

社会基盤情報標準化委員会
地盤データ品質標準化小委員会 報告書

三次元地質・地盤モデルの利活用と
不確実性の評価・明示

令和元年 6 月
地盤データ品質標準化小委員会

はじめに

地盤は自然の営力によって形成される。地震や火山活動によってダイナミックに造り出される岩体が、気温や湿度の繰り返される変動や風雨の影響によって劣化、風化して崩壊し、発生する土砂が低地を埋めていくという過程を繰り返す。そのため、地下は不均質、非一様であるのが常態であり、美しい成層構造をイメージしてはいけない。こうした地盤上に高度に発達した都市が展開し、形状、規模、剛性、強度の異なる構造物が併存する現代において、地盤に関わる問題は多岐にわたり、我々の日常はこうした地盤・構造物系の安定的供用の下に担保されている。

地盤問題は初期値・境界値問題であり、個別の土質材料の物理特性や力学特性のみならず、対象とする地盤の三次元的な形状に強く依存することが知られている。堆積構造や断層運動によって水平に堆積した地層が傾斜したり、局部的削剥をうけたりすることによって、地層構造は三次元的に不均質構造となっているのが一般的である。したがって、地盤工学的諸問題を検討するにあたり、合理的にかつ精度よく作成された三次元地質・地盤モデルの利活用が強く求められる。構造物建設においては地盤の破壊と変形が、防災問題においては地震時の地盤震動と構造物の耐震性や降雨時の斜面の安定性が問題となる。これらはいずれも、素因となる地盤の堆積構造と、誘因となる構造物起源、もしくは地震や降雨などの自然起源の外力との相対的な関係によって支配される。つまり、地盤の堆積構造の把握は地盤工学問題の解決に常に求められる必須条件であるが、見えない領域の構造を表現するという難しい課題として残されている。地下情報の手がかりとして、建設プロジェクトに先立って必ず行われる地盤調査によるボーリング柱状図があげられる。建設プロジェクトは沖積低地を主体とする軟弱地盤が広がる沿岸部に展開する都市部に集中しており、デジタルデバイスの高度化によって現在では地盤情報データベースとして幅広く利活用される環境にある。ボーリング柱状図はある地点における地下の地層構造の正解値を与えるという意味で、地盤構造把握に最も有効な情報ではあり、地盤が水平一様な層構造を有していることが担保されれば1本のボーリング情報で広範囲の地盤をモデル化できる。しかしながら、上述したように、一般には自然地盤は不均質、非一様であって、現実的な地盤のモデルを作成するためには、当該地盤が有する不均質性と非一様性を評価できる程度の情報密度が必要となる。ボーリング地点は水平方向に連続的ではなく、地点間には必ず空白域が存在する。現有の情報のみを用いて地盤モデルを作成することも可能であるし、空白域に追加ボーリングを実施したり、サウンディングや物理探査を実施したりすることで情報を補間、追加することによって地盤のモデルを作成するという方法も考えられる。この時、提示される地盤のモデル間には、使用する情報の質・量の相違によっておのずと品質の差異が存在すると考えられるが、現在のところ、作成された地盤のモデルの品質を

ユーザーがきちんと評価するプロセスが確立されているとは言えない状況にある。

本研究では、作成された地盤のモデルの品質が、モデル作成過程において使用した地盤情報の種類、数、内容に依存することを前提として、作成された地盤のモデルに対してユーザーが品質を評価するために、地盤のモデル作成時において残しておくべき情報を規定する事を目的としている。具体的には、地盤のモデルを作成するためにどのような品質の地盤調査データをどのくらいの量と密度で使用したのかという情報を記載しておく、いわば情報を遡って検証できるトレーサビリティを確保することの必要性を念頭に置いて取りまとめを行った。また、作成されたモデルは完全に対象地盤を再現できるものではなく、使用した情報の質と量、本数や密度、補間手法などによって確からしさに違いが現れる。こうしたモデルの保持する不確実性の評価と明示についても検討した。

地盤のモデルと一言でいっても、求められる内容は目的によって異なる。山岳トンネル建設に対しては、トンネルルート上の岩種、強度、剛性、破碎帯などの情報が必要となるが、事前にすべて地表部からボーリング調査を行うことは事実上不可能であり、切羽から掘削方向への水平ボーリングを行うことによってこれから掘削する部分の地盤情報を得るという方法がとられる。一方、都市部の地震被害想定を行うための地盤のモデルは地表からのボーリングデータを中心に、サウンディングや物理探査の情報を補間材料として用いながら、対象地域全体を網羅的にモデル化し、工学的基盤に所定の地震動を入力することになる。このように、目的に応じて求められるモデル化が異なるため、本報告では、共通的に規定できる情報と目的によって規制される必要情報を区別して記載し、地盤のモデルが活用されるケースを網羅できるように配慮した。また、基本となる地盤調査結果そのものの品質を問うのではなく、地盤のモデルを作成するために利用するためにはどのような品質条件を満足していないといけないかという視点でとりまとめた。

令和元年 7 月
地盤データ品質標準化小委員会
小委員長 三村 衛

目次

はじめに

第 1 章 一般的事項	1-1
1.1 地盤データ品質標準化小委員会の活動背景と目的	1-1
1.2 小委員会の構成	1-3
1.3 小委員会の活動	1-4
1.4 小委員会の検討範囲	1-7
1.5 用語の定義と解説	1-10
第 2 章 地質・地盤モデル利活用の事例検討	2-1
2.1 「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」に基づく地下河川支持地盤の特定	2-3
2.2 関西空港 沈下予測のための地盤モデル作成	2-12
2.3 高圧帯水層の事例 ー北陸新幹線、飯山トンネルー	2-23
2.4 断層破碎帯の事例 ー北陸新幹線、新北陸トンネル	2-36
2.5 鉱化変質岩の事例 ー八甲田トンネル	2-40
2.6 京阪中之島新線	2-49
2.7 地震被害想定	2-54
2.7.1 大阪府被害想定	2-54
2.7.2 千葉県被害想定	2-61
2.8 建築工事における杭施工事例	2-71
2.9 盛土造成宅地	2-74
2.9.1 丘陵地での宅地の開発と造成の基準の変遷	2-74
2.9.2 丘陵地における大規模な宅地の造成方法	2-74
第 3 章 地盤データ品質の明確化とトレーサビリティ	3-1
3.1 モデルの基データの品質トレーサビリティ	3-3
3.1.1 ボーリング柱状図データ	3-3
3.1.2 物理探査結果	3-12
3.1.3 サウンディング結果	3-14
3.1.4 資料調査結果	3-16
3.1.5 写真判読結果	3-18
3.1.6 踏査結果	3-20

3.1.7	地質学的試験結果	3-21
3.2	地質解析にかかわる品質説明項目	3-25
3.2.1	解析結果（データ）に関する品質項目	3-25
3.2.2	地質・地盤モデルとして必要な品質説明項目	3-26
3.3	三次元地質・地盤モデルの品質トレーサビリティ	3-28
3.3.1	三次元地質・地盤モデル作成（共通）	3-28
3.3.2	平野部－土質を対象とした構造物の建設の三次元地質・地盤モデルの品質項目	3-32
3.3.3	山岳部－岩盤を対象とした構造物の建設の三次元地質・地盤モデルの品質項目	3-36
第4章	次工程に引き継ぐための記載フォーマットと記載例	4-1
4.1	三次元地質・地盤モデルの品質管理の基本的な考え方	4-1
4.1.1	データの品質管理	4-1
4.1.2	作成した地質・地盤モデルの品質管理	4-1
4.1.3	品質管理手法としてのワークフロー	4-1
4.2	三次元地質・地盤モデルに関する品質報告書の例（JIS A 0205 品質要求事項を参考として）	4-1
4.2.1	品質報告書の基本構成	4-2
4.2.2	三次元地質・地盤モデルを構成するデータ項目	4-3
4.2.3	三次元地質・地盤モデルを構成するデータ項目の構造	4-3
4.2.4	三次元地質・地盤モデルに付加すべき品質確認項目と表示方法	4-3
4.2.5	その他報告書に盛り込むべき品質管理項目	4-5
第5章	モデル作成における不確実性の評価と明示の例	5-1
5.1	解像度による不確実性の表現	5-1
5.2	透明度による不確実性の表現	5-2
5.3	線種による不確実性の表現（JIS A 0204）	5-7
第6章	今後の課題	6-1

まとめ

－巻末資料－

巻末－1 品質項目洗い出し表の例

巻末－2 基準・規格類における不確実性に係る記述の例－調査密度の目安－

第1章 一般的事項

1.1 地盤データ品質標準化小委員会の活動背景と目的

数年来、三次元地質・地盤モデル構築の需要が増加している。その背景には土木分野への BIM (Building Information Modeling) の浸透がある。BIM for Infrastructure では、地質や地盤の解析結果やリスク情報も三次元モデルとしての表現と管理が求められる。

一方、地質・地盤の三次元モデルは、構造物を表現する実体モデルとは全く質の異なる、不確実性を有する仮想モデルであることに注意が必要である。その特徴としては、事業や作成目的、用途によって表現する事象や手法が異なること、技術者の推論や思想による解釈が含まれていること、解は一つではなく与えられた条件に対して最も妥当なものが提示されているに過ぎないことなどが挙げられる。さらに、地質・地盤モデルの基となるデータ量が限られる場合、モデルの「次元」が拡張されるとその不確実性は増大する。何故なら補間範囲が広がるからである。言い換えると、従来の二次元平面・断面と同等かそれ以上の信頼性を持つ三次元モデルを作成するには、その次元に見合う質と量の基データが必要ということになる。しかし、現在の調査基準や要領は三次元での地質・地盤解析を想定したものになっていない。

このような背景から、三次元地質・地盤モデルを設計、施工、維持管理段階に引き継ぐ、あるいは、第三者に公開するという場合は、その品質（不確実性）を明示し、モデルの利用者がその用途に応じて品質を評価できるようにすることが重要である。なお、地質や地盤のモデルの品質には元データの精度や数量、モデル化アルゴリズム、地質条件など様々な要因が影響する。そのため、品質を定量的に明示することやランク付けすることは極めて難しい。

従来、地質や地盤のモデルを扱う上での課題の提起¹⁾²⁾や個々の事例で作成したモデルの品質についての考察³⁾はなされてきた。また、JIS A 0204⁴⁾では、断層や地層境界などの存在の確かさを示す尺度として存在確実度を、位置の正確さを示す尺度として位置正確度を定義している。しかし、地質や地盤のモデルがもつ品質のトレーサビリティを確保するという視点から具体的な解決法を提案した研究⁵⁾は、ほとんど例がない。

本小委員会は、地質や地盤のモデルを含む様々な地盤データの品質（不確実性）に係る情報を設計・施工・維持管理段階に確実に引き継ぎ、以て地盤リスクのマネージメントに資することを目的として、地盤モデルデータの作成時の品質の明示ならびに利用時の品質

の評価に係る指針・標準を検討した。

なお、本報告書の読者としては、モデルの作成者ならびに設計施工業者や発注者などの地質・地盤モデルの知識のないステイクホルダーを想定している。また、本小委員会の検討結果は（公社）地盤工学会の基準書である「地盤調査の方法と解説」への掲載を最終的な目標としている。

1.2 小委員会の構成

本小委員会は、(公社)地盤工学会アジアテクニカルコミッティ No.10 (Urban Geoinformatics) 委員から構成された。小委員会の構成を表 1.2.1 に示す。

表 1.2.1 小委員会の構成 (令和元年 6 月現在)

	氏名	所属
委員長	三村 衛	京都大学大学院工学研究科 教授
委員	秋山 泰久	国際航業株式会社 防災環境事業部 防災ソリューション部 部長
委員	阿南 修司	国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員 (地質)
委員	江原 竜二	大阪府安威川ダム建設事務所 所長
委員	王寺 秀介	中央開発株式会社 九州支社 支社次長
委員	大井 昌弘	国立研究開発法人防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門 主任研究員
委員	北田 奈緒子	一般財団法人 地域地盤環境研究所 研究開発部門 理事兼部門長
委員	清木 隆文	宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科 准教授
委員	藤堂 博明	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 海外事業本部顧問
委員	中山 俊雄	東京都土木技術支援・人材育成センター 技術支援課 技術情報専門員
委員	濱田 晃之	一般財団法人 地域地盤環境研究所 研究開発部門 地盤情報グループ 主席研究員
委員	原 弘	JR 東日本コンサルタンツ株式会社 技術本部 防災計画部 担当部長
委員	原 昌成	八千代エンジニアリング株式会社 事業統括本部 国内事業部 地質・地盤部 主幹
委員	升本 眞二	大阪市立大学大学院理学研究科 教授
委員	安田 進	東京電機大学 名誉教授 総合研究所客員教授
委員	安田 智広	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 海外東京支店長
委員	吉川 敏之	国立研究開発法人産業技術総合研究所 コンプライアンス推進本部 総括企画主幹 (兼務) 地質情報研究部門 シームレス地質情報研究グループ
委員	和田 里絵	応用地質株式会社 技術本部 技術開発センター 専任職

1.3 小委員会の活動

小委員会の活動期間は、平成 29 年 8 月 1 日～令和元年 6 月 30 日である。2 年間で 12 回の小委員会兼 WG を行った。小委員会兼 WG の開催経緯等は次のとおり。

【第 1 回小委員会】

日時 平成 29 年 9 月 4 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 小委員会の活動方針，体制，検討内容・とりまとめ方針
- (2) 今後のスケジュール

【第 1 回 WG】

日時 平成 29 年 11 月 7 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 品質に係る用語の定義
- (2) 事例紹介「地下河川ルート of 地層判定」江原委員

【第 2 回小委員会兼 WG】

日時 平成 29 年 12 月 13 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 地盤情報の定義，特徴
- (2) 事例検討「地下河川ルート of 地層判定」(品質項目洗い出し)

【第 3 回小委員会兼 WG】

日時 平成 30 年 2 月 2 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 話題提供「物理探査結果の品質確保と適用上の留意点」 斎藤秀樹氏(応用地質(株))
- (2) 事例紹介「関西空港」 北田委員

【第 4 回小委員会兼 WG】

日時 平成 30 年 4 月 17 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 話題提供「3次元地質解析技術コンソーシアムの取り組みについて」西山昭一氏（応用地質（株））
- (2) 事例検討「関西空港」（品質項目洗い出し）

【第5回小委員会兼WG】

日時 平成30年6月5日

場所 京都大学東京オフィス

主な議事

- (1) 事例紹介「鉄道トンネル建設時の地質調査について」佐原圭介氏（鉄道・運輸機構）
- (2) 設計基準における品質項目に関する記載紹介

【第6回小委員会兼WG】

日時 平成30年8月22日

場所 地域地盤環境研究所

主な議事

- (1) 中之島新線および上町断層周辺の地形見学
- (2) 話題提供「京阪中之島線をつくるために」北田委員

【第7回小委員会兼WG】

日時 平成30年10月22日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 話題提供「千葉県地震被害想定における地盤モデル」千葉県防災危機管理部防災政策課 浅尾一巳氏
- (2) 話題提供「(仮題)大阪府地震被害想定における地盤モデル」江原委員

【第8回小委員会兼WG】

日時 平成30年12月4日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 話題提供「地盤情報にもとづく3次元地盤推定技術の設計・施工への適用例」株式会社大林組 東京本社 技術本部技術研究所 地盤技術研究部 高橋真一氏，森尾義彦氏
- (2) 最終成果とりまとめについて

【第9回小委員会兼WG】

日時 平成 31 年 2 月 4 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 話題提供「盛土造成宅地における地盤情報活用」安田進委員
- (2) 最終成果とりまとめについて

【第 10 回小委員会兼 WG】

日時 平成 31 年 4 月 10 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 報告書とりまとめ

【第 11 回小委員会兼 WG】

日時 令和元年 5 月 15 日

場所 基礎地盤コンサルタンツ（株）関西支社

主な議事

- (1) 報告書とりまとめ

【第 12 回小委員会兼 WG】

日時 令和元年 6 月 11 日

場所 地盤工学会

主な議事

- (1) 報告書とりまとめ
- (2) 今後の活動について

1.4 小委員会の検討範囲

地盤データ品質標準化小委員会で検討する「地盤データ」とは、地質や地盤のモデルと、その基となる地盤情報である。これらの「地盤データ」の品質を検討するにあたり、モデルの利用という面から要求されるべき品質を検討した。一般の建設プロジェクトにおいて、地質や地盤のモデル作成には、データ収集のための調査が行われ、そのデータを用いてモデルが作成され、モデルの利用へとつながってゆく。その流れの内、当小委員会が検討した範囲を図 1.4.1 にオレンジ色で示した。

図の左側の、データ収集のための調査としては、地形調査、地質調査、物理探査、力学試験・室内試験等、環境調査、水文・地下水調査、計測・モニタリングなどの野外・室内で行う調査とそれらに関連する資料・文献調査があるが、その手法や精度については資料・文献調査以外は概ね基準が定められており、それらの基準に従っている限り、所定の品質が得られるものと考えられるため、当小委員会の検討範囲外とする。

これらの調査により収集されるデータは多岐に亘り、地形学的データ、地質学的データ、地球物理学的物性値に関するデータ、地盤工学的物性値に関するデータ、環境に関するデータ、地下水に関するデータ、計測データなどがある。それらのデータには、野外や室内での観察結果や測定値などの事実のデータのみならず、仮定や解釈されたデータ（例えば、堆積時代、地層の連続性、地下水位、地形形成史）や、さらには一般に公開されている情報（例えば、ボーリング柱状図、既存の地質断面図）なども含まれる。なお、計測・モニタリングデータについては、そのデータによってモデルの更新が行われることがあるため、当小委員会の検討対象とした。

当小委員会を対象とした「地質や地盤のモデル」とは、地質モデルと地盤モデルの 2 種類ある。地質モデルは二次元から四次元で地層境界や地質を示したモデルであって紙またはコンピュータスクリーン上に表現される。地盤モデルは、地質モデルをベースとして各地層や任意の領域における物性値を含めたモデルである。四次元モデルとは経時変化を示したモデルであり、盛土・埋立・掘削や新たな断層変位によって地形や地層境界が変化する様子を表す。物性値も同様に、例えば含水比、非排水強度、圧密降伏応力のように経時変化するものがある。一般の建設プロジェクトにおいては、地質・地盤モデルを基に設計・解析モデルも作成するが、そういったモデルは構造物の条件、計算手法、解析結果に対する要求精度などに支配される性質のものであり、検討対象外としている。

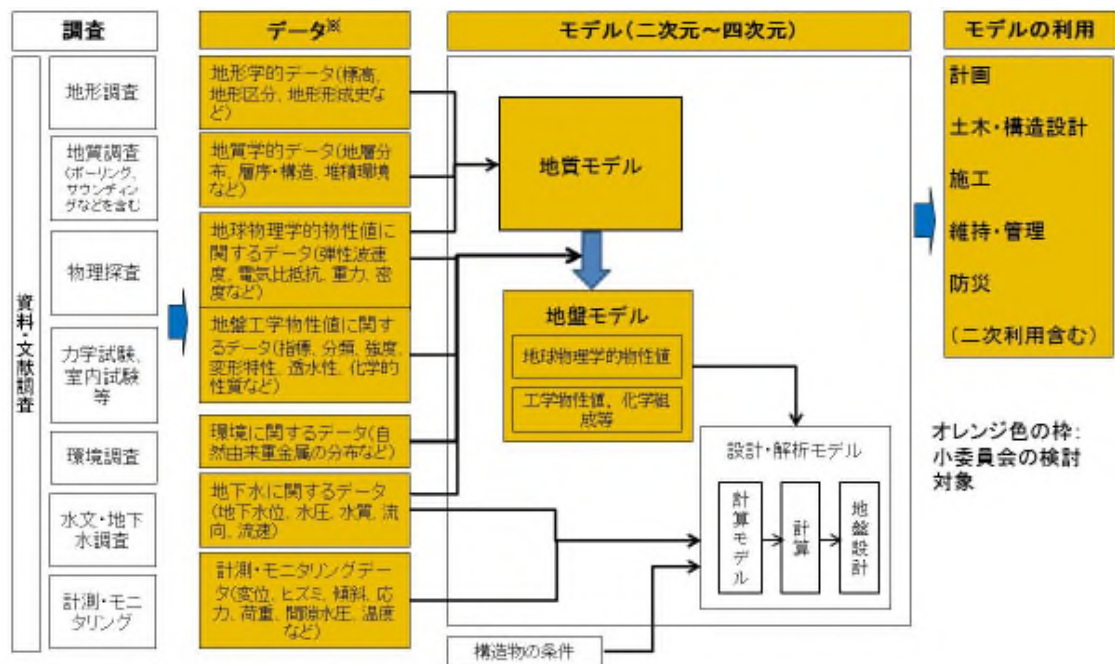
図 1.4.1 のデータの欄に示されている、地形学的データ、地質学的データは地質モデル作成に使われ、地盤工学物性値に関するデータと環境に関するデータは、地盤モデル作成

に使われる。地球物理学的物性値に関するデータは、地質モデルに使われる場合と地盤モデル作成に使われる場合がある。地下水に関するデータと計測・モニタリングデータは地盤モデル作成に使われる場合と設計・解析モデル作成に使われる場合がある。

地下水に関して、単に地層に地下水位を示した図を地下水モデルと言うことがあるが、当小委員会ではそれを地質モデルまたは地盤モデルとし、地下水流動解析を目的とした水理モデルは設計・解析モデルとして区分した。

作成された「地質や地盤のモデル」は道路・地下鉄・山岳トンネルなどの路線計画、土木建築の構造物設計、施工、防災計画などに使われる。これらのモデルはその目的を達した後さらに、既存情報として二次利用されることもある。

地質や地盤のモデルは本質的に不確実であるため作成したモデルの利用における留意点やその品質を評価するための情報のありようについて当小委員会の検討範囲としている。モデルが不確実であるのは、第一に、モデル作成に用いたデータが事実のデータだけではなく仮定や解釈されたデータに基づいていることと、第二に、地質・地盤が不確実であること、すなわち、データのある地点以外は地質・地盤が正確には分からないため、モデル作成者はデータ地点とデータ地点の間を仮定や解釈によって推定せざるを得ないためである。モデルは地質・地盤の真実の姿を示したものではなく、表現物や目的、用途により作成者が最も合理的であると考え解を示しているに過ぎないことを、モデルを利用する立場の人々は理解すべきである。



※ データには、測定値、観測結果、仮定、解釈データ、公開情報などを含む。
 ※ 4次元モデルとは経時変化を示したモデルであり、盛土・埋立・掘削や新たな断層変位によって地形や地層境界が変化する様子や物性値の経時変化を表す。

図 1.4.1 小委員会の検討範囲

1.5 用語の定義と解説

地質モデル

地質学的データと地形学的データ（地球物理学的物性値に関するデータを含む場合もある）を、ある特徴（生成年代、生成過程、岩質など）に基づき単純化して、模式化したもの。地層モデルと呼称される場合もある。

モデリングにおいては、同一地質毎に地質区分の境界線あるいは境界面で囲われ、必要に応じて各々の範囲を着色して表現される。三次元モデルでは、境界面で囲まれた中身も表現しソリッドモデルとして作成されることもある。

地盤モデル

検討対象範囲の地盤工学的物性値に関するデータ（地球物理学的物性値、環境、地下水に関するデータ、計測・モニタリングデータも含む）を、ある指標（物理特性、力学・強度特性など）に基づき単純化して、模式化したもの。地質モデルを土台に作成する。

モデリングにおいては、単純化・模式化された地盤の境界線あるいは境界面で囲まれた内部に属性情報を付与して表現される。三次元モデルでは、通常ソリッドモデルとして作成される。

なお、地盤という用語の対象には、軟弱地盤から岩盤までを含む。

解析モデル

ある検討（応力解析、変位解析、液状化解析など）のための解析手法や解析プログラムに合わせて、地質学的データや地盤工学的物性値に関するデータ等をモデル化したもの。

計算・解析・設計のために行うモデリングであり、地質・地盤モデルを基に属性情報に着目して作成されるが、その目的に応じて単純化・模式化が図られるため、地盤の境界線あるいは境界面は基になった地質・地盤モデルとは必ずしも一致しない。FEM解析などの実施のため、必要に応じて多くの微小な要素に区切られてモデル化されることもある。また、検討する問題に応じて、サイト全体のモデリングではなく、モデル範囲を限定し、境界条件を設定することがある。

地質・地盤モデルの補間と補完

モデルを作成する際に、データが存在しない空白域を補う作業を行う。空白域を補う方法には、「補間」と「補完」がある。「補間」とはデータとデータの間を曲線や直線など数学的な演算から推測して補うことを意味する。一方、「補完」とは、空白域の不確かな範囲を他のパラメータなどを用いて、情報を加味し、実際の真値に近づけることを意味する。

地盤情報

地盤情報は地表面以深の地下を構成する地盤に関する情報であり、地盤を構成する地形、地質、地下水に係るデータや、その物理特性や力学特性、化学特性等に係るデータを含む。

現在、日本各地で公開されている地盤情報データベースの多くはボーリング柱状図と土質試験一覧表で構成されているため、狭義には、ボーリング柱状図とそれに付随するデータと理解されていることが多い⁶⁷⁾。ボーリング柱状図とそれに付随するデータは、ある地点における、主に観測事実からなるゼロ次元～一次元の情報である。

広義には、物理探査やサウンディングによる指標値も地盤情報に分類される。これらは、事実のデータと解析・解釈によるデータを含む一次元～三次元の情報である。ボーリング柱状図などを基に作成した地質・地盤の断面・平面図、三次元地質・地盤モデル、支持力や沈下量の計算に用いる解析用の地盤モデルなども地盤情報を見なされる場合もある。これらは、事実・解析によるデータに技術者の解釈を加味したものであり、主に二次元～三次元の情報である。さらに、ハザードマップの一種である液状化マップや揺れやすさマップなども地盤情報とみなすことが可能である。これらは、ある仮定の下で検討された想定分布図である。

一次利用、二次利用 (文献 6)を参考としている)

地盤情報や地盤モデルの一次利用とは、行政機関やインフラ事業者等が、自らの目的に沿って取得した地盤情報や、作成した地盤モデルを利用することを言い、二次利用とは地盤情報や地盤モデルを保有する行政機関、インフラ事業者等より提供された地盤情報や地盤モデルを活用し、より使いやすい情報に加工したり別の情報を付加して利用または提供したりする事を言う(例：建築物基礎確認のボーリングデータ等を利用して、該当地域のゆれやすさや液状化などの解析を行い、リスク情報として提供する)。なお、情報保有者が自ら保有する地盤情報や地盤モデルに付加価値情報を付与し利用する場合(本来の目的以外に利用する場合)も二次利用に含まれる。

ここで、地盤情報や地盤モデルの提供とは、自ら保有する地盤情報（非公開も含む）や作成した地盤モデルを、直接的または間接的にインターネットや媒体（電子、紙）を通して外部に提供する事を言う。

地質モデル・地盤モデルの品質

地質モデルまたは地盤モデルが、利用目的や用途に応じた要求性能を満たす程度。要求性能を満たす程度は、正確度（又は精度）や作成方法、表現方法など適用範囲に関する定性的または定量的情報を持って判断する。

なお、JIS Q 9000：2015⁸⁾では、「品質とは、対象に本来備わっている特性の集まりが、要求事項を満たす程度」と定義されている。また、JIS A 0205：2019⁹⁾では、「品質とは、作成した数値データセットに関する正確度（又は精度）、作成方法、表現形式など、それを利用するに当たって必要とする、与えられた精度の範囲、再現可能な環境の範囲など適合範囲の定性的又は定量的情報」と定義されている。

地質モデル・地盤モデルの不確実性

モデルの不確実性には、モデルに用いた材料特性に関わる不確実性、モデルの簡略化による不確実性、モデル化に関わる不確実性等が含まれている。日本の地盤・地質構造は複雑であり、空間的なバラツキが不確実性として内在するため、これらを十分に認識した上でモデルを評価する必要がある。

地震や原子力等の分野では、不確実性を偶然的な不確実性と認識論的な不確実性に分類している¹⁰⁾。図 1.5.1 に示すように「偶然的な不確実性（偶然に支配される不確実性、変動性）」の例としては、地質や地質構造の経時変化や地域差、試験値のバラツキなどがある。また、「認識論的な不確実性（知識不足による不確実性）」の例としては、モデリングにおける各種パラメータの設定や、調査データの不足、モデルを作成する技術者の解釈などがある。

認識論的な不確実性（モデル化誤差）の評価と低減のためには、詳細な地盤調査データが必要である。しかし、地盤パラメータは、空間的なバラツキがあるため十分な精度で得ることは難しく、調査や試験のコストもかかるため、モデルに利用できる情報量は限られることになる。そのため、手元の情報を最大限に活用するためには、解析や設計の中に不確実性を取り入れる必要がある。

解析モデルの信頼性に関しては、検証（Verification）と妥当性確認（Validation）が必

要であり、解析モデル解とシミュレーション解の照合と解析モデルと物理現象との比較が求められる。

なお、地盤構造物の信頼性評価（GRASP：Geotechnical Reliability Analysis by a Simplified Procedure）¹¹⁾では、モデルの不確実性は、地盤パラメータの空間的なバラツキや統計的推定誤差、変換誤差、モデル化誤差に分類されている。

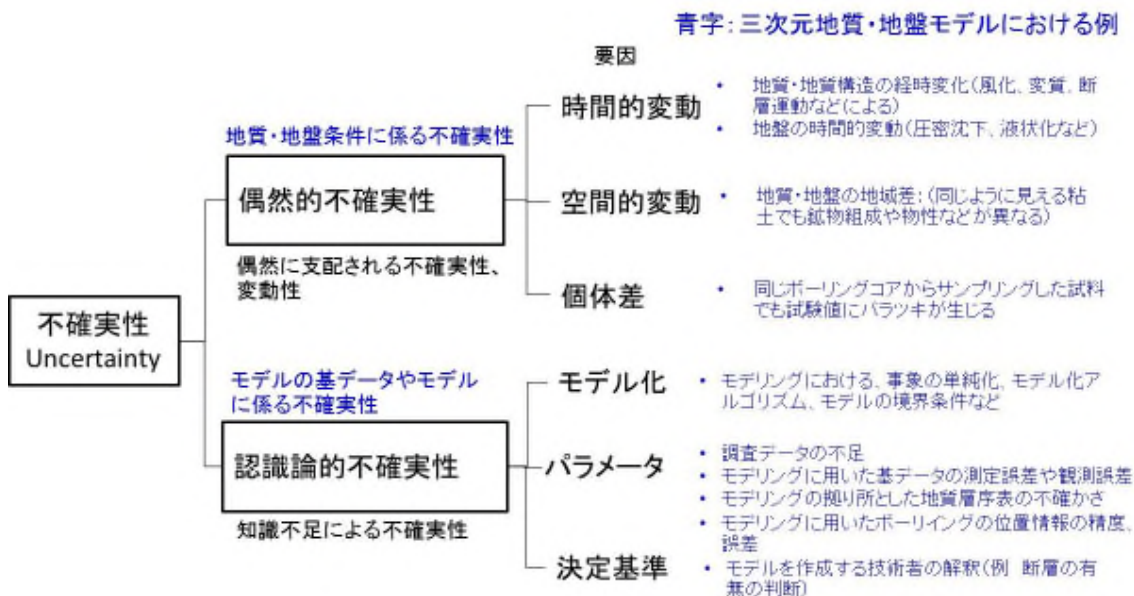


図 1.5.1 不確実性の主な原因と三次元地質・地盤モデルの例 (文献 10) の図 1 を参考に作成)

地質リスク・地盤リスク¹²⁾

目的に対する“地質や地盤に関連する”不確実性の影響。地質や地盤に係る事業リスクのことを言う(図 1.5.2, 表 1.5.1 参照)。例としては、工期の延長や調査費用の増額, 建設工事に伴う周辺地盤破壊などがある。地盤の把握・想定に関する不確実性や地盤自体のバラツキ, 地盤の崩壊可能性などを意味しているのではないことに注意が必要である。

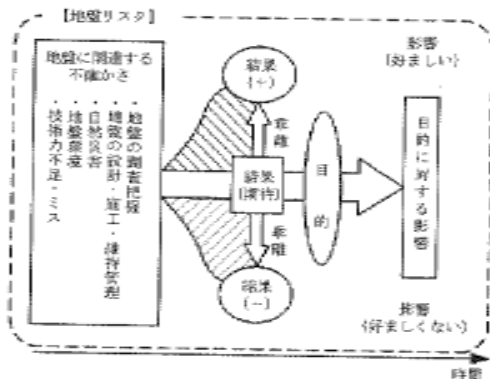


図 1.5.2 地盤リスクの概念図 (文献 12) の図-3.1 を引用)

表 1.5.1 事業段階別の地盤リスクの原因 (文献 12)の表-4.1.に加筆修正)

段階	地盤リスクの原因
調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業計画地や計画ルートに地すべりブロックや断層破碎帯, 軟弱地盤が分布する等の地質的問題点 ・ 地山や支持層などの分布状態が構造物の目的や機能に与える悪影響 ・ 不確実性の高い地盤条件における事前調査の精度
設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤情報のバラツキや不確実性が設計用入力値に影響を与える悪影響 ・ 経験式による設計定数の適正問題 ・ 構造計算の入力値・設計図面の記載ミス等のヒューマンエラー
施工	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事中に発生した地盤破壊や変状による地質的問題点 ・ 予測地盤との乖離に伴う, 追加調査, 対策工事, 工事の一部変更, 工期の遅延等の問題点
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤や地下水環境の変化による構造物の機能や安定問題 (斜面, 地下構造物) ・ 人工地盤上での建屋の変状 (沈下・変形) 問題 ・ 技術基準の改訂

<参考文献>

- 1) 物理探査評価研究小委員会基盤内弱層検討ワーキンググループ：トンネル地質調査におけるリスクマネジメントシステム導入の提唱, 応用地質, Vol.44, No.1, pp.36-47, 2003.
- 2) 西柳良平：土木地質調査の課題と標準化に向けて, 第 27 年度日本応用地質学会シンポジウム予稿集, pp.21-24, 2015.
- 3) 木村克己, 花島裕樹, 石原与四郎, 西山昭一, 埋没地形面の形成過程を考慮したボーリングデータ補間による沖積層基底面モデルの三次元解析：東京低地北部から中川低地南部の沖積層の例, 地質学雑誌, Vol.119, No.8, pp.537-553, 2013.
- 4) JIS A 0204:2012 地質図—記号, 色, 模様, 用語及び凡例表示.
- 5) International Association for Engineering Geology and the Environment Italian department: Recommendations for RELIABILITY QUANTIFICATION OF THE GEOLOGICAL MODEL IN LARGE CIVIL ENGINEERING PROJECTS, 2009.
- 6) 地盤情報の公開・二次利用促進のためのガイド (平成 25 年 6 月 総務省), http://www.soumu.go.jp/main_content/000233140.pdf.
- 7) 国土交通省, 国土地盤情報検索サイト KuniJiban, <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/>.
- 8) JIS Q 9000 : 2015 (ISO 9000 : 2015) 品質マネジメントシステム—基本及び用語.
- 9) JIS A 0205 : 2019 ベクトル数値地質図—品質要求事項及び主題属性コード.
- 10) 緒方 裕光：リスク解析における不確実性, 日本リスク研究学会誌, 19(2), pp.3-9, 2009.
- 11) 大竹雄・本城勇介：地盤構造物設計の不確実性寄与度分析と設計の観点からみた地盤工学の課題, 土木学会論文集 C, Vol.72, No.4, pp.310-326, 2016.
- 12) (公社)地盤工学会：役立つ!!地盤リスクの知識, pp.45-46, p.63, 2013.

第2章 地質・地盤モデル利活用の事例検討

本章では、既往の建設プロジェクトで作成された地質・地盤モデルを題材に、精度や信頼性に影響を与える要因、モデルの品質のトレーサビリティを確保するためにモデルに付随させるべき情報の検討を行った。

事例の選定にあたっては、モデルの不確実性を増大させる複雑な地質・地盤（例 断層破砕帯）条件や、モデルの不確実性が建設事業のライフサイクルの中で経費増大や工期遅延等のリスクとなり易い構造物（例 トンネル構造物）を含めるようにした。また、幅広い検討のために、モデルの作成目的や用途、表現事象が多岐にわたるよう配慮した。検討した事例の一覧を表 2.1 に示す。

本委員会の主目的はデータの独り歩きが懸念される三次元モデルの電子データに付随させるべき情報を提案することにあるが、過去の事例は二次元の紙ベースでモデルを作成している場合がほとんどである。次元や媒体が異なってもモデルの本質は変わらないため、三次元に限定せずに広く地質・地盤モデルとして扱った。

委員会では、建設プロジェクトの関係者を招聘し、地質・地盤モデルという観点からプロジェクトを説明いただいた。そして、その情報を基に、巻末-1 に示す様式で、影響要因とモデルに付随すべき情報を抽出するという作業を行った。

次ページ以降、それぞれの事例についての概要を説明する。

表2.1 委員会検討事例一覧

※表中の○印は、委員会で事例紹介がなされた範囲のみを対象として印をつけている。事業全体で扱ったデータに対して印をつけているのではないことに注意のこと。

データ	事例	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	要求される品質情報の例
		寝屋川北部地下河川	関西国際空港	飯山トンネル	新北陸トンネル	八甲田トンネル	京阪中之島線	地震被害想定調査	建築	盛土造成宅地(新設宅地)	盛土造成宅地(既設宅地の耐震化推進)	
文献・資料データ	公開情報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	文献・データベースの出典
	非公開情報	○	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	○	(○)	(○)	出典(可能な範囲で)
地形学的データ	標高	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	データ取得方法
	地形区分							○	○	○	○	縮尺、判定根拠(空中写真/DEM等)
	地形形成史					(○)	○			(○)	(○)	
	その他											
地質学的データ	地層分布	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	露頭位置・観察記録
	層序区分	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	区分基準(出典)
	堆積環境	○	○	○	○	○	○	○	○	(○)	(○)	判定根拠(化石/化学組成)
	地質構造発達史	○	○	○	○	○	○	○				
	その他			切羽観察	切羽観察	切羽観察/掘削ズリ						
ボーリングデータ	位置情報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	測地系・座標系
	土質・岩質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	標準層序、凡例
	層厚	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	N値	○	○					○	○	○	○	
	孔内水位			(○)	(○)	(○)	○		○	○		測定年月日、削孔状況、削孔水
	テフラ/化石分析	○	○									サンプル処理方法、分析方法
	その他	堆積環境判定	堆積環境判定	長尺/短尺ボ-リング	中尺/短尺ボ-リング			堆積環境判定				
地盤工学的物性に 関するデータ	分類			○	○	○				○		区分基準
	強度		○	○	○	(○)				○		試験年月日、試験位置、試験採取情報、試験方法、観察結果、写真、基準
	変形特性		○	○	○	(○)				○		調査年月日、分析・試験方法、精度、凡例、法律、基準
	透水性		○	○	○	(○)						
	化学的性質						○					
地球物理学的物性に 関するデータ	その他				岩級区分							
	弾性波速度		○	○	○	○		○		(○)		観測手法、測線位置、走時曲線図、探査記録
	電気比抵抗							(○)				観測手法、測線位置
	重力密度		○									
環境に関するデータ	その他		微動探査									PS検層
	重金属分布						○					
	地下水汚染						(○)					
地下水に関する データ	その他											
	地下水位		○	○	○	○		○	○			
	水圧			○	○	○						
	水質						○					調査年月日、試験・解析方法
	流向				○							
計測・モニタリング データ	流速											
	その他			湧水量	湧水量	湧水量/化学的性質						
	変位、ひずみ		○						○			
	応力、荷重			(○)	(○)							
計測・モニタリング データ	水位			○	○							
	間隙水圧		○	○	○							
モデルの形態	地質断面図・平面図	地質断面図、3次元サーフェスモデル	地質縦断面図、横断面図、平面図	地質縦断面図、横断面図、平面図	地質縦断面図、横断面図、平面図	地質縦断面図、横断面図、平面図	地質縦断面図	3次元サーフェスモデル	地質縦断面図、横断面図、平面図			
対象	・水平方向：大深度地下利用を検討している約3.5km区間を含む約3.5km四方 ・鉛直方向：標高約-100mまで	・水平方向：関西国際空港周辺の約8km四方 ・鉛直方向：標高約-200mまで	トンネル区間(22.251m)	トンネル区間(19.680m)	トンネル区間(26.455m)	・水平方向：トンネル区間のうち断層影響範囲約600m ・鉛直方向：標高約-300mまで	・水平方向：千葉県全域(5,157.61km ²) ・水平方向：大阪府全域(1,905.14km ²) ・鉛直方向：標高約-50mまで(浅部地盤モデル)		宅地化および近接区域			
モデル作成目的	大深度地下利用の支持地盤の特定	空港周辺地盤の沈下予測	高圧帯水層の事前把握	断層破砕帯の事前把握	鉱化変質岩分布の早期把握	トンネルを横切る上町断層層の位置と活動した場合の変位量の推定	表層地盤による地震動の増幅特性評価	建築物の支持層深度判別	造成計画	大規模造成地の変動予測		
モデルが表現している事象	地質分布(洪積粘土Ma層)	地質分布(Ds(砂層)の下面等深度)	地質分布、硬軟分布、削孔中の湧水量	地質分布、断層破砕帯位置、硬軟分布、帯水層位置	地質分布、断層破砕帯位置、硬軟分布	地質分布、断層分布	地質分布、N値分布	支持層の形状、深度	地質分布	盛土の3次元形状		
建設段階	調査段階	調査段階	施工段階	施工段階	施工段階	調査段階	—	設計段階	—	—		

2.1 大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」に基づく地下河川支持地盤の特定

2.1.1 事業概要

【建設事業名称】

一級河川淀川水系 寝屋川北部地下河川事業

【事業主体（発注者）】

大阪府

【事業の対象地域，位置】

事業区域周辺は，大阪平野の一部であり，東側を生駒山地，西側を大阪城から南に伸びる上町台地，北側と南側は淀川と大和川に囲まれた東西方向約 14km，南北方向約 19km の盆地上の地形をなす¹⁾。

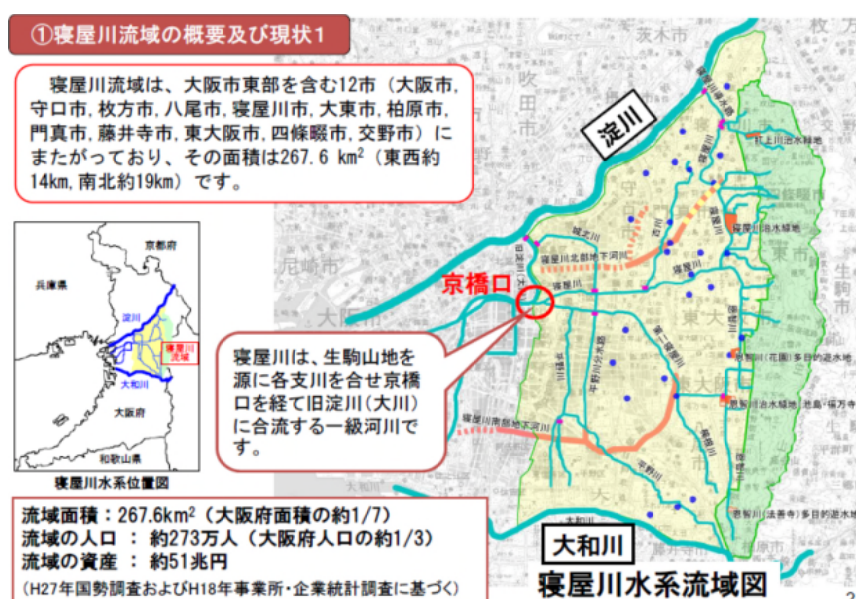


図 2.1.1 寝屋川水系位置図と寝屋川水系流域図²⁾

【建設事業の目的，背景】

（1）寝屋川総合治水対策の背景と目的³⁾

寝屋川流域は，東側を生駒山地，西側を大阪城から南に伸びる上町台地で区切られ，北側と南側は淀川と大和川に囲まれている。その地形的な特性から水はけが悪く，流域面積の約 3/4 が雨水排水をポンプなどの施設に頼らなければならない内水域（川より低い地域）であるとともに，河川によって集められた雨水の出口は京橋口の一箇所しか

い。さらに、高度経済成長期の人口増加と都市化による流域の保水・遊水機能の低下、台風や梅雨全線の活性化に伴う豪雨による慢性的な浸水被害、堤防による洪水対策の限界などが背景にあり、河道改修や分水路、遊水地、地下河川、流域調節池等の整備を組み合わせることにによる流域全体の治水安全度の向上を計画している。

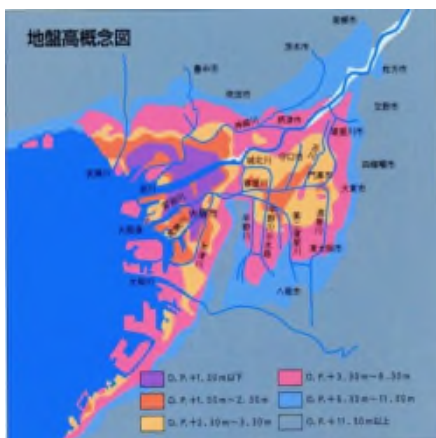


図 2.1.2 大阪平野の地盤高さ概念図³⁾

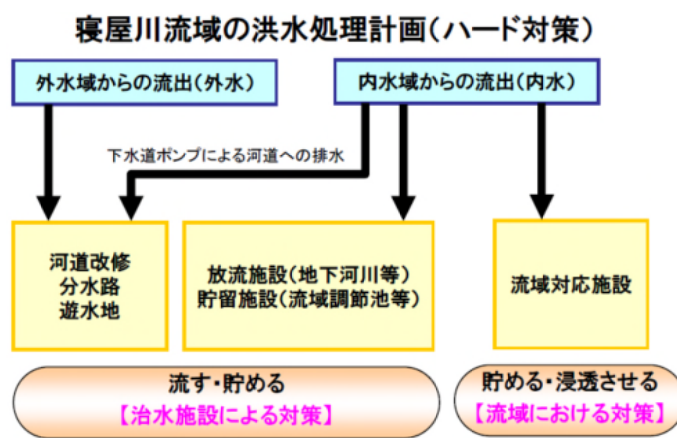


図 2.1.3 寝屋川流域の洪水処理計画²⁾

(2) 地下河川による対策と大深度地下利用

河川の拡幅や新たな河川の掘削が困難な密集市街地では、流域に降った雨を下水管の幹線から取水し流域外に排水するための 2 本の地下河川を、都市計画道路の地下に建設する計画である。2 本のうち寝屋川北部地下河川(都市計画河川寝屋川北部地下放水路)では、鶴見立坑(守口市)～讃良立坑(寝屋川市)は平成 27 年度末に完成し貯留施設として暫定供用を行っている。しかし、大川(都島区)～鶴見立坑は、従前の計画では都市計画道路北野今市線・都島茨田線の道路整備にあわせその地下に整備することとしていたが、道路事業における用地買収の進捗状況が地下河川を整備できるまでには至っていない。そこで、大阪府は当該区間で「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」(大深度地下使用法)に基づき大深度地下の使用認可を取得し、地下河川の早期完成を目指すこととした。

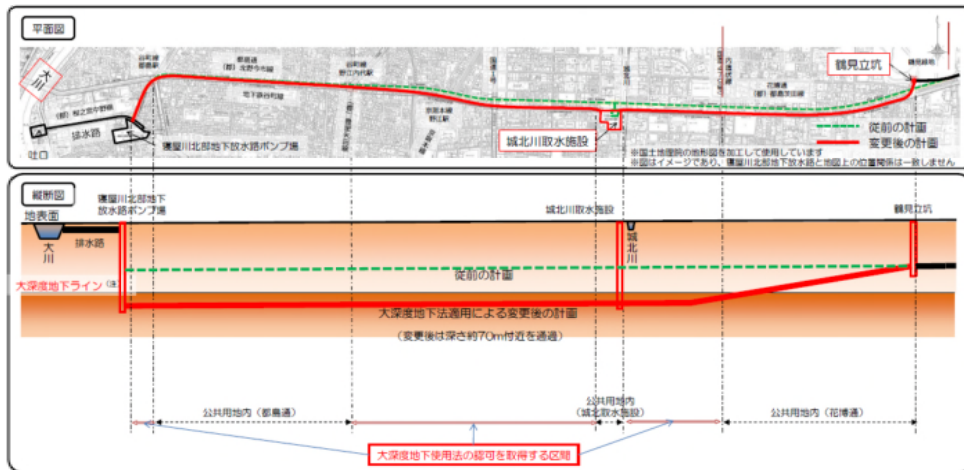


図 2.1.4 寝屋川北部地下河川の位置 (大川～鶴見立坑区間) ⁴⁾

2.1.2 小委員会における検討

「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」に基づいた大深度地下の使用認可の基礎資料を作る過程で作成した地質モデルが題材である。当事業では地質モデルを地質断面図という形で整理している。この地質断面図を事業のライフサイクルの中で利用、あるいは、第三者が任意の用途で利用することを想定した場合、精度や信頼性、不確実性など品質に係るトレーサビリティを確保するために必要な情報は何かを検討した。

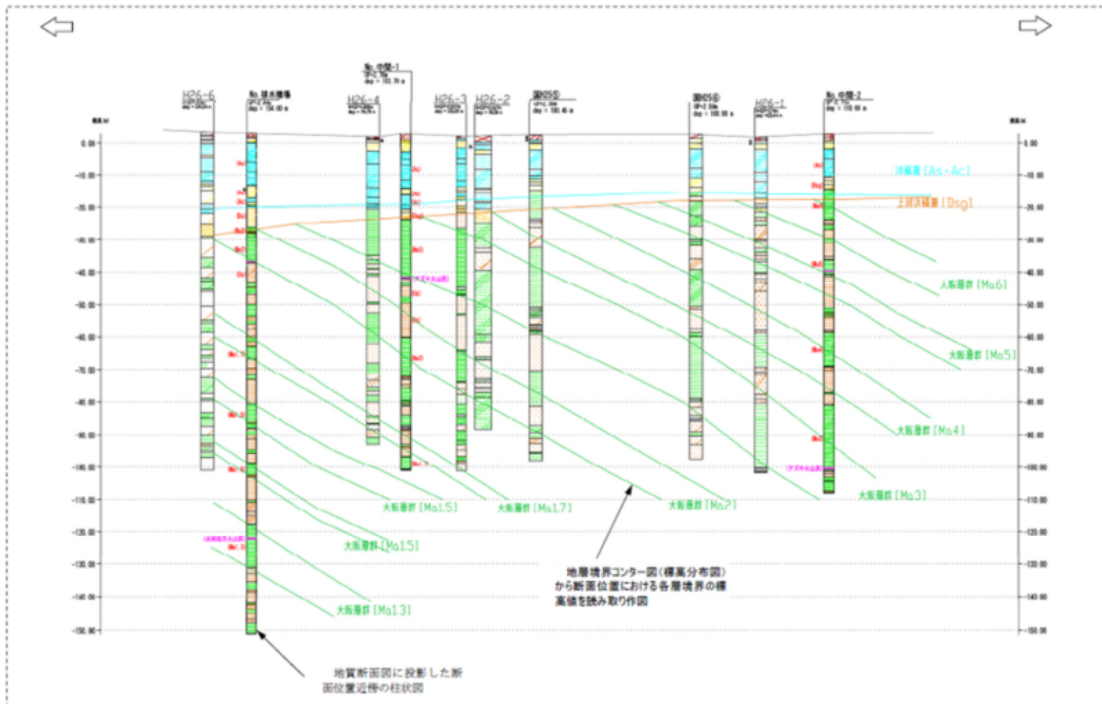


図 2.1.5 題材とした地質断面図 (一部)

【モデルを作成した建設段階と目的】

概略調査段階における事業区域周辺の支持地盤の深さの特定を目的としている。支持地盤の特定のために実施した調査全体の流れを図 2.1.6 に示す。小委員会では「想定地質断面図の作成」で作成した断面図を検討対象とした。

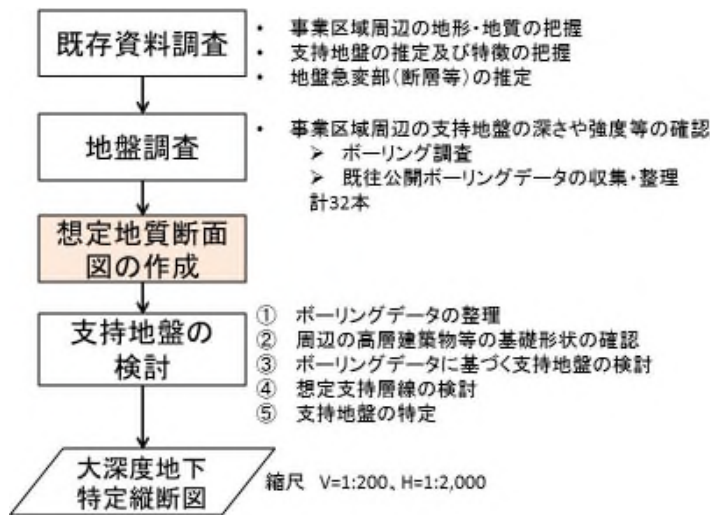


図 2.1.6 支持地盤を特定するための調査の流れ

【地質概要】¹⁾

当該地は、概ね厚さ 10m～20m 程度の沖積層の下位に、段丘層（上部洪積層）や大阪層群からなる洪積層が分布している。上町台地よりも東に位置する寝屋川北部地下河川の計画ルート付近では、図 2.1.7 の 1-1'断面に示すように、西から東に傾斜した地層地帯であることがわかる。また、南北断面の地質は 4-4'断面に示すように、京阪本線を境に淀川河川域と東大阪域で特徴が異なり、寝屋川北部地下河川の計画ルート付近が属する東大阪域では、北から南に傾斜した地層であることがわかる。

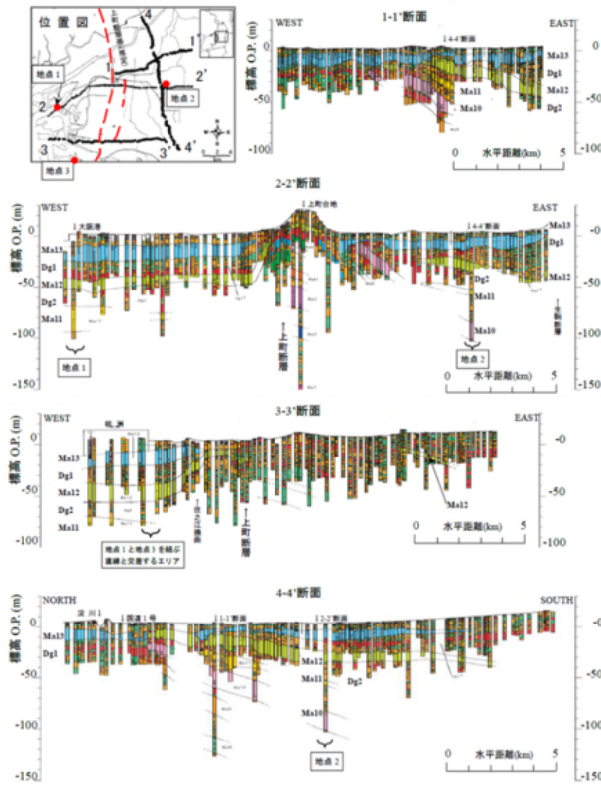
表 2.1.1 大阪平野の層序総括表¹⁾

大阪平野の層序総括表

時代	層序区分	テフラ	$\times 10^4$ y.B.P. 放射年代	海水面変化	気候変化	地形発達史	
第四紀	全新世	上部層		0.2	(縄文海進)	温暖	沖積低地の形成
		中部粘土層	狭大島火山灰層 〔アカホケT.〕 港火山灰層	0.7			
	後氷期	下部層		1.0	海退	寒冷	埋積地砂浜 (低包段丘の形成)
		天浜層	鳥辺川火山灰層 平安神宮火山灰層 (アイラT.)	2.0			
		M _a 12層		10			
		砂・礫・粘土層					
		M _a 11層					
		砂・礫・粘土層					
		M _a 10層	八田火山灰層				
		M _a 9層	和田火山灰層	3.4			
		M _a 8層	カスリ火山灰層				
		M _a 7層	カスリ火山灰層				
	M _a 6層	八町池火山灰層					
	M _a 5層	八町池火山灰層					
M _a 4層	狭山火山灰層	7.7	海退と海進の繰り返し		丘陵地を形成する地層		
M _a 3層	アズキ火山灰層						
M _a 2層	ピンク火山灰層						
M _a 1層	イエロー火山灰層	10.6					
更新世	M _a 0層						
	M _a -1層						

出典：新編大阪地盤図(土質工学会関西支部・関西地質調査業協会)

□大阪平野中央部の地層の分布状況(「新関西地盤」より)



□大阪平野の標高分布(国土地理院「デジタル標高地形図」より)

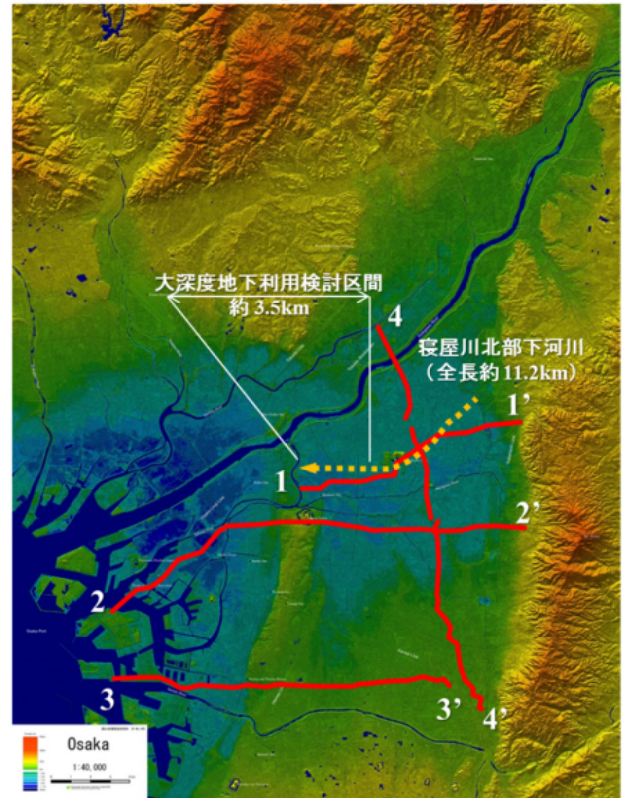


図 2.1.7 大阪平野中央部の地層の分布状況 ※デジタル標高地形図⁵⁾

【地質モデルの品質に係るポイントと品質のトレーサビリティ確保のために必要な情報】

本事例で検討した地質断面図を図 2.1.8 に示す。ボーリング柱状図上に赤く表示されている層準と緑色の地層線の層準の標高が一致しない箇所があることがわかる。これらの乖離はボーリングの位置と断面線の位置が平面図上で一致していないことで生じるずれであることに留意する必要がある。断面図上に表示するボーリング柱状図は、断面線からの離隔距離、離隔方向を表示し、ずれが生じている要因を断面図の利用者に示すことが必要である。

本モデルの品質を評価する上で重要なポイントは、以下の3点である。

- ・ 民有地も含まれる計画ルート上で新たにボーリングを掘削するのは困難だったため、既往のボーリングデータ（関西圏地盤情報ネットワーク KG-NET）も用いてモデルを作っていること
 - ・ 当該地域の地層は傾斜しているため、各ボーリングにおける層序を計画ルート上に単純にスライドさせ直線的に繋ぐと推定誤差が大きくなってしまうため、まず、地層境界のコンター図を作成し、それに基づいて地質断面を作成したこと
 - ・ コンター図、地質断面図とも、点データを直線で結んで手書きで作成していること
- 地層境界のコンター図を図 2.1.9 に、コンター図から断面図を作成する概念図を図 2.1.10 に示す。また、上記のポイントを基に洗い出した地質モデルの品質のトレーサビリティ確保のために必要な情報を表 2.1.2 に示す。

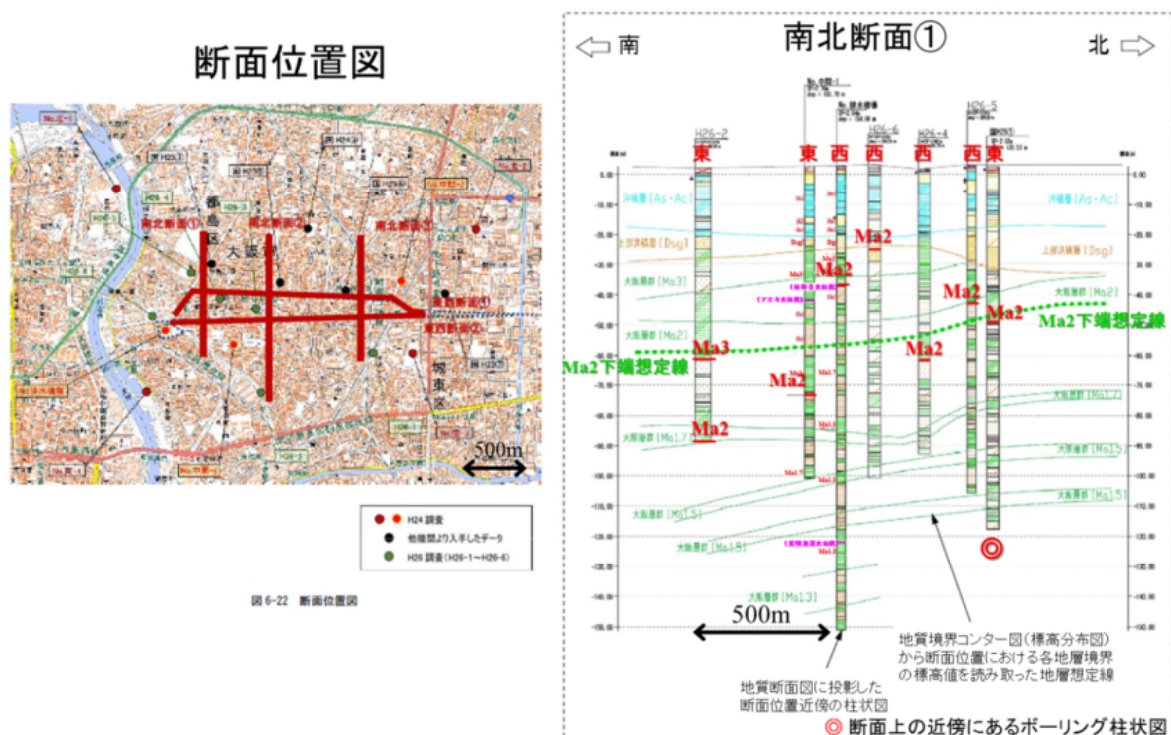


図 2.1.8 地質断面図

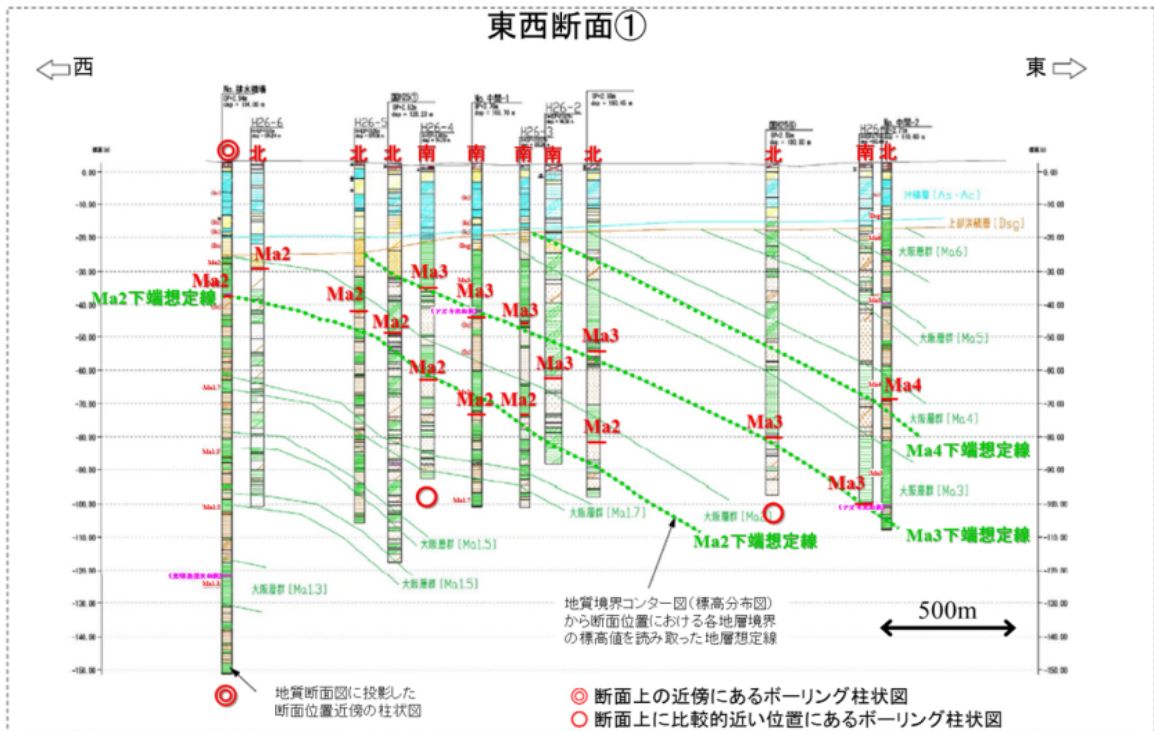


図 2.1.8 (続き)



図 2.1.9 地層のコンター図 (大阪層群 Ma3 層の下端標高)

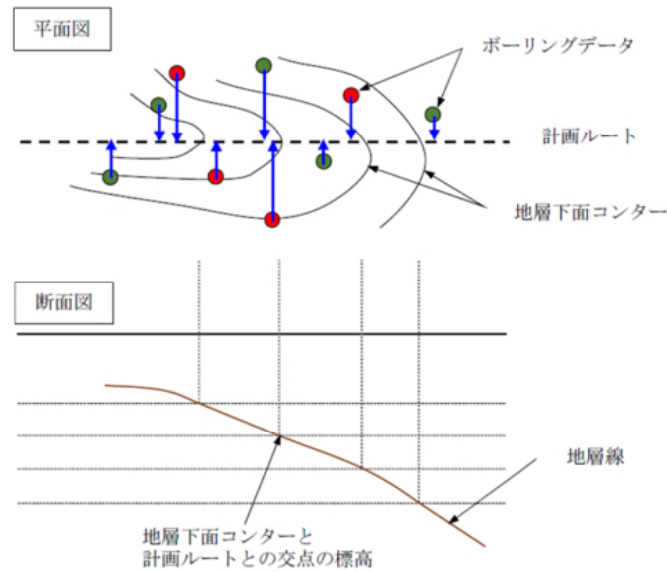


図 2.1.10 コンター図から地層断面図を作成する概念図

表 2.1.2 本事例から洗い出した地質モデルの品質のトレーサビリティ確保のために必要な情報（概要）

	項目	品質のトレーサビリティ確保のために必要な情報（概要）
元データ	ボーリング調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 位置・高さ情報の取得方法と精度，座標系 ・ 掘削年月日 ・ 層準の同定根拠 ・ 凡例（地質区分体系） ・ 準拠した規格，基準
	既往ボーリング柱状図	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記に追加してデータの出席
作成過程	コンター図	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンター作成に用いたボーリングデータとその位置 ・ コンターの作図方法（手書き，コンピュータ等） ・ コンターピッチ，縮尺 ・ 凡例（地質区分体系）
アウトプット	縦断面図，横断面図	<ul style="list-style-type: none"> ・ 概略調査段階で大まかな地層分布を把握するために作成したこと（詳細設計や工事への適用が可能という主旨で作成したものではないこと） ・ コンター図を基に断面線を手書きで描画していること

【本調査で参照した規格，基準】¹⁾

- ・ 「トンネル標準示方書[シールド工法編・同解説]」土木学会 平成28年
- ・ 「鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル」鉄道総合技術研究所 平成14年2月
- ・ 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」日本道路協会 平成24年3月
- ・ 「設計要領第二集」東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社 平成25年7月
- ・ 「大深度地下使用技術史支援・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 平成13年6月

＜参考文献＞

- 1) 一級河川淀川水系寝屋川北部地下河川事業 大深度地下の公共的使用に関する特別措置法使用認可申請書 大阪府 平成30年2月28日 別添書類第3号 事業区域が大深度地下にあることを証する書類， <<http://www.pref.osaka.lg.jp/ne/kouji/ninnkashinnsei.html>>， 閲覧 2018.11.
- 2) 「寝屋川北部地下河川事業施行に関する住民説明会」 <<http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/26290/00287302/04%20suraido.pdf>>.2018.5.16>， 閲覧 2018.11.
- 3) 寝屋川の総合治水対策について，都市整備部河川室，最終更新日平成30年6月20日， <<http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/1556/00005641/Negagawa%20sougoutisui.ppt>>， 閲覧 2018.11.
- 4) 大深度地下使用法を適用した寝屋川北部地下河川の整備について（大深度地下リーフレット） <<http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/1244/00001762/leaflet.pdf>>， 閲覧 2018.11.
- 5) 国土地理院：大阪平野の標高分布， <<http://www.gsi.go.jp/common/000184155.jpg>>， 閲覧 2018.9.

2.2 関西空港 沈下予測のための地盤モデル作成

事業概要

【関西空港沈下予測のための地質・地盤モデル作成】

関西空港を構築するにあたり、埋め立て後の沈下管理に必要となる沈下予測を行うために、地質・地盤モデルの構築を行った。地質・地盤モデルは沈下予測計算に利用され、実測値との比較による評価結果を受けて何度か改良、更新が実施された。

(1) 初期段階での調査（第1次調査と第1次モデル）

大阪泉州沖 5 km の地点で埋立を行うに当たり、埋め立て前に昭和 52 年から 57 年の間に海上ボーリングを実施した（図 2.2.1）。

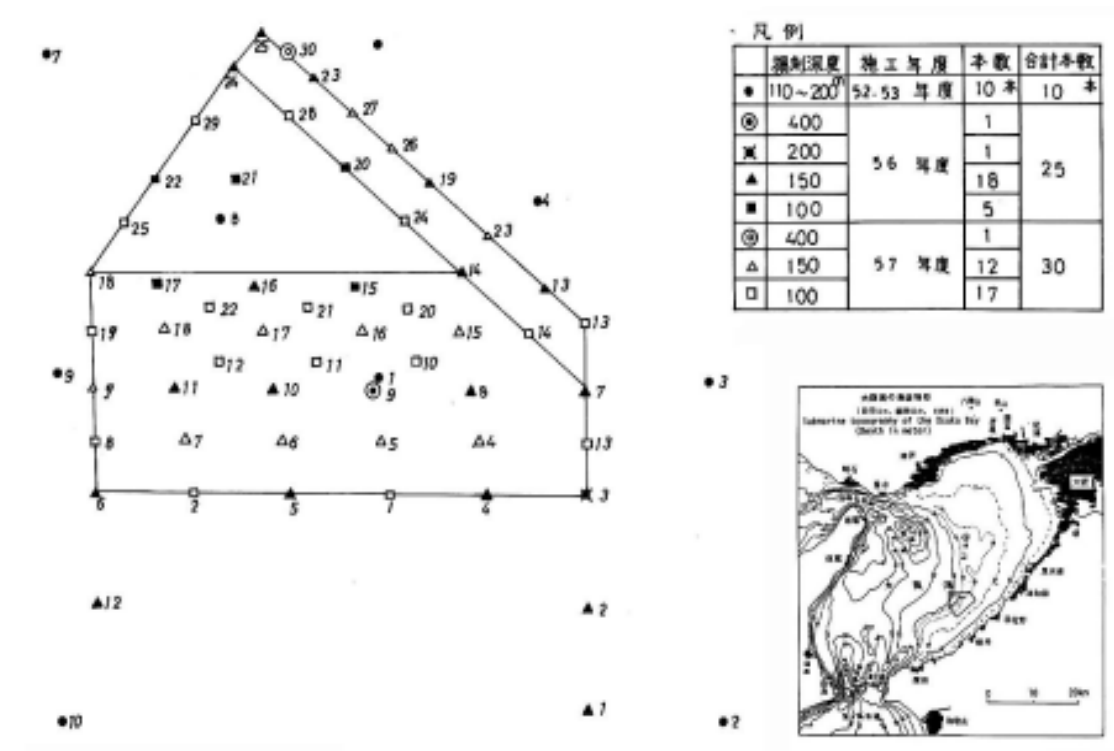


図 2.2.1 海上ボーリングの位置図

この時のボーリング本数は 65 本で、これを基に各種断面図を作成し、地層の連続状況や層厚の変化を検討した。大阪湾内においても気候変動に伴う海水準変動によって、温暖期に堆積する海成粘土層と寒冷期の砂礫層が互層状に何枚も積み重なって堆積しており、ボーリングコア間での地層の対比作業が課題となった。この時活用されたのが、微化石総合分析である。具体的には、コア試料を分取し、試料に水を加えて、超音波洗浄、流水シ

ヤワーにより泥化し、ふるいによって $63\mu\text{m}\sim 250\mu\text{m}$ の粒子（砂粒）を集め、これを乾燥して双眼実体顕微鏡で観察して主な砂粒子の構成と含まれる化石や火山噴出物を相対区分する。これによって、海成粘土は海成の有孔虫やナンノ化石の量が増え、それ以外では、砂粒子などの鉱物が増える傾向が見られる。また、火山ガラスが含まれる地層は、別途火山灰分析を行うことで層序を確定することができる。微化石総合分析結果のコア柱状図を図 2.2.2 に示す。図中にみられる、右側への膨らみは、微化石分析での海成生物（特にナンノ化石）の産出相対量を示している。右に凸になるほどに海水塩濃度が高い環境であり、海進と海退の記録のある堆積層では、半円状に右に凸になる。凸の部分よりも上位の地層で突然産出が途絶える部分は、堆積後に削剥されていることを示す。

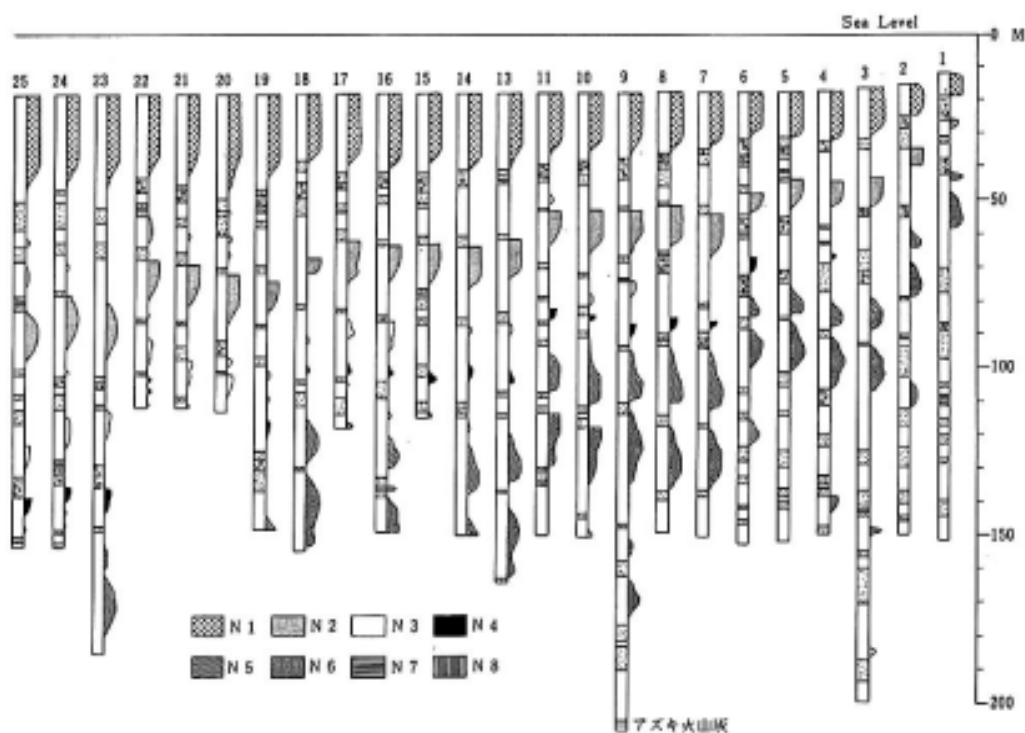


図 2.2.2 微化石総合分析によるコアの対比状況

また、これらの結果を経て、図 2.2.3 に示す関空島直下の地質モデルが完成した。

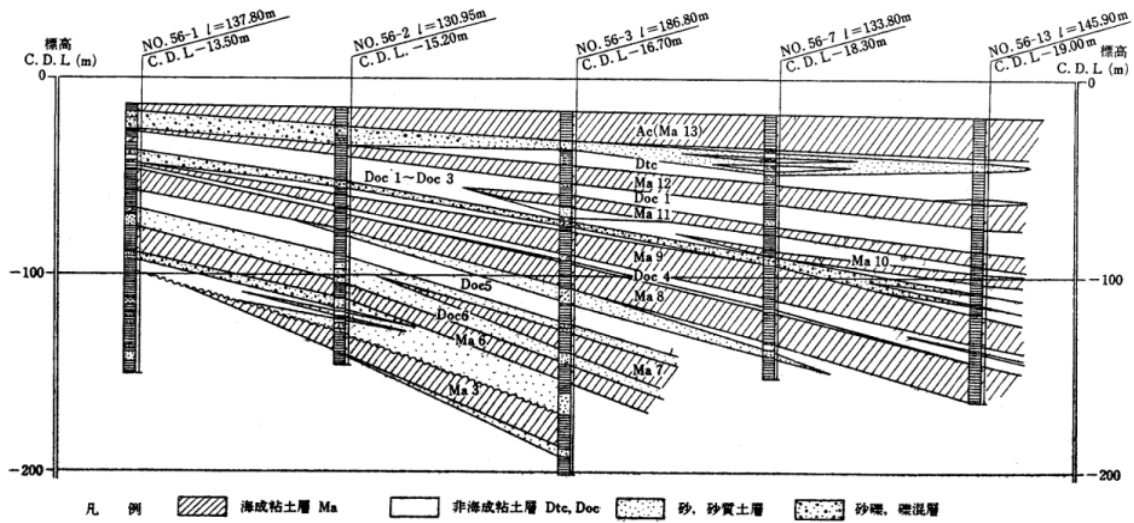


図 2.2.3 地質モデルの作成 (第1次)

以上のような海成の粘土層とその間にある粗粒層の繰り返しを調べ、図 2.2.4 の総合柱状図を作成し、各地域での埋め立て後の沈下観測とさらなる埋立土量の調整を行った。この時の解釈では、大阪平野全域に分布する大阪層群と対比することはせず、空港島独自の空港島累層というものを設定し、その層序を明らかにし、モデルを作成している。基本的に海成粘土層を基準として、海成粘土層とそれ以外の砂層という2区分を行っている。

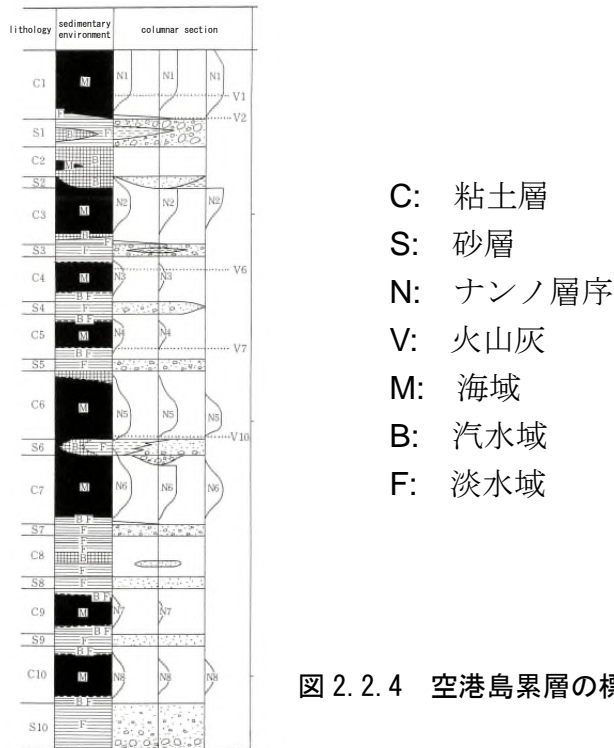


図 2.2.4 空港島累層の標準層序 (中世古他, 1984)

(2) 第2次モデル

空港島が完成し、空港の開港後に埋立地盤の詳細な沈下予測を続けていく中で、埋立初期の急速沈下に後続して緩やかな沈下が始まった。この沈下の要因は埋立土や沖積層の圧密ではなく、洪積粘土層の遅れ圧密と考えられた。当時の見解として、図 2.2.3 にあるように 10 枚の粘土層 (C1, C2・・・) に互層の形で挟まれている砂礫層 (S1, S2・・・) からの排水に伴って、それぞれの粘土層が緩やかに圧密をしていると考えられていた。モデルの改良にあたり、最も深い位置にある砂層 (S10:Ds10 層と呼ぶ) までの地層をモデル化し、沈下予測に提供した。その際、従来は地層がほぼ水平に堆積していると考えていたが、実際は沈下が局所的に異なり、より詳細で正確な地質モデルが必要となったため、新たに 5 本の調査用ボーリングと周辺の反射法地震探査を実施することになった (図 2.2.5)。

実施された反射法探査を参考にしつつ、5 本の長尺ボーリングの結果については、これまで空港島累層と呼ばれていた地層を、周辺の大坂層群に合わせるように検討し、明瞭な海成粘土層は Ma9 層や Ma8, Ma7, Ma6, Ma4, Ma3 層と対比した。さらに Ma9 より下位の地層について、Dc 層 (粘土層) よりも Ds 層 (砂礫層) の詳細な微化石分析などを実施した (図 2.2.6)。この結果、例えば、空港島南側の 7-2 地点では、Ma3 層堆積後、Ma4 層堆積前に大きく削り込みを受け、砂層が厚く堆積しているなどの情報が得られた。

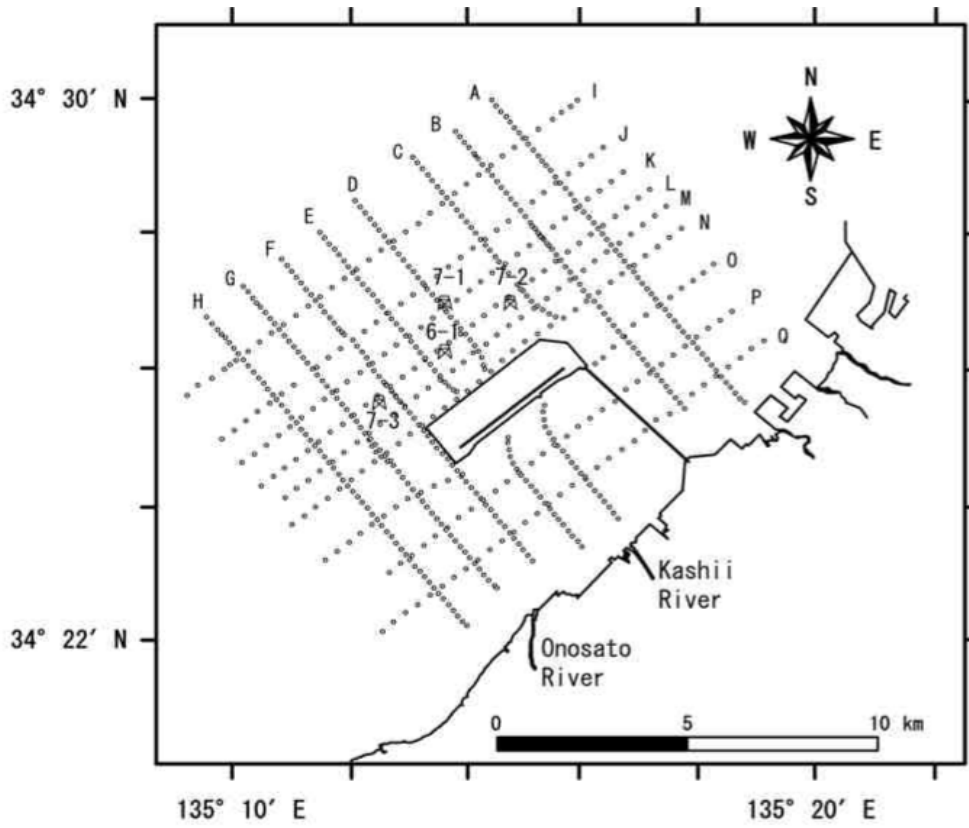


図 2.2.5 空港島周辺で実施した反射法探査測線図

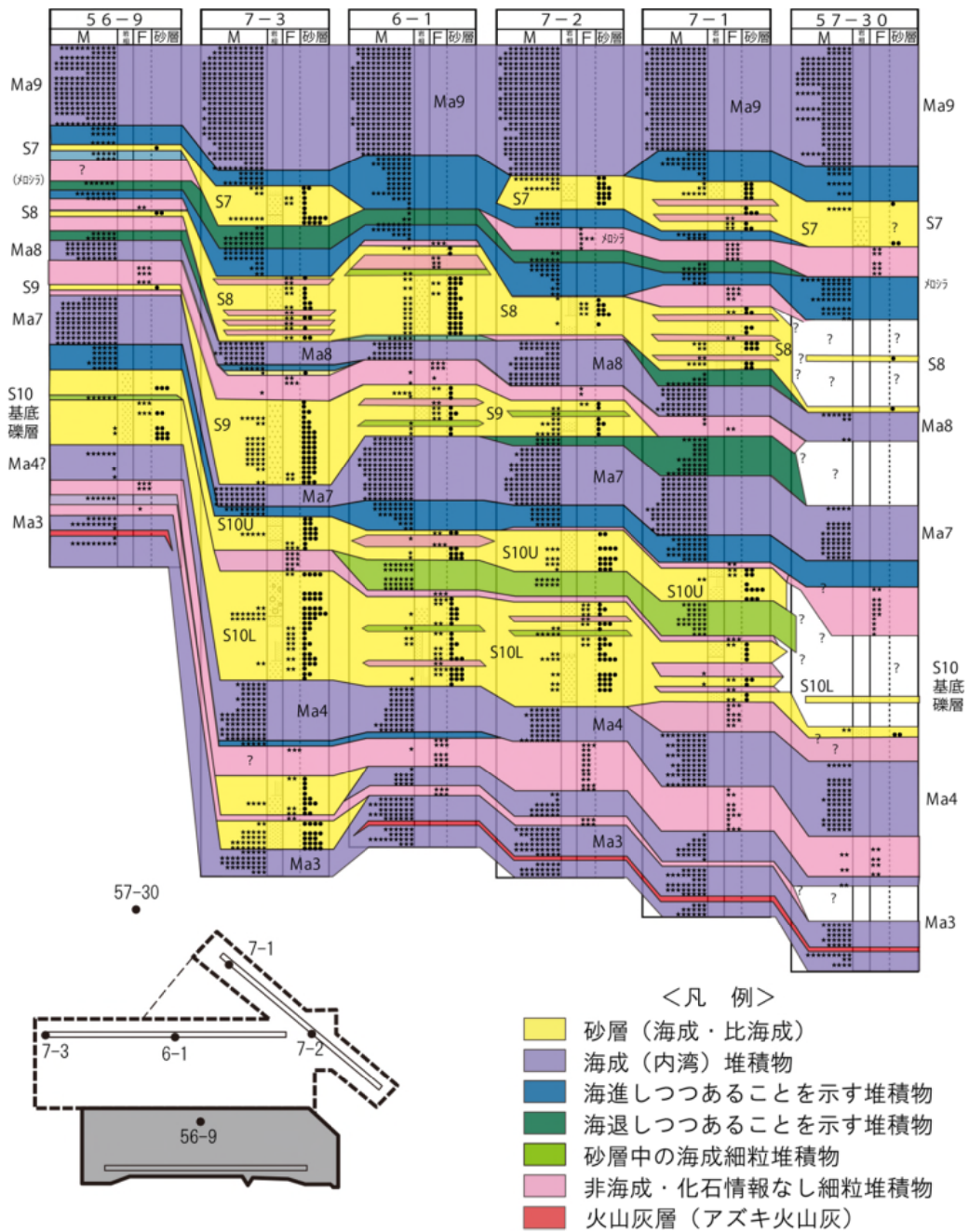


図 2.2.6 新しく追加された5本のボーリング試料の微化石総合調査結果

以上の結果より、空港島直下の地層については、Dc層（粘土層）やDs層（砂礫層）がすべて同じ層厚で連続するのではなく、特に、Ds層は局所的に層厚が変化することなどが明らかになり、地盤モデルに付加されることになった。改良された地盤モデルは、図 2.2.7 に示すものである。

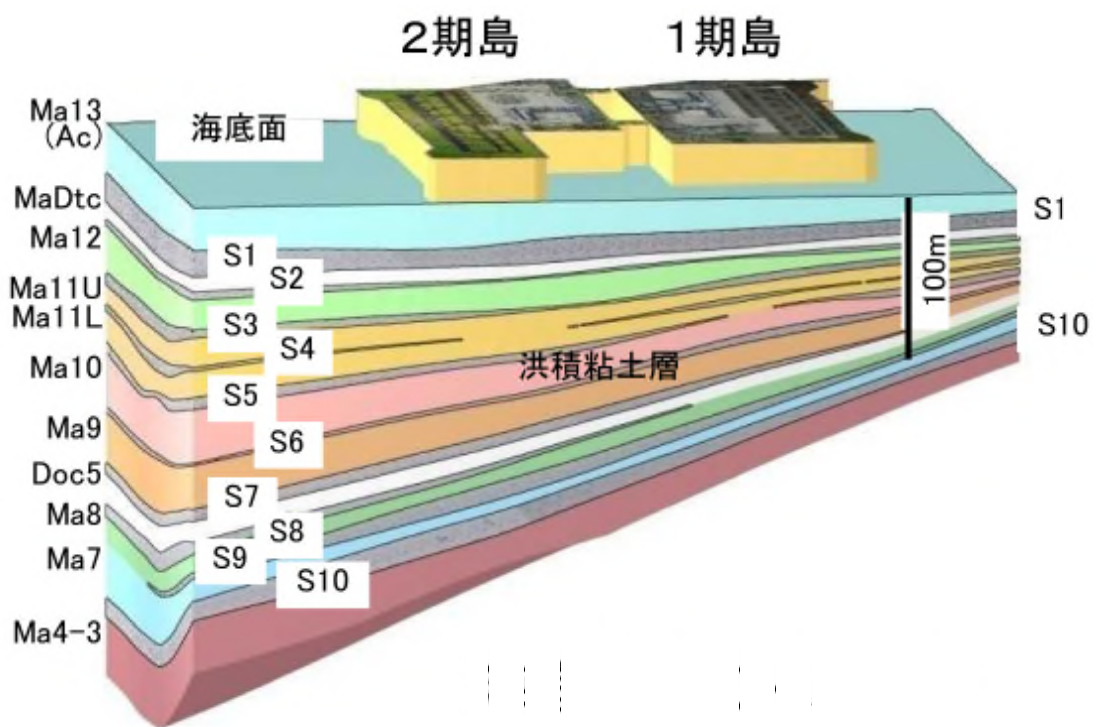
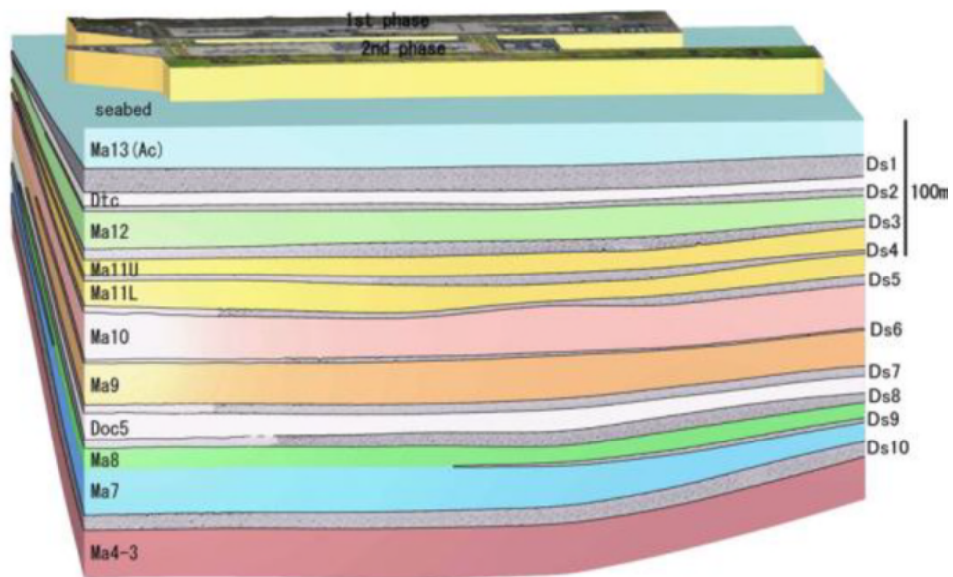


図 2.2.7 関西空港直下の地盤モデル（第2次改良モデル）

上図：南北断面，下図：東西断面

(3) 第3次モデル

二期島が埋め立てられた時期に、同島において、着岩までのオールコアサンプリングが実施された（KIX18-1 コア）。陸化した場所で大きな櫓を立てて、港研式ワイヤーラインで1350mの掘削を行い、着岩するまでのオールコアをサンプリングし、観察、分析を経て、層序を確立した。これに伴って、各地層は完全に大阪層群と対比されることになり、これまでに確定していなかった部分も含め、詳細な観察と火山灰分析によって、図 2.2.8、図 2.2.9 のように層序が確定した。

空港島累層で Doc5 層と呼ばれていたものは Ma8 層であり、小瀬田火山灰層とサクラ火山灰層によって Ma7 層が確定、さらにその下に Ma6 層、Ma6'層が Ma5 層、今熊Ⅱ火山灰層の下に Ma4 層と判定することができ、いわゆる大阪層群の下部から上部のすべての地層を確認することができた。こうした詳細な火山灰層の確認による対比作業を過去のコアの残試料を用いて検討し、層序の見直しや側方対比を行って、再度各コアの柱状図を作成した。作図の際には、図 2.2.10 に示す海上の反射断面を用いて補間した。対比作業は、地質調査ボーリングに最も近い反射測線結果に粘土層などの地層を対比し、反射断面の対応する反射面の記録を用いて側方に対比し、別の測線と交差する部分で、他測線へ対比を続ける（図 2.2.11）。この対比線をボーリングの点で示される深度データと合わせて地質分布図を作成し、詳細な分布図を作成した。

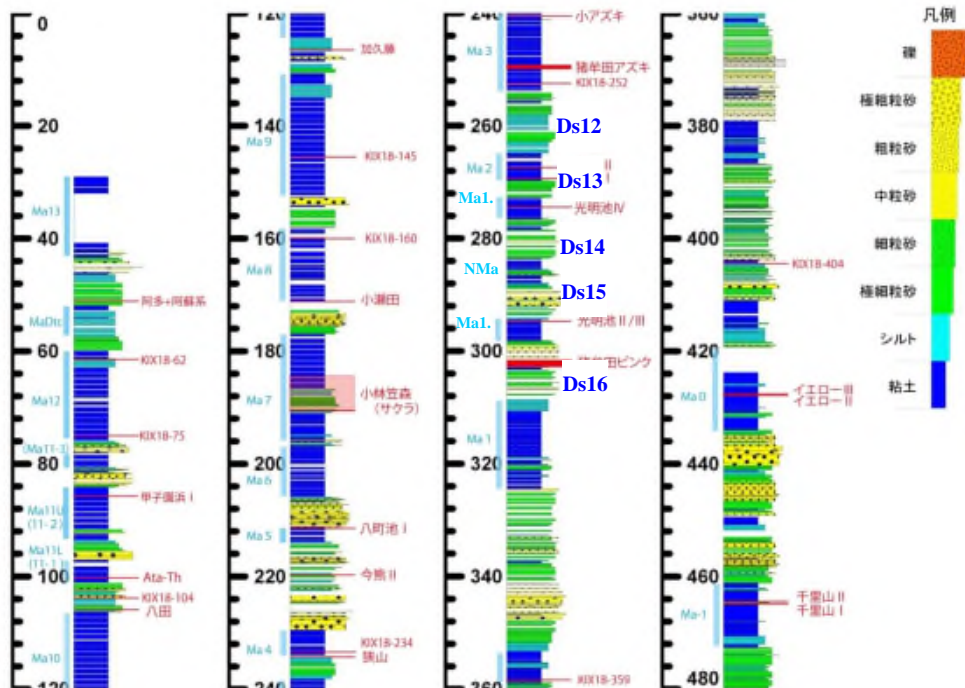


図 2.2.8 地質観察結果と層序および根拠となった火山灰層

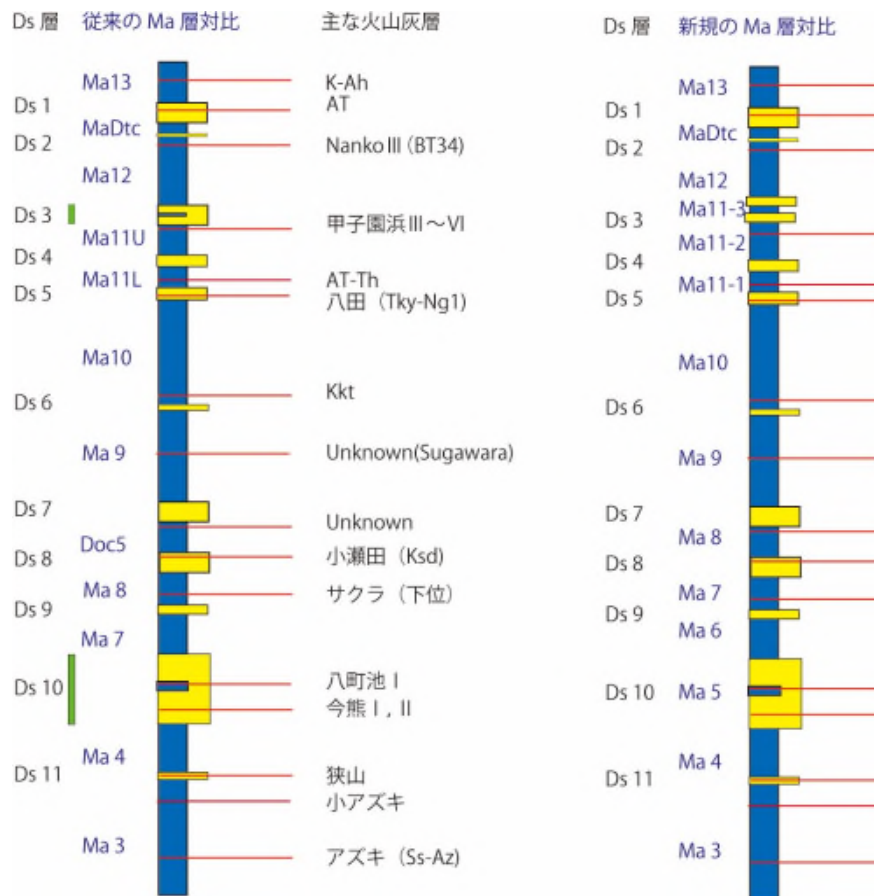
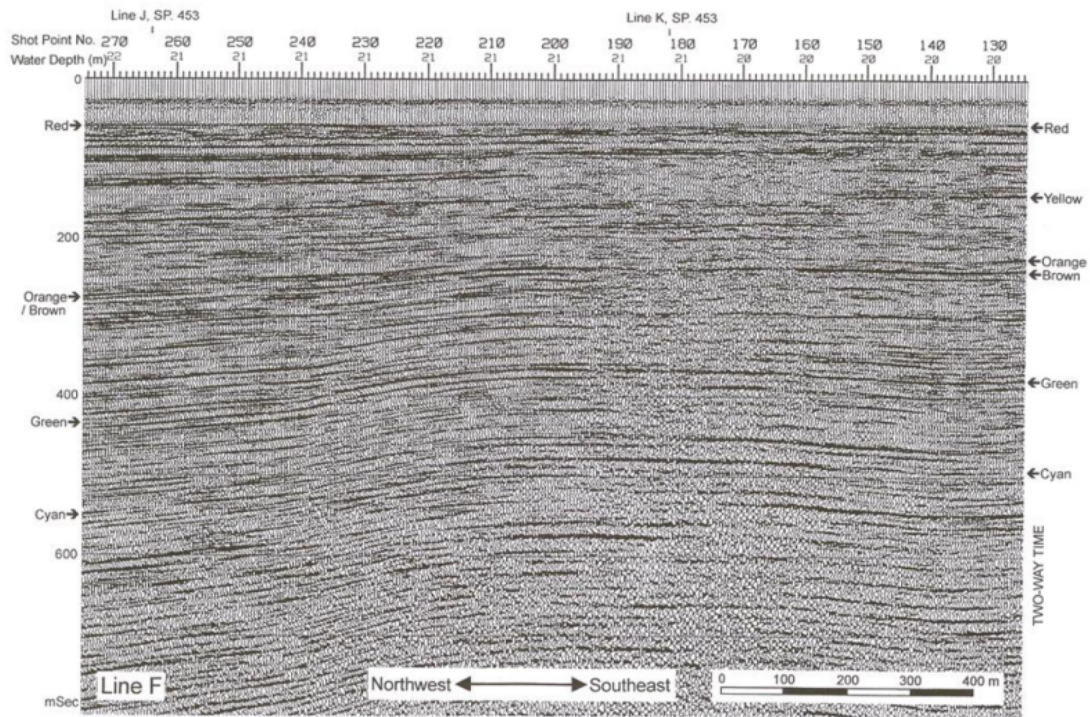


図 2.2.9 新しく大阪層群と対比された部分とその根拠



反射法地震探査断面の一例

図 2.2.10 反射法探査の断面図（事例断面の一つ）

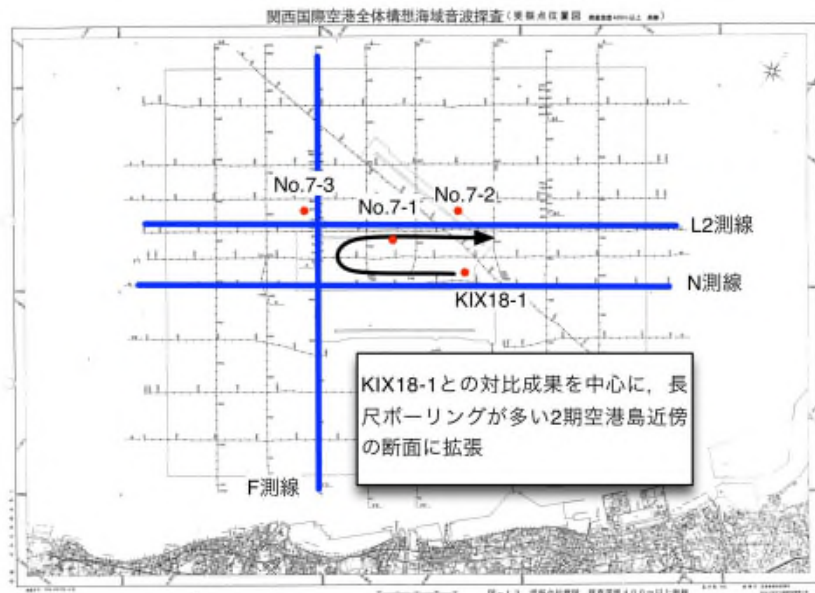


図 2.2.11 対比作業の手順

これにより、従来はボーリング点のみの地層対比であったものが、多数の確認点を用いてボーリング点間を補間することができ、詳細な地層分布コンターを作成することができた。さらに、該当するDs層を構成する粒度の特徴を取りまとめることで、過去の流向や堆積物の特徴を把握した。一例を図2.2.12に示す。これによると、左上の図に示すようにコアでの確認深度（★印）と反射法探査の読標点（●印）を合わせると詳細な分布コンターを作成することが可能となり、これの上面と下面の情報から、右上の図に示すように層厚分布図を作成することが可能となった。特に、下図からは、層厚の厚い部分が比較的礫質であること、関空島よりも北西側で全体の層厚が厚くなっていることを確認することができ、おそらく、この時期の海岸線が空港島付近に存在していたと予測される。空港島側にある厚い堆積物は河道の跡と読み取れる。このようなモデルを各地層モデルとして作成した。

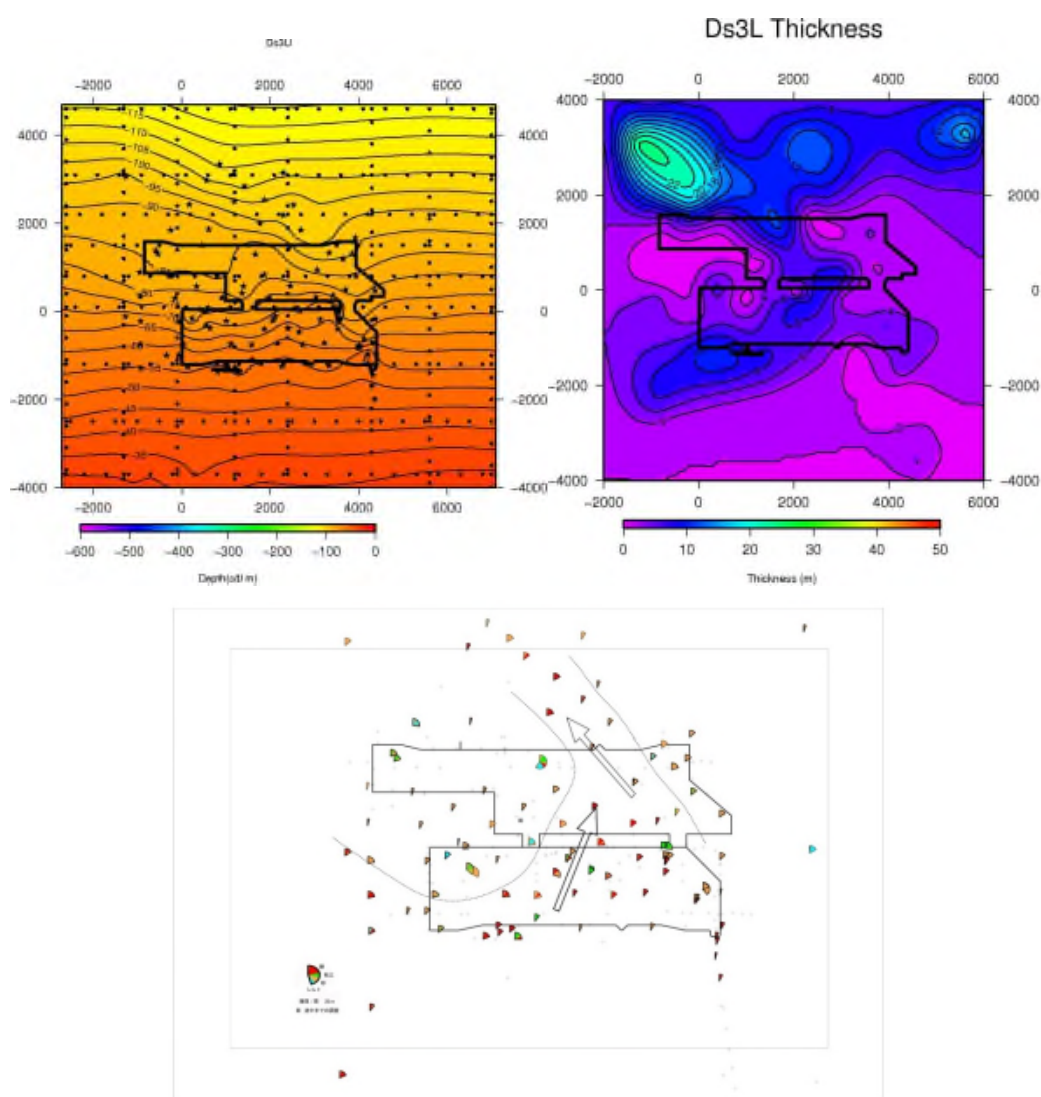


図 2.2.12 Ds3 層の上面分布図（上左）と層厚分布図（上右）と土層分布図（下）

2.3 高圧帯水層の事例 —北陸新幹線、飯山トンネル—

2.3.1 事業概要^{1),2)}

【建設事業名称】

北陸新幹線飯山トンネル上倉工区

工事場所：長野県飯山市

工事内容：本坑掘削延長 L=3,820m

掘削断面積81m²

縦断勾配 10/1,000 および30/1,000

掘削工法：ショートベンチカット工法

補助ベンチ付き全断面工法

掘削方式：機械掘削

【事業主体】

鉄道建設・運輸施設整備支援機

【事業の対象地域、事例関連位置】

北陸新幹線(長野・金沢間) (図2.3.1) 飯山トンネル(延長22 km 225m)の飯山市側から「上倉」「富倉1」「新井」「東菅沼」「木成」「板倉」の6工区として平成10(1998)年6月に着工した(図2.3.2)。本節では、上倉工区と富倉工区の事例について報告する。

(1) 上倉工区の崩壊事例の背景



図 2.3.1 北陸新幹線の建設計画と飯山トンネル

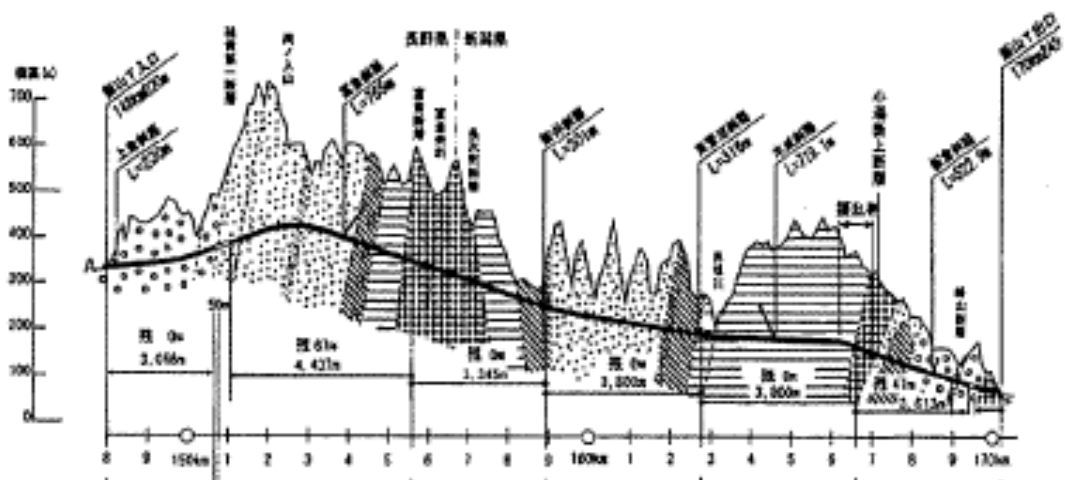


図 2.3.2 飯山トンネルの地質縦断図

上倉工区の施工現場において、2003(平成15)年9月11日午前3:05に起点側坑口から距離3,067m 地点の切羽で、大規模な切羽天端の崩落が発生した。坑内への流入土砂は、油圧ジャンボ等を約500m 押し流す規模であった、また、崩落地点の土被りは190mであり、地表部には直径約50m、深さ約30m の陥没孔が発生し、陥没容積は約30,000m³に至った

地質は、新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけて堆積された砂岩・泥岩・礫岩の互層であり、背斜・向斜構造や顕著な断層が発達する複雑な地質構造を示し、事前の調査で把握できなかった断層と地下水を原因として崩落が発生した。トンネル工事での崩落規模としては、おそらく最大規模のものと考えられる。

(2) 地形及び地質概要

a) 地形概要

飯山市から上越市にかけて流れる河川系は、千曲川と関川に分けられる。千曲川は、松本盆地から流れ飯山盆地を通過して新潟県で信濃川となる。飯山盆地内をほぼ北流し、右岸ではいくつかの支流が大きな扇状地を構成しながら千曲川に注ぐ、一方左岸では、飯山トンネルを施工している関田山地から流れ出す短い支流が山麓を刻んでいる。関田山地は、標高1,000mに達するやや急峻な山地であり、山稜が非対称である。南東斜面がやや急峻で崩壊地形や地すべり地形が広く発達しており、その堆積物は一部千曲川を越えて右岸に達している。また、山地の頂部近には平坦な侵食起伏面が発達している。

b) 地質概要

崩落個所の地質は、新第三紀鮮新世後期第四紀更新世前期に堆積した新潟標準層序でいう灰爪層で構成されている、本層は魚沼層群に相当し、海水準変動に伴う海成一非海成層が周期的に繰り返すサイクルが発達している。泥岩・砂岩・礫岩を主体として、特に泥岩と砂岩が数十センチの層厚単位で互層を成す。さらに、亜炭層や凝灰岩層を頻繁に挟み、

ときには火山泥流堆積物や火砕岩層を挟む。富倉背斜東翼の関田山地に頂部に広く、灰爪層を覆って安山岩質火砕岩と溶岩が存在する。この安山岩溶岩は、多量の裂か水を貯留し、集落の水源となっている。地層の傾斜は、富倉背斜を形成した地殻運動のため、60°前後と急傾斜を示す、付近には平坦な侵食起伏面が発達している。

(3) トンネル掘削と崩落に至る経緯(図2.3.3)

坑口から約2,800 mは、灰爪層の上盤にあたる小国層を掘削した。土被りの小さく(約40m)なる皿川下位や地質が脆弱な個所では、長尺先受け工法(AGF)の採用などで掘削した、灰爪層の掘削に入ってから、水抜き工法を併用しながら順調にトンネル掘削が実施された、水抜き工法の併用は、互層で存在する砂層が地下水を胚胎し、切羽の解放とともに流砂を起し、同時にシルト層への破壊につながるためである。坑口から3,067mまで補助ベンチ付き全断面工法で掘削を進めたところ、2003(平成15)年9月11日に切羽天端の大規模崩落に至った。

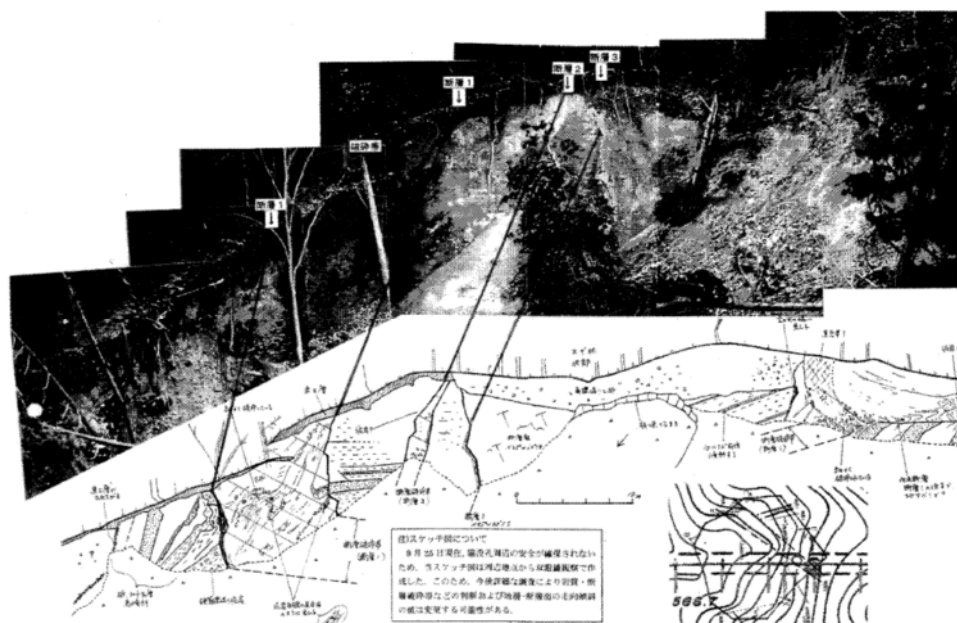


図 2.3.3 飯山トンネルの崩落状況

(4) トンネル崩落の原因

トンネル崩落部の復旧を行うにあたり、地質調査ボーリングにより陥没部周辺の地質構造を確認し、復旧計画策定を行うこととしたその際、かねてより組織されていた。この崩落事故に関して飯山トンネル他特別委員会(委員長;足立紀尚・京都大学名巻教授)で審議を

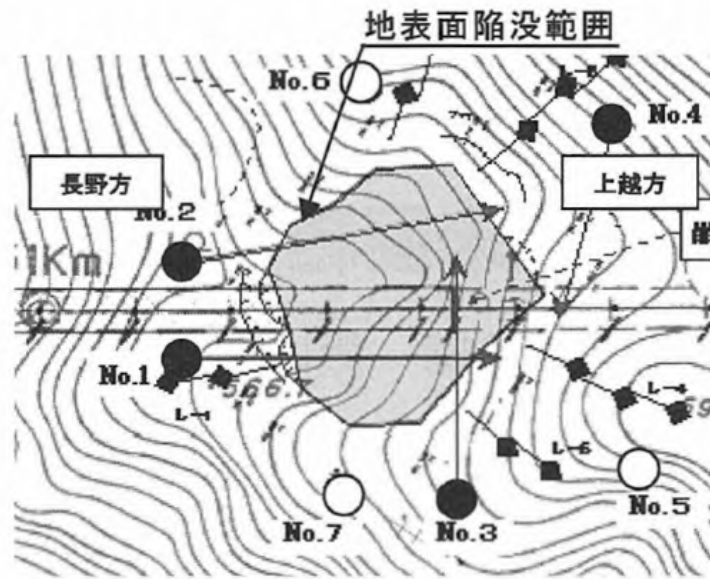


図 2.3.4 地質調査ボーリング(陥没付近より)

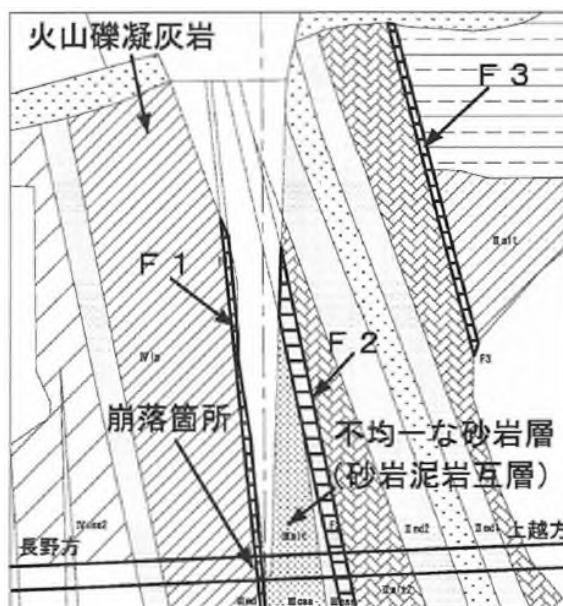


図 2.3.5 陥没部付近の地質縦断図

重ねた結果、崩落の原因について一定の見解が示された。

a) 崩落部調査

地質調査ボーリングとして、地上から斜めボーリング 4 本 (●)、鉛直ボーリング 3 本(○) を実施した(図 2.3.4)。ボーリング孔には陥没箇所周辺の地下水位、地山の挙動を計測するために、No.4～7 には孔内水位計を、No.3 に孔内伸縮計を設置し、復旧時の計測管理を行うこととした。

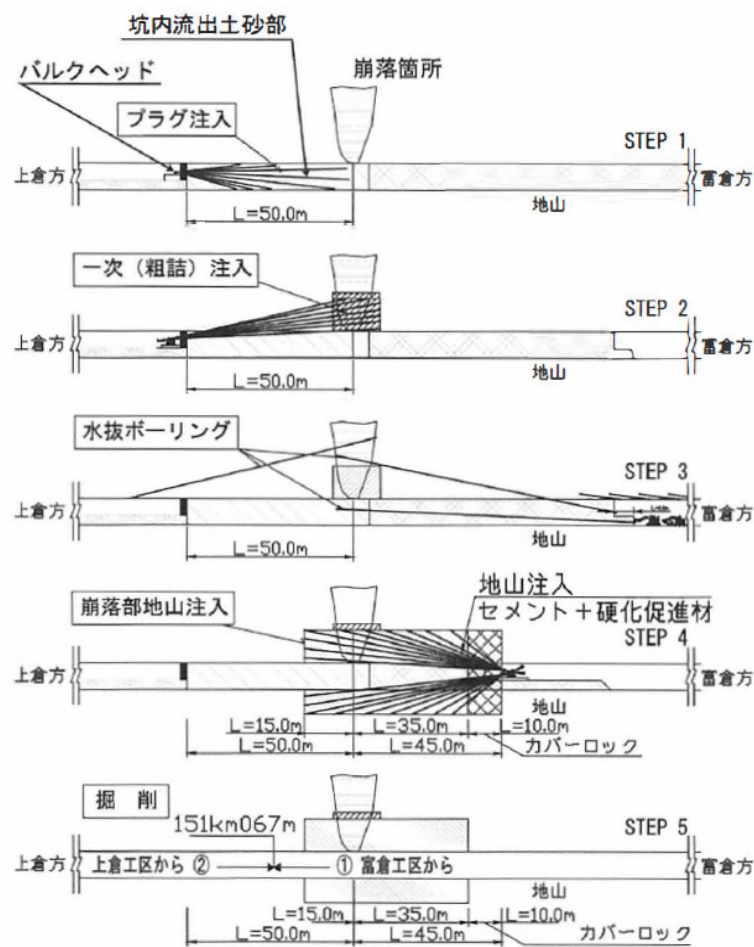


図 2.3.6 復旧計画ステップ

b) 原因の推定

地質調査結果をもとに、飯山トンネル他特別委員会において、地質工学およびトンネル工学的な知見にもとづき検討を行い、トンネル崩落の原因は「F1、F2断層沿いの泥岩などにより遮へいされた高水頭の地下水が、トンネル掘削により薄くなった断層を最初に破壊し、二つの断層に挟まれた未固結で粒度の荒い砂からなっている砂岩層（以降「IIIcss」）が泥岩およびF1断層を地下水とともに突き破り崩落した」と推定し、この考えをもって崩落部復旧対策を検討することとした（図2.3.5）。

(5) 崩落部復旧

a) 上倉工区の復旧

地上の陥没した箇所は、稜雪による上載荷重の増加、春先の融雪による陥没部への集水および安全管理上の観点から、陥没部に蓋をかけるようにエアミルク（比重0.6程度）を流し

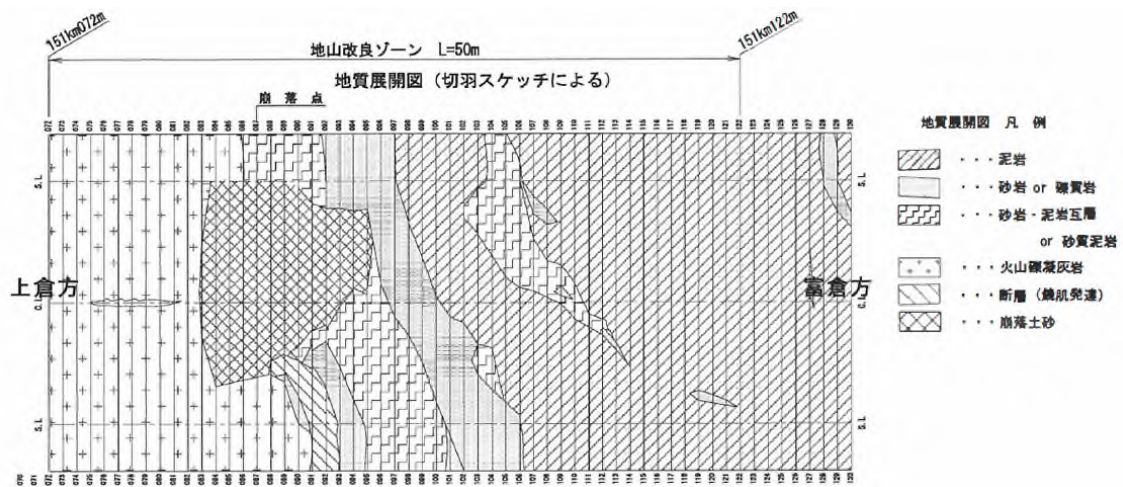


図 2.3.7 崩落部破壊状況展開図

込んだ。上倉工区の坑内は、セントルの解体や掘削機械類の撤去後、坑内土砂の撤去を行った。セントルから切羽に向けて土砂を撤去するにあたり、陥没部と坑内流出土砂の土圧バランスを計算し、注入などを行わず、単純に撤去できる範囲を決定した。

その結果、下半は崩落箇所より約 190m まで撤去を行うこととしたまた、上半は、崩落箇所より 50m 付近までの土砂撤去を行い、バルクヘッドとして、厚さ 1m の土のうと、2.5～4.0m 厚のコンクリート壁を構築することとした。

b) 崩落部の復旧計画

崩落部の復旧は、上倉工区と富倉工区との連携により、トンネルを貫通させる必要があることから、次の基本方針にもとづき復旧計画(図 2.3.6)を立てた。

基本方針として、①上倉工区は崩落箇所から 50 m までの区間に崩落部周辺の地山注入のリーク止めとしてプラグ注入と、②崩落部周辺への 1 次注入を行い、③上倉および富倉両工区から水抜きボーリングで十分に水位を低下させた後に、④富倉工区から崩落部周辺の地山注入を行う。その後、⑤富倉工区より崩落箇所近傍の地山への注入状況を確認しながら崩落部(151km087m)を通過し、151km 067m まで掘削を行うこととした上倉工区は富倉工区が到達後、バルクヘッドから 151km 067m までのプラグ注入区間について土砂撤去を行うこととした(図 2.3.6)。

(6) 対策後の経過

平成 19(2007)年 7 月初旬、富倉方からの上半掘削が崩落部である 151km087m を通過し、掘削計画予定の 151km067m まで無事到達した。掘削中の切羽観察の結果、崩落土砂は IIIcss(未固結砂岩層)が存在する 151km096m から切羽天端右肩に出現し、151km086m の上倉方最終建て込み支保工は飴のように破壊されていた。その後、富倉方の残りの下半掘削、インバート

ストラット 施工を経て、上倉方からの流入土砂撤去により、2007(平成 19)年 7 月 26 日、両工区が無事貫通した。崩落部周辺の地山の状況展開図を図 2.3.7 に示す。

(7) 富倉工区の概要³⁾

富倉工区では固結度の低い砂岩層が分布し、高い水圧を有する多量の地下水が存在する可能性が指摘されていたさらに、水抜きボーリングを施工し水位低下を確認しているにも係わらず、切羽からの被圧湧水を確認するなど、帯水層が偏在し、一般的な水抜きボーリングだけでは帯水層の確認が困難なことが懸念された。従来切羽周辺の地山の地下水を把握することが困難であり、帯水層が偏在していないことを前提に、長尺の水抜きボーリングで地下水を低下させ掘削を行ってきたしかし、当工区のように偏在する帯水層は、長尺の水抜きボーリングでは水圧、水量の低下を十分に行うことができず、切羽の安定を確保することが難しい。そこで、切羽前方の地質及び水量・水圧の確認を目的とした長尺ボーリングと、新たに切羽周辺の地質帯水の状況の確認および水抜きを目的とした短尺ボーリングを併用した掘削工法を開発した。

a) 長尺ボーリング

長さ100~200mのボーリングで切羽前方の地質分布、帯水層の分布の確認を目的とする帯水層が確認された場合には、口元で湧水量、湧水圧を測定し、管理手法を用い切羽管理に反映させる。このボーリングの基本的な考え方は以下の通りである。

- ① 全区間の地質状況を把握するために、必ず前回のボーリング先端と施工位置がラップするようにコアボーリングを施工する。また、湧水が確認された場合には水抜き孔とする。
- ② 地質の傾斜や堆積状況などを考慮して、早期に地下水位の低下ができるような施工箇所を選定し、先行させて施工する。
- ③ ボーリングから湧水が確認されない場合でも、切羽左右両側でラップするように施工する。

a) 管理手法

長尺ボーリングでは、掘削の是非を判断するために、管理基準として限界動水勾配を考慮した。切羽前方のカバーロックを土塊(幅 a ×高さ a ×奥行き L)とみなし、下記のように土塊に作用する水圧(P_w)と水圧に抵抗する土塊の抵抗力(F)のバランスを考慮し、管理基準(1式)とした。

$$P_w = \gamma_w \times h_w \times a \times a \quad (1)$$

$$F = \gamma' \times (4h_r + 2a) \times a \times L \times \tan\phi + 4a \times L \times C$$

a : 土塊 (トンネル) 断面辺長(m)

L : 土塊長 (カバーロック長) (m)

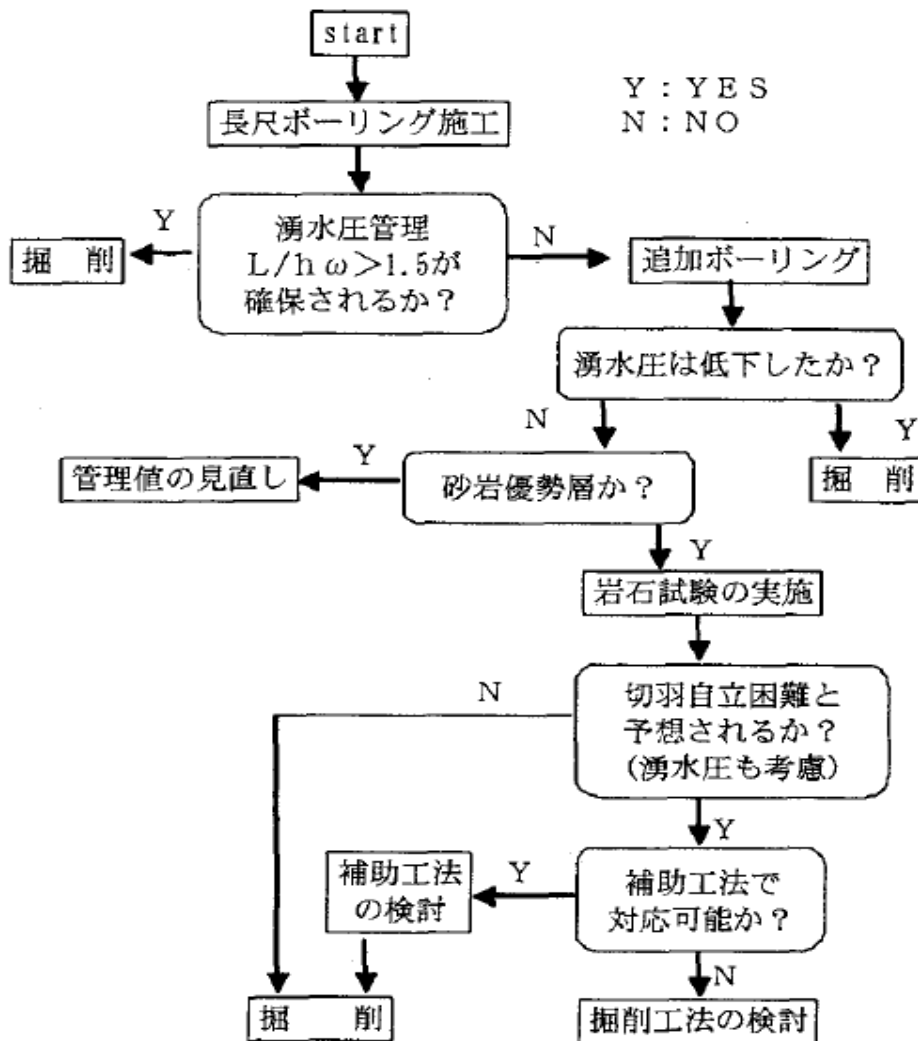


図 2.3.8 長尺ボーリング管理フロー

- γ_w : 水の単位体積重量(1.0 t/m³)
- h_w : 被圧水頭(m)
- h_r : 抵抗力に寄与する土被り厚さ(m)
- γ' : 土の水中単位体積重量(1.0t/m³)
- C : 土塊の粘着力(tf/ m²)
- ϕ : 土塊の内部摩擦角(°)

ここで、本来土被り厚に相当する鉛直力に対する摩擦力が抵抗力として見込まれるが、トンネル周辺での緩みあるいは切羽を発端とする進行性破壊という流出形態などから安全側を考慮して、土被り厚 h_r はゼロとして、土塊の自重分のみを評価す

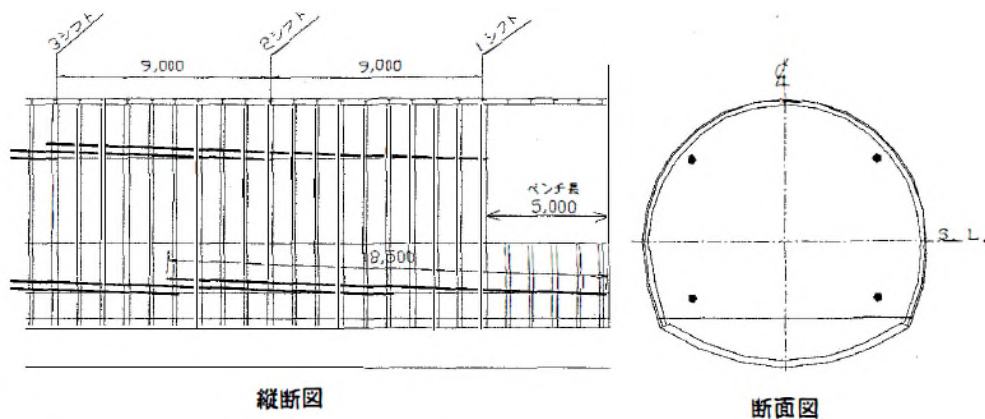


図 2.3.9 短尺ボーリング管理フロー

る。 $P_w = F$ とすると、限界動水勾配 ($i_c = h_w/L$) は以下のようになる

$$i_c = (4C + 2a \times \gamma' \times \tan\phi) / a \times \gamma_w \quad (2)$$

固結な土砂地山を想定し、 $C=0$ 、 $\phi = 30^\circ$ とすると限界動水勾配は約1となる。さらに通常ボーリングの検討に用いられる安全率1.5を適用し、 $L/h_w \geq 1.5$ を管理基準とした。つまり、前方地山によるカバーロック長が水頭の1.5倍以上である状況を基本的な管理基準とした。ただし、地山の状態が未固結な土砂地山と大きく異なる場合は、 C 、 ϕ を見直して新たに管理基準を設定する。長尺ボーリングの管理フローを図2.3.8に示す。

b) 施工方法

長尺ボーリングでは捕らえられなかった、切羽周辺の局所的な地下水の有無を確認し、地下水が存在する場合には水位を低下させること目的とする。長尺ボーリング同様に湧水量、湧水圧を測定し、前節に示すように切羽管理に反映させる。施工方法は先受工に利用されているFIT管を利用し、9mピッチで、切羽断面の左右両肩部及び左右下半部の計4箇所を実施する(図2.3.9)。削孔長は前方に高圧地下水が存在し、崩壊し易い地層が分布する場合も切羽とその地層との間がバルクヘッドになりうるために15~20mとする。この短尺ボーリングの基本的な考え方は以下のとおりである。

- ① 切羽が安定している場合も、前方の地質の不均質性に伴う局所的な地下水分布を確認するために常時施工するものとする。
- ② 新たに滴水の見られる箇所においても実施する。
- ③ 長尺ボーリングの結果により、実施位置や頻度等を変更する。

表 2.3.1 長尺ボーリング結果

No.	施工キ口程	削孔長 m	湧水量 ℓ/分	湧水圧 Mpa	必要カバー ロック長 m
1	151km840mL	200	850.0	0.700	105
11	151km608mL	200	173.0	0.340	51
16	151km475mL	100	90.0	0.207	31
17	151km440mL	120	340.0	1.500	50
18	151km428mL	120	390.0	1.011	34
19	151km412mL	116	930.0	1.513	50
20	151km396mL	110	900.0	1.300	43
21	151km396mR	165	209.0	1.043	35
22	151km385mL	110	1,400.0	1.250	42
23	151km360mL	200	5,000.0	1.100	37
24	151km360mR	160	297.0	0.640	21
25	151km360mL	100	1,740.0	0.820	27
26	151km355mR	105	583.0	0.160	5
27	151km358mT	100	7.5	—	
28	151km352mR	136	1,500.0	0.310	10

※L:切羽左側、R:切羽右側、T:天端

④ 高圧湧水が確認された場合には、掘削を中止し、必要な対策の検討を行う。

c) 管理手法

帯水層の水圧が地山に作用した場合に、未掘削延長がカバーロックとして抵抗できる抵抗を確認し、切羽の安定を確保できるような管理値とする。「鉄道構造物等設計基準都市部山岳工法トンネル」より、過去の経験に基づき、掘削時の切羽前方圧力水頭が切羽中心より+10m未満であることを砂質土地山の適用条件とし、+10m以上の場合は別途水位低下工などの検討をする。このことから、短尺ボーリングでは湧水圧測定当初は、水頭で約10mに相当する湧水圧0.1MPaを管理基準として設定した。この基準値はあくまで暫定的なものであり、データを蓄積することで、より適切な基準値に随時変更する必要がある。暫定の基準値で管理しながら掘削し、湧水による切羽の不安定化が認められた場合には、切羽安定化のための補助工法及び水抜き工を行い、基準値の下方修正の検討を行う。また、基準値を上方修正する場合には、分布する地山の湧水圧に対する抵抗性を資料試験などにより別途評価する。

(8) 湧水圧測定結果

a) 長尺ボーリング結果

表2.3.1に長尺ボーリングの結果の一部を示す。表中の必要カバーロック長は管理基

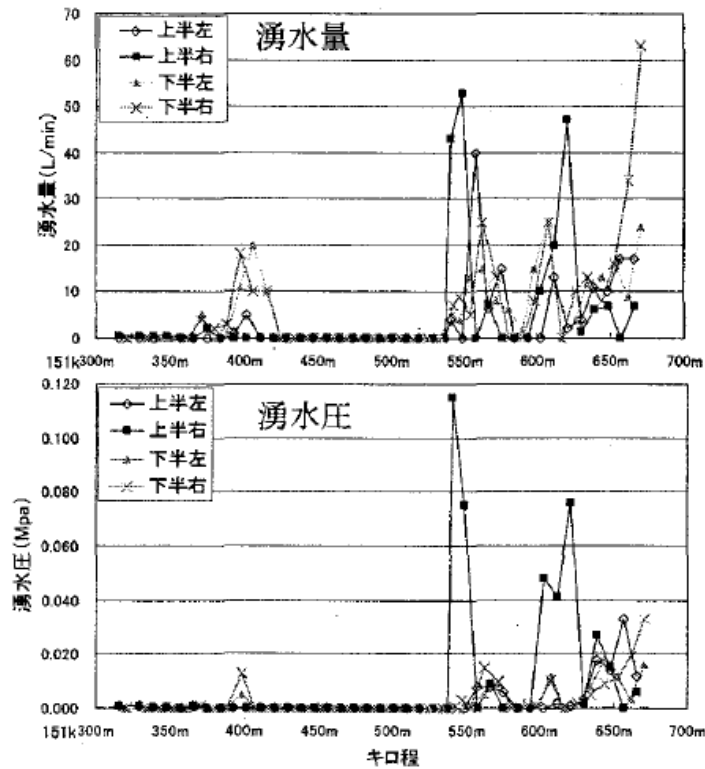


図 2.3.10 短尺ボーリング結果

準に基づくものでボーリングNo. 16までは基準を満たしていた。次に施工したボーリングNo.17では非常に高い湧水圧1.5MPaを記録し、当初の管理基準ではカバーロック長が確保できない状況となった。しかし、コアの状況よりカバーロック部分は泥岩主体となっているため、地山物性値は周辺で実施された調査の泥岩層の物性値を参考とし、管理基準の見直しを実施したその結果、前方地山によるカバーロック長が水頭の1/3以上である状況をこの付近での管理基準とした(表中ハッチ掛け部分)。つまり、水圧が1.5MPaに対するカバーロック長は50mとなる。このように、掘削状況にあわせて管理基準を見直しながら掘削を行う。先行させる長尺ボーリングの施工位置の決定はできるだけ早い段階で地質を把握するために非常に重要である。富倉工区では地層がたっており、掘削を進めると切羽に対して左側から新しい地層が出現し、右側に移動するという傾向が見られるこのような地質状況から、より早期に地下水位を低下させるために切羽に対して左側のボーリングを先行して施工することとした。これまでに実施した長尺ボーリングの湧水量の傾向を示す。

- ① 先行させている左側のボーリングで多量の湧水が確認されているのに対し、後から施工する右側のボーリングや短尺ボーリングでは湧水量、湧水圧が低い。
 - ② 前回のボーリングで達していない層において、多量の湧水が確認される。
- 以上のことから、長尺ボーリングによってトンネル周辺のマクロ的な地下水位低下を確認した。

b) 短尺ボーリング結果

湧水圧の測定はこれまでに40回の測定を行った。測定結果を図2.3.10に示す。

この結果より、湧水量が少なくても比較的高い湧水圧を示す場合がある。原因としては、透水性の低い地層が高い水頭を有して帯水している場合や、地下水が被圧している場合などが考えられる。また、同じ切羽において1箇所のみ湧水量や湧水圧が高い場合や切羽ではほとんど湧水が確認できない地点でも、天端部や肩部、ロックボルトから湧水が認められることから、地質の不均質性に伴い地下水が局所的に存在していることを示唆すると考えられる。

以上のように、長尺の水抜きボーリングでは低下させることのできない局所的な地下水を短尺ボーリングで捕らえている可能性が高い。その一例として151km541m地点がある。この地点は短尺ボーリングの上半右肩部において、管理基準値(0.1MPa)以上を記録した箇所である。この地点での経過を以下に示す。

- ① 掘削中に切羽数m手前のロックボルトが約20cm押し出されていることが確認された。
- ② 再度導水用の穴を削孔したところ、多量の湧水が再噴出した。
- ③ 掘削を中止し、短尺ボーリングを施工した。上半右肩部以外ではほとんど湧水は確認されなかったが、上半右肩部の削孔中には高い湧水圧を確認し、約12m時点で削孔不能となった。
- ④ 切羽近傍より再度短尺ボーリングを行い、湧水量43ℓ/min,湧水圧0.115MPaを確認した。
- ⑤ 湧水圧が管理基準値を超えているため、L=30mの水抜きボーリングを2本施工した
- ⑥ 水抜きボーリングの湧水量、湧水圧の低下を確認後、再度151km541mの上半右肩部で短尺ボーリングを行い、湧水量、湧水圧の減少を確認し掘削を再開した。

同一地点における上半右肩部以外の短尺ボーリングでは湧水はほとんど確認されなかったことから、地質が不均質であったと考えられる。また、この付近は長尺ボーリングで比較的高い湧水圧を確認した地層であり、長尺のボーリングにおいて十分に水位低下させることのできなかつた局所的な帯水層を、短尺ボーリングによって事前に確認することができた。

<参考文献>

- 1) 北原秀介, 朝倉俊弘, 笹尾春夫, トンネル施工中に発生した大規模な岩盤崩落 — 北陸新幹線飯山トンネルの事例 —, 学術講演会講演論文集, 55, pp.145-146, 2006
- 2) 都築保勇, 黒岩清貴, 福入博文, 杉本憲一, 高水頭未固結砂岩層の大崩落とその克

服一北陸新幹線飯山トンネル(上倉工区・富倉工区)一, トンネルと地下, 第39巻8号,
pp.7-14, 2008.

- 3) 高原英彰, 依田淳一, 川原一則, 偏在する高圧帯水層の地山における湧水圧管理を用いたトンネル掘削, トンネル工学報告集第15巻/pp. 101-105, 2005. 12

2.4 断層破碎帯の事例 中・短尺ボーリングを併用し得られた地質情報で断層破碎帯を施工 —北陸新幹線 新北陸トンネル（大桐工区）—

2.4.1 事業概要¹⁾

【建設事業名称】

工事名称：北陸新幹線新北陸トンネル（大桐）

路線名：北陸新幹線（金沢・敦賀間）

工事場所：福井県南条郡南越前町地内

工期：2013(平成24)年12月24日~2019(平成31)年5月23日

工事内容：本坑掘削延長 L=3,605m, 斜坑483m

掘削断面積73.5m²

直線. 上り8 %

トンネル工法：NATM(発破)

【事業主体】

鉄道建設・運輸施設整備支援機

【事業の対象地域、事例関連位置】

北陸新幹線は東京都を起点とし長野市付近、富山市付近、小浜市付近を經由して大阪市に至る延長約 690km の路線で、1973(昭和 48)年に整備計画が決定された高崎・長野間の約 117km については1997(平成 9)年 10 月に長野五輪に合わせて開業し 2015(平成 27)年 3 月に長野・金沢間の約 28km が開業した現在建設中の北陸新幹線(金沢・敦賀間)については、2012(平成 24)年 6 月に国土交通大臣より認可を受けた 2015(平成 27)年 1 月の政府・与党申合せにおいて、沿線地方公共団体の最大限の取組みを前提に、3 年前倒しし、2022(令和 3)年度末の完成を目指すこととされた。

北陸新幹線（金沢・敦賀間）の工事区間は白山総合車両所（石川県白山市）から敦賀駅（福井県敦賀市）まで、工事延長は約 115km であり、内訳は、路盤約 2.3km(約 2%)、橋梁約 16.4km(約 14%)、高架橋約 58.2km(約 51%)、トンネル約 37.7km(約 33%)となっている。新北陸トンネルは北陸新幹線（金沢・敦賀間）にて工事を進めている福井県南越前町から敦賀市に位置する延長約 20km の山岳越前町から敦賀市に位置する延長約 20km の山岳トンネルであり、北陸新幹線としては長野県飯山市と新潟県上越市を結ぶ飯山トンネルに次ぐ 2 番目の長さとなっている。

本節では、新北陸トンネル(大桐工区)において、中尺コアボーリングとドリルジャンボによる 30m のさぐり削孔を用いた断層破碎帯での施工について報告する。

(1) 工事概要

新北陸トンネル（大桐工区）は、北陸新幹線新北陸トンネルのうち、南越前町内の工事延長 3,605m の工区である。現在(2017(平成 29)年 9 月 1 日時点)の進捗状況は、掘削 2016m(56%)、覆工 980m(27%)、インバート 1,234m (34%)となっている。

(2) 地形・地質概要

本工区の地質は工事起点から大半の区間においては、美浪帯に属す古生代～中生代ジュラ紀の堆積岩で構成されており、砂岩、粘板岩（頁岩）、チャートおよび緑色岩類などの岩石、地層が発達している。砂岩を主体とした硬岩地山と亀裂が発達した砂岩・粘板岩互層が入れかわり出現するとともに断層が断続的に現れる地質性状の変化が著しい地山である。工事終点の一部の区間において花崗岩や花崗閃緑岩から構成されていた。中古生層のため亀裂が発達しており、亀裂内に蓄積された湧水(帯水)や地表面を流れる川や沢からの供給水で多量の湧水の発生が予測される。

新北陸トンネルにおいては、既往の調査より、活断層との交差が予測されており、柳ヶ瀬断層群との交差が予想されている。柳ヶ瀬断層は、日本海沿岸の福井県福井市鮎川から丹生郡越廼村越前岬沖の若狭湾東縁を通り、滋賀県伊香郡木之本村を経て、岐阜県不破郡垂井町に至る「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部」と福井県敦市の立石岬付近から敦賀湾を横切り、滋賀県伊香郡余呉町に至る「裏底・柳ヶ瀬山断層帯」からなる。本稿で述べている柳ヶ瀬層群は、「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部」に属している。

工事の終点方で「柳ヶ瀬断層群を通過し、その中で北陸自動車道と 40m の離隔で交差する。北陸自動車道の施工実績より多量湧水が確認されており、軟弱な地山であることを考慮すると困難な施工が予想される。

(3) 前方探査の概要

先述のような地質条件を持つトンネルにおいては、急な地山状況の変化が安定した掘削へ与える影響が大きいため、前方探査により事前に地山状況を把握しながら掘削する必要がある。新北陸トンネル（大桐工区）では、従来はトンネル全線においてドリルジャンボを用いたさぐり削孔を、事前調査から予測される脆弱層や層境付近ではトンネル側壁からの発破振動を受信して地山状況を把握する弾性波探査（反射法）を実施し、多量湧水が予測される地点では周波数により地山状況を把握する電磁波探査(FDEM 法)を実施している。さらに、必要に応じて主にノンコア水抜きボーリングリングを実施してきたが、456km720m 付近において突発湧水を伴う切羽の大規模な抜け落ちにより掘削を一時中止した。これを踏まえて従来の前方探査に加えコアボーリングの追加施工を計画・実施している。

a) さぐり削孔の概要

さぐり削孔はドリルジャンボを用いて、削孔速度、湧水状況および投入エネルギーから前

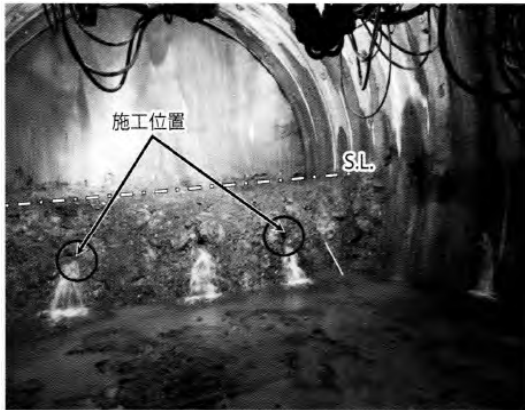


図 2.4.1 さぐり削孔の施工位置



図 2.4.2 コアボーリングの施工位置

方地山状況の把握を目的として実施する。削孔径は 65mm、削孔長は 30m、削孔位置は切羽下半 2 か所 (図 2.4.1)、施工方向は掘削方向前方とし、調査はトンネル全線で実施した。ボーリングビットは、くりこのはげが良く破碎帯での掘削に適したリトラックビットを用いた。

b) コアボーリングの概要

コアボーリングは、トンネル切羽前方の地山状況の把握および水位低下を目的に実施する。本調査は専用のマシンが必要となり通常の掘削と並行して施工できないため、週末に施工し、工程への影響を最小限に抑えている。また、調査方法は高速削孔が可能な PS ワイヤーラインエ法を採用し、掘削径は 101mm、掘削長は 100m 以上を基本とし、削孔位置は切羽後方の側壁部 (図 2.4.2)、施工方向は外向き 10°、上向き 3° とした事前調査より、柳ヶ瀬断層は掘削方向の右から左へ傾斜して走行していることが想定されており、より早く地質変化を捉えるため、掘削方向右側からの施工を計画・実施している。

c) さぐり削孔とコアボーリングの併用効果

さぐり削孔では、掘削方向前方の地山状況を通常の掘削機により手軽に把握できるため、経済性と施工性に優れ、急激な地山状況の変化に対応できる長所がある。しかし、削孔エネルギーでの判定のため、亀裂などの地山の詳細な把握が困難であること、短尺のため、事前対策の検討に限界があるといった短所が挙げられる。

一方コアボーリングでは、水圧計測が可能であり水抜き効果も高いことから、水圧に伴う切羽崩壊の防止が図れるだけでなく、コア採取により詳細で長期的な地山状況を把握でき、事前対策の検討が行える。また、削孔後は清水処理が可能になり濁水処理費用の軽減が図られる。しかし、専用のマシンによる施工のため、柔軟な対応が困難であることと、掘削方向が斜め前方のため、削孔長が大きくなると本線から離れた位置でのコア採取になり、地層の走向傾斜の観点から精度が落ちるといった短所が挙げられる。

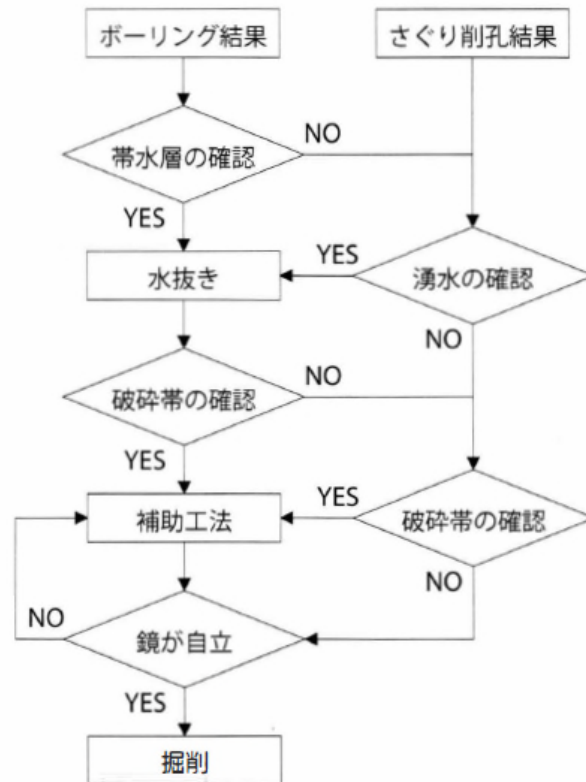


図 2.4.3 コアボーリングの施工位置

以上より、コアボーリングとさぐり削孔の併用により、双方の短所を補完しながら地山状況を把握することで適切な施工を実施することとした。その施工フローを図 2.4.3 に示す。

<参考文献>

- 1) 吉森佑介，高原英彰，鎌田和孝，中本大悟，中・短尺ボーリングを併用し得られた地質情報で断層破碎帯を施工—北陸新幹線 新北陸トンネル (大桐工区) —，トンネルと地下，第48巻11号，pp.7-13，2017.

2.5 鉬化変質岩の事例 —八甲田トンネルにおける掘削残土の酸性水溶出に関する判定手法の評価—

2.5.1 事業概要

【建設事業名称】¹⁾

工事名称：東北新幹線八戸・新青森間の八甲田トンネル

路線名：東北新幹線(七戸十和田駅-新青森駅)

工事場所：青森県上北郡七戸町

工期：1999(平成11)年6月～2005(平成17)年2月27日

工事内容：本坑掘削延長 L=26,455m

掘削断面積 80.0 m²

トンネル工法：NATM

【事業主体】

鉄道建設・運輸施設整備支援機

【事業の対象地域，事例関連位置】²⁾

2005(平成17)年2月に貫通した東北新幹線八戸・新青森間の八甲田トンネルも旧鉬山の分布地域に位置する(図2.5.1, 2.5.2)ことから、岩盤および掘削残土からの酸性水や重金属の溶出が懸念され、それらに関する評価法を確立するために調査・検討が行われてきた。八甲田トンネルから採取した岩石について全岩化学組成分析、簡易溶出試験などを行い、岩石の地球化学的特徴と溶出特性の関係を明らかにし、酸性水発生に関する岩石の判定手法が提案された。八甲田トンネルでは、この判定手法により酸性化が懸念されると判断された掘削残土について、産業廃棄物処理技術を応用した「管理型土捨場」に埋め立て処理した。このような酸性化が懸念される掘削残土の処分については、いくつかの施工事例が報告されているが、八甲田トンネルのように大規模な掘削工事において、岩石の判定に基づく掘削残土の分別、酸性化が懸念される残土の管理型土捨場への処理、さらに管理型土捨場からの浸出水のモニタリングを系統的に行った事例はない。

本節では岩石の判定結果の実績と工事開始から2005年12月まで継続した土捨場浸出水のモニタリング結果から、八甲田トンネルで提案された岩石判定手法の妥当性を検証するとともに、今後の鉬山跡地周辺における土木工事の際の岩石判定にかかわる調査方法ならびに掘削残土処分方法について提案する。

(4) 工事概要¹⁾

八甲田トンネルは七戸十和田駅と新青森駅の間に建設された。八甲田山系北端の裾野を貫く 26,455m の長大山岳トンネルで、八戸—新青森区間の約 3 分の 1 を占める。2005 年 2 月 27 日に貫通、陸上トンネルとしては同じ東北新幹線の岩手一戸トンネル (25,808m) を抜いて世界最長となった。約 2 ヶ月でスイスのレッチベルクベーストンネル (34,600m) にその座を明け渡したが、複線断面の陸上トンネルとしては、2010(平成 22)年 12 月 4 日の開業時点で世界最長である。トンネル工事は 6 工区に分けられ、建設がすすめられた。

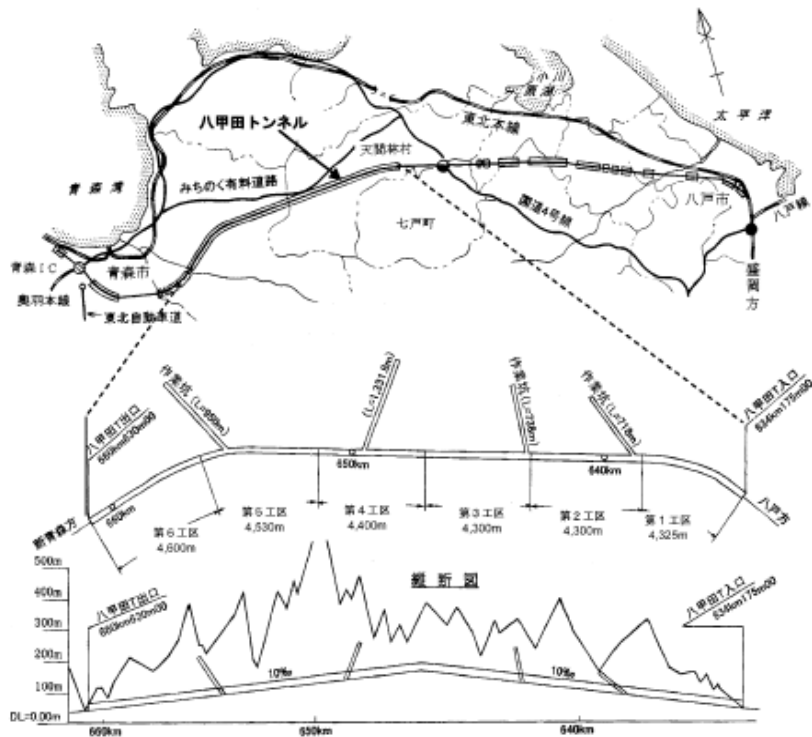


図2.5.1 八甲田トンネルの位置図(上図)と全体図(下図)²⁾

型」とする。鉍脈・鉍石以外の全岩種に対して簡易溶出試験を行い、1時間後の溶出水のpHが6.0以下を示す岩石を「管理型」とする。次に1時間後溶出水のpHが6.0を超える岩石について全岩化学組成分析を行い、硫黄含有量が2.0wt%以上の岩石を「管理型」とし、さらに泥岩については硫黄含有量が2.0wt%未満でもS/Caモル比が1.0以上を示す場合も「管理型」とする。また、鉛、ヒ素、セレンの重金属元素含有量がいずれも150ppm以上の岩石は「管理型」とする。簡易溶出試験や全岩化学組成分析の方法およびそれぞれの基準値の設定については、表2.5.1に概要をまとめ、一部については根拠となる図を図2.5.4～図2.5.6に示した。なお、八甲田トンネルでは検証を目的として、分析した全試料について上記のすべての試験を実施し、簡易溶出試験は56日間継続した。

(7) 岩石の溶出試験結果に基づく岩石判定基準の評価

a) 管理型判定に関する各基準の寄与度

八甲田トンネルにおける掘削実績に基づき、今回用いた管理型を判別する判定項目のなかで判定への寄与が高い項目を検討した。図2.5.3にしたがって判定した場合、泥岩では肉眼鑑定による判定の後、簡易溶出試験により溶出水の1時間後pH(pH(1h))が6.0以下の試料は管理型となる。pHが6.0を超える試料についてはS/Caモル比、硫黄含有量、重金属量の順に評価される。よって、泥岩における判定基準の適用順序を(1)肉眼鑑定、(2)pH(1h)、(3)S/Caモル比、(4)硫黄含有量、(5)重金属量として、寄与度の高い基準について考察した。また、火山岩・火砕岩類については、図2.5.3に示すように判定基準は肉眼鑑定、pH(1h)、硫黄含

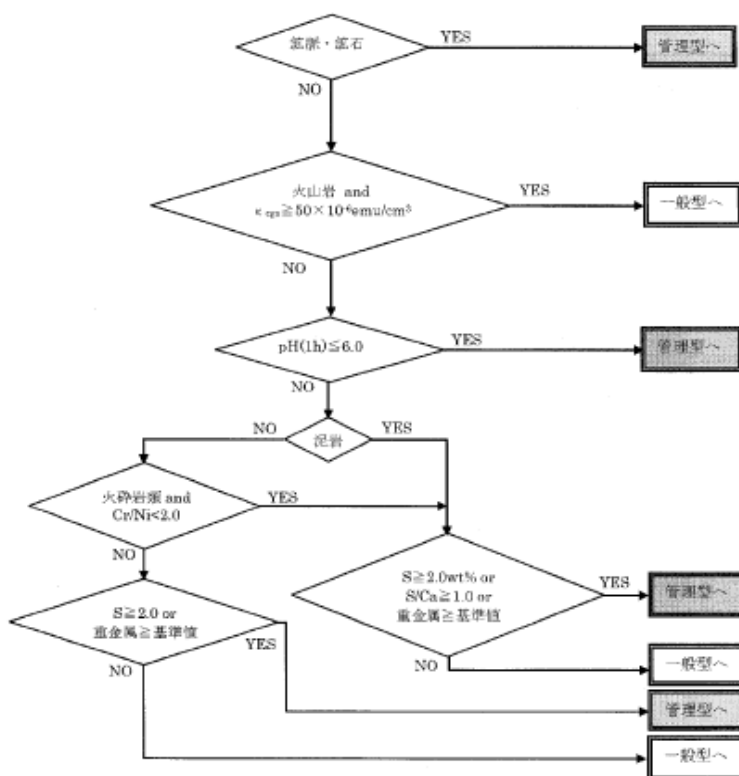


図 2.5.3 八甲田トンネルの酸性水等溶出に関する岩石判定フロー

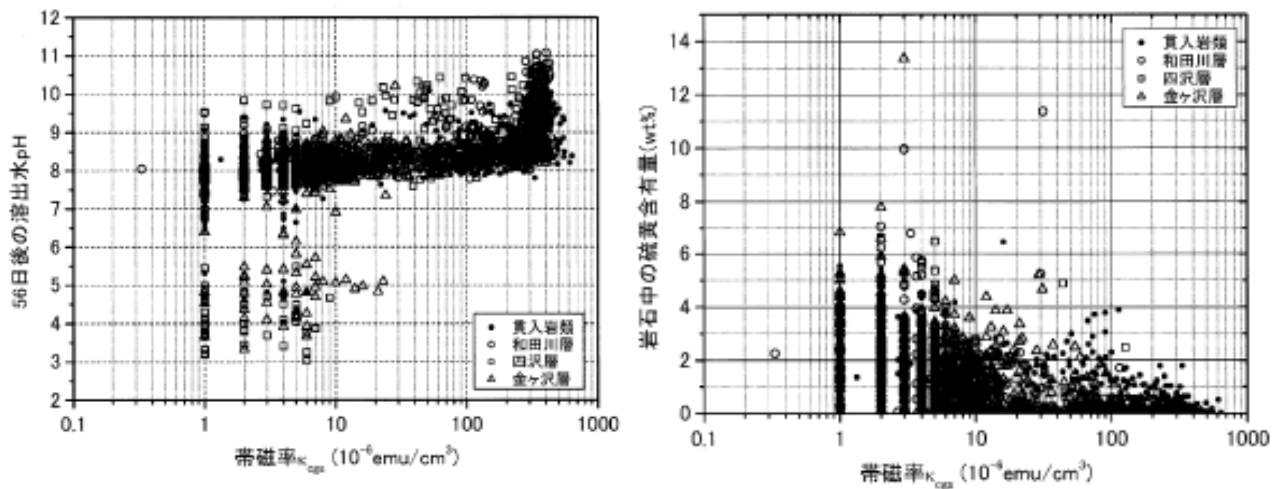


図2.5.4 火山岩類における帯磁率の基準値設定

表2.5.1 八甲田トンネルにおける岩石判定基準値設定の概要

判定項目	判定基準値	基準値設定の根拠
帯磁率 (κ_{SP})	$\kappa_{SP} \geq 50 \cdot 10^{-6} \text{ emu/cm}^3$ → 一般型	・基準値以上の火山岩で酸性化を示す試料がみとめられない。 ・基準値以下でSを2.0wt%以上含む火山岩は非常に少ない。
溶出水のpH	1時間後のpH ≤ 6.0 → 管理型	・1時間後の溶出水pHが6.0以下を示す試料はすべて、56日後でも酸性を示す。
火砕岩類のCr/Ni比	Cr/Ni < 2.0 → 泥岩に準拠	・火砕岩類は、Cr/Ni比が1.0前後の試料と2.0以上の試料とに大別される。 ・泥岩のCr/Ni比は1.0前後で、火成岩のCr/Ni比は2.0以上である。 ・Cr/Ni比が1.0前後の火砕岩類の溶出特性が泥岩に類似する。
泥岩および火砕岩類 (Cr/Ni < 2.0) のS/Caモル比	S/Caモル比 ≥ 1.0 → 管理型	・S/Caモル比が増加すると溶出水のpHが低下する。 ・S/Caモル比が1.0以上で溶出水が酸性化する場合が認められる。
S含有量	S $\geq 2.0\text{wt}\%$ → 管理型	・溶出水が酸性を示す火成岩類は、Sを2.0wt%以上含むことが多い。

有量, 重金属量の順で適用される。しかし, 先進ボーリングの結果から, 硫黄含有量が2.0wt%以下でも酸性を示す岩石が分布することが明らかとなった。そこで先進ボーリングコア試料の溶出試験結果から, S/Caモル比が10以上の火山岩・火砕岩類は56日後pHが6.0以下を示す場合が多いため, この値を目安として運用した。以上から火山岩・火砕岩類の判定基準の適用順序を(1)肉眼鑑定, (2)pH(1h), (3)硫黄含有量, (4)重金属量, (5) S/Caモル比として, 判定基準の寄与度を検討した。判定基準ごとの管理型切羽数を表2.5.2に示す。管理型と判定された切羽の総数は952であり, 掘削延長の約20%にあたる。表2.5.2では, 図2.5.3に示すフローの適用順序で最初に管理型と判定した項目を用いて整理した。八甲田トンネルは6工区に分けて掘削され, それぞれの工区で土捨場が設置されているため, これらの表においても工区ごとに整理した。

b) 易溶出試験結果から見た各基準の有効性

本節では、各判定項目の分析結果を簡易溶出試験の56日後溶出水の水質と比較することにより、それぞれの判定項目およびその基準値の有効性を検討する。

i) 肉眼鑑定による鉍脈・鉍石の判別

肉眼鑑定で鉍脈・鉍石と判断された116試料(表1.3.2参照)と、全岩化学組成分析から鉍脈・鉍石に再分類した15試料の計131試料のうち18試料が簡易溶出試験で56日後に酸性を示した。比率としては約13.7%であり、決して多くはない。しかし、酸性化を示さなかった試料でもCu, Pb, Zn, As, Crの含有量が高い試料が多く、またこれらの元素の溶出水中での濃度が排水基準を超えることもあった(図2.5.7)。このことから、肉眼鑑定による鉍脈・鉍石の判別は妥当であったと考えられる。

ii) 火山岩類の帯磁率

帯磁率が大きくなるにしたがい硫黄含有量が減少し、また $100 \times 10^{-6} \text{emu/cm}^3$ 以上の帯磁率を示すと簡易溶出試験における溶出水のpHが弱アルカリ性を示した。八甲田トンネルでは $50 \times 10^{-6} \text{emu/cm}^3$ 以上を一般型としたが、溶出水が酸性化したすべての試料の帯磁率はこの基準値未満であった(図2.5.4参照)。このことから、帯磁率測定とこれに対する設定基準値は、一般型残土を迅速に評価するうえで有効な基準であったと判断できる。

iii) 簡易溶出試験における1時間後の溶出水pH

1時間後の溶出水が基準値以下を示した試料は56日後においても酸性を示した(図2.5.5参照)が、pH(1h)が9.0を超える場合でも56日後に酸性を示す場合が多数見られた。これらのことから、酸性水発生の危険性が高い岩石を迅速に判断するという意味では、本基準値はおおむね妥当であったと判断される。しかし、安全側の基準とはいえ、簡易溶出試験に関する試験方法や基準値設定については今後検討する必要がある。

iv) 泥岩におけるS/Caモル比と硫黄含有量

泥岩には反応性の高い微細な木苺状黄鉄鉍が含まれているため、硫黄含有量が少ない場合でも溶出水が酸性化することが知られている。八甲田トンネルでは岩石自体の中和能力も考慮して7)S/Caモル比を基準値として用いた。S/Caモル比1.0以上を管理型とし、それ未満の場合も硫黄含有量2.0wt%以上を管理型とした。

図2.5.8に示すように56日後の溶出水が酸性を示した試料は両基準値により管理型と判断される。このことから、今回の基準はおおむね妥当であったと判断できる。また、硫黄含有量にかかわらずS/Caモル比が増加すると56日後の溶出水のpHが低下する傾向があり、酸性となるのはS/Caモル比1.0以上であった。このことから、泥岩についてはS/Caモル比の

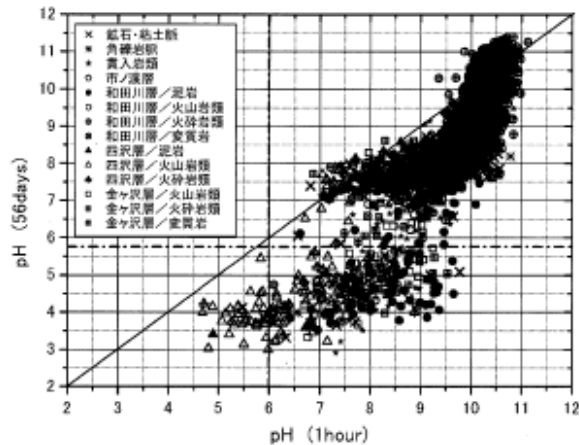


図2.5.5 1時間後溶出水pHの基準値設定図

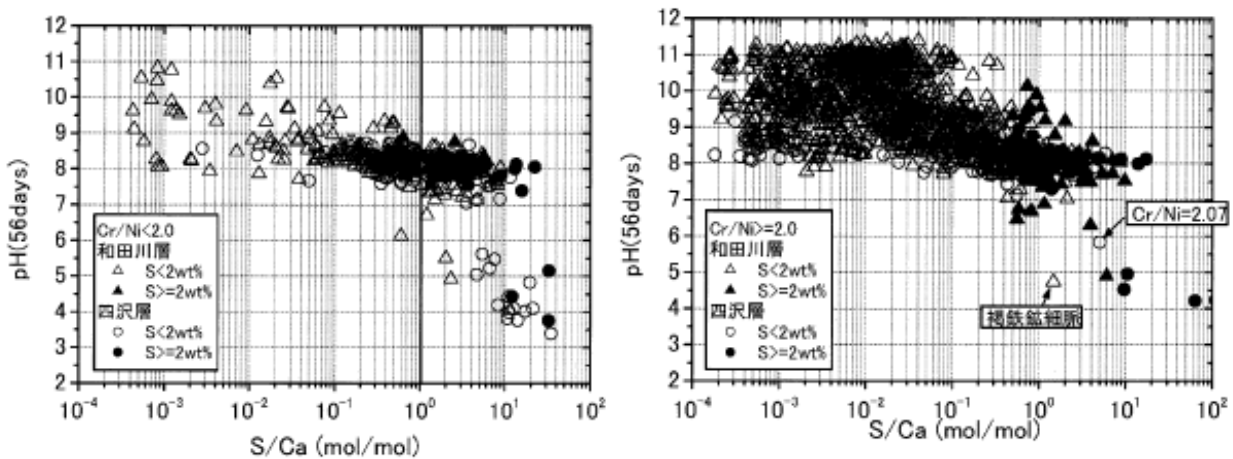


図2.5.6 Cr/Ni比による火砕岩類の分類根拠

みで評価できる可能性がある。

v) 火山岩・火砕岩類の硫黄含有量

火山岩・火砕岩類については、酸性水溶出の可能性の有無に関する基準として、事前調査段階の検討結果から硫黄含有量2.0wt%を設定し、評価を行った。図2.5.9に火山岩類における硫黄含有量と56日後の溶出水pHの関係を示す。図に示すように基準値の2.0wt%以下の硫黄含有量の火山岩においても56日後の溶出水が酸性を示す試料が少なからず(火山岩類全3,498試料中113試料)認められた。この傾向は火砕岩類でも同様である。このことから、火山岩及び火砕岩類における硫黄含有量の2.0wt%という基準は、酸性水発生能力を過小(危険側)に評価している可能性が考えられる。このような火山岩・火砕岩類について硫黄含有量の基準値を小さくすると、酸性水を溶出しない岩石も管理型と判断してしまう可能性が非

常に高くなる。そのため、硫黄含有量以外の基準について検討する必要がある。なお、八甲田トンネルでは、このような基準値以下で酸性化した火山岩・火砕岩類については、前節で述べたように先進ボーリングでの分析結果や地質学的な特徴から、S/Caモル比を用いて管理型と判断し処分した。

表2.5.2 判定基準ごとの管理型評価切羽数

工区	肉眼鑑定 (鉱脈・鉱石)	火山岩・火砕岩類					泥岩				
		管理型 切羽総数	pH(1h)	硫黄 含有量	重金属 含有量	S/Ca モル比	管理型 切羽総数	pH(1h)	硫黄 含有量	重金属 含有量	S/Ca モル比
第1工区	0	0	0	0	0	0	30	0	0	1	29
第2工区	4	81	0	76	5	0	40	0	2	2	36
第3工区	4	118	14	62	12	30	10	0	0	0	10
第4工区	85	305	0	266	19	20	20	0	5	1	14
第5工区	19	92	0	88	4	0	45	0	0	0	45
第6工区	4	22	0	20	2	0	73	0	1	0	72
合計	116	618	14	512	42	50	218	0	8	4	206

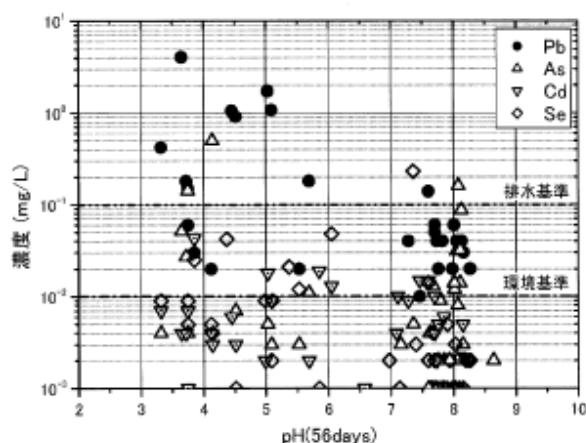


図2.5.7 鉱脈・鉱石試料の簡易溶出試験における56日後溶出水属元素等の濃度の金属元素等の濃度

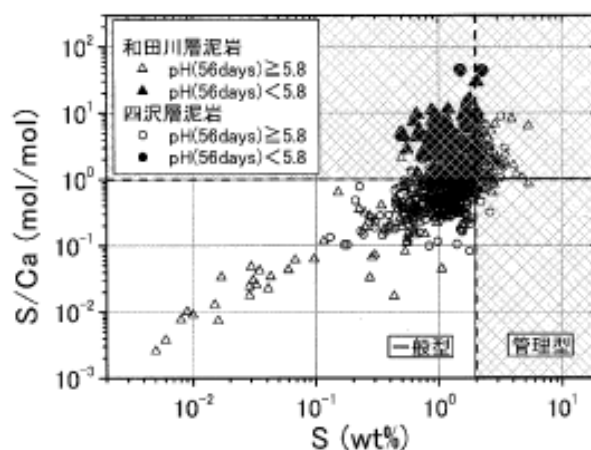


図2.5.8 泥岩試料の硫黄含有量, S/Caモル比と簡易溶出試験における56日後溶出水のpH

表2.5.3 工区ごとの切羽判定結果の的中率

工区		火山岩・火砕岩類				泥岩			
		硫黄含有量 ≥ 2.0wt%		硫黄含有量 < 2.0wt%		S/Caモル比 ≥ 1.0		S/Caモル比 < 1.0	
		pH(56d) ≤ 5.8	pH(56d) > 5.8	pH(56d) ≤ 5.8	pH(56d) > 5.8	pH(56d) ≤ 5.8	pH(56d) > 5.8	pH(56d) ≤ 5.8	pH(56d) > 5.8
第1工区		0	0	0	153	0	31	0	22
第2工区	斜路	1	12	0	46	0	0	0	2
	本坑	2	66	2	276	1	35	0	17
第3工区	斜路	0	6	0	66	0	0	0	0
	本坑	14	50	36	346	3	9	0	2
第4工区	斜路	0	26	0	118	0	0	0	0
	本坑	33	288	23	483	0	18	0	50
第5工区	斜路	3	54	1	107	0	2	0	2
	本坑	3	52	0	334	0	37	0	44
第6工区		0	28	0	157	15	52	0	20
合計		56	582	62	2083	19	194	0	159
岩種ごとの割合		2%	21%	2%	70%	0%	51%	0%	44%

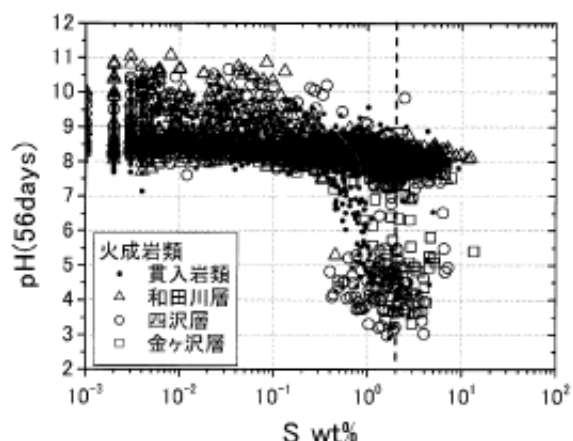


図2.5.9 火山岩の硫黄含有量と簡易溶出試験における56日後溶出水

(8) 判定結果の的中率

判定実績と溶出試験56日後の溶出水のpHに基づく切羽判定結果の的中率を表2.5.3および図2.5.10に示す。泥岩以外の火山岩・火砕岩類については、前述のように切羽を管理型と判定した基準は主として全岩の硫黄含有量であったため、硫黄含有量による判定の的中率を求めた。基準値2.0wt%以上の硫黄を含む試料の約1割が簡易溶出試験の56日後にpHが5.8以下となった。また、硫黄含有量2.0wt%以下の試料でも溶出水が酸性化するものがあり、これらは表2.5.2に示すように第3工区および第4工区の試料である。一方、泥岩を管理型と判定した基準は、主としてS/Caモル比であったため、S/Caモル比の的中率を求めた。図2.5.10に示すように、酸性化を示した泥岩試料はすべてS/Caモル比が基準値の1.0以上を示した。また、このような酸性化を示す泥岩は主として第6工区に分布した和田川層泥岩であった。泥岩でS/Caモル比の基準値以下で酸性化した試料は認められなかった。

以上に述べたように、管理型とすべき試料を一般型と誤判定した割合は、泥岩では0であり、泥岩以外の岩種でも十分に小さいと考えることができる。このことから、図2.5.3に示した判定フローおよび基準値はおおむね妥当であったと評価することができる。

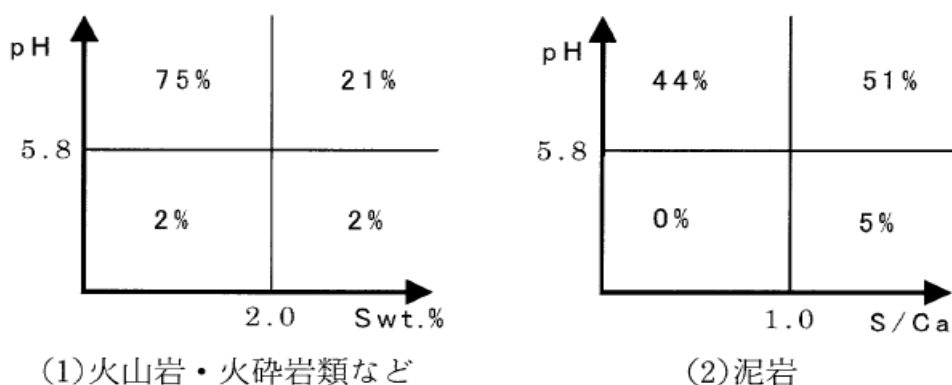


図2.5.10 切羽判定結果の的中率

<参考文献>

- 1) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構ホームページ (2019年6月確認)
- 2) 服部修一, 太田岳洋, 菊地良弘, 八甲田トンネルにおける掘削残土の酸性水溶出に関する判定手法の評価, 応用地質, 第47巻, 第6号, pp. 323-336, 2007.
- 3) 服部修一, 太田岳洋, 木谷日出男, 酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討- 鉾山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法-, 応用地質, 第43巻, 第6号, pp. 359-371, 2003.

2.6 京阪中之島新線

(1) 断層撓曲部の地盤モデル作成

京阪新線(中之島線)は、大阪の中心部を東西に移動する手段の一つとして考案された路線である。京阪線は、もともと京都出町柳から東山に沿って三条、四条、・・・七条と続き、大阪の淀屋橋まで続く営業区間を持ち、京都と大阪をつなぐ路線の一つである。その大阪中心部で、天満橋から分岐して中之島の北側を通過して中之島の西側にある、大阪国際会議場までをつなぐものとして計画された。市内を東西に横切る構造物は、JR東西線以来のもので、計画時より中心部を南北に通過する上町断層に対する対策について議論されていた。

1995年に兵庫県南部地震を経験した後、国や自治体を中心に活断層調査が盛んに行われ、断層の通過位置や活動性についてとりまとめられていたが、基本的に理学寄りの科学的データの一つとして捉えられていた。構造物は耐震設計を行う際に、新しい基準に準拠することなどの規定ができた一方で、断層の変位に対する対策については、ほとんど検討事例がない時期であった中、当時の検討委員会では、積極的に変位に対する対策、設計が議論された。

施工計画時に調査されたボーリング調査は、概ね掘進長が60-80m程度のもので、半コア半ペネの調査であった(図2.6.1)。また、すぐ北側を流れる大川で過去に実施された反射法地震探査結果を参考にすると、上町断層は中之島の東部を通過する可能性が考えられた。しかしながら、反射法地震探査結果断面は、深度数百mのところまでの撓曲は確認できても、調査精度の限界から、それよりも浅い部分、すなわち、施工部での性状は全くわからなかった(図2.6.2)。そこで、まず、既存の調査ボーリング試料の地質学的な調査を行い、各コアの層序、年代を明らかにして、対比断面図を作成した。作成の際は、周辺に分布する既存ボーリングデータも利用した。

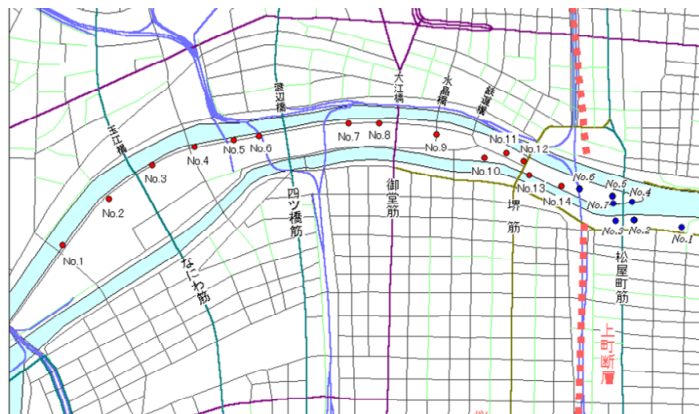


図 2.6.1 ボーリング調査位置図

その結果、断層の通過位置を概ね絞り込むことができた（図 2.6.3）。地表近くの変形ポイントは、撓曲幅約 600m で、中之島東部の中之島公園、バラ園付近に該当した。そこで、変位量と 1 回の活動間隔を知るために断層を挟んで同じ地層が確認されると推定する 2 地点でオールコアボーリング調査を計画し、実施した。下盤側は掘進長 300m を超える調査になったが、上盤側と 2 層の海成粘土層を確認し、対比することができた（図 2.6.4, 図 2.6.5）。断層の変位量の計算は図 2.6.6 に示すように対比作業を行って、最終情報を取りまとめた。

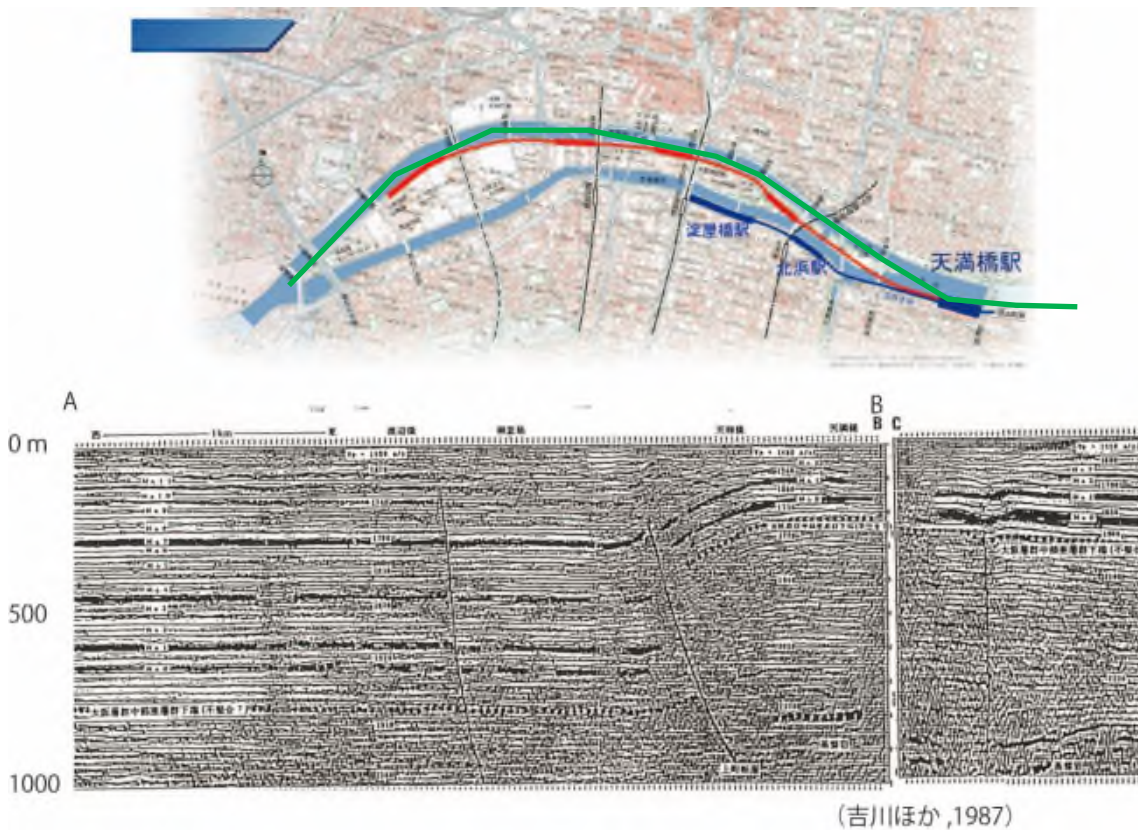


図 2.6.2 反射法探査位置図（上）と反射法探査結果断面図

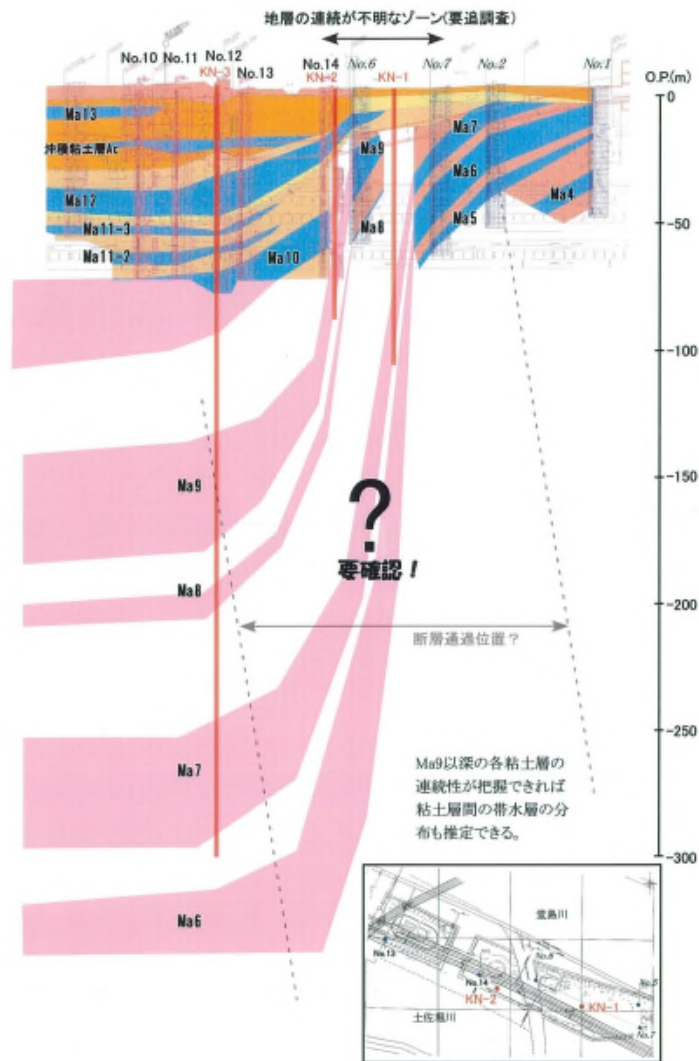


図 2.6.3 既存ボーリング調査の結果と上町断層通過付近の（要調査箇所）

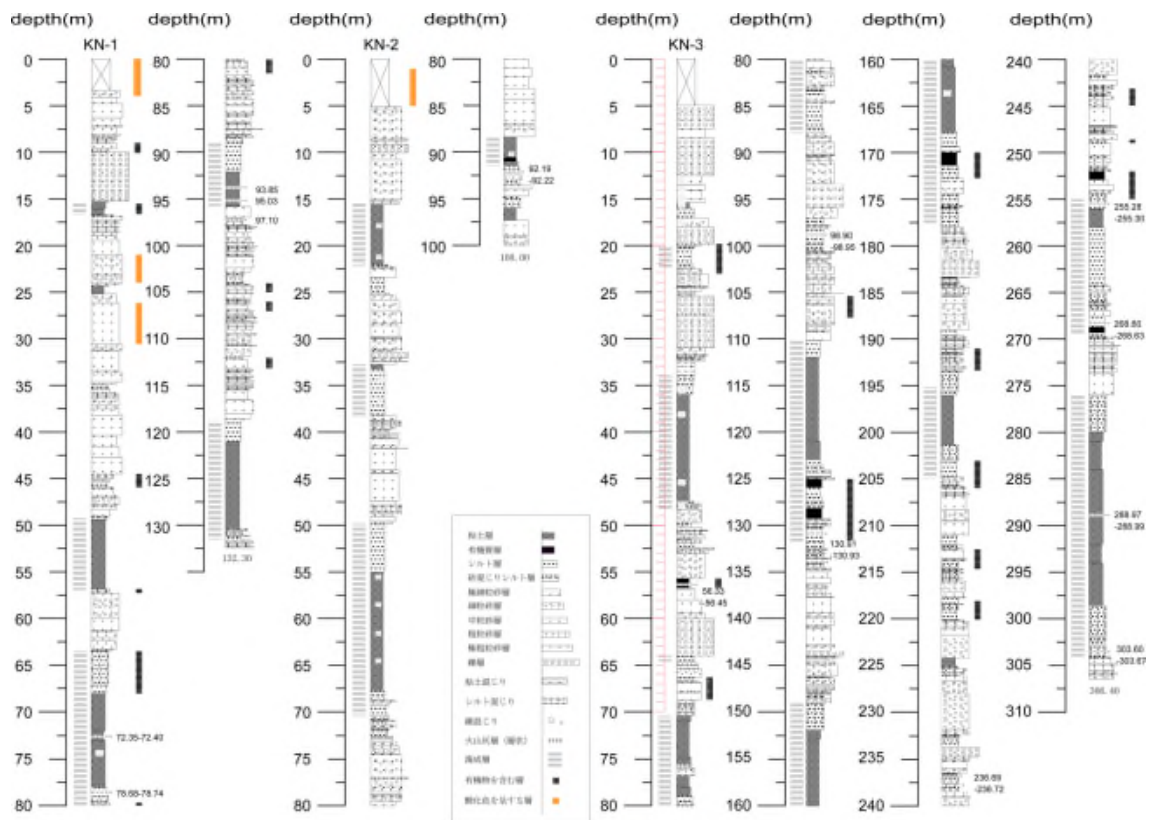


図 2.6.4 長尺地質ボーリング調査結果図（一部）



図 2.6.5 地質調査結果断面図による地質モデル（浅部のみ）

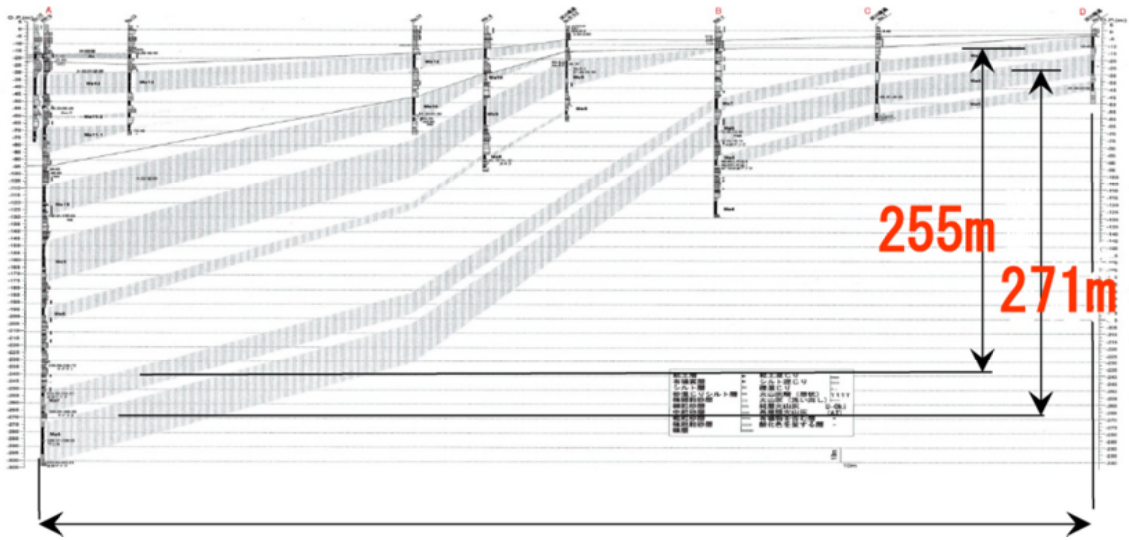


図 2.6.6 長尺ボーリング調査による断層変位の検討（地質モデル）

得られた情報から，軌道上の断面図を作成し，地盤モデルとした（図 2.6.7）。施工時にはこの地盤モデルを用いて，シールドの掘削断面の推定や撓曲通過部を含む範囲で断層変位時に崩落などしないようにダクタイル鑄鉄のセグメントを利用するなどの工夫がなされた。

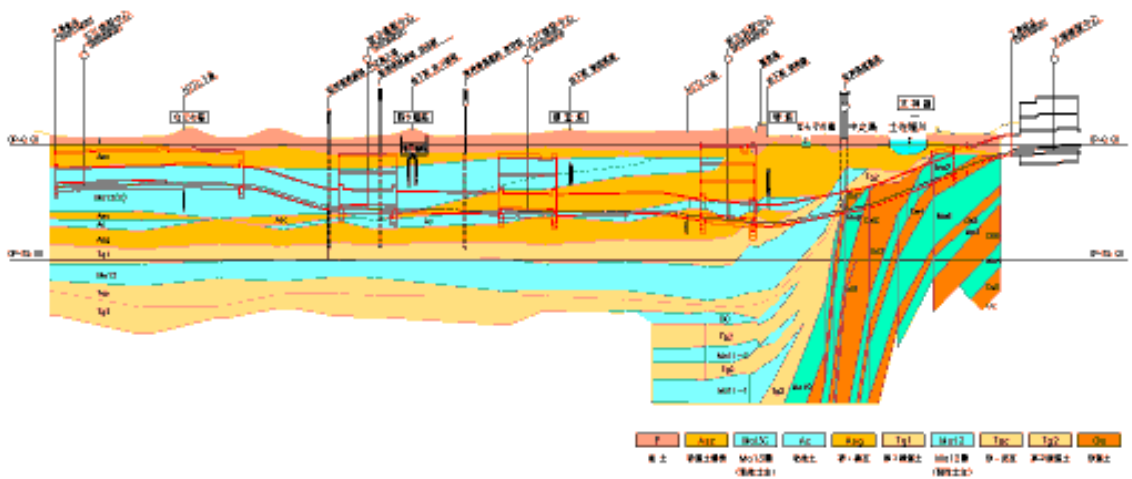


図 2.6.7 地質モデルより作成した地盤モデルと施工区間の図

出来上がったモデルは，その後の上町断層重点調査時の地層モデルなどにも二次利用された。

2.7 地震被害想定

2.7.1 大阪府被害想定

本事例については、大阪府（2006）：大阪府大規模地震ハザード評価等検討業務からはじまり、大阪府（2007）：大阪府自然災害総合防災対策検討に至るまでに検討した内容を示す。

（1）被害想定のための府下全域の地盤モデル作成

本被害想定は、浅層地盤モデルの作成と深層地盤モデルの作成をすることで、想定地震動の評価を行う。基礎情報の収集から各モデルの作成までが、本件では最も重要な作業となる。

調査において、既存の関西圏地盤情報ネットワークが保有するボーリングデータベースに加えて、各市町村からボーリング調査報告書を収集し、これに追加した。さらに、地震ハザードを評価するために、活断層、地下構造調査などの資料を入手するとともに、大規模地震に対する脆弱度を把握するために、都市環境および地盤環境に関するデータを収集した。

全域を 500m メッシュ化し、メッシュ内のボーリングデータから平均的な層序を作成した。作成のフローを図 2.7.1.1 に作業イメージを図 2.7.1.2 に示す。まずは、地質学的ボーリング調査が実施された地点も多数あるので、これを手掛かりに地層の側方対比と補間を実施し地質モデルを作成した。これを地盤モデルにするために、土質条件および深度変化を考慮した細分層モデルを作成した。物性モデルは、S 波速度、密度、地盤剛性、減衰ひずみを設定した。

メッシュ内にデータが無い場合、いわゆる空白域は、周辺の同じ微地形の地盤モデルから細分層ごとに卓越する土質と N 値を平均して補間して作成した。

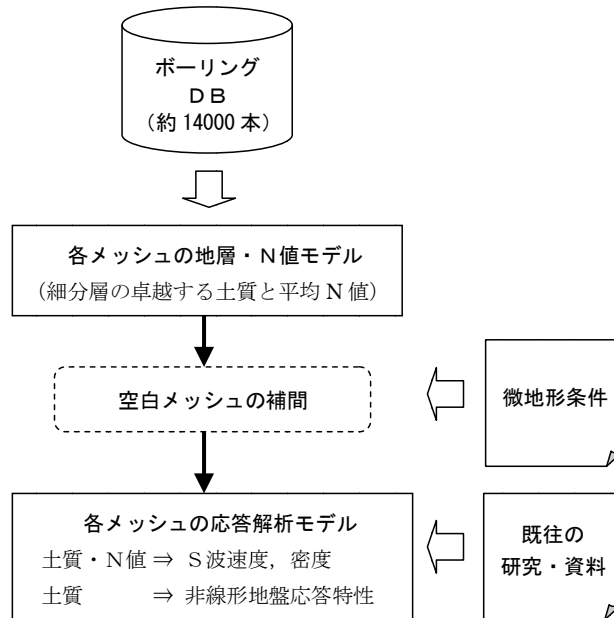


図 2.7.1.1 浅層地盤モデルの作成フロー

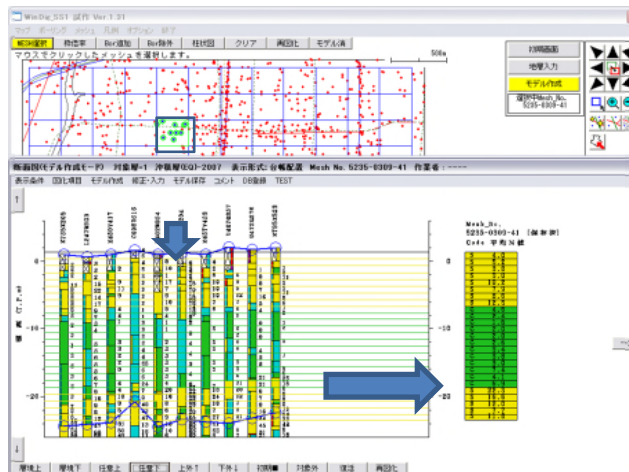


図 2.7.1.2 浅層モデル化の手法

以上の作業によって出来上がった大阪全域の表層地盤モデルを図 2.7.1.3 に示す。

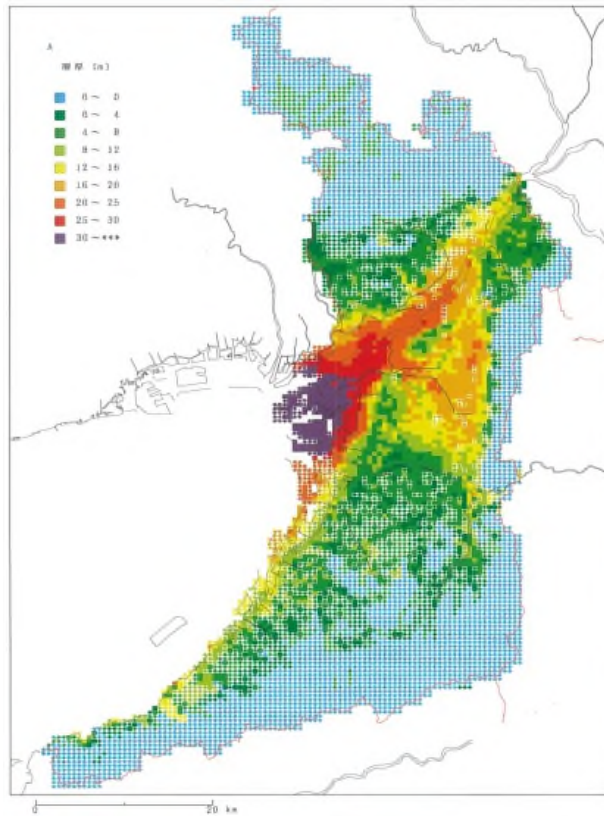


図 2.7.1.3 浅層地盤モデルの層厚分布図

次に深層地盤モデルを作成した。深層地盤モデルは、構造、基盤岩深度分布などを統合し、基盤岩上面、大阪層群中の海成粘土層の Ma1, Ma3, Ma10 に相当する地質層準を境界面とした東西方向の二次元地質断面図を作成した。大阪平野の大阪層群がおおむね等速度で継続的に堆積したものと仮定して、各地点の任意の深度における大阪層群の堆積年代を推定し、二次元断面上で作成したデータを用い、ブロックごとに基盤岩上面、海成粘土層などの地層面、地層区分別の地表面の 3 次元曲面を生成、断層面データと組み合わせて三次元地質構造モデルを作成した。モデル作成のフローを図 2.7.1.4 に、完成した深層地盤モデルの一部である、基盤岩深度分布図を図 2.7.1.5 に示す。

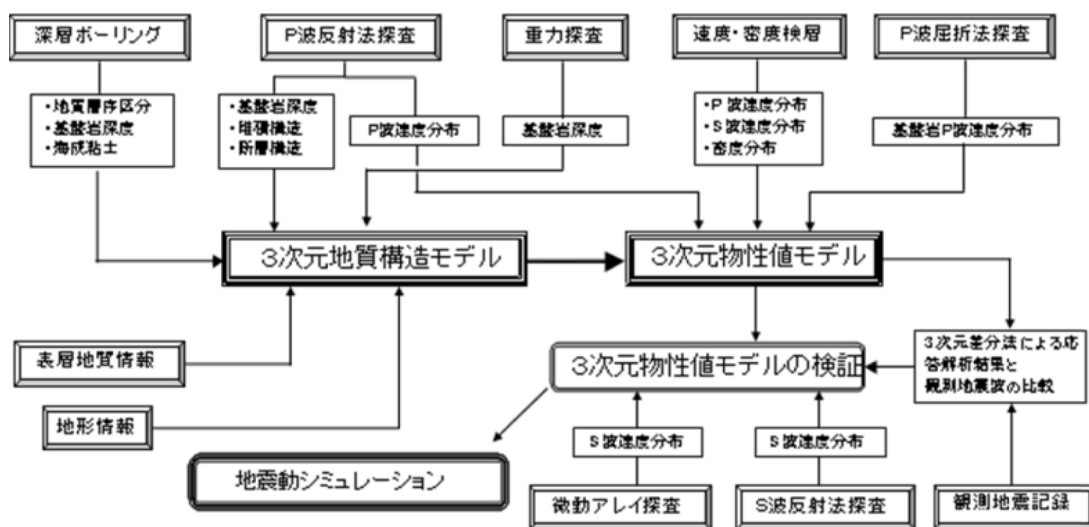


図 2.7.1.4 三次元地盤モデルの作成フロー

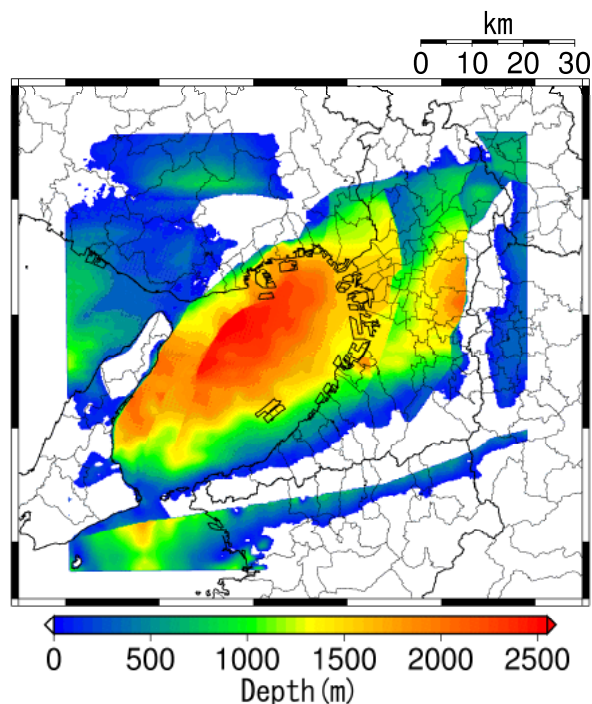


図 2.7.1.5 基盤岩の深度分布図

(2) 想定地震動の評価

地震動の予測では、予め想定断層を設定するのではなく、簡便な手法も用いて段階的に府域と各市町村への影響度を評価しながら、最終的に府域対象のシナリオを選定し、ステップ1からステップ3へと対象断層あるいは破壊シナリオを絞り込み、最終段階で、より高度な地震動を評価した。ステップ1からステップ3までの作業をまとめて示す。

ステップ1：断層最短距離による最大速度の距離減衰式と最大速度と計測震度との経験式

を組み合わせ、地表面における震度分布を算出した。大阪府内及び周辺の内陸想定断層より、府域に影響の大きいものを選定した。

ステップ2：統計的グリーン関数法を用いて周期2秒程度より短周期（計測震度に影響する範囲）の地震動を評価した。内陸想定断層について、長周期表面波を含まない地震動評価を多数の断層破壊シナリオで実施し、各地域への影響を評価した。これより、府域に影響の大きいシナリオを選択すると共に、各市町村の地域に影響の大きいシナリオを提示した。

ステップ3：工学的基盤（S波速度500m/s以上）の地震動を統計的グリーン関数法と3次元差分法のハイブリッド法を用いて実施し、内陸想定断層の府域対象のシナリオおよび海溝型地震について、長周期表面波を含んだ地震動評価を実施した。大阪府が地域防災計画の中で想定する地震として高精度な予測を目指した。

以上のシナリオのフローと各ステップの図を図2.7.1.6、図2.7.1.7に示す。

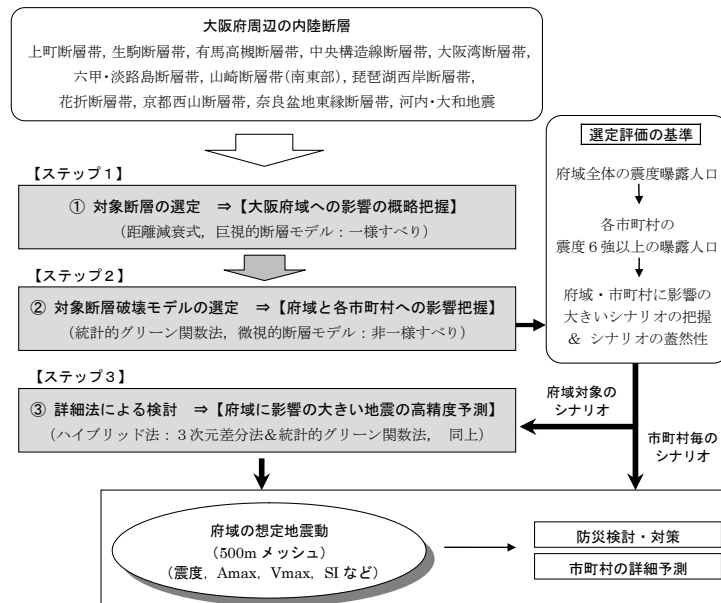


図2.7.1.6 断層破壊シナリオ設定と予測フロー

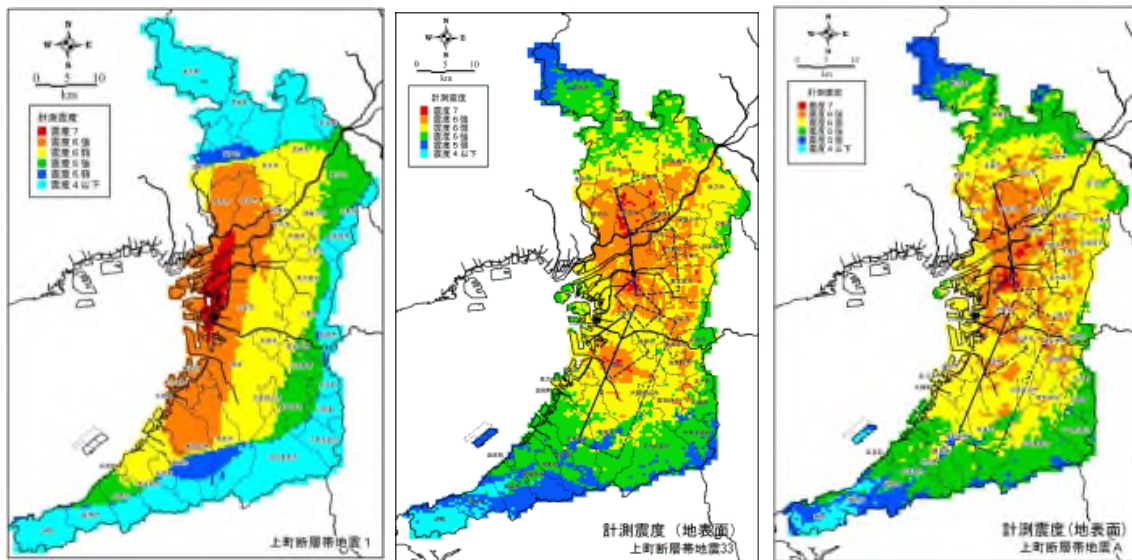


図 2.7.1.7 想定地震による震度分布

(3) 地震被害想定

地震ハザードの想定結果と建物や各種施設の分布等の都市環境から、地震による物的な被害の想定を実施した。建物被害や地震火災をはじめ、交通施設の被害を算定するとともに、社会生活への影響が大きい電気、ガス、通信、水道などのライフラインについて、機能障害に伴う影響並びに復旧に要する期間を想定し、地震による人的被害として死傷者数、帰宅困難者数、罹災・避難者数等を想定した。揺れなどによる建物被害の予測フローを図 2.7.1.8 に、実際に求めた建物被害分布図を図 2.7.1.9 に示す。

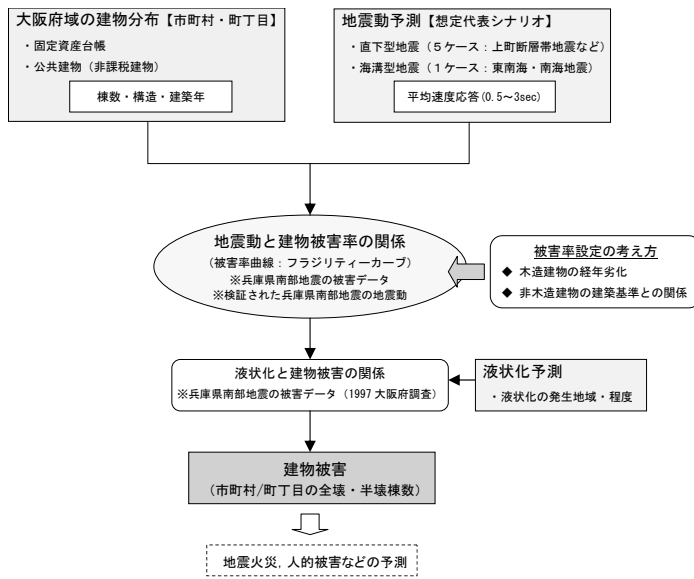


図 2.7.1.8 揺れ等による建物被害の予測フロー

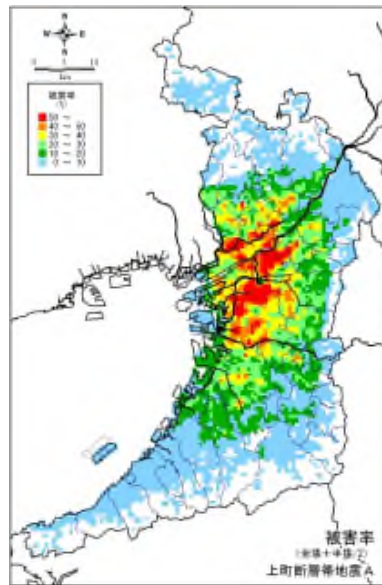


図 2.7.1.9 建物の被害率分布

なお、これらの作成された地盤モデルは、その後の地域研究や後のライフラインの被害検討、液状化による各種検討などに広く二次利用され、改良されて現在に至っている。

2.7.1 千葉県被害想定

本事例では、千葉県が実施した、平成 26・27 年度千葉県地震被害想定調査¹⁾で検討した地盤構造モデルの作成に関する内容について示す。

(4) 地盤モデル作成とその作成手順

千葉県では、平成 19 年度に実施した前回の地震被害想定調査に引き続き、浅部地盤モデルと深部地盤モデルを作成した上で、想定地震の強震動波形を計算している。また、過去の地震被害調査研究に基づき、想定される地震被害を算出している。

千葉県では、既存のボーリングデータ等を用いて県域全体の地質構造を把握した上で、地質構造に基づいた地盤モデルを作成している。千葉県の地質は、先新第三系の基盤岩の上位に新第三系から第四系の三浦層群や上総層群、下総層群が広く分布しており、地表は火山灰のロームに覆われており、東京湾岸では人工の埋立地が広がっている。2011 年東北地方太平洋沖地震では、千葉県内でも震度 6 弱の強い揺れを観測しており、海岸や河川沿いの埋立地では、大きな液状化被害を受けている。そのため、県全域の地震動評価は 250m メッシュの地盤モデルで評価を行い、液状化危険度は 50m メッシュの地盤モデルで評価している。

浅部地盤モデルは、地層の連続性を考慮した上で、約 58000 本のボーリングデータを用いてモデル化を進めるとともに、沖積層の厚さが揺れの強さに影響を与えることを踏まえ、沖積層の基底面の深度や形状、連続性を考慮している。なお、浅部地盤モデルの作成では、微地形区分は用いていない。また、物性モデルは、地質区分によるモデルを速度構造モデルに変換するため、ボーリングの標準貫入試験(N値)から S 波速度を推定している。

千葉県では、県域を 250m メッシュ(約 8000 個)と 50m メッシュ(約 2080000 個)の三次元地盤モデルを作成するため、地層の連続性を考慮した上で、表 2.7.2.1 に示すような定義を行い、各地層の区分を行っている。

表 2.7.2.1 地盤モデルの構成

今回作成したモデル		S波速度 (m/sec)	地質区分
浅部地盤 (モデル)	N 値 50	100~300 (土質と N 値から換算)	埋立土 沖積層 ローム 下総層群上部 (木下層)
		300	下総層群下部 (横田層~地蔵堂層)
		350	
		400	
工学的基盤 ^{*)}		400	-50m
深部地盤 (モデル)		500~2900	上総層群~先第三系
地震基盤 ^{*)}		3200	地殻最上部

※広域に速度構造モデルを構築する必要がある為、地層境界 (木下層下底ほか) を速度構造の境界としてモデルを作成している。

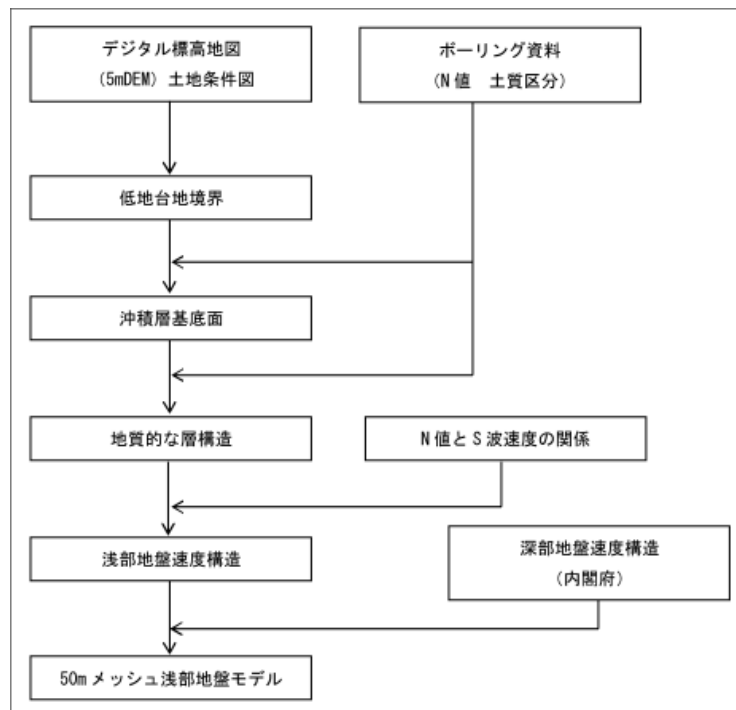


図 2.7.2.1 地盤モデル作成フロー

深部地盤モデルは、工学的基盤面を S 波速度 500m/s とし、広域でのモデル作成のため下総層群の下底より一律 50m 深い位置としている。また、地震基盤の上面は S 波速度 3200m/s とし、首都直下地震モデル検討会(内閣府 2013)²⁾の成果を採用している。

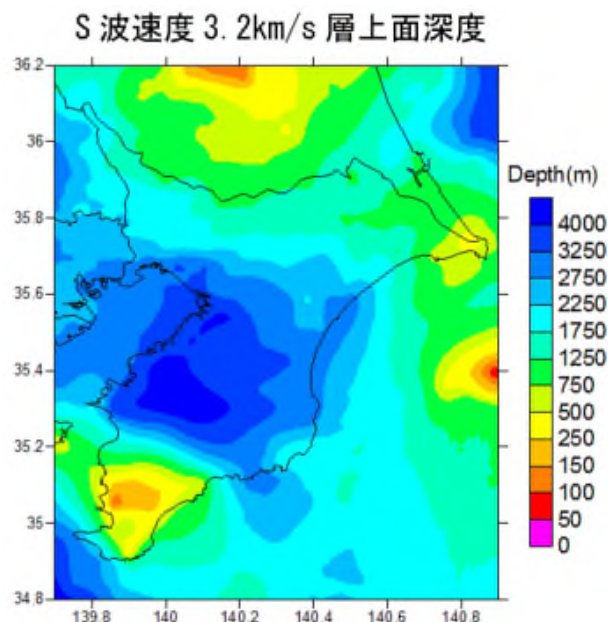


図 2.7.2.2 S 波速度 3.2km/s の上面深度コンター

浅部地盤モデルは、人口や産業が集中する埋立地や沖積地では、沖積層の厚さや形状、連続性等が重要となるため、木村ほか(2013)³⁾などの手法を用い、埋没地形に考慮して作成している(図 2.7.2.3~図 2.7.2.6)。

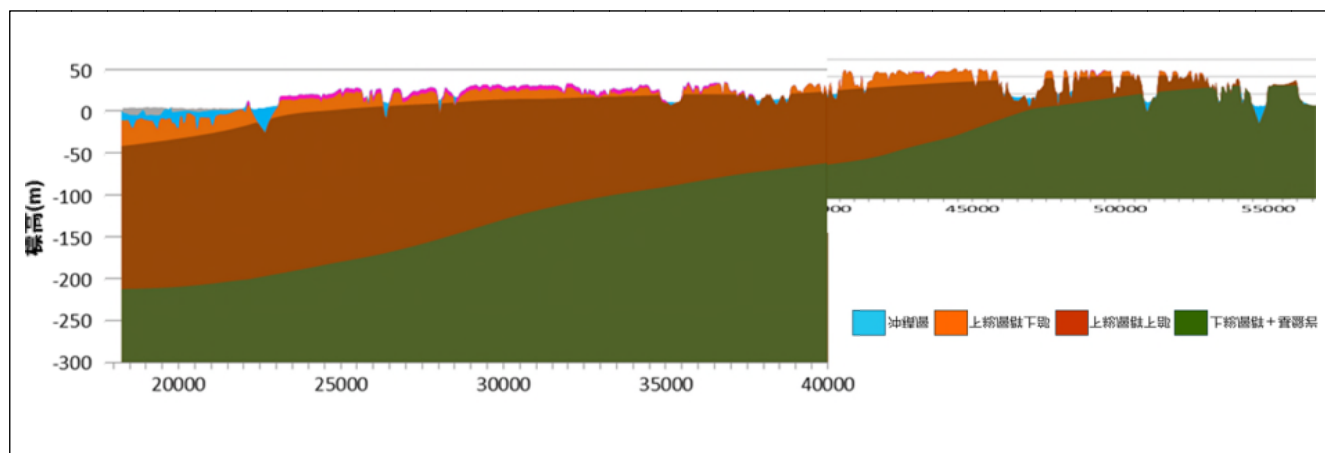


図 2.7.2.3 地質断面図例

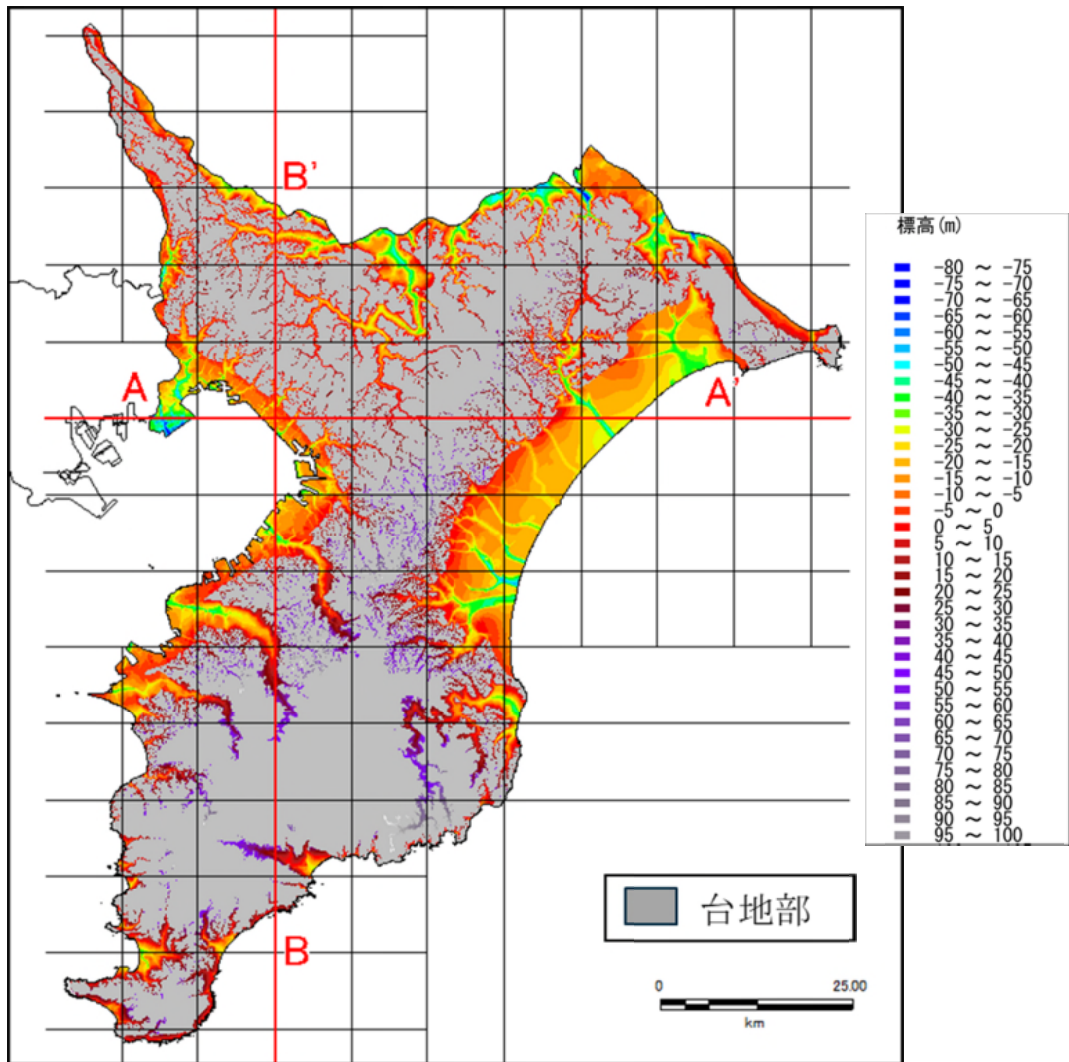


図 2.7.2.4 沖積層基底部の標高図

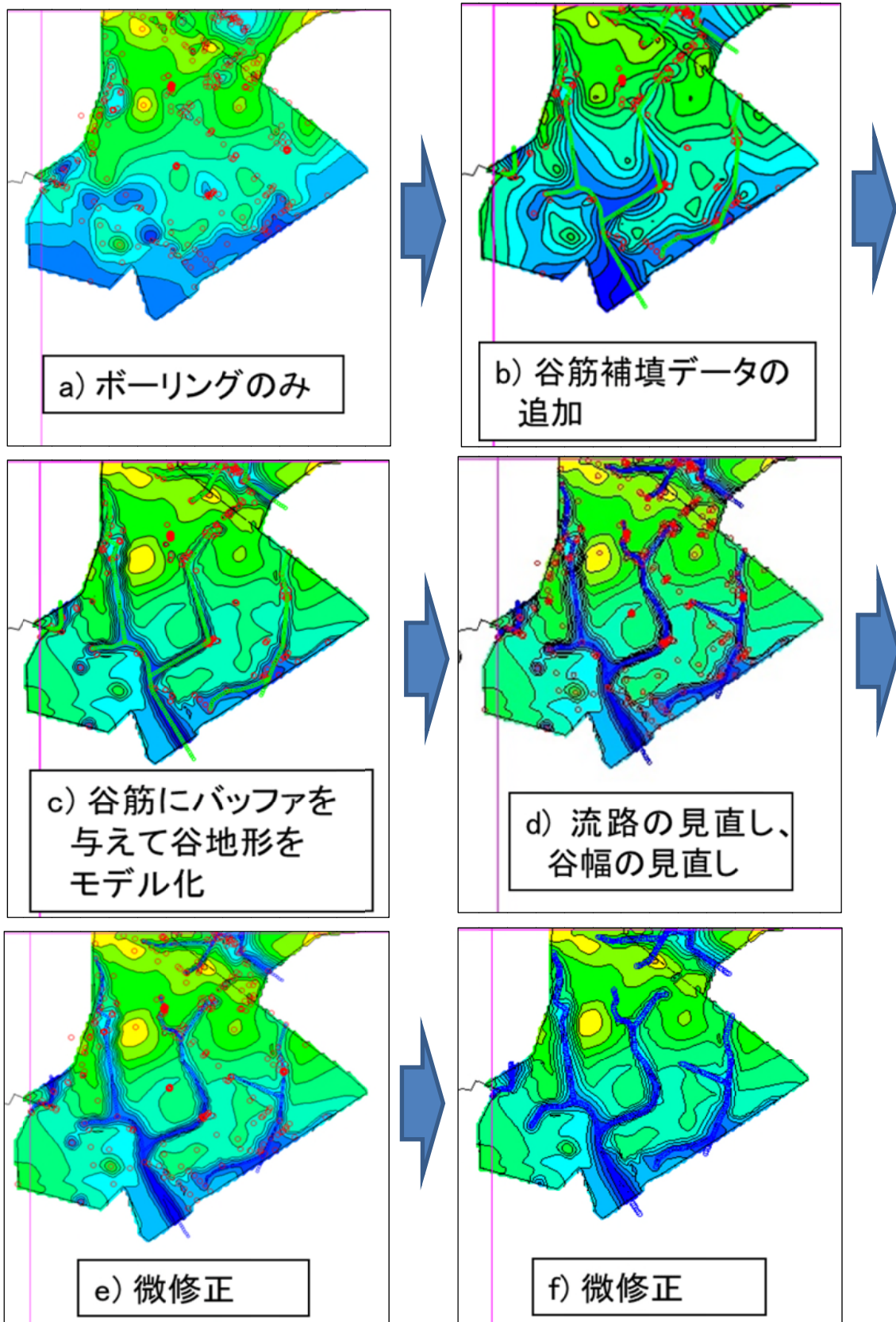


図 2.7.2.5 沖積層基底面のモデル修正例

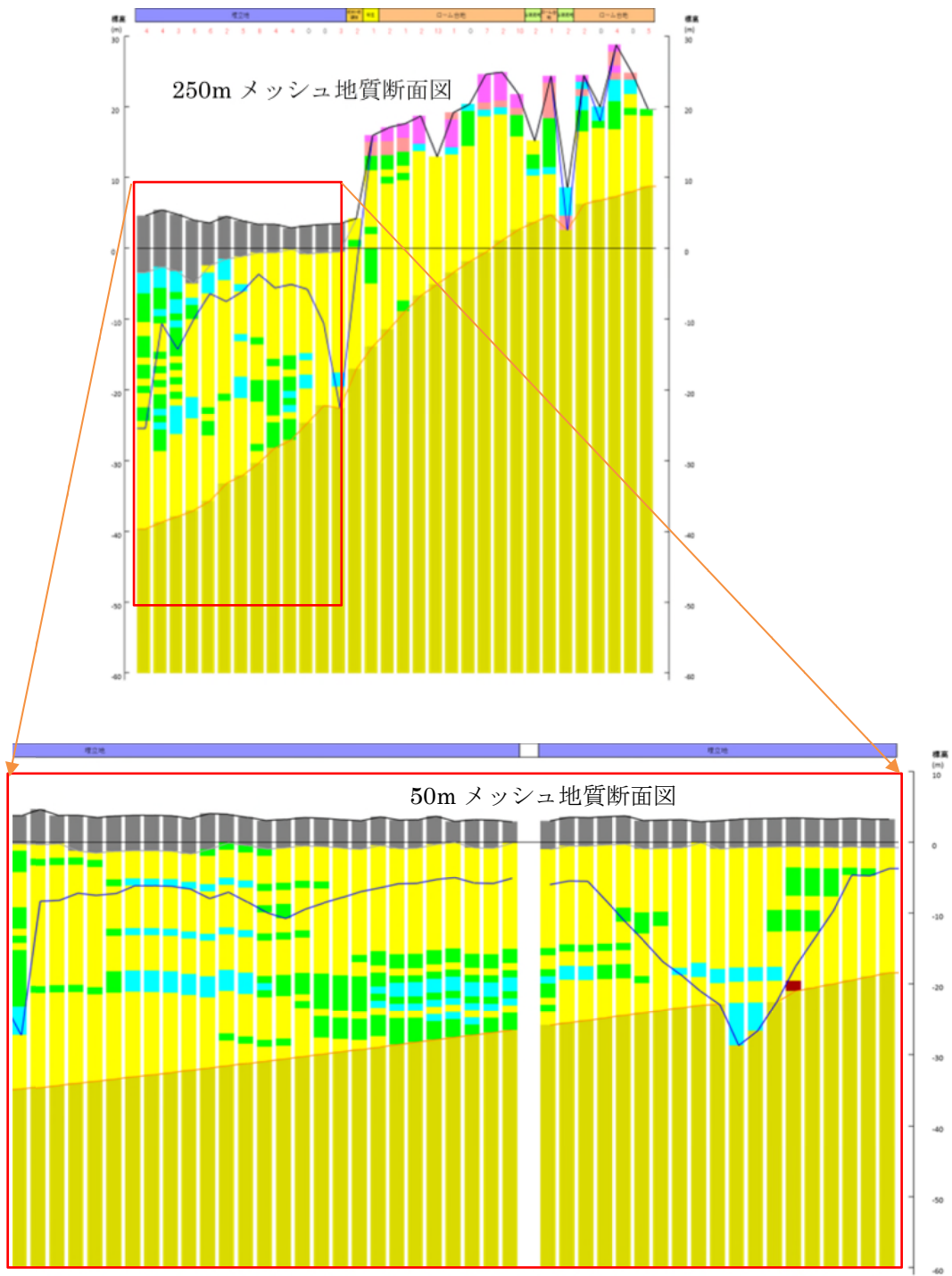


図 2.7.2.6 東京湾沿岸の 250m メッシュと 50m メッシュ地質断面の違い

(5) 想定地震動の評価

千葉県を含む南関東直下で M7 クラスの地震の発生確率は、今後 30 年間で 70%程度と非常に高いが、どこで発生するか明確にわかっていない。そのため千葉県では、地震による影響が最も大きな千葉県北西部直下で M7.3 の地震(新称:千葉県北西部直下地震)を想定して地震被害想定調査を実施しており、その震源は内閣府と同様にフィリピン海プレート内としている。

この地震以外にも、参考として大正関東地震、防災リスク対策用地震(県域全体に M7.3 の地震)、津波被害想定として東北地方太平洋沖地震の南側の割れ残り地震(M8.2)についても地震動と津波浸水を計算している。地盤モデルの検証では、2011 年東北地方太平洋沖地震で観測された県内の地震波形を用いた応答解析を行い、概ね妥当な結果を得ている。

この地盤モデルを用い、各想定地震について地震動予測を行っている(表 2.7.2.2)。想定地震の震源域と千葉県北西部地震の地震動予測結果を図 2.7.2.7 と図 2.7.2.8 に示す。

表 2.7.2.2 各想定地震動の地震動予測手法

	千葉県北西部直下地震	大正型関東地震	防災リスク対策用地震	揺れやすさマップ
地震動の評価	地震動波形(計測震度)		計測震度	SI 値を用いた地盤の増幅度
工学的基盤地震動予測手法	統計的グリーン関数法と三次元差分法のハイブリッド法		距離減衰式	複数の既存の観測波形
地表地震動予測手法	一次元等価線形法		表層地盤の平均 S 波速度から求めた増幅率	一次元等価線形法
計測震度等の算出方法	地震波形から直接算出		距離減衰式による最大速度から計測震度に変換	地震波形から直接算出
出力	地震動波形、スペクトル、計測震度、最大速度、最大加速度、SI 値		計測震度	地盤の増幅度

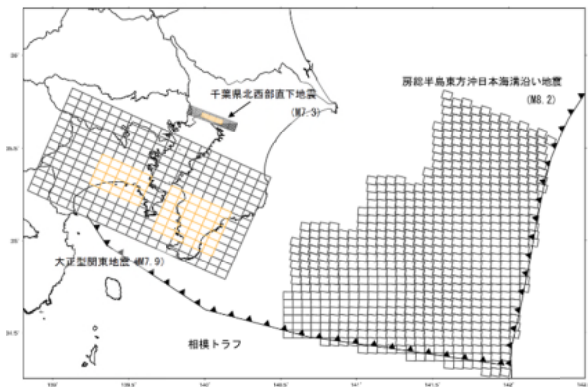


図 2.7.2.7 地震被害想定 of 想定震源域
(房総半島東方沖日本海溝沿い地震は津波地震)

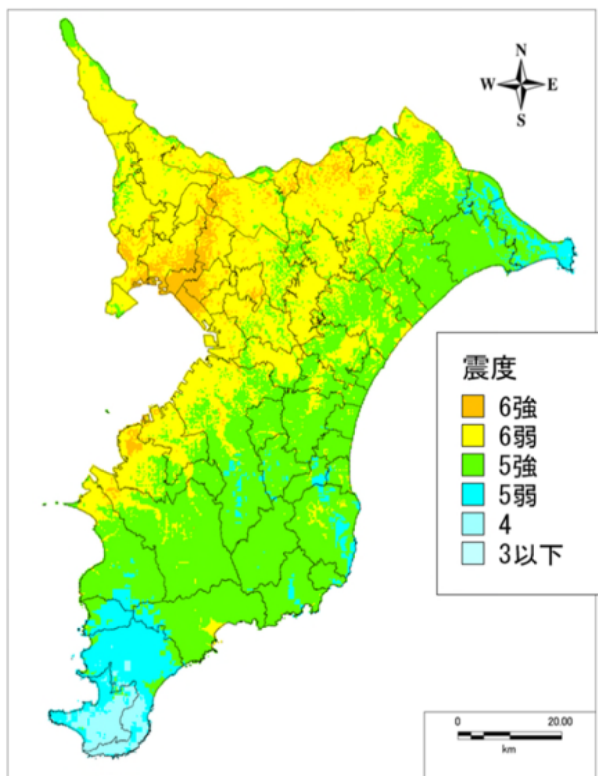


図 2.7.2.8 千葉県北西部直下地震の震度分布図

(3) 詳細な液状化危険度予測

千葉県では、50m メッシュで作成した地盤モデルによる液状化危険度評価を検証するため、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した液状化について、千葉大学中井研究室の調査結果(図 2.7.2.9)と 50m メッシュで作成した地盤モデルに基づいた液状化の再現計算(図 2.7.2.10)を比較している。比較結果は、よく一致しており、ボーリングデータ等に基づき作成した詳細な地盤モデルは、今後、液状化や地震動予測への活用が期待される。



図 2.7.2.9 千葉市美浜区の液状化調査結果
(噴砂の状況/打瀬地区は液状化対策済み)

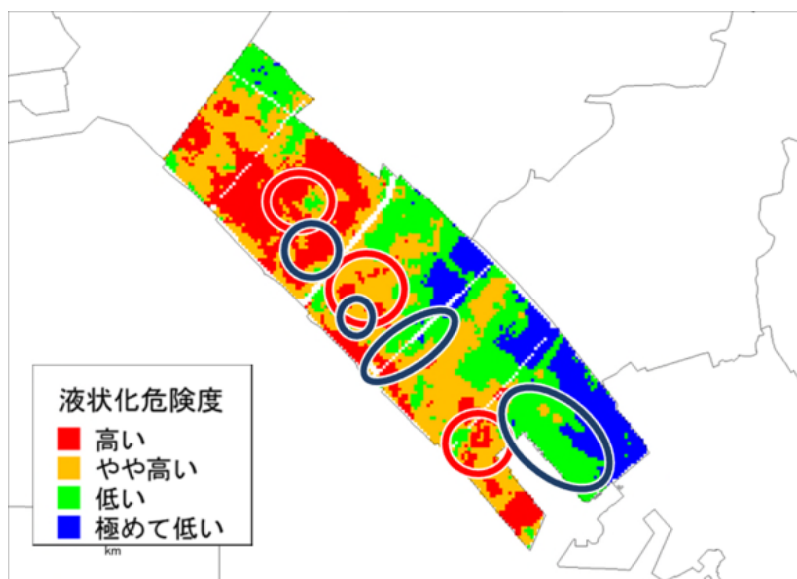


図 2.7.2.10 液状化危険度分布計算結果

<参考文献>

- 1) 千葉県：平成 26・27 年度千葉県地震被害想定調査報告書,
<<https://www.pref.chiba.lg.jp/bousaik/higaisoutei/2627houkokusho.html>> (閲覧
2019.6.28) .
- 2) 首都直下地震モデル検討会,
< <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/>>(閲覧
2019.6.28).
- 3) 木村克己・花島裕樹・石原与四朗・西山昭一 (2013) : 埋没地形面の形成過程を考慮
したボーリングデータ補間による沖積層基底層の例, 地質雑,119, pp.527-553.

2.8 建築工事における杭施工事例－三次元地盤解析による支持層の推定－

本事例に掲載の図は話題提供者である（株）大林組の許諾を得て話題提供時のパワーポイントの図を転載したものである。本報告書から図の転載は不可とする。

本事例は、沖積平野の海沿いにある支持層の不陸が比較的大きい地域の建築工事であり、株式会社大林組 技術研究所から話題提供いただいたものである。

従来は、図 2.8.1 の左側のフローに示すような地盤調査の次に実施設計を行って杭深度を求め、支持層の施工管理を行うという一方通行的な流れが一般的であった。本事例では、図の右側に示すように、地盤調査結果を基に三次元地盤モデルを作成し、そのモデルを基に追加の地盤調査の必要性を判断した。そして、追加調査の結果によって、再度、地盤モデルを更新し更に追加調査の判断を行うという過程を加えて、最終的に実施設計から杭施工という手順を踏んだ。

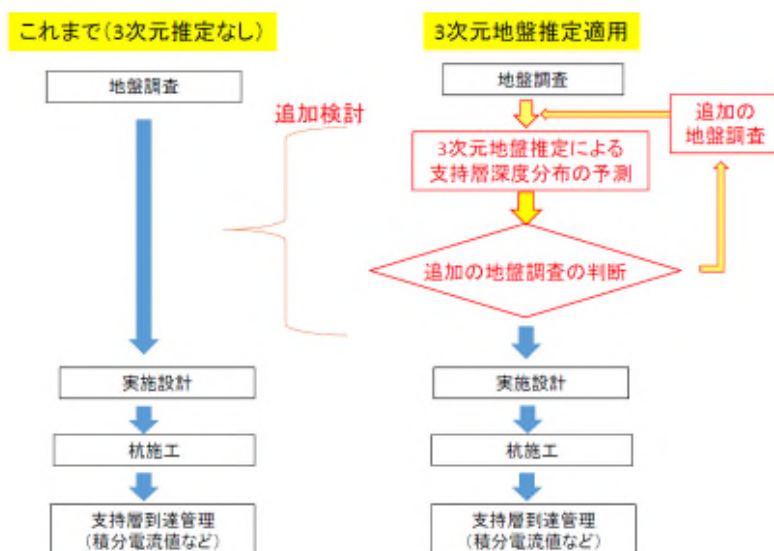


図 2.8.1 本事例における杭施工への反映の流れ

調査範囲およびモデル作成範囲は約 200m×400m である。当初のボーリング調査の本数は 12 本であった。

図 2.8.1 の手順で追加調査を行った結果、敷地内に軟弱層である粘性土層の谷部地形があることが判明した。モデルを更新して、谷の形状の再推定を根拠に追加調査という流れで検討し、当初の数倍のボーリング調査を行った結果、図 2.8.2 に示すような谷部の地形を把握することができた。

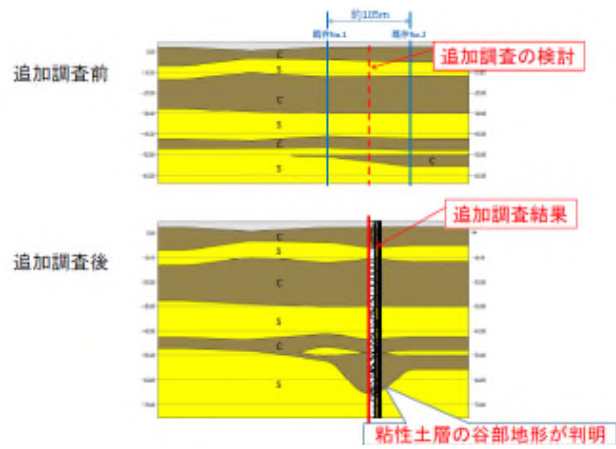


図 2.8.2 追加調査前後の想定断面図

本調査で作成した三次元地盤モデルを図 2.8.3 に、杭長の変更対象範囲を図 2.8.4 に示す。三次元で表現することで、谷部の形状や杭長変更部が視覚的に容易に理解できた。

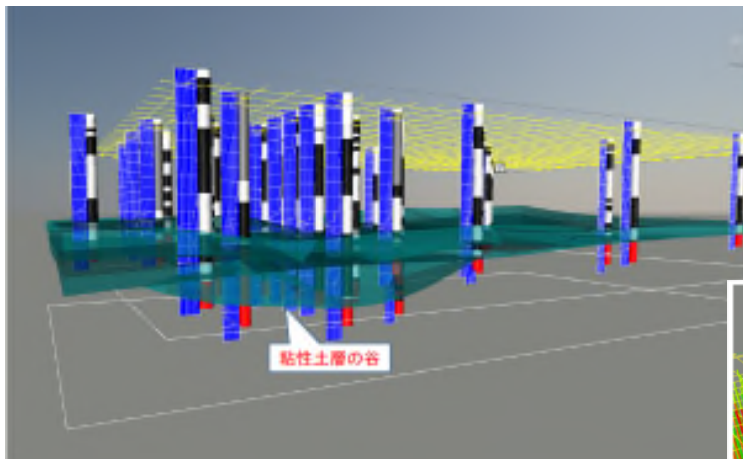
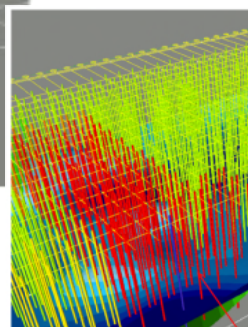


図 2.8.3 支持層形状を示す三次元地盤モデル



赤: 杭長の変更

図 2.8.4 杭長の変更対象範囲

本事例では、支持層が当初設計よりも深いと推定された範囲に対して、杭深度を長く変更して、実際の層構成を反映した杭の長さにて杭施工は無事完了した。

なお、本事例で挙げられた地盤の三次元推定活用の課題は次のとおり。

- ・ ボーリング調査の配置と数量: 不陸の度合いと安全性、経済性で判断する必要がある。まずは、既往資料の収集整理により地域の特性を知ることが重要である。
- ・ 層序の同定根拠: ボーリング柱状図に記載の現場土質名だけでは層序の同定は困難である。
- ・ 三次元モデルの信頼性: 推定したモデルは新たなデータも含めて確認が必要である。

2.9 盛土造成宅地

2.9.1 丘陵地での宅地の開発と造成の基準の変遷

我が国では、昭和 30 年代から高度成長と核家族化にともなって全国の都市で宅地開発が急速に進められた。都市ごとに開発できる地形は異なり、山裾や丘陵地、埋立地に宅地が造られてきた。このうち、丘陵地では小高い丘を削ってその土で沢部に盛土を行って住宅地にされてきた。その際の盛土の締固めや地山の処理、地下水位の排除方法などが不備であった盛土で、造成後に地震や豪雨により崩壊が発生してきている。

これに対し、1962 年(昭和 37 年)に宅地造成等規制法(宅造法)が創設された。それまでの宅地開発においては具体的な技術基準が存在していなかったが、この宅造法で宅地造成に伴い災害が発生するおそれの著しい区域を、宅地工事規制区域として指定できるようになった。そして、この区域内で行われる宅地造成工事については、地盤の安全性の確保、擁壁の設置、排水施設の設置といった防災措置を講じる必要があることが定められた。

1988 年(平成元年)には建設省民間宅地指導室監修の「宅地防災マニュアル」が出版された。ここでは中地震に対する擁壁の設計が参考として示された。また、1995 年兵庫県南部地震による宅地の被害を受けて、1998 年(平成 10 年)には「宅地防災マニュアル(改訂版)」が出版され、耐震設計の考え方が明確になった。ここでは宅地擁壁に関して中地震および大地震の 2 つの地震動に対する設計法が示され、盛土に関しては一定の条件下において大地震時に対する検討方法が示された。

このように、造成宅地の設計方法はこの 40 年間に大きく変化してきており、現在までに造成されてきている既設の造成宅地の耐震性は、宅地によって大幅に異なると言える。

2.9.2 丘陵地における大規模な宅地の造成方法

丘陵地には一般に小高い丘や小さな沢があり。ここに新たに大規模な宅地を造る場合、なるべく平らな方が良いため、丘の土を削って沢に盛ることが行われる。一例として 2011 年東日本大震災で被災した仙台市太白区の旧地形図¹⁾と現地形図、B-B'測線に沿った断面図¹⁾を図 2.9.1~2.9.3 に示す。この地区は 1961 年~1962 年にかけて造成された。南西から北東にかけて旧谷筋が二筋あり、これらを埋めて造成されている。1978 年宮城県沖地震の際に変状が生じたため、地すべり防止事業として 6 列の鋼管杭と 2 基の集水井が施工されていた。しかし、2011 年東日本大震災では盛土全体は滑動崩落しなかったものの、ひな壇状のすべりが発生し、写真 2.9.1 に示したように住宅の被害が発生した。

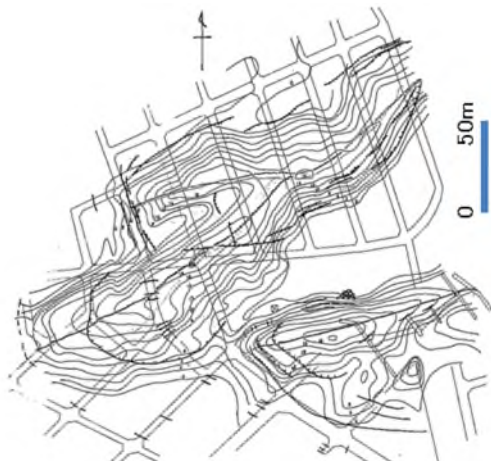


図 2.9.1 緑ヶ丘 3 丁目の旧地形図¹⁾



図 2.9.2 緑ヶ丘 3 丁目の現地形図 (国土地理院による)

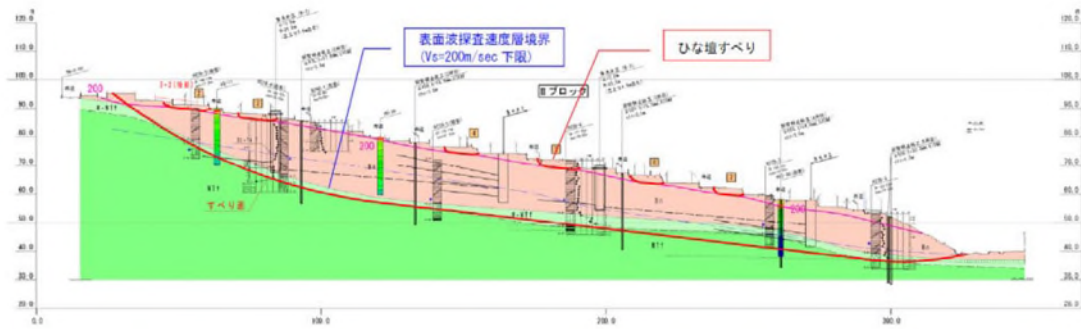


図 2.9.3 B-B' 測線に沿った断面図¹⁾



写真 2.9.1 ひな壇状のすべりで被災した住宅

さて、丘陵地を切盛りして大規模な宅地が造成される場合に地盤関係では、切土、盛土、のり面保護、擁壁の安定性、軟弱地盤対策に関して検討する必要がある。宅地防災マニュアルの解説²⁾ではこれらの検討にあたって必要な地盤調査、試験内容が示されている。これによると造成前に一般に以下のような地盤調査・土質試験が行われる。

①原地盤のボーリング、標準貫入試験等のサウンディング、物理探査、地下水調査、間隙水圧測定、土の物理試験、土の力学試験（三軸圧縮試験、一軸圧縮試験、透水試験、圧密試験）

②盛土材の物理試験、締固め試験、三軸圧縮試験、一軸圧縮試験、透水試験、圧密試験

そしてこれらのデータを用いて切土のり面の設計、盛土の安定性の検討、擁壁の設計などが行われて、施工される。なお、安定解析において降雨による地下水位上昇や地震動をどのように考慮するかは、前述したように時代によって異なっている。

宅地が造成された後に住宅の建設が行われるが、その際に宅地として地盤の許容応力度を満たしているか検討が必要になる。国土交通省告示第 1113 号では、地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法として、ボーリング調査、標準貫入試験、静的貫入試験、ベーン試験、土質試験、物理探査、平板載荷試験、載荷試験、くい打ち試験、引抜き試験が挙げられている。戸建て住宅の場合は一般にスウェーデン式サウンディングが行われる。

このように丘陵地の盛土造成宅地における地盤調査は、①造成する盛土自体の安定性のための調査と、②建設する住宅の安定性のための調査の二段階で行われる。本来なら造成完了時に住宅の安定性のため許容応力度が確保されていることを調査すべきであるが、そのような調査は十分には行われていない。そこで、②の調査によって許容応力度が確保されていないと判断されたら、地盤を改良するとか杭で支持するといった余分な費用が発生する事態になることも起きている。

2.9.3 既存の多くの盛土造成宅地の地震被害と最近の取り組み

1968年に発生した十勝沖地震の際、札幌市の南部の丘陵地地の造成宅地で、谷埋め盛土部のすべりや沈下により76戸の住宅が被害を受けた。これが我国において地震時に大規模な盛土造成宅地で被害を受けた初めての事例と言えるであろう。続いて、1978年の宮城県沖地震では仙台市の谷を埋めて造られた盛土の崩壊により多くの住宅が大きな被害を受け、造成盛土地の被害が目された。その後、1987年千葉県東方沖地震、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震、と被害が続くようになってきた。兵庫県南部地震後も、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震と造成宅地の被害が相次ぎ、

ついに2011年東北地方太平洋沖地震で岩手県から茨城県にかけての多くの都市で数多くの大規模盛土造成宅地が甚大な被害を受けた。特に仙台市での被害が甚大で、5,728箇所(2013年7月発表時点)の宅地が被災し、造成地内の道路・ライフラインも被害を受けた。このうち仙台市の南光台における盛土・切土の分布と宅地や上下水道の被災箇所³⁾に、後述するパターンを追記したものを図2.9.4に示す。南光台は1962年～1985年にかけて造成された。1978年宮城県沖地震の際にも、盛切境の段差などで住宅やライフラインが被害を受けていた。東北地方太平洋沖地震では、以下の種類の盛土の変状が発生したと考えられている⁴⁾。

- [パターンA]：のり面の崩壊
- [パターンB]：切盛境の段差や揺れの違い
- [パターンC]：本支谷合流地点の大きな揺れ
- [パターンD]：沼に盛った土の液状化
- [パターンE]：緩やかな傾斜地盤の液状化にともなう流動
- [パターンF]：地下水が浅い箇所での盛土の液状化

以上のように宅地の被害の要因や形態は様々であったが、佐藤らはこれを表2.9.1に示す7つの被害要因と3つの被害形態に分類している⁵⁾。

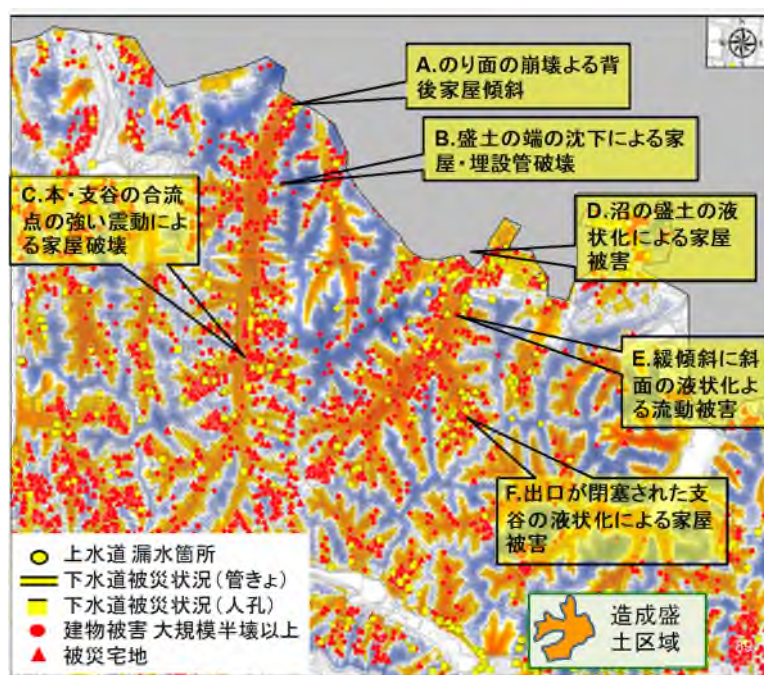


図2.9.4 南光台における切盛地図と各種構造物の被害箇所(地盤工学会1)に追記)

表 2.9.1 仙台市の造成宅地の地震被害要因と形態(佐藤ら⁵⁾による)

被害要因	被害形態
a)谷埋め型盛土の滑動に起因 b)腹付け型盛土の滑動に起因 c)切盛境界に起因 d)のり面の安定性不足に起因 e)擁壁の安定性不足に起因 f)緩い盛土状態に起因 g)地盤の液状化に起因	①滑動崩落・変形被害(全体すべり、ひな壇すべり) ②沈下被害(揺すり込み沈下、液状化による沈下) ③擁壁被害(擁壁の安定性不足による変状)

なお、甚大な被災宅地箇所では盛土の N 値が 0~4 程度で締固め度が 85%以下の非常に緩い状態にあったことや、一部の地域では地下水位が地表面下 1~2m 程度と非常に高かった、といった特徴を佐藤らは挙げている。

さて、2006年(平成18年)に宅地造成等規制法が改定になったことに伴って、国土交通省都市・地域整備局から「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン(案)」が出された⁶⁾。ここでは、改正された宅造法の第二十条第一項の災害の発生のおそれが大きい大規模盛土造成地について、造成宅地防災区域の指定又は宅地造成工事規制区域内における勧告を行うにあたって必要となる大規模造成地の変動予測の調査手法が示された。さらに、このガイドラインの解説も作成された。このガイドラインでは図 2.9.5 に示すように、まず盛土を行って造成した所の位置と規模の把握を行う第 1 次スクリーニングから始めるようになっている。この調査では造成前後の空中写真や地形図を比較することによって、盛土箇所と規模が抽出される。続いて第 2 次スクリーニングでは、盛土区域において詳細な地盤調査を行い、そのデータをもとにのり面の安定計算を行い、対策工の必要性を検討する。ただし、抽出された盛土造成宅地の数が多いと、第 2 次スクリーニングを全ての箇所で行うのは不可能である。そこで、基礎資料を整理しただけでなく、さらに個々の造成地を現地踏査し、のり面や擁壁などの変状などをもとに優先度を判断することとなっている。なお、ガイドラインには第 2 次スクリーニングにおける地盤調査計画の例として図 2.9.6 が示されている。ただし、まだ第 2 次スクリーニングまで到達している自治体はほんのわずかであり、これだけの調査箇所で複雑な 3 次元の盛土構造および地震時の変状発生箇所が十分に把握できるのか、分からないのが現状である。

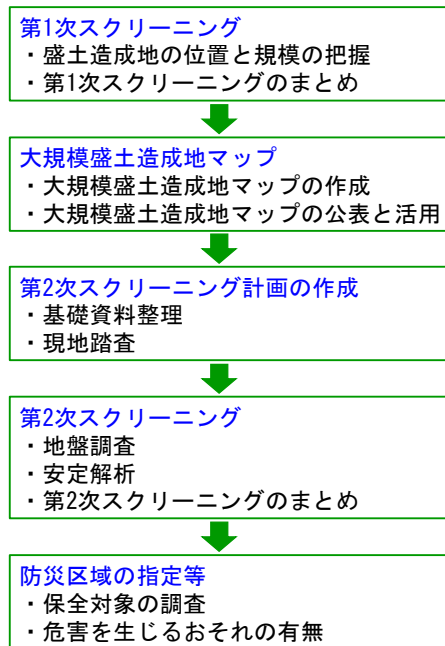


図 2.9.5 大規模盛土造成地の変動予測調査等の流れ（ガイドライン⁶⁾の図を簡略化したもの）

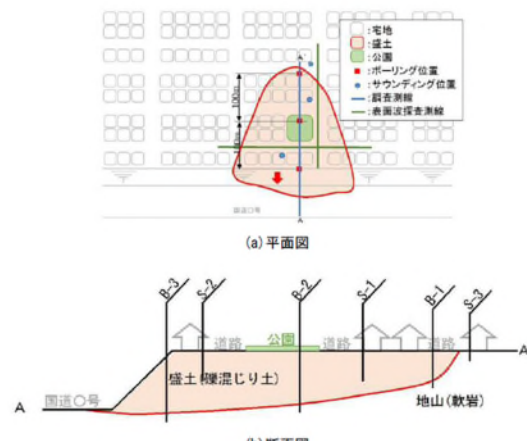


図 2.9.6 第 2 次スクリーニングにおける地盤調査計画例⁶⁾

<参考文献>

- 1) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会, 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会 報告書, 3.3.4 仙台市 (その他の造成地), 2013.
- 2) ぎょうせい: 宅地防災マニュアルの解説 (第二次改訂版) [1], 402p., 2007.
- 3) 地盤工学会: 東日本大震災合同調査報告, 共通編3, 地盤災害, p.128, 2013.
- 4) 安田進・佐藤真吾・石川敬祐: 東日本大震災で被災した造成宅地における切盛地図を用いた現地調査, 日本地震工学会・大会—2011 梗概集, pp.26-27, 2012.
- 5) 佐藤真吾, 風間基樹, 大野晋, 森友宏, 南陽介, 山口秀平: 2011年東北地方太平洋沖地震における仙台市丘陵地造成宅地の被害分析—盛土・切盛境界・切土における宅地被害率と木造建物被害率—, 日本地震工学会論文集, 第15巻, 第2号, pp.97~126, 2015.
- 6) 国土交通省: 大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説, 2015, http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000015.html.

第3章 地盤データ品質の明確化とトレーサビリティ

本章では、第2章で紹介した9つの事例の解析や既往研究のレビュー、関連基準類の精査に基づき、地盤データの品質トレーサビリティ確保のためにモデルに持たせるべき情報（以下、品質項目と表記する）について提案する。

品質項目は、図3.1に示すように次の2つの側面を持つ。

- ・ 三次元地質・地盤モデルの作成者が、モデルの品質を明示＝不確実性を明示するために、モデルやモデルの基データに持たせるべき情報
- ・ モデルの利用者が、モデルが利用目的や用途に応じた要件を満足しているかどうかの品質を評価する＝不確実性を評価する際に、モデルやモデルの基データから読み取るべき情報

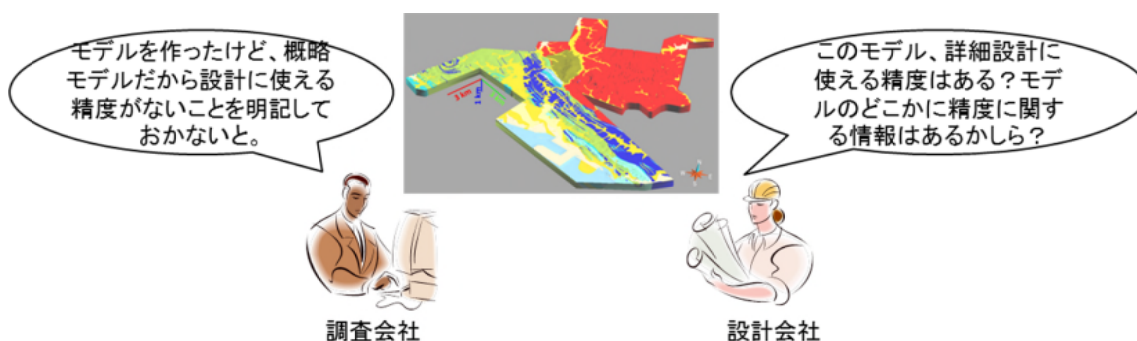


図3.1 品質項目の2つの側面のイメージ

一口に品質項目と言っても話は単純ではない。品質項目が紐づく元は、モデルの基データや地質・地盤解析過程、地質・地盤モデルの作成手順など多様であり、さらに、モデルの要求性能や要求精度は、対象構造物や作成目的、用途により異なる。また、モデルの品質は、地質・地盤条件という不確実性の影響を受ける。品質項目はそれらとの関係性の中で論じる必要がある。また、モデルの品質は、それぞれの建設段階の中で予備調査や追加調査によりデータが増加し、それを反映することで向上が図られていく（図3.2）。

そこで我々は上記を勘案して、山岳部・岩盤を対象とした構造物と平野部・土質を対象とする構造物に9つの事例を分類し、それぞれについて、建設段階毎に求められるモデルの品質とそのトレーサビリティを検討した。また、モデルの基データとして利用頻度の高いボーリング柱状図、物理探査結果、サウンディング調査結果、既往資料調査結果、基データからモデルを作成するプロセス（地質・地盤解析）について、個別に品質要求事項と

品質項目を検討した。

提案する品質項目とそれに紐づくデータやプロセスの一覧を表 3.1 に示す。次節以降、モデルの基データ、基データに基づく地質・地盤解析、三次元モデルの順に、品質のトレーサビリティについて詳述する。

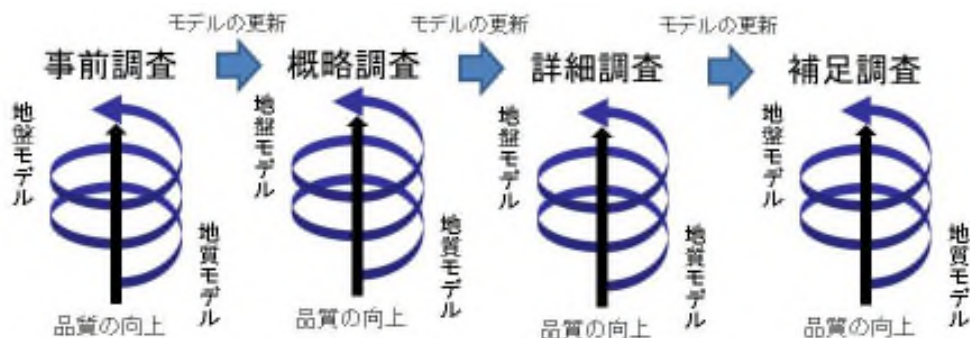


図 3.2 各建設段階におけるモデルの作成と品質のイメージ

表 3.1 第 3 章における検討結果の構成

対象		報告書の節	図表
基データ	ボーリング柱状図	3.1.1	表 3.1.1
	物理探査結果	3.1.2	表 3.1.8
	サウンディング調査結果	3.1.3	表 3.1.9
	既往資料調査結果	3.1.4	表 3.1.10
	資料調査結果	3.1.5	表 3.1.11
	写真判読結果	3.1.6	表 3.1.12
	地質学的試験結果	3.1.7	表 3.1.13
解析	地質・地盤解析	3.2	表 3.2.1
三次元地質・地盤モデル	三次元地質・地盤モデル作成（共通）	3.3.1	図 3.3.1(1) 図 3.3.1(2)
	平野部－土質を対象の構造物の建設（建築）	3.3.2	図 3.3.2(1) 図 3.3.2(2)
	山岳部－岩盤を対象とした構造物の建設（主にトンネルを想定）	3.3.3	図 3.3.3(1) 図 3.3.3(2)

3.1 モデルの基データの品質トレーサビリティ

地質・地盤モデルの基データとして最も重要でかつ一般的に使用されているのはボーリング柱状図データである。ただし、少数のボーリング柱状図のみでは信頼性の高いモデルは作成できないため、ボーリングデータの密度を増やしたり、物理探査結果や既往の地質図等の二次元データで補間したり、場合によってはサウンディングのデータなども加味しながら作成していく。モデルの基データの不確実性はモデルの不確実性に直結するため、まずは、本節においてモデルの基データの品質項目について解説する。

3.1.1 ボーリング柱状図データ

3.1.1.1 ボーリング柱状図とは

ボーリングによって得られる情報には、直接ボーリングコアから得られる情報（工学的地質区分名や現場土質名など）、ボーリング孔を使用した各種試験（標準貫入試験、透水試験や物理検層など）の結果、並びにボーリングコアについて実施した各種室内試験の結果、ボーリングの削孔状況が含まれる¹⁾。

ボーリング柱状図は、ボーリング調査及び試験、検層で明らかになった工学的地質区分名などを深度順にとりまとめ、図示したものと JIS A 0206²⁾に定義されている。ボーリング柱状図に記載する事項は、岩盤ボーリング、土質ボーリング、地すべりボーリングによって異なり、さらに土質ボーリング及び地すべりボーリングでは、ボーリングの目的が標準貫入試験であるか、オールコアであるかによって異なる¹⁾。

3.1.1.2 ボーリング柱状図の品質項目の提案と解説

ボーリング柱状図の品質項目、即ち、既往のボーリング柱状図の品質を評価する際に参照すべき記載内容、また、これから作成するボーリング柱状図に特に留意して記録として残すべき情報を、表 3.1.1 の「品質項目：トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録」欄にまとめた。なお、表の「記入項目」欄には、ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領（案）・同解説¹⁾と地質・土質調査成果電子納品要領・同解説³⁾に規定されている柱状図記入項目を、「品質を説明する情報」欄には、「記入項目」のうち特に柱状図の品質の指標になるものを記載している。

品質項目のうち、既往の資料にほとんど説明のないものや、特に重要なものについて以下に詳述する。

表 3.1.1 ボーリング柱状図の品質項目

分類 1)	適用地盤条件 1)	記入項目 1)3)	記入項目のうち品質を説明するもの	品質項目:トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録
<p>標題(全様式共通)</p>	<p>—</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 調査名、事業名または工事名、調査目的及び調査対象 ➢ ボーリング名、調査位置、緯度及び経度(取得方法及び精度に応じて、小数点以下 4 桁まで)、経度・緯度取得方法、経度・緯度の読み取り精度、測地系、ローカル座標、メッシュコード ➢ 孔口標高(測量結果に基づき 1/100m単位まで)、標高基準 ➢ 発注期間、調査期間、調査業者名およびボーリング関係者など ➢ 総削孔長、角度、方位、地盤勾配 ➢ 使用機種、試錐方法 ➢ 柱状図様式の種類 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 調査目的 ➢ 緯度及び経度、経度・緯度取得方法、経度・緯度の読み取り精度、測地系 ➢ 孔口標高、標高基準 ➢ 調査期間、調査業者 ➢ 削孔角度、方位(トンネル前方調査) 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 調査目的 ➢ 緯度及び経度、経度・緯度取得方法、経度・緯度の読み取り精度、測地系 ➢ 孔口標高、標高基準 ➢ 調査期間 → 本文 3.1.1.2(1)(2)参照 ➢ 調査業者 ➢ 削孔角度、方位(トンネル前方調査) ➢ 既往データの出典 → 本文 3.1.1.2(3)参照 ➢ 準拠要領 → 本文 3.1.1.2(4)参照 ➢ ボーリング位置図(平面、断面):調査数量と密度確認用、緯度経度誤入力チェック用) ➢ 調査数量、密度とその設定根拠 → 第 5 章参照
<p>岩盤ボーリング柱状図</p>	<p>主として固結した岩石から構成される岩盤を対象として実施されるボーリングに適用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基本的事項(標尺、標高、深度) ➢ 地質性状(工学的地質区分名、色調、風化の程度、変質の程度) ➢ 工学的性状(硬軟、コア形状、割れ目の状態、岩級区分) ➢ コア採取率(コア採取率、最大コア長、RQD) ➢ 削孔状況(削孔月日、削孔速度、孔径及び孔壁保護、コアチューブ及びビット、給圧、回転数、送水圧、削孔水及び送水量、排水量) ➢ 地質性状及び工学的性状で特筆すべき事項(記事) ➢ 孔内水位 ➢ 原位置及び室内試験(試料の採取深度、試料番号、採取方法、試験番号、及び試験を実施した区間深度、その他) 	<p><地層の分布、構成、層厚の推定に関するもの></p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 工学的地質区分名、現場土質名、地盤材料の工学的分類、凡例 ➢ 孔径、コアチューブ・ビット ➢ 亀裂や硬軟の判定・区分基準 <p><試験、分析用試料の確保に関するもの></p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 試料採取深度、採取方法 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 地質区分、境界の設定根拠 ➢ 地質・土質区分の掘り所とした標準層序と出典、凡例 → 本文 3.1.1.2(5)参照 ➢ 現場土質名の分類・記入根拠 → 本文 3.1.1.2(6)参照 ➢ 亀裂や硬軟の判定・区分基準
<p>土質ボーリング柱状図(オールコアボーリング用、標準貫入試験用)</p>	<p>主として未固結堆積物などから構成される地盤を対象として実施されるボーリングに適用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基本的事項(標尺、標高、深度) ➢ 土質性状(現場土質名、地盤材料の工学的分類、色調) ➢ 工学的性状(相対密度・相対稠度) ➢ コア採取率(コア採取率、最大コア長) ➢ 土質性状及び工学的性状で特筆すべき事項(記事) ➢ 地下水(孔内水位) ➢ 原位置試験及び室内試験(標準貫入試験、試験 1~3)削孔状況(削孔月日、削孔速度、孔径及び孔壁保護、コアチューブ及びビット、給圧、回転数、送水圧、削孔水及び送水量、排水量) 	<p><地下水構造、透水性把握に関するもの></p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 孔内水位 ➢ 湧水位置、湧水量・湧水圧の測定精度 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 試料採取深度、採取方法 ➢ 孔内水位の測定日と測定時の削孔状況 → 本文 3.1.1.2(7)参照 ➢ 湧水量・湧水圧の測定方法、結果
<p>地すべりボーリング柱状図(オールコアボーリング用、標準貫入試験用)</p>	<p>主として地すべり及び地すべりの懸念のある箇所を対象として実施されるボーリングに適用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基本的事項(標尺、標高、深度) ➢ 地質性状(工学的地質区分名/現場土質名、色調、風化の程度、変質の程度) ➢ 工学的性状(破碎度、硬軟・相対稠度、相対密度、コア採取率) ➢ 地質性状及び工学的性状で特筆すべき事項(記事) ➢ コア質量 ➢ 標準貫入試験 ➢ 原位置試験及び室内試験(試料採取、試験 1~3) ➢ 地下水・孔壁保護項(孔内水位、孔壁保護、地下水検層、保孔管) ➢ 削孔状況(削孔月日、ケーシング下端深度、孔径、削孔速度、コアチューブ及びビット、給圧、回転数、送水圧、削孔水及び送水量、排水量) 		

(1) 調査期間－掘削・試料採取技術の変遷に関して

ボーリングの掘削技術や位置取得のための技術は年々進化している。例えば、図 3.1.1 のコアの状況に読み取れるように、数十年前は回収が困難であった地すべり粘土や軟弱層コアが、現在は組織を保ったまま採取することが可能である。このことは、より新しいボーリング柱状図のほうが、コアに関してより多くの確実な情報を含んでいる可能性があることを意味している。特に公開 DB のデータを利用する際は、様々な作成年代のデータが混在しているため、利用にあたっては、「調査期間」や「試錐方法」、「試料採取方法」、「コア採取率」などの項目を確認するとともに、「現場土質名／工学的地質区分名」や「標準貫入試験結果」などについては、周囲のデータとの整合性に留意しながら利用することが望ましい。

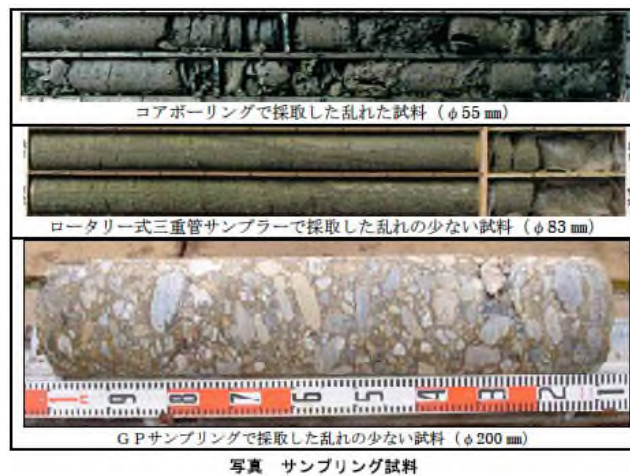


図 3.1.1 ボーリングコアの例⁴⁾ (写真 サンプリング試料を引用)

(2) 調査期間－掘削後の地盤の変動に関して

ボーリング柱状図には掘削や試験時における情報が記録されているため、古いデータは、その後の地盤沈下・圧密、土地改変等により現在の地盤の状況を表していないことがある。例えば、図 3.1.2 は、平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の前後に、我孫子市の埋立土を対象に行われた標準貫入試験結果を比較したもの⁵⁾であり、地震後は有意に N_a 値 (粒度を補正し有効上載圧 100kN/m^2) に換算した値) が増加している。

地質・地盤の状態は不変ではないため、三次元地質・地盤モデルの作成目的や用途によっては、ボーリング柱状図の「調査年月日」を基にデータの取捨選択を行う必要がある。

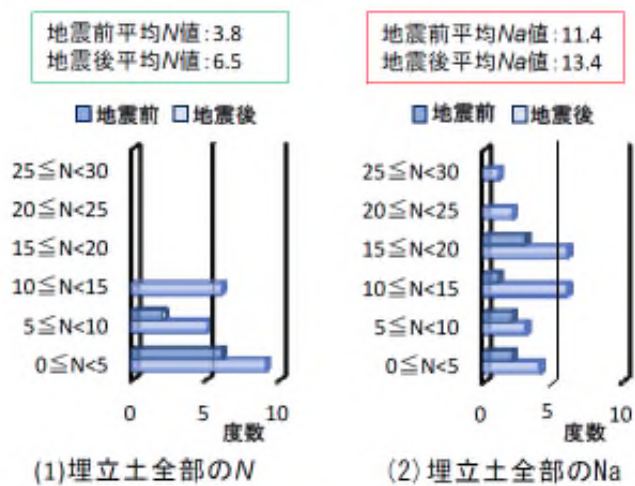


図4 埋立土全部のN値とNa値の比較

図 3.1.2 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震前後の同地点における N 値の変化⁽⁵⁾
の図 4 を引用)

(3) 既往データの出典

三次元地質・地盤モデルを作成する場合、当該事業で得られたボーリングデータだけでは情報量が不足するため、公開されている地盤情報 DB のデータも利用するのが一般的である。

一方、公開 DB のデータの品質は様々であり、位置情報のみが品質を担保されている DB や、関西圏地盤情報データベース⁶⁾のように、位置情報のみならず地質区分等も一定の水準を満たすデータのみが公開されているものもある。そのため、既往データを利用する際は、その出典をチェックすることが望ましく、また、モデル作成に利用したデータに出典が明記されていない場合は、出典を追記することが望ましい。

(4) 準拠要領

利用するボーリング柱状図が準拠している要領の版に係る情報は重要である。何故なら、要領の版によって記載項目や緯度経度の測地系、試験値の単位系、準拠している JIS や JGS 規格などの基準の版などが異なるからである (表 3.1.2)。

ボーリング交換用データ (XML データ) の場合は、DTD (Document Type Definition: 文書型定義) のバージョンを確認することで準拠している要領の版が確認可能だが、利用するデータが PDF や紙ベースの場合、準拠する要領に関する情報が付随していない場合が多く、測地系や単位系を別途、確認する必要がある。

表 3.1.2 ボーリング柱状図作成に係る要領と電子納品要領の変遷

年度	ボーリング柱状図作成要領(案)等	主な改訂・改定点	地質・土質調査成果電子納品要領(案)等	DTDバージョン 主な改訂, 改定
1986	初版発行			
1999	改訂	SI 単位系対応		
2001			初版 (H13.8 版) 発行	DTD1.00
2002	地すべり調査用ボーリング柱状図作成要領(案)発行		改訂 H14.7 版	DTD2.00 ・土質試験結果を分離 ・岩盤・地すべり柱状図様式を追加 ・デジタルコア写真の撮影方法等について規定
2003			改訂 H15.7 版	DTD2.01
2004			改訂 H16.6 版	DTD2.10
2008			改訂 H20.12 版	DTD3.00 ・土質岩種区分等を JIS A 0204,0205,0206 に準拠
2015	ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説	・最新の JIS,JGS 規格に準拠 ・柱状図データの一般公開を前提とした仕様を追加		
2016			改訂 H28.10 版	DTD4.00 ・2015 年発行のボーリング要領(案)に対応

(5) 地質・土質区分体系と拠り所とした標準層序と出典, 凡例

2011 年発行の野田地域の 5 万分の 1 地質図⁷⁾では表 3.1.3 右端の「本報告」欄に記載されている地層区分が採用されている。この層序は、ボーリングコアの堆積相の観察結果にシーケンス層序学的な解析を施し確立したものである。一方、シーケンス層序学という学問体系が発達していなかった 1970～1990 年代の研究では、砂礫層を鍵層として地層が区分されている。

地層層序は確立された絶対的唯一の体系ではなく、データが増え新たな知見が得られるにつれ、再解析と再区分がなされていく可能性がある。

ボーリング調査の際にどの層序区分を拠り所としたかによって、区分体系や地層の名称などが異なってくるため、三次元地質・地盤モデル作成時に様々な年代に作成されたボーリング柱状図を参照する際は、凡例と地質区分体系、拠り所とした標準層序についての情報も併せて参照することが望ましい。今後作成するボーリング柱状図については、根拠とした標準層序とその出典、根拠とした理由、凡例に関する情報を、ボーリング交換用データの「フリー情報」欄に記録することが望ましい。

表 3.1.3 野田図幅及びその周辺地域における下総層群の地層区分の比較（引用：文献⁷⁾，
p. 18 第 4.1 表）

堀口 (1970)	関東平野中央部 地質研究会 (1994)	埼玉県環境部 地質対策課 (1996)	中澤・遠藤 (2000)	大宮図幅 (中澤・遠藤, 2002)	平社 (2008a, b)	本報告 及び 中澤・中澤 (2005) 中澤ほか (2006)	
大宮層		A層	DS-A	“常総粘土” 大宮層	A1層	常総粘土 大宮層	
浦和層	A層	B層	DS-B	木下層		A1層	木下層
			DS-C				
			DS-D	C層		清川層	
	c d	C層	DS-E	D層	A2層	上泉層	
	e		DS-F	E層	B1-1層	敷層	
	B1層 f, g, h?	D層	DS-G	F層	B1-2層	地藏堂層	

(6) 現場土質名の分類・記入根拠

土質ボーリング柱状図に記載する「現場土質名」(図 3.1.3) は、現場観察によって分類するのが基本であるが、土質試験を実施したときは、その結果に基づき、地盤材料の工学的分類方法に従って記入することになっている(表 3.1.4)¹⁾。オペレータやコア鑑定者の主観的な観察結果と土質試験による客観的な分類ではデータの信頼度が異なる。後述する三次元地質モデル作成の図 3.2.1(2)の「⑤地質対比」のプロセスでは、収集したボーリング柱状図データの「現場土質名」に基づき層序の同定を行うため、「現場土質名」の信頼性は三次元地質モデルの信頼性に直結する。

従って、データを利用する際は「現場土質名」と「地盤材料の工学的分類」が整合しているか²⁾を評価することが望ましい。また、今後、作成するボーリング柱状図については、「現場土質名」を現場観察と土質試験のどちらで判断しているか、関連する情報をボーリング交換用データの「フリー情報」欄に記録することが望ましい。

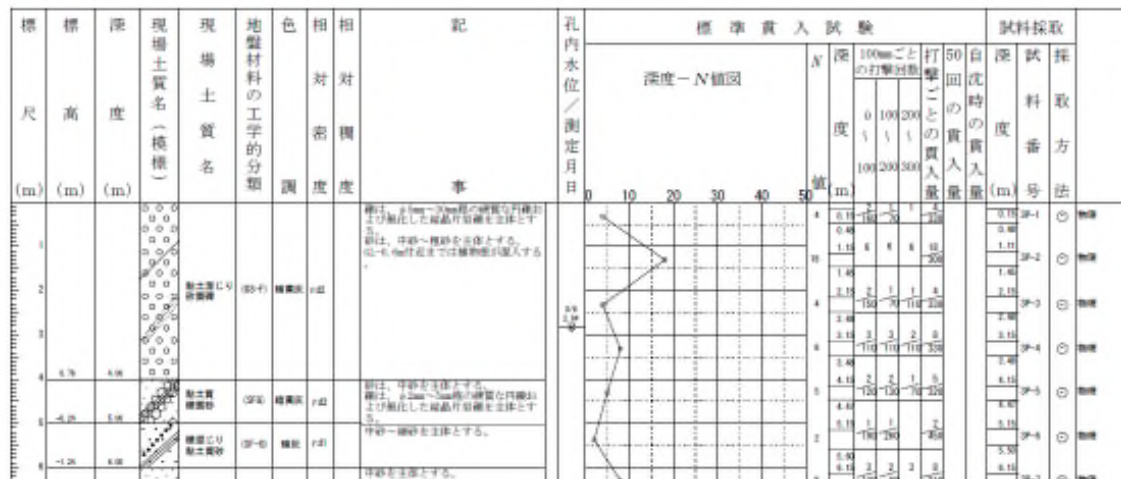


図 3.1.3 土質ボーリング柱状図（標準貫入試験）における現場土質名と地盤材料の工学的分類の記入例

表 3.1.4 地盤材料の分類名と現場土質名の対応⁸⁾

地盤材料の分類名				現場土質名	
大分類	中分類	小分類		大区分	小区分
粗粒土 Cm	礫質土[G]	礫 (G)	礫 (G)	礫質土	玉石まじり礫
		砂礫 (GS)	砂まじり礫 (G-S)		礫 (粗礫・中礫・細礫)
			細粒分まじり礫 (G-F)		砂まじり礫
			細粒分砂まじり礫 (G-FS)		腐植物 (貝殻・火山灰) まじり礫
	砂質土[S]	砂 (S)	砂質礫 (GS)	砂質土	玉石まじり礫
			細粒分まじり砂質礫 (GS-F)		砂礫
		礫質砂 (SG)	細粒分質礫 (GF)		粘土まじり砂礫
			砂まじり細粒分質礫 (GF-S)		有機質砂礫
			細粒分質砂質礫 (GFS)		火山灰質砂礫・凝灰質砂礫
			砂 (S)		砂 (粗砂・中砂・細砂)
細粒分まじり砂 (SF)	礫まじり砂 (S-G)	礫まじり砂			
	細粒分まじり砂 (S-F)	腐植物 (貝殻・火山灰) まじり砂			
	細粒分礫まじり砂 (S-FG)	砂礫			
	細粒分質砂 (SF)	粘土まじり砂・粘土質砂			
高有機質土(Pt)	泥炭 (Pt)	泥炭 (Pt)	高有機質土	有機質粘土	
	黒泥 (Mk)	黒泥 (Mk)		火山灰まじり有機質土	
人工材料 Am		廃棄物 (Wa)	その他	有機質火山灰	
		改良土 (I)		〇〇ローム	
				凝灰質粘土	
				泥炭	
				黒泥	
				廃棄物, 改良土, 瓦礫, 他	

(7) 孔内水位の測定日と測定時の削孔状況

ボーリング孔内水位と地下水位を混同あるいは誤解し、公開されているボーリングデータから孔内水位データを抽出し、掘削年代や季節、孔内水位測定のタイミング、帯水層の構造等を吟味せずに機械的に統計処理を施し「地下水モデル」と称する誤ったモデルを作成している事例が見受けられる。本来、地下水モデルは、気象調査、河川流量調査、観測井やボーリング孔を利用した継続的な地下水位測定結果に代表される水文・水理地質学的調査により得られたデータを基に、有限要素法などの数値解析手法を用いて構築される「地下水の流動形態を表現するためのモデル」である。そのため、孔内水位データを地下水モデル作成の参考にする場合は、次の3点に留意しなければならない。

- ・ 経時変化する水位のある特定の1時点（掘削作業中や完了後など）における測定値であること
- ・ 地下に複数存在する帯水層（図 3.1.4）のうちどれに由来する水位か、そのデータだけでは判断が困難であること
- ・ 水位の求め方により、意味が異なること（表 3.1.5）

孔内水位データは、岩盤の透水性や地下水の構造を推定する上で参考になる重要なデータではあるが、測定年月日と測定時の削孔状況（表 3.1.6）、削孔水の種類データ（表 3.1.7）等を総合的に解釈した上での利活用が必要である。

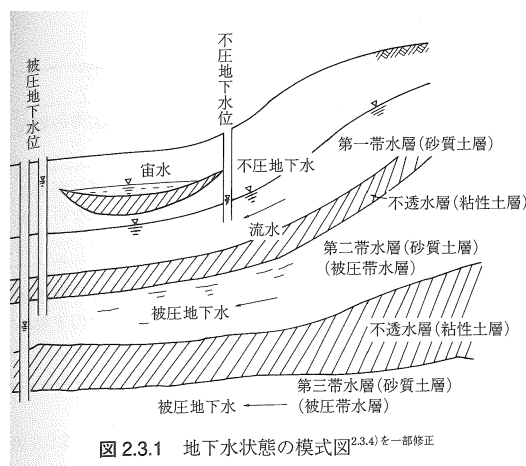


図 3.1.4 地下水状態の模式図（文献⁹⁾ p.41 図 2.3.1 を引用）

表 3.1.5 ボーリング孔内水位の種類と解釈 (文献⁹⁾ p. 42 表 2.3.6 を引用)

種 類	水位の求め方	水位の解釈
無水掘りによる水位	泥水を用いないで掘り進んだとき、孔内に地下水が流入し始めた深度	粘性土中の場合は溜り水、砂質土中の場合は、不圧地下水位を示す。
泥水位	泥水を用いて削孔し、ボーリングが終了した後の安定水位	孔壁にマッドケーキ（難透水の膜）ができるために値そのものは参考にならない。実際の水位はそれ以深と判断される
水洗い後の水位	削孔後に泥水を清水に置換し、孔内を洗浄した後の安定水位 被圧地下水位の正確な測定には上位帯水層との遮水が必要	洗浄が十分ならば砂質土中では不圧地下水、粘性土中では溜り水またはその下部の砂質土層の被圧地下水の水位を示す。

表 3.1.6 ボーリング柱状図の電子納品データで使用する削孔状況コード³⁾ (p. 付5-78, 表 2-67)

コード	削孔状況
1	作業開始時
2	作業中
3	作業終了時
4	削孔完了後
9	その他(不明含む)

表 3.1.7 ボーリング柱状図の電子納品データで使用する削孔水種類コード³⁾ (p.付5-88, 表 2-70)

コード	記号	削孔水の種類
1	W1	無水
2	W2	清水
3	W3	泥水
4	W4	界面活性剤
5	W5	増粘剤
9	W9	その他(不明含む)

3.1.2 物理探査結果

3.1.2.1 物理探査結果の利活用

物理探査で求められた地盤の地球物理学的物性値は、地質モデルや地盤モデルを作成する際に、地層区分などを行うために参照される。例えば、弾性波探査で得られた P 波速度の分布を基に岩盤上面や断層破碎帯の広がりを想定することがある。

また、ボーリング孔内で物理探査を実施することを物理検層と呼ぶが、そこで得られた地球物理学的物性値は、その調査ボーリングの地層区分などの参考とされ、その区分をとりまとめたボーリング柱状図を介して地質・地盤モデルの作成に活かされることが多い。あるいは物理探査結果のキャリブレーション等に利用されるため、物理検層結果が直接的に地質・地盤モデル作成に使用される事例は少ないと考えられる。

3.1.1.2 物理探査結果の品質項目の提案と解説

既往の物理探査の品質を評価する際に参照すべき記載内容、また、これから作成する地質・地盤モデルの基データとなる物理探査に特に留意して記録として残すべき情報を、文献 8),10),11)を参考にして、表 3.1.8 の「品質に関連する事項」欄にまとめた。

物理探査の相対的な信頼度を評価するためには、その探査限界深度、深度と相反する分解能、解析誤差・残差、探査障害物に関する情報が必要となる。それらの情報およびそれらをサポートする項目を品質に関連する事項として挙げた。加えて、測定時の品質に関わる位置情報・測量手法や測定機器の仕様・設定、そして、解析時の品質に関わるキャリブレーションの有無なども含めた。

同じ物理探査であっても適用する測定・解析手法によって異なる各手法特有の事項があるため注意が必要である。例えば、弾性波探査（屈折法）では、はざとり法か高密度（高精度）法かで解析手法が大きく異なり、「解析過程に係る情報」が異なる（解析層数ははざとり法のみ。高密度法ではメッシュ形状など）。また、電磁探査には MT 法やループ・ループ法など様々な測定手法があり、「品質を説明する情報」が異なってくる（水平探査曲線はループ・ループ法。MT 法ではみかけ比抵抗曲線）。

また、対象とする地盤によっても物理探査の品質を評価する際に参照する項目は異なることがある。

表3.1.8 物理探査結果の品質トレーサビリティ

物理探査・検層	取得される情報	関連する物理検層※	品質に関連する事項		
			基本事項、測定事項	解析過程に係る情報	品質項目：品質を説明する情報
弾性波探査(屈折法)	弾性波速度	速度検層	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、起振点・受振点の間隔、チャンネル数、測線長(展開長)、測量手法、起振源の種類、遠隔起振点の有無、探査障害物	解析法、解析層数、走時計算方法、メッシュ形状(サイズ)、傾斜層の補正、解析区間の区分、探査限界深度、分解能、解析誤差・残差	波形図、走時曲線、走時一覧表、波線経路図、ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
表面波探査	表面波速度(S波速度構造を推定)	速度検層	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、起振点・受振点の間隔、チャンネル数、測線長(展開長)、測量手法、起振源の種類、探査障害物	分散曲線解析方法、速度逆解析法、水平方向区分数、鉛直方向区分数	波形図、分散曲線
微動アレイ探査	表面波速度(S波速度構造を推定)	—	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、アレイ配置、観測方法、観測時間帯	位相速度解析手法、速度構造解析手法	分散曲線、観測点配置図
弾性波トモグラフィ	弾性波速度	速度検層	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、起振点・受振点の間隔、チャンネル数、測線長(展開長)、測量手法、起振源の種類、遠隔起振点の有無、探査障害物	走時計算方法、速度逆解析法、メッシュ形状(サイズ)、分解能、解析誤差・残差	波線経路図、ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
速度検層	弾性波速度	—	測定深度間隔、チャンネル割り当て、孔内水位、孔壁保護の状況、測定区分、受振成分、起振方法、サンプリング間隔、調査期間	フィルタ処理	走時曲線、走時一覧表
切羽前方探査(TSP探査、HSP探査)	弾性波速度	—	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、振源・受振点間隔、側線配置	観測波形、処理波形データ	反射イベントのトンネル出現位置
弾性波探査(浅層反射法)	反射面、反射係数	VSP	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、起振源、起振点・受振点の間隔、チャンネル数、測線長(展開長)、探査障害物、測量手法	探査限界深度、分解能、データ処理フロー(マイグレーション等)と処理パラメータ、深度変換に用いた速度モデル	反射時間断面図、探査記録、ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
音波探査	反射面、反射係数	—	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、音源、受信点間隔、チャンネル数、測線長(展開長)、測量手法	探査限界深度、分解能、データ処理フロー(マイグレーション等)と処理パラメータ、深度変換に用いた速度モデル	反射時間断面図、音波探査記録、測深記録、ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
地中レーダ	反射面、反射係数	—	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、レーダの種類・周波数、水平方向測定間隔、サンプリング点数、A/D分解能、測線長(展開長)、探査障害物、測量手法	データ処理の有無、データ処理の手順と内容	記録断面図
電気探査(比抵抗法二次元探査)	電気比抵抗	電気検層	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、電極配置、電極間隔、最大電流電極間隔、設定電流、探査障害物、測量手法	電位計算方法、比抵抗逆解析法、メッシュ形状(サイズ)、探査限界深度、分解能、解析誤差・残差	電位減衰曲線、見掛け比抵抗擬似断面図、収束曲線、ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
電磁探査	電気比抵抗	—	位置情報、測線長、測定機器の仕様・設定、使用周波数(送信基地名)、探査障害物、測定手法、測量手法	解析原理、解析手順、解析条件、境界処理	水平探査曲線、測定値平面図、みかけ比抵抗曲線
比抵抗トモグラフィ	電気比抵抗	電気検層	位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、電極配置、電極間隔、最大電流電極間隔、設定電流、探査障害物、測量手法	電位計算方法、比抵抗逆解析法、メッシュ形状(サイズ)、分解能、解析誤差・残差	測定位置図、要素分割図、モデル分割図、ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
電気検層	電気比抵抗	—	調査期間、電極配置・間隔、検層速度、測定間隔、設定電流、孔内水位、孔壁保護、孔内泥水	泥水補正の有無と方法、水温補正の有無と方法	—
重力探査	密度	密度検層	探査限界深度、分解能、位置情報、調査期間、測定機器の仕様・設定、測点間隔、補正の有無、探査障害物、探査手法、測量手法(特に水準)	解析誤差・残差	ボーリングや検層によるキャリブレーションの有無
密度検層	密度	—	測定位置、調査期間、測定機器の仕様・設定、測定条件、孔内水位、孔壁保護の状況、検層速度、時定数、孔径	データ処理・解析の手順と方法、補正の有無・方法	—

※物理検層：基データとなるボーリングの地層区分の補助や物理探査のキャリブレーションに利用する。

3.1.3 サウンディング結果

3.1.3.1 サウンディング結果の利活用

サウンディングとは、抵抗体をロッドなどで地中に挿入し、貫入、回転、引抜き抵抗などから土層の性状を調査する手法¹²⁾である。地盤に直接コーンなどを貫入して貫入抵抗を求める方式の原位置試験であり、室内試験のようにサンプリングによる試料の乱れや応力解放の影響を考慮する必要はなく、原位置の拘束条件下で試験ができる。

一般的にボーリング調査と比較して、簡易に実施できるため、地質モデルや地盤モデルを作成する際の補足データとしての利活用が期待できる。

3.1.3.2 サウンディング結果の品質項目の提案と解説

本報告では、「地盤調査の方法と解説⁸⁾」に記載されている「標準貫入試験」「簡易動的コーン試験」「スウェーデン式サウンディング試験」「ポータブルコーン貫入試験」「機械式コーン貫入試験」「電気式コーン貫入試験」「動的コーン貫入試験」「液状化ポテンシャルサウンディング」と、「土検棒貫入試験¹³⁾」について、サウンディングの品質を評価する際に参照すべき記載内容として残すべき情報を、品質に関わる事項として表 3.1.9 に整理した。

数多くのサウンディングが国内外で行われているが、調査手法によって規格や基準が異なるため、品質に係る項目として位置情報や試験深度、試験装置の仕様、計算方法等の情報が重要となる。例えば、スウェーデン式サウンディング試験では、載荷装置および回転装置に手動式、半自動式または自動式があり、その違いにより静的貫入抵抗値に若干違いが見られる。また、地盤の許容応力度を求める式によっても異なるため、使用した試験装置の仕様や計算式は残しておくべき情報となる。

表3.1.9 サウンディング結果の品質トレーサビリティ

試験方法	取得される情報	適用地盤条件	品質に関連する事項		
			基本事項、測定事項	解析過程に係る情報	品質項目:品質を説明する情報
標準貫入試験	N値	玉石や転石を除く地盤	位置情報、調査期間、試験深度、掘削方法、掘削装置、試験装置(ロッド、SPTサンプラー、ハンマー、アンビル等)の仕様、落下方法、掘削孔径	N値計算表	土質柱状図(N値深度分布曲線)、採取試料の観察記事、現場報告書
簡易動的コーン試験	Nd値	深さ4~5m程度までの玉石や転石を除く地盤	位置情報、調査期間、試験深度、試験装置(コーン、ロッド、ハンマー、アンビル等)の仕様、試験方法	Nd値計算表	データシート(Nd値と貫入深さの深度分布図)、採取試料の観察記事、現場報告書
スウェーデン式サウンディング試験	静的貫入抵抗(W _{sw} , N _a 及びN _{sw})	深さ10m程度までの軟弱地盤	位置情報、調査期間、試験深度、試験装置(スクリーポイント、ロッド、載荷装置、回転装置、引抜き装置、記録装置等)の仕様、簡易サンプラーの仕様、試験方法	静的貫入抵抗の計算式、土質判定方法	データシート(スウェーデン式サウンディング試験)、記事(貫入状況、砂音等)、現場報告書
ポータブルコーン貫入試験	コーン貫入抵抗q _c	深さ3~5m程度までの軟弱地盤	位置情報、調査期間、試験深度、試験装置((単管式、二重管式)、コーン、ロッド、測定装置、貫入用ハンドル等)の仕様、試験方法	コーン貫入抵抗q _c の計算方法	データシート(コーン貫入抵抗の深度分布図)、観察記事、現場報告書
機械式コーン貫入試験	コーン貫入抵抗q _c 周面摩擦抵抗f _s 総貫入力Q _r 総周面摩擦力Q _{st} 摩擦比R _f	玉石や転石を除く砂質土、粘性土、有機質土、火山灰など広範な土質	位置情報、調査期間、試験深度、試験装置(貫入先端、コーン、フリクションスリーブ、外管・内管等)の仕様、計測方法の仕様、圧入装置の仕様、試験方法	周面摩擦力F _s 、総周面摩擦力Q _{st} 、コーン貫入抵抗q _c 、周面摩擦抵抗f _s 、摩擦比R _f の計算方法	データシート(機械式コーン試験現場記録、報告)、観察記事、現場報告書
電気式コーン貫入試験	コーン貫入抵抗q _c 周面摩擦抵抗f _s 間隙水圧u	玉石や転石を除く砂質土、粘性土、有機質土、火山灰など広範な土質	位置情報、調査期間、一般事項、試験装置(コーン貫入試験機)の仕様、試験方法	コーン貫入抵抗q _c 、周面摩擦抵抗f _s 、間隙水圧uの計算(補正)方法	データシート(電気式コーン試験現場記録、報告)、観察記事、現場報告書
動的コーン貫入試験	Nd値	深さ5~30m程度までの軟弱地盤	位置情報、調査期間、試験深度、試験装置(コーン、ロッド、ハンマー、測定器等)の仕様、試験方法	Nd値の計算方法	データシート(Nd値と貫入深さの深度分布図)、採取試料の観察記事、現場報告書
液状化ポテンシャルサウンディング(ピエゾドライブコーン)	地下水位 N値 細粒分含有率	深さ10~15m程度でN値25程度までの砂質土	位置情報、調査期間、試験装置(先端コーン、動的コーン貫入装置、変位計、トリガー、データロガー等)の仕様、試験方法		試験結果報告書、現場報告書
土検棒貫入試験	貫入強度q _{dk}	深さ5m程度までの土質地盤、強風化岩などの極めて軟質な岩盤	位置情報、調査期間、試験装置(先端コーン、ロッド、荷重計等)の仕様、試験方法	貫入強度q _{dk} の計算方法	データシート(土検棒貫入試験)、現場報告書

参考資料:

【改訂版】地盤調査の方法と解説(2013年3月25日)

土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)、土木研究所、平成22年7月

3.1.4 資料調査結果

3.1.4.1 資料調査結果の利活用

既往資料の調査は、調査計画やプロジェクトを計画する最初の段階で必要となるものである。既往の資料をどれだけ集めて、調査地域の地盤状況を正確に把握するかによって、その後の調査計画やコストなどが大きく異なることもあるので、大変重要な項目である。特に地質モデルの構築の際には、調査位置を包括する周辺全体の地史や構造発達史を十分に把握する必要があるため、過去の調査履歴なども含めて十分に収集し、吟味する必要がある情報である。また、情報は作成年度によって、変化するものである。地下深層の地層層序などは変化しないが、地形情報や土地用状況などは、調査年度によって変化する。特に大規模な宅地開発などによっては、大きく変化するもので、調査年と現在の違いなどについても十分留意すべきである。

3.1.4.2 資料調査結果の品質項目の提案と解説

資料調査の品質を評価する際に必要な記載内容や情報について、表 3.1.10 に列挙した。資料の成果図は作成者の考えや調査の経過、それぞれの専門性によって異なり、必ずしも公共の出版物が正しいとは限らない。例として、大阪平野部の活断層の分布図は、国土交通省管轄の国土地理院が出版する都市圏活断層図で示すものと、経済産業省管轄の産業技術総合研究所の活断層データベースでは、断層線の分布図が異なる。また、別の例として、調査の更新によって、変化する場合もある。例として、1990 年出版の新編「日本の活断層」と 2000 年出版の「近畿の活断層」では、上町断層の断層長や分布が異なる。これも、1995 年兵庫県南部地震以降に多数実施された、活断層調査の結果によって、新しく断層の分布が大阪南部まで延長されたことによる。このように、発表されている資料の違いや調査年の違いによって結果図が異なる場合があるので、十分に留意する必要がある。

次に示される調査結果図の縮尺によっても結果が異なる場合があるので留意が必要である。当前のことだが、国土地理院が発行する地形図であっても、5 万分の 1、2 万 5 千分の 1、1 万分の 1 によって、等高線の形状は同一地域でも微妙に異なることがある。特に平野部の平坦な部分は異なる場合があるので、留意が必要である。

文献の調査の場合、同じ地域の考察であっても、著者によって考えや解釈が全く異なる場合もある。このような場合、偏見を持たず、公平な立場に立ち、論文を判読し正確に判断して自身の基本情報に取り入れる姿勢が必要である。

表3.1.10 資料調査の品質トレーサビリティ

資料	取得される情報	適用条件	品質に関連する事項			
			基本事項、測定事項	解析過程に係る情報	品質を説明する情報	備考
空中写真・航空写真	平面的な写真、画像による空間的な情報(ラスターデータ、デジタルデータ、ベクトルデータなどがある)	全地域(ただし、水部の地形は見えない)	評定図による撮影場所、撮影機関、日時、縮尺	縮尺	縮尺と撮影年月日、撮影元、撮影条件、解像度	解像度によって、どこまでを判別、判読するか注意が必要
地形図	平面的な地形情報、等高線図、DEMデータ	全地域、何らかの調査をすれば海底部も適用可	縮尺、作成日時、等高線、DEMデータの場合発行年、データ間隔	縮尺、DEMの場合、	縮尺、データ間隔、作成年月日	縮尺によって、どこまでを判別、判読するか注意が必要
地質図	平面的な地質の分布状態	全地域	構成岩種、縮尺、分布図、対象の地質(区分する対象年代範囲など)	縮尺、作成者	縮尺と作成年、作成の目的、作成者	作成者や発行者、発行年によって信頼度が異なる場合がある
地盤図	地盤の情報(強度などを含む)	刊行されている平野、丘陵地に限る	縮尺、主題の分布	縮尺、作成者、作成年	どのように地盤を設定したかという前提、縮尺、作成者	一見地質図と同様に扱われるが、あくまで地盤情報をまとめているので、地質図とは異なる
地形分類図	表層の地形区分情報	全地域(平野部～丘陵部が中心)	縮尺、作成者、作成年	縮尺、作成者	作成年(開発事業などによって、地形が変化すれば、分類も変化する)	丘陵部の宅地開発地などについては、地形分類が編年によって異なる場合がある。
活断層図	表層の構造線、特に活断層などの情報	ほぼ全域	縮尺、作成者、作成年	判読に用いた地形図や写真の縮尺	作成年、判読の縮尺	公的な出版物であっても、機関によって、表現が異なる
地滑り判読図	地滑り地形、崩壊地形など	丘陵地、山地	縮尺、作成者、作成年	判読に用いた地形図や写真の縮尺	作成年、判読の縮尺、判読方法	作成年後に災害が発生すれば、最新情報ではなくなる
水文図	水系情報、集水地など	全域	縮尺、作成者、作成年	判読に用いた地形図や写真の縮尺	作成年、判読の縮尺、判読方法	開発などに伴って、水系や水路が変更になる場合もある。
災害記録	災害発生時期、災害発生箇所など	限定された場所	記録方法、取りまとめ方法(地図に取りまとめならば、その縮尺)	記録方法、取りまとめ方法	記録方法や作成方法などの条件	対象範囲に過去の記録があれば、非常に重要
ハザードマップ	災害の被害予測範囲図	火山、河川、急傾斜、低地など災害が発生する場所と内容に応じて作成	被害予測範囲をマップで表示、縮尺、作成者、作成年	検討に用いた資料や図面の縮尺など	作成年、作成者、作成した際の災害の条件、抽出の限界やデータの不確実性について明記していれば、より良い	
論文	地域の各種の情報	災害から、防災、などすべての分野にわたって提供されている	著者、年代、出版雑誌名	検討方法や内容、目的など	著者、年代、検討手法など	露頭情報などは有効、検討手法などは時間と共に可否が変化するので注意。結論も同様。査読の有無や掲載誌によっても評価が異なる場合がある。
土地利用図	利用状況を平面図で区分	人が生活する場所で作成されている	縮尺、作成者、作成年	どのような判読を行って、分類したかなどの条件	作成年、作成者、作成する際に利用した資料、特に地形情報	後に宅地開発などされれば、地形が大きく変化する
土地分類図	土地をその利用の可能性により分類する目的をもって、土地の利用現況、土性その他の土壌の物理的及び化学的性質、浸蝕の状況その他の主要な自然的要素並びにその生産性に関する調査	適宜作成	縮尺、作成者、作成年	どのような判読を行って、分類したかなどの条件	作成年、作成者、作成する際に利用した資料、特に地形情報	後に宅地開発などされれば、地形が大きく変化する
土地条件図	主に平野部の地形分類を表示した主題図	適宜作成	縮尺、作成者、作成年	どのような判読を行って、分類したかなどの条件	作成年、作成者、作成する際に利用した資料、特に地形情報	後に宅地開発などされれば、地形が大きく変化する
土壌図	持続的な営農・食料生産の基礎となる土壌データ	全国で作成	縮尺、作成者、作成年	どのような判読を行って、分類したかなどの条件	作成年、作成者、作成する際に利用した資料、特に地形情報	後に宅地開発などされれば、地形が大きく変化する
過去の地質、地盤モデル		場所によって存在する	縮尺、作成者、作成年	どのような目的で、どのように作成したかなどの途中条件	作成年、作成者、作成する際に利用した資料、特に地形情報、精度も明記していればより良い	
工事記録		場所によって存在する	縮尺、作成者、作成年	どのような目的で、どのように実施したかなどの情報	工事年、工事者、工事する際の初期状態の情報、特に地形情報、地質情報、工事内容など	未公開資料の適切な管理が重要となる

参考資料:【改訂版】地盤調査の方法と解説(2013年3月25日)

3.1.5 写真判読結果

3.1.5.1 写真判読結果の利活用

事前調査や調査途中で空中写真などを用いて写真判読を行うことは、次工程の技術者に情報を引き渡す上でも、判りやすく便利なものである。ただし、状況を伝えることはできても、その写真から得られる情報は、写真を見る技術者の技術力によって大きく異なることが多く、十分に留意すべき内容である。近年、突発的な災害情報や工事状況なども飛行機やドローンを使って先行的に情報を収集する手段として、よく使用されるものである。しかし、写真判読の際には、撮影の縮尺や撮影範囲、撮影時刻や角度などを基本情報として加味することなしに解釈すると、情報の欠落や誤認定などが発生するため、十分に留意したい事項である。

3.1.5.2 写真判読結果の品質項目の提案と解説

写真判読を実施する場合、使用する写真が最終的に情報を提供する全てとなるため、写真が撮影された日時や場所、撮影角度などの撮影条件と写真の縮尺が品質項目としては重要となる(表 3.1.11 参照)。得られた写真は PC 上で容易に拡大縮小することが可能であるが、いわゆる画素数や判読に十分な縮尺かどうかを目的に照らし合わせて判断する必要がある。空中写真は、日本では 1960 年代に米軍が撮影した 2 万分の 1 の写真が最も古いものであるが、その後は年度ごとに縮尺や撮影場所、撮影方法が異なるので、十分に吟味して利用する必要がある。さらに近年では、衛星写真や UAV の画像を使って調査検討が可能である。近年では、災害の履歴を Google などの web 上の航空写真を用いて検討することも可能である。この場合、撮影年月日や縮尺、などの情報と共に、検出限界があることを認識した上で利用する必要がある。

最後に、このような写真を用いて、DEM データに変換するツールやソフトが開発されている。このような情報に関しては、一般に裸地の写真であれば良いが、樹木や建物が撮影された写真画像から何らかの補正を行って地表面の DEM データに変換しているため、そのデータ変換の際に発生する誤差なども考慮する必要がある。

表3.1.11 写真判読結果の品質トレーサビリティ

写真判読	取得される情報	適用地盤条件	品質に関連する事項			
			基本事項、測定事項	解析過程に係る情報	品質を説明する情報	備考
空中写真	写真画像	陸域	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺
衛星写真	画像	全地域	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺
UAV	写真画像, DEMデータ など	陸域	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺, 植生がある 場合は, どのように補正したかな どの情報	近年は四方の端点にマーカーを 付けて, 測量も可能であるが, ど のように画像処理したかなどの手 順に注意
googleなどのweb画像	画像	全地域	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺	撮影年月日, 縮尺

参考資料:【改訂版】地盤調査の方法と解説(2013年3月25日)

3.1.6 踏査結果

3.1.6.1 踏査結果の利活用

踏査とは、専門的な知識を持つ技術者が現地にて各種の情報を取得する調査の事である。基本的に、試料のサンプリングはあっても、何らかの機器を持ち込んで現場調査を行うものではない。踏査作業は技術者の技量によって、得られる情報が大きく異なるので、調査目的に応じて適切な技術者が実施することが望ましい。また、調査時期や現地写真は今後のプロジェクトの中でも重要な検討ポイントになる場合もあるので、写真撮影には、縮尺や写真撮影場所などをしっかりと明記することが望ましい。

3.1.6.2 踏査結果の品質項目の提案と解説

踏査として、表 3.1.12 に一般的な地質調査の踏査、水文踏査、環境踏査を示した。いずれも各分野の専門家が実施すべき内容である。取得される情報は、踏査によって異なり、地質踏査の場合は、露頭情報やそこで得られた地質の特徴や地形の特徴、植生、あるいは、崩れや崩壊の状態などが取得される情報である。調査年月日や現地写真（位置情報付き）、サンプルを採取した場合はその情報などをしっかり取りまとめる必要がある。その際、調査時のルートマップや調査者などの明記も非常に重要な情報である。どれだけ専門性の高い調査技術者が現場に赴いても、調査ルートに入っていない箇所では、情報がゼロであることに変わりはない。

踏査	取得される情報	適用地盤条件	品質に関連する事項		
			基本事項、測定事項	解析過程に係る情報	品質を説明する情報
地質踏査	地質の特徴、地形の特徴、植生、くずれ、崩壊、地滑りの地形	全範囲	調査年月日、写真(写真位置情報)、採取試料情報	調査者名	調査者、調査年月日、位置情報、ルートマップ、調査目的
水文踏査	水系の分布や湧水情報など	全範囲	調査年月日、写真(写真位置情報)、採取試料情報	調査者名	調査者、調査年月日、位置情報、ルートマップ、調査目的
環境踏査	植生、生物の分布など	全範囲	調査年月日、写真(写真位置情報)、採取試料情報	調査者名	調査者、調査年月日、位置情報、ルートマップ、調査目的

参考資料:【改訂版】地盤調査の方法と解説(2013年3月25日)

3.1.7 地質学的試験結果

3.1.7.1 地質学的試験結果の利活用

地質学的試験とは、地質学的情報を取得するために必要な試験すべてを含めたものである。平野等であれば、堆積時の堆積環境やその後の変遷、堆積年代などを明らかにし、層序の確定や側方への対比作業時の情報として有効なものとなる。一方で山岳地などの岩盤部であれば、岩石の情報として、岩石の種類だけではなく、工学的な地盤モデルを作成するために、強度や脆弱性を定量化するための亀裂調査なども含める。

平野部で実施する地質学的試験は、未固結の地層がどのように分布し、どのように堆積しているかと判断するための堆積環境調査と側方に対比するために必要なマーカー（鍵層という）を明らかにして対比することを目的とした調査がある。

3.1.7.2 地質学的試験結果の品質項目の提案と解説

堆積環境調査については、該当する堆積層が海成であるか非海成であるかで調査を行う条件や対象物が異なる場合がある。特に海成に生存した微化石（有孔虫や貝形虫、ナンノ化石など）の有無（できれば定性的な含有量変化を含む）の判断や化石種の違いによって、環境の違いを判断することができる。その際、分析時に判読した化石種の個数や化石種は状況を判断するうえで非常に重要な情報である。例えば、海に生息する微化石がたった1個入っていた場合、すぐに「海成」と判断するか？試料のコンタミネーションや堆積環境上での何らかの要因で異種が混合した可能性も十分考えられ、やはり判断が難しくなる。そのためには、最低でも数十個程度の化石種判定のデータと判読した結果表が必要となる。海域から非海成領域までを網羅して検討可能な化石種には、珪藻がある。珪藻分析は前処理にも時間がかかり、種の判定や分類が難しいが、細かな分析によって、堆積環境を明らかにすることが可能である。これも海成の微化石を含めて最終判断を行うためには、最低でも数十個、できれば統計的に検討できる100個以上の判読と種分けが必要である。これらの堆積環境分析は、基本的に専門性の高い分析であり、未熟なものが化石の種別判断ができるものではないので、専門家に依頼することが一般であるが、今後の品質項目を明らかにするために、分析者や分析手法、分析時に使用した化石の個体数などを明記することが良い。

表 3.1.13 では、化学的な分析方法として、XRD 分析を挙げている。このほかにも化学分析には XRF 分析や同位体分析など様々な分析があるが、一般的な調査業者が実施する分析ではないので、ここでは XRD 分析のみを取り上げた。試料を粉末状に粉碎し、構成鉱物を分析する定性分析法の一つである。エックス線を照射して、鉱物によって特有の回折ピー

クを持つので、回折結果チャートから構成する岩石を判読することになる。この場合、分析時の機器、分析条件（回折角度の範囲、データ取得間隔など）を明らかにし、判読者あるいは、自動で判読した場合は、どのようなインデックスを用いたかを明記することが望ましい。花崗岩や安山岩などの岩石の種別を判定することに利用することはあまりないが、岩石が変質している場合、変質鉱物の特定などに利用されることが多い。

土壌の硬さを測定する土壌硬度計や土の色を数値化して環境や風化度の変化を観察する場合は、観察場所（深度）やデータ、測定者などの基本情報が品質の確保に必要と考える。割れ目調査、岩盤分類も基本的に技術者が目視で判断することになるが、判断根拠を担保することも考えて、測定箇所を含めた写真を貼付するなどによって品質を確保することが望ましい。

最後に絶対年代測定であるが、これは、堆積年代あるいは変質年代など、明らかにしたい年代と対象試料によって、適応する手法が異なるため、実施する場合は、目的を十分に考えて手法を選択することが望ましい。

表3.1.13 地質学的試験結果の品質トレーサビリティ

地質学的試験	取得される情報	適用地盤条件	品質に関連する事項		
			基本事項、測定事項	解析過程に係る情報	品質を説明する情報
火山灰調査(概査)	火山灰層の降灰あるいはもつとも多く含む層準の特定	未固結堆積物。特に細粒な土粒子が多く堆積する静穏な場所	処理過程とその方法、検鏡によるカウンティング	サンプリング箇所の情報(深度)、ガラスを含む場合には、含有割合	深度、ガラスを含む場合は含有割合
火山灰調査(精査)	特定された火山灰層準に於いて実施する、広域火山灰の同定結果	ガラスなど火山砕屑物を含む地層	サンプル名とサンプリング深度など。鉱物組成、顕微鏡写真、ガラス屈折率測定結果、場合によって角閃石、輝石の屈折率測定結果	鉱物組成、顕微鏡写真、ガラス屈折率測定結果、場合によって角閃石、輝石の屈折率測定結果	鉱物組成、顕微鏡写真、ガラス屈折率測定結果、場合によって角閃石、輝石の屈折率測定結果、分析者、使用機器
微化石総合調査	土質試料より砂粒子のみを抽出し、ポイントカウンティング法による、粒子の種類と割合を概略で示したもの	未固結堆積物	サンプリング名とサンプリング深度、ポイントカウンティング法による粒子の分類とその良否を視野中の存在個数で「+」の数を用いて表示。定性分析	有機物、火山ガラス、有孔虫、マイカなどの鉱物粒子、貝殻、黄鉄鉱などの存在量	実態顕微鏡写真、存在量の分布図
珪藻化石調査	土粒子より珪藻を抽出して、その分布量や種類わけを行って、環境解析を実施。	未固結堆積物	サンプリング名とサンプリング深度、200~500個体程度を測定して各種の割合を表示。定量分析	種族名とその含有率	分析者名、分析結果表
花粉化石調査	土粒子より花粉を抽出して、その分布量や種類わけを行って、環境解析を実施。	未固結堆積物	サンプル名とサンプリング深度など。鉱物組成、顕微鏡写真、ガラス屈折率測定結果、場合によって角閃石、輝石の屈折率測定結果	種族名とその含有率	分析者名、分析結果表
ナノ化石分析(概査)	偏光顕微鏡による個数のカウントによる相対量	海成粘土層	処理過程とその方法、検鏡によるカウンティング	測定方法、検鏡時の顕微鏡の条件など	分析者名、分析結果表
ナノ化石分析(精査)	電子顕微鏡によるナノ化石の種類区分	海成粘土層	処理過程とその方法、検鏡による分類結果表と化石写真	種族名とその含有率、顕微鏡写真など、測定個体数も必要	分析者名、分析結果表
貝形虫化石分析	試料より化石を抽出して種の同定を行う	海成堆積物	処理過程とその方法、検鏡による分類結果表と化石写真	種族名とその含有率、顕微鏡写真など、測定個体数も必要	分析者名、分析結果表
貝化石分析	試料より化石を抽出して種の同定を行う	一般に中粒砂以下の細粒堆積物	処理過程とその方法、検鏡による分類結果表と化石写真	種族名とその含有率、顕微鏡写真など、測定個体数も必要	分析者名、分析結果表
有孔虫化石分析	試料より化石を抽出して種の同定を行う	一般に中粒砂以下の海成の細粒堆積物	処理過程とその方法、検鏡による分類結果表と化石写真	種族名とその含有率、顕微鏡写真など、測定個体数も必要	分析者名、分析結果表
XRD	試料を粉砕してX線照射時の散乱	特になし	サンプル名、使用機器と測定条件、結果のチャート	チャートからピークを判読する際の手法、検討過程の作業内容など	分析者名、分析結果表
土壌硬度計	土壌に検査棒をさして、硬さを検討する。	土壌	測定試料、測定位置と測定データ	使用した土壌硬度計とその補正值(個体差を判別するためのものがあればベスト)	分析者名、分析結果表、試料写真
土色	コア試料に対して、土色計を当てて測定するかあるいは、土色帳を用いて色を判断する。	全般に利用可能であるが、基本堆積物	測定試料、測定位置と測定データ	使用したものが土色帳か土色計か。	分析者名、分析結果表、試料写真
絶対年代測定	対象物の年代値	試料や目的によって異なる	測定の手法、対象とした試料と試料の分離・精製(調整)法、測定機器と測定条件、測定データとそれによる年代値、誤差	何を目的として、どの試料を選択して測定したかが重要	分析者名、分析結果表、試料写真

参考資料:【改訂版】地盤調査の方法と解説(2013年3月25日)

<参考文献>

- 1) ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説 平成 27 年 6 月 平成 27 年 6 月 一般社団法人全国地質調査業協会連合会・社会基盤情報標準化委員会, p.63 138p.
- 2) JIS A 0206 : 2013 : 地質図一工学的に用いる記号, 色, 模様, 用語及び地層・岩体の表示とコード群, 42p.
- 3) 地質・土質調査成果電子納品要領・同解説 付属資料 平成 28 年 10 月 国土交通省大臣官房技術調査課.
- 4) 地質調査の基本, 中国地質調査業協会,
<<http://www.chugoku-geo.or.jp/book/export/html/3>> (2019.6.8 閲覧) .
- 5) 東日本大震災で液状化した地盤における地震前後の N 値の比較, 安田 進, 橋本隆雄 (2017), 第 52 回地盤工学研究発表会, p.1595-p.1596.
- 6) 関西圏地盤情報データベース < <https://www.kg-net2005.jp/index/db02.html> > (2019.6.8 閲覧)
- 7) 中澤努・田辺 晋(2011) 野田地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 72p. p.18
- 8) (改訂版) 地盤調査の方法と解説 (2013 年 3 月 25 日)
- 9) 建築基礎設計のための地盤調査計画指針 1985 制定 2009 改定 (第二次) 日本建築学会 p.42 表 2.3.6
- 10) 物理探査学会 (2008) : 新版 物理探査適用の手引き (土木物理探査マニュアル 2008)
- 11) 日本建設情報総合センター・地質地盤情報電子データ標準化小委員会 (2017) : 物理探査電子納品要領 (原案), <http://www.jacic.or.jp/hyojun/2015shouiiinnkai-03.html>, 2017/10/23.
- 12) 地盤工学会 : 地盤工学用語辞典, p259, 2005.
- 13) 土木研究所 : 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル (案), 2010.7

3.2 地質解析にかかわる品質説明項目

ここでは山岳工法トンネルを例に、一般的な地質解析を想定し、品質にかかわる手順と着目点について、計画調査段階から、設計、施工段階まで、各段階を追って整理を行った。

まず、各段階の解析手法とその具体的な成果を、取得される主要なデータ項目として整理し、さらに、それぞれの項目に対して品質にかかわると考えられる項目を「データに関する品質項目」として抽出した。さらに、それぞれの解析項目において「品質にかかわる解析手順や着眼点」という視点においても整理した。さらに、それぞれの解析項目において、最終的に作成される成果である地質・地盤モデルという観点からみて、モデルが有すべき性能(品質要求事項)に対して必要な品質説明項目について整理した(表 3.2.1)。

段階毎に同様の解析項目・解析手法が挙げられるが、段階が進むにつれて検討範囲が狭まるとともに、要求される精度は高くなることに注意が必要である。

以下、設計段階の地質解析を例に整理結果を説明する。

3.2.1 解析結果(データ)に関する品質項目

設計段階においては、計画調査において決定された路線に対しその周辺および関連して影響が及ぶと推定される範囲内での解析が主体となる。一般に必要とされる精度、たとえば図面類の縮尺では、1/5,000~1/1,000 程度となる。この段階における地質解析では、路線周辺の設計にかかわる地質特性や地質的リスクが明らかになっている必要がある。

設計段階の地質解析では、データ取得の手法として、路線周辺の詳細な地質踏査や路線沿いの主要な箇所でのボーリング調査、孔内試験、弾性波探査などが行われる。これらの調査の具体的な成果としては、基本データとしてボーリング柱状図、試験結果等があり、さらに解析結果としては、路線周辺の地質平面図、路線沿いの弾性波探査結果、地質断面図等があげられる。ここで成果から得られる設計に必要な主たるデータ項目として、地質分布、地質構造、地山特性等があり、これらのデータの品質を説明する項目として、図面の精度にかかわる縮尺、地質(地層)区分を説明するための層序表、図面の記号や記述を説明する凡例をはじめ、調査年月日、調査位置などの情報があげられる。

また、特に設計段階の地質解析を行う上での品質に係る重要な着目点として、断層破碎帯の分布や性状、岩の硬さ、割れ目の性状、風化・変質等の岩盤状況がある。これらの項目は、地質的解析・解釈結果として構築した地質モデルをもとに、設計に資する工学的評価を盛り込んだ地盤モデルを構成する重要な項目であり、それぞれの項目は相互に関連し整合が取れていることが重要である。これらの項目の品質を明確に説明するためには、解析に用いた基

準類や凡例を提示することに加え、各々の解析・解釈図の作成や比較過程を説明する情報を残すとともに、モデルの持つ不確実性やその程度を示すことが重要となる。

3.2.2 地質・地盤モデルとして必要な品質説明項目

次に、解析項目ごとに、地質・地盤モデル側からみて要求事項を満たしているかどうかを説明する項目、モデルとして必要な品質説明項目は、モデルそのものを説明する基本項目と、モデルの作成過程を説明する解釈・解析にかかわる項目に分けて整理できる。

地質解析における基本項目としては、作成年月日、測地系、平面・断面の位置関係、ボーリングデータの種類と位置(精度)、背景図としての地形図の精度や凡例などがあげられる。また、三次元モデルの作成上の基本項目として、モデル作成のアルゴリズム、補間データ、解像度などがあげられる。これらのうち、モデルに関連付けしたデータとして保持や表示が可能なものは、可能な限りモデル内のデータ(属性情報)として残すことが望ましい。

一方、解釈・解析にかかわる項目としては、地質要素項目(層序に基づいた地層の切合い関係)、モデル作成において準拠した基準、岩盤評価基準などの凡例・基準類があげられる。また、平面図・断面図間の地質図学的整合性、地質分布・地質構造の地質学的妥当性、さらに、地形特性との整合性などの項目があげられる。これらの情報の多くは、基準類などモデルの個々の要素と関連付けることが難しいものや、地質学的な妥当性の確認結果など、品質を直接説明する「物差し」や適切な手法がないものが多い。このような情報は、モデルの属性情報ではなく、品質報告書としてとりまとめ、モデルに関連する情報として、モデルとセットで整理することが必要である。特に、「物差し」や適切な手法がない解釈・解析にかかわる品質に関しては、先に品質にかかわる着眼点でも述べたように、できる限りモデルの作成過程を残すことで、要求事項に対する品質を説明できるようにすることが重要である。

ここで、モデルの有する不確実性(不完全さ)に関しては、その作成過程を示すことで、モデルが有すると思われる不確実性を記録するとともに、モデルの利用者に理解できるよう、可視化するなどの工夫が必要である。

表3.2.1 地質解析等の品質にかかわる手順と着目点【主として山岳工法トンネル】

段階	解析項目	解析手法	具体的な成果等	取得される主要なデータ項目	データに関する品質項目	品質に係る解析手順、着目点	地質・地盤モデルとして必要な品質説明項目		モデルが有すべき情報・性能 (品質要求事項)
							基本項目	解釈・解析にかかわる項目	
計画調査（ルート比較選定） 1/25,000～1/5,000 比較路線を含む範囲	地形解析	広域の地形判読	地形判読図	地形判読結果（リニアメント、地すべり崩壊地形、土砂災害危険渓流等）	データの種類、縮尺、作成年月日、地形要素の凡例	地形形成史、地質分布、地質構造等の関連性	作成年月日、測地系、地形データの種類の精度（縮尺）、地形要素の精度（縮尺）、凡例	地形要素項目（凡例）、解析手法、作成基準	広域的な地形的特性、ルート選定上のリスク
	地質解析	広域の既存資料収集整理、概略の地質踏査、物理探査	地質平面図、断面図	地質分布、地質構造、地山の評価、判定	データの種類の種類、縮尺、層序表、凡例	物理探査結果との照合、地質構造形成史、地質特性	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺）、基本データの種類の精度、凡例	地質要素項目（凡例）、作成基準、岩盤（地山）評価基準	広域的な地質的特性、ルート選定上のリスク
	水文解析	既存資料収集整理、水文踏査、水利用調査	水理調査結果図（平面図）	地下水分布、地下水流動	調査年月日、縮尺、ルートマップ、状況写真	地質と地下水特性との関連性	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺）、基本データの種類の種類、凡例	水理要素項目（凡例）、解析手法、作成基準	広域的な水理特性、ルート選定上のリスク
	環境	既存資料収集整理、岩石による重金属汚染リスクマップ等	重金属リスク平面図、断面図	重金属に係る地質分布	調査年月日、データの種類の種類、分析方法、精度、凡例	地質特性と地下水条件との関連性	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺）、基本データの種類の種類、データ密度、凡例	地質要素項目（凡例）、重金属に係る法律、基準	重金属を含有する広域地質特性、ルート選定上のリスク
設計 1/5,000～1/1,000 路線周辺および関係あると推定される範囲	地形解析	詳細な地形判読	地形判読図	地形判読結果（リニアメント、地すべり崩壊地形等）	データの種類の種類、凡例、縮尺、作成年	未固結堆積物の分布、変状地形、断層地形等の抽出、地質分布と特性、地質構造等の関連性	作成年月日、測地系、地形データの種類の精度（縮尺）、地形要素の精度（縮尺）、凡例	地形要素項目（凡例）、解析手法、作成基準	ルート周辺の地形特性、設計にかかわる地形的リスク
	地質解析	詳細な地質踏査、ボーリング調査、孔内試験、物理探査、地質学的分析、（室内試験）	地質平面図、断面図、ボーリング柱状図、物理探査断面、分析結果、（試験結果）	地質分布、地質構造、地山特性	縮尺、層序表、凡例、ルートマップ（踏査ルートと密度）、調査年月日、調査位置図	断層破砕帯の分布・性状、未固結堆積物の性状、岩の硬さ、割れ目の性状、風化・変質	作成年月日、測地系、平面・断面位置関係、ボーリング等データの種類の精度、地形図の精度、凡例 【3次元モデル】モデル作成アルゴリズム、基本データと補間データ、解像度	地質要素項目（凡例）、作成基準、岩盤（地山）評価基準、平面・断面図間の（地質）図学的整合性、地質分布・地質構造の妥当性（精度、確実性）、地形特性との整合性	ルート周辺の地質特性、設計にかかわる地質的リスク（地質工学的評価、判定）
	水文解析	既存資料収集整理、地下水調査・試験、水文踏査、水質調査、地下水流動解析	水理調査結果図（平面図、断面図）、分析・観測結果、解析結果	地下水分布、地下水流動、透水性	調査年月日、縮尺、ルートマップ、状況写真	地質と地下水、水理特性との関連性、調査時期ごとの変化	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺、分解能）、基本データの種類の種類と精度、凡例	水理要素項目（凡例）、解析手法、作成基準使用データ選定の妥当性、地形・地質特性との整合性	ルート周辺の水理特性、地質分布・構造との整合性、設計における水理的リスク
	環境	既存資料収集整理、踏査、ボーリング調査、重金属分析、重金属含有量・溶出量試験、酸性化可能性試験	重金属分布図（平面図、断面図）、分析結果	重金属に係る地質分布、重金属等の溶出特性	調査年月日、データの種類の種類、分析方法、精度、凡例	地質特性、地下水特性との関連性、重金属等の化学的性質	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺、分解能）、基本データの種類の種類、データ密度、分解能、凡例	地質要素項目（凡例）、重金属に係る法律・条例、評価基準類、示方書	重金属の分布特性、詳細な地質特性との関連性、化学的性質
	力学特性に係る試験	原位置、室内試験	試験結果	物理特性、強度及び変形特性、透水性、物理・化学特性	試験年月日、試験位置、試料の採取情報、試験方法、観察結果、写真	地質、地下水条件と試験結果の関連性	試験採取、試験年月日、採取方法、試験方法	試験結果・評価対象としての妥当性、評価方法の妥当性、地質・水理特性との整合性	地質単元、岩盤区分単位の定量的評価、精度、バラツキ
問題箇所対策、対応（断層、突発湧水、軟弱地山、膨張性時山等） 1/1,000～1/100 路線	地形解析	微地形調査	調査結果図	変状地形、断層地形を表す微地形	データの種類の種類、凡例、縮尺、調査年月日	未固結堆積物の分布、変状地形、断層地形等の抽出、地質分布と特性、地質構造等の関連性	作成年月日、測地系、地形データの種類の精度（縮尺）、地形要素の精度（縮尺）、凡例	地形要素項目（凡例）、解析手法、作成基準	地形的リスクの種類、大きさ、確実性
	地質解析	詳細な地質踏査、ボーリング調査、物理探査、地質学的分析	地質平面図、断面図、ボーリング柱状図、物理探査断面、分析、試験結果	地質分布、地質構造、地山特性	縮尺、層序表、凡例、ルートマップ（踏査ルートと密度）、調査年月日、調査位置図	未固結堆積物の分布と性状、断層破砕帯の分布・性状と地下水との関連性、岩の硬さ、割れ目の性状、風化・変質、膨潤性等の物理・化学特性	作成年月日、測地系、平面・断面位置関係、ボーリング等データの種類の精度、地形図の精度、凡例 【3次元モデル】モデル作成アルゴリズム、基本データと補間データ、解像度	地質要素項目（凡例）、作成基準、岩盤（地山）評価基準、平面・断面図間の（地質）図学的整合性、地質分布・地質構造の妥当性（精度、確実性）、地形特性との整合性、広域地質との整合性	地質（工学）的リスクの種類、大きさ、確実性
	水文解析	既存資料収集整理、詳細な地下水調査・試験、水文踏査、水質調査、地下水流動解析	水理調査結果図（平面図、断面図）、分析・観測結果、解析結果	地下水分布、地下水流動、透水性	調査年月日、縮尺、ルートマップ、状況写真	地質と地下水、水理特性との関連性、調査時期ごとの経年変化	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺、分解能）、基本データの種類の種類と精度、凡例	水理要素項目（凡例）、解析手法、作成基準使用データ選定の妥当性、地形・地質特性との整合性	水理的リスクの種類、大きさ、確実性
	環境	既存資料の収集整理、詳細な踏査、ボーリング調査、重金属分析、重金属含有量・溶出量試験、酸性化可能性試験	重金属分布図（平面図、断面図）、分析結果	詳細な重金属分布、種類、濃度、重金属溶出量、酸性化可能性試験	調査年月日、データの種類の種類、分析方法、精度、凡例	地質特性、地下水特性との関連性、重金属等の化学的性質	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺、分解能）、基本データの種類の種類、データ密度、分解能、凡例	地質要素項目（凡例）、重金属に係る法律・条例、評価基準類、試験方法、示方書	重金属の分布特性、詳細な地質特性との関連性、化学的性質
	力学特性に係る試験	原位置、室内試験	試験結果	物理特性、強度及び変形特性、透水性、物理・化学特性	試験年月日、試験位置、試料の採取情報、試験方法、観察結果、写真	地質、地下水条件と試験結果の関連性	試験採取、試験年月日、採取方法、試験方法	試験結果・評価対象としての妥当性、評価方法の妥当性、地質・水理特性との整合性	地質単元、岩盤区分単位の定量的評価、精度、バラツキ
施工時 トンネル内および施工の影響を受ける範囲	地質解析	前方探査、先進ボーリング調査	地質断面図	地質分布、地質構造、岩の硬さ割れ目の性状	調査年月日、状況写真	三次元的な地質分布、地質構造の把握	調査年月日、調査方法、調査精度	手法の妥当性、作成基準、評価基準、施工結果との整合性	地質的リスクの種類、確実性、リスクの大きさ
	水文解析	湧水量調査、水質調査、水質・地下水モニタリング	水質、地下水調査結果	湧水量、地下水位、水質	調査方法、精度、調査年月日、状況写真	施工状況と水理・水質の変化状況との関連性	調査年月日、調査方法、調査精度	手法の妥当性、作成基準、評価基準、施工結果との整合性	水理的リスクの種類、確実性、リスクの大きさ
	環境	先進ボーリング調査、重金属含有量・溶出量試験、酸性化可能性試験	試験・分析結果	詳細な重金属分布、種類、濃度、酸性化可能性試験	調査年月日、データの種類の種類、分析方法、精度、凡例	地質特性、地下水特性との関連性、重金属等の化学的性質	作成年月日、測地系、位置、モデルの精度（縮尺、分解能）、基本データの種類の種類、データ密度、分解能、凡例	地質要素項目（凡例）、重金属に係る法律・条例、評価基準類、試験方法、示方書、施工記録の方法	重金属の分布、濃度、化学的性質

検討範囲は、段階が進むにつれて狭くなる。モデルへの要求精度は高くなる
 ↓
 データや情報は引き継ぐが、モデルは作り直す

3.3 三次元地質・地盤モデルの品質トレーサビリティ

本節では、まず、すべての地質・地盤条件や対象構造物に共通する三次元地質・地盤モデルの作成手順とそれぞれの処理に紐づく品質項目について説明する。その後、平野部(土質)における建築物建設と山岳部(岩盤)におけるトンネル建設を例に、建設段階毎の三次元地質・地盤モデル構築における品質項目やモデル、データの次工程への継承について解説する。

3.3.1 三次元地質・地盤モデル作成(共通)

三次元地質・地盤モデルの作成手順と、それぞれの処理に紐づく品質項目を図 3.3.1(1)に示す。また、処理毎の品質項目の例を図 3.3.1(2)に示す。

重要なこととして、後述する平野部(土質)における建築物建設(図 3.3.2(1)(2))と山岳部(岩盤)におけるトンネル建設(図 3.3.3(1)(2))の各品質項目図に記載の「モデルの更新」のアイコン毎に、この三次元地質・地盤モデル作成手順を踏むことに留意されたい。

なお、図 3.3.1(1)(2)に記載した作成手順と品質項目は、3次元地質解析マニュアル¹⁾の記載内容を基に、当委員会の検討結果を加筆・修正したものである。3次元地質解析マニュアルは、三次元モデルを構築する地質技術者向けに書かれたものである。

まずは、品質項目を考える上で留意すべき作成手順のポイントを2つ説明する。

<地質モデルと地盤モデル>

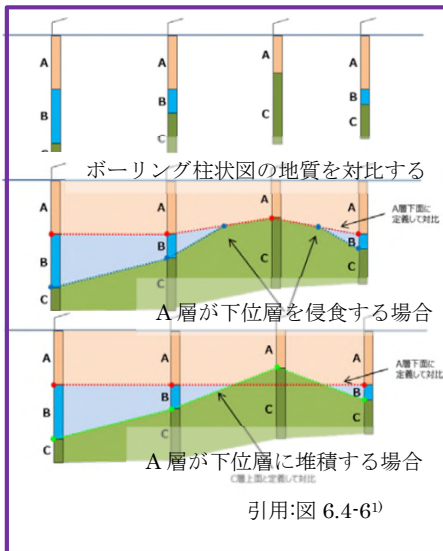
第一は、地質モデルと地盤モデルの関係と作成順である。地質モデルと地盤モデルという用語は混同して使われることが多く、その作成順も正しく理解されていないケースが見受けられる。しかし、「1.5 用語の定義と解説」で述べたように、両者は明確に区別されるべきものである。三次元モデルの作成手順においては、まず地質モデルを作成し、その後、工学的な要求性能に応じた地盤モデルを作成する。つまり、1つの地質モデルに対して、表現する工学的性質に応じて複数の地盤モデルが派生することに留意が必要である。

<妥当性の判断>

第二は、三次元地質・地盤モデル作成手順における妥当性の判断である。図 3.3.1(1)(2)の手順に記載の各処理の後には、処理の妥当性について判断を行う。例えば、「⑤地質対比作業」の後には、データの量が必要十分かどうかの判断を行う。「⑦地層境界面補間」の後には、補間アルゴリズムが妥当かどうかの判断を行う。モデルの不確実性には、この処理毎の判断が大きく影響するため、判断とその根拠を明示あるいは評価することは、モデルの品質のトレーサビリティ確保のために重要である。

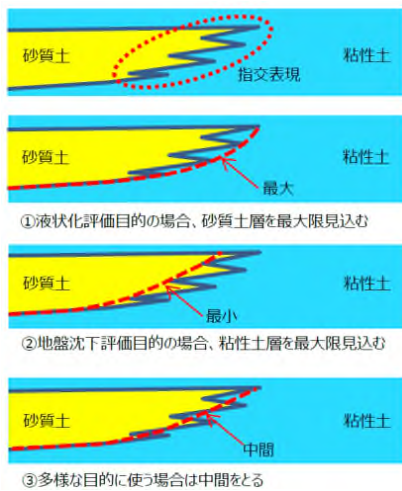
次に、品質項目のうち、地質や地盤の解釈に係る品質項目について、図 3.3.1(2)に示す 2 つの処理と品質項目を基に解説する。

< 「⑤地質対比」における「対比のルール」 >



地質構造や地盤の状態は地史を反映しているため、対象地域の地史を理解した上で、基データの層序の対比を行う必要がある。左図 ①は、三次元空間に配置したボーリング柱状図に記載の地質性状に関するデータを基に、層序の同定作業を行った状況を模している。地層境界の面モデルを作成するための補間用データとして、地層境界の深度を読み取っていく。その際、整合や不整合、貫入など、地層の重なり方をどのように解釈するかによって、対比結果が変わってくる。そのため、対比のルールとその根拠を記録として残しておく必要がある。

< 「⑪地盤モデル用データ作成」における「土質分類の対比のルール」 >

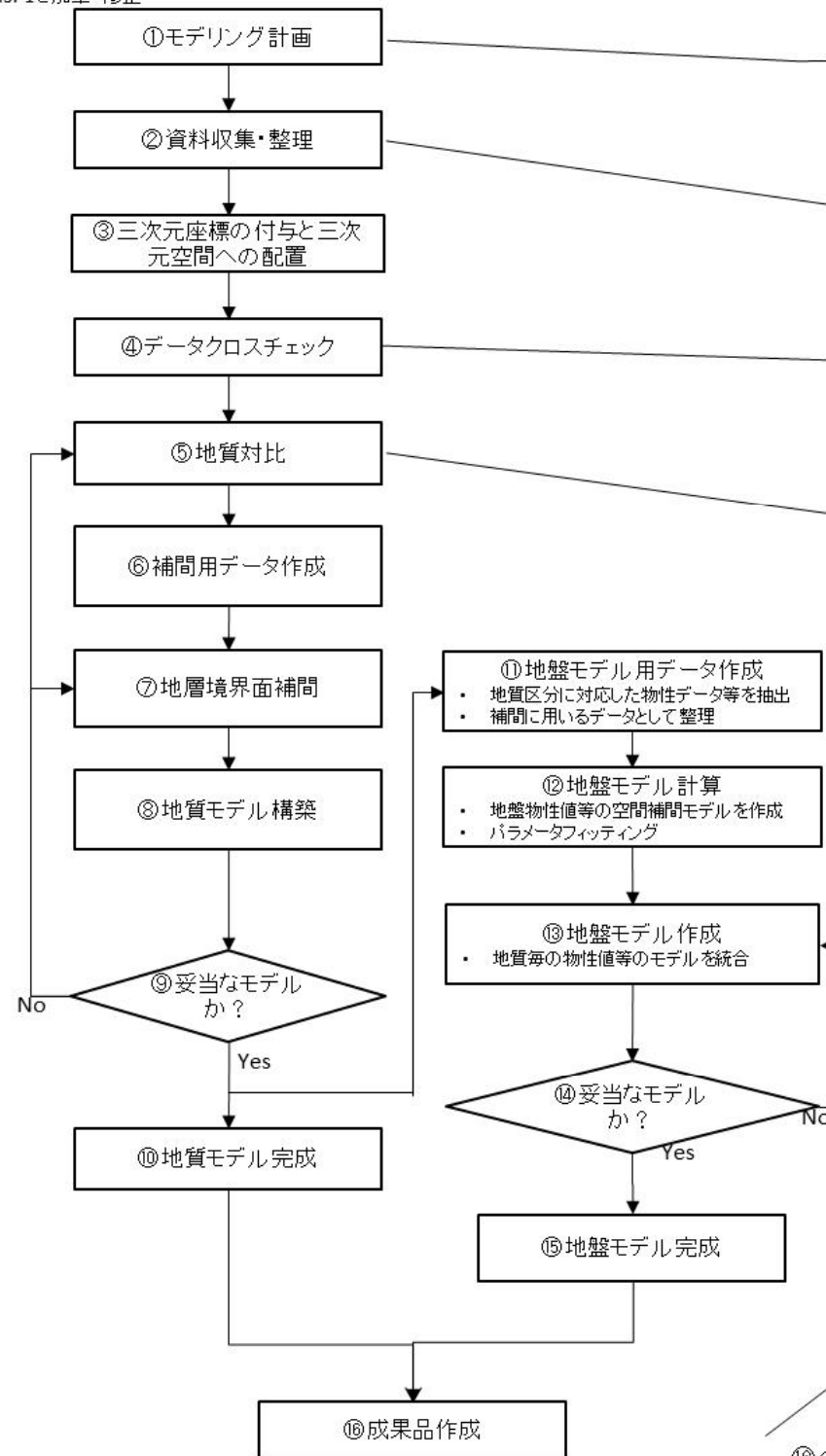


地質・地盤モデルの役割の 1 つは、地質・地盤リスクの明示である。そのため、空間補間処理でリスク現象が埋もれないように、リスク要因に重みをつけた基データの対比と読み取りを行う。

左図 ①は、地質断面図を基に土質分類を対比し、地盤モデルの空間補間のための補間用データ（赤点線）を作成した状況を模した図である。モデル作成の目的が液状化評価の場合は、液状化で問題となる砂質土の範囲がより広くなるように地層境界を対比している。一方、モデル作成の目的が地盤沈下評価の場合、沈下で問題となる粘性土や有機質土などの軟弱層の範囲がより広くなるように対比している。結果として、地盤モデルの形状は異なるため、対比のルールとその根拠をモデルから読み取れるようにする必要がある。

三次元地質・地盤モデル作成フロー(すべての構造物・建設段階に共通)

文献1)図4.3.-1を加筆・修正



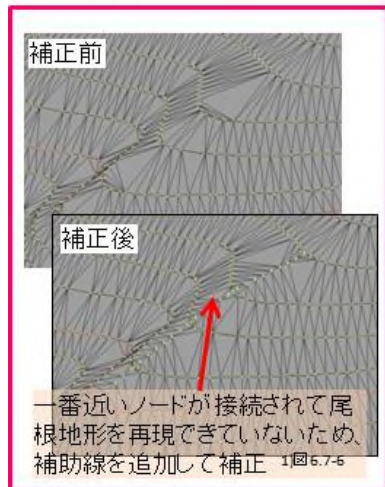
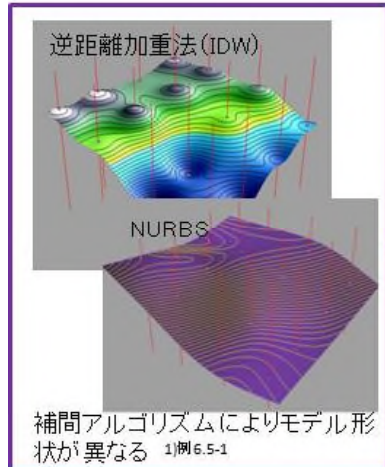
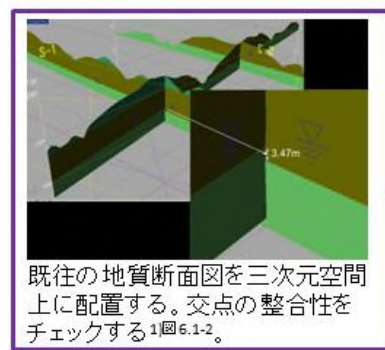
品質項目・トレーサビリティ確保のために必要な情報

※文献1)のレビューおよび小委員会検討による

- モデル作成の目的・用途
 - 事業段階
 - モデル化対象
 - モデル化範囲(水平方向、垂直方向)とその根拠
 - モデリングフロー
- 【地形】
- データの種類(等高線、DEM、レーザー測量データなど)
 - 等高線の場合:オリジナルの地形モデル、等高線の作成方法
 - DEM:座標系、間隔、解像度、精度
 - レーザー測量:データの種類
- 【地質分布、地質構造】
ボーリング柱状図の場合
- 座標
 - 座標読み取り精度
 - 座標取得方法
 - 削孔年月日
 - 発注者、受注者
 - 凡例、層序表
 - (公開データの場合)引用元のDB名、引用年月日
- 地質平面図、断面図、ルートマップの場合
- フォーマット(紙、CAD)
 - 座標系
 - 単位系
 - 縮尺
 - 作成年月日
 - 凡例、層序表
 - (公開データの場合)引用元のDB名、引用年月日
- 断面図や平面図等のクロスチェック結果
 - ボーリングデータ棄却、補正等の処理方法
 - データの数量、分布(密度)
- 層序表
 - 拠り所とした基準ボーリング
 - 凡例
 - 対比のルール
 - 鍵層
- 対象(地層境界面、断層面など)
 - 名称(特定する地層の固有名称があれば記載)
 - 作成目的(液状化解析など)
 - 作業期間、作成者
 - モデル解像度/要求精度
 - 入力/出力データファイル名
 - 空間補間アルゴリズム
 - 補間パラメータ
 - 座標系
 - 補間領域
 - 使用ソフトウェア
 - モデルタイプ(グリッド、NURBSなど)
 - 加工の有無(トリミングなど)
 - 補間結果のログファイル
- ①〜④へ
 - 土質分類の対比のルール
 - 物理試験のルール
- ⑤、⑬へ
 - 層序表、凡例(元データの凡例とモデルの凡例が異なる場合はその根拠も)
 - 切り合い処理の根拠
 - 地質、物性等の割り当て方法、根拠
 - 入力/出力データファイル名
- ⑨、⑭へ
 - 妥当性チェックの方法(コンターマップ、ゼブラマップなど)
 - 妥当性チェック結果
 - 補填データの有無、根拠、補填データファイル
- ⑯へ
 - モデル構築ソフトウェア、データフォーマット
 - モデル作成者
 - 作成年月日
 - モデルの元データ(再現性確保に必要なデータ)
 - モデルの限界、適用範囲
 - モデルの照査結果
 - 後の事業工程で発生が懸念される地質・地盤リスク
 - 設計への引き継ぎ事項(モデルの課題)
- ⑯へ
 - モデルを更新した場合、その改善点と根拠
 - 品質報告書
- ※その他、記載すべき留意事項
- 複数の解が存在するが、そのうちのひとつをその時の条件で抽出していること
 - 事実と解釈の明示

※各プロセスの後に、妥当性の判断(基データの量は必要十分か、補間アルゴリズムは妥当か等)を行うことに注意。

図3.3.1(1) 三次元地質・地盤モデル作成フローと品質項目・トレーサビリティ確保のために必要な情報



①モデリング計画

②資料収集・整理

③三次元座標の付与と三次元空間への配置

④データクロスチェック

⑤地質対比

⑥補間用データ作成

⑦地層境界面補間

⑧地質モデル構築

⑨妥当なモデルか?

⑩地質モデル完成

目的・用途、事業段階等に基づき、モデリングの対象と範囲、分解能などを検討する。

事業段階	モデルに求められる分解能の例		モデル構築に必要なデータの例
	水平方向	垂直方向	
計画	5~250m	1.0~5.0m	<ul style="list-style-type: none"> 地質図 (1/50,000~1/200,000) 電子地形図 (DEM) 既往のボーリング柱状図データ、文献・資料
概略設計	5~50m	0.5~5.0m	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査報告書 地質図 (1/2,000~1/50,000) 電子地形図 (DEM) 既往のボーリング柱状図データ、文献・資料
詳細設計	5~10m	0.1~0.5m	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査報告書 地質図 (1/1,000~1/2,000) 電子地形図 (DEM, CAD) 既往のボーリング柱状図データ、文献・資料 物理探査、孔内試験、室内試験結果、岩盤分類等
施工、維持管理、防災	0.5~5m	0.01~0.1m	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査報告書 地質図 (1/500~1/1,000) 電子地形図 (DEM, CAD)、詳細測量地形(レーザ測量・写真測量)等 既往のボーリング柱状図データ、文献・資料 物理探査、孔内試験、室内試験結果、岩盤分類等 計測・観測(モニタリングデータ)、切羽観察、施工情報等

④データクロスチェック

⑤地質対比

⑥補間用データ作成

⑦地層境界面補間

⑧地質モデル構築

⑨妥当なモデルか?

⑩地質モデル完成

⑪地盤モデル用データ作成

⑫地盤モデル計算

⑬地盤モデル作成

⑭妥当なモデルか?

⑮地盤モデル完成

⑯成果品作成

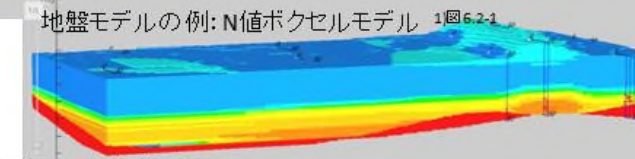
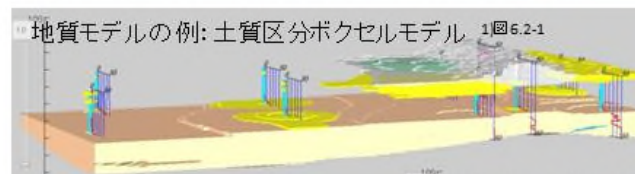
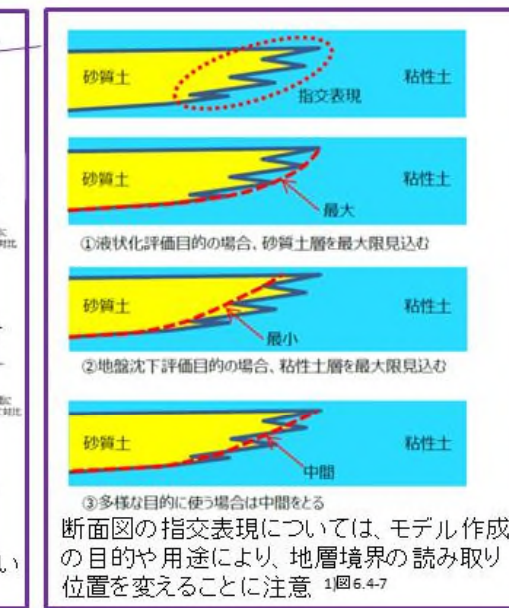
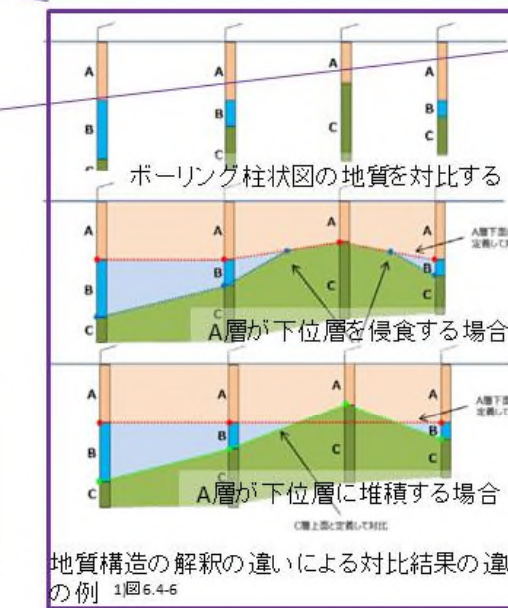


図3.3.1(2) 三次元地質・地盤モデル作成フローと各手順で検討する内容の例(フローは1)図4.3.-1を加筆・修正)

3.3.2 平野部一土質を対象とした構造物の建設の三次元地質・地盤モデルの品質項目

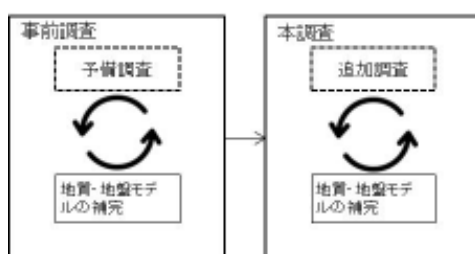
平野部一土質を対象とした構造物のライフサイクルにおける三次元地質・地盤モデルの作成・更新の流れと品質項目を図 3.3.2(1)と図 3.3.2(2)に示す。 **モデルの更新**のアイコン毎に、図 3.3.1(1)の三次元地質・地盤モデル作成手順を繰り返すことに留意されたい。

図 3.3.2(1)には、建設計画の流れの中で作成する三次元地質・地盤モデルとモデルに対する要求性能および品質項目を記載している。要求性能と品質項目は小委員会の検討に基づく。

事前調査→予備調査→本調査→追加調査と段階を踏むにつれ、得られるデータの種類と数量は増加する。その結果、地質・地盤の推定精度が向上する。段階毎に得られるデータを加味してモデルを更新することによりモデルの品質も向上する。

段階毎に更新されたモデルは、解析や二次利用にも供される。また、図では便宜上、調査手順を簡略化しているが、実際には、下図のように、事前調査の範囲内でも予備調査とモデルの更新を繰り返しモデル品質の向上が行われ（＝モデルの補完）、本調査においても、追加調査とモデルの更新の繰り返しでモデルの品質の向上がなされている。

なお、建築物の場合、事前調査段階では、用地買収等の理由により現地調査が困難なケースも存在する。その場合は、周辺部の既往資料の収集整理が重要であり、それらの品質のトレーサビリティの確保が重要である。



モデルの更新と品質向上について、委員会の検討で明らかになった重要な特徴を以下に示す。これらの特徴は、後述の岩盤を対象としたトンネル建設の特徴と大きく異なる。

- ・ 一般に、調査－設計－施工－維持管理・防災の段階を経てもモデル作成範囲は変わらない。
- ・ 得られるデータ量が増えるに伴い、モデルに要求される精度は高くなる。
- ・ モデルは修正・更新により補完され、次工程に引き継がれる。

図 3.3.2(2)にはモデルの品質に紐づくモデルの基データの種類とその品質、そして、基データを用いて要求性能に応じた地質・地盤解析を行う際の着眼点をまとめている。

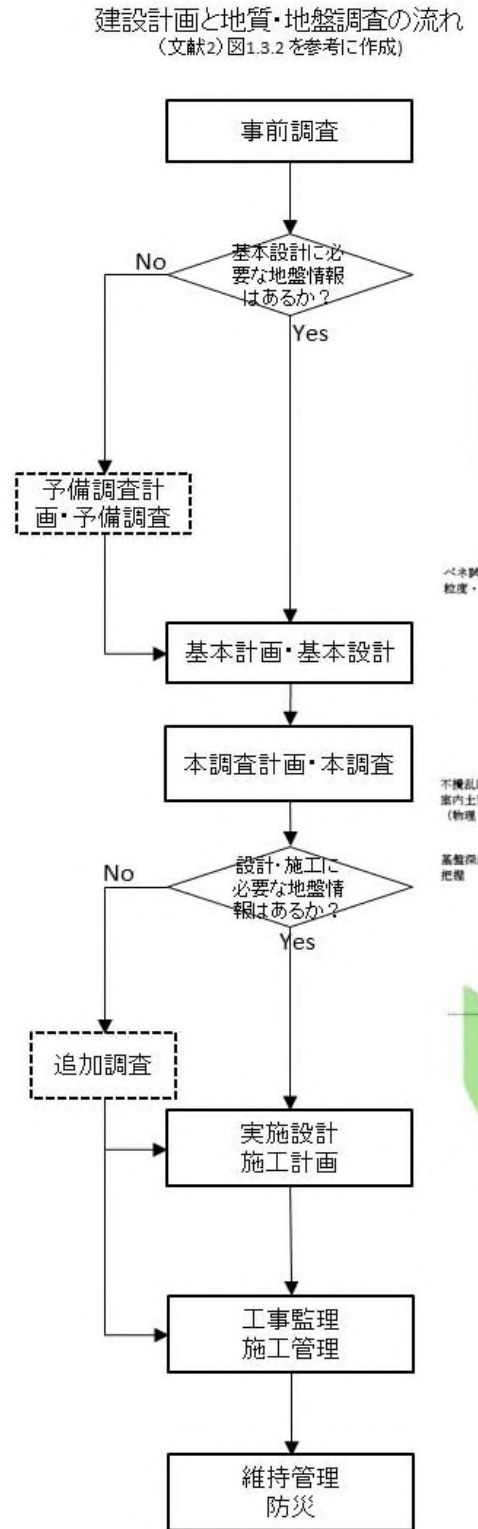
品質項目のうち、地質や地盤の解釈に係る「支持層選定とその根拠」、BIM/CIM での地質・地盤モデル活用で課題として認識されている「地盤モデルと建築物モデルの合成に関する情報」について解説する。

<支持層選定とその根拠>

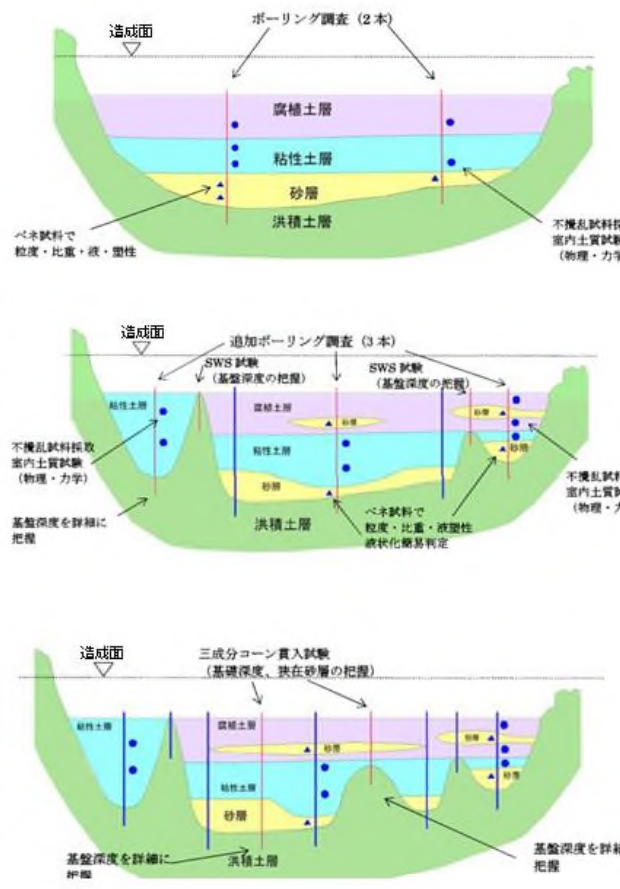
杭基礎設計の場合、支持層の三次元的な分布が三次元モデルの要求性能の 1 つとなる。支持層は、砂質土では N 値 50 以上、粘性土で N 値 20~30 以上など、土質分類と N 値で選定されるため、その境界は、地層境界とは必ずしも一致しない。そのため、支持層の選定とその根拠、層序との関係などを情報としてモデルに持たせる必要がある。

<地盤モデルと建築物モデルの合成に関する情報>

通常、地盤モデルと建築物モデルの座標系は異なるため、両者を合成して BIM モデルとする場合は、位置情報の摺合せを行う必要がある。また、詳細度 (Level of detail) の考え方が異なるため、座標系と位置摺合せの方法の他に、建物モデルの詳細度と地盤モデルの分解能・精度、図学的に建物モデルと地盤モデル衝突が生じた個所の処理方法と根拠などを記録としてモデルに持たせる必要がある。

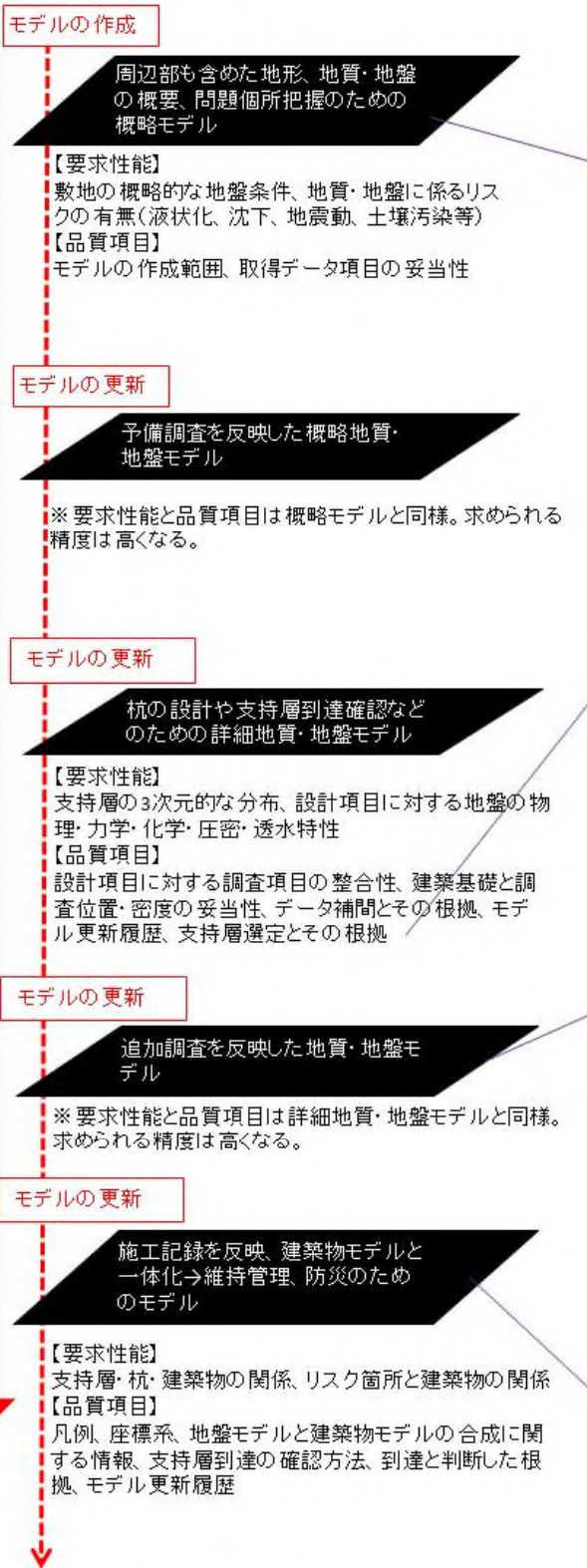


調査段階が増えるにつれデータの種類と量が増え支持層の推定精度が高くなる模式図



調査段階が進むにつれ、データの種類の量が増え、地質や地質構造、支持層などの推定精度が高くなる

三次元地質・地盤モデルと要求性能、品質項目



地質・地盤モデルの例、品質項目の例

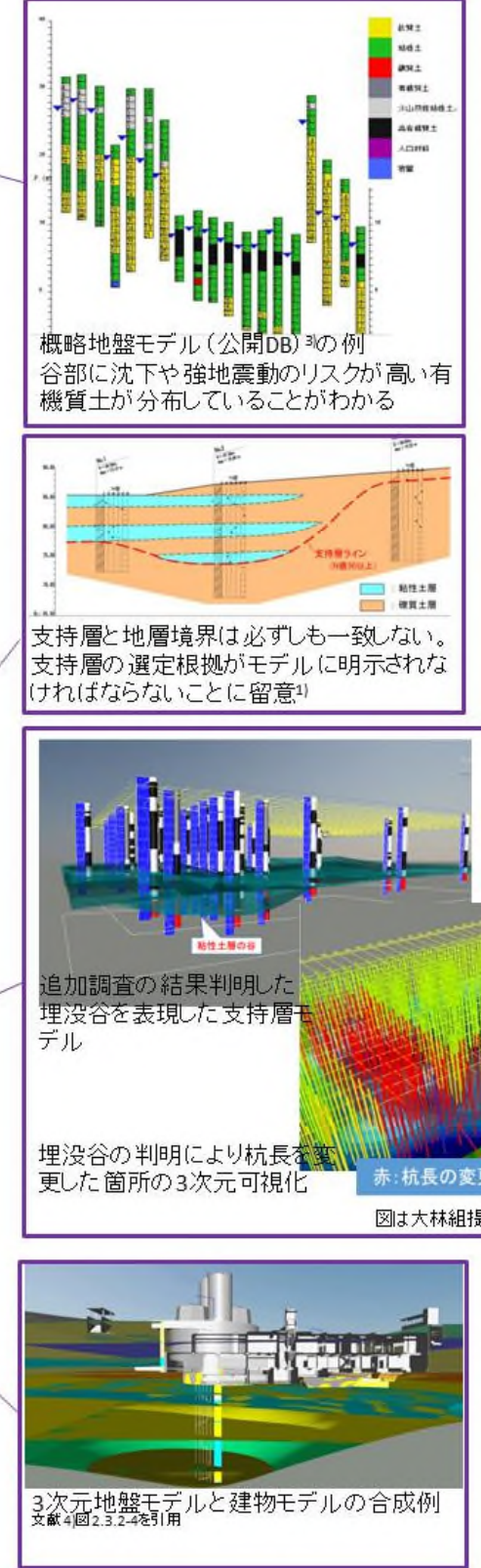


図3.3.2(1) 平野部一土質を対象とした構造物の建設と三次元地質・地盤モデル作成の流れ(建築)

1) 3次元地質解析マニュアル Ver1.5、2019、3次元地質解析技術コンソーシアム、図U-0.7-3 地層境界と異なる支持層のイメージ p.219
 2) 建築基礎設計のための地盤調査計画指針、1985制定、2009改訂(第二次) 日本建築学会、p.1-p.76。
 3) ジオ・ステーション(Geo-Station)全国電子地盤図<https://www.geo-stn.bosai.go.jp/top_page.php>、(国)防災科学技術研究所・(公社)地盤工学会
 4) 平成30年度 地下情報の基盤モデルづくりに関する調査 報告書 平成31年3月 一般財団法人エンジニアリング協会 地下開発利用研究センター 図2.3.2-4 外部階段E8、E12及びE2断面図 p.62

【凡例】
モデルの更新 図3.3.1に記載の三次元地質・地盤モデル作成フローに則りモデルを作成・補完する。

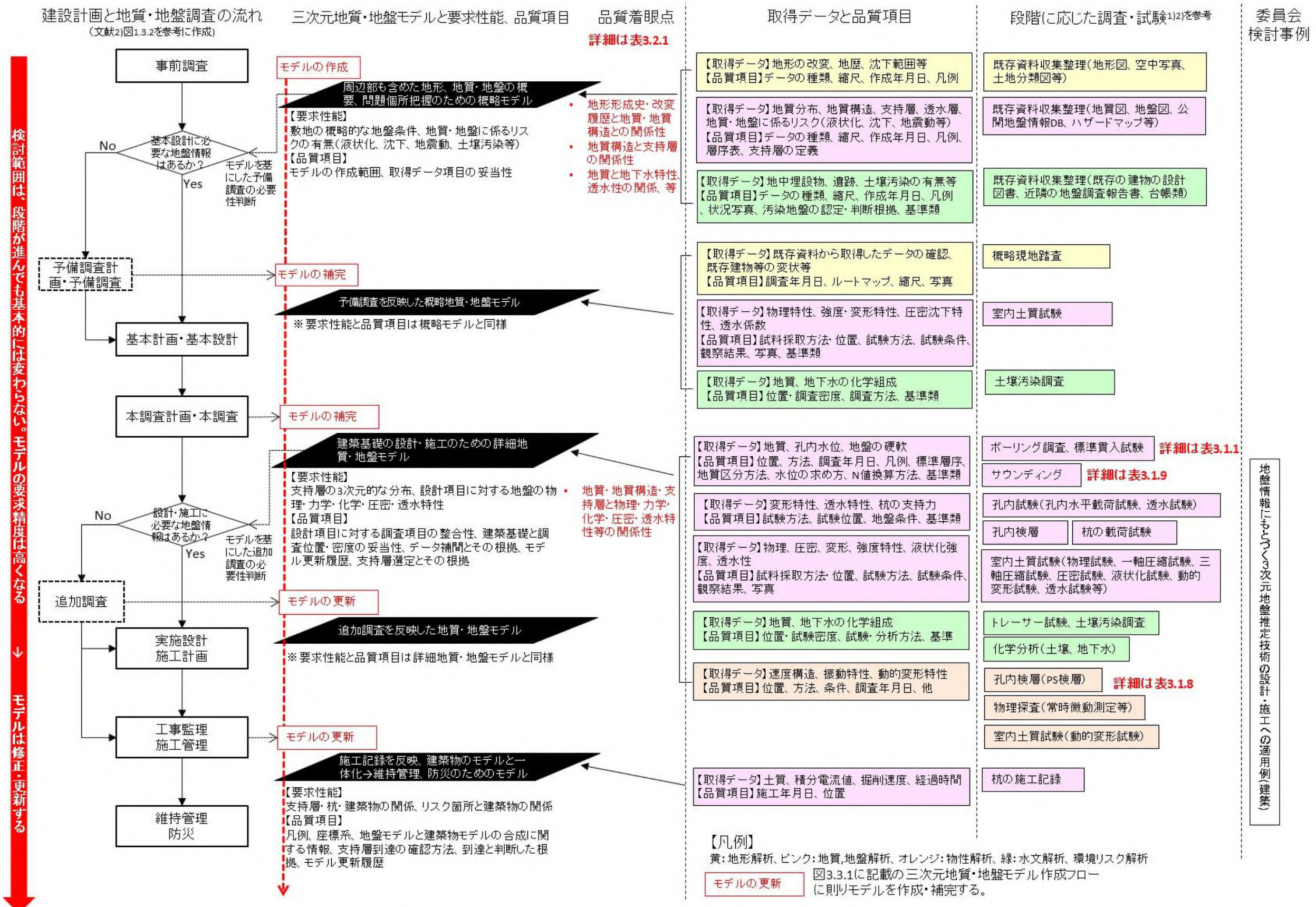


図3.3.3(2) 平野部一土質を対象とした構造物の建設と三次元地質・地盤モデルの品質項目・トレーサビリティ確保のために必要な情報

3.3.3 山岳部一岩盤を対象とした構造物の建設の三次元地質・地盤モデルの品質項目

山岳部一岩盤を対象とした構造物のライフサイクルにおける三次元地質・地盤モデルの作成・更新の流れと品質項目を図 3.3.3(1)と図 3.3.3(2)に示す。前述のように、**モデルの更新**のアイコン毎に、図 3.3.1(1)の三次元地質・地盤モデル作成手順を繰り返すことに留意のこと。

図 3.3.3(1)には、各々の建設段階で作成する三次元地質・地盤モデルとモデルに対する要求性能と品質項目を記載している。要求性能と品質項目は小委員会の検討に基づく。

モデルの更新の特徴は前述の平野部の建築物のそれとは大きく異なる。委員会の検討で明らかになった両者の違いを下表にまとめた。

山岳部一岩盤を対象とした構造物（トンネル）	平野部一土質を対象とした構造物（建築物）
<ul style="list-style-type: none"> モデル作成範囲は建設段階が進むにつれて狭くなる。 建設段階が進むについて、モデルへの要求精度は高くなる。 データや情報は前段階から引き継ぐが、モデルは作り直す。 	<ul style="list-style-type: none"> モデル作成範囲は、建設段階が進んでも基本的には変わらない。 得られるデータ量が増えるに伴い、モデルに要求される精度は高くなる。 モデルは修正・更新により補完され、データと共に次工程に引き継がれる。

図 3.3.2(2)にはモデルの品質に紐づくモデルの基データの種類とその品質、そして、基データを用いて要求性能に応じた地質・地盤解析を行う際の着眼点をまとめている。

なお、段階毎に同じ調査・試験名を記載している場合でも、建設段階が進むにつれ要求精度が高くなることに留意されたい。

品質項目のうち、「モデルの作成範囲」と「地質層序と凡例」について説明する。

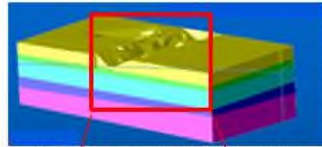
<モデルの作成範囲>

上表に記載の通り、トンネルのような線形構造物の場合、モデルの作成範囲は、建設段階を経る毎に狭くなる。そのため「モデルを作成する範囲」と空間補間に用いた基データの範囲（内挿補間をするためモデル作成範囲よりも広く設定する）に関する情報をモデルに持たせる必要がある。

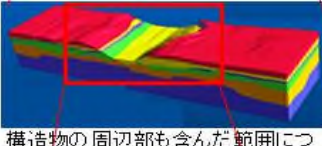
<地質層序と凡例>

地質モデルでは、モデルの用途に応じて、その地域の標準層序として認定されている地質のうち、一部のみ、あるいは複数の地質をグルーピングして表現するが多い。モデルの分解能や詳細度の目安として、標準層序のうちどの地質を表現したのかを示すために、地質層序表とモデルの地質凡例を対の情報としてモデルに持たせることは重要である。

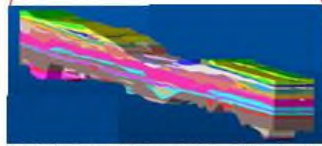
地質・地盤モデルの詳細度 (Level of detail) の模式図



広範囲について作成された単純、一般化された地質モデル。基データは基本的には既往のデータである。

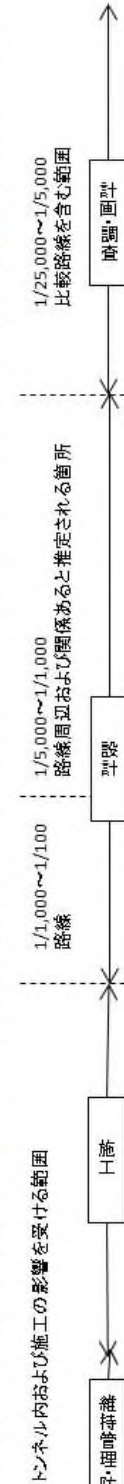


構造物の周辺部も含んだ範囲について、比較的詳細な地質を表現したモデル。基データは既往データの他に設計のための調査のデータなどが含まれる。

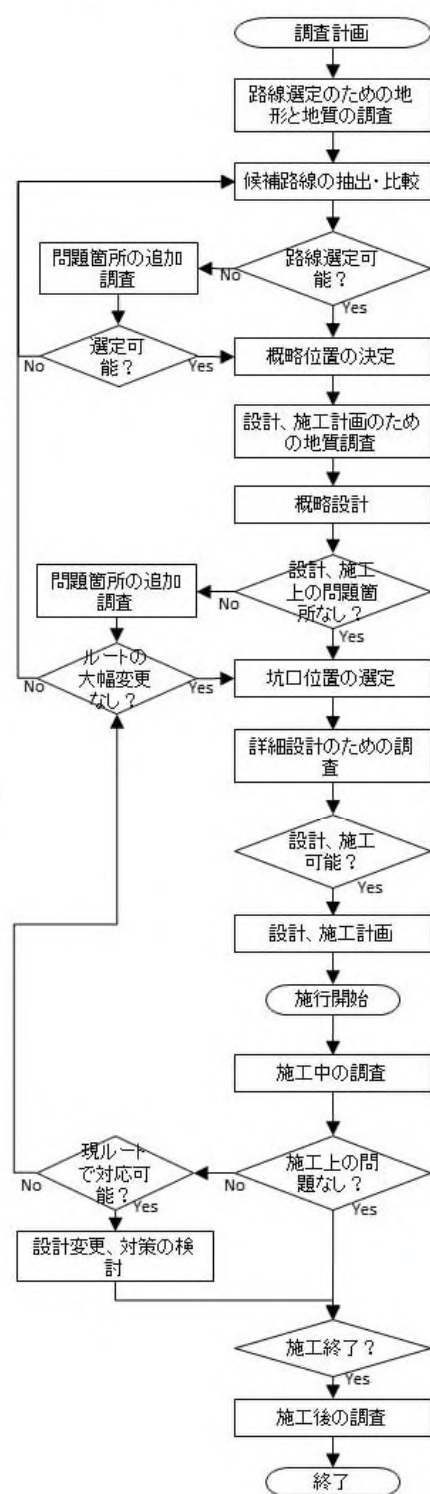


問題個所の対策の場合、詳細な地質と構造物の関係等を表現する。基データは既往データ、設計のための調査データの他、問題個所の追加調査のデータなどが含まれる。

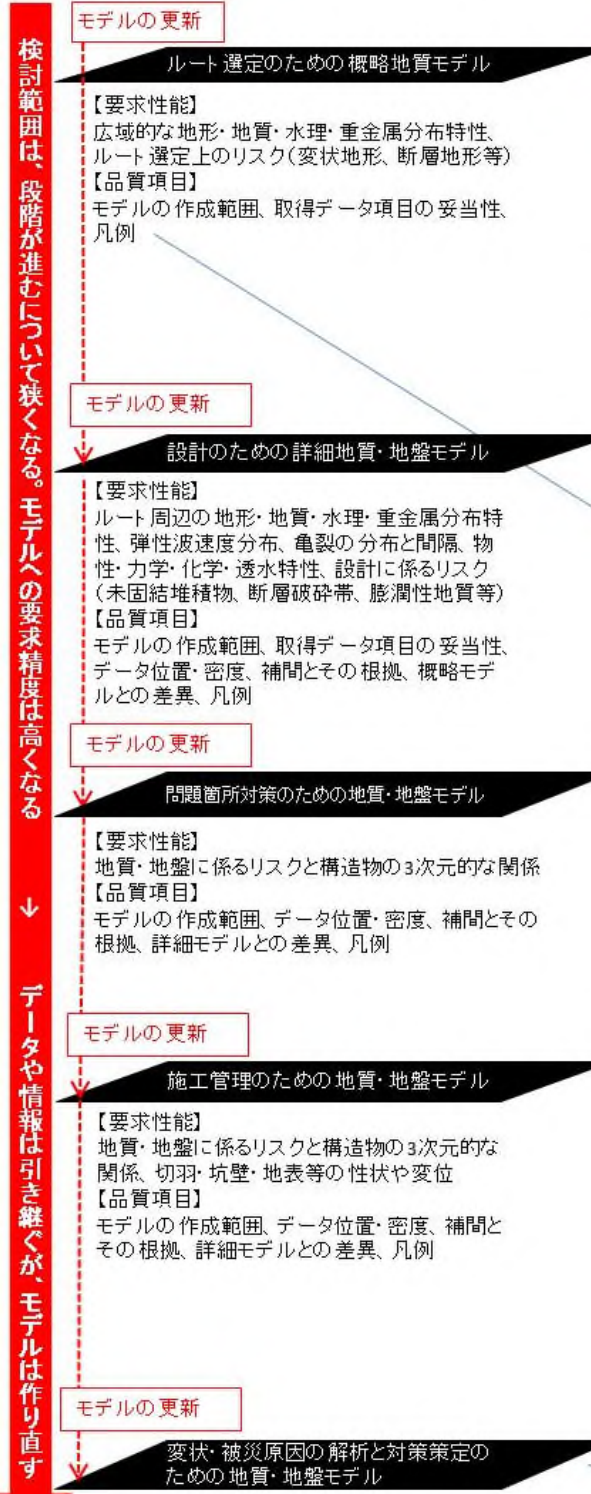
調査範囲と縮尺



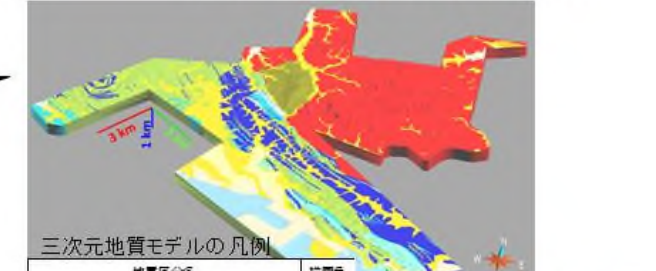
山岳トンネルの調査の流れ 文献を基に作成



三次元地質・地盤モデルと要求性能、品質項目



地質・地盤モデルや品質項目の例



三次元地質モデルの凡例

地質区分名	地質時代	地質区分名
Fill	後期更新世～現在	Reef Member
Kalang Formation	後期更新世～現在	Transitional Member
Huat Choe Formation	後期更新世～現在	Littoral Member
Old Alluvium	後期更新世～現在	Alluvial Member
Jurong Formation	後期更新世～現在	Marine Member
Bukit Timah Granite	中生代前期	Tengah Facies
Gombak North	中生代前期	St John Facies
		Rimau Facies
		Pandan Facies
		Ayer Chawan Facies
		Jong Facies
		Queenstown Facies
		Dyke rocks
		Palau Ubin Granite
		Central Singapore Granite
		Palaeozoic Volcanics
		Gombak North
		Sajahat Formation

大深度地下開発候補地選定のための概略地質モデル(シンガポール)の例3)

シンガポールの地質層序表4)

地質時代	地質区分名
後期更新世～現在	Reef Member
後期更新世～現在	Transitional Member
後期更新世～現在	Kalang Formation
後期更新世～現在	Littoral Member
後期更新世～現在	Alluvial Member
後期更新世～現在	Marine Member
後期更新世～現在	Tekong Formation
後期更新世～現在	Huat Choe Formation
後期更新世～現在	Old Alluvium
後期更新世～現在	Fort Canning Boulder Bed
後期更新世～現在	Tengah Facies
後期更新世～現在	St John Facies
後期更新世～現在	Rimau Facies
後期更新世～現在	Pandan Facies
後期更新世～現在	Ayer Chawan Facies
後期更新世～現在	Jong Facies
後期更新世～現在	Queenstown Facies
後期更新世～現在	Dyke rocks
後期更新世～現在	Palau Ubin Granite
後期更新世～現在	Central Singapore Granite
後期更新世～現在	Palaeozoic Volcanics
後期更新世～現在	Gombak North
後期更新世～現在	Sajahat Formation

品質項目の例: 地質層序と凡例
地質モデルでは目的・用途に応じてその地域の標準層序として認定されている地質のうち、一部のみ、あるいは、複数の地質をまとめて表現する機会が多い。モデルの詳細度や分解能の目安としてどの地質を表現したかを示す凡例は非常に重要である。

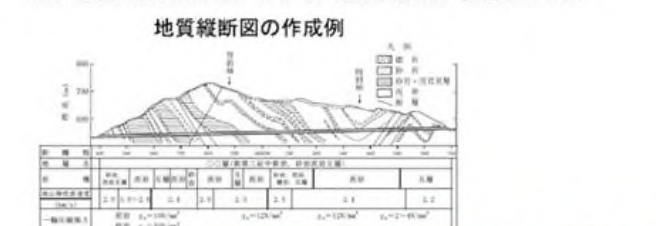


図3.3.3(1) 山岳部-岩盤を対象とした構造物の建設と三次元地質・地盤モデル作成の流れ(トンネル)

モデルの更新

図3.3.1に記載の三次元地質・地盤モデル作成フローに則りモデルを作り直す。

1)地質調査要領 第2章建設事業のための地質調査p.161 図2-8-1 地山条件の調査の流れと取得すべき情報
2) Hirok,H., Shoichi,N., Kazuo,K., and Toshiro,O.: Visualization of geologic model for a cut slope using 3D geological analysis system, 第15回国際地盤工学会アジア地域会議, 2015.
3)T. Yasuda, K. T. Lu, L. C. Leh, K. Chiam and L. S. Ghiong (2019): Development of 3D geological model of Singapore, Japanese Geotechnical Society Special Publication Volume 6 Issue 2, 67-72.
4)Defence Science and Technology Agency (DSTA) (2009): Geology of Singapore (2nd Edition), DSTA, Singaporeに記載の地質層序を総括

<参考文献>

- 1) 3次元地質解析技術コンソーシアム(2019): 3次元地質解析マニュアル Ver1.5. 278p.
- 2) 建築基礎設計のための地盤調査計画指針, 1985 制定, 2009 改訂 (第二次) 日本建築学会, p.1-p.76.
- 3) ジオ・ステーション (Geo-Station) 全国電子地盤図 < https://www.geostn.bosai.go.jp/top_page.php >, (国) 防災科学技術研究所・(公社) 地盤工学会
- 4) 平成 30 年度 地下情報の基盤モデルづくりに関する調査 報告書 平成 31 年 3 月 一般財団法人エンジニアリング協会 地下開発利用研究センター 図 2.3.2-4 外部階段 E8, E12 及び E2 断面図 p.62.

第4章 次工程に引き継ぐための記載フォーマットと記載例

4.1 三次元地質・地盤モデルの品質管理の基本的な考え方

4.1.1 データの品質管理

地質・地盤モデル構築に用いるデータの精度や座標基準は、意図してそろえない限り統一されていることは稀である。データの整備基準・作成方法、空間座標や精度等の品質を総合的にチェックする必要がある。整合性のないデータは棄却するか、原本データまで遡って品質を確認し、必要があれば修正する。

修正した履歴（修正箇所、修正根拠）はモデルのデータや品質報告書として必ず残さなければならない。

4.1.2 作成した地質・地盤モデルの品質管理

作成した地質・地盤モデルの形状に基データとの矛盾や歪みが無いかチェックする。

ツールの三次元可視化機能を活用し、モデルと入力データを重ね、大きな誤差が無いか、自然な形状か等を評価してモデルの妥当性を判断する。

4.1.3 品質管理手法としてのワークフロー

QMS（Quality Management System：ISO9001 品質マネジメントシステム）では、作業を可視化し、改善し易さ、スピードアップ、作業進捗管理、記録の共有化等を図るためにプロセスを重視する。PDCA サイクルにより継続的改善を図り、不良品を0に近づける仕組みを作ることを目指したものである。

QMSは、不確実性が避けられない地質モデルの品質管理手法に通じるものがあると考えられる。三次元地質・地盤モデルの作成もプロセスを規定した標準的なワークフローがあれば、要所で品質チェックのマイルストーンを設けることができる。さらに、モデル化の目的や作業の効率性・生産性向上、成果品出力等を考慮し、適宜フローの組み替えも可能となる。

4.2 三次元地質・地盤モデルに関する品質報告書の例（JIS A 0205 品質要求事項を参考として）

JIS A 0205¹⁾に示されているベクトル数値地図の品質報告書の項目に沿って、三次元地質・地盤モデルに関する品質報告書の例、品質にかかわる主要な項目の概要を以下に示す。

4.2.1 品質報告書の基本構成

品質報告書の基本的な構成は表 4.2.1 のとおりである。

表 4.2.1 三次元地質・地盤モデルを構成するデータ項目

基本項目	構成する主なデータ項目	データ形式の例
モデル作成のための基本データ	ボーリング柱状図データ, 踏査データ, 既存の地質平面図・断面図, 物理探査結果など	XML・テキストデータ, 二次元ラスタ・ベクタデータ
地形データ	航空写真測量図, 航空レーザ測量図など	等高線, DEMデータ
地質要素	地層境界, 断層, 地下水位, 岩盤区分など	二次元ラスタ・ベクタデータ
その他	計画路線情報, 主要構造物など	二次元・三次元ベクタデータ

三次元地質・地盤モデルに付加すべき品質確認項目と表示方法

基本項目	付加すべき主な品質確認項目	表示方法の例
解析エリア	モデル作成エリア, 使用データからみた信頼限界	範囲の切り取りや色彩での表示
モデル作成のための三次元データ	ボーリング柱状図データ, 地質境界, 岩盤区分境界	三次元スケルトンモデル
モデルの精度	縮尺・解像度 (グリッド間隔など) など	座標軸, スケールバー
凡例	凡例 (地質区分, 風化・岩盤区分, 基本データの情報), 属性情報など	凡例の付加, 属性情報 (コード) の表示
不確実性	地質境界などの存在確実度, 位置正確度の区分, データ密度など	ハッチング等に表示またはアノテーションでの表示 (不確実性の表現例は第 5 章を参照)

その他報告書に盛り込むべき品質管理項目

品質管理項目	確認の方法	
モデル作成ワークフローの明示	モデル構築プロセスの確認	
基本データの品質確認	性能評価シート, データの品質評価票等によるチェック	
モデリングの記録	使用したソフトウェア, オブジェクトリスト, アルゴリズム, 設定パラメータ等の記録	
モデルの品質の確認	完全性, 論理一致性, 位置正確度, 時間正確度, 主題正確度の確認	

4.2.2 三次元地質・地盤モデルを構成するデータ項目

三次元地質・地盤モデルを構成する主なデータ項目は、以下のとおりである。

①モデルを作成するために使用した基本データ

ボーリング柱状図データ，試験・分析データ，踏査データ，既存の地質平面図・断面図，物理探査結果など

例えばボーリング柱状図データの場合：

試験名，調査位置・標高（精度），発注機関，調査・試験機関，調査・試験年月日，観察・区分情報，試験方法など

②地形データ

作成年月日，測地系，地形データの種類（航空写真測量図，航空レーザ測量図など），地形図の精度（縮尺，DEMの解像度），凡例など

③地質要素

地層境界，断層，地下水位，風化区分境界，岩盤区分境界など

④その他

計画路線情報，主要構造物など

4.2.3 三次元地質・地盤モデルを構成するデータ項目の構造

三次元地質・地盤モデルを構成する主なデータ項目の構造は以下のとおりである。

①座標系

日本測地系，世界測地系，世界測地系（2011）など

②地質要素に対応する属性情報（凡例情報）

- ・ポイントデータ：露頭，ボーリング柱状図の地質境界，サウンディング，地下水位，分析結果など
- ・ラインデータ：ボーリング柱状図位置，断面図位置，ボーリング柱状図の地層区分，岩盤区分など
- ・面データ：地形，地質境界，風化区分境界，岩盤区分境界など
- ・ボックスセル：地質・岩体区分名，風化区分，岩盤区分，弾性波速度層区分，地下水位など

4.2.4 三次元地質・地盤モデルに付加すべき品質確認項目と表示方法

三次元地質・地盤モデルに付与すべき主な品質確認項目とその表示方法は、以下のとおりである。

①解析エリア

- ・モデル作成エリア
- ・使用データからみた信頼限界（平面的・断面的）など

【表示方法】例えば、モデル作成範囲外の切り取りや色彩の非表示

<平面の“信頼限界”の考え方>

二次元平面でみた地質・地盤モデルの“信頼限界”については、ボーリング位置や踏査で確認された露頭位置などの地質調査位置を内包する範囲を基本に設定する（図 4.2.1）。

<深度方向の“信頼限界”の考え方>

深度方向の地質・地盤モデルの信頼限界は、例えば使用したボーリング柱状図の深度等を目安に、地質の種類や構造を考慮して適切に“信頼限界”を設定する必要がある（図 4.2.2）。

以上の深度方向・平面の信頼限界により、不要な範囲をトリミングするまたは非着色で表現する。

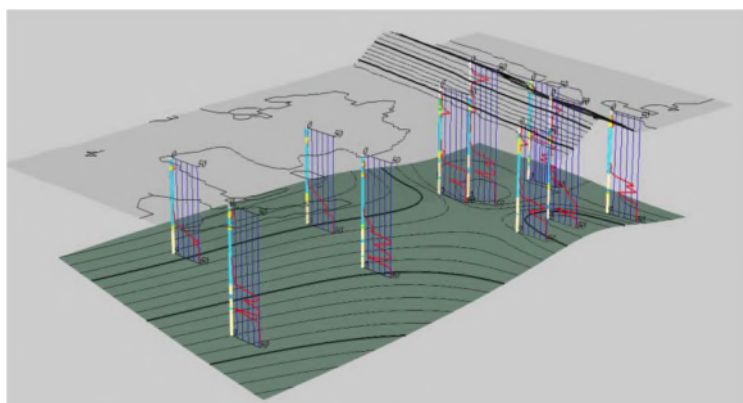
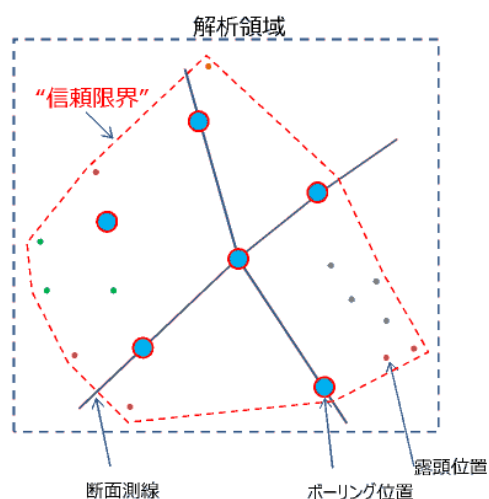


図 4.2.2 深度方向の“信頼限界”の設定例²⁾

図 4.2.1 二次元平面でみた“信頼限界”の設定例²⁾

②三次元基本データ及び作成過程で使用した三次元データ

- ・ボーリング柱状図データ，地質境界，岩盤区分境界，その他モデル作成の基データとなる地形データ，地質断面図・地質平面図（ラスタ，ベクタデータ）等の基データ及び作成過程で使用した補間データ等をモデルに保有する。入力データから出力データまで全ての情報が分かり易い形で残されている必要がある。

【表示方法】例えば、三次元スケルトンモデルとしてモデル作成領域（空間）に表示

③モデルの精度

- ・モデル作成単位，基本データの精度（縮尺）
- ・分解能，解像度（グリッド間隔など）など

【表示方法】例えば、座標軸，スケールバー

なお，モデルの精度の考え方として，地表面での地質境界線は，線を引いた地形図の分解能にもとづく。1万分の1で作成された地質境界線を1000分の1や5万分の1で地形図に表現するとおかしくなる。必要以上に拡大・縮小はできないことに留意のこと。

④凡例

- ・凡例（地質区分，風化・岩盤区分，基本データの情報）
- ・属性情報など

【表示方法】例えば，凡例の付加，属性情報または属性コードの表示

⑤不確実性

地質境界，断層などの存在確実度，位置正確度の区分

- ・存在確実度（確認，確実，推定，不確実などの区分）
- ・位置正確度（位置正確，位置ほぼ正確，位置推定などの区分）
- ・データ密度
- ・地質リスク（工学的地質区分）など

【表示方法】例えば，線種・幅，色の濃淡，明暗，ハッチング等で表示またはアノテーションでの表示

4.2.5 その他報告書に盛り込むべき品質管理項目

その他，報告書に盛り込むべき主な品質管理項目は以下のとおりである。

①モデル作成ワークフローの明示

ワークフローで作業手順，照査の方法や照査時期など明確なモデル構築プロセスを確認する。

②基本データの品質確認

基本データの性能評価シート，データの品質評価票等作成し，調査精度，位置情報精度等を明示する。また，入力データの整合性がとれているか確認する。

③モデリングの記録

以下，モデリングに関する記録を残す。

- ・使用したソフトウェア
- ・オブジェクトリスト
- ・モデル作成のアルゴリズム，設定パラメータ
- ・その他，モデリングの記録など

④モデルの品質の確認

表 4.2.2 を参考に，以下に主な品質の確認項目を示す。

- ・完全性：使用した地質データとの整合性がとれている。
- ・論理一貫性：地質境界が断層を越えて連続しない、地質の領域は重ならないなど、地質学的見地から矛盾がない。
- ・位置正確度：必要とされる縮尺でみるかぎり表示される情報の相対的位置関係に矛盾がない。
- ・時間正確度：モデル作成の基本情報，モデル作成，モデル修正に関する時間が明示されている。
- ・主題正確度：モデルの要素に正しく対応した属性（凡例情報を含む）が付与されていること。

表 4.2.2 地質調査データの品質チェックの着目点(案)²⁾³⁾

地質調査データの品質チェックの着目点(案) (分類はJSGI¹⁾を参考)

分類	品質チェックの着目点	備考	
完全性	モデル構築に必要なデータは揃っているか		
	入力値は正しいか	物性値・座標等の実数、地質・岩級等の判定値など	
論理一貫性	フォーマット一貫性	データフォーマットは正しいか	フォーマットのバージョン、モデル化の環境で利用可能な形式
		画質は十分か	画像が判読できるか、トレース作業の障害にならないか
		座標系は統一されているか	
		デジタイズの属性に間違いは無いか	
	概念一貫性	地質構造が示されているか	
		地質構成が示されているか	地質層序表や地質判定基準表などが示されているか
		地質境界に理屈に合わない食い違いはないか	螺旋分布など3次元にしてみないと判断が難しいものもある
	定義域一貫性	図面の整合性	図面の名称や分類等の整合性
		断面図の交点は合っているか	3次元で交差させてみないと判断が難しい
	位相一貫性	境界線の種類が図面毎に変わっていないか	
デジタイズは十分な精度か			
位置正確度	投影データを使った地質断面図ではないか		
	投影距離が示されているか		
	座標基準自体にズレが無いか		
時間正確度	最新の解釈によって作成された図面か	地質図など最新の知見に基づくものか	
	最新の地形データか	最新の測量結果に基づくものか	
主題正確度	地質学的分類が正しいか		
	工学的分類が正しいか		

1) http://www.gsi.go.jp/GIS/stdind/jsgi_kaisetsu06.html#6_3_1。(2018年2月時点)。

引用：3次元地質解析技術コンソーシアム：3次元地質解析マニュアル，(2018) <https://www.3dgeocon.com/cont5/main.html>

<参考文献>

- 1) JIS A 0205 ベクトル数値地質図-品質要求事項及び主題属性コード
- 2) 3次元地質解析技術コンソーシアム，3次元地質解析マニュアル Ver.1.5.0. 2018
- 3) 地理情報標準第2版（JSGI 2.0）

第5章 モデル作成における不確実性の評価と明示の例

前章までは、地質・地盤モデルが持つ品質を説明するために、モデルに属性として持たせる情報について論じた。

一方、地質・地盤を専門としない、即ち、地質・地盤モデルが内包する不確実性になじみのないステイクホルダーの理解をより容易にするためには、モデル上で不確実性の度合いを表現することは有効な手段である。そこで、本章では、不確実性をモデル上に表現する方法として、モデルの解像度による表現方法とモデルの透明度による表現方法、そして、線種の違いで地質境界の存在確実度と位置正確度を表現する JIS A 0204 の 3 例を紹介する。地質・地盤モデルの利用目的、用途により許容できる不確実性は変わる。そのため、本節で紹介する例はいずれも不確実性の度合いを相対的に表現するものであり、絶対的の唯一な評価基準をもって定量的に表現するものではないことに注意が必要である。

なお、本質的なモデルの品質向上には、追加調査による不確実性の低減が必要であるという観点から、巻末資料-2 において調査密度について言及のある規格・基準を紹介するとともに、小委員会が検討の参考にした基準・規格類のリストを示す。

5.1 解像度による不確実性の表現

地質・地盤に関する平面図や断面図、三次元モデルおよびそれらに準ずる解釈図は、地盤データの密度・分布に起因する解釈の不確実性を内包する。不確実性に応じて部分的に描画の解像度を粗くすることにより、その不確実性を表現する手法を提案する。低解像度のポリゴン画像やモザイク画像のようなイメージである。

地質平面図を例として、その表現手法の模式図を図 5.1.1 に示す。表現手順は以下の通りである。

1. モデル対象範囲を適当な大きさのグリッドに区切る。
2. 通常の地質平面図作成手順と同様に、露頭や調査ボーリングで確認された各地層の分布および境界に基づき、推定地層境界線を描き、各地層の分布域を着色する。
3. 地層境界線の位置が不確かなグリッドについては、地層境界線を伸ばさず、そのグリッドを代表する地層区分で着色する。

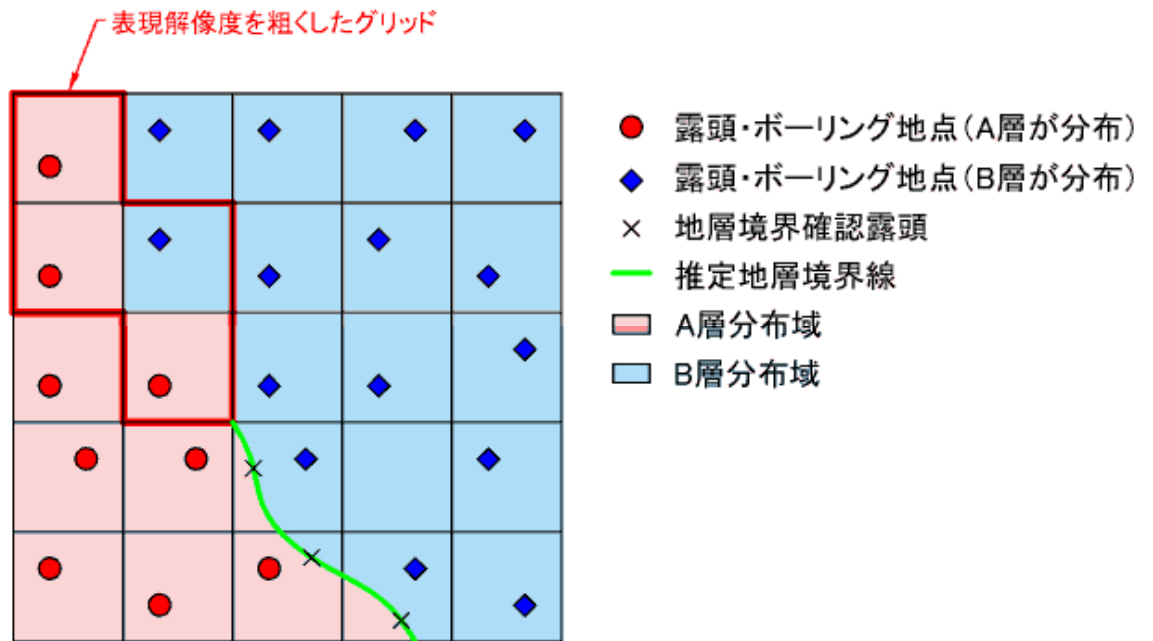


図 5.1.1 解像度による不確実性の表現方法の模式図

5.2 透明度による不確実性の表現

三次元モデルの不確実性は、前述したように本来は多様な事項に起因するが、ここでは可視化を検討するためにデータの密度・分布・種類、および地盤の構造にのみ起因すると仮定する。この仮定をもとに、図 5.1.2 に示すように、三次元モデルを構成する重要な要素である境界面、および三次元モデルの空間全体の 2 つに分けて不確実性を評価し、透明度を用いて表現する手法の案を示す。なお、説明を簡単にするために、地盤データはボーリングデータに限定する。

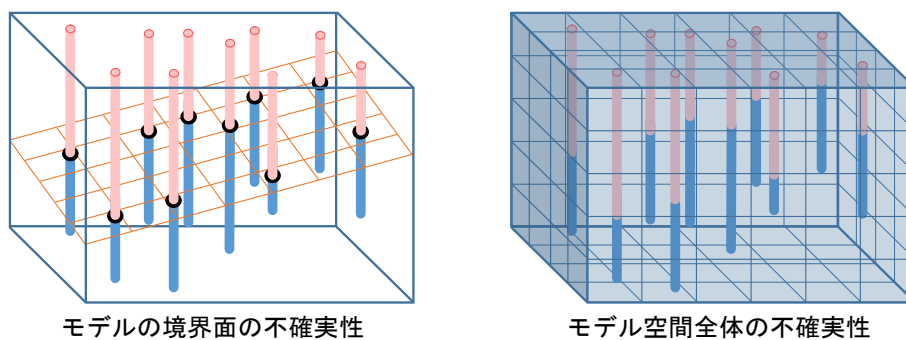


図 5.1.2 不確実性の評価と表現のための 2 つの方法の案

三次元モデルの境界面に対する不確実性の評価と表現方法

三次元モデルには境界面を用いて空間を区分するサーフェースモデルが多く用いられている。境界面の不確実性はモデルの不確実性に直結する。各境界面の不確実性は、つぎのように推定に用いたデータ等の量・種類、および地盤構造等を考慮した境界面のデータ密度を求めて評価する方法が考えられる（図 5.1.3 参照）。境界面推定に用いたデータのみが対象で、データはすべて点データである。

- ①データの点に近いほど不確実性は低い。
- ②データの量は、多いほど境界面の不確実性は低い。
- ③データの分布は、ばらつきが小さいほど境界面の不確実性は低い。
- ④データの種類により不確実性は変わる。例えば、境界面の位置・標高を示すデータは、ボーリングの最下位の標高のような境界面の位置・標高を補足するデータよりも不確実性は低い。
- ⑤地盤構造が複雑な場所（境界面の形状変化が大きい場所）は単純な場所に比べて、より多くのデータが必要であり、個々のデータの影響する範囲は小さい。同じデータ量であれば、構造が単純な場所は境界面の不確実性が低い。

モデルの各境界面に対して境界面と同じ範囲・分解能を持つ不確実性のための格子データを用意し、格子データの各格子点において、データの重みやデータの影響する範囲等を変えてデータ密度推定法などでデータ密度を求める。データ密度の高い所は不確実性が低いと評価する。データ密度推定法の例として、二次元のカーネル密度推定法がある。

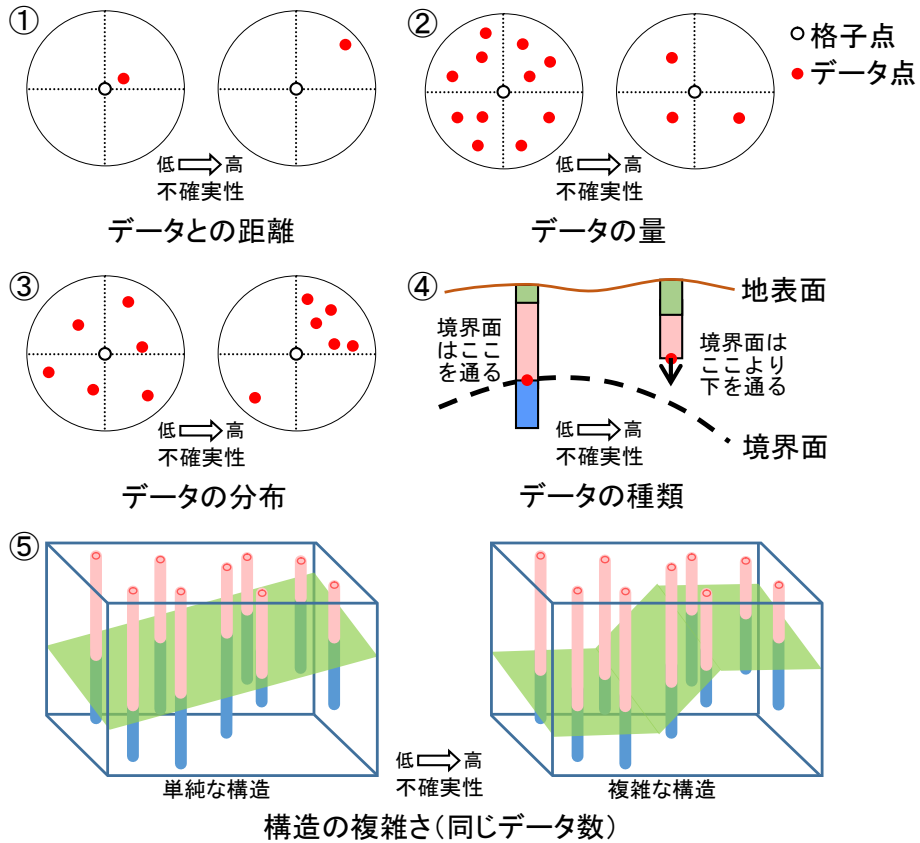


図 5.1.3 データ密度による不確実性の考え方

三次元モデルの不確実性の表現には、透明度を用いる。図 5.1.4 に示すように、モデルの各境界面を描画する際に、不確実性の格子データを基にして、不確実性の高い部分ほど透明度を高くし、不確実性の低い部分ほど透明度を低くする。

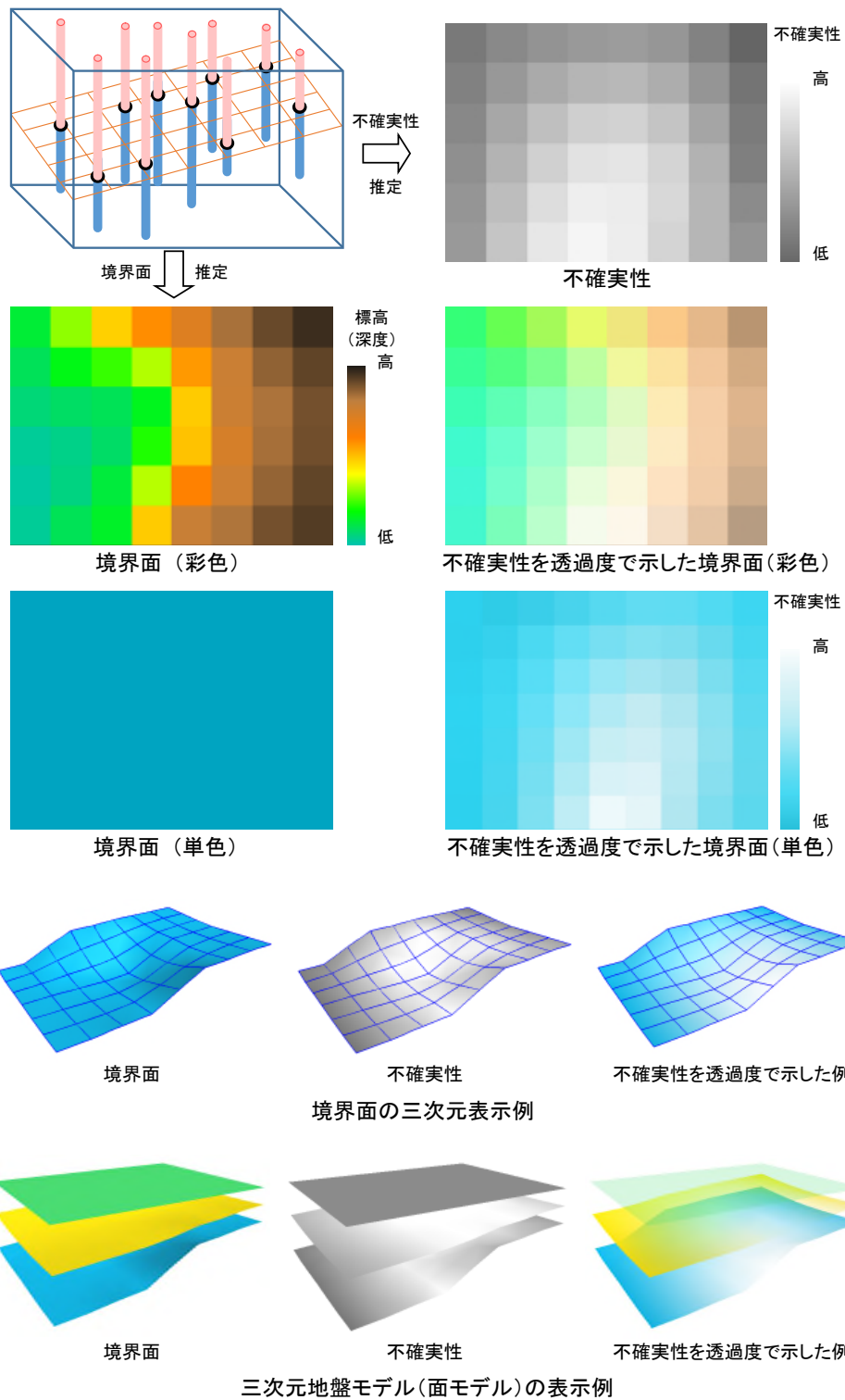


図 5.1.4 境界面に対する不確実性の表現方法

三次元モデルの空間全体に対する不確実性の評価と表現方法

三次元モデルを可視化する際に、任意の断面等で表現する場合がある。この場合は、モデル空間全体における不確実性が評価されていなければならない。モデル空間全体の不確実性は、境界面と同様にデータ等の量・種類、および地盤構造等を考慮した空間のデータ密度を求めて評価する方法が考えられる。三次元モデルの空間全体の中で構築に用いたすべてのデータが対象で、ボーリングデータは線分として取り扱う。

- ・データの線分に近いほど不確実性は低い。
 - ・データの量は、多いほど空間の不確実性は低い。
 - ・データの分布は、ばらつきが小さいほど空間の不確実性は低い。
 - ・地盤構造が複雑な場所（構造の変化が大きい場所）は単純な場所に比べて、より多くのデータが必要であり、個々のデータの影響する範囲は小さい。同じデータ量であれば、構造が単純な場所は空間の不確実性が低い。
- （基本的な考え方は、データの種類を除いて境界面の場合と同様である。）

モデルの対象空間全体を三次元に分割した不確実性のためのボクセルモデルを用意し、各ボクセルにおいて、データの重みやデータの影響する範囲等を変えてデータ密度推定法などでデータ密度を求める。データ密度の高いボクセルは不確実性が低いと評価する。データ密度推定法の例として、二次元のカーネル密度推定法を三次元に拡張した方法等がある。

三次元モデルの不確実性の表現には、透明度を用いる。図 5.1.5 に示すように、地盤モデルの任意の断面図を作成する際に、不確実性用のボクセルモデルを基にした同じ位置での断面図も作成する。地盤モデルの断面図を表示する際に、不確実性の高い部分ほど透明度を高くし、不確実性の低い部分ほど透明度を低くする。

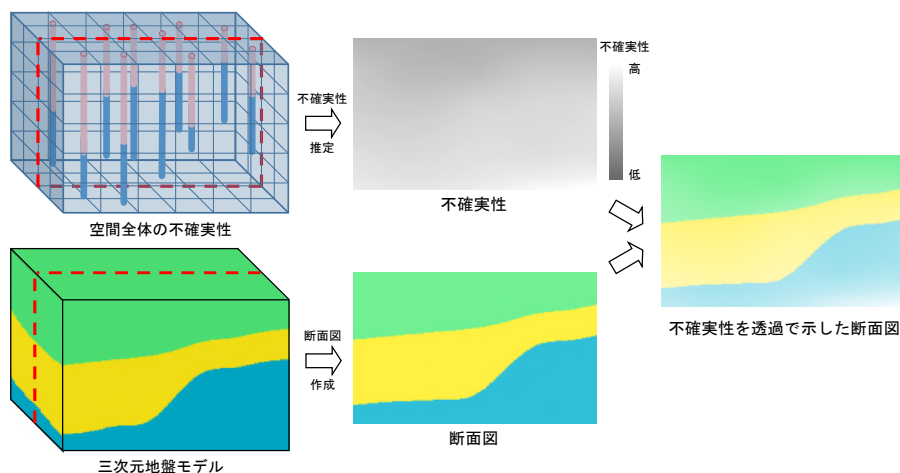


図 5.1.5 モデル空間全体に対する不確実性の表現方法

境界面と三次元モデル空間全体の不確実性を合わせた表現方法

図 5.1.6 に示すように、地質境界面の不確実性とモデル空間全体の不確実性を合わせて表現することも考えられる。不確実性の表現には、透明度を用いる。透明度の表現は空間全体と同様になる。

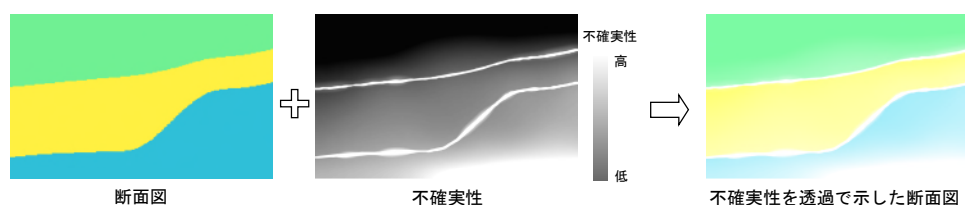


図 5.1.6 境界面とモデル空間全体を合わせた不確実性の表現方法

5.3 線種による不確実性の表現 (JIS A 0204)

モデルの不確実性を表現する一手法として、紙媒体や web で提供される地質図（画像や数値）を対象とした JIS A 0204:2019 を紹介する。

この規格は、地質図の記号、色、模様、用語及び凡例表示について、異なる作成者、異なる利用者、異なる場所、及び異なる出力形式の間で、地質図の記号、色、模様、用語及び凡例表示に関するデータの管理方法（定義、記述、表記及び表示法を含む。）について規定している。

表 5.1.1 は、断層を例にした存在確実度と位置正確度の凡例体系である。地質図で断層を表現する場合、原則として、これら 3 つの体系のいずれか一つを選択し、同じ地質図内に異なる体系を混在しないことになっている。

表 5.1.1 存在確実度と位置正確度に基づく断層の区分¹⁾ (解説表 1 を引用)

解説表 1-存在確実度と位置正確度に基づく断層の区分

区分体系	定義	対象	産総研での適用地質図	存在確実度	位置正確度			
					非伏在			伏在
					正確	ほぼ正確	推定	特定しない
1	存在確実度不特定・位置正確度不特定	1/100万程度の小縮尺地質図での使用を想定	1/100万地質図など	特定しない	特定しない			位置伏在
2	存在確実度特定、位置正確度不特定	1/20万程度の中縮尺地質図での使用を想定	1/20万地質図幅、1/20万海洋地質図など	確認	特定しない			位置伏在
				推定	特定しない			位置伏在
3	存在確実度特定・位置正確度特定	1/5万程度の大縮尺地質図での使用を想定	1/5万地質図幅、大縮尺の火山地質図、特殊地質図など	確実	位置正確	位置ほぼ正確	位置推定	位置伏在
				不確実	位置正確	位置ほぼ正確	位置推定	位置伏在

<存在確実度>

断層、地層境界などの存在の確かさを示す尺度。

- 位置正確度を問わない場合には“確認”と“推定”で示す。
- 位置正確度と組み合わせて細分する場合には“確実”と“不確実”で示す。例えば、断層とみなしたい面が地層・岩体境界なのか断層なのかが的確に論証できない場合は“不確実”とし、間接的であっても地質学的証拠に基づいて論理的に断層と判断できる場合には“確実”としてもよい。

<位置正確度>

断層、地層境界などの位置の正確さを示す尺度。

- “位置正確”とは、露頭などでその位置がほぼ連続的に確認でき、その連続性において定義したある範囲（信頼区間内）にその位置を限定できる場合に用いる。
- “位置ほぼ正確”は、“位置正確”よりも信頼区間の範囲が広い、ある一定の範囲内に位置を限定できる場合に用いる。
- “位置推定”は、“位置ほぼ正確”とした範囲内に境界の位置を限定できない場合に用いる。
- “位置伏在”は、地層・岩体などの境界や断層などが、地層・岩体などに覆われ、基準面に露出しない状態を示す。

なお、断層、地層境界などの地質学的属性に幅又は厚みがある断層帯、漸移帯の位置正確度を表現する場合は、断層帯、漸移帯などの中心面又は特徴的な面を基準にして信頼区間を設ける。信頼区間は、調査目的及び調査精度に応じて定義する。5 万分の 1 縮尺程度の地質図であれば、例えば、位置正確、位置ほぼ正確、位置推定を 250 m 未満、500 m 未満、500 m 以上 1 000 m 未満などと、それぞれ定義して使用することができる。

<参考文献>

- 1) JIS A 0204:2019 地質図—記号，色，模様，用語及び凡例表示

第6章 今後の課題

本研究では地盤の三次元モデルを作成するにあたって、その基となる地盤データにどのような品質を求めるのか、また作成されたモデルに包含される不確実性と品質をどのように表記するのかについて検討し、一定の基準を提示した。一方で、地盤が有する不均質性や物性値のばらつき、モデル作成者の技量に起因する不確実性は避けられないことも明らかとなった。本章では、残された課題をあげておく。

- 1) 地質や地盤の情報を読み、解釈する際にモデル作成者が間違いを犯すことがあり得る。間違った解釈に基づいて地質・地盤モデルを作成すると不正確なものを提示することになる。モデル作成プロセスで作成者の主観的判断が介在することは避けられないため、作成者には地質と土質に関する高い識見が求められる。複数のエキスパートのクロスチェックなど、誤った解釈がそのまま次工程に引き継がれないようなモデル作成プロセスの合理的なシステムが必要である。併せて工学的に重要となる表層付近に堆積する比較的新しい堆積物の評価ができる技術者の養成が不可欠である。
- 2) 三次元地質・地盤モデルの重要性は作成者側の地盤調査コンサルタントや研究者には比較的認識されているのに対し、発注者、設計コンサルタント、ゼネコンにおける認知は必ずしも十分とはいえない。特に発注者の理解がなければ発注仕様書に反映されないので、三次元地質・地盤モデルの汎用的利活用にとって大きな障害となる。地質・地盤モデルの不確実性と品質評価に対する理解が、建設プロジェクトにおける事故防止と経済的施工に直結することを広く告知することが重要である。そのために、マニュアルの作成など普及と啓発の努力が必要である。
- 3) 三次元地質・地盤モデルの不確実性の評価と表記については必ずしも十分なレベルの議論がなされたとはいえない。堆積環境に起因する地盤の不均質性や水平方向への傾動や不連続といった問題の取り扱いについて、さらに踏み込んだ議論が必要である。対象とする地盤固有の問題を事前に認識し、意識すべき項目を念頭において三次元地質・地盤モデルを作成するためには、地質と地盤という理工融合の知識体系の構築が強く望まれる。また、不確実性の存在を強調するだけでなく、それを低減させるためにどのように対処するのかという対応策を積極的に提示する必要がある。
- 4) 本研究でリストアップされた三次元地質・地盤モデルの不確実性評価のためのトレーサビリティを確保するための要素を体系化し、指針や規準化に向けた集約と整理が必要である。

まとめ

本小委員会では、地質や地盤のモデルを含む様々な地盤データの品質や内包する不確実性に係る情報を設計・施工・維持管理段階に確実に引き継ぐこと（それは地盤リスクの低減にも資する）を目的として、地盤モデルデータの作成時の**品質の明示**ならびに利用時の**品質の評価**に係る標準的手法を検討した。今後、この結果を基に「品質の明示と評価」に関する指針・標準が制定されることを期待する。そしてそれは、設計や施工段階において、従来不明確であったモデルの品質等の概念について共通認識をもたらし、モデルの品質評価を可能とするであろう。

本小委員会では既往の建設事例の解析および規格・基準類の精査をした。その結果、「地質モデル」や「地盤モデル」「モデルの不確実性」などの地質・地盤モデルの作成や品質評価に係る**用語の定義**が明確ではなく、使い方に混乱が生じていることが判明した。また、既往の文献や規格・基準には調査報告書に調査結果として記載すべき項目の記述はあるものの、モデルの**品質のトレーサビリティ**という観点での記載すべき項目は見いだせなかった。

この問題に対して、小委員会は12回の委員会兼WGで議論を行い、以下の6項目の成果を得た。

1. 用語の定義と体系化による地質・地盤モデルの品質、不確実性の概念の明確化

「地質モデル」「地盤モデル」「設計解析モデル」「モデルの品質」「モデルの不確実性」等などの用語を定義するとともに、用語間の関係を明示した。

2. モデルの品質に対する影響要因とそれらの関係性の明確化

モデルの品質について、以下の特徴を明らかにした。

- ・ モデルに対する要求性能や要求精度は、対象構造物やモデルの作成目的、建設段階によって異なり、それに応じてモデルの品質の明示／評価の着眼点も変わること
- ・ モデルの品質は、地質・地盤条件という不確実性の影響を受けること
- ・ モデルの品質は、モデルの基データの品質、地質・地盤解析過程の品質、地質・地盤モデルの作成手順に係る品質など多様な品質から構成されること

3. 地質・地盤、構造物によって異なるモデルとデータの継承の特徴の明確化

構造物のライフサイクルの中で引き継ぐモデルとデータについて、以下の特徴を明

らかにした。

- ・ 対象範囲がプロジェクトの各段階を通じて一定の場合，例えば平野部の地盤を対象とした建築物の場合，プロジェクトの段階が進むにつれて（例えば概略設計から詳細設計に）モデルの要求精度は高くなる。その過程で作成した地質・地盤モデルは修正・更新により補完され，データと共に次工程に引き継がれる。
- ・ 対象範囲がプロジェクトの各段階を通じて絞り込まれる場合，例えば山岳部の岩盤を対象としたトンネルの場合，問題となる検討範囲はプロジェクトの段階が進むにつれ狭まり（例えば断層部，湧水部など），それとともにモデルの要求精度は高くなる。データや情報は次工程に引き継ぐがモデルは各段階で作り直す。

4. モデルの品質を説明／評価するための「品質項目」の提案

ボーリング柱状図，物理探査結果などのモデルの基データ，モデルを作る過程で行う地質・地盤解析，三次元地質・地盤モデルのそれぞれに対して品質項目を提案した。

5. 品質報告書等，品質項目の記載方法の提案

4. で提案した品質項目の具体的記載例を示した。

例

モデルの精度として記載すべき内容：モデル作成単位，基本データの精度（縮尺），分解能，解像度（グリッド間隔）

表現方法の例：座標軸やスケールバーの表示

6. モデル作成における不確実性の評価と明示方法の提案

モデル上での不確実性の表現として，解像度による表現，透明度による表現を例示した。

今後の課題としては，モデルの品質評価が地質・地盤リスクの低減に直結することの周知や品質評価の普及と啓発，不確実性の低減のための対応策の提示，モデルの品質を向上するためのシステムや技術者の養成，品質項目の体系化と指針や規準化に向けた集約と整理などが挙げられる。

卷末資料

卷末-1 品質項目洗い出し表の例

卷末-2 基準・規格類における不確実性に係る記述の例－調査密度の目安－

巻末-1 品質項目洗い出し表の例

○話題提供テーマ：関西空港

◇ 目的：沈下予測を行うための地盤モデル作成

◇ 留意点：局所的な堆積状況の形成理由とその範囲の把握（当初、洪積層は沈下しないという前提の沈下量予測（1.5m）で設計が行われた。しかし、埋立てをはじめると、洪積層が沖積層と同程度（5~6m）は沈下することが判明し、追加調査を行った）

◇ 事業全体の中の位置づけ：調査段階

段階	調査項目、地盤情報の種類、利用方法	(既存データの場合) 出所、フォーマット	課題、目的	品質項目	アウトプットとフォーマット	トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録	関連する規格、基準類	品質項目やトレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録等の重要度、優先度、必須度
第1次調査 (1984) 【粘土層の同定】	◇既存の柱状図データ、地質図等 (例 大阪港湾局南港)	<ul style="list-style-type: none"> ・関連する組織の既存の報告書 ・外部の報告書 ・柱状図データ、試験、分析データ（内部DB、外部DB）、 ・文献、論文、公表されている地質図 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本データの取得 ・地層分布の把握 ・基本物性データの取得 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査方法、調査位置（取得方法） ・試験方法 ・区分基準（層序表） ・地層同定基準 	<ul style="list-style-type: none"> ・柱状図等（当時の地質調査資料整理要領、紙） 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業機関、調査機関、調査位置、調査目的、調査時期、調査手法、凡例（区分基準） ・データ保管場所 		<ul style="list-style-type: none"> 必須：出典、調査位置、判例 重要：調査目的、調査時期
			<ul style="list-style-type: none"> ・地質分布、構成、層序の全体把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・縮尺、作成年、機関、作成に用いたデータ 	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図（紙） 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業機関、調査機関、調査位置範囲、調査目的、調査時期、調査手法、凡例 	<ul style="list-style-type: none"> 必須：縮尺、凡例、調査機関 重要：調査時期、調査目的 	
	◇ボーリング (63本、400m×2本)		<ul style="list-style-type: none"> ・大局的な地層の分布、構成、層厚 ・既定位置の確定 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査目的 ・位置情報、高さ情報 ・実施者、掘削年月日、掘削方法、孔径 ・水平、方向の分解能（ボーリング密度） 	<ul style="list-style-type: none"> ・柱状図（当時の地質調査資料整理要領、紙） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボーリングの目的（粘土層の同定） ・位置・高さ情報の取得方法、取得精度 ・使用した座標系と datum ・実施者、掘削年月日、掘削方法、孔径 ・平面図（デジタルデータの記載ミス、密度確認） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボーリング柱状図作成及びボーリング取扱い・保管要領(案)・同解説 平成27年6月 ボーリング柱状図標準化小委員会 ・地質・土質調査成果電子納品要領 平成28年10月 国土交通省 	<ul style="list-style-type: none"> 必須：位置、高さ 重要：位置・高さ情報の取得方法、取得精度、使用した座標系と datum、調査目的、掘削年月日
			<ul style="list-style-type: none"> ・分析用試料の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・採取深度、採取方法、採取日時、試料の状態 	<ul style="list-style-type: none"> ・土質サンプル 	<ul style="list-style-type: none"> ・凡例 ・地質区分、境界の設定根拠 ・地質・土質区分に用いた標準層序、その信頼性と根拠（出典） 	<ul style="list-style-type: none"> ・JGS 基準(例 JGS1221-2012 固定ピストン式シンウォールサンプラーにおける土試料の採取方法) 	<ul style="list-style-type: none"> 必須：凡例

段階	調査項目、地盤情報の種類、利用方法	(既存データの場合) 出所、フォーマット	課題、目的	品質項目	アウトプットとフォーマット	トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録	関連する規格、基準類	品質項目やトレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録等の重要度、優先度、必須度
	◇ 微化石調査		<ul style="list-style-type: none"> 粘土層の同定 海成／非海成の区別 	<ul style="list-style-type: none"> 深度、位置、試料の状態、粒度等 サンプル処理方法、分析方法 同定、分析者 同定基準 	<ul style="list-style-type: none"> 分析結果（紙） 	<ul style="list-style-type: none"> 深度、位置、試料の状態、粒度等 サンプル処理方法、分析方法 同定、分析者 同定基準、微化石の情報と解釈可能な幅 ナノ化石の有無（個体数と量） 		<ul style="list-style-type: none"> 必須：深度、位置、同定基準 重要：分析方法
	◆ 粘土層分布モデル		<ul style="list-style-type: none"> 概略設計のための地盤モデル作成 課題の抽出（設計サイドへの申し送り） 	<ul style="list-style-type: none"> モデルの元データ（種類、密度等） 座標系、スケール 元データの凡例、モデルの凡例 推定地層線 	<ul style="list-style-type: none"> 平面図、断面図（当時の地質調査資料整理要領、紙） 	<ul style="list-style-type: none"> ★ 調査対象範囲、解析範囲、境界条件 モデルの元データ 座標系、スケール、座標変換方法 元データの凡例とモデルの凡例、その根拠。 モデル作成のための対比プロセスの根拠 モデルの作成手順（計算方法） 事実と解釈の明示 作成した地盤モデルの課題（設計サイドへの申し送り） 	JIS A 0204:2012(地質図—記号、色、模様、用語及び凡例表示)	<ul style="list-style-type: none"> 必須：解析範囲、境界条件、モデルの元データ、座標系、スケール、元データの凡例とモデルの凡例、モデルの作成手順（計算方法）、事実と解釈の明示 重要：モデル作成のための対比プロセスの根拠、作成した地盤モデルの課題
	◆ I 期沈下事前予測	<ul style="list-style-type: none"> 圧密試験結果 物理試験結果 地盤モデル仕様 	<ul style="list-style-type: none"> 洪積粘土の圧密 沈下に伴う埋め立荷重 課題の抽出 	<ul style="list-style-type: none"> 圧密試験結果、物理試験結果 解析範囲、境界条件 モデル化手法 計算結果（総沈下量、沈下収束時間） 	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果 	<ul style="list-style-type: none"> 圧密試験記録、物理試験結果 計算用地盤モデルの考え方、解析範囲、境界条件 計算条件（地層区分、層厚、排水距離、土質定数） 計算結果と課題（もっとシビアに調査設計をすべきか、それとも対策でカバーするか） 	<ul style="list-style-type: none"> JIS 基準(例 圧密試験 JIS A 1217-2009、JIS1227-2009) 	<ul style="list-style-type: none"> 必須：元データ、解析範囲、境界条件、計算条件、計算結果
	◆ II 期沈下事前予測 (DB モデル)	<ul style="list-style-type: none"> 圧密試験結果 物理試験結果 間隙水圧結果 地盤モデル仕様 	<ul style="list-style-type: none"> 基本は I 期沈下事前予測に同じ モデルの修正 過剰水圧の考慮 	<ul style="list-style-type: none"> I 期沈下事前予測に同じ プラス 過剰間隙水圧 	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果 	<ul style="list-style-type: none"> I 期沈下事前予測に同じ 砂層の過剰間隙水圧の測定結果 過剰水圧の予測結果 解析用定数の設定法（層厚、土質定数） 		
第 2 次調査 (1998-1999) 【砂層の堆積環境把握 (排水層の同定)】			<ul style="list-style-type: none"> 第 1 次調査の地盤モデルの精度向上 詳細設計のための地盤モデル作成 既定位置の確定 			<ul style="list-style-type: none"> 各調査結果の出典（内容は 1 次調査の記載と同じ） 		
	◇ ボーリング (400m × 4 本)		<ul style="list-style-type: none"> 砂層分布の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 第 1 次調査のボーリングと同じ 	<ul style="list-style-type: none"> 第 1 次調査のボーリングと同じ 	<ul style="list-style-type: none"> 第 1 次調査のボーリングと同じ 平面図 (第 1 次調査のボーリングとの位置) 		

段階	調査項目、地盤情報の種類、利用方法	(既存データの場合) 出所、フォーマット	課題、目的	品質項目	アウトプットとフォーマット	トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録	関連する規格、基準類	品質項目やトレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録等の重要度、優先度、必須度
				・ 第1次調査のボーリングとのかねあい (位置、深度等)	同じ	関係)		
	◇音波探査 ◇反射法探査			・ 探査位置、探査記録 ・ 音波探査の深度変換 ・ 弾性波速度の決定精度		・ 音波探査の深度変換に使用した速度モデルの設定根拠 ・ 音波探査の解釈方法 (走時→深度, 多重反射など) ・ 反射法探査の解釈方法 ・ 物理探査データのデジタル保存	・ 新版 物理探査適用の手引き」(一土木物理探査マニュアル 2008-),2008, 物理探査学会	必須: 探査位置、探査記録
	◇微化石調査		・ 地質年代の確定	・ 第1次調査と同じ	・ 第1次調査と同じ	・ 第1次調査と同じ		
	◇堆積物総合調査 (粒度分析)			・ 深度、位置、試料の状態 ・ 処理方法、分析方法 ・ 同定、分析者 ・ 砂層の粒径・粒度 ・ コア分析結果	・ 分析結果 (紙)	・ 深度、位置、試料の状態 ・ 処理方法、分析方法 ・ 同定、分析者 ・ 砂層の粒径・粒度、それらの信頼度 ・ コア分析結果、コア観察時の写真		必須: 深度、位置、分析方法 重要: コア観察時の写真
	◆ 堆積相解析 ◆ 砂層厚の読み取り	・ 柱状図(第1次調査、第2次調査、紙) ・ 音波探査(第2次調査、紙)		・ モデルの元データ (種類、密度等) ・ 座標系、スケール ・ 元データとモデル、それぞれの凡例 ・ 堆積相区分に用いた基準 ・ 砂層粒度の信頼度 ・ 反射法探査とボーリングデータとの整合性	・ 砂層分布範囲・層厚モデル (平面図、紙)	・ モデルの元データ ・ 座標系、スケール、座標変換方法 ・ 解析に用いたボーリング・音波探査側線の位置 ・ 元データの凡例とモデルの凡例、その根拠。 ・ 標準層序の信頼性と根拠 (出典) ・ 堆積環境解釈の他の解釈の可能性の有無 ・ 砂層厚の読み取りの精度と読み取り根拠 ・ モデルの作成手順 (計算方法) ★ 第1次調査の地盤モデルからの改善点とその根拠 (砂層の面的分布の根拠、沈下計算する際に間隙水の排水層と見なせる砂層と見なせない砂層の選別根拠など) ・ 作成した地盤モデルの課題 (設計サイドへの申し送り)		必須: モデルの元データ、座標系、スケール、解析に用いたボーリング・音波探査側線の位置、元データの凡例とモデルの凡例、モデルの作成手順 (計算方法) 重要: 砂層厚の読み取りの精度と読み取り根拠
	◆ II期 DB モデル再検討 ◆ NL モデル		・ 砂層分布の見直し ・ モデルの見直し ・ 過剰水圧の予測	・ モデル化手法 ・ 計算結果 (総沈下量、沈下収束時間)	・ 計算結果	・ 解析用定数の設定法 (層厚, 土質定数) ・ I期モデルからの改善点とその根拠 ・ I期モデルとの計算結果の違い		

段階	調査項目、地盤情報の種類、利用方法	(既存データの場合) 出所、フォーマット	課題、目的	品質項目	アウトプットとフォーマット	トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録	関連する規格、基準類	品質項目やトレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録等の重要度、優先度、必須度
			<ul style="list-style-type: none"> ・既往は1次元解析 ・圧密と浸透の連動 	<ul style="list-style-type: none"> ・実測沈下量との整合性 (この事例では、沈下量の観測結果を設計にフィードバック) 		<ul style="list-style-type: none"> ・計算結果と課題 (もっとシビアに調査設計をすべきか、それとも対策でカバーするか) 		
第3次調査 (2007-2008) 【関空直下の地層の全体特性把握】			<ul style="list-style-type: none"> ・目的と成果の整合 (詳細設計のための地盤モデル作成) ・2次調査の地盤モデルの精度向上 			<ul style="list-style-type: none"> ・各調査結果の出典 (内容は1次調査の記載と同じ) 		重要: 各調査結果の出典
	◇ オールコアボーリング (約1400m)			<ul style="list-style-type: none"> ・第1、第2次調査のボーリングと同じ ・第1、第2次調査のボーリングとのかねあい (位置、深度等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1、第2次調査のボーリングと同じ 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1、第2次調査のボーリングと同じ ・平面図 (第1、第2次調査のボーリングとの位置関係) ・土質資料 		
	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 微化石総合分析 ◇ 火山灰分析 (既存コア追加分析) 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1次調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・地質年代の確定 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1、第2次調査と同じ ・火山灰対比の信頼度 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1、第2次調査と同じ 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1、第2次調査と同じ ・火山灰対比の信頼度 ★ 既存コア追加分析時のデータ更新方法。部分追加なのか、全面的に差し替えたのか ★ 既存コア追加分析結果として一部データを追加する場合も、オリジナル旧データとは別ファイルとして管理すべき (メタデータが異なる) 		留意点: 既存コア追加分析結果として一部データを追加する場合も、オリジナル旧データとは別ファイルとして管理すべき (メタデータが異なる)
	<ul style="list-style-type: none"> ・既存音波探査データ (紙) 	<ul style="list-style-type: none"> ・第2次調査 		<ul style="list-style-type: none"> ・出力用紙のサイズ ・ラスターデータの解像度 		<ul style="list-style-type: none"> ・出力用紙のサイズ ・ラスターデータの解像度 		重要: ラスターデータの解像度
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 地層境界の検討 (既存音波探査とボーリングデータの対比) ◆ 流向検討 			<ul style="list-style-type: none"> ・紙のデジタル化方法 (ゆがみの取り方、座標付与) ・ボーリングと反射断面の対比根拠、整合性 ・反射断面からの地層境界の点の抽出間隔、抽出方法、縮尺 		<ul style="list-style-type: none"> ・デジタル化の方法、座標系、縮尺 ・使用したボーリングデータ (取捨選択した場合、その根拠) ・ボーリングと反射断面の地層の同定根拠、整合性、整合しないところの処理方法 ・反射断面からデジタル化した点の抽出間隔、方法 		必須: デジタル化の方法、座標系、縮尺、使用したボーリングデータ、反射断面からデジタル化した点の抽出間隔、方法 重要: □ボーリングと反射断面の対比根拠、整合性

段階	調査項目、地盤情報の種類、利用方法	(既存データの場合) 出所、フォーマット	課題、目的	品質項目	アウトプットとフォーマット	トレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録	関連する規格、基準類	品質項目やトレーサビリティ確保のための手法、残すべき記録等の重要度、優先度、必須度
	◆ 層序同定 (Ma ナンバー見直し)			<ul style="list-style-type: none"> 火山灰分析結果 オールコアと先端シューサンプルの対比と各種見直し (Ma ナンバー・層序等) の根拠と正当性 	<ul style="list-style-type: none"> 命名を改定した層序図(フォーマット?) 	<ul style="list-style-type: none"> Ma ナンバー改定根拠、改定前と後の対比表 改定前の名称を引き継いでいる観測についての留意点 (沈下予測ソフトでは古い名称を使用していることなど) 		<ul style="list-style-type: none"> 必須: Ma ナンバー改定根拠、改定前と後の対比表
	◇ Ds 層下面等深度線図 (最終的には 3D で表現)		<ul style="list-style-type: none"> 課題の抽出 (設計サイドへの申し送り) 			<ul style="list-style-type: none"> モデル作成範囲、深度、その根拠 (例 沈下を考慮するのは Ds10 までなのでその範囲まで) モデルの元データ (例 面毎に元データの密度がことなること) モデルの作成手順 (計算方法) 等深度線を作成するために使用したボーリングデータと音波トレースデータの位置、アルゴリズム 複数のモデル作成結果 (アルゴリズム) から、成果とした答えを出した根拠。 ★ 空間モデル作成プロセスの明示 (境界面推定方法の選択, 推定パラメータの記録, <u>利用したデータの保存←再現性の確保</u>) ★ 第2次調査の地盤モデルからの改善点とその根拠 作成した地盤モデルの課題 (設計サイドへの申し送り) 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元地質解析マニュアル Ver1.0.1 3次元地質解析技術コンソーシアム,2018. 	<ul style="list-style-type: none"> 必須: モデル作成範囲、深度、モデルの元データ、モデルの作成手順 (計算方法)、等深度線を作成するために使用したボーリングデータと音波トレースデータの位置、アルゴリズム 重要: 作成した地盤モデルの課題
解析モデル、その他						<ul style="list-style-type: none"> モデルの作成手順 (地盤定数の設定方法) 		

巻末-2 基準・規格類における不確実性に係る記述の例—調査密度の目安—

これまで平面図や断面図のような二次元で表現していた地質・地盤モデルを、次元を拡張し三次元で表現するには、本来であれば、調査数量を増やし、基となるデータの密度を増やす必要がある。調査データの密度がかわらないままモデルの次元だけが増えると、補間しなければならない領域が増え、結果として、モデルの不確実性が増加するからである。

この課題に関して、現状の土木分野の基準・規格類に調査密度に関する記述がどの程度あるかを調査した。収集整理した基準・規格の一覧を巻末表 2.1 に示す。該当する記述のあるものは数例に限られた。本節ではそのうちの 3 例について紹介する。

(1) 建築面積に対するボーリング本数の目安

建築基礎設計のための地盤調査計画指針の第 2 版 (1095 制定, 1995 改定)¹⁾と第 3 版 (1985 制定 2009 改定 (第二次))²⁾には、ボーリング調査の本数, 位置, 深さの目安についての記述がある。

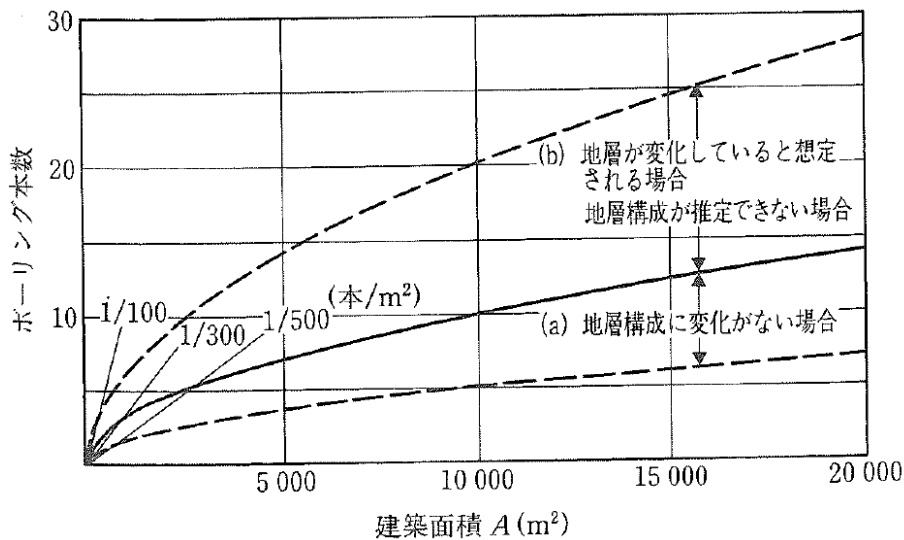


図 1.1 ボーリング本数の目安 (引用: 図 1.7.3²⁾)

ただし、本図 (図 1.1) に対する説明は、第 2 版と第 3 版では全く異なる。第 3 版は、前段の基本事項で地質・地盤条件の複雑さに言及がなされ、より不確実性を意識した記述に改定されている。また、事前調査や追加調査の必要性、サウンディングや物理探査による補間の有効性についても言及している。

表 1.1 第 2 版と第 3 版のボーリング調査の本数に係る記述の違い

第 2 版（1995 年改定） ¹⁾ pp.23-24	第 3 版（2009 改定） ²⁾ pp.22-24
<p>事前調査及び予備調査の結果から、地層に大きな変化が認められない場合、ボーリング本数は図中の(a)の範囲を目安とする。建築面積が小さい場合にはあまり少なくならないように注意する。同図は基礎設計・調査の経験が豊富な技術者の意見をもとに<u>適切なボーリング本数として想定されたものである。</u></p> <p>地層構成が推定できていない場合、地層が変化していると想定される場合は、建築面積に応じて、図中の(b)の範囲を目安とする。</p>	<p>調査本数は、建築物の要求性能および確保すべき安全余裕の信頼性に応じて決定すべきものであるが、建築基礎設計では地盤に関する信頼性を定量的に評価できる段階ではないと判断し、<u>明確な数字は示していない。</u>なお、これまでの実績や最小限の安全性確保の観点からは、事前調査もしくは予備調査の結果に基づいて地層構成の変化を推定した上で、建築面積に応じて範囲を確保するとして、図のような提案もなされており、調査本数を検討するための目安となる。</p>

(2) 河川堤防の調査における調査位置と密度、範囲の目安

国土交通省 河川砂防技術基準 調査編（平成 26 年 4 月） 国土交通省 水管理・国土保全局の第 15 章 土質地質調査 第 2 節 河川堤防の土質地質調査では、河川堤防の新設時の調査における本調査（1 次，2 次）と既設の河川堤防の安全性照査時の調査のそれぞれについて、＜推奨＞として各種調査・試験等の調査位置と調査密度、範囲の目安を示している。基準 p.第 15 章第 2 節-8 の表 15-2-1 に記載の新設時の本調査（第 1 次及び第 2 次）の調査位置、調査密度の目安からボーリング調査とサウンディング調査の個所を表 1.2 に抜粋する。

なお、地盤構成が複雑な場合には調査密度を増やすように、ただし書きがなされている。

また、結果のまとめ方について、ボーリング調査、サウンディング試験及び室内試験の結果を利用して、堤防天端中央付近に沿って 1/100 あるいは 1/200 程度の鉛直方向縮尺の土質縦断図・横断図を作成すると記載されている。

表 1.2 堤防新設時の本調査の調査位置，調査密度の目安（表 15-2-1³⁾ から抜粋）

表15-2-1 本調査（第1次及び第2次）の調査位置、調査密度の目安

調査段階	本調査 (第1次)	本調査(第2次)		
		軟弱地盤調査	液状化地盤調査	透水性地盤調査
ボーリング調査	頻度			
	堤防法線付近に沿って 1個所/200m程度	堤防法線付近に沿って 1個所/100m程度	堤防法線付近に沿って 1横断/100m程度 横断方向 表のり尻1個所 裏のり尻1個所	堤防法線付近に沿って 1横断/100m程度 横断方向 表のり尻1個所 裏のり尻1個所
	深度			
	支持層が確認されるまでとし、一般に計画堤防高の3倍程度まで	堤防の沈下が安定に影響を及ぼすと判断される軟弱層の深さまで	地震時に液状化が想定される層下端の深さまでとし、軟弱層（液状化が想定される層）が厚い場合には、地盤種別の判定ができる深さ25m程度まで	基礎地盤の上面から最低限10m以上、連続した不透水層までまたは20mまで
主目的				
	土層構成の把握（軟弱地盤、液状化が想定される地盤、透水性地盤の把握）、乱れた試料採取	土層構成の把握、乱れた試料採取	土層構成の把握、乱れた試料採取	土層構成の把握、試料採取、現場透水試験実施
サウンディング試験	頻度			
	堤防法線付近に沿って 1個所/50-100m	堤防法線付近に沿って 1横断/20-50m 横断方向に堤防の大きさや地盤の広がりに応じ、 数個所/1横断	堤防法線付近に沿って 1横断/20-50m 横断方向に堤防の大きさや地盤の広がりに応じ、 数個所/1横断	堤防法線付近に沿って 1横断/20-50m 横断方向 数個所/1横断
	深度			
		堤防の沈下や安定に影響を及ぼすと判断される軟弱層の深さまで	液状化が想定される層下端、または地盤種別の判定が可能な層まで	基礎地盤の上面から最低限10m以上、連続した不透水層までまたは20mまで

(3) Eurocode7 Part2における調査間隔・深度の提案例

BS EN 1997-2: 2007 Eurocode 7-Geotechnical design-Part 2: Ground investigation and testing⁵⁾においては、地盤調査および原位置・室内試験に関して、それらの計画から目的、要求事項、結果の評価および利用まで記述がなされ、それらを基に作成する地盤調査報告書(Geotechnical investigation report)についての説明もある。

地盤調査報告書は以下の情報などを含むものとされている。

- 地盤調査の目的と内容，方法，実施期間

- サイトの状況とその地形・地質情報
- 計画構造物と事業段階
- コンサルタントとその下請業者の名前
- サイト付近の踏査結果
- 机上調査結果
- 原位置・室内での調査・試験結果
- 地盤情報の評価（解釈にあたっての仮定も含む）
- （場合によって）地盤定数の設定
- （記述可能であれば）結果の限界
- 今後の調査・試験の提案とそれらの必要性，詳細計画

地盤調査の種類や位置・深度は，事業段階や地質状況，計画構造物，想定される技術的問題などを考慮して決めるように記されている。さらに巻末の参考資料では，調査間隔・深度の提案の例として，以下のような目安が示されている。

【調査地点の配置】

- 高層ビルや産業施設：15～40 m の格子状
- 広範囲に及ぶ構造物：60 m 以下の格子状
- 線状構造物：20～200 m 間隔
- 特別な構造物（橋，山積み，機械基礎など）：各基礎に2～6 地点
- ダムや堰：検討断面沿いに25～75 m 間隔

【調査深度】

構造物基礎（直接基礎，杭基礎）や盛土・切土，線状構造物，トンネル・地下空洞，掘削，止水壁などの対象毎に，調査深度の目安が示されている。盛土・切土と杭基礎の例を次に抜粋する。

盛土・切土

盛土：計画されている盛土天端の横断方向中央直下の地表面から，盛土最大高さ h に対して，調査深度 z_a は $0.8h \sim 1.2h$ （最低 6 m）。

切土：計画されている切土底面の横断方向中央位置から，切土最大高さ h に対して，調査深度 z_a は $0.4h$ 以上（最低 2 m）。

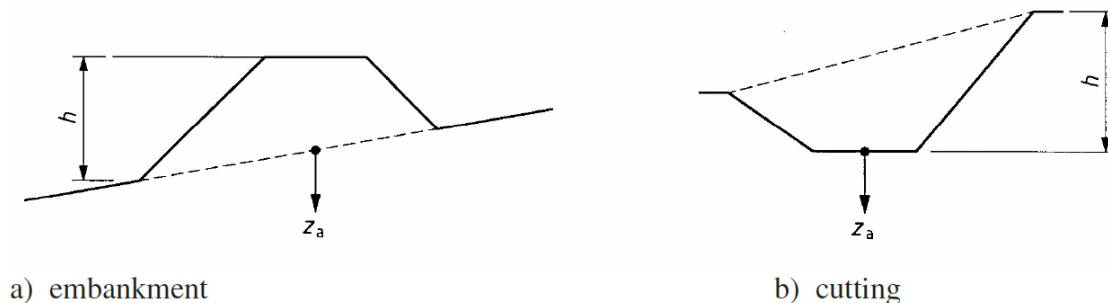


Figure B.2 — Embankments and cuttings

杭基礎

計画杭先端からの調査深度 z_a は，以下の 3 条件を満たす。

- パイルキャップ短辺 b_g 以上
- 5 m 以上
- 杭先端の径 D_F の 3 倍以上

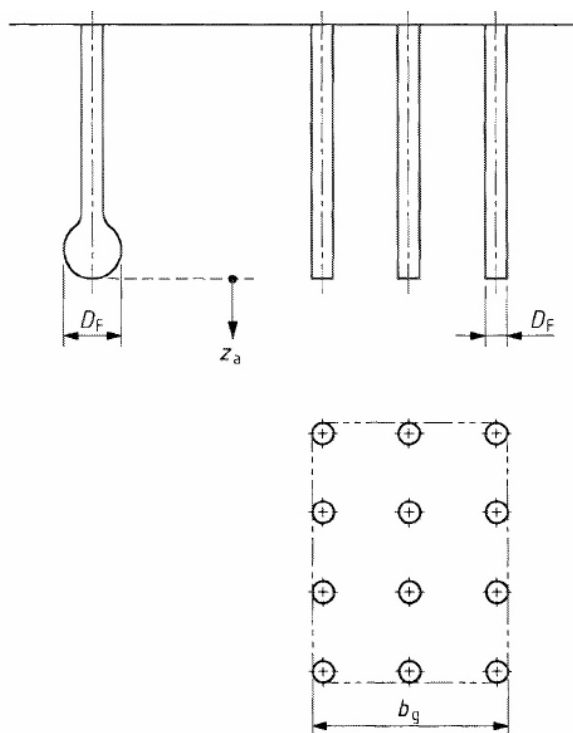


Figure B.7 — Pile groups

<参考文献>

- 1) 建築基礎設計のための地盤調査計指針 第2版(1985制定 1995年改定) 日本建築学会, pp.23-24.
- 2) 建築基礎設計のための地盤調査計指針 第3版(1985制定 2009改定(第二次)) 日本建築学会, pp.22-24.
- 3) 国土交通省 河川砂防技術基準 調査編(平成26年4月) 国土交通省 水管理・国土保全局, pp. 第15章 第2節 -6 - -23.
- 4) BS EN 1997-2: 2007 Eurocode 7-Geotechnical design-Part 2, pp.95-97, pp.104-108.

巻末表 2.1 収集整理した規格、基準、その他資料

分野	タイトル名	発行者	発行年	備考
道路	道路土工構造物基準	(公社)日本道路協会	平成 29 年 03 月	・ 成果の保存に関する記載あり
	道路土工要綱	〃	平成 21 年 06 月	・ 調査方法（予備～詳細の流れ、目的に応じた調査方法の選定） ・ 試験方法（実施位置、深度の考え方）
	道路土工 切土工・斜面安定工指針	〃	平成 21 年 06 月	
	道路土工 カルバート工指針	〃	平成 22 年 03 月	
	道路土工 盛土工指針	〃	平成 22 年 04 月	
	道路土工 擁壁工指針	〃	平成 24 年 07 月	
	道路土工 軟弱地盤対策工指針	〃	平成 24 年 08 月	
	杭基礎設計便覧	〃	平成 27 年 03 月	
	杭基礎施工便覧	〃	平成 27 年 03 月	
	調査要領	(株)東・中・西日本 高速道路	平成 29 年 07 月	・ 調査方法（予備～詳細の流れ、目的に応じた調査方法の選定） ・ 試験方法（実施位置、深度の考え方） ※ボーリング間隔目安の記載あり ・ 成果の体裁に関する記載
鉄道	鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル	(財)鉄道総合技術研 究所	平成 13 年 03 月	・ 調査方法（予備～詳細の流れ、目的に応じた調査方法の選定） ・ 試験方法（実施位置、深度の考え方） ※ボーリング間隔目安の記載あり
	鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル	〃	平成 14 年 12 月	
	鉄道構造物等設計標準・同解説 都市山岳工法トンネル	〃	平成 14 年 03 月	
	鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物	〃	平成 24 年 01 月	
	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物	〃	平成 24 年 01 月	
	鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物（H25 改 編）	〃	平成 25 年 06 月	
	地質調査標準示方書	鉄道運輸機構		
	地質調査標準仕様書	東日本旅客鉄道株式 会社		
河川	国土交通省河川砂防技術基準（案）同解説 調査編	国土交通省 水管理・国土保全局	平成 10 年 03 月	・ 調査方法（予備～詳細の流れ、目的に応じた調査方法の選定） ・ 試験方法（実施位置、深度の考え方） ※ボーリング間隔目安の記載あり ・ 成果の保存に関する記載
建築	建築基礎構造設計指針	(社)日本建築学会	平成 13 年 10 月	・ 調査方法（基本的な考え方）
	建築基礎設計のための地盤調査計指針	〃	1995 年改定 2009 年改定	・ ボーリング本数と建築面積の関係に言及あり
	杭の施工管理における支持層到達の確認方法 （既製コンクリート杭 埋込み工法）	（一社）日本建設業 連合会 （一社）コンクリー トパイル建設技術協 会	平成 29 年 02 月	
他	2016 年度制定 トンネル標準示方書・同解説 【共通編】	(社)土木学会	平成 28 年 08 月	・ 調査方法（予備～詳細の流れ、目的に応じた調査方法の選定） ・ 試験方法（実施位置、深度の考え方） ・ 成果の体裁に関する記載
	2016 年度制定 トンネル標準示方書・同解説 【開削工法】	〃	平成 28 年 09 月	
	2016 年度制定 トンネル標準示方書・同解説 【山岳工法】	〃	平成 28 年 08 月	
	設計要領第三集 トンネル建設編[トンネル本体工]	NEXCO	平成 28 年 8 月	
	道路トンネル観察・計測指針（平成 21 年改訂版）	日本道路協会	平成 21 年 2 月	
	山岳トンネルの調査・設計から施工まで	(社)地盤工学会	平成 19 年 9 月	
	地盤調査の方法と解説	(社)地盤工学会	平成 25 年 03 月	

他	土質試験の方法と解説	(公社)地盤工学会		
	JIS A 0204 : 2019 (地質図—記号, 色, 模様, 用語及び凡例表示)	日本規格協会	2019.3.20	・位置正確度、存在確実度による不確実性の分類
	JIS A 0205 : 2019 (ベクトル数値地質図—品質要求事項及び主題属性コード)	日本規格協会	2019.3.20	
	JIS A 0206 : 2013 (地質図—工学地質図に用いる記号, 色, 模様, 用語及び地層・岩体区分の表示とコード群)	日本規格協会	2013.8.30	
	ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説	一般社団法人全国地質調査業協会連合会、社会基盤情報標準化委員会	平成 27 年 6 月	
	地質・土質調査成果電子納品要領	国土交通省	平成 28 年 10 月	
	CIM 導入ガイドライン (案) 第 1 編 共通編	国土交通省 CIM 導入推進委員会	2019	
	JIS Q 9000:2015 品質マネジメントシステム—基本及び用語	日本規格協会	2015/11/20	
	JIS Z 8103:2019 計測用語	日本規格協会	2019.5.20	
	JGS 1221-2012 固定ピストン式シンウォールサンプラーにおける土試料の採取方法	(公社)地盤工学会	2012	
	地盤情報の公開・二次利用促進のためのガイド	総務省	平成 25 年 6 月	
	新版「物理探査適用の手引き」(—土木物理探査マニュアル 2008—)	物理探査学会	2008	
	3次元地質解析マニュアル Ver1.0.1	3次元地質解析技術コンソーシアム	2018	
	廃棄物処理施設建設に伴う計画、設計、監理委託業務標準仕様書(案)	日本廃棄物コンサルタント協会	平成 3 年 3 月	
	下水道施設設計指針と解説	日本下水道協会	1997	
	水道施設基準解説	日本水道協会		
	水道施設設計指針		2012	
	コンクリート標準示方書	土木学会	2017	
	地すべり対策技術設計実施要領	斜面防災対策技術協会	2007	
	港湾の施設の技術上の基準・同解説(上・下)	日本港湾協会	2018	
	森林整備必携	日本治山治水協会		
	土地改良事業計画設計基準	農業農村工学会	2004	
	設計要領	(株)東・中・西日本高速道路		
	道路橋示方書・同解説	日本道路協会	2017	
	空港土木施設の設置基準解説	港湾空港総合技術センター	2017	
	空港土木施設構造設計要領	港湾空港総合技術センター	2017	
	危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示 昭和四十九年五月一日 自治省告示第九十九号	総務省消防庁	S49 H25 改正	
	危険物規制事務に関する執務資料(屋外タンク貯蔵所及び一般取扱所関係)の送付について	消防庁危険物規制課長	H11.6.15	
	ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示	経済産業省		

LNG 地下式貯槽指針 JGA 指-107-12(2012 版)、 LNG 地上式貯留指針 JGA 指-108-12 (2012 版)	日本ガス協会	2012	
ガス事業法ガス工作物技術基準			
高圧導管指針	日本ガス協会		
大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び 同解説 I 編 変動予測調査 編	国土交通省	2015.5	
Recommendations for RELIABILITY QUANTIFICATION OF THE GEOLOGICAL MODEL IN LARGE CIVIL ENGINEERING PROJECTS	International Association for Engineering Geology and the EnvironmentItalian department	2009	
Guidelines for Preparing, Washington State Geologist Licensing Board	Engineering Geology Reportsin Washington	2006	
OGC Geoscience Markup Language 4.1 (GeoSciML)		2017	
JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement.		2008	
ASTM D7128: Standard Guide for using the Seismic- Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation			
Common InfraBIM requirements YIV2015	buildingSMART FINLAND	2015	
Inframodel4	buildingSMART FINLAND		
Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data, AGS4, Edition 4.0.4 - February 2017	Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists	2017	
BS EN 1997-2:2007 Eurocode 7 -Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing	CEN(European Committee for Standardization)	2007	
EN ISO 710-1 to ISO 710-7 Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross- sections - Part 1 to 7	International Organization for Standardization		
ISO 19115:2014 Geographic information - Metadata	International Organization for Standardization	2003	
ISO 19157:2013 Geographic information - Data quality	International Organization for Standardization	2013	