

「地質調査要領」を紐解くー

第4編 河川堤防・河川構造物の地質調査



川崎地質(株) 太田 史朗

本講座は、(社)全国地質調査業協会連合会「地質調査要領」(2003年発刊、2009年改訂(財)経済調査会)の内容を紹介する目的で第47号から連載を開始した。4編目を迎える今号では、河川堤防・河川構造物の地質調査について紐解いてみる。

1. 河川堤防を対象とした調査

(1) 調査目的

1) 調査目的・求める地盤情報・土質定数

河川堤防は洪水時に河川水の流出を防止するために河川沿いに築造される土構造物(盛土)であり、地盤条件や施工条件に応じて、次の内容の調査が実施される。

- ① 軟弱地盤の調査
- ② 透水性地盤の調査(耐浸透調査)
- ③ 液状化地盤の調査(耐震調査)
- ④ 堤体材料の調査

近年では、新設の堤防が少なく、既設堤防を対象とした質的強化対策や維持管理に関する調査に重点が移っているが、内容は大きく変わらない。

次に、各調査目的の背景を要約した。

① 軟弱地盤調査

軟弱地盤上に築堤する場合は、すべり破壊が発生し施工が困難になったり、対策を講じて築堤が完了しても、軟弱層の圧密沈下により堤防高不足の恐れがある。したがって、地質調査を行い地盤状況に応じた適切な施工方法を検討する。

② 透水性地盤の調査(耐浸透調査)

洪水時の河川水位上昇に伴い、堤体内水位の上昇による堤体すべりや基礎地盤のパイピングが発生し、破堤に至る危険性があることから、地質調査ならびに安全性照査を行い、必要に応じて堤防強化対策の検討を行う。

③ 液状化地盤の調査(耐震調査)

地下水位以下に分布する緩い砂層は、地

震時に液状化が発生し、液状化に伴う地盤の側方流動などで、堤体の沈下が生ずることがある。その結果、特に河川の下流区間では、堤防高が潮位や津波の影響で上昇した河川水位より低くなり、浸水被害のリスクが増加する。これら一連の被害予防や対策検討において地質調査が必要である。

④ 堤体材料の調査

主に堤体材料の締固め特性、強度特性、透水性を把握し、堤防の断面形や構造を決定する目的で実施される。従来、築堤材料は主に土取場から難透水性の材料を確保するのが一般的であったが、近年ではリサイクルの観点から、河道掘削土を適切な粒度組成や含水比に改善して堤体材料に流用する事例も増えており、綿密な調査を要する。要領には記載されていないが、堤防の設計施工において必要不可欠な調査である。

以上、堤防の設計・施工における各種検討項目ならびに検討に必要な地盤情報・土質定数を表-1.1示にした。

表-1.1 求める地盤情報・土質定数(堤防)

すべり破壊の検討 (軟弱地盤調査)	地盤の成層状態、N値、 地盤強度、単位体積重量
圧密沈下の検討 (軟弱地盤調査)	地盤の成層状態、圧密特性、 単位体積重量
透水性地盤の検討 (耐浸透調査)	地盤の成層状態、透水性、間隙水圧、 堤体の構造(築堤履歴)・強度・透水性、
液状化の検討 (耐震調査)	地下水位、N値、粒度特性、 塑性指数、単位体積重量 堤体の変形係数(剛性)
堤体材料の検討 (盛土材料調査)	締固め特性、強度(c、φ)、透水 係数、コーン指数

2) 留意すべき地盤に関する課題

次に、堤防の設計・施工において留意すべき地盤に関する課題を、項目毎に整理した。

①計画対象地域の地形・地質的特徴

i) 軟弱地盤の存在する場所

- ・平坦な湿地帯、湿田帯
- ・台地や丘陵地に平坦な水田が入組む地域
- ・自然堤防や海岸、砂丘などの後背地
- ・既往資料で軟弱地盤が確認される地域

ii) 透水性地盤の存在する場所

- ・扇状地、自然堤防、三角州地域
- ・旧河道の締切り箇所
- ・洪水時の河川水位の上昇により堤内地に湧水又は地下水上昇が認められる箇所
- ・既往資料から砂礫層などの透水地盤が確認されている地域、漏水などの被災箇所

②堤体のすべり破壊

- ・軟弱な基礎地盤の分布
- ・締固め不十分又は空隙の多い堤体盛土では、降雨や浸水時の強度低下が大きい
- ・浸透が問題となる堤体の土質構成

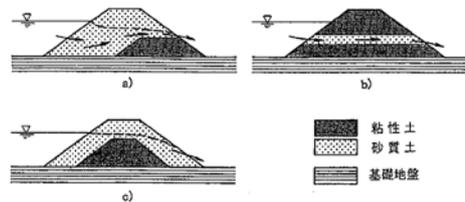


図-1.2 浸透が問題となる堤体の土質構成 1)

③基礎地盤の圧密沈下

- ・軟弱地盤の分布や地下水汲上げによる広域沈下が、堤防高不足を発生させる。
- ・杭基礎構造物の周辺が空洞化して、水みちとなり、漏水の危険性が生ずる。

④透水性地盤について

- ・基礎地盤のパイピングによる破壊
- ・湧水による堤体湿潤化とすべり破壊

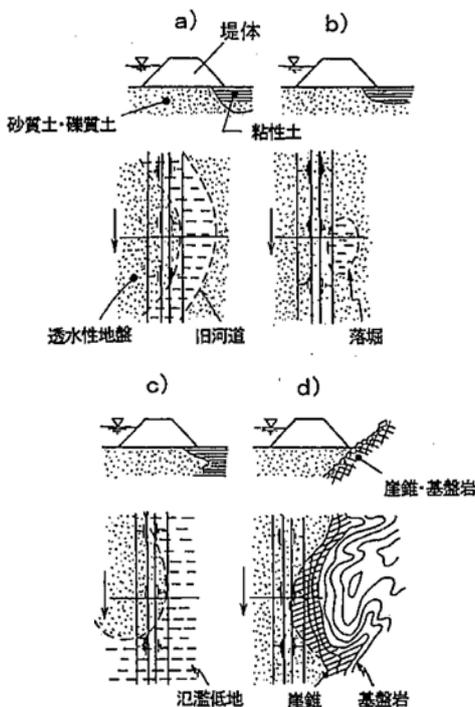
⑤基礎地盤の地震時液状化

- ・緩い砂層の分布、既往の被災履歴の有無
- ・堤体のすべり破壊や沈下、側方流動
- ・変形・クラック発生に伴う堤体内の弱部（水みち）発生

3) 環境に対する配慮事項

堤防の設計・施工における環境への配慮事項として、次に示す内容があげられる。

- ・軟弱地盤上の堤体築造により周辺地盤に側方変位や引込み沈下等の影響が発生する。
- ・透水性地盤に浸透対策として止水矢板を打設する場合に、止水矢板が地下水流動を阻害し、堤内地盤の地下水が上昇し湿潤化が発生したり、逆に、地下水が低下して井戸などが枯渇したりする。



	堤外側の地形	堤内側の地形
a	旧河道・自然堤防・旧川微高地	埋積された旧河道
b	旧河道・自然堤防・旧川微高地	落堀(破堤跡)
c	旧河道・自然堤防・旧川微高地	氾濫平野
d	河床・自然堤防	崖錐・基盤岩

図-1.1 浸透が問題となる地形と土質状況¹⁾

(2) 調査計画

1) 調査すべき項目と調査手法

河川堤防の設計施工に先立ち、治水地形分類図や既存調査資料の分析を行い、軟弱地盤及び透水性地盤の判定を行う。なお、既往データが無く判定困難の場合は、代表箇所にてボーリング調査やサウンディング調査を行うことが望ましい。

①軟弱地盤の判定

・粘土地盤の場合

・N 値が3 以下の地盤
・オランダ式二重管コーン貫入値 qc=300kN/m ² 以下の地盤
・スウェーデン式サウンディング試験で 1kN 以下の荷重で沈下する地盤
・一軸圧縮強さ qu=60kN/m ² 以下の地盤
・自然含水比が 40 % 以上の沖積粘土地盤

・砂地盤の場合

・N 値が 10 以下の地盤
・粒径のそろった細砂の地盤

ii) 透水性地盤の判定

・表層が砂礫または粗砂の地盤
・不透水性の薄い表層の下位に連続した砂礫層または粗砂層が存在

軟弱地盤あるいは透水性地盤と判定された場合には詳細調査を行い、設計、施工上遺漏のないようにしておく必要がある。

次に、河川堤防の設計・施工に必要な検討項目毎に、必要な地盤情報と調査・試験方法について示す。

②堤体のすべり破壊

③基礎地盤の圧密沈下

軟弱地盤上に盛土を行う場合の検討項目は、本誌第 49 号「盛土構造物の地質調査」に記述されている。本号では、河川水の浸透に起因する堤体すべりを対象として、④に調査方法を要約した。

④透水性地盤の検討、堤体材料調査

透水性地盤では、堤体のすべり破壊と基礎地盤のパイピングについて浸透流解析と安定解析に基づき、安定性を照査する。

このため、堤体、地盤のモデル化を行うためのボーリング調査や強度・透水試験が必要となる。更に、新設堤防では締固め管理や施工性把握のための試験が必要となる。

河川堤防構造検討の手引き¹⁾ならびに河川土工マニュアル²⁾の内容も反映した調査手法を表-1.2 にまとめた。

表-1.2 透水性地盤の検討に必要な調査手法

検討に必要な情報		必要な調査・試験
基礎地盤	地盤の成層状態	ボーリング、物理探査 サウンディング
	地盤強度	標準貫入試験(粗粒土) サンプリング、湿潤密度試験、 力学試験(粘性土)
	透水係数	粒度試験、現場透水試験 室内透水試験(地下水位以浅の 地盤)
	地下水位の分布	ボーリング、周辺井戸調査
堤体	堤体の成層状態	ボーリング、物理探査
	強度・透水係数	サンプリング、湿潤密度試験、 せん断試験、室内透水試験、粒 度試験
	強度・透水係数 (新設堤防)	粒度試験、締固め試験、せん断 試験、室内透水試験、コーン指 数試験

⑤液状化の検討

液状化検討は、河川構造物の耐震性能照査³⁾の一環として、潮位変動や津波遡上の影響を強く受け、液状化に伴う堤防の沈下により浸水被害が懸念される区間で実施する。

液状化による堤防の沈下量は、液状化判定と静的変形解析を組合せて算出するため、表-1.3 に示すように、液状化判定用の調査項目に加え、変形解析を行うた

めの調査項目を必要とする。なお、耐震性能照査に必要な調査項目は、透水性地盤調査の項目と重複するため、既存データを活用することで効果的な調査が行える。

表 -1.3 液状化地盤の検討に必要な調査手法

検討に必要な情報		必要な調査・試験
液状化の検討	地盤の成層状態 N 値	ボーリング、物理探査 標準貫入試験
	地下水位の分布	ボーリング
	粒度特性	粒度試験
	塑性指数	液性限界・塑性限界試験
	単位体積重量	一般値、湿潤密度試験
FL法	液状化強度	N値、粒度から推定 (液状化強度試験)
	弾性波速度	N値から推定 (PS 検層)
変形解析	地層の成層状態特 に地盤傾斜	ボーリング サウンディング
	単位体積重量	湿潤密度試験
	変形係数	N値から推定 (PS 検層、孔内水平載荷試験、 室内力学試験)

() : 一般値が適用困難あるいは重要構造物の近接箇所等、精度が要求される場合の方法

2) 調査手法の合理的な組合せによる調査計画

河川砂防技術基準(案)⁴⁾では、地質調査の進め方として、①予備調査及び現地踏査、②概略調査、③軟弱地盤や透水性地盤の詳細調査の各段階を示し、ボーリング調査間隔は概略調査で1箇所/200m、詳細調査では1箇所/100mを推奨している。この概念に基づき、堤防点検などの実務では、次の内容で合理的な調査を進めている¹⁾。

①予備調査

- ・対象区間を、地形、地盤、築堤履歴、変状有無などを踏まえた一連区間に区分
- ・区間毎に危険度評価を行い調査間隔を決定

表 -1.4 耐浸透調査における調査頻度¹⁾

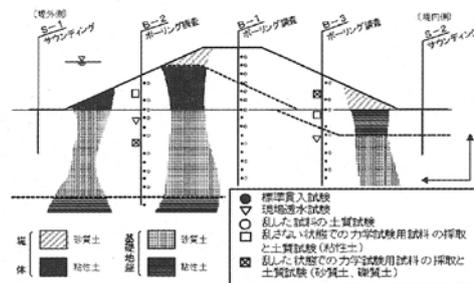
安全性の概略評価ランク		調査地点の間隔
A	相対的に安全性が高い	最低でも 1断面/2km
B	相対的に安全性がやや高い	
C	相対的に安全性がやや低い	最低でも
D	相対的に安全性が低い	1断面/1km

②概略調査

- ・縦断方向の代表箇所、ボーリング調査、サウンディング調査などを組合せて、堤体構造や地盤状況を把握する。
- ・堤体構造や強度分布が複雑な場合は、物理探査を併用して延長方向の調査を行う。

③詳細調査

- ・概略調査結果を踏まえ、相対的に危険な箇所を選定し横断方向の調査を行う。
- ・横断方向の調査は、ボーリング2～3本を基本とし、堤防の断面規模や築堤履歴に応じて決定する。
- ・調査深度は原地盤から20mを上限とし、難透水層の分布状況に応じて決定する。



横断方向の調査は3箇所のボーリングと法尻部でのサウンディング調査が基本であるが、築堤履歴が単純又は新設堤防の場合は、ボーリング調査を減じてサウンディングで代用するなどして、合理的な調査遂行に努める必要がある。

また、新設堤防では、採取予定あるいは残土受入予定(建設発生土)の土を対

象に、締固め試験、せん断試験、透水試験の各試験を行い、現場で確実に確保できる物性値を把握し、堤防の断面設計に反映させることが、堤防の安全性向上や施工の合理化の観点で望ましいと考えられる。

2. 河川構造物を対象とした調査

(1) 調査目的

1) 調査目的・求める地盤情報・土質定数

河川構造物には、堰、樋門・樋管、水門などがあり、設計施工に際しては、次に示す各構造物の特徴を踏まえて地質調査を行う。

①堰：河道を横断して設けられる構造物

- ・目的：取水、分流、潮止めなど
- ・特徴：固定堰、可道堰、両者の複合構造河川を横断して河床部に設置
→ 河川横断方向の地盤状況把握が重要



写真-1 堰の事例（鳴瀬川）

②樋門・樋管：堤防を横断する管渠構造物

- ・目的：取水、排水、本川からの逆流防止
- ・特徴：一時的に堤防を掘削して設置されることが多く、比較的小規模。
→ 調査は限定した地点で実施



写真-2 樋門の事例（北上川）

③水門：堤防を分断するが、ゲートを有し、一連の堤防機能を確保出来る構造。

- ・目的：河口部の高潮の影響軽減、支川合流部の本川背水の影響軽減、舟運
- ・特徴：樋門、樋管より規模が大きい
→ 確実な支持層選定を要する。



写真-2 水門の事例（北上川）

河川構造物では、構造物の種類によって、基礎の考え方が異なる。堰及び水門では橋梁・高架構造物と同様に基礎の沈下を許容しない「剛支持基礎」が基本であるが、樋門・樋管では、沈下を許容する「柔支持基礎」が基本であり、空洞化の要因になる杭基礎は現在では原則として採用出来ない。

柔支持（柔構造）基礎では、通常、残留沈下30cmを許容限度（キャンバー盛土併用の場合は50cm）として、許容限度以下の場合は無処理、それ以上の場合にはプレロード工法や地盤改良との併用を要する⁵⁾。

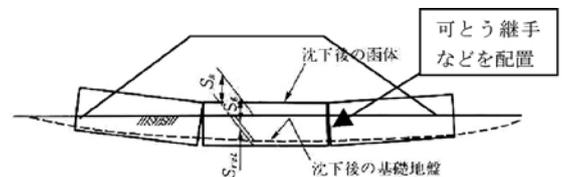


図-2.1 柔支持基礎の概念図⁵⁾

堰・水門の調査内容は、橋梁・高架橋に準ずるものとし、表-2.1には、「柔支持基礎」の樋門・樋管を対象として、設計施工に必要な地盤情報・土質定数を示した。

表-2.1 求める地盤情報・土質定数(樋門・樋管)

地盤支持力の検討	地盤の成層状態、N値、地盤強度
残留沈下量の検討	地盤の成層状態、圧密特性、単位体積重量
構造物周辺の透水性	透水係数、間隙水圧

2) 留意すべき地盤に関する課題

樋門・樋管の設計・施工で留意すべき地盤に関する課題には、次の項目がある。

①基礎地盤の支持力・変形性

- ・長期的に圧密沈下が問題にならない地盤
 - 支持力・変形量の照査を行った上で、直接基礎とする。
 - 設計で考慮する即時沈下量(弾性変形)を適切に算出するために、横断方向の地層の成層状態と強度の把握が重要。

②残留沈下量について

- ・長期的に圧密沈下が問題となる地盤
 - 柔構造基礎(柔支持基礎)とする。
- ・長期間継続する基礎地盤の残留沈下
 - 本体の変位・断面力への影響大。地盤改良併用などで、残留沈下量を一定値以下に低減する必要がある。

③構造物周辺の透水性地盤

- ・樋門樋管構造物周辺に透水性地盤分布
 - 漏水やパイピングが懸念されるため、基礎底面下や側面に遮水工を設置。

3) 環境に対する配慮事項

- ・構造物施工(開削)時の地下水汲み上げや矢板の打設が、周辺地盤や地下水利用

- に与える影響について配慮を要する。
- ・ボーリング調査孔の適切な充填

(2) 調査計画

1) 調査すべき項目と調査手法

樋門・樋管は、既設堤防を開削して設置される場合が多いため、仮設構造物の設計も考慮して調査計画を立案することが重要である。

次に各検討項目毎に、求めるべき地盤情報と必要な調査・試験項目を示す。

①基礎地盤の支持力と変形

圧密が問題とならない地盤(既設堤防の開削など)では、支持力と変形量の照査を行った上で直接基礎とする。構造設計では即時沈下量の横断分布が重要であり、地盤の成層状態や強度分布を精度よく把握する必要がある。

表-2.2 支持力と変形の検討に必要な調査手法

検討に必要な情報		必要な調査・試験
支持力・変形の検討	地盤の成層状態	ボーリング、サウンディング
	地盤強度 変形係数	標準貫入試験、孔内水平載荷試験、サンプリング及び土の一軸又は三軸圧縮試験(UU)
	粒度特性 (液状化判定)	一連の物理試験
	単位体積重量	一般値、湿潤密度試験

②残留沈下

基礎構造の選定や地盤対策工の検討を行うためには、堤防新設による圧密沈下量あるいは既設堤防下での現況の圧密状態を把握した上で、構造物施工後に発生する残留沈下量を予測する必要がある。

表-2.3 残留沈下の検討に必要な調査手法

検討に必要な情報		必要な調査・試験
残留沈下の検討	地盤の成層状態	ボーリング、サウンディング 標準貫入試験
	現在の圧密状態 圧密特性	サンプリング、土の圧密試験 間隙水圧測定
	単位体積重量	一般値、湿潤密度試験

③ 構造物周辺の透水性地盤

構造物周辺に砂礫層や粗砂層で構成される透水性地盤が分布する場合は、河川水の浸透やパイピングが問題となるため遮水工の設置を検討する。表-2.4に必要な調査方法を示す。

新設構造物の場合は、支持層の調査と併せて粒度試験を行い、遮水工の仕様を決定するのが一般的である。

ボーリングや現場透水試験などの詳細調査は、設置年度が古く適切な遮水構造を有していない既存施設に対して、対策工設計（遮水工の設置やグラウト）を行う場合に実施される。なお、既設構造物下の空洞や水みちの連続性や平面分布を調査する場合は、地中レーダー探査や連通試験等の方法も効果的である。

表-2.4 透水性地盤の検討に必要な調査手法

検討に必要な情報		必要な調査・試験
透水性地盤の検討	地盤の成層状態	ボーリング、サウンディング 標準貫入試験
	N値	サンプリング、土の圧密試験 間隙水圧測定
	透水係数	現場透水試験
	粒度塑性	粒度試験
	地下水位の分布	ボーリング、周辺井戸調査

2) 調査手法の合理的な組合せによる調査計画

河川砂防技術基準（案）⁴⁾では、河川構造物を新設する場合の地質調査の進め方として、建設地点の選定あるいは概略設計のための予備調査と、実施設計のための調査が本調査に区分している。ここでは、建設地点が決まったあとの本調査について述べる。

① 調査地点

堰や水門などは、原則として独立した

基礎1基毎にボーリング調査を行うが、幅5m以下の1連からなる樋門・樋管では、管軸に沿う2～3点の調査で代表出来る。

樋門樋管の設計指針である「柔構造樋門設計の手引き」⁵⁾では、横断方向3箇所以上行うことを基本とし、成層状態が明らかな場合には、ボーリングを減らしてサウンディングを併用しても良いと記載されている。

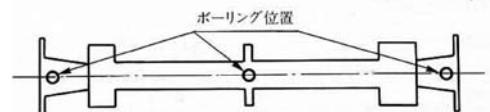


図-2.1 ボーリング地点の配置⁵⁾

なお、既設構造物を開削したり腹付盛土を併用して樋門・樋管を構築する場合は、横断方向で地盤強度や圧密特性が変化し即時沈下量や圧密沈下量の算定に多大な影響を及ぼす。したがって、上記の記載によらず適切な位置において調査を行う必要がある。

② 調査深度

「柔構造樋門設計の手引き」⁵⁾による調査深度は、支持層の目安を参考に表-2.5に示した。

表-2.5 調査深度の目安（樋門・樋管）

地盤の種類	調査終了の目安
砂層、砂礫層	N値30以上で3～5mの層厚が連続している。
粘性土	N値20以上で3～5mの層厚が連続している。

なお、砂礫層については礫あたりによる過大N値が懸念されるため、慎重に調査深度を決定する必要がある。また、支持層が沖積層となる場合は、軟弱層の有無や耐震基盤の深度を把握する意味で、

.....

代表箇所にて沖積層全層の調査を行うことが望ましい。

③原位置試験ならびに室内試験の頻度

試験頻度は、最低でも各層1回（試料）とし、層厚が厚い場合は、深度方向の強度増加や圧密特性の相違を設計に反映させるため、3～5 mに1回（試料）の割合で実施する。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、2002
- 2) (財)国土技術研究センター：河川土工マニュアル、2009
- 3) 国土交通省河川局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説、2007
- 4) 建設省河川局監修：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説調査編、1997
- 5) (財)国土技術研究センター：柔構造樋門設計の手引き、1998

ボーリングコア観察におけるすべり面の認定指標について

川崎地質（株）

○原 勝宏／榊原 信夫／三川 憲一／福山 博

1. はじめに

地すべり土塊の下底面を規定するすべり面は、一般的に地層境界や変質などに起因して形成された粘性土層であり、流れ盤方向に5～30度程度の低角な傾斜を持つ面である場合が多い。

断層破碎帯や変質粘土層が多数分布する地すべり土塊の場合、コア観察のみでは、それらがすべり面なのか、断層に起因するものなのか、変質に起因するものなのかの判別が困難なケースが多い。

粘土層の傾斜方向、条線の有無、せん断方向のデータは、すべり面の絞り込みを行ううえで、非常に良い指標になると考えられる。ここではこれらの指標より、すべり面を絞り込む考え方について述べる。

2. すべり面の特定方法

一般的には、地すべり観測のデータによらない場合には、ボーリングコア観察結果からすべり面を決定することがほとんどである。ここでは、コアを観察する際にすべり面の候補を絞り込む指標について述べる。

次に、すべり面の絞りこみにおけるポアホールスキャナ孔内観察の有効性について述べる。

(1) ボーリングコアに見られるすべり面の特徴

ボーリングコアでは、表-1、図-1に示すような特徴をもつ不連続面がすべり面の候補として挙げられる。

まず、すべり面は周囲と比べて強度の低い粘性土を挟んでいる。粘土層が無い箇所についてはすべり面候補箇所から除外する。

また、すべり面の傾斜は比較的に低角なので、高角なものは候補から外すことができる（ただし地すべり頭部は急傾斜の開口亀裂が分布する可能性があることに注意）。

地すべりや断層に起因する変位がある場合、粘土層面上には、土塊のすべりによって形成された鏡肌や条線が発達する。単なる変質に起因する粘土では、変位がなく、条線と鏡肌が発達しないため、すべり面との区別ができる。

条線が発達している粘土層の場合には、条線方向が粘土層面の最大傾斜方向に発達しているかが重要である¹⁾。地すべり主測線上で条線の方向（レイク）が、面の最大傾斜方向でない場合は、単なる破碎帯（横ずれ、斜めずれ断層）と考えられ、すべり面候補から除外できる。

表-1 すべり面が想定される不連続面の特徴

①粘性土層を挟む。
②5～30度程度の比較的lowな流れ盤傾斜をもつ。
③面上に鏡肌、条線が見られる（条線方向が面の最大傾斜方向に一致）。
④周囲にせん断による変形が見られる（上盤が下方に移動する微細構造を示す）。
⑤劣化領域の下限に位置する

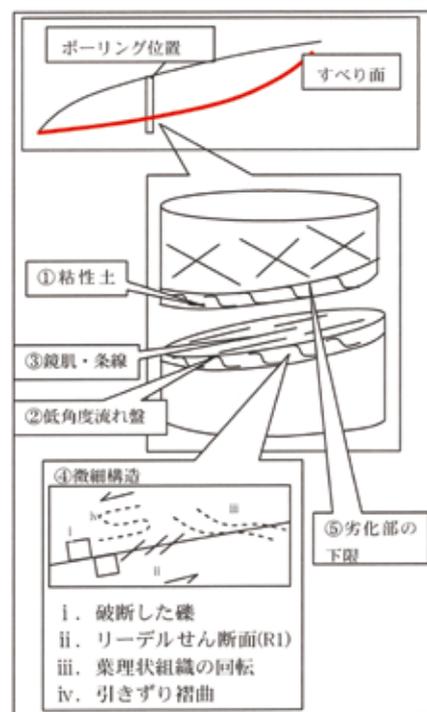


図-1 ボーリングコアに見られるすべり面の模式図

また、条線が最大傾斜方向に発達している場合、粘性土層中やその周囲のせん断による移動センス（地すべりの場合上盤側が滑り落ちる正断層センス）の認定からすべり面候補を絞り込むことができる。地すべり末端部の衝上部を除き、逆断層センスを示す場合は、断層と認定し、すべり面候補から除外できる。

これらの移動センスの判定方法としては、①粗滑法、②リーデルせん断面（特にR1面 図-2）、③引きずり褶曲、④葉理状組織の回転、⑤礫等のマーカの破断によるずれのセンス、などがある²⁾。この場合、コアを条線方向（運動方向）に平行に半割し、観察することで判定を容易にできるが、コアを乱さないよう半割にする作業には、細心の配慮が必要である。

また、不連続面を挟む上下部の破碎状況にも注目する必要がある。以上のような特徴をもつ不連続面が、表層部から続く劣化領域の下限に位置し、それ以深では健全な岩盤となっている場合は、すべり面である可能性が高いと考えられる。

(2) ボアホールスキャナ観察によるすべり面の絞り込み

すべり面の候補として挙げられた粘土層の原位置での方向（走向・傾斜）を特定し、地すべり斜面方向と粘土層の傾斜方向の不一致を確認することができれば、コアに見られる粘土層がすべり面の特徴をもっていた場合でも、候補から除外することができ、すべり面の絞り込みが可能である。このように、ボアホールスキャナによるボーリング孔壁の観察は、すべり面の絞り込みに有効な方法である。

(3) すべり面を認定するための指標と手法および留意点

(1)、(2) より、候補として挙げた不連続面を絞り込んですべり面として認定す

る際にチェックすべき項目と有効な手法、留意点について述べる。

すべり面の絞り込みにおいては、コア観察を詳細に行うことが最も重要であるが、場合によってはボアホールスキャナ孔壁観察による粘土層の走向・傾斜の把握が有効な手段となる（表-2）。



図-2 すべり面粘土の微細剪断構造の事例（拡大写真）

表-2 すべり面を認定するための指標と手法

すべり面を示す指標	判定するために有効な手法
粘土層の傾斜方向が流れ盤方向	ボアホールスキャナ孔壁画像より判定 (堆積構造との斜交関係よりコアで判定できる場合もある)
粘土層面上に鏡肌・条線があり、条線方向が面の最大傾斜方向に一致	コア観察により判定
剪断方向が上盤の傾斜方向への移動を示す。	コア観察により判定 ・条線の粗滑方向 (条線に沿って指を動かした時滑らかに動く方向) ・条線方向に半割し断面を観察(せん断方向を示す微細構造)
風化状況	コア観察により判定

地すべり斜面の傾斜方向に対して流れ盤であればすべり面の可能性が高く、受け盤であれば候補からは除外できる。コアに見られる層理や葉理などの堆積構造の走向傾斜が既知の場合は、それらとの斜交関係から、ボアホールスキヤナ孔壁観察のデータが無い場合であっても、原位置での粘土面の走向傾斜が推定できる場合がある。

一方、地すべり面の特徴を示す条線や微細構造のない粘性土層の場合にも、地すべり斜面の傾斜方向に対して流れ盤で連続性が高い場合には、切土や末端部の侵食・崩壊により、今後すべり面として活動する可能性があり、潜在すべり面としての認識が必要である。

また、これらの指標を満たした場合でも、地すべり斜面の傾斜方向に対して流れ盤で最大傾斜方向の条線を有し、正断層センスの微細構造をもつ粘土層が、すべり面ではなく断層破碎帯である可能性

は、全くゼロではないことに、注意する必要がある。

3. まとめ

ボーリングコア観察により、複数の粘土層からすべり面を絞り込む方法としては、従来言われている条線の有無や方向だけでなく、移動センスの認定も有効な方法であると考えられる。ボアホールスキヤナ観察による粘土層の走向傾斜の把握も、絞り込ツールとして有効である。

《引用・参考文献》

- 1) (社) 地すべり学会東北支部：地すべり安定解析用強度決定法 - 実務における新たな展開をめざして -, pp.1 ~ 79, 2001.10.,
- 2) 狩野・村田：構造地質学, pp.1 ~ 298, 1998.2.

鉍化変質帯におけるトンネル掘削土判定の妥当性向上への取り組み

応用地質(株) ○佐保 亮輔 / 門間 聖子
国土交通省 能代河川国道事務所 佐藤 貴之

1. はじめに

現在施工されている国道バイパス区間(自動車専用道路)のAトンネル周辺地域は、古くから鉍山事業が盛んな地域であり、自動車道の計画にあたっては、鉍山の分布箇所を踏まえた環境リスクの比較的小さい路線が選定された。しかし、鉍化変質帯を完全に避けることは出来ず、トンネル施工に伴い重金属を含んだ掘削土の発生が懸念された。このため、有識者、専門家の指導・助言、事前調査の結果から判明した事項を踏まえ、「土壌汚染対策法(平成15年2月施行)」に準じ、Aトンネルを対象とした「トンネル掘削土判定・処理・管理マニュアル(以下、マニュアルと呼ぶ)」がまとめられ、このマニュアルに基づいて施工が進められた。

このマニュアルにおいては、一部区間で鉍化変質の程度を切羽観察において肉眼で判別することとされており、現場の限られた条件下での確に観察・判断することが求められた。

本報は、変質程度をよりの確に把握するための観察・判定手法の改善及びその結果について報告するものである。

2. 掘削土判定方法

(1) 掘削土判定システム

Aトンネルでは、延長が3000mを超えることなどから、避難坑が計画されている。掘削土の判定は、図-1に示すとおり、先行して掘削する避難坑において判定を行い、後から掘削する本坑の掘削土は、避難坑の地質状況と対比し、処理方法を決定している。

避難坑での対策要否の判定方法はリスクの程度に応じて異なり、このうち今回の検討区間であるB区間については、肉眼で鉍化変質が認められた場合に分析を行い判定することとマニュアルで定められている。

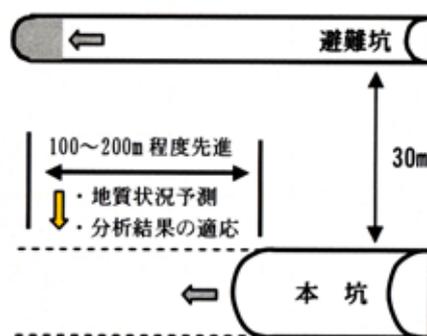


図-1 掘削土判定の基本システム

(2) 分布地質概要とリスク状況

トンネルルートに分布する地質は、新生代新第三紀中新世の前期から中期の安山岩溶岩・安山岩質火山礫凝灰岩と泥岩・玄武岩質火山礫凝灰岩を主体としている。その中で重金属リスク(鉍化変質)が最も高い地質は、旧鉍山の鉍脈の延長部に当たる終点側坑口付近であることが事前調査結果から判明していた。同地質の重金属リスクは、熱水変質により生成された硫化鉍物に起因しており、代表的な鉍物に黄鉄鉍が挙げられる。また、マニュアルでは表-1に示すように、事前調査によりトンネル計画ルート上の分布地質に応じて重金属リスクを3段階に区分している。

表-1 掘削土判定パターン

名称	リスクの程度	鉍化変質の出現想定	分析頻度(避難坑)	本検討区間
A区間	低い	出現なし	未知の地質が出現した場合に分析	
B区間	中位	局所的な出現	鉍化変質あるいは未知の岩種が出現した場合に分析	○
C区間	高い	鉍化変質帯	原則として毎日分析	

3. 観察・判定手法の改善

(1) 改善の経緯

図-2には当初マニュアルに基づいたB区間における判定フローを示す。B区間での掘削土判定の判定基準は、鉍化変質の出現を切羽での肉眼観察で判定することとされているが、鉍化変質の有無の判定は観察者の主観に委ねられることから、判断基準がばらつくことが懸念された。また、切羽観察は鏡吹きを行う直前

のわずかな時間に限られ、かつ、照明による人工的な光の下では自然光とは見え方も異なることから、的確な判断には困難を伴った。そのため、第三者からみても妥当とされる判定を行うためには、鉍化変質の出現をより客観的なデータで示し、かつ、現場で簡易にできる手法が必要となった。

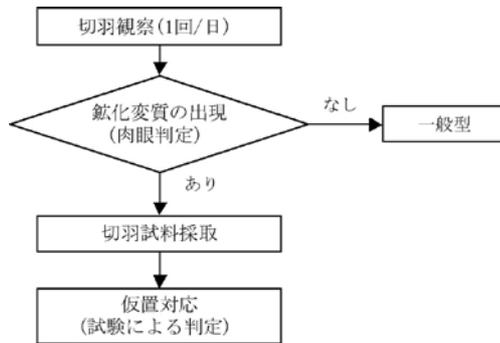


図-2 B区間における掘削土判定フロー

(2) 課題解決への取組み

前述の課題を解決するために、当初マニュアルでの判定フローに新たに図-3に示す事項を追加した。

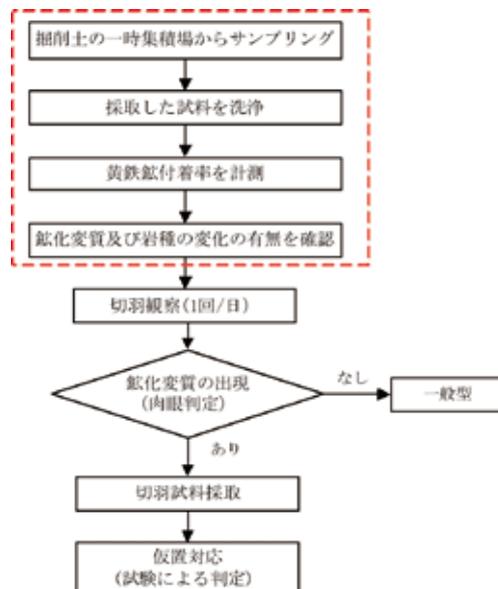


図-3 B区間の判定フローに新たに追加した事項 (破線部で囲まれた箇所)

毎日の切羽観察を行う前に、ズリ集積場に行き前日の夜方に搬出されたズリを観察する工程を新たに付け加え、その地質情報をもとに切羽観察に臨む流れとした。

本トンネルの避難坑では、ズリ出しをトロッコにて行っており、碎石サイズに破碎されたズリが高所から落下して円錐形に堆積し、ズリ山全体が比較的均質となる状況にあった。このようなズリ集積場の状況、ならびに対象地の鉍化変質部に特徴的に出現する黄鉄鉍に着目し、鉍化変質の推移状況を数値化するために、多数のズリをサンプリングして黄鉄鉍の出現状況をカウントすることとした。以下にズリ観察手法の概要を示す。

①採取場所及び採取方法

【採取場所】掘削土の一時集積場

【採取方法】切羽観察の前に掘削発生分を集積したズリ山から平均的な分析値を得るため試料採取はランダムサンプリングとし、図-4に示すようにらせん状に回り採取する。

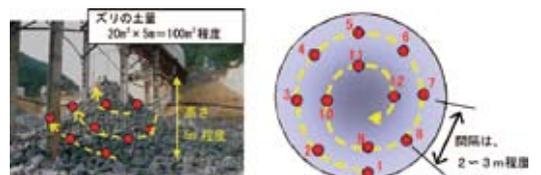


図-4 採取方法の概要 (避難坑) (左図:ズリ集積場 右図:ズリ集積場を上から見た図)

②計測方法

【計測方法】2cm大の岩片を100個採取し、黄鉄鉍が付着した岩片の個数を肉眼で計測する。図-5に黄鉄鉍付着率計測の概要を示す。図-5の場合、100個中33個(破線内)に黄鉄鉍の付着が認められ、黄鉄鉍付着率は33%となる。

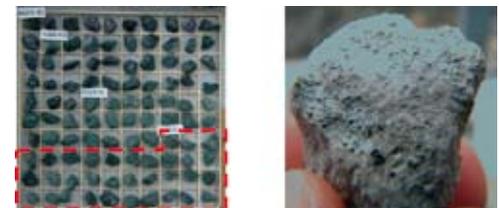


図-5 黄鉄鉍付着率計測の概要 (左図:計測結果整理 右図:黄鉄鉍付着試料)

4. 計測結果

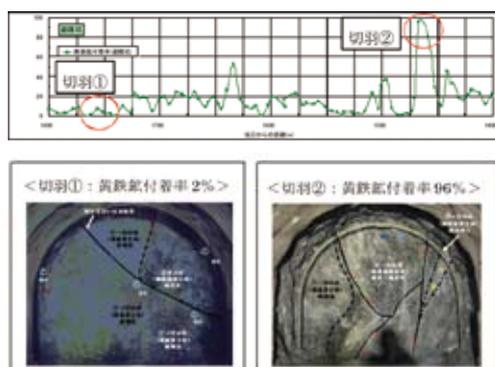


図-6 切羽の進行に伴う黄鉄鉱付着率の推移状況

図-6には黄鉄鉱付着率の計測結果を示す。計測結果より、継続的に測定を行った結果、黄鉄鉱付着率の増減傾向を明瞭に確認することができ、黄鉄鉱付着率と切羽状況との関連性についても、顕著に増加する区間では実際の切羽においても肉眼的に鉍化変質が強まる傾向を確認することができた。

また、先行する避難坑切羽で確認した地質構造(変質脈の延びの方向や角度)から本坑における鉍化変質部の出現予測位置を推定した結果、概ねその推定した出現予測位置で黄鉄鉱付着率が増加する傾向が確認された。これより、鉍化変質程度の推移状況に関する情報を現場で実施可能な方法で得ることができ、切羽観察との組み合わせで鉍化変質の程度をよりの確に判断することができた。

5. おわりに

毎日、早朝の切羽観察のさらに1時間前に現場に向かうという大変な作業が続いたが、結果的に低コストで判定の妥当性向上を図ることができた。今後も、調査段階・施工段階の様々な場面で、現場条件に応じた調査手法等の改善について常に考える姿勢を忘れないようにしたい。