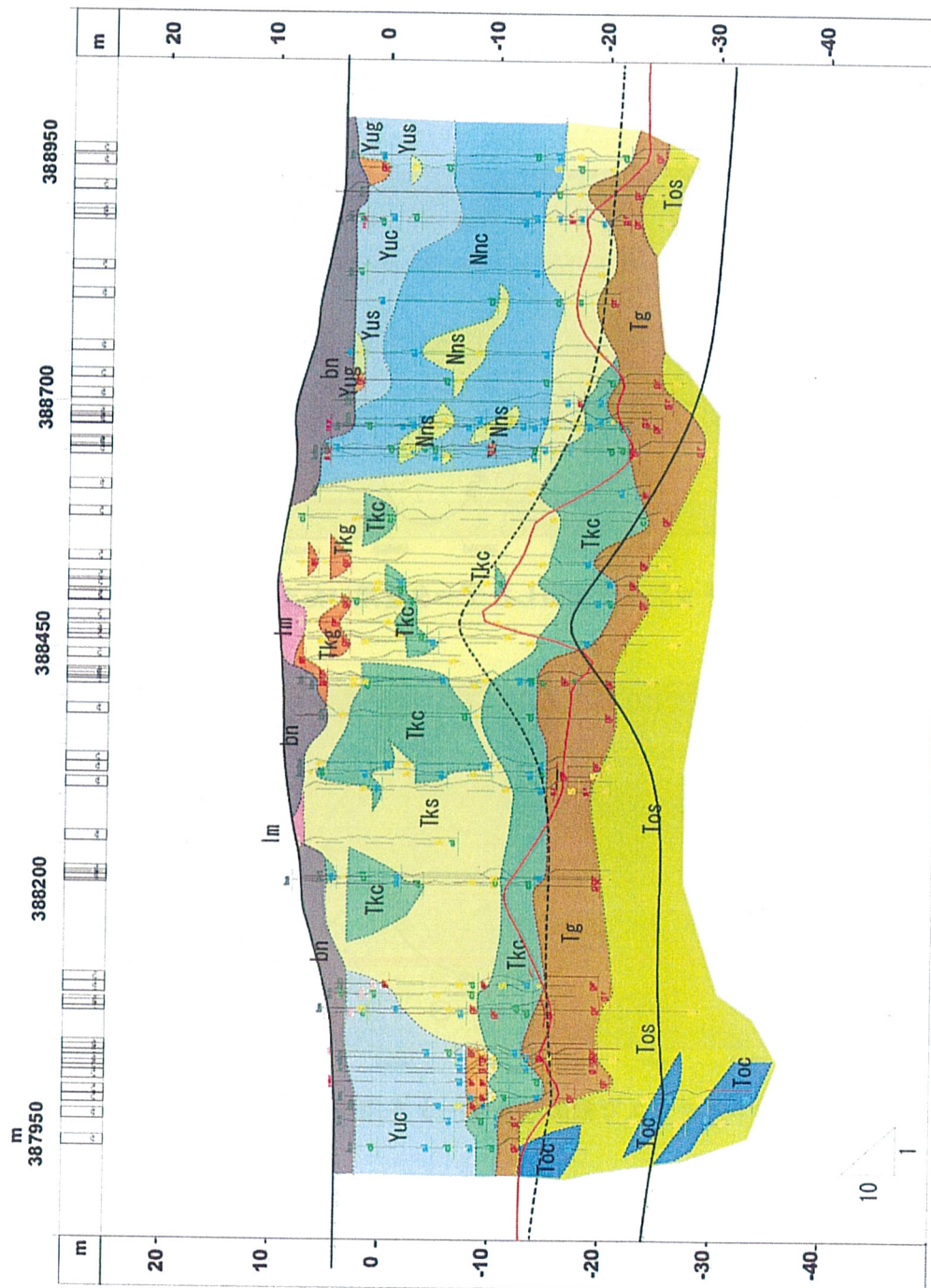
(b) 200mメッシュで抽出したデータを用いた支持地盤モデル



(c) 100mメッシュで抽出したデータを用いた支持地盤モデル

図-3.4 調査間隔による支持地盤モデルに対する影響を検討した事例(平面図)

地区名：御茶ノ水



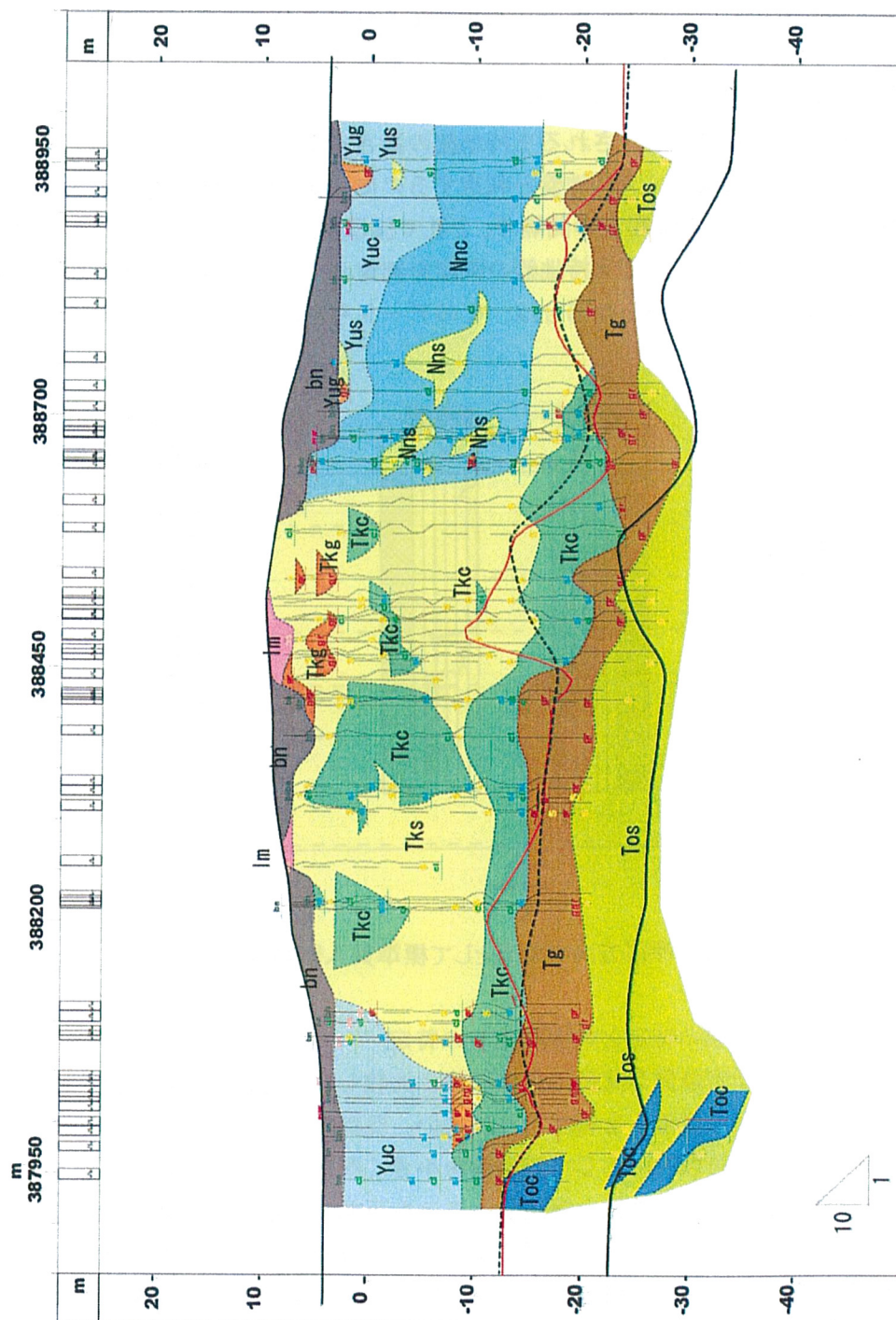
地質時代	層序	色	記号	層相
第四紀	有楽町層	bn	bn	盛土
		Yuc	Yuc	シルト・粘土
		Yug	Yug	砂
第四紀	七号地層	Nnc	Nnc	シルト・粘土
		Nns	Nns	砂
	関東ローム層	Im	Im	ローム
第三紀	東京層	Tkc	Tkc	シルト・粘土
		Tks	Tks	砂
	東京礫層	Tg	Tg	礫
第三紀	舎人層	Tos	Tos	砂
		Toc	Toc	シルト・粘土

支持地盤面凡例

-----	200mメッシュで抽出したデータのKrigingによる支持地盤面 (上)
—	安全幅を考慮した支持地盤面 (下)
—	全データのKrigingによる支持地盤面

図一3・5(a) 支持地盤モデルに対する調査間隔の影響を検討した事例のうち
200mメッシュで抽出したデータを用いた支持地盤モデル

地区名：御茶ノ水



地質時代	層序	色	記号	層相
完新世	有楽町層	bn	bn	盛土
		Yuc	Yuc	シルト・粘土
		Yus	Yus	砂
第四紀	七号地層	Yng	Yng	礫
		Nnc	Nnc	シルト・粘土
更新世	関東ローム層	Nns	Nns	砂
		Im	Im	ローム
		Tkc	Tkc	シルト・粘土
新第三紀	東京層	Tks	Tks	砂
		Tkg	Tkg	礫
		Tg	Tg	礫
新第三紀	東京層	Tos	Tos	砂
		Toc	Toc	シルト・粘土

支持地盤面凡例

-----	100mメッシュで抽出したデータのKrigingによる支持地盤面(上)
————	安全幅を考慮した支持地盤面(下)
—	全データのKrigingによる支持地盤面

図-3-5(b) 支持地盤モデルに対する調査間隔の影響を検討した事例のうち
100mメッシュで抽出したデータを用いた支持地盤モデル

次に深度方向の調査のみによる大深度地下特定の例を示す。

1) 既存資料による支持地盤の特徴の把握

はじめに調査地域における既存の文献を収集・分析することによって、想定される支持地盤の深さや連続性等の特徴を推定する。既存の調査結果の密度と大深度地下構造物の予定位置について検討し、厳密な大深度地下特定が必要な区域、又は安全幅を見込んで支持地盤を特定してもよい区域を判断する。既存の調査結果が少なくても、当該地点に関して記述した地質に関する資料から、支持地盤が急変している可能性が低く、支持地盤がほぼ水平であることが推定可能な場合は、深度方向の調査のみで支持地盤を特定することも可能である。また、大深度地下構造物の予定位置が想定される支持地盤深度に比べ十分に深い場合は、深度方向の調査のみ実施し、安全幅を見込んで合理的に支持地盤を特定すればよい。このように調査範囲と求める精度を決定し、調査手法とその組み合わせについて計画する。

2) 深度方向の調査(標準貫入試験等)の実施

調査手法と数量の選定は、想定される支持地盤の深さや現地状況等を考慮して決定する。各点で深度方向の調査を実施し、支持地盤と判定するのに必要な強度特性を有する地盤の深さと厚さを把握する。例では、40m 程度の間隔で、2 孔で標準貫入試験とコア観察、3 孔で回転式大型動的貫入試験を実施し、各点で支持地盤の深度を判定している。既存の調査結果で調査対象範囲に使用可能なデータが存在した場合は、そのデータも精度等について検討をしたうえで併せて使用可能である。

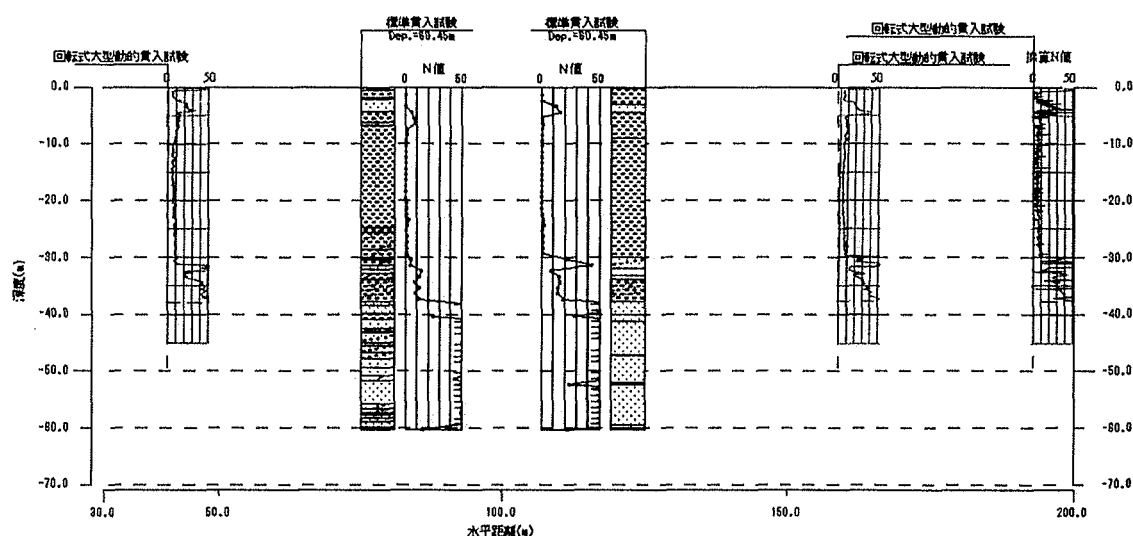


図-3.6 深度方向の調査として標準貫入試験等の実施

3) 調査結果による支持地盤の特定と大深度地下の特定

大深度地下構造物の予定位置が支持地盤の深度に比較して十分に深い場合は、安全幅を見込んで連続性を評価し、大深度地下を特定すればよい。既存の文献によって支持地盤の水平性が推定可能な場合は、その信頼性に応じて安全幅を小さく設定することが可能となり、場合によっては安全幅を見込まずに支持地盤を特定することも可能である。大深度地下構造物の予定位置が支持地盤の深度に比較して十分には深くなく、深度方向の調査のみでは支持地盤の連続性について明確とならない場合は、引き続き、連続性の調査を実施するか、深度方向の調査を追

加して調査の密度を上げることにより、支持地盤の連続性を確認することが必要である。

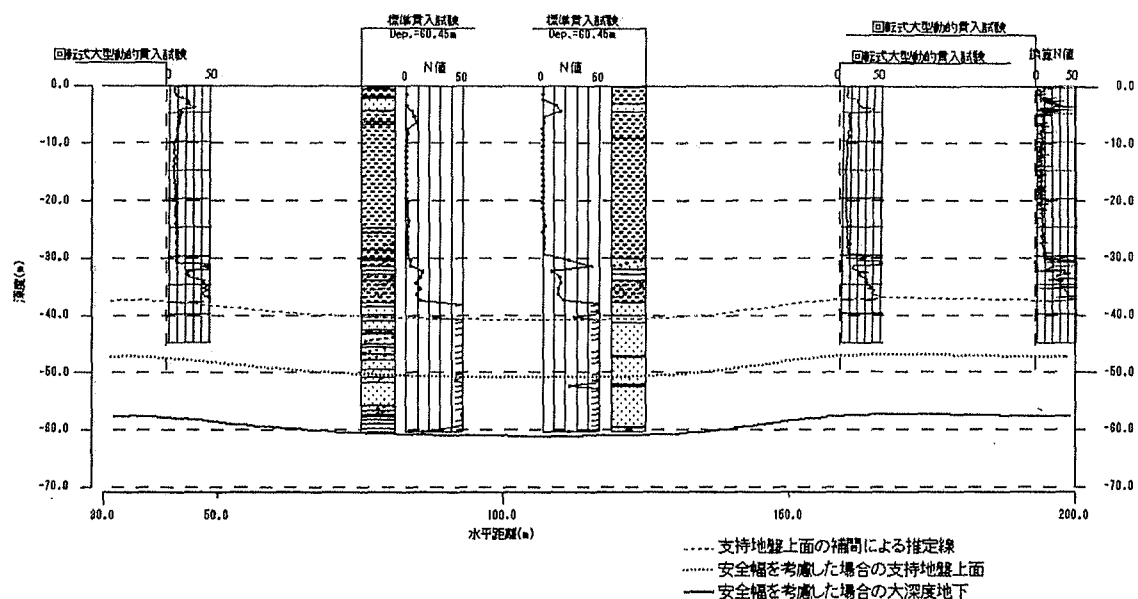


図-3.7 深度方向の調査のみによる大深度地下特定の場合

次に、連続性の調査を中心にして深度方向の調査を組み合わせた場合の大深度地下特定の場合を示す。連続性の調査としては浅層反射法地震探査を実施している。

1) 既存資料による支持地盤の特徴の把握

はじめに調査地域における既存の文献を収集・分析することによって、想定される支持地盤の深さや連続性等の特徴を推定する。既存の調査結果が少なく支持地盤の連続性が推定困難な場合や、当該地点に関して記述した地質に関する資料から支持地盤が急変している可能性がある場合は、連続性の調査を実施し、支持地盤の連続性を確認することが必要である。

2) 浅層反射法地震探査の実施（反射時間断面の取得）

詳細な調査を実施して支持地盤の連続性を把握することが必要と考えられた場合、必要な調査範囲において連続性の調査を実施する。連続性の調査としては、浅層反射法地震探査が代表的である。実施の際は、現場の状況と求める調査範囲・精度に応じて受振点・起振点の配置等測定の方法を検討する。

図-3.8 は浅層反射法地震探査の反射時間断面図あり、記録の右半分では時間にして 480ms (ミリ秒、1000 分の 1 秒) 程度の深度に明瞭な連続した反射波が認められる。また、その下の 520ms 程度の深度にも明瞭な連続した反射波が認められる。

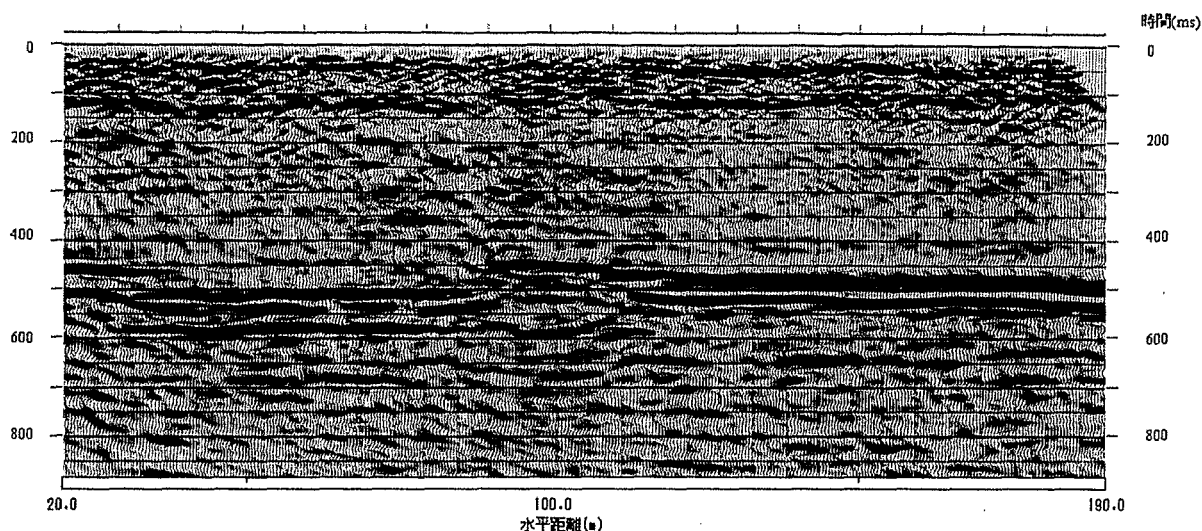


図-3.8 浅層反射法地震探査の反射時間断面の取得

3) 追加ボーリングと VSP の実施（地盤の速度情報の取得）

浅層反射法地震探査によって得られる記録は反射時間断面図であり、深度断面図への変換にあたっては、地盤の速度情報を取得するために、反射法探査の測線内あるいは近傍において VSP や PS 検層を実施することが望ましい。既存資料によって地盤の速度情報が得られる場合は現地調査を実施しないことも可能である。なお旧河道のように地層構成が急変する場合には、旧河道以外での弾性波速度分布を用いて支持地盤を推定する方法では十分な精度が得られない可能性がある。この場合は深度方向の調査を追加することによって十分な精度で支持地盤を推定することが必要となる。

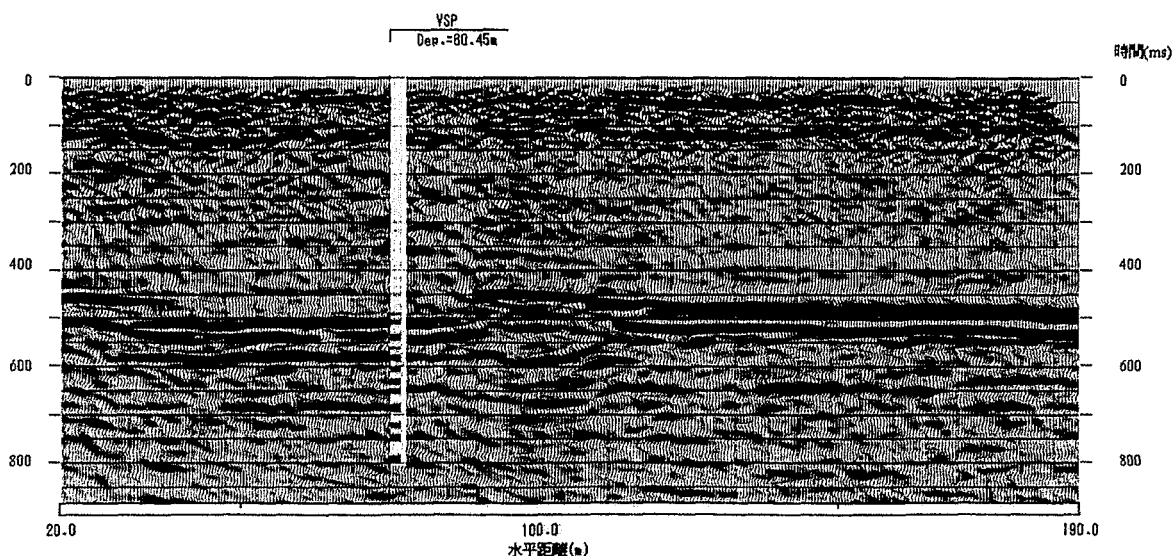


図-3.9 追加ボーリングとVSPの実施

4) 追加ボーリングによる支持地盤の確認と深度断面図の作成

地盤の速度情報を取得するために新規のボーリング孔が必要となる場合は、ボーリングと同時に標準貫入試験等を行い、支持地盤の深さを把握し、地質柱状図と反射断面の対応関係を検討することにより、調査の精度が高くなる。また、支持地盤と判定するためには、N値 50 以上に相当する部分の厚さを確認する必要があるが、浅層反射法地震探査のみでは厚さの確認は困難であるため、既存資料が不足している場合は、新規に実施したボーリングによる調査結果を利用する必要がある。なお、浅層反射法地震探査の結果において、大深度地下構造物の予定位置との比較で連続性について問題となる区間がある場合、又は、地盤条件や地形条件が複雑であると推定される区間がある場合、その区間で追加ボーリングを行い支持地盤の連続性について確認することが望ましい。例でも、調査範囲の中央付近で不明瞭な部分が存在するため、追加ボーリングを実施し、支持地盤の深度を確認している。

図-3.8 で認められた 480ms 及び 520ms における反射波は、深度断面図に変換した図-3.10 では深度 30m 及び深度 40m 付近における連続した反射波と判断される。

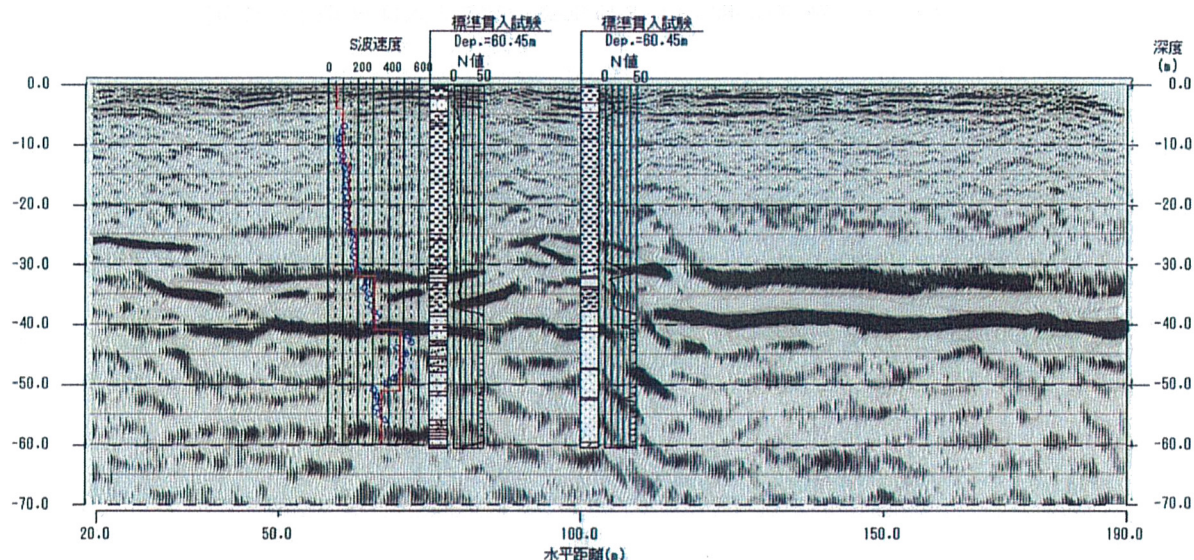


図-3.10 追加ボーリングによる支持地盤の確認と深度断面図の作成

5) 調査結果による支持地盤の特定と大深度地下の特定

このようにして得られた調査結果から支持地盤を特定し、大深度地下を特定する。連続性の調査を中心にして支持地盤を特定する際にも、大深度地下構造物の予定位置と支持地盤の深度が離れている場合は、安全幅を設定して支持地盤を特定することも可能である。

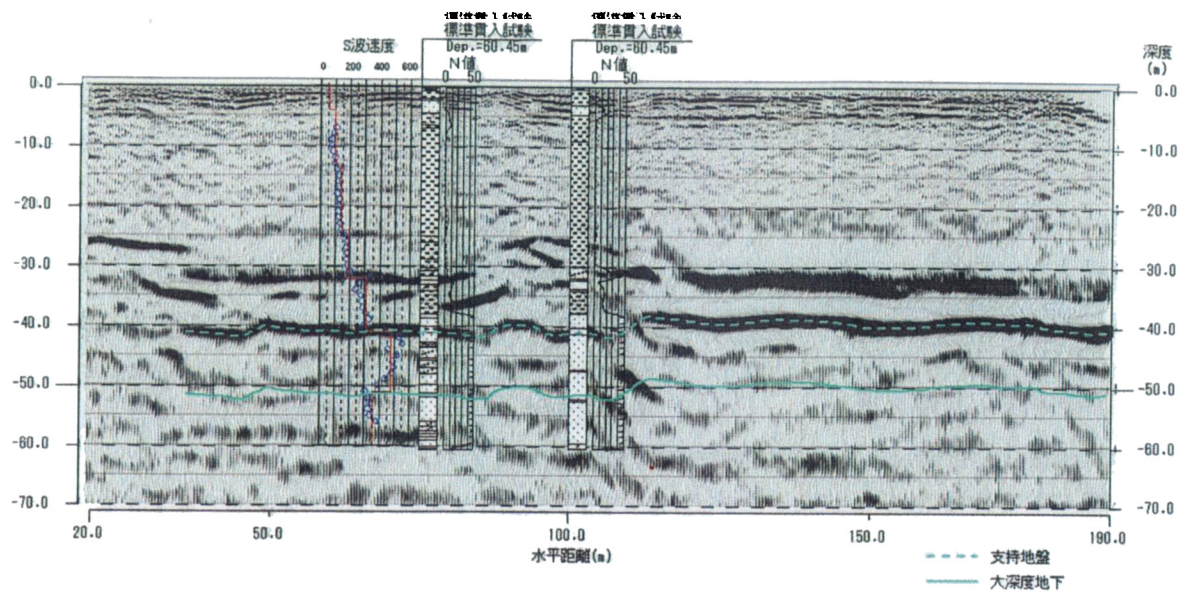


図-3.11 調査結果による支持地盤の特定と大深度地下の特定

3.5. 事業段階における地盤調査

事業の計画段階において大深度地下特定を行った場合にも、必要に応じて、事業実施段階においても大深度地下の確認を行うことが望ましい。

事業実施段階において、大深度地下特定のための地盤調査を実施する場合には、他の目的で行う地盤調査と十分に調整を行い、調査を実施することが望ましい。

【解説】

事業実施段階においては、施設の設計・施工管理のための情報を収集する目的で、計画段階よりも高い頻度で地盤調査が実施されることが多い。

事業計画段階において大深度地下特定を実施したものの、その調査数量等が限られている場合には、事業実施段階において上記調査を行うのに併せて、支持地盤を確認し、計画段階での大深度地下特定について確認しておく必要がある。

事業実施段階における調査においては、必ずしも大深度地下特定に必要な情報を収集できるわけではないので、調査の計画段階において、その地点で大深度地下の確認を行う必要があるかを検討しておく必要がある。

他の目的で実施される地盤調査を利用して大深度地下の確認を行う場合には、事前に計画を十分に検討し、調査手法を適切に組み合わせる等調整を行うことが望ましい。

3.6. 地盤調査以外の方法による支持地盤の推定

地盤調査結果以外の情報を活用して、支持地盤の推定を行ってもよい。ただし、使用する情報の特徴や信頼性について、十分な検討を行う必要がある。

【解説】

橋梁基礎等建築物のくい基礎は、一般的に地盤調査結果に基づき支持層への根入れ長を決定しているため、これら建築物の設計図面や完成図面等より、支持地盤を推定することも可能である。

支持層確認ボーリングを実施した上で基礎が施工されている場合には、かなりの精度で支持層深さが確認されていると考えてよい。

ただし、橋梁等の連続した建築物では、ある区域内の支持層の一番深い深さによって一定の支持層深さを決定している場合もあり、くいの深さから推定される支持層が実際の支持層より深い場合等もある。また、建築物の設計時に適用した基準によって、支持層の評価が建築物によって異なることも考えられ、また、大深度地下特定における支持地盤の判定基準と大きく異なることも考えられる。

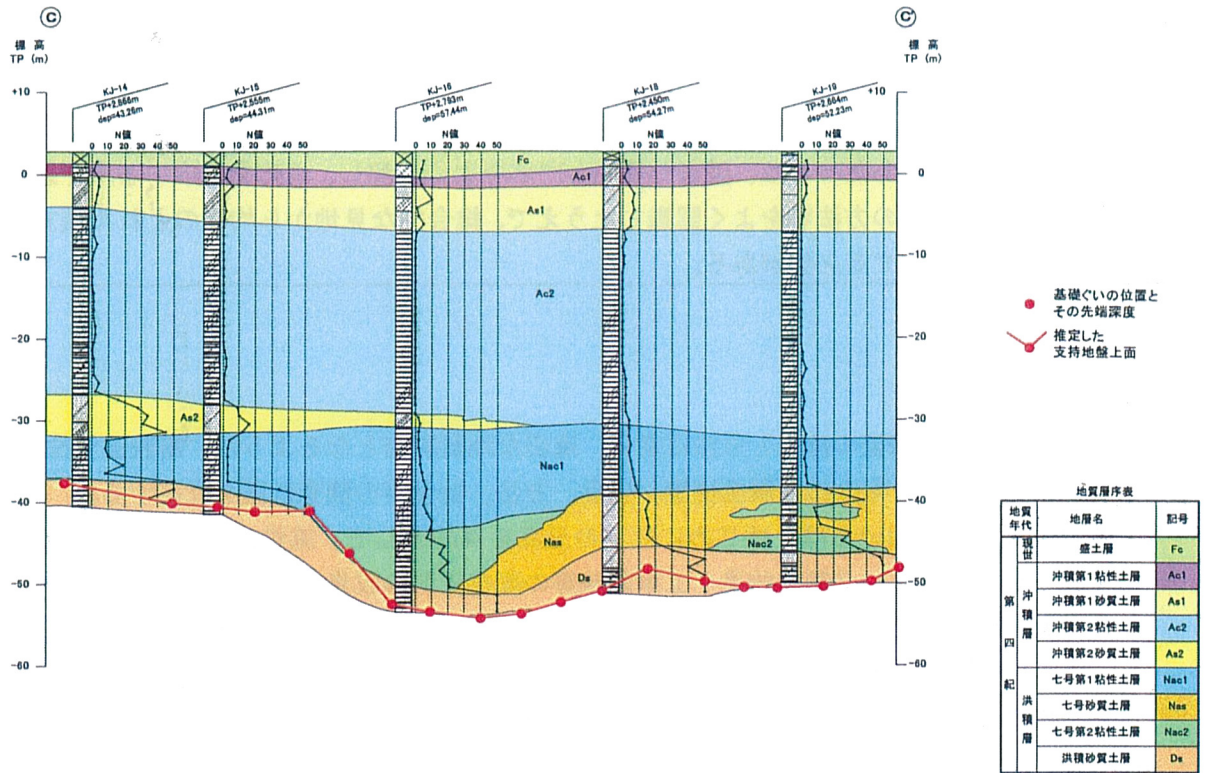
従って、これら地盤調査結果以外の情報を用いて支持地盤を推定する場合には、設計図書について十分な調査を行うとともに、数箇所近隣の地盤調査結果との比較を行う等、使用する情報の特徴及び信頼性について確認を行い、その使用方法について判断する必要がある。

橋梁の基礎ぐいの先端深度から支持地盤を推定した事例を図-3.12に示す。

この事例では、設計時の根入れ長の考え方については調査せず、完成図面に示されている標高とくい長及びくい径をもとに、基礎ぐいの先端深度からくい径分浅い深度を算出し、支持地盤の上面深度として推定している。なお、推定に必要な数値情報が不足している場合は図面から読み取った値を用いている。図-3.12では、基礎ぐいの位置とほぼ一致する断面での既存の地質断面図を重ねて表示しているが、基礎ぐいの先端深度から推定した支持地盤上面深度は地質断面図における支持地盤上面深度とかなり近く、既存の橋梁基礎図面から支持地盤の推定がある程度可能であることがわかる。設計当時の支持層の判定方法について調査し、また、データの信頼性について詳細に検討することによって、大深度地下特定のための支持地盤の推定にも利用可能となる。

また、橋梁基礎以外にも、高層評定の審査資料をもとに作成されたビルディングレター（（財）日本建築センターの技術評定事業等から発生する最新技術情報を掲載した機関誌）に示された情報より支持地盤を推定する方法もある。ただし、橋梁等のような連続したデータではなく、高層建築物は点在しているため、支持地盤が連続していることを示すデータを得ることは難しい。使用にあたっての留意点及び信頼性については以下に示すとおりである。

- 高層評定自体が設計段階のもので施工段階における設計変更には対応しておらず、現状と異なる場合がある。
- ビルディングレターには柱状図の添付が無い。
- 高層評定物件では、審査が厳しいため安全側に設計される場合が多く、支持地盤相当の地盤であっても、その下の層の変形が大きいと考えられる場合には、さらに深い層を支持層として利用する場合がある。
- くいが短ぐいとなり設計が厳しくなる場合にはくい長を伸ばしている場合がある。



図一3.12 橋梁基礎情報を利用した支持地盤の推定の例

第4章 地盤調査の計画と実施

4.1. 調査計画

地盤調査の実施にあたっては、調査の目的と内容をよく理解し、地盤を構成する土や岩の特徴や調査結果の活用の方法等をよく認識したうえで、総合的な見地から均衡のとれた調査計画を立てるように努力する必要がある。

【解説】

第3章に示した調査の流れと方法に従い、適切な地盤調査となるように、施設設置位置、施設規模、現地条件をもとに、調査位置、項目、方法、数量等の調査計画を立案する。

調査計画立案においては、はじめに以下の三点を目的として、施設設置位置周辺の地形図・地盤図・既存ボーリング調査結果・工事記録等の既存資料の収集・整理を行う。

- ▶ 支持地盤と想定される層の深さ、厚さ、連続性、傾斜、境界における凹凸の有無や程度等について把握する。
- ▶ 施設設置予定位置及び大深度地下構造物の規模について整理し把握した上で、支持地盤と想定される層の深度と比較・検討し、詳細な調査が必要な範囲を選定する。
- ▶ 玉石層や転石層の有無、及びこれらの層の深さ・厚さ・連続性、打ち抜きや掘削が困難な層の有無及びこれらの層の深さ・厚さ・連続性、地下水位や水量の程度について把握し、調査手法の選定の材料とする。

このように、既存資料を有効に利用することによって、合理的かつ経済的な調査が可能となる。既存資料によって、地層の傾斜や凹凸が少ない等地盤条件が単純で支持地盤がほぼ水平であることが推定される場合は、深度方向の調査のみで数量がある程度少なくても問題がない。一方、埋没地形が存在する等地盤条件が複雑であることが予想され、支持地盤が急変している可能性がある場合には、連続性の調査又は密な調査により支持地盤の変化を把握することが必要となる。このように、連続性の調査と深度方向の調査についての調査手法の選定、並びに調査の数量は、既存調査の密度や想定される支持地盤の状況等によって異なる。

しかし、調査で得られる限られた情報から全体像を大きな誤差なく把握するためには、単に調査の密度と数量を増やせばよいというものではない。

例えば、既存の調査結果に加えて施設設置予定位置と施設の予定規模等を十分に検討し、詳細調査を実施すべき区域を絞り込むことができるかどうかを適切に判断することが必要である。詳細調査を実施する必要がないと判断される場合は、調査手法とそのデータの精度及び密度、当該地域の支持地盤特性を踏まえ、適切な安全幅を設定した大深度地下特定を行う等、合理的に大深度地下特定を実施する必要がある。

また、既存の地盤調査結果や現地の地質についての知見等の既存資料によって、支持地盤が地表付近に存在することが明確な場合等は、既存資料の分析・検討のみで大深度地下を特定することも可能である。

調査手法を選定する際には、調査結果の利用方法をよく理解し、精度的にも必要かつ十分な情報が得られるように、各種の調査手法の中から最適な調査手法の組み合わせを選定しなければならない。

手法によっては、大深度地下特定のための地盤調査以外に地下水調査等の一般地盤調査に兼用ができるため、全体の調査計画の中で調整を行い、適切に組み合わせた上で手法の選定をすることが望ましい。

地盤調査の進め方は、調査の目的や内容によって変わってくるが、一般的には調査の密度や精度を段階的に高めていくほうが合理的・経済的になる。

調査の実施にあたっては、適切な調査計画を立案し、適正な調査費を見込むことが必要である。さらに、調査結果の解釈や利用においては、現場の技術者の経験と適正な判断が極めて重要である。

調査結果の利用方法とそれぞれの情報の必要性を十分理解したうえで調査計画を立てることによって、時間的にも予算的にも効率の良い調査とすることができる。

4.2. 既存資料の収集

企画、計画段階における調査では、はじめに資料収集整理を主とする調査を実施する。既存データを使用する際には、データの取得方法等についてチェックを行い、データの品質を評価することが必要となる。

【解説】

既存の地盤調査結果を利用する場合の留意すべき事項は下記のとおりである。

- ボーリングデータに記載されている孔口標高について、現在の地表標高に概ね一致しているかを確認し、必要に応じてデータの深度の補正を行う。
- データベースでは、報告書の内容を電子データ化する際に入力ミスや入力項目の選択ミスが発生している可能性もあるため、利用する場合には必要に応じて近隣のデータ等との確認を行う。
- データ入力の際に行われるチェックは、入力したデータと原本データの照合のみの場合が多く、生データの吟味が不十分な場合があるため、必要に応じて近隣のデータと確認し、データの信頼性について吟味を行う。データの信頼性が低いと判断される場合に生データの確認が可能な場合は、データの取得方法等についてチェックを行うことが望ましい。
- 入力された位置データが地図上で決定されている場合があり、その場合の位置精度は地図の縮尺によるが、場合によっては20～30m程度になる可能性もあることを念頭に入れてデータを使用することが望ましい。
- 地層名の判定は、層名が再定義されている場合や、工学的か理学的かの観点の違いによって異なる場合があるので、十分に注意してデータを使用する。
- 地盤調査や土質試験の結果は、実施された年代や具体的な実施方法によって質の差が生じるため、品質評価が必要となる場合がある。
- 入力データの所有権あるいは著作権が明確ではない場合があり、引用方法には留意する必要がある。

なお、地質平面図・断面図ともに、詳細なデータが集中している地点ほど情報が豊富となるため、周辺に比較してその部分があたかも複雑な地盤構造であるように表現される。しかし、データが少ないために単純であるように表現される地域の方が、実際は不明な部分が多く、調査が必要な地域である。

表－4.1 には利用可能な主な地盤資料を示している。これらの資料から、必要な調査範囲の地質的な情報やボーリングデータを選択して有効に利用することが望ましい。

大深度地下制度の対象となる表に掲載した地盤資料の他、施設予定地点近傍の建築物の基礎に関する資料も利用できる。

表-4.1 対象地域における主な地盤資料

地域	文献名称	編集	発行年	公開・ 非公開	ボーリング データ数	デジタル データの 有無
首都圏	東京湾周辺地帯の地盤 (都市地盤調査報告書、第17巻)	建設省計画局・東京湾総合開発協議会	1969	○		-
	土地分類図(東京都)	国土庁土地局国土調査課	1976	△	-	-
	東京都総合地盤図Ⅰ (東京都地質図集3)	東京都土木技術研究所	1977	○		-
	東京都総合地盤図Ⅱ (東京都地質図集4)	東京都土木技術研究所	1990	○		-
	東京都(区部)大深度地下地盤図 (東京都地質図集6)	東京都土木技術研究所	1996	○		-
	東京都地盤情報システム	東京都土木技術研究所	1986(*)	○	6万件	○
	新版 東京港地盤図	東京都港湾局	2001	○		-
	東京港地質データベース	東京都港湾局			5,800ヶ所	○
	土地分類図(神奈川県)	国土庁土地局国土調査課	1976		-	-
	神奈川県地盤地質図	神奈川県企画調査部	1971			-
	横浜市地盤図集	横浜市	1996			-
	川崎市地質図集	川崎市計画局	1965			-
	川崎市地質図集Ⅱ	川崎市公害局	1972			-
	川崎市地質図集Ⅲ	川崎市公害局	1983			-
	川崎市環境地質図調査報告書	川崎市公害局	1981			-
	関東主要地域概略地盤図	建設省関東地方建設局	1985	○		-
近畿圏	土地分類図(大阪府)	国土庁土地局国土調査課	1976	△		-
	大阪地盤図	建築学会近畿支部・土質工学会	1966			-
	新編大阪地盤図	(社)土質工学会関西支部・ 関西地質調査業協会	1987	○		-
	神戸の地盤	神戸市企画局総合調査課	1980	○		-
	神戸JIBANKUN				4,500本	
	京都市の地盤について	京都市防災会議	1978			
	京都市内ボーリングデータ集	京都市住宅局建築指導部審査課・ 建築行政協会京都支部	1986	×		
	関西地盤	(社)土質工学会関西支部 関西の大深度地盤 の地質構造とその特性の研究委員会・ 地下空間の活用と技術に関する研究協議会	1992	○		-
	新関西地盤-神戸および阪神間-	関西地盤情報活用協議会	1998	○		-
	新関西地盤-京都盆地-	関西地盤情報活用協議会	2002	○		-
	関西地層分布図-大阪平野-	関西地盤情報活用協議会	1998	○		-
	関西地盤調査情報データベース	関西地盤情報活用協議会	1989(*)	○	3万件	○
中部圏	伊勢湾北部臨海地帯の地盤 (都市地盤調査報告書、第1巻)	建設省計画局・愛知県・三重県	1969			-
	土地分類図(愛知県)	国土庁土地局国土調査課	1976	△		-
	最新名古屋地盤図	(社)土質工学会中部支部	1988		1.2万件	-
	地盤環境情報システム	名古屋市	1999(*)	×	2.6万件	○
	都市地盤調査報告書 第9巻 愛知県衣浦地区の地盤	建設省計画局・愛知県	1965			
	都市地盤調査報告書 第2巻 伊勢湾南部臨海地帯の地盤	建設省計画局・三重県	1962			
	都市地盤調査報告書 愛知県一宮地区の地盤	建設省計画局・愛知県・一宮市	1965			
	愛知県の地質・地盤 資料編(その1 尾張部)	桑原 徹監修・応用地質調査事務所、 愛知県防止会議地震部会	1983			
	愛知県の地質・地盤 資料編(その2 三河部)	桑原 徹監修・応用地質調査事務所、 愛知県防止会議地震部会	1981			

*:以来随時更新

注: 公開・非公開について「△」としている資料は公開されているものの、現在ではあまり出回っていない。

4.3. 現地踏査

現地踏査は、現地調査に先立って調査の対象となる地区に直接赴き、地形・地盤状況・自然環境・社会環境等に関して調査・確認し、以後の調査に関わる現地情報を得るための作業である。前項の資料調査の結果を活用して、あるいは資料調査と並行して実施する。

【解説】

現地踏査の目的は以下のとおりである。

- 現地における地形・地質状況、建築物、地下施設等を確認し、調査手法の選定における検討材料とする。また、現地調査が環境に与える影響等についても検討する。
- 表層の傾斜や凹凸の有無並びにその程度を把握し、調査手法選定の判断材料とする。
- ボーリング調査や浅層反射法地震探査のような地表面からの調査の実施の可否に関する検討を行う。また、掘削の可否についても検討する。
- 現地調査の必要性に関して再検討する。
- 現地における調査範囲を明確にする。

現地踏査によってこれらの項目を検討することにより調査計画がより合理的なものとなる。

4.4. 調査の実施と結果の処理

(1) 標準貫入試験

標準貫入試験は、ボーリング孔を利用し、ドライブハンマー（質量 $63.5 \pm 0.5 \text{ kg}$ ）を自由落下（落下高 $76 \pm 1 \text{ cm}$ ）させサンプラーを土中に打ち込み、地盤試料を採取するとともに、サンプラーを地盤に 30 cm 打ち込むのに要する打撃回数（ N 値）により、原位置における地盤の硬軟、締まり具合又は土層の構成を判定する方法である。標準貫入試験は JIS A 1219：2001 によって規格が厳密に規定されており、これに従って試験を実施し、結果を処理しなければならない。

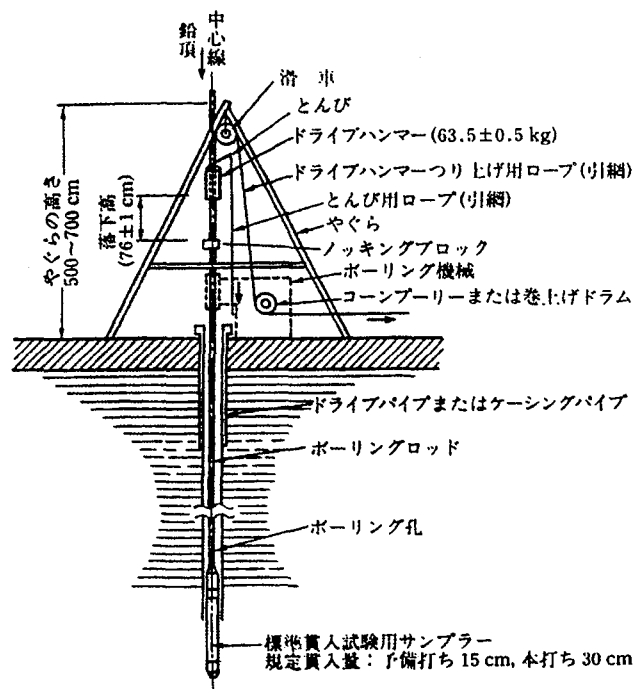


図-4.1 標準貫入試験概念図

出典：標準貫入試験方法（JIS A 1219：2001）の解説

一般に手動で行われているドライブハンマーの落下方法としては、コーンブリー法とトンビ法があるが、コーンブリーによる落下方法はエネルギー効率が低い傾向にあり、落下エネルギーのばらつきも大きいことが知られている。このようなエネルギー効率の問題や器具の整備不足等による機械的な測定誤差、試験実施者の技術力や熟練度等による人為的な測定誤差、さらに打撃回数の記録ミス等の人為誤差を解決するために、自動落下装置と自動記録装置の開発が全国地質調査業協会が進められ、実用化されている。自動落下装置と自動記録装置を併用することによって、測定から記録に至るまでを JIS 規格に準じて実施できるため、測定結果の品質と信頼性が向上するものと期待される。また、ドライブハンマー落下以外に削孔底の有効応力（乱れ）も誤差要因となるため、試験孔の掘削時には十分に注意する必要がある。

また、標準貫入試験において与えられたエネルギーに差があると N 値を同一に比較することができないことから、国際基準試験方法では N 値の比較を厳密に実施しなければならない時は、エネルギーを測定することを規定するとともに、標準エネルギーの 60%（474J）に補正することが提案されている。

標準貫入試験の適用限界深度は、地盤の硬軟やボーリング孔径等により明確ではないが、調査深度が増すにつれてボーリングロッドが継ぎ足され長尺となることから、ボーリングロッド重量による打撃効率の低下、ボーリングロッドの弾性圧縮と反発力の増大、孔壁との摩擦の増大等が起こればと考えられるが、深さに対する N 値の単純な補正はできず、深度 25m までは打撃応力の減衰はほとんど見られないという報告もあることから、実用的に補正は行われていない。

標準貫入試験は規格ではすべての地盤を試験対象とするが、直径 1cm 程度以上の礫径の層では正確な判定は困難であると考えられている。なお、砂礫地盤には大型貫入試験が有効であり、対象地盤によっては測定精度を向上させることができる。

(2) 浅層反射法地震探査

浅層反射法地震探査とは、地表付近で人工的に発生させた弾性波（P 波又は S 波）を利用して地下の音響インピーダンス（弾性波速度×密度）の異なる地層境界を求める手法である。地表付近で人工的に弾性波を発生させ、その弾性波が地中を伝播し音響インピーダンス境界に達すると、屈折、透過、反射して、その一部は再び地表に反射波として戻ってくる。この反射波に注目し、微弱な反射信号を地表に多数設置した受振器で測定する。データ処理・解析によって作成した反射時間断面図に対して速度情報を考慮して反射深度断面図に変換することによって、地盤の地質構造や物性値を調べることができる。探査深度は、数十～数百 m を対象とし、測線長、受振器間隔、起振装置の選択により、さまざまな深度に対応することができる。なお、都市市街地においては一般に弾性波として、高分解能な探査に有効な S 波を利用する。

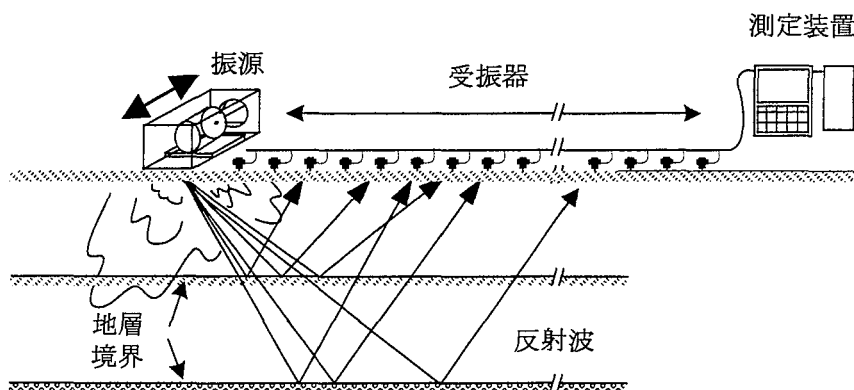


図-4.2 浅層反射法地震探査概念図

浅層反射法地震探査では、反射時間断面図から反射深度断面図（時間×速度＝深度）に変換するために、反射波が伝播してくる地盤の速度情報（地盤の弾性波速度）が必要になる。反射法探査では、NMO 補正と速度解析により平均的な地層の速度を把握することはできるが、一般的にその精度は良くないので、既存資料の速度情報を利用するか、既存資料がなければ VSP、PS 検層、屈折法地震探査等の手法を併用して地盤の速度情報を取得する必要がある。

反射面と地層との対応は、ボーリング柱状図・検層結果・地質図等との対比が必要なので、特に調査地域やその近傍にボーリング調査結果がない場合は、ボーリングの実施を条件とした計画にしておくことが望ましい。この場合は、ボーリング孔を利用して VSP や PS 検層の実施

も計画し、その場合のボーリング地点の選定は、測線上又は測線に近い位置が望ましい。

測定計画は、調査目的、地形・地質条件等を十分検討し、探査深度、必要とする調査の精度や経済性を考慮して作成する必要がある、測線の配置や長さ、受振点・起振点の間隔や位置、データ収録チャンネル数、重合数、震源・波動の種類等について計画する。また、都市域での適用にあたっては人工ノイズ対策について留意する必要がある。

浅層反射法地震探査の結果を用いて大深度地下を特定するにあたって留意すべきケースは次のとおりである。

- ① 局所的構造の位置の特定が問題となるケース
(埋設物及び空洞によるものや埋没谷等の旧地形によるもの)
- ② 反射面の不明瞭さが問題となるケース
(地層の不均質性によるもの)
- ③ 地質構造が変化する部分の特定が問題となるケース
(断層による急激な構造変化及び断層破碎帯によるもの)

① 局所的構造の位置の特定が問題となるケース

埋設物や空洞がある場合、また、埋没谷等の旧地形がある場合は、それに起因して反射面が不連続となり、一般的に局所的な乱れとして表れる。従って、これらの構造に起因して反射面の連続性が悪くなる場合には、不連続位置の特定を精度良く行う必要がある。構造を精度良く特定するためには、

- ・ 局所的構造が存在すると推定される地点を中心に測線を配置する、
- ・ 構造が線的な場合には構造に直交した測線を設ける

等測定配置を検討し、不連続位置を精度良く特定する測定法を検討する必要がある。

② 反射面の不明瞭さが問題となるケース

地層の不均質性によって反射面が不明瞭となるケースは、調査対象のある層の不均質性が原因となる場合と、表層付近の層の不均質性が深部データに影響を及ぼす場合とにわけられる。水平方向に均質な層から不均質な層に変化する場合、不均質な層で波は散乱するため明瞭な反射面として捉えることは難しくなり、反射面は不明瞭となる。これに対して、表層付近の層が不均質なため以深のデータに影響を及ぼす場合は、反射法探査結果において、浅部から深部にわたり反射面が不連続（不明瞭）となる。このような場合には、表層付近の層の不均質性を検討し、表層の影響を受けているか確認する必要がある。

③ 地質構造が変化する部分の特定が問題となるケース

断層に起因する反射面の乱れは、急激な構造変化によるものと破碎帯によるものに分けられる。前者は、反射面が連続しないものの、断層を挟んで反射面のギャップがとらえられることが多い。後者は、推定断層位置からある幅を持って反射面が見られなくなるが、このような場合、その幅にわたり破碎されていると考えられる。断層の場合、構造変化と破碎帯による影響がともに見られることが多い。構造を精度良く特定するために、推定される断層を中心に測線を配置したり、断層の走向に直交した測線を設けたりする等、可能な範囲で測定配置を検討し、地質構造の変化を精度良く特定する測定法を検討する必要がある。

計測ボーリングは、ボーリング時の削孔抵抗等から深度方向に連続的に地盤強度等を評価する手法である。計測ボーリングは、①岩盤等硬質な地盤ではコーン等の抵抗体の貫入が困難でありボーリングが削孔の唯一の手段であること、②岩盤調査で一般的なボーリング時の計測データを有効に利用できること、という点で今後有望な手法である。しかし、計測ボーリングによるサウンディング手法は、概念が提示されて間が無いため実績が多くなく、普及途上である。主な手法には、MWD 検層、ロータリーサウンディング等がある。

押込み用油圧モータ
(チェーン駆動)

ロータリーエンコーダ

スライドベース

スライドシャフト

買入上チャック
(ロッドホルダ)

買入下チャック

送水口

油圧ハンマ

回転駆動用油圧モータ

削孔用ロッド
(45φ, 1m)

削孔用ビット

制御装置
計測装置
(コンピュータ)

油圧ポンプ
(PTO駆動)

車体

アウトリガー

地表面

出典：鈴木康嗣ら(1995)

計測ボーリングのうち、ロータリーサウンディングは、ボーリング時の削孔条件（削孔速度・回転数）を一定としたときに先端ビットに生ずる削孔抵抗（ビット荷重・トルク）を計測ロードによって削孔と同時に連続的に測定・記録し、これらのデータから地盤強度を判定する調査法である。図-4.4 にロータリーサウンディングの測定機器の概念図を示す。

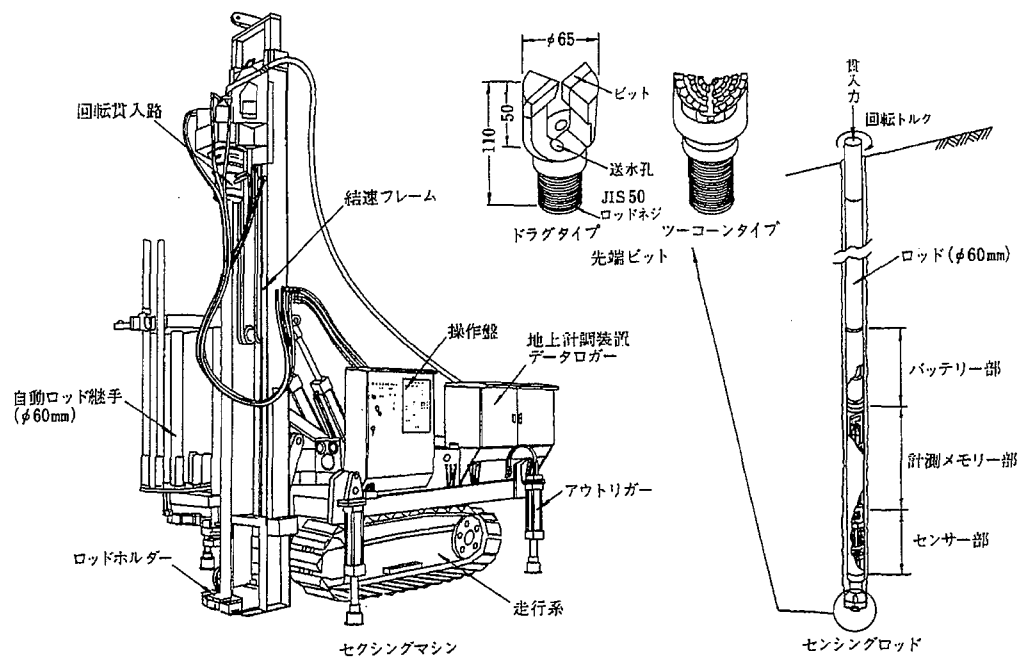


図-4.4 ロータリーサウンディング概念図

出典:ロータリーサウンディング協会資料

ロータリーサウンディングは、大深度までの調査が可能であり、厚い礫層を除けば、ほとんどの土層に対応可能である等の特長を有している。一方、実用性については、ある程度確認されているが、各種の地盤についてその強さを絶対的に評価できるほどの十分なデータは現在のところ得られていない。このため、当面は、 N 値への換算にあたっては、データの収集と検討を引き続き行い、精度の向上を図っていく必要がある。

ロータリーサウンディングの実施にあたっては以下の点に留意する必要がある。

- ・ あらゆる性質の地盤に対して、センシングマシンの運転条件（削孔速度・回転数）を一定にし、精度良く掘削抵抗を計測する。
- ・ 試験深度が深くなるほどボーリングロッドと孔壁との摩擦抵抗が大きくなり、運転条件が変化する場合が想定されるため、運転状況をチェックしながら計測する。

計測ボーリングのうちその他の手法については、実績が多くなく、適用性の検討が十分でない段階のことが多い。各種の地盤条件に対して実験を行うことでデータの充実を図り、適用性を高めていく必要がある。そのような手法の採用にあたってはデータの処理方法について十分な検討をしなければならない。

(4) 調査結果の処理

各種の試験を実施するにあたっては、いずれの試験においても規定通りの試験を行うことにより、当該地点の地盤の状況を反映した適正な測定値を取得する必要がある。

換算 N 値のように、標準貫入試験による N 値以外の値を用いて、支持地盤の判定を行う場合は、当該地点において、標準貫入試験による N 値と換算 N 値との関係を求め、それらの結果を用いて N 値 50 が担保されていることを明らかにすることが望ましい。計測ボーリング等で測定値と N 値との関係について既存データが十分でない場合は、その関係の検討を必ず実施しなければならない。

測定値から換算 N 値を算出する際の換算係数には地盤の性質の影響が入る場合や、削孔方法の影響が大きい場合があるため、換算においては測定条件について十分に理解しておく必要がある。実績が多い手法については、測定条件を誤らなければ、図-4.5 のように良い相関となることが多い。一方、実績が少ない手法を採用する場合には、正確な換算 N 値分布を算出するには同一敷地で実施した標準貫入試験の N 値との比較が必要である。

ただし、玉石や大きな礫を含む地層の場合、標準貫入試験による N 値は過大な値を示す傾向にある。そのような地層に対して標準貫入試験に代わる手法として別の手法を採用している場合は、比較ではなく別の方法で信頼性について検討する必要がある。

各種の静的・動的貫入試験が自動測定・自動記録化されるようになり、省力化と精度の向上が図られるようになってきた。しかし、支持地盤を特定するために測定結果を吟味する際には、地盤の成因(堆積環境)に関する知識が必要になる場合や、測定値のばらつきの原因究明等が必要となることがあるため、地盤に関して豊富な予備知識と経験をもった技術者が必要である。調査結果のまとめにあたっては、調査方法の特性を理解し、結果のばらつきがその方法によるものか地盤の特性によるものかを十分に検討する必要がある。

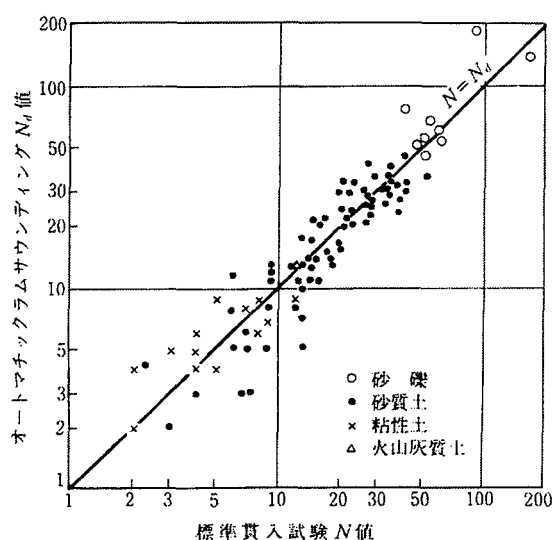


図-4.5 換算 N 値と N 値の関係の例

出典: 地盤調査法

(引用文献)

- ・ 鈴木康嗣、笹尾光、西謙治、武居幸次郎：サismickコーンとロータリーパーカッションドリルを併用した地盤調査システム、日本建築学会技術報告書、第1号、pp.69～73,1995
- ・ ロータリーサウンディング協会：削孔しながら先端部での計測を行なう新しい地盤調査法『ロータリーサウンディング法』

第5章 大深度地下証明書類の作成方法

5.1. 大深度地下証明書類

大深度地下にあることを証明する書類として、以下の内容を含む書類及び図面を作成する。

(1) 施設概要

大深度地下制度の利用を検討している施設の種類、施設の目的、規模、設置深度等に関する概要を記載する。

(2) 調査手法

・既存資料収集の場合の出典

既存資料を大深度地下の特定に利用する場合は、その出典を記載する。また、その資料の信頼性についての検討結果を示す。

・地盤調査手法の概要（調査の密度、測定の様式）

地盤調査によって大深度地下の特定を実施する場合は、調査の手法、調査手法の精度、調査の間隔・密度等を記載する。

・地盤調査以外の手法による場合、それらの手法の概要

支持地盤の特定を N 値ではなく、当該地域における周辺の建築物の基礎形式、選択されている支持地盤等を参考に検討した場合は、それらの資料の内容やその信頼性について記述する。

・支持地盤の設定方法

調査結果から支持地盤を特定した方法について概要を示す。

(3) 調査結果

・調査位置図

ボーリング等の地盤調査を実施した地点を表す平面図を示す。縮尺は適宜とする。

・土質柱状図

特定のために使用した柱状図を記載する。様式は適宜とする。

・土質縦断面図

土質縦断面図上に特定した支持地盤の上面をわかりやすく表示する。土質柱状図を簡略化したものを合わせて表示することが望ましい。縮尺は、水平方向 1000 分の 1 から 5000 分の 1 程度までとする。鉛直方向は 100 分の 1 から 500 分の 1 程度までとする。

・地盤調査結果以外の手法の説明資料

支持地盤の特定を地盤調査以外の手法で行った場合は、その手法の詳細を示す。

・地質概要

支持地盤となる地盤について、地質構造、地層の特徴、分布深度や傾斜等についての概要を記述する。

(4) 調査結果の処理

物理探査等によって連続性を評価した場合や、深度方向の調査結果や既存資料から支持地盤上面を設定した場合には、その方法及び結果について解説する。

(5) 大深度地下の特定

支持地盤の上面及び大深度地下の上面、事業区域の位置をわかりやすく表示する。また、追加調査に関する検討内容や事業実施段階における支持地盤確認の必要性について記す。

5.2. 大深度地下証明書類作成の事例

以下では、大深度地下にあることを証明する書類の作成例について、既存資料を用いて大深度地下特定を行った事例を用いてその概要を例示する。

(1) 施設概要

施設の所在地：東京都千代田区御茶ノ水

施設の名称：〇〇〇〇〇〇施設

施設の目的：〇〇〇〇〇〇ための施設

施設規模：直径 m × 長さ m

設置深度：深度 m (標高 m)

(2) 調査手法

(a) 調査方法の概要

大深度地下の特定にあたっては、既存資料を収集し、利用した。利用した資料の名称は表-5.1のとおりである。

表-5.1 利用した既存資料(例示)

資料名称	編集者	発行年
東京都地盤情報システム	東京都土木研究所	1986 年以来随時更新

(b) データの利用方法

表-5.1 に示したシステムから平成 14 年 5 月に対象地点周辺のデータを抽出した。利用したデータは、孔口標高、深度、 N 値から設定した支持地盤上面深度、層相である。

抽出したボーリングデータ数は 180 本である。180 本のうち、支持地盤が認定され、座標を判定可能であった 108 本のデータを使用した。

なお、ボーリング柱状図から得られる情報は N 値と以下に示す層相であり、地質層序に関する情報は無い。そのため、地層区分に関しては既存資料の「東京都（区部）大深度地下地盤図」（平成 8 年 東京都土木技術研究所発行）を参考とした。

盛土、 関東ローム、 粘性土、 シルト、 砂、 礫、 互層粘土シルト、
互層シルト砂、 互層粘土砂、 火山灰、 礫混じり火山灰、 軟岩

(c) 支持地盤の判定の方法

各データポイントにおける支持地盤上面深度の判定にあたっては、既存ボーリングにて実施された標準貫入試験による N 値を指標とし、 N 値 50 以上を確認した区間の上面の深度より判定した。

(d) 支持地盤のモデリングの方法

調査結果を処理する過程において、各ボーリングにおける支持地盤の深度データより、数学的手法を用いて支持地盤上面モデルを作成した。以下にその手順の概略を示す。

①各ボーリングにおける XY 座標値と支持地盤深度を整理した。この離散点データは 3 次元面モデルを生成するための基本となる。

②適当な大きさの方形の解析エリアを設定し、計算に必要なメッシュ（格子）間隔を任意の数値に設定した。今回はメッシュ間隔を 10m とした。

③グリiddingソフトウェアは〇〇〇を用い、クリギング法による線形補間にて、解析エリア全体の支持地盤深度を計算した。

(3) 調査結果

(a) 調査位置図

データの抽出範囲を図-5.1 に示す。



御茶ノ水 (1000m×200m)

図-5.1 データの抽出範囲(黒線枠内)(例示)

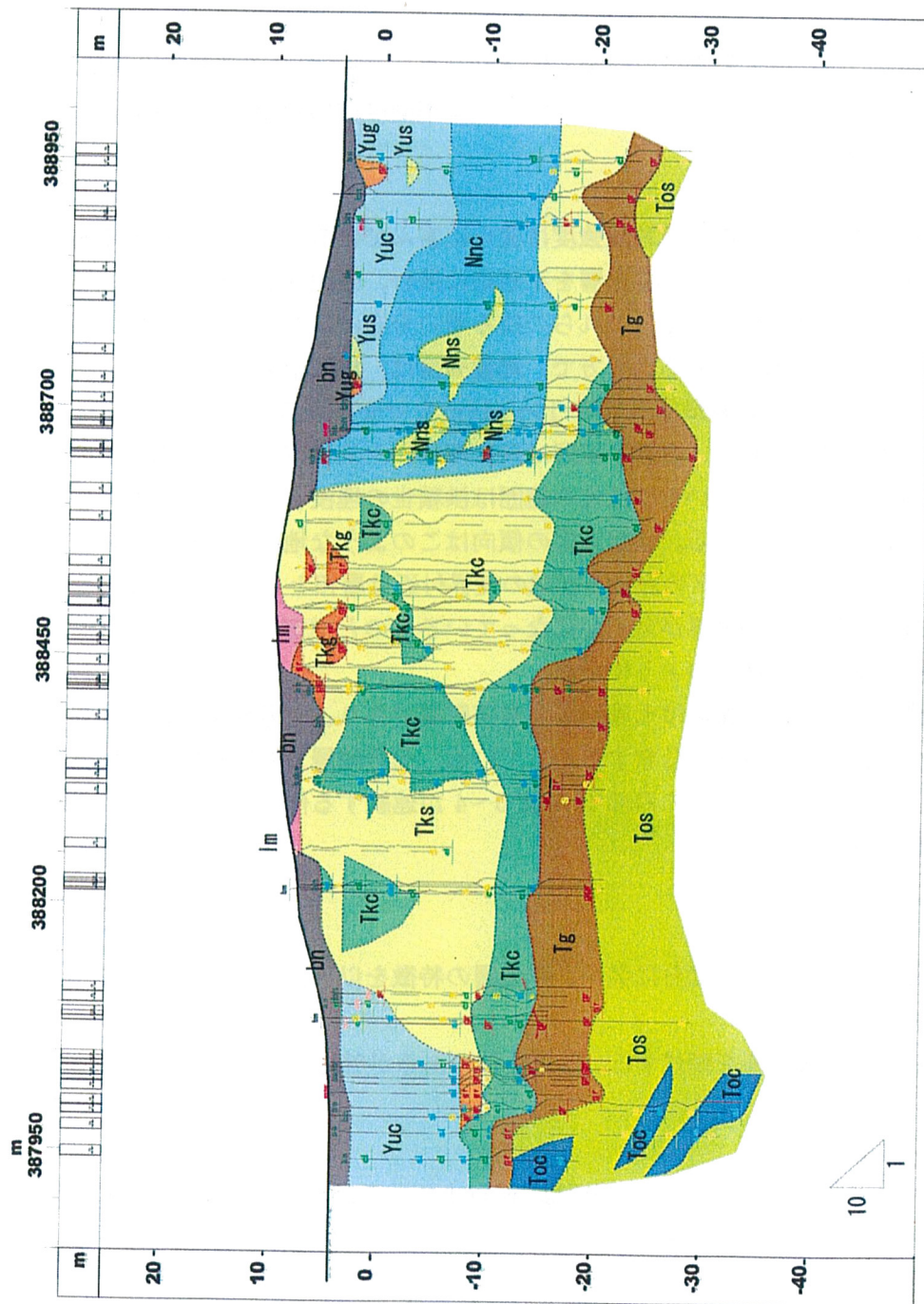
(b) 土質柱状図

調査に利用した土質柱状図を示す。

(c) 土質縦断面図

土質縦断面図を図-5.2 に示す。

地区名：御茶ノ水



図一5.2 土質縦断面図

地質時代	層序	色	記号	層相
完新世	有楽町層	bn	bn	盛土
		Yuc	Yuc	シルト・粘土
		Yus	Yus	砂
第四紀新世	七号地層	Yug	Yug	礫
		Nnc	Nnc	シルト・粘土
		Nns	Nns	砂
第四紀新世	関東ローム層	lm	lm	ローム
		Tkc	Tkc	シルト・粘土
		Tks	Tks	砂
第四紀新世	東京層	Tkg	Tkg	礫
		Tg	Tg	礫
		Tos	Tos	砂
第四紀新世	舎人層	Toc	Toc	シルト・粘土
		Toc	Toc	シルト・粘土

(d) 地質概要

御茶ノ水地区に分布する地質は、既存資料では下位より洪積層の舎人層・東京礫層・東京層、沖積層の七号地層・有楽町層・関東ローム層としている。この地質構成に従い、当地区の主断面において地層区分を行った。

以下に、地層認定に際しての判断基準及び、認定した地層の特徴を整理する。

a) 地層認定の判断基準

当地区の層相及び地盤強度は標高-15~-20m 付近で大きく変化する。この標高より下位を①下部、上位を②上部とし、以下に整理する。

①下部

標高-15~-20m 以深には砂層と礫層が分布し、個々の層相は側方に連続する傾向がある。

既存資料によると、この範囲に分布する地層は深部の砂層を舎人層、その上位の礫層を東京礫層としている。

②上部

東京礫層以浅の層相と地盤強度は変化に富んでいる。層相は、地区中央の台地では砂層主体であるが、シルト・粘土層を不規則に挟む。台地両側の低地では、粘土・シルト層主体で砂層は挟み層となる。これらの挟み層の分布は不規則であり、側方への連続性を追いかけることが困難である。一方で、地盤強度は、地区中央の台地で高く、その両側の低地では N 値 0~10 の軟弱層が標高-10~-15m まで分布する。

既存資料によれば、台地の範囲は東京礫層の上位に東京層、さらにその上位に関東ロームが分布するとしている。低地の範囲は洪積世の埋没谷で、この範囲に軟弱な沖積層が厚く分布するとしている。地盤強度の傾向はこのような地層の分布を反映していると考えられる。さらに、当地区の台地と低地の境界付近は層相と N 値が大きく変化しており、この部分で沖積・洪積境界が急勾配になっているものと推定される。

沖積層の場合は次のようになる。

既存資料では沖積層は七号地層と有楽町層であり、七号地層は地区東部で洪積層を覆い、その上位に有楽町層が分布するとしている。七号地層と有楽町層との境界は層相からは判然としないが、沖積層の浅部で N 値 0~4 が連続する傾向がみられ、この範囲が有楽町層と推定される。

b) 地層の特徴

先に認定した地質区分に従い、各地層の特徴を以下にまとめる。

①舎人層

- ・当地区の最下層を構成する。砂層主体であるが部分的にシルト層を挟む。 N 値は 20~50 以下である。

②東京礫層

- ・江戸川層を覆って分布し、層厚は 7m 以上であるが局部的に 2m 程度まで薄くなる部分がある。 $N \geq 50$ を示す場合が多い。

③東京層

- ・地区中央部の台地を構成する。

- ・砂層主体で不規則にシルト・粘土層を挟む。地区の東部と西部は分布深度が深く、その上位に沖積層の七号地層や有楽町層が厚く堆積している。
- ・ N 値はシルト・粘土で概ね 20 未満、砂層では 20 以上 50 未満を示す。

④七号地層

- ・地区東部に分布する。東京層を覆って分布する。
- ・ N 値は概ね 5 以上を示す。

⑤有楽町層

- ・地区東部と西部に分布する。地区東部では七号地層を不規則に覆って分布するものと考えられる。
- ・ N 値は概ね 4 以下を示す。

主断面における支持地盤の特徴をまとめる。

- ①支持地盤面はおおむね東京礫層の上部に分布する。しかし、東京礫層の層厚が薄く、 N 値 ≥ 50 を所定の厚みが確保できない部分で東京礫層分布深度以下に下がる場合がある。
- ②東京礫層より上位に分布する東京層の砂層は、 N 値が比較的高め（概ね 20 以上 50 未満）で、東京礫層に到達する前に N 値 ≥ 50 の所定厚さを確保する場合があります、支持地盤が極端に上昇することがある。

(4) 調査結果の処理

既存資料から抽出したデータを用いてグリiddingモデルで作成した支持地盤上面のモデルを図-5.3 に示す。線形補間はクリギング法を用いている。

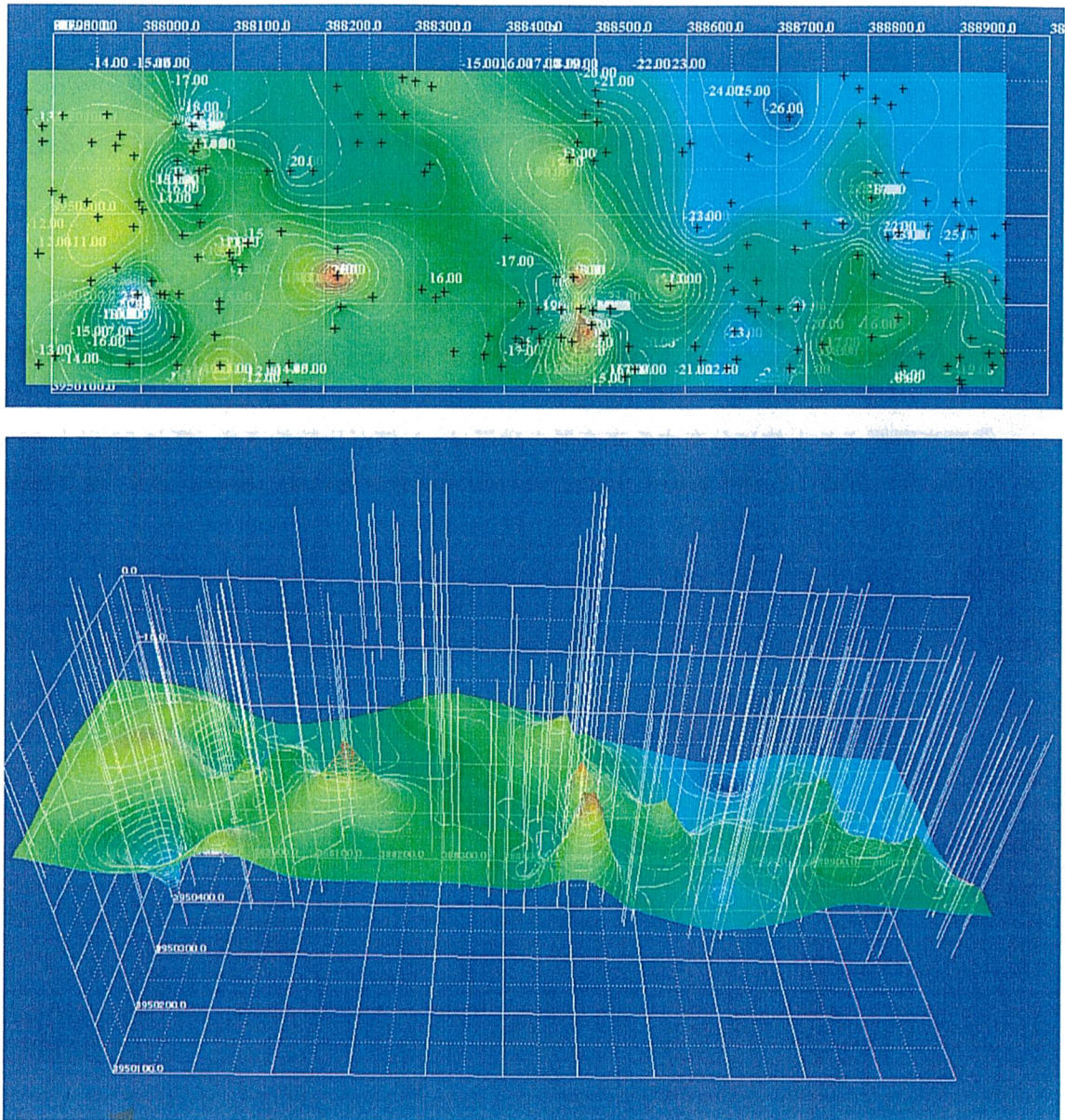


図-5.3 グリiddingにて作成した支持地盤上面モデル
(上図:平面図。上が北(黒十字はボーリング位置)、下図:縦方向を10倍に
拡大した3次元表示。南方より望む(白線はボーリング掘削線)、背景の主グ
リッドは100m 間隔)

これらの調査結果の処理を通じて、支持地盤上面の連続性についての検討を行った。

(5) 大深度地下の特定

大深度地下の特定結果を図-5.4 に示す。

なお、当地域の支持地盤の特徴は以下のように整理できる。

- ① 層相及び N 値が標高-15~-20m 付近で大きく変化する。
- ② 東京礫層以浅の層相は挟み層が多く N 値は変化に富んでいる。挟み層の分布は不規則であり、側方への連続性を追いかけることが困難である。
- ③ 台地と低地の境界付近は層相と N 値が大きく変化しており、この部分で沖積・洪積層の境界が急勾配になる。
- ④ 沖積層である七号地層と有楽町層の境界は層相からは判然としないが、若干の N 値の変化で判定できる可能性がある。
- ⑤ 支持地盤面はおおむね東京礫層の上部に分布する。しかし、東京礫層の層厚が薄いと分布深度が下がる場合があり、下位の舎人層に軟弱層が挟まれる場合には、さらに支持地盤面が低下する場合がある。

ここでの支持地盤は、 N 値 50 の上限で認定している。

- ⑥ 東京礫層より上位に分布する東京層の砂層は、 N 値が比較的高めであり、東京礫層に到達する前に支持地盤と判定されることがある。

地区名：御茶ノ水

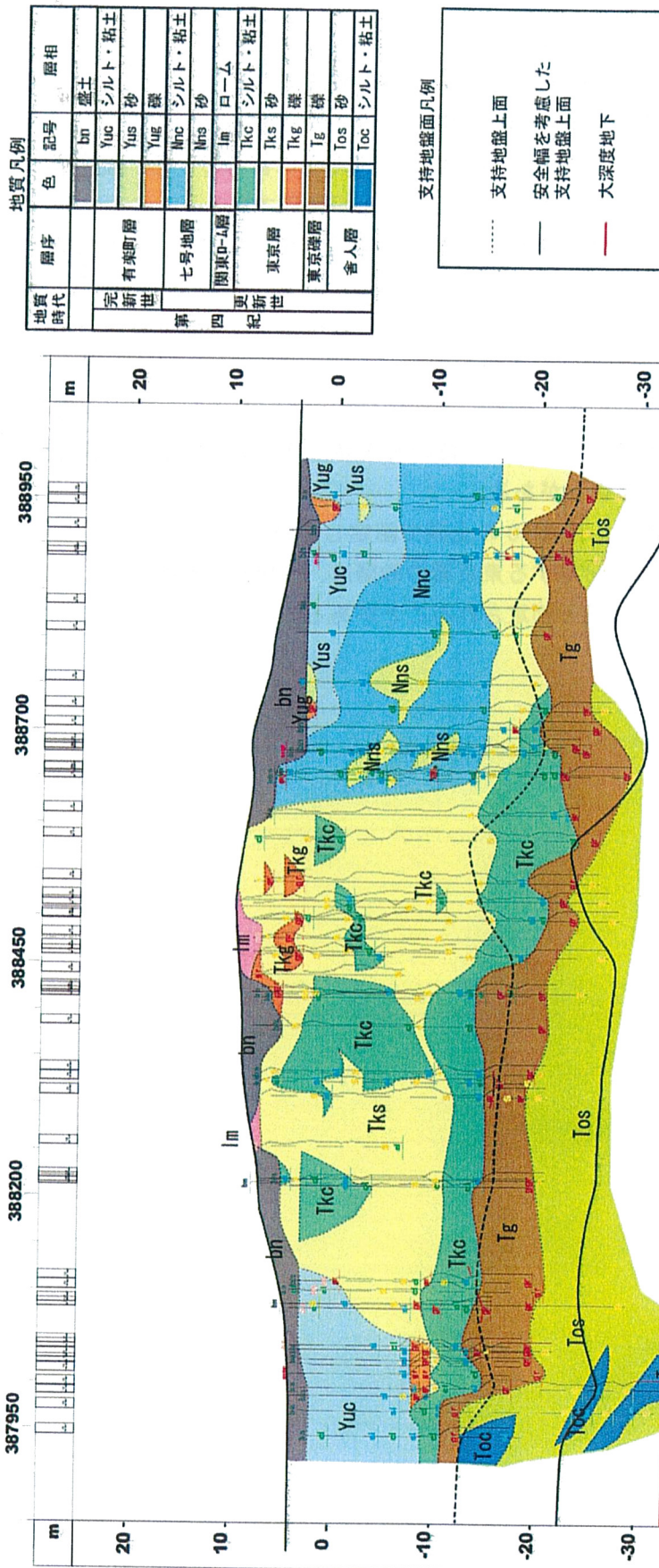


図-5.4 大深度地下の特定結果

5.3. 支持地盤の特定の事例

以下に、葛西付近・豊洲付近の2箇所支持地盤の特定を行った事例を紹介する。これらの事例から、支持地盤特定における問題点を整理した。

以下の事例は東京都土木技術研究所の東京都地盤情報システムからデータを抽出し、既存データのみで支持層の3次元的な整理を行ったものである。利用したデータは、孔口標高、深度、 N 値から設定した支持層上限深度、層相である。

(1) 葛西付近における支持地盤特定の事例

84本のボーリングデータを使用し、既存ボーリングで実施された標準貫入試験による N 値を指標とし、 N 値50以上を5m確認した区間の上面を支持地盤上面と定義した。そのデータより数学的手法を用いて支持地盤上面モデルを作成した。図-5.5に、ある測線において得られた地質断面図を示す。ボーリング柱状図から得られる情報は N 値と層相のみであり、地層区分に関しては既存資料の「東京都（区部）大深度地下地盤図」（平成8年 東京都土木技術研究所発行）を参考とした。

葛西地区に分布する地質は、既存資料では下位より沖積層の七号地層・有楽町層としてあり、この地質構成に従い、当地区のある断面において地層区分を行った。

以下に、葛西付近での支持地盤特定の事例における、地層認定に際しての判断基準と問題点、及び、認定した地層の特徴を整理し、特定した支持地盤の特徴を記す。

a) 地層認定の判断基準と問題点

既存資料から当地区の地質構成については以下のように整理できた。

当地区の地盤強度は標高-22~-26m付近で大きく変化する。層相もこの深度を境に変化する。標高-22~-26m以深には砂層とシルト・粘土層が分布する。シルト・粘土層は側方への連続性が悪く、挟み層と考えられる。一方で、この深度以浅はシルト層主体となる。

既存資料ではこの標高付近を七号地層と有楽町層の境界としている。しかし、有楽町層の下底に分布することが多い基底礫層がボーリングで確認されていないことから、七号地層と有楽町層の境界を確定させることは、柱状図と N 値のデータだけでは困難である。

b) 地層の特徴

当地区での各地層の特徴については以下のように整理できた。

①七号地層

- ・当地区では標高-22~-26m以深に分布する。
- ・砂層主体であるが、所々にシルト・粘土（稀に礫層）を挟む。砂層の N 値は概ね50以上であるが、シルト・粘土の分布範囲で N 値が低下する傾向がある。

②有楽町層

- ・七号地層を覆って分布する。厚さは最大で26mである。
- ・上部の深度7~10mは砂主体であり、以深はシルト主体となる。
- ・ N 値は上位の砂層で2~26であるが、下位のシルト層で0~5と軟弱となる。

c) 支持地盤と地質の関係

特定を行った断面における支持地盤の特徴として以下のようなことが認められた。

- ・支持地盤上面は七号地層の上部に分布する。しかし、砂層で N 値が高く、シルト・粘土の細粒層で N 値が低下する強度差があるため、細粒層が厚く分布する範囲や、分布が互層となる場合に支持地盤上面は深い位置となる。

このように、支持地盤の上面は七号地層の上部に分布するが、 N 値の低い細粒層（シルト・粘土）が厚く分布する範囲や、分布が互層となる場合にその深度が低下する場合がある。ここでの大深度地下は、定義通りに解釈すれば七号地層中となるが、地質年代的な解釈（七号地層は後期更新世）、 N 値が低下する部分の存在の可能性等から、ジャストポイントでの調査結果をもって判断する必要がある。

(2) 豊洲付近における支持地盤特定の事例

43 本のボーリングデータを使用し、既存ボーリングにて実施された標準貫入試験による N 値を指標とし、 N 値 50 以上を 5m 確認した区間の上面を支持層と定義した。そのデータより数学的手法を用いて支持地盤上面モデルを作成した。図-5.6 に、ある測線において得られた地質断面図を示す。ボーリング柱状図から得られる情報は N 値と層相のみであり、地層区分に関しては既存資料の「東京都（区部）大深度地下地盤図」（平成 8 年 東京都土木技術研究所発行）を参考とした。

豊洲地区に分布する地質は、既存資料では下位より洪積層の舎人層、晴海砂礫層、沖積層の有楽町層が分布するとしてあり、この地質構成に従い、当地区のある断面において地層区分を行った。

以下に、豊洲付近での支持地盤特定の事例における、地層認定に際しての判断基準、問題点、及び、認定した地層の特徴を整理し、特定した支持地盤の特徴を記す。

a) 地層認定の判断基準と問題点

既存資料から当地区の地質構成については以下のように整理できた。

当地区の層相は側方への連続性が良い。また、 N 値の分布傾向は層相の分布と概ね整合している。標高-6~-8m 以深より N 値が高くなる傾向があるが、シルト・粘土層の分布範囲で N 値が低下する。また、標高-20m 以深は N 値が 50 以上になることが多い。

既存資料では標高-6~-8m 付近を晴海砂礫層と有楽町層の境界としている。また、標高-20m 付近を舎人層と晴海砂礫層の境界としている。

b) 地層の特徴

当地区での各地層の特徴については以下のように整理できた。

① 舎人層

- ・当地区では最下層を構成する。
- ・砂層主体であるが部分的にシルトや礫層を挟む。また、 N 値は砂層で 30~50 以下、シルトで 10~40 である。

② 晴海砂礫層

- ・舎人層を覆って分布する。
- ・下部はシルト主体、上部は砂主体である。 N 値はシルトが 10~30、砂層はやや高めで 10

～40 である。

③有楽町層

- ・晴海砂礫層を覆って分布する。下部はシルト、上部は砂主体である。
- ・ N 値は概ね 4 以下を示す。

c) 支持地盤と地質の関係

特定を行った断面における支持地盤の特徴として以下のようなことが認められた。

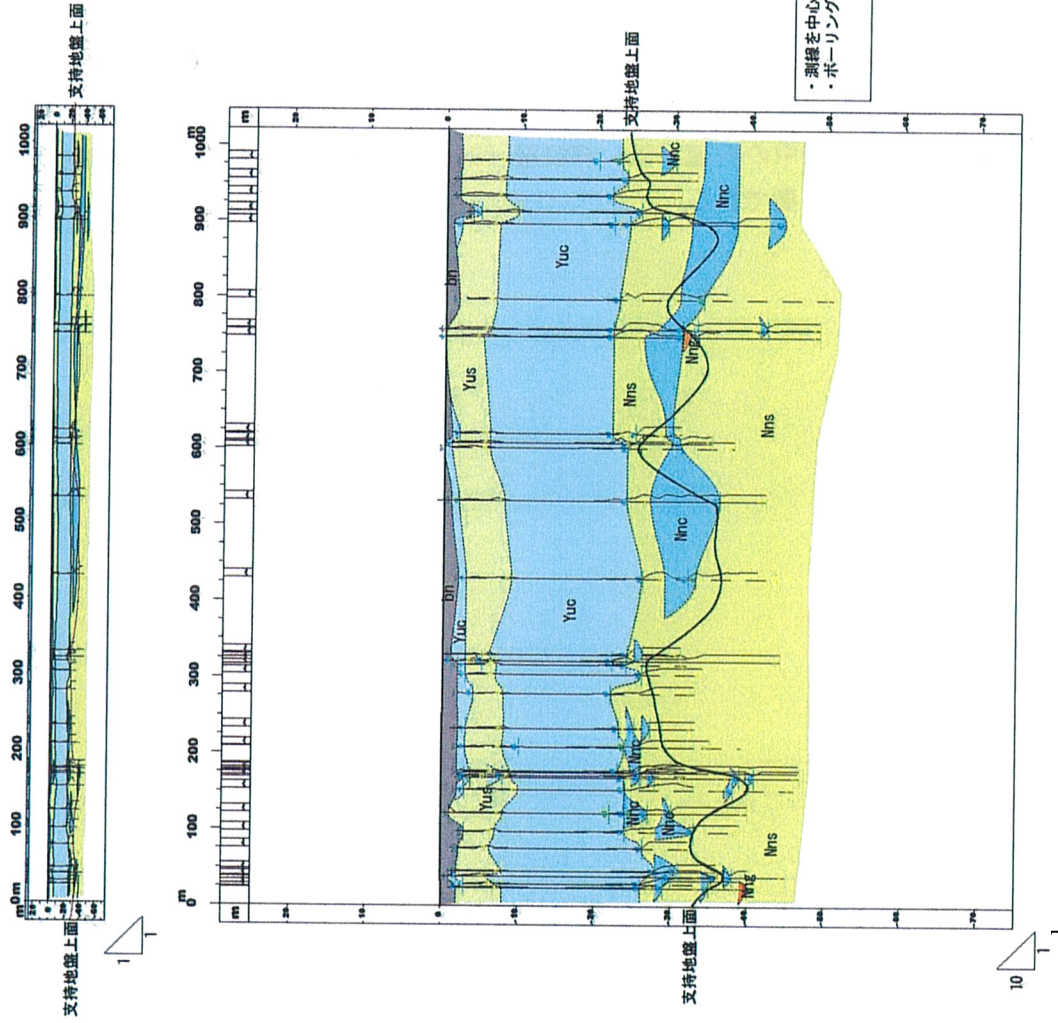
- ・支持地盤上面は舎人層の上部に分布する。しかし、 N 値が低いシルトの挟み層に影響され、支持地盤上面は深い位置となる。

このように、支持地盤の上面は舎人層の上部に分布するが、 N 値が低い細粒層（シルト・粘土）の挟み層に影響され、支持地盤面が低下する場合がある。ここでの大深度地下は舎人層の上部とするものの、舎人層中の N 値が低い細粒層（シルト・粘土）の挟み層の連続性の有無に関する確認をすることが必要である。

地区名：葛西

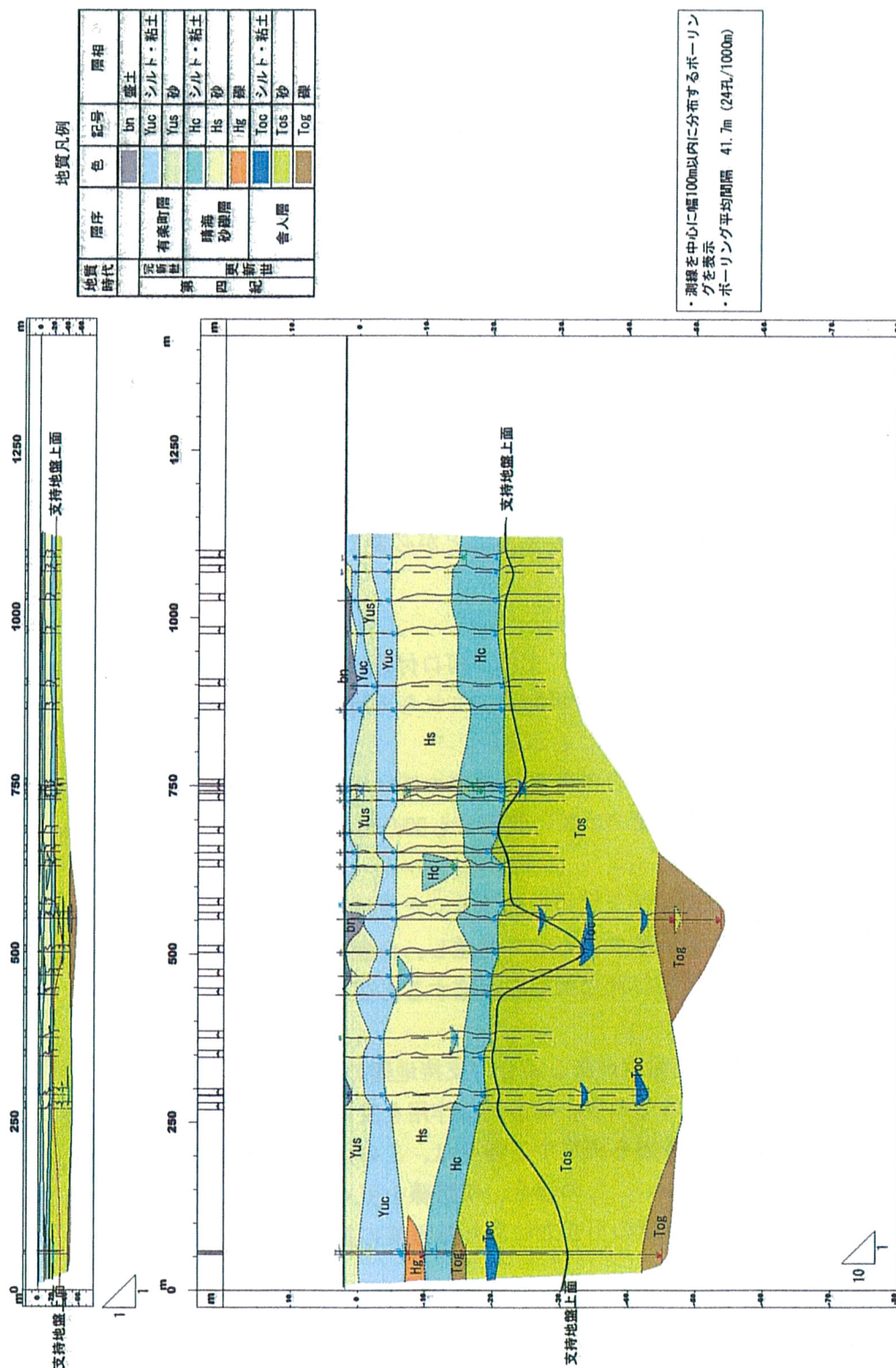
地質凡例

地質時代	層序	色	記号	層相
第四紀	有楽町層	黄褐色	bn	盛土
		黄褐色	Yuc	シルト・粘土
		黄褐色	Yus	砂
		黄褐色	Yug	礫
更新世	七号地層	黄褐色	Nnc	シルト・粘土
		黄褐色	Nns	砂
		黄褐色	Nng	礫



図一5.5 葛西周辺の測線において得られた地質断面図

地区名：豊洲



図一5.6 豊洲周辺のある測線において得られた地質断面図

5. 4. 大深度地下証明書類作成上の課題とその対応

以上の事例から、支持地盤特定における問題点として以下のような点を挙げることができる。

① 使用するデータの選定

既存資料では、ボーリングデータがあっても、座標や標高のデータが明確でない場合もある。これらのデータは採用の可否について検討する必要がある。

② 埋没谷の存在による N 値の低下

海水準の低下に伴い、下部には埋没谷の形成が認められ、しばしば海の地層よりも N 値の低い地層が堆積している場合がある。平面的には、これらの谷筋は樹脂状に広がっていることが想定され、谷幅の狭い個所では 100m を下回る場合もある。既存資料からは、形成された谷の幅や深度は必ずしも特定できないので、これらの存在が推定される地点では、調査の間隔を密にしたり連続性の調査を詳細に行ったりすることが必要である。

③ 細粒分の挟み層による N 値の低下

いわゆる沖積層（例：七号地層上部）では、河口付近の河川争奪により、広い範囲で粘土層と砂層の互層部が形成されている場合がある。これらの細粒堆積物は連続性に乏しく、また、 N 値も周辺の砂層に比較すると低いことが多い。

また、支持地盤上面の凹凸も、このような N 値の低い細粒堆積物の不規則な分布が原因である場合がある。細粒層の分布次第では狭い範囲でも凹凸の振幅が 10m を超える可能性も考えられる。

このような地層中で、大深度地下利用を前提とした支持地盤を特定することは、かなりのリスクを伴うため、事業の計画深度をあわせて考慮し、合理的かつ経済的な調査となるように調査の計画を行い、必要に応じて詳細な調査を実施する必要がある。

④ N 値 50 以上の上面深度に起伏がある場合の支持地盤の決定の方法

支持地盤の上面には、たとえその後の構造的な作用を受けていなくとも、以上のような理由で振幅が生じる。実際に支持地盤を決定する場合は、このような振幅の下限值を連ねた包絡線とする方が安全であり、望ましい。この場合、包絡線を引くポイントのとり方で、支持地盤の形状が変わってくる。この包絡線の引き方にもある程度の基準が必要である。

⑤ N 値 50 の層厚について

N 値 50 の地層の層厚が薄いと分布深度が下がる場合があり、層厚の把握の観点から詳細な調査を実施する必要がある。

参考資料

1. 地盤調査手法の特徴整理表

- ・ 大深度地下特定に適用可能な地盤調査手法についてその特徴を表に整理した。
- ・ 各地盤調査手法に関する具体的な手順等については、「地盤調査法」((社)地盤工学会)、「物理探査適用の手引き(とくに土木分野への利用)」(物理探査学会物理探査要領作成委員会)等が参考となる。

2. 地盤調査手法の適用実績

- ・ 地盤調査手法の中で、大深度地下特定において適用の機会が多いと考えられる浅層反射法と、実績は少ないものの有効な手段となりうる計測ボーリングのうち MWD 検層とロータリーサウンディングについて、適用実績を表に整理した。

3. 浅層反射法実施における留意事項

- ・ 大深度地下特定において適用の機会が多いと考えられる浅層反射法について、測定における留意事項を整理した。

4. 高層建築物における支持層の例

- ・ (財)日本建築センター建築評定シート(ビルディングレター)等をもとに、三大都市圏に立地する軒高 150m 以上の建築物 46 件、及び軒高 100m 以上 150m 未満で地下室を持たない建築物 5 件の計 51 件について、支持層を調べて整理した表を、大深度地下使用技術指針・同解説より抜粋して示す。

＜参考資料 1＞ 表 地盤調査手法の特徴(その 1)

分類	調査手法	地表／孔内	調査の目的	手法の概要
物理探査	屈折法	地表	地下の弾性波の速度層構造を求める。	地表付近で人工的に弾性波を発生させ、地下の速度の異なる地層境界で屈折して戻ってきた屈折波を地表に設置した測定装置で観測する。
	地震探査	地表	地下の音響インピーダンスの異なる地層境界を求める。	地表付近で人工的に弾性波を発生させ、その弾性波が地中を伝播し、音響インピーダンス境界に達すると、屈折、透過、反射して、その一部は再び地表に反射波として戻ってくる。この反射波に注目し、微弱な反射信号を地表に多数設置した受振器で観測し、初動に続く後続波を解析することによって、反射面からの反射波を抽出する。
	浅層反射法	地表		地表面で人工的に振動を発生させ、地表に設置した感振器で振動を観測し、表面波の速度分散から S 波速度構造を推定する。
	地震探査	地表		地表及びボーリング孔等を利用して探査対象領域を取り囲むように起振点や受振点を設置し、起振点で起振した際に発生する地震波を多くの受振点で観測し、初動走時を観測して、トモグラフィ解析することによって速度分布を求める。
	表面波探査	地表	S 波速度層構造を推定する。	地表及びボーリング孔等を利用して探査対象領域を取り囲むように電極を設置し、それらの電極を用いて地盤に電流を印加し、発生する電位を測定して、これらをトモグラフィ解析することによって比抵抗分布を求める。
	弾性波	孔内	観測した初動走時を用いて、地盤の速度分布を求める。	地表で発振した弾性波をボーリング孔内で受振し、初動に続く後続波を解析することによって、反射面からの反射波を抽出する。
	トモグラフィ	孔内	測定した電流と電位の関係から地盤の比抵抗分布を求める。	VSP をトンネル内の探査に応用したものである。
	比抵抗	孔内	ボーリング孔周辺の弾性波の反射構造・弾性波速度を把握する。	地盤に P 波、S 波を発生させ、それらが地盤中を直接的に伝播してきた波動を孔内外の任意の地点に設置した受振器で受振し、その間の伝播速度を求める。
	VSP	孔内	トンネル切羽前方の弾性波の反射構造・弾性波速度を把握する。	複数の電極を内蔵したゾンデを孔内に降下させて電流を印加して、発生する電位差を測定し、得られた電位差と印加電流から地層の比抵抗を求める。
	HSP	孔内	地盤を伝播する弾性波を測定し、ボーリング孔周辺の速度層を求める。	ゾンデに装備した放射性同位元素から放出されるガンマ線が孔壁周辺の地層によって散乱・減衰しながら検出器に入射する。この散乱ガンマ線の強さを深度方向に連続的に計測し、得られた計数率から予め作成している校正曲線を用いて地層密度に換算する。
	速度検層	孔内	ボーリング孔周辺の見掛け比抵抗及び孔内に発生している自然電位を求める。	孔内にテレビカメラを内蔵したゾンデを挿入し、地質状況・孔内水の状況を観察、ビデオ記録する。
	電気検層	孔内	ボーリング孔周辺の地層の密度を求める。	
	密度検層	孔内		
	ボアホール	孔内	ボーリング孔壁の地質状況・孔内水の状況を観察、ビデオに記録する。	

注) この表は、わが国の現状の標準規格及び技術レベルに基づいて代表的な調査手法をまとめたものである。今後、技術開発等により新たな調査手法が普及する可能性もあるため、その時点で最新の情報を収集するとよい。

＜参考資料1＞ 表 地盤調査手法の特徴(その2)

分類	調査手法	地表／孔内	調査の目的	手法の概要
サウンディング	動的貫入試験	孔内	N 値を測定し、深度方向の地盤強度の相対変化、軟弱層厚、支持地盤深度等を把握する。試験深度の地盤を観察し土質を判別する。物理試験等のための攪乱試料を採取する。	試験深度で、質量 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$ のドライブハンマーを $76 \pm 1\text{cm}$ 自由落下させて、ボーリングロッド頭部に取り付けたノッキングブロックを打撃し、ボーリングロッド先端に取り付けた標準貫入試験用サンプラーを地盤に 30cm 打ち込むのに要する打撃回数を測定する。
	オートマチックラムサウンディング	(孔内) ^{*1}	打撃回数 N_0 を測定し、深度方向の地盤強度の相対変化、軟弱層厚、支持地盤深度等を把握する。 ($N_0 \approx N$)	63.5kg の重錘を 50cm 自由落下させ、貫入先端をつけたロッドが 20cm 貫入するときの打撃回数を深度方向に連続的に測定する。ハンマー落下等一連の作業の大部分は自動化されている。
	鉄研式 (中型, 大型) 動的円錐貫入試験	(孔内)	打撃回数 N_0' を測定し、深度方向の地盤強度の相対変化、軟弱層厚、支持地盤深度等を把握する。 ($3N_0' = N_0 \approx N$)	30kg (中型, 大型は 63.5kg) の重錘を 35cm (中型, 大型は 75cm) 自由落下させ、貫入先端をつけたロッドが 10cm (中型, 大型は 30cm) 貫入するときの打撃回数を深度方向に連続的に測定する。適用深度は 15m 以下。
	土研式動的円錐貫入試験	(孔内)	打撃回数を測定し、表層の地盤強度の相対変化等を把握する。土工及び道路路床の調査・施工管理に用いられる。	5kg の重錘を 50cm 自由落下させ、貫入先端をつけたロッドが 10cm 貫入するときの打撃回数を深度方向に連続的に測定する。貫入長は 1m を標準としている。
	簡易動的コーン貫入試験	(孔内)	打撃回数を測定し、深度方向の地盤強度の相対変化、軟弱層厚、支持地盤深度等を把握する。斜面の安定性評価に用いられる。	土研式動的円錐貫入試験と同様の機構で、斜面調査用に開発されたもの。適用深度は 4m 程度。
	大型貫入試験	孔内	打撃回数を測定し、深度方向の地盤強度の相対変化、軟弱層厚、支持地盤深度等を把握する。	標準貫入試験を大型化し、標準貫入試験が適用し難い砂礫地盤や風化地盤及び深い地盤での N 値の測定精度を上げるために開発された (重錘: 100kg , 貫入量 30cm)。
	回転式大型動的貫入試験	(孔内)	打撃回数 N_0 を測定し、深度方向の地盤強度の相対変化、軟弱層厚、支持地盤深度等を把握する。 ($N \approx 3N_0$)	油圧ハンマーによる 13MPa の打撃圧力に加えて、 5.2kN の押し込み力を付加したときに、先端抵抗体が 10cm 貫入するときの打撃回数 (N_0 値) を連続的に測定する。油圧ハンマーにより打撃密度を大きくし、貫入能力を高めている。

*1) 先端荷重やロッドの貫入により、直接、目的の深度で試験を行うため、ボーリングマシンによる削孔 (ボーリング孔) は必要としない。

注) この表は、わが国の現状の標準規格及び技術レベルに基づいて代表的な調査手法をまとめたものである。今後、技術開発等により新たな調査手法が普及する可能性があるため、その時点で最新の情報を収集するとよい。

＜参考資料 1＞ 表 地盤調査手法の特徴(その 3)

分類	調査手法			地表／孔内	調査の目的	手法の概要
サウンディング	静的貫入試験	静的コーン貫入試験	オランダ式二重管コーン貫入試験	(孔内)	コーン支持力 q_c を測定し、粘性土の強度を把握する。	ロッド部分を二重管構造として周面摩擦の影響を除き、純粋なコーン支持力が求められるようにしたもの。砂礫、玉石を除くあらゆる土に適用できる。
			三成分コーン貫入試験		コーン支持力 q_c の他、周面摩擦力、間隙水圧を測定し、地盤の強度、土質区分を把握する。	コーン貫入中の先端抵抗、周面摩擦力、間隙水圧の三成分を測定し、地層の判別と強度の把握を同時に行えるようにしたもの。
		スウェーデン式サウンディング	(孔内)		W_{sw} 、 N_{sw} を測定し、地盤の強度を把握する。	ロッドが自然沈下を生じる 1kN 以下のおもりの荷重 W_{sw} と 1kN の荷重でロッドを回転させたときの貫入量 1m 当たりの半回転数 N_{sw} を深度方向に連続的に測定する。玉石を除くあらゆる土に適用できる。
	サイスミックスコーン(SCPT)	(孔内)	コーン支持力 q_c 、周面摩擦力、間隙水圧の他、地盤の S 波速度を測定し、地盤の強度、土質区分を把握する。	コーン貫入中の先端抵抗、周面摩擦力、間隙水圧の三成分を測定して地層判別と強度の把握を行うとともに、深度 1m 間隔を標準として地盤の S 波速度を測定する。		
計測ボーリング	MWD 検層	孔内	サイスミックスコーンとロータリーパーカッションドリルを用いて地盤強度の相対変化を把握する。	ロータリーパーカッションドリルの堀削抵抗等から砂礫等の硬質地盤の硬さを測定する。		
		ロータリーサウンディング法	孔内	ボーリング時の先端ビットに生じる割孔抵抗等から地盤強度の相対変化を把握する。	深度方向に連続的に推力、トルク、水圧等の情報を得て、短時間に地盤物性を評価する。	

注) この表は、わが国の現状の標準規格及び技術レベルに基づいて代表的な調査手法をまとめたものである。今後、技術開発等により新たな調査手法が普及する可能性もあるため、その時点で最新の情報を収集するとよい。

＜参考資料 1＞ 表 地盤調査手法の特徴(その 4)

分類	調査手法	地表／孔内	調査の目的	手法の概要
載荷試験	平板載荷試験	地表	構造物基礎地盤の鉛直方向の変形特性及び強度特性を把握する。	載荷板を介して地盤に一定速度の荷重を作用させて荷重～変位～時間曲線を求める。試験結果から地盤の変形特性（地盤反力係数、変形係数）及び支持力特性（降伏支持力、極限支持力）を把握する。変形特性を把握するためには、多サイクル方式での載荷を行う。
	孔内水平載荷試験	孔内	構造物基礎地盤の横方向の変形特性及び強度特性を把握する。	ボーリング孔内にゴムチューブの測定管を挿入し、それに加圧液（水又は油）や空気を送ることにより孔壁に等分布荷重を与える方式。荷重～変位曲線を求めて、地盤の横方向の変形特性（変形係数、横方向地盤反力係数）及び支持力特性（降伏圧力、極限圧力）を把握する。
				ボーリング孔内に小型の特殊ジャッキを有する測定管を挿入し、壁面に密着した剛体載荷板を介して孔壁の一部部分に等変位荷重を与える方式。
				セルフボーリング機能をもつ載荷装置を用いて鉛直・水平方向の載荷試験を行う。ボーリング孔の掘削による地盤の初期応力の解放や乱れの影響を排除するために開発された方法。
深層載荷試験	セルフボーリング式プレッシャメータ	(孔内) ^{*2}	構造物基礎地盤の変形特性及び強度特性を把握する。	基本的な試験方法は平板載荷試験と同様である。荷重は載荷柱により孔底の載荷板を介して作用させる。
		孔内	深層における鉛直方向の変形特性及び強度特性を把握する。	

*2) セルフボーリング機能あるいは先端抵抗やロッドの貫入により、直接、目的の深度で試験を行うため、ボーリングマシンの削孔(プレボーリング)は必要としない。
 注) この表は、わが国の現状の標準規格及び技術レベルに基づいて代表的な調査手法をまとめたものである。今後、技術開発等により新たな調査手法が普及する可能性もあるため、その時点で最新の情報を収集するとよい。

＜参考資料 1＞ 表 地盤調査手法の特徴(その 5)

分類	調査手法	地表／孔内	調査の目的	手法の概要
地質調査	コントロールボーリング	孔内	ボーリング孔をコントロールし、目的の方向に掘進する。	ビット形状、スタビライザの間隔及びログのたわみを利用して給圧を変化させることにより、ボーリング孔をコントロールする。
	コア観察	孔内	地質・地質構造、割れ目等を肉眼で観察し、記載する。	ボーリングコアを肉眼で観察し、層相、層理、割れ目、風化等の基本的な情報を記載する。
	微化石分析	地表／孔内	有孔虫や珪藻又は花粉等から堆積年代を求める。	露頭やコアから採取した試料に含まれる有孔虫や珪藻・花粉等の微化石を取り出し、その種類から堆積時代を特定する。
	テフラ分析	地表／孔内	火山灰を広域テフラと対比し、堆積年代を求める。	露頭やコアから採取した火山灰のガラスを抽出し、その屈折率や構成物等から、既知の広域テフラと対比し、その堆積年代を推定する。
	地質年代測定	地表／孔内	放射性核種を利用して地層の絶対年代を求める。	ウラン 238 の変変時の跡を利用するフィッシュボーン法、炭素 14 を利用する方法等がある。
	三次元地質解析	—	放地層境界や断層等の地質構造をコンピュータにより解析する。	地層境界や断層等の地質構造を三次元の面構造としてコンピュータにより解析する。

＜参考資料2＞ 表 地盤調査手法の適用実績 - 浅層反射法 (1)

1992～1999 年、資料：独立行政法人産業技術総合研究所 HP

No.	件名(題目)	方法	場所	調査手法	調査概要・目的
1	浅層反射法探査を用いた支持基礎面形状調査	弾性波探査(SH波による浅層反射法)	兵庫県神戸市	1測線,測線長:400m,受振点:起振点間隔:5m	宅用地に造成した切土・盛土地盤における値が30以上となる支持基礎面形状の把握
2	下水道センサー工事に伴う岩盤上面深さ分布の把握	弾性波探査(板叩きによる浅層反射法・VSP)	奈良県高市郡	反射法:8.16km	下水道センサー施工基面を成す新鮮な岩盤上面の深さ分布を把握
3	綾瀬川断層の反射法弾性波探査	地震探査(反射法)	埼玉県大宮市藤子	P波:2測線,測線延長2.11km,S波:6測線,測線延長0.91km	断層の位置及び変位量等の断層パラメータを反射法探査により明らかにする
4	地質防災確認調査	弾性波探査(反射法)	兵庫県宝塚市	P波:2測線,測線延長2.11km,S波:6測線,測線延長0.91km	宅地造成に伴う地質構造および盛土地盤構造の把握
5	高精度反射法	弾性波探査(S波反射法)	茨城県下妻市	測線延長:1.000m	S波の異波性検出のための基礎データ取得のための基礎実験
6	荒戸崎崎線赤坂SS π 引込み工事のうち弾性波探査工事	弾性波探査(浅層反射法,板叩きによるS波振源)	福岡県福岡市中央区	1測線,測線長:132m,受振点間隔:1m	地中線の設計・施工上の問題となっている断層の位置および勾配等を把握
7	矢部川左岸導水路上坂田地区土質等調査解析業務	弾性波探査(浅層反射法,板叩きによるS波振源),検層(P波,VSP)	福岡県山門郡瀬高町	浅層反射法:1測線,測線長600m,受振点間隔1m,検層:1孔,孔長15mPS検層:1孔,孔長15m	導水路敷設深度周辺の地質構造を把握
8	3成分S波反射法の基礎実験	弾性波探査(S波反射法)	山口県飽海郡松山町	2測線,受振点間隔5m,A測線:受振点110点,発振点59点,B測線:受振点97点,発振点42点	S波反射法による波異方性検出のための基礎実験
9	有馬・高槻構造線のS波振源による極浅層反射法弾性波探査	弾性波探査(S波反射法)	大阪府茨木・箕面市・兵庫県川西市	6測線,測線延長:870m	有馬・高槻構造線の正確な位置と極浅部の地質構造を明らかにし,トレンチ発掘地点選定のデータを与える
10	地盤探査(福岡)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	福岡県福岡市	1測線,測線長:150m	シーラトンネルルート沿いの詳細地盤調査
11	地盤探査(茨木)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	大阪府茨木市	1測線,測線長:260m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
12	地盤探査(広島)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	広島県高田郡	1測線,測線長:220m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
13	地盤探査(調布)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	東京都調布市	1測線,測線長:375.5m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
14	地盤探査(古市・横井)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	奈良県奈良市	2測線,測線長:222m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
15	地盤探査(天理)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	奈良県天理市	1測線,測線長:118m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
16	地盤探査(北海道)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	北海道札幌市	1測線,測線長:140m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
17	地盤探査(北海道2)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	北海道札幌市	1測線,測線長:123m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
18	地盤探査(奈良)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	奈良県奈良市	1測線,測線長:120m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
19	地盤探査(吹田)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	大阪府吹田市	3測線,測線延長:208m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
20	地盤探査(敦賀)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	福井県敦賀市	1測線,測線長:177m	小口径推進ルート沿いの地盤調査
21	地盤探査(福岡)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	福岡県福岡市	3測線,測線延長:150m	シーラトンネル立坑付近の基礎岩分布状況把握
22	地盤探査(仙台)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	宮城県仙台市	1測線,測線長:140m	シーラトンネルルート沿いの地盤調査
23	地盤探査(東京)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	東京都中野区	1測線,測線長:200m	シーラトンネルルート沿いの地盤調査
24	地盤探査(横浜)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	神奈川県横浜	1測線,測線長:150m	シーラトンネルルート沿いの地盤調査
25	地盤探査(和歌山)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	和歌山県和歌山市	1測線,測線長:139.5m	小口径推進ルート沿いの地盤調査

<参考資料2> 表 地盤調査手法の適用実績 - 浅層反射法 (2)

1992～1999 年、資料：独立行政法人産業技術総合研究所 HP

No.	件名(題目)	方法	場所	調査手法	調査概要・目的
26	火力発電所予定地S波反射法調査	弾性波探査(S波反射法)	和歌山県和歌山	測線延長:400m	火力発電所予定地近傍における地質構造およびS波速度構造を求める
27	神戸市における浅部地下地質総合調査	弾性波探査(P波・S波反射法,S波・P波VSP), 検層(PS波速度)	兵庫県神戸市中央区	測線延長:400m(P波反射法),600m(S波反射法),360m(S波VSP,P波VSP),総長:360m(PS検層)	1995年兵庫県南部地震に関する総合調査
28	活構造探査のための試行実験(1)	弾性波探査(SH波主体の反射法)	秋田県南秋田県大潟村	測線延長:300m	活構造などの浅部構造探査への適用性を評価するためSH波の反射法弾性波探査実験を実施
29	関西国際空港敷地におけるS波反射法地盤探査	弾性波探査(S波反射法)	大阪府	1測線,測線長:400m	埋め立て地盤の下位に認められる沖積粘土層の深度と層厚の変化を推定する
30	奈良東縁断層系の活動性調査	弾性波探査(P波およびS波反射法)	奈良県奈良市・天理市	P波:5測線,測線延長7,760m(1,200m,400m,4,100m,860m,1,200m),S波:4測線,測線延長1,019m(120m,400m,168m,331m)	奈良盆地東縁の活断層の活動履歴を明確にするためのトレンチ調査地点の選定資料
31	生駒断層の活動性に関する調査	弾性波探査(反射法)	大阪府四條畷市・八尾市・羽曳野市	P波:3測線,測線延長3,900m(A1,000m,B1,500m,C1,400m),S波:2測線,測線延長	生駒断層の通過位置並びに累積変化の評価のためのトレンチ調査地点の位置の選定
32	金剛断層の活動性調査	弾性波探査(P波およびS波反射法)	奈良県北葛城郡新庄町	P波:2測線,測線延長3,775m(1,710m,2,065m),S波:2測線,測線延長420m(240m,180m)	金剛断層の通過位置並びに累積変化の評価のためのトレンチ調査地点の位置の選定
33	兵庫県地域活断層調査(六甲断層帯)業務	弾性波探査(反射法,P波バイプレーター・P波インパクトター,S波)	兵庫県神戸市・芦屋市・西宮市・宝塚市伊勢町	波インパクトター4,205m(1,340m,1,650m,1,15m),S波:150m	六甲断層帯の性状や活動性の評価のためのトレンチ調査地点の位置の選定
34	神戸市地域活断層調査業務	弾性波探査(反射法,P波インパクトター)	兵庫県神戸市長田区及び兵庫区	2測線,測線延長:2,660m(P波2,310m,S波350m)	神戸市地区の断層通過位置並びに断層による累積変位の評価,ボーリング調査の位置選定
35	徳島引田線道路局部改良事業(地方特定)	弾性波探査(反射法,S波)	徳島県鳴門市	2測線,測線延長:450m(A300m,B150m)	中央構造線の位置及び構造を推定し,耐震を考慮した擁壁・補強土形式選定の資料を作成
36	一級河川正連寺河川排水渠等築造工事地盤改良確認調査	弾性波探査(S波反射法(坂叩き法))	大阪府大阪市此花区伝法2丁目	測線延長:310m,受信点間隔:0.5m,起振点間隔:1.0m	地下因築建設に伴う地盤改良前の2次元連続地質資料を得る
37	八郎潟干拓地における反射法探査実験(1)	弾性波探査(主としてSH波反射法)	秋田県南秋田郡大潟村	測線延長:300m	活断層探査を意図した反射法探査のための予備実験
38	八郎潟干拓地における反射法探査実験(4)	弾性波探査(SH波探査)	秋田県南秋田郡大潟村	測線延長:約500m	前年8月のSH波反射実験の再測と探査域の拡張による浅部断層構造の解明
39	布引山地東縁断層調査	弾性波探査(浅層および極浅層反射法(S波を含む))	三重県亀山・津・久居市	P波浅層:2測線,P波極浅層:2測線,S波極浅層:1測線	布引山地東縁断層帯の前縁断層とされる4断層の存在と性状を調べる
40	布引山地東縁断層調査	弾性波探査(ミニバイブ,ドロップヒッター,坂たたき,反射法)	三重県亀山・津・久居市	P波浅層探査:2測線,P波極浅層探査:2測線,S波極浅層:1測線	布引山地東縁断層帯の前縁断層とされる4断層の存在と性状を調べる

＜参考資料 2＞ 表 地盤調査手法の適用実績 - 浅層反射法 (3)

1992～1999 年、資料：独立行政法人産業技術総合研究所 HP

No.	件名(題目)	方法	場所	調査手法	調査概要・目的
41	高分解能S波反射法計測作業	弾性波探査(S波反射法)	新潟県西蒲原郡巻 西川町	2測線	地質構造の調査
42	石狩低地東縁断層帯極浅層反射法地震探査早来測線	弾性波探査(極浅層反射法、S波・ミニバイブ)	北海道勇払郡早来町富岡	1測線、測線長:0.5km、起振・受振点間隔:2m	馬追断層aの性状を探り、周囲の第四系(沖積層・火山灰層・段丘堆積物)の変位状況を解明
43	石狩低地東縁断層帯極浅層反射法地震探査泉郷測線	弾性波探査(極浅層反射法、S波・ミニバイブ)	北海道千歳市泉郷	1測線、測線長:0.5km、起振・受振点間隔:2m	泉郷断層の性状を探り、その周囲での段丘堆積物の変位状況、すれの規模などを解明
44	川崎市地下構造調査	弾性波探査(反射、屈折、S波、バイブレータ、インパクトター)	神奈川県川崎市	反射法160点、屈折法3点、S波100点、反射法測線長:16km、S波測線長:500m	地震動の予測、地震防災計画策定を目的とし、都市部を含む堆積平野にて深部構造の資料を得る
45	千葉県地下構造調査	弾性波探査(反射法、屈折法、バイブレータ、インパクトター)	千葉県船橋市～我孫子市	反射法157点、屈折法4点、S波100点、測線延長:17.95km、S波1km	千葉県西部の基礎地盤構造、P波・S波の速度構造等を調査し、地震防災対策の基礎資料を得る
46	一般河川正蓮寺川河川排水渠築造工事(北港新橋上流その3)	弾性波探査(S波反射法)、検層(PS)	大阪府大阪市此花区	反射法測線長:200m、測線長200m、受振点間隔1m、検層総長32m	地盤改良効果の判定
47	上町断層系住之江橋曲の反射法弾性波探査	弾性波探査(反射法、油圧式S震源)	大阪府堺市築港八幡町	1測線、測線長:310m	撓曲軸部の正確な通過位置、最近の活動評価、ならびに累積変位量を解明する
48	一般河川正蓮寺川河川排水渠等築造工事(北港新橋上流その3)	弾性波探査、S波浅層反射法、板叩き、ジオフォーン、PS検層	大阪府大阪市此花区	反射:110m×1測線、25m×4測線、測線延長:210m、発振点間隔:1.0m、受振点:0.5m、検層:1孔、孔長:24m、測点間隔:0.5m	弾性波を用いた調査により正蓮寺川改修に伴う地盤改良工事の改良効果を判定するための基礎資料を得ることを目的に、地盤改良後にS波反射法地震探査とPS検層を実施
49	太田断層SH波反射法地震探査	弾性波探査(反射法、震源(カケヤ)、受振装置(ジオフォーン))	秋田県仙北郡太田町	測線長:295km、発振点間隔:5m、受振点間隔:2.5m	太田断層でSH波を用いた浅部反射法地震探査を行い、地表断層の位置からの延長部を明らかにする
50	鴨川低地断層帯に関する調査	電気探査(高密度、4極法)、弾性波探査(反射法、S波・バイブレータ)	千葉県安房郡富山町	電気探査(2測線、測線延長:160m)、弾性波探査(測線長:150m、発振点間隔:2m、受振点間隔:1m)	鴨川低地断層の存在と性状を把握する
51	富山県活断層調査(と波断層帯)	弾性波探査(S波極浅層反射法)	富山県福光町	法林寺測線長:150m、受振点間隔:1m	活断層の分布および周辺の地質構造の探

＜参考資料 2＞ 表 地盤調査手法の適用実績 ― 計測ボーリング (ロータリーサウンディング) (1)
1988～1999 年、資料：ロータリーサウンディング協会

No.	件名(題目)	方法	場所	調査手法	調査概要・目的
1	関東地方建設局関東技術事務所	ロータリーサウンディング	東京都大田区羽田	—	DJM (セメント系固化材)
2	関東地方建設局関東技術事務所	ロータリーサウンディング	東京都大田区羽田	—	DJM (セメント系固化材)
3	九州地方建設局九州技術事務所	ロータリーサウンディング	佐賀県鹿島市	—	DJM (石灰系固化材)
4	民間	ロータリーサウンディング	東京都江東区木場	—	デノコラム
5	ソイルセメント合成鋼管杭工法施工委員会	ロータリーサウンディング	大阪府茨木市	—	ソイルセメント合成鋼管杭
6	民間	ロータリーサウンディング	東京都北区赤羽台	—	SMW (スラリー状セメントミルク)
7	関東地方建設局関東技術事務所 九州地方建設局九州技術事務所	ロータリーサウンディング	建設省土木研究所構内	—	テストピース (セメント系固化材) テストピース (石灰系固化材)
8	関東地方建設局関東技術事務所	ロータリーサウンディング	東京都大田区羽田	—	DJM (セメント系固化材)
9	ロータリーサウンディング委員会	ロータリーサウンディング	建設省土木研究所構内	—	テストピース (セメント系固化材) テストピース (石灰系固化材)
10	九州地方建設局九州技術事務所	ロータリーサウンディング	佐賀県鹿島市	—	DJM (石灰系固化材)
11	(社)コンクリートパイル建設技術協会	ロータリーサウンディング	茨城県鹿島郡総和町	—	自然地盤
12	民間	ロータリーサウンディング	東京都江東区東陽町	—	デノコラム (セメント系固化材)
13	民間	ロータリーサウンディング	静岡県藤枝市	—	スーパージェット
14	自社研究	ロータリーサウンディング	千葉県千葉市稲毛区	—	CGR改良地盤
15	自社研究	ロータリーサウンディング	東京都江東区東陽町	—	コラムジェット
16	関東地方建設局関東技術事務所	ロータリーサウンディング	埼玉県戸田市	—	DJM (セメント系固化材)
17	民間	ロータリーサウンディング	神奈川県横浜市鶴見区	—	スーパージェット
18	民間	ロータリーサウンディング	東京都江東区臨海副都心	—	CDM (セメント系固化材)
19	民間	ロータリーサウンディング	神奈川県藤沢市	—	DJM (セメント系固化材)
20	北陸地方建設局長岡国道工事事務所	ロータリーサウンディング	新潟県三島郡和島村	—	DJM (セメント系固化材)
21	首都高速道路公団湾岸線建設局	ロータリーサウンディング	東京都大田区羽田	—	DJM (セメント系固化材)
22	自社研究	ロータリーサウンディング	茨城県茨城県茨城町	—	DJM (セメント系固化材)
23	民間	ロータリーサウンディング	千葉県成田市	—	薬液注入
24	関東地方建設局江戸川工事事務所	ロータリーサウンディング	千葉県成田市	—	DJM (セメント系固化材)
25	総合技術開発プロジェクト(建築研究所)	ロータリーサウンディング	鹿児島県鹿児島市	—	デノコラム (セメント系固化材)
26	首都高速道路公団	ロータリーサウンディング	東京都板橋区	—	薬液注入 自然地盤
27	総合技術開発プロジェクト(建築研究所)	ロータリーサウンディング	茨城県土浦市	—	PROP
28	総合技術開発プロジェクト(建築研究所)	ロータリーサウンディング	建設省建築研究所構内	—	アスコラム浅層改良 (セメント系固化材) RMコラム浅層改良 (セメント系固化材)
29	総合技術開発プロジェクト(建築研究所)	ロータリーサウンディング	静岡県清水市	—	PROP
30	(財)土木研究センター	ロータリーサウンディング	埼玉県浦和市	—	DJMハイコラム (セメント系固化材)

＜参考資料2＞ 表 地盤調査手法の適用実績 - 計測ボーリング (ロータリーサウンディング) (2)

1988～1999年、資料：ロータリーサウンディング協会

No.	件名(題目)	方法	場所	調査手法	調査概要・目的
31	建設省土木研究所(動土質研究室)	ロータリーサウンディング	建設省土木研究所構内	—	テストピース(セメント系固化材)
32	総合技術開発プロジェクト(建築研究)	ロータリーサウンディング	建設省建築研究所構内	—	テコラム(セメント系固化材)
33	建設省土木研究所	ロータリーサウンディング	群馬県館林市	—	CDM(セメント系固化材)
34	(財)土木研究センター	ロータリーサウンディング	埼玉県浦和市	—	CDM(セメント系固化材)
35	総合技術開発プロジェクト(建築研究)	ロータリーサウンディング	神奈川県伊勢原市	—	テコラム(セメント系固化材)
36	建設省土木研究所	ロータリーサウンディング	建設省土木研究所構内	—	テストピース(セメント系固化材)
37	RS協会	ロータリーサウンディング	建設省土木研究所	—	テストピース(セメント系固化材)
38	関東地方建設局利根川上流工事務	ロータリーサウンディング	埼玉県羽生市	—	DJM(セメント系固化材)
39	民間	ロータリーサウンディング	宮城県宮城郡松島町	—	テストピース(セメント系固化材)
40	建設省土木研究所	ロータリーサウンディング	埼玉県川口市	—	CDM(セメント系固化材)
41	建設省土木研究所	ロータリーサウンディング	大阪府枚方市	—	CDM(セメント系固化材)
42	関東地方建設局常陸工事事務所	ロータリーサウンディング	茨城県ひたちなか市	—	DJM(セメント系固化材)
43	房総導水路建設部幹線既設水路改修第1・2区工事 改良地盤のRS調査	ロータリーサウンディング	—	削孔長3-4m, 施工本数13本 総削孔長46m	改良体の品質管理 quとの比較
44	回転貫入サウンディングによる深層混合処理地盤の品質評価	ロータリーサウンディング	東京都	削孔長12m, 施工本数20本 総削孔長240m	高圧噴射攪拌杭の品質評価
45	自社研究	ロータリーサウンディング	—	削孔長7.5-9.5m, 施工本数13本 総削孔長113.5m	DJM工法改良体強度確認
46	平成10年度 堤新田道路改良舗装工事	ロータリーサウンディング	山形県	削孔長28.3m, 施工本数2本 総削孔長56.6m	DJM工法改良体強度確認
47	ロータリーサウンディングによる深層混合処理地盤の強度検討業務	ロータリーサウンディング	—	削孔長7.5-9.5m, 施工本数2本 総削孔長19.5m	DJM工法改良体強度確認
48	ロータリーサウンディングによる深層混合処理地盤の強度検討業務	ロータリーサウンディング	—	削孔長22.0m, 施工本数4本 総削孔長88.0m	—
49	川島インター改良その4工事 粉体噴射攪拌(DJM)改良工事に伴うロータリーサウンディング調査	ロータリーサウンディング	—	—	—

<参考資料 3> 反射法探査実施における留意事項

1. 鉛直分解能

鉛直分解能とは、地中の二つの隣接した異なる物性境界が独立の反射面として分離できる最小の間隔と定義される（一般には垂直分解能と呼ばれるが、地表がほぼフラットであると想定して鉛直分解能と表記する）。

鉛直分解能は、弾性波の波長に依存する。波長は

$$\lambda = V/f \quad \lambda : \text{波長、} V : \text{地盤速度、} f : \text{地盤を伝播する波の周波数}$$

で表される。従って反射法地震探査の場合、波が地中の水平な物性境界に対して垂直に入射し、垂直に反射した場合を仮定すると、鉛直分解能は地盤を伝播する波の周波数、地盤の速度のみに依存する。

図(1)に周波数成分による鉛直方向の分解能の図を示す。図の縦軸は往復走時（秒）、左端には反射系列を示している。往復走時 150ms には反射係数 a の反射面が、往復走時 350ms, 370ms には反射係数 $a/2$ の反射面が、往復走時 550ms, 570ms には反射係数 $a/2$ の符号の異なる反射面がある。

ここで地盤速度を 200m/s と仮定すると、往復走時 350ms, 370ms の反射面の間隔及び 550ms, 570ms の反射面の間隔は 2m となる。図では、周波数が 35Hz 未満になると往復走時 350ms, 370ms の反射波は 2 枚の反射面として分解することができなくなり、往復走時 550ms, 570ms の反射波はピークが反射面の位置と一致せず、結果として反射面の深度の決定精度が低下する。一般的に鉛直分解能は波長の 1/4 程度とされている。

鉛直分解能を向上させるためには、

① 地盤伝播速度の遅い S 波を振源として使用する

（地下浅部では P 波速度と比較して S 波速度は 1/5 から 1/10 程度となる）

地盤の飽和度に依存しない S 波を振源として使用する

（P 波では飽和した地盤では速度が 1500m/s となり、鉛直分解能が低下する）

② 地盤を伝播する波の周波数を向上するために、最適な振源を考慮する

の 2 点が挙げられる。

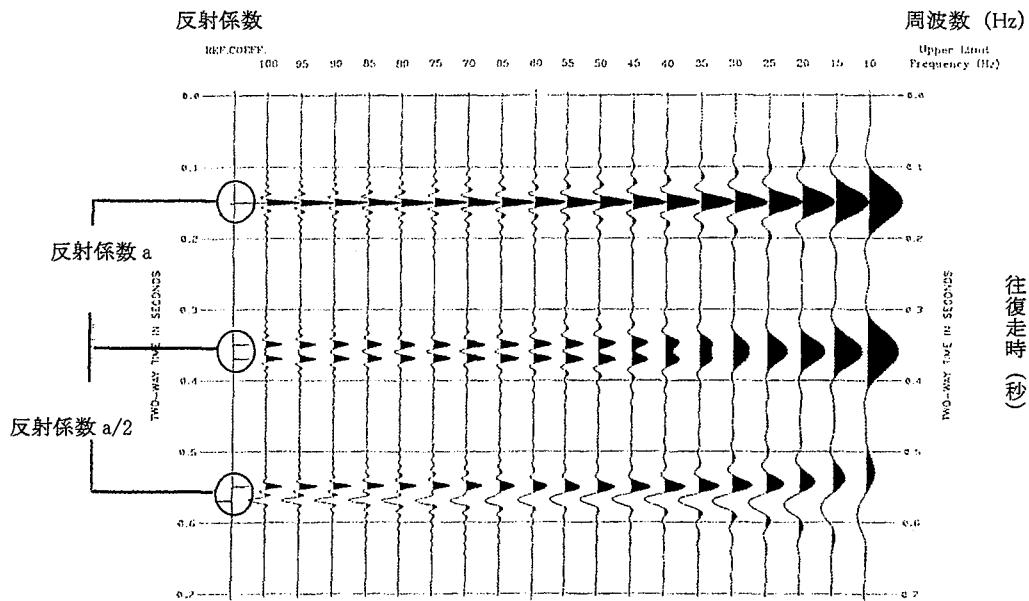
また、S 波探査で起振源として使用される振源タイプとしては、

- ・パルス型振源（板たたき振源）
- ・バイブレータ型振源

に大きく分けられる。

両者の大きな相違点は、前者が発振周波数の周波数帯域が狭く限られているのに対し、後者が発振周波数をコントロールできる点にある。発振周波数をコントロールすることにより地盤に応じて最適な波を発振できるため、高分解能な結果が得られると期待される。

鉛直分解能を向上させる条件②にあげた地盤を伝播する波の周波数を向上させることを考慮すると、バイブレータ型振源を使用することは、より多くの状況に対応できる振源と考えられる。パルス型（板たたき）振源では発振周波数の周波数帯域が狭く限られているため、鉛直分解能の向上には限界があるが、振源の大きさ等を考慮し、高周波な波が発生するような工夫をする必要がある。



図(1) 周波数成分による鉛直方向の分解能

2. 水平分解能に関して

水平分解能とは、地下に隣接した二つの物体を独立したものととして分離できる最小の間隔と定義される。

地下に隣接する二つの物体の距離がある間隔以下になると独立したものととして分離することは困難となる。この隣接する二つの物体を独立したものととして分離するための距離の定義としてフレネルゾーンの概念を導入する。

図(2)に示すように、深さ Z_0 に水平な反射面が存在するとき、点 P からの散乱波と点 A からの散乱波は干渉して加算的に強め合い、結果的に点 A から点 A' までの範囲からの散乱波が重ね合わされて点 O で反射波として観測される。この距離 AP をフレネルゾーン半径と呼ぶ。フレネルゾーン半径は

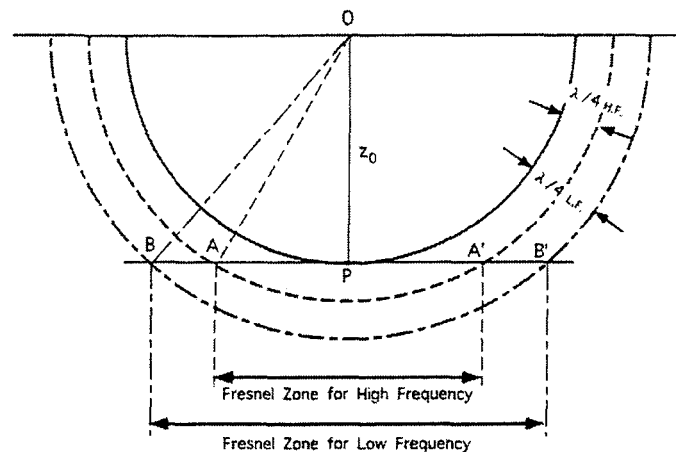
$$r_x = (Z_0 \cdot \lambda / 2)^{1/2} \quad r_x: \text{フレネルゾーン半径、} Z_0: \text{反射面深度、} \lambda: \text{波長}$$

で表される。

隣接した二つの物体の距離がフレネルゾーン半径 r_x よりも短くなると、この二つの物体は独立したものととして分離することが困難となる。

上述式からもわかるように、波長が短くなるほどフレネルゾーン半径は小さくなり、結果として水平分解能が向上することがわかる。

地下 50m にある反射面からの反射波の周波数が 50Hz とし、地盤速度を 200m/s とすれば波長は 4m、フレネルゾーン半径は約 10m となり、鉛直分解能と比較して分解能的に劣ることがわかる。しかし、これは CDP 重合断面に対して定義されているため、マイグレーション後の断面ではフレネルゾーンよりも小さくなっている。



図(2) フレネルゾーンの概念

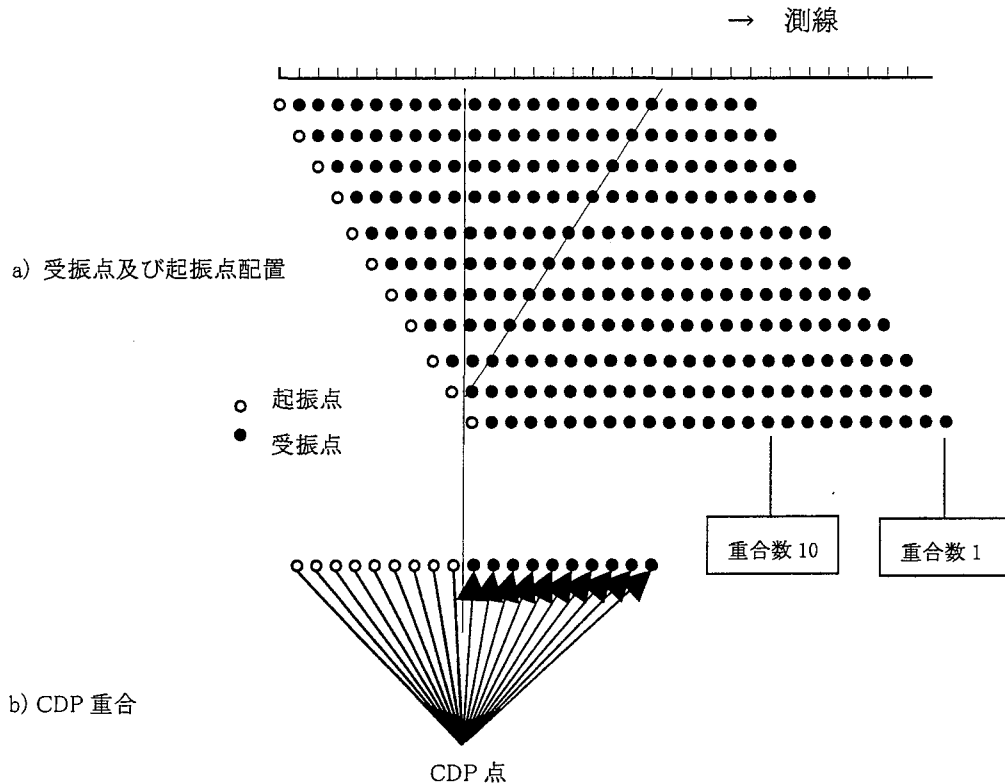
3. 探査パラメータ及び探査ジオメトリ

反射法探査を実施するにあたり、探査を実施する上での留意事項を以下の各項目について示す。

- ① 測線配置（測線長を含む）
- ② 振源のタイプの選定
- ③ 起振点・受振点間隔の設定
- ④ 受振点最小オフセットの設定
- ⑤ 受振点最大オフセットの設定
- ⑥ 鉛直重合数の設定
- ⑦ 記録長の設定
- ⑧ 発振周波数の設定（バイブレータ振源のみ）

① 測線配置（測線長を含む）

- ・ 極力平坦な場所に測線を設ける。
- ・ 地表が人工的に盛土等改良されている場所は、波の減衰が大きくなることが予測されるので測線の配置を避ける。
- ・ 地下埋設物（上下水道管等）直上に測線を配置すると、この影響が記録に悪影響を及ぼす可能性がある。従って、調査前に地下埋設物の確認を行い、直上には測線を極力設置しない。
- ・ 推定される地質構造の地質の走向になるべく直交するように設置する。
- ・ 測線長は探査深度・探査対象範囲に依存する。⑤に記すよう、受振器最大オフセットは探査深度とされているため、測線長も最低でも探査深度程度は必要となる。また、データ収録方法により測線始点・終点ではCDP重合数が低下するため、探査対象範囲よりも長く測線を設定する必要がある（図(3)）。



図(3) CDP 重合概念図

② 振源のタイプの選定

- ・振源の波動タイプとしてはS波を用いることにより、高分解能な結果が期待される。
- ・S波振源としては、パルス型・バイブレータ型があるが、一般的にバイブレータ型振源は発振周波数のコントロールができるためより多くの状況に対応できるとされ、また高分解能な結果が得られると期待される。パルス型振源は発振周波数の周波数帯域が狭く限られているため分解能改善について限界はあるが、振源の大きさ等を考慮し高周波成分の波を発生させる検討をする必要がある。

③ 起振点・受振点間隔の設定

- ・一般的に起振点間隔・受振点間隔は同じとすることが多い。これはある測定位置でのCDP重合数を多くすることが目的とされる。
- ・受振点間隔は、トレース間の空間的エリアシングを考慮する必要がある。

空間的エリアシングは

$$\Delta x > V/2\Delta f$$

で発生する。ここで x はトレース間隔（受振点間隔）、 V は地盤速度、 f は周波数を示す。測定においては、空間的エリアシングを起こさないような測定ジオメトリで測定する必要がある。

表(1)に地盤速度、卓越周波数から計算されるエリアシングを発生する最小トレース間隔を示す。地盤速度 200m/s で卓越周波数が 70Hz の場合、トレース間隔（受振点間隔）2m とすると、空間的エリアシングが起きることがわかる。

表(1) 速度・周波数と空間的エリアシングの関係

V_s f_{pred}	50m/s	100m/s	150m/s	200m/s	250m/s	300m/s	350m/s	400m/s	450m/s	500m/s
10Hz	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00
20Hz	1.25	2.50	3.75	5.00	6.25	7.50	8.75	10.00	11.25	12.50
30Hz	0.83	1.67	2.50	3.33	4.17	5.00	5.83	6.67	7.50	8.33
40Hz	0.63	1.25	1.88	2.50	3.13	3.75	4.38	5.00	5.63	6.25
50Hz	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
60Hz	0.42	0.83	1.25	1.67	2.08	2.50	2.92	3.33	3.75	4.17
70Hz	0.36	0.71	1.07	1.43	1.79	2.14	2.50	2.86	3.21	3.57
80Hz	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.88	2.19	2.50	2.81	3.13
90Hz	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.94	2.22	2.50	2.78
100Hz	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
150Hz	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.17	1.33	1.50	1.67
200Hz	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.13	1.25

④ 受振点最小オフセットの設定

- ・受振点の最小オフセットは、ゼロオフセット時における往復走時が把握できる点から 0m とすることが理想であるが、振源に起因する表面波等のノイズが卓越する場合がある。このような時は、振源に近いオフセットのデータを収録することが S/N の低下を招くこともある。この点も踏まえ、パラメータテストを行うことで最適なオフセットを決定する。

⑤ 受振点最大オフセットの設定

- ・受振点の最大オフセット（展開長）は一般的に探査深度程度を目安とする。しかし、軟弱層の場合等では横方向の速度変化が大きい場合があるため、むやみに展開長を長く取ることにより解析精度が低下することが考えられる。このような場合はパラメータテストを実施することで最適な最大オフセット長を決定する。

⑥ 鉛直重合数の設定

- ・鉛直重合数は、探査場所の周囲の環境に大きく依存する。探査地周辺の交通量が多い場合は、鉛直重合数を増やすことによりランダムノイズの影響を軽減し、S/N の向上を図る。パラメータテストを実施して鉛直重合数を決定するが、

$$S/N \text{ 比の改善} = \sqrt{\text{鉛直重合数}}$$

とされる。鉛直重合数を 4 回とすると、S/N 比の改善は 2 倍となる。

作業効率と S/N 向上とのバランスを考える必要がある。

⑦ 記録長の設定

- ・記録長は、探査深度を十分カバーするような記録長とする。

⑧ 発振周波数の設定（パイブレータ振源のみ）

- ・パイブレータ振源の場合、鉛直分解能を向上することを目的として発振周波数を任意に設定することができる。鉛直分解能は波長の 1/4 程度が目安とされている ($\lambda = V/f$ λ : 波長、 V : 地盤速度、 f : 周波数)。

表(2)は S 波速度、卓越周波数から計算される波長を示す。表より、地盤速度が 200m/s の場合、卓越周波数が 50Hz 以上でなければ 1m の薄層を検出することが困難であることがわかる。これらの点を踏まえ、パラメータテストによりパイブレータ型振源の発振周波数を設定する必要がある。

表(2) 速度・周波数と波長の関係

f_{pred}	V_s	50m/s	100m/s	150m/s	200m/s	250m/s	300m/s	350m/s	400m/s	450m/s	500m/s
10Hz		5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00
20Hz		2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00
30Hz		1.67	3.33	5.00	6.67	8.33	10.00	11.67	13.33	15.00	16.67
40Hz		1.25	2.50	3.75	5.00	6.25	7.50	8.75	10.00	11.25	12.50
50Hz		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
60Hz		0.83	1.67	2.50	3.33	4.17	5.00	5.83	6.67	7.50	8.33
70Hz		0.71	1.43	2.14	2.86	3.57	4.29	5.00	5.71	6.43	7.14
80Hz		0.63	1.25	1.88	2.50	3.13	3.75	4.38	5.00	5.63	6.25
90Hz		0.56	1.11	1.67	2.22	2.78	3.33	3.89	4.44	5.00	5.56
100Hz		0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
150Hz		0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33
200Hz		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50

(参考資料)

「物理探査摘要の手引き(とくに土木分野への利用)」、物理探査学会物理探査要領作成委員会、
2000 年 3 月

< 参考資料 4 > 表 高層建築物における支持層一覧表(直接基礎)

番号	建設地		基礎底深 (GL-m)	支持層	支持層の深さ (GL-m)	支持層のN値
1	横浜市	西区	24.0	固結シルトと砂層の互層	6.1～210.0	50以上
2	東京都	新宿区	20.0	砂礫層	17.9～	50以上
3	東京都	渋谷区	20.5	東京礫層	16.5～25.4	50以上
4	東京都	新宿区	28.0	東京礫層	28～43	50以上
5	東京都	豊島区	23.0	東京層		
6	東京都	渋谷区、新宿区	28.4	東京礫層、砂礫	26～32	50以上
7	東京都	新宿区	27.5	砂礫	27～31	50以上
8	東京都	新宿区	20.0	東京礫層		50以上
9	東京都	新宿区	28.0	下部東京層の礫層		50以上
10	東京都	新宿区	20.5	東京礫層	20～24	50以上
11	大阪市	中央区	22.6	砂	21.0～36.0	42～60以上
12	東京都	中央区	30.5	東京層(洪積砂・砂礫層)	26.5～34.5	26～60
13	東京都	新宿区	26.7	東京礫層	25～32	50以上
14	東京都	千代田区	28.3	洪積世江戸川層 細砂	20～77	50以上
15	東京都	港区	24.4	土丹層	22～	50以上
16	東京都	新宿区	26.9	東京礫層	24.7～32.0	50以上
17	東京都	新宿区	19.8	東京礫層	20～	50以上
18	東京都	渋谷区	34.3	固結シルト	25.3～	50以上
19	東京都	新宿区	23.0	砂礫層	22.2～	50以上
20	東京都	目黒区、渋谷区	27.0	土丹	26.0～	50以上
21	東京都	港区	22.2	東京層	10～24	5～50以上
22	横浜市	西区	32.5	上総層群	16～	50以上
23	東京都	港区	18.6	東京礫層	18.0～22.0	50以上
24	東京都	港区	19.4	江戸川層～上総層群	15.0～	30～50以上
25	東京都	新宿区	23.8	砂礫層		50以上
26	大阪市	中央区	15.1	中間砂層	15～19	50以上

資料 (財)日本建築センター建築評定シート(ビルディングレター)等をもとに国土庁作成。
三大都市圏に立地する高層評定にかけられた建築物のうち、軒高150m以上の建築物及び
軒高100m以上150m未満で地下室のないものを対象とした。但し展望塔などを除く。

注1 N値は支持層全体のものであり、基礎底位置におけるN値ではない。

注2 換算N値等によるものは、N値50を上限として表記。

注3 空欄は上記資料において記載のないもの。

資料：大深度地下使用技術指針・同解説

(国土交通省 都市・地域整備局企画課 大深度地下利用企画室)

＜参考資料 4＞ 表 高層建築物における支持層一覧表(くい基礎)

番号	建設地	基礎底深 (GL-m)	支持層	支持層の深さ(GL-m)	支持層のN値	杭先端深さ(GL-m)	根入れ長(m)
1	大阪府 泉佐野市	12.7	大阪層群(粘土質砂)	61～66	20～60	62～65	1～4
2	大阪府 泉佐野市	12.5	大阪層群(粘土質砂)	66.5～71.5	20～60	67～69	0.5～3.5
3	大阪府 住之江区	16.3	沖積砂層	63～68	33～60	64.5	1.5
4	名古屋市中村区	23.8	Dm-gl(礫層)	42.5～58.0	47～50以上	43.8	1.3
5	東京都中央区	23.4	東京礫層	28～30	50以上	29	1.5
6	大阪府 港区	17.5	洪積第二砂礫層	50.6～	50以上	54	3.4
7	埼玉県 川口市	8.3	砂礫	43.2～	29～50以上	47.4	4.25
8	大阪府 北区	15.7	洪積第一砂層(天満層),洪積第二砂層	28.6～37.6, 44.9～66.4	高層概ね50以上	30および48	1.5
9	大阪府 北区	21.3	礫質土, 砂質土	25.1～36.6, 45.1～49.4	礫質土12～60以上, 砂質土18～60以上	27.0, 47.0	1.9
10	千葉市 美浜区	11.7	洪積砂層(支持層)	30～46	50以上		3m以上
11	東京都中央区	19.0	埋没段丘礫層:洪積層	36.6～49.7	28～50	46	9
12	大阪府 北区	16.5	細砂層	34～40	50以上	37	1
13	大阪府 北区	11.1	砂混じり礫	28～35	50以上	28	0
14	東京都 江東区	15.4	江戸川層上部	41.0～	50	49	8
15	名古屋市中北区	4.8	第二礫層 砂礫	16.1～31.8	25～50以上	25.8	9.7
16	東京都 中央区	15.1	東京礫層, 砂礫	33.3～35.6	50以上	34.0	0.7
17	大阪府 港区	11.4	洪積第二砂礫層	49.8～	50以上	54	4.2
18	大阪府 中央区	10.7	砂～砂礫層	24～33	50以上	27.0, 29.0	1～3
19	大阪府 中央区	11.2	砂質土(Ds1)	18～25	50以上	18.5～21.5	1
20	大阪府 平野区	9.0	砂礫(洪積層)	44.3～50.4	30～60以上	46.5	1.3
21	大阪府 都島区	6.5	砂	23.6～31.5	4～50以上		4
22	大阪府 都島区	6.5	砂れき	25.2～31.0	30～50以上		4
23	埼玉県 与野市	9.0	砂礫、礫混じり粗砂	43～	11～70以上	46.5	2
24	埼玉県 富士見市	4.2	粘土質砂礫(東京層)	30.7～44.9	50以上	33	2.3

資料 (財)日本建築センター建築評定シート(ビルディングレター)等をもとに国土庁作成。

三大都市圏に立地する高層評定にかけられた建築物のうち、軒高150m以上の建築物及び軒高100m以上150m未満で地下室のないものを対象とした。但し展望塔などを除く。

注1 場所打ち杭及び連続地中壁杭を使用している建築物を記載。

注2 N値は支持層全体のものであり、杭先端位置におけるN値ではない。

注3 換算N値等によるものは、N値50を上限として表記。

注4 空欄は上記資料において記載のないもの。

資料：大深度地下使用技術指針・同解説 (国土交通省 都市・地域整備局企画課 大深度地下利用企画室)