

土木地質調査の課題と標準化に向けて

日本応用地質学会土木地質研究部会幹事 (株)建設技術研究所 西柳良平

1. はじめに

土木地質調査は国土利用において最も基本的な調査の一つである。しかしその重要性が国土利用の関係者に十分に理解されていないこと、また時には地質技術者自身の技術力不足から、調査量不足や不適切な調査方法および調査結果の解析・評価に起因する建設費用の増大、施工時の事故、構造物の不安定化等のいわゆる地質リスクがしばしば発現している。

このため、日本応用地質学会土木地質研究部会では、当面の主な活動として、土木地質分野において課題が発生した事例を収集・分析することにより、土木地質調査の課題を整理するとともに、改善点を議論することとした。この議論は当研究部会開始以降、数回にわたり行われた。

その後、議論をより具体化するため、ダムワーキンググループ（以下、ダムWG）と課題事例分析ワーキンググループ（以下、課題事例分析WG）の2つのワーキング作業を進めており、この成果は、本シンポジウムの別稿を参照されたい。

2つのWG作業を開始する前の数回の部会における議論は、フリーディスカッションに近い混沌としたものであったが、それ故に土木地質分野の課題を多面的にあげることができたとも考えられる。

そこで本稿では部会開始後初期の議論を多少整理して紹介し、土木地質調査の課題を整理する。また海外での土木地質調査に関するガイドラインを紹介する等して土木地質調査の標準化に向けた提案を行う。

2. 土木地質調査の課題

2.1 土木地質研究部会委員の問題認識

研究部会の活動を開始するにあたり、土木地質の抱える課題は何か、また研究活動においてどのようなことを実施したいか・すべきか議論したところ、実に様々な意見が上がった。その、代表的なものは以下の通りである。

①土木地質調査の役割等に関する意見

- ・安心・安全な社会への土木地質調査の貢献のあり方とはどうあるべきなのか（東日本大震災に関連）。
- ・土木地質調査の役割や枠組はどのようにあるべきか
- ・エンドユーザーが求める地盤・地質情報とは如何なるものか。
- ・土木地質学は暮らしのための学問であるにもかかわらず、一般への普及・理解が進まない。

②構造物毎に実施される土木地質調査に関する意見

- ・ダム等の重要構造物に係る土木地質調査は、事業段

階に応じた調査内容や具体の調査手法等について、体系化したマニュアルや技術指針、書籍等が多数存在し、地質調査の重要性が認識されているようであるが、それ以外の土木構造物に係る地質調査では、その重要性に関する認識が薄いように思える。

- ・土木地質調査では、対象とする構造物の規模や種類により、投入される地質調査量が大きく異なっていることもあり、調査により得られる情報量やそれに応じた精度等を規定するようなマニュアルが整備されていないように思われる。
- ・各種構造物で、必要と考えられる土木地質調査については、項目や数量を標準化することで一次的な地質情報の品質を確保すべきではないか。
- ・ダム事業では、設計段階の直前に既存の調査データを用いた地質総合解析が実施される。この解析は、ダム設計に必要な地質情報を網羅的に洗い出すもので、地質解釈の集大成として整備されるものである。このような解析業務を、ダム以外の土木地質調査（例えばトンネルや地すべり等）でも標準的に実施（標準化）すべきではないか。

③土木地質調査の課題に関する意見

- ・担当する会社（あるいは技術者）が代わると、大幅に地質図が変わることがある。
- ・工事の発注時に、明らかに調査数量が不足していると思われる設計図書が提示されることがある。
- ・工事の発注時に提示される地質図等の設計図書で、時折、露頭や走向・傾斜等の地質情報の記載がないものが提示されることがある。このような地質図では、地質情報の確からしさの判断がつかない。
- ・解釈によってもたらされる地質図等では、解釈のもとになった露頭等の一次的な情報を示す等、その根拠となった事象を確実に整理して示すべきである。
- ・構造物の規模や種類に応じた適切な調査項目が実施されていないことがある。
- ・当初想定されている地質状況と施工時に遭遇する地質状況に大きな違いが生じると施工上のトラブルとなることが多い。

④情報伝達、地質情報の保存、技術伝承に係る意見

- ・事業に携わる発注者や調査者、設計者、施工者間の土木地質的課題に関する情報共有が図られないことに起因するリスクが存在する。
- ・段階的な調査が実施されているにもかかわらず、各段階の地質情報の伝達が確実に実施されていない場合がある。
- ・各調査段階、例えば、概査、精査、設計施工、維持

管理等において実施される土木地質調査で得られる地質情報の繋がりや伝達方法についての明確な基準が整備されていない。

- ・ 構造物の維持管理では、調査時や施工時の地質情報が有用と考えられるが、既往の調査情報が保存されていないケースが多い。
- ・ 土木地質分野に従事する技術者の減少及び技術伝承が大きな課題である。

2.2 土木地質分野の課題事例分析

2.1 に示した土木地質研究部会委員の問題意識をふまえ、部会内にダムWGと課題事例分析WGを立ち上げ、土木地質調査の精度と土木地質分野の課題に関する研究を深化させる活動を行っている。

特に、課題事例分析WGの研究では、土木地質分野における課題発生要因は、表-1に示すように地質構造や地質リスクに伴う認識不足を起因として生じた事例と調査数量が不足していたため適切な地質解釈がなされなかったことに起因して生じた事例が大半を占めていることが解った。

表-1 課題発生要因の大分類¹⁾

大分類	データの個数	
1. 調査不足	70	25.6%
2. 認識不足	121	44.3%
3. 人的要因	27	9.9%
4. 組織的要因	18	6.6%
5. 予測不能	37	13.6%
計	273	100.0%

また、図-1に示すように課題が顕在化したタイミングは、施工中が最も多く、このことは、計画から施工直前まで実施された土木地質調査において、施工に影響を及ぼすだけの地質リスクを把握できなかったことを裏付けている。すなわち、施工前における調査データが量・質的にも十分でなかったか、あるいは調査データを用いた土木地質図や断面図、調査報告書等の土木地質的解釈が適切でなかったために、設計で利用された地質情報の品質に問題があったことを示唆している。

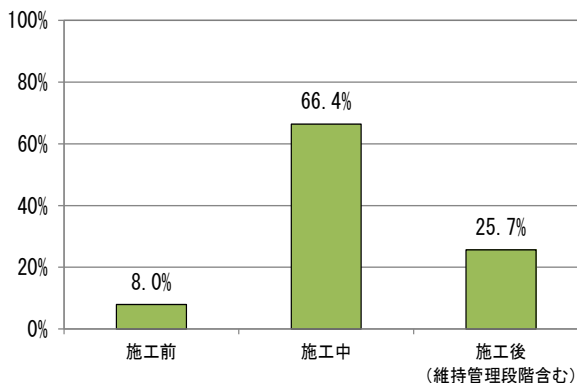


図-1 課題が顕在化したタイミング¹⁾

2.3 土木地質調査の課題のまとめと学会提言

土木地質分野の課題は、ほとんどが、その根幹に地質の持つ不確実性という特徴に起因するものである。

なお、設計施工に活用される多くの地質情報は、各種の調査データをもとに解釈されたものである。そのため、情報の持つ不確実性の程度や品質の良し悪しは、使用された一次的な調査データの品質に大きく依存する。また、解釈にあつては、技術者の経験や知識レベル等、技能の差によるところも大きく、これらの違いにより品質にばらつきを生じることになる。その意味で、土木地質技術者は、経験や自己研鑽を通じた知識レベルの向上が求められるし、これらの知識を他の技術者あるいは関連する他分野の技術者と共有することで、高めることが求められる。

構造物に係る土木地質調査の目的は、地質の有する不確実性を低減するために実施され、同時に調査後に残る不確実性の程度を明らかにすることである。また、事業者や設計者、施工者との協議を通して、残存する不確実性の程度が許容できるレベルであるのか、あるいは許容できないレベルであるのかということを追加調査の必要性も含めて議論することが重要である。

上記より、土木構造物に係る土木地質調査では、下記の視点が重要である。

- ① 目的に適した調査内容、手法が行われているか
- ② 地質体に応じて適切な土木地質的解釈が行えるだけの十分な調査数量が確保されているか
- ③ 調査により得られた調査データの品質は適切に評価されているか
- ④ 調査データに基づく土木地質的解釈（工学的情報）は妥当であるか
- ⑤ 不確実性に関する認識が、関係者間で共有されているか
- ⑥ 不確実性が設計・施工で許容できる範囲まで低減されているか（追加調査の必要性はどうか）

なお、土木地質調査の成果は、調査結果より想定した地質状況と施工で確認される実際の地質状況を比較、検証することによって、はじめてその品質を評価することが可能になることから、施工時に実施される検証を目的とした土木地質調査は重要である。

なお、委員会で議論された問題意識や土木地質分野の課題の一部については、土木地質研究部会が主体となって作成した、「震災後の国民のための日本応用地質学会の3つの方針と提言」(http://www.jseg.or.jp/00-about/pdf/140430_teigen.pdf)に含められた。

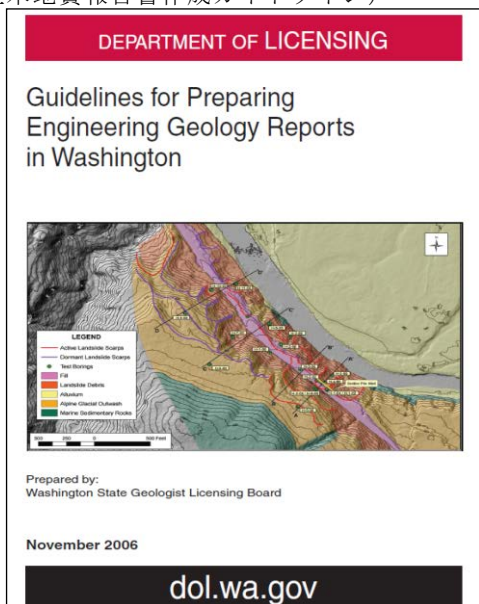
具体的には、「提言 2: 公共事業プロセスの改善」における関連業界と連携した公共プロセスにおける地質リスク評価導入方法の提案や「提言 18: 地質調査の適切な質・量の確保と地形・地質調査技術の体系化」といった提言が学会提言として採択されている。

3. 土木地質調査の標準化に向けて

3.1 海外のガイドライン事例

地質の有する不確実性をふまえると、構造物の設計施工に用いられる土木地質図（地質モデル）等の解釈を伴う地質情報に関しては、品質を証明する基準等が必要ではないかと思われる。このような事例について、多少調査を行ったところ、海外でいくつかの事例があったので、紹介する。

① Guidelines for Preparing Engineering Geology Reports in Washington⁵⁾ (ワシントン州における土木地質報告書作成ガイドライン)



本ガイドラインは、報告書の品質を高め一貫性を持たせることを目的としており、土木地質調査により得られた調査データをもとに報告書を作成する際の留意点あるいは記述すべき情報や内容について整理されている。本文中には、報告書で取り扱う地質情報の種類（例えば、直接観察された情報なのか、間接的に得られた情報なのか、既存情報であるのか、解釈であるのか等）を明確に区分することや、情報の信頼性や不確実性を表現することの重要性について記されている。また、全体的な内容として、特に地質調査における技術的な内容が含まれているわけではなく、不確実性を伴う地質情報を取り扱う際の心構えあるいは啓蒙的な内容となっている。

② RELIABILITY QUANTIFICATION OF THE GEOLOGICAL MODEL IN LARGE CIVIL ENGINEERING PROJECTS⁶⁾ (大規模土木事業における地質モデル信頼性に係る定量化)

本文は、2009年IAEGイタリア会議の承認文書で、地質モデルの持つ確実性・不確実性をより定量化して示す手法について記載されたガイドライン的なものである。本文には、報告書で取り扱う情報精度の定義、例えば、地質モデルでは“事実”と“解釈”を区別して表現し、直接的なデータに関しても精度の評価（例え

ば、ボーリングコアでは、採取されたコアの状態による精度区分）についても明記する等の内容が盛り込まれている。また、調査手法の章で触れられている内容では、物理探査は、コスト面と時間の節約に繋がる非常に有益な調査であるが、複雑な地質状況で得られる探査データの解釈は、ボーリング等の直接的な調査で検証し、情報精度を確保（間接的調査と直接的調査の併用による不確実性への対応）するよう求めている。さらに、調査データの解釈に基づく地質モデルについては、調査データの情報精度や異なる概念に応じて、複数案の提示、根拠としたデータの明記（情報の保存）等についての内容が記載されている。

海外におけるこのような地質情報の品質確保に関するガイドラインは、紹介したもの以外にも多数存在し、様々な議論がなされているようである。一方、日本では、これに相当するガイドラインが存在しないわけではないが、国内の公共事業に携わる土木地質技術者へは、このような考え方があまり普及している感がない。

その理由について考察すると、発注形態あるいは大規模土木構造物建設発注時における契約形態の違いによるところが大きいのではないかと考えられる。海外における大規模土木構造物の建設に係る契約では、設計変更により生じるコストについて、変更しなければならない理由に応じて事業者・受注者のいずれが負担するのか、あるいはどの程度の比率で折半するかが協議により決定される。特に大規模土木構造物では、基礎条件の違いにより僅かな構造物の形状変更が大幅な事業費の増大を招く場合もあり、例えば、その理由が不確実性を伴う地質情報にあった場合は、設計図書として提供されている地質情報に、そのことが事前に説明されているのか、あるいは想定外の地質的イベントであるのかによって、コスト負担割合に大きく影響するようである。したがって、設計図書として提供された地質情報の信頼性の程度について、より明確に、より定量的に評価することの重要性が認識され、不確実性を伴う地質情報の信頼性を定量化する取り組みが活発に議論されるのではないかと思われる。一方、日本では、建設工事中に生じる想定外の地質的イベントで生じた設計変更の費用は、ほぼすべてを事業者が負担することから、このような意識の醸成がなされていない結果ではないかと考えられる。

なお、近い将来において国内の技術者も海外で活躍することが期待されていることをふまえると、土木地質の有する不確実性を定量化する、あるいは土木地質図等の品質確保・保証に関する内容、あるいは土木地質技術者の役割等について明記したガイドラインの整備が望まれる。

3.2 日本の土木地質調査関係要領の事例

国内における基準や指針等にも海外事例と類似した書籍がある。例えば、地盤工学会や全国地質調査業協

会では、地盤・地質調査全般に係わる役割や位置付け、目的等について記載された書籍⁷⁾⁸⁾があり、地盤・地質調査の意義を明確化している。また、ダムやトンネル等の土木構造物に的を絞った調査や検討方法、個別の調査や試験方法等を示した技術指針は多数存在し、土地地質調査により得られる調査データの品質確保や工学情報としての活用方法に関して大きな役割を果たしている。

ただし、これらの書籍は、社会一般に広く周知されるような内容ではなく、どちらかという土木や工学、地質分野等の関連分野の専門書に近い内容である。

3.3 土地地質調査の標準化に関するまとめ

土地地質調査では、地質の有する不確実性の理解や対処が重要になるが、そこに携わる土地地質技術者は、地質の有する不確実な情報を土木分野に活用できる情報へと通訳する役割を果たすことの重要性を認識する必要がある。さらに、土地地質調査はインフラ整備に係わる社会に密着したものであることを考えると、関係する専門家だけでなく、社会一般にも土地地質調査の意義を広く理解されるような内容でなければならない。そのためには、不確実性を伴う地質情報の精度や品質確保、品質保証のあり方について標準化し、情報の透明性を確保する必要があると考える。

4. まとめ

土地地質調査の有する多面的な課題や国内外における地質情報の取り扱い（ガイドライン）等をふまえ、各段階における土地地質調査の留意点について以下に整理した。

① 土地地質調査の計画段階

- ・調査目的の明確化（主目的とこれを達成するための従目的の明確化等）。
- ・地質の複雑性の理解・共有（地質に応じたリスクの棚卸しと共有）。
- ・各調査手法の精度や利点欠点の理解と共有。
- ・地質の成り立ちを理解し目的に適した正確な地質図を作成するための適切な調査計画の立案（内容、仕様、数量、調査構成、配置等、各種調査法の最適な組み合わせ）。

② 土地地質調査の調査実施段階

- ・調査関係者間（発注者、地質技術者、物理探査技術者等）の課題に関する共通理解。
- ・地質構造等、複数の解釈が可能な場合、これを明確にするための工夫や追加調査の検討。
- ・地質解釈や適切な工学的物性（弱部等も含め）の推定が可能となる土地地質分類の設定。

③ 土地地質調査の調査後整理段階

- ・評価された適切な地質情報を用いた地質解釈（地質の成り立ち等の考慮）による地質図の作成。
- ・地質図の精度の表現と伝達（不確実性、リスク）。

- ・地質図から物性分布図への変換方法と誤差要因の検討。
- ・物性分布図の精度の表現と理解（不確実性、リスク）。
- ・課題となる不確実性の評価と追加調査の検討（残存するリスクとその対応方法等）および共有。

④ 土木構造物の施工段階

- ・地質解釈の検証を目的とした施工管理、調査。
- ・維持管理に向けた地質情報の保存。

土地地質調査は、地質学の知識を用いて不確実性を有する地質情報を解釈し、これらの情報を強度や透水性等の土木分野で活用できる情報と関連付けて提供する、いわば地質学と土木工学の橋渡しの役割を主に担ってきた。また、一方では地質と関連性の強い防災分野や環境保全分野における役割も重要度を増している。

このような背景をふまえ、土地地質研究部会では、土地地質調査全般に関する様々な課題、不確実性を有する地質情報の精度検証に関する研究を進め、社会一般にも広く理解される土地地質調査のあり方や標準化に向けた研究活動を継続していく計画である。

引用文献

- 1) 長谷川怜思, 日本応用地質学会土地地質研究部会 (2013) : 事例収集に基づく土地地質分野における現状と課題, 日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, pp. 99-100.

参考文献

- 2) 日本応用地質学会土地地質研究部会ダムワーキング (2014) : ダム基礎掘削面における地質タイプ別の地質図の一致率と調査密度, 日本応用地質学会平成 26 年度研究発表会講演論文集, pp. 189-190.
- 3) 日本応用地質学会土地地質研究部会課題事例分析ワーキング (2014) : 山岳トンネルの調査段階における地質調査数量の現状と課題について. 日本応用地質学会平成 26 年度研究発表会講演論文集, pp. 259-260.
- 4) 佐々木靖人, 松尾達也, 日本応用地質学会土地地質研究部会 (2013) : 東日本大震災をふまえた土地地質学の課題と提言, 日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, pp. 97-98.
- 5) Washington State Geologist Licensing Board (2006) : Guidelines for Preparing Engineering Geology Reports in Washington
- 6) Document approved by the board of direction of the IAEG Italian Group (2009) : RELIABILITY QUANTIFICATION OF THE GEOLOGICAL MODEL IN LARGE CIVIL ENGINEERING PROJECTS
- 7) 公益法人地盤工学会 (2013) : 地盤調査の方法と解説—二分冊の 1—.
- 8) 社団法人 全国地質調査業協会連合会 (2009) : 改訂 地質調査要領.