

# 構造物の安全性・信頼性向上のための 調査計画ガイドライン(案)

—注意すべき地形・地質に対する調査計画ガイドライン—

平成 27 年 3 月

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

# 目 次

まえがき	1
1. 構造物の信頼性・安全性向上のために注意すべき地形地質	3
1.1 注意すべき地形・地質を考慮しなかったために に生じたトラブル事例	3
1.1.1 支持層問題に関するトラブル事例	3
1.1.2 沈下、変形問題に関するトラブル事例	5
1.1.3 安定問題に関するトラブル事例	8
1.1.4 液状化問題に関するトラブル事例	11
1.1.5 洗掘、浸食などの問題に関するトラブル事例	13
1.1.6 その他のトラブル事例	15
1.2 平野部での注意すべき地形地質とは	19
1.2.1 扇状地	19
1.2.2 自然堤防、後背湿地	19
1.2.3 三角州	20
1.2.4 土砂供給の多い河川	20
1.2.5 小オボレ谷	21
1.2.6 海岸砂州	21
1.2.7 潟湖跡	22
1.2.8 旧河道	22
1.2.9 埋立地	23
1.3 丘陵地～山地部での注意すべき地形地質とは	24
1.3.1 基盤の不陸が大きい地盤	24
1.3.2 断層・リニアメント	24
1.3.3 河川及び海岸の浸食	25
1.3.4 落石・崩壊	26
1.3.5 表層崩壊	27
1.3.6 地すべり	27
1.3.7 土石流	27
1.3.8 空洞、陥没	28
1.3.9 火山地帯の火山灰質粘性土	29
2. 注意すべき地形地質の探し方	31
2.1 地形判読のための既存資料の準備	31
2.1.1 地形判読に用いる資料の収集	31
2.1.2 インターネット上の地形情報	33

2.1.3	新しい地形計測技術によるデータの活用	34
2.2	平野部における注意すべき地形地質と探し方	36
2.2.1	軟弱地盤を伴う微地形	36
2.2.2	空中写真から微地形を判読する着目点	41
2.3	丘陵地～山地部での注意すべき地形地質と探し方	43
2.3.1	水系異常	43
2.3.2	遷急線・侵食前線	43
2.3.3	崖錐	44
2.3.4	土石流地形	45
2.3.5	地すべり地形	46
2.3.6	崩壊地形	51
2.3.7	断層地形	53
2.3.8	活断層地形	54
3.	注意すべき地形地質に道路橋基礎を設置する場合の調査計画のガイドライン	57
3.1	平野部での注意すべき地形地質における調査計画のガイドライン	57
3.1.1	扇状地	59
3.1.2	自然堤防・後背湿地	62
3.1.3	三角州	65
3.1.4	土砂供給の多い河川沿岸	68
3.1.5	小オボレ谷	72
3.1.6	海岸砂州	75
3.1.7	潟湖跡	78
3.1.8	旧河道	82
3.1.9	埋立地	86
3.2	丘陵地～山地部での注意すべき地形地質における調査計画のガイドライン	90
3.2.1	基盤の不陸が大きい地盤	92
3.2.2	断層・リニアメント	94
3.2.3	河川及び海岸の浸食	98
3.2.4	落石・崩落	101
3.2.5	表層崩壊	104
3.2.6	地すべり	106
3.2.7	土石流	109
3.2.8	空洞・陥没	112
3.2.9	火山地帯	115
4.	今後の課題	118
4.1	超軟弱地盤での孔内水平載荷試験	118
4.2	設計・施工上問題となりやすい地質	119
4.3	地山と崩積土	121

4.4	物理探査の活用	122
4.5	支持層とみなせる岩の条件や岩の亀裂・風化程度に応じた適切な調査法など	123
4.6	砂礫層の調査方法	125
4.7	液状化の検討および調査方法	126

#### 資料編

資料1	地盤調査の調査位置及び数量	資1
資料1.1	平野部における地盤調査の調査位置及び数量	資1
資料1.2	丘陵地～山地における地盤調査の調査位置及び数量	資12
資料2	基礎の挙動を再現するために必要な地盤の特性とそのための調査について	資20

## まえがき

地盤調査は、構造物の信頼性・安全性向上するために必要かつ十分な地盤の情報を得る目的で行う。調査を十分に行わないと、構造物の安全性はもとより、施工時においても予め予期しなかった補助工法の導入や基礎工法の変更などの手戻りを余儀なくされる可能性が高くなる。その結果として工事費増大、工期遅延、さらには供用中の安全性低下の問題が発生する場合が少なくない。

調査には、例えば道路橋示方書・同解説IV下部構造編（以下、道示IVと略称）2.2.1に規定している各計画、設計及び施工段階に応じた予備調査、本調査及び施工のための調査がある。

予備調査は地盤の変状などの問題が生じる可能性のある注意すべき地形・地質を把握し、基礎形式の選定、予備設計、本調査の計画等に必要な資料を得る目的で実施される。

本調査は、下部構造の詳細設計を行うために必要な地盤条件、設計に用いる地盤定数等を明らかにするために行う。

施工のための調査は、安全で確実な施工を実施するために行う。

本ガイドラインでは、構造物の信頼性・安全性を低下させることの多い注意すべき地形地質に着目し、予備調査、本調査及び施工のための調査における調査計画において、どのようなことに留意すべきかを記述した。

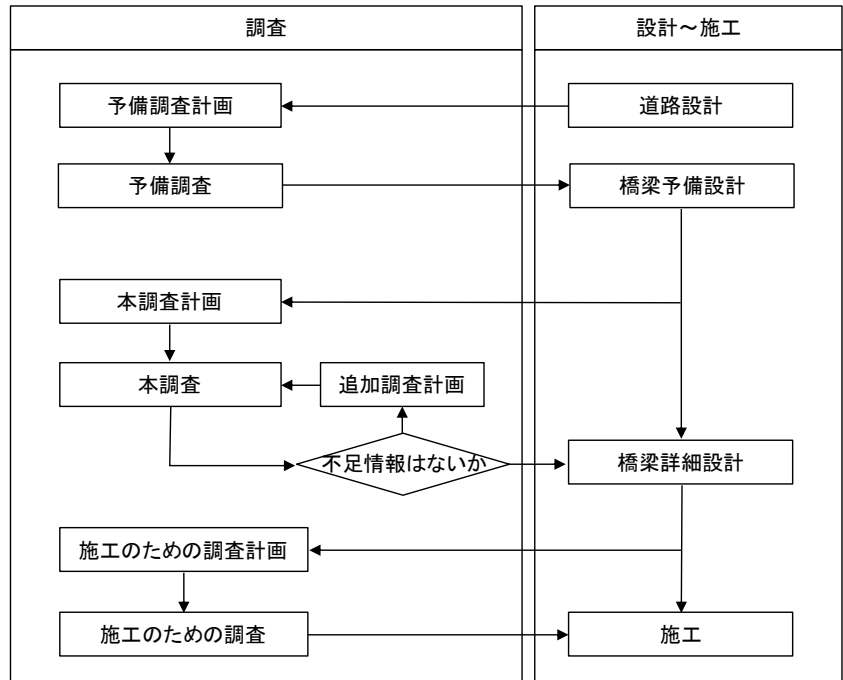
1章では、注意すべき地形地質で発生した具体的な構造物の信頼性・安全性の低下事例を示し、調査あるいは設計・施工を行ううえでの注意喚起を行った。また、「平野部」と「丘陵地～山地部」に大別して、注意すべき地形地質がどのような特徴を持っているかを示した。

2章では「地形地質の探し方」を示した。ここで示す内容は、全ての土木構造物を設計・施工するうえで、どこに注意すべき地形地質が存在するかを探すガイドラインとなる。

3章では、これらの注意すべき地形地質に道路橋基礎を設置する場合の調査計画のガイドラインを示した。注意すべき地形地質でトラブルが発生する可能性がある箇所において、発生の有無、対策工を検討するうえでの具体的な調査計画のガイドラインとなる。

4章では、注意すべき地形地質に関する調査技術や調査手法のうち、現在の知見では十分明らかでない点について今後の課題として整理した。

資料編では、調査技術者と設計技術者の橋渡しを行うことを念頭に「主な調査事項と試験・調査方法」、「調査結果をどのように設計に用いるか」について整理した。



最後に、本書の作成に加わっていただいた並びに原稿執筆から編集まで多くの能力と時間を割いていただいた次にお名前を掲げた委員の方々、査読を実施いただいた前田良刀（(株) ドーユー大地）に感謝申し上げます。

[構造物の安全性・信頼性向上のための調査計画検討委員会名簿]

(委員長)	古関 潤一	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授
	七澤 利明	独立行政法人土木研究所 CAEASER 管理システム・下部構造担当 上席研究員
	金 聲漢	(株)エイト日本技術開発
	辻岡 秀樹	応用地質(株)
	野村 英雄	基礎地盤コンサルタンツ(株)
	萩原 育夫	サンコーコンサルタント(株)
	濱田 泰治	川崎地質(株)
	柳浦 良行	基礎地盤コンサルタンツ(株)
	山本 聡	全地連

## 1. 構造物の信頼性・安全性向上のための注意すべき地形地質

注意すべき地形地質とは、構造物の施工時および供用開始後において、構造物の信頼性・安全性を低下させる可能性のある地盤条件のことである。

### 1.1 注意すべき地形・地質を考慮しなかったために生じたトラブル事例

#### 1.1.1 支持層問題に関するトラブル事例

##### (1) 支持層が傾斜していた

橋台が施工完了後に本体が傾く変状が生じた。

【原因】地層（支持層）の急激な変化により一部杭の先端が支持地盤に達していないため変状が発生した。

【調査時における留意点】ボーリング調査は支持層を確認する有効な手法であるが、対象範囲を網羅する調査配置計画で実施する必要がある。たとえば、支持層が傾斜することが予想される場合には、1構造物に1孔では見逃すことも多く、複数の孔の配置、ボーリング調査を補完するサウンディング、物理探査の組合せ等の工夫が必要である。

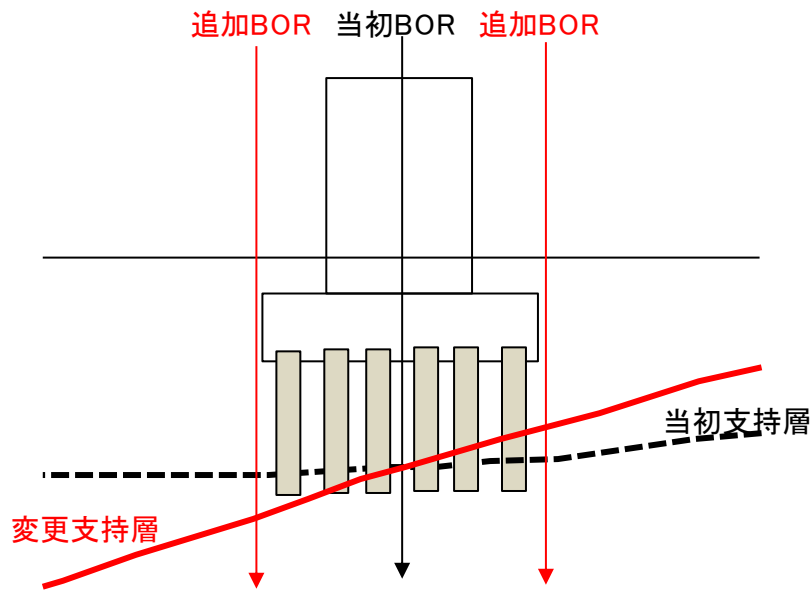


図 1.1.1 支持層の傾斜が想定と異なっていた事例

## (2) 岩盤線が深かった

岩盤位置が想定より深く、深礎杭が岩盤に到達できなかった事例である。

【原因】 構造物のジャストポイントで地盤調査が実施されなかった。

【調査時における留意点】 構造物位置では、ジャストポイントで地盤調査を行う。特に、周辺地形地質から支持層の傾斜が予想される箇所では、複数本のボーリング調査、サウンディング、物理探査などを行う。

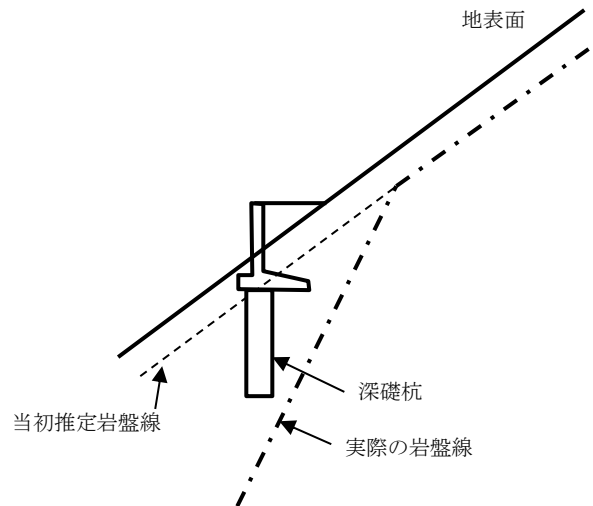


図 1.1.2 支持層が深かった事例<sup>1)</sup>

## (3) 支持層の変化が激しい

渡河橋梁において設計時の支持層が実際と異なり、杭の設計をやり直した事例である。

【原因】 橋台、橋脚のジャストポイントで地盤調査が実施されなかった。

【調査時における留意点】 橋台、橋脚位置では、ジャストポイントで地盤調査を行う。特に、周辺地形地質から支持層の傾斜を予想される箇所では、複数本のボーリング調査、サウンディング、物理探査などを行う。

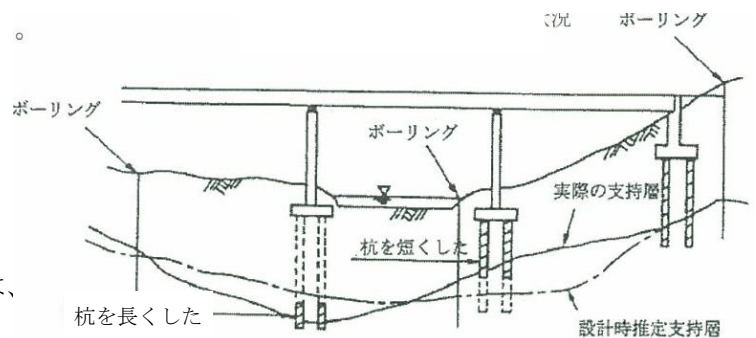


図 1.1.3 支持層の変化が激しい事例<sup>1)</sup>

## (4) すべり面の上に基礎を設置

地すべり地帯の露頭岩盤上に橋台を直接基礎で設置する工事において、露頭岩盤とされていた所の下に破碎帯があり、床掘りに伴い岩盤すべりが生じた。その対策として、支持力確保のため置き換えコンクリートで対応した事例である。

【原因】 粘土化した破碎岩層の存在を想定できなかった。

【調査時における留意点】 構造物位置では、ジャストポイントで地盤調査を行う。特に地すべり地帯などでは、地盤にすべり層があるかどうかを確認するため、現地踏査、ボーリング調査、物理探査などを行う。

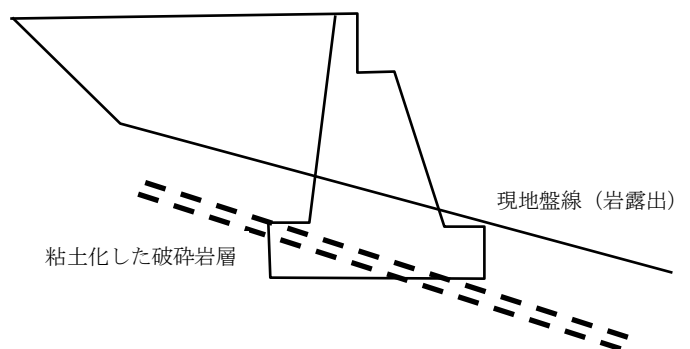


図 1.1.4 すべり面のう上に橋台基礎を設置した事例<sup>1)</sup>



### 1.1.2 沈下、変形問題に関するトラブル事例

#### (1) 洪積粘性土層の圧密沈下を過少評価した

橋脚施工中に P2 橋脚で 11cm、P1 橋脚で 2cm の沈下が生じた事例である<sup>2)</sup>。

【原因】ケーソン底面下の地盤は、粘性土と砂層が複雑に入り組んだ互層であり、それぞれの粘性土は層厚が薄く、橋梁施工時の荷重変化などの応力変動による影響を受け易い堆積状況であった<sup>3)</sup>。

【調査時における留意点】 洪積粘性土層は一般的に圧密降伏応力が大きく、沈下を生じることは少ない。しかし、長大橋の基礎のように大きな荷重が作用する場合には、事前に圧密特性の十分な把握が必要である。

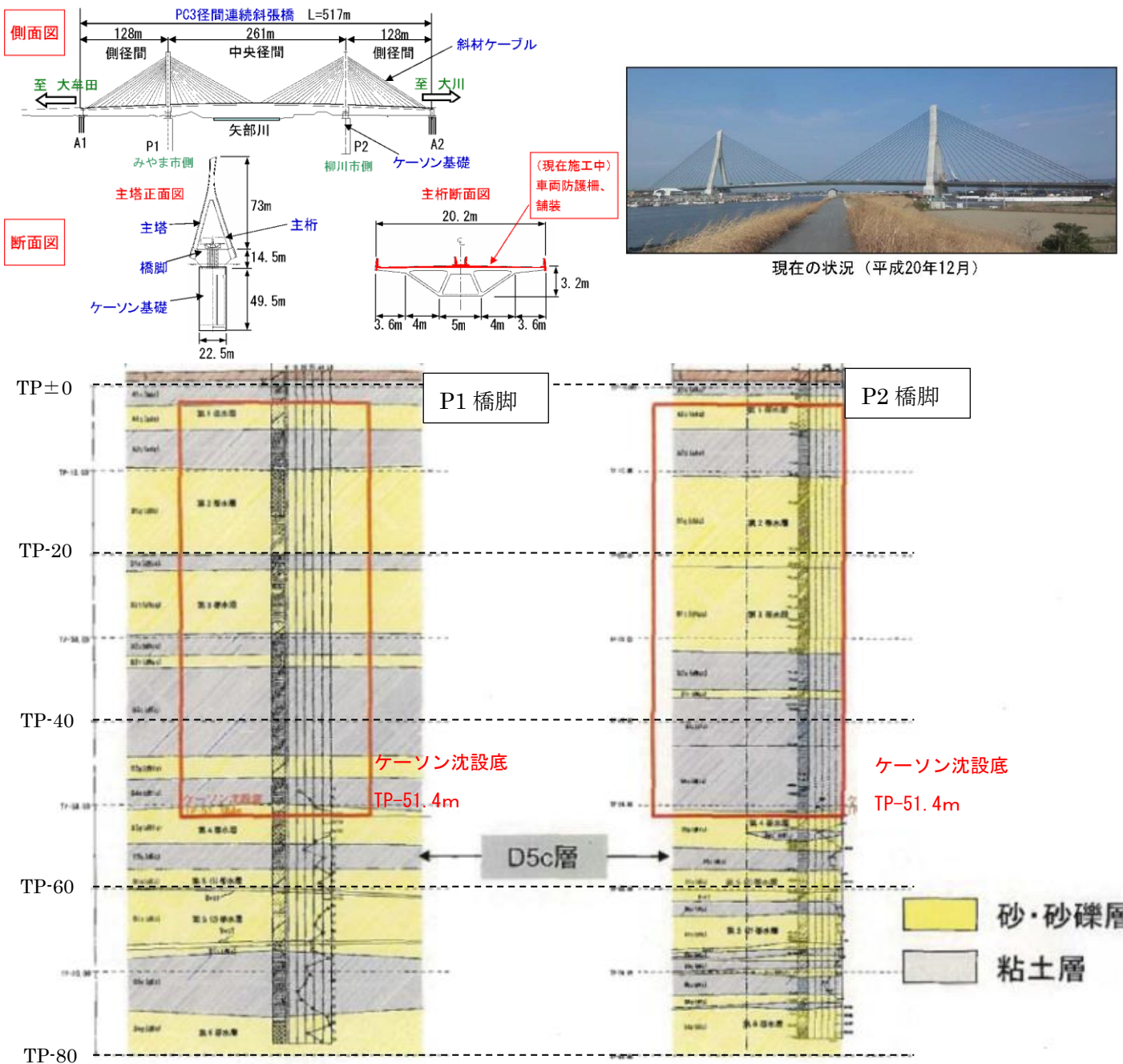


図 1.1.5 洪積粘性土層の圧密沈下を過少評価した事例<sup>2)</sup>を修正加筆

## (2) 基礎杭が酸化・腐食して下部工が沈下した事例

米国中部のウィスコンシン州グリーンベイ市のフォックス川に架かるレオフリーゴ橋が一部区間が突然、沈下（60cm程度）した。

【原因】基礎杭はH型鋼を用いた鉄製の材料である。周辺地盤の上部は高濃度の硫黄、塩化物を含んだ灰による盛土であった。この硫黄と塩化物により基礎杭が酸化・腐食し、下部工が沈下した。

【調査時における留意点】 硫黄や塩化物などの基礎杭材料（鋼材、コンクリートなど）を劣化させる恐れのある材料が周辺地盤にある場合には、過去の土地利用のなどの調査を行う。



(橋脚の沈下状況)



(腐食したH鋼基礎杭)

図 1.1.6 レオフリーゴ橋の沈下状況<sup>14)</sup>



### (5) 盛土の急速施工

軟弱地盤に関する調査が不足していたため、盛土の急速施工により周辺地盤が隆起した事例である。

【原因】軟弱地盤の特性把握が不十分なまま、盛土の急速施工を行い周辺地盤がせん断変形により変状を生じた。

【調査時における留意点】軟弱地盤対策工の設計の前提は、基礎地盤の強度増加を考慮した緩速施工である。一方、事例のように急速施工をする場合には、ドレーン工法や固結工法などの軟弱地盤対策を検討する必要がある、これらの検討に必要な圧密特性、せん断特性などを得るための地盤調査を行う。

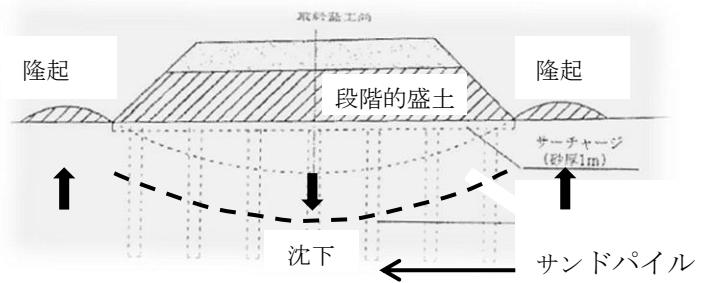


図 1.1.9 軟弱地盤と認識しながら  
地盤調査が不足した事例 <sup>1)</sup>を修正加筆

### 1.1.3 安定問題に関するトラブル事例

#### (1) 盛土の崩壊

盛土荷重により基礎地盤が、せん断破壊を生じた事例である。

【原因】事前の十分な地質調査と軟弱地盤対策を行わずに盛土を行った事例で、河川埋没の大きな事故を引き起こしている

【調査時における留意点】盛土の施工においても基礎地盤の地盤調査を行い、軟弱地盤が確認された場合には、軟弱地盤対策を設計施工する。

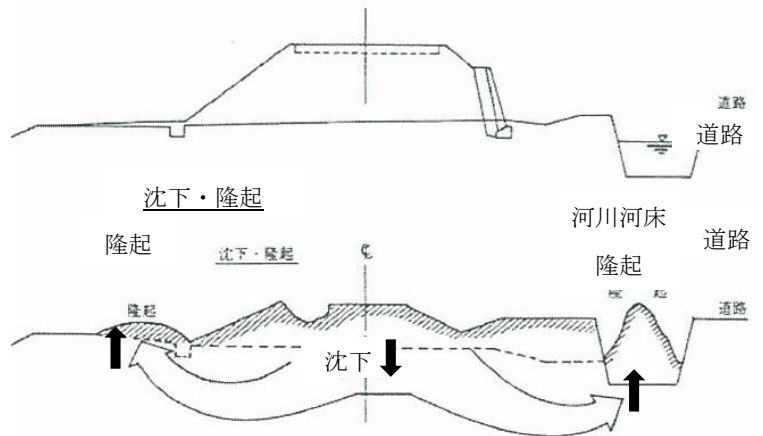


図 1.1.10 地盤調査が無かった事例 <sup>1)</sup>を修正加筆

## (2) 地すべり地形の見落とし

地形改変（切土、盛土）により地すべりが生じた事例である。

【原因】古い亀裂からの雨水浸透、すべり面下部の切土により、地すべりが発生した。

【調査時における留意点】地形改変（切土、盛土）を行う場合には、現地踏査による周辺地山の変状（当該地は地すべり指定地）、亀裂、地層構成、地盤の硬軟、地下水の状況などについて調査を行う。

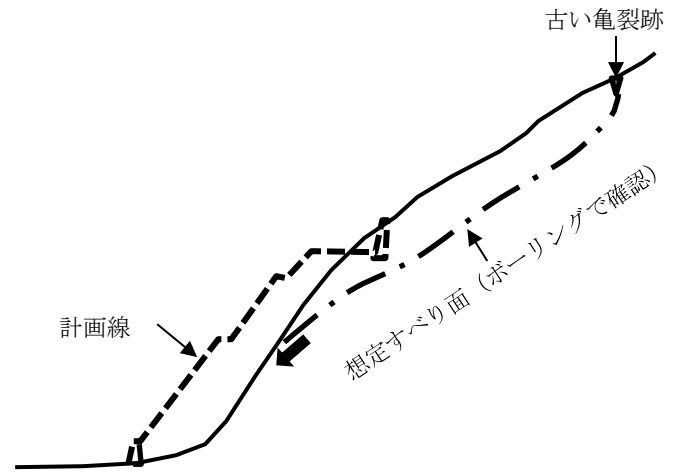


図 1.1.11 地すべりの兆候を見落とした事例<sup>1)</sup>を修正加筆

## (3) 地すべり地帯での切土

地すべり多発地帯であることの認識がなく、既存文献調査など基本的な調査を行わずに、6段の切土を行い、円弧すべりが生じたものである。

【原因】地すべり多発地帯で安易に切土を行った。

【調査時における留意点】地すべり指定地など、地盤変動が予想される箇所では、事前に地すべり対策を行うことを念頭において地盤調査を行う。具体的には文献調査、写真・地形判読、現地踏査などによる地すべり箇所、地すべりブロックを把握する。ボーリング調査などを行い地層構成、地盤の硬軟、地下水の状況などを把握する。

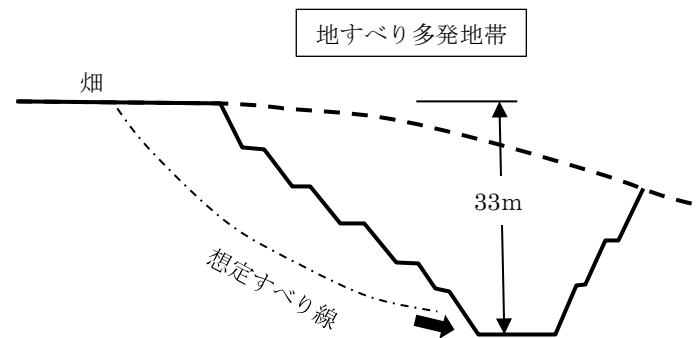


図 1.1.12 地すべり地帯で切土を行った事例<sup>1)</sup>を修正加筆

#### (4) 土石流地形の見落とし

山間部の道路盛土において、横断排水管を設置してあったが十分な断面積でなく、土石流によりダムアップして盛土が崩壊したものである。

【原因】盛土内の地下水位が上昇し、盛土の安定性を失った。

【調査時における留意点】設計に当たっては上流からの土石流による排水管の閉塞の可能性も考慮が必要である。このため調査の段階で溪流の土石流発生の有無や規模などについて、評価を行う。

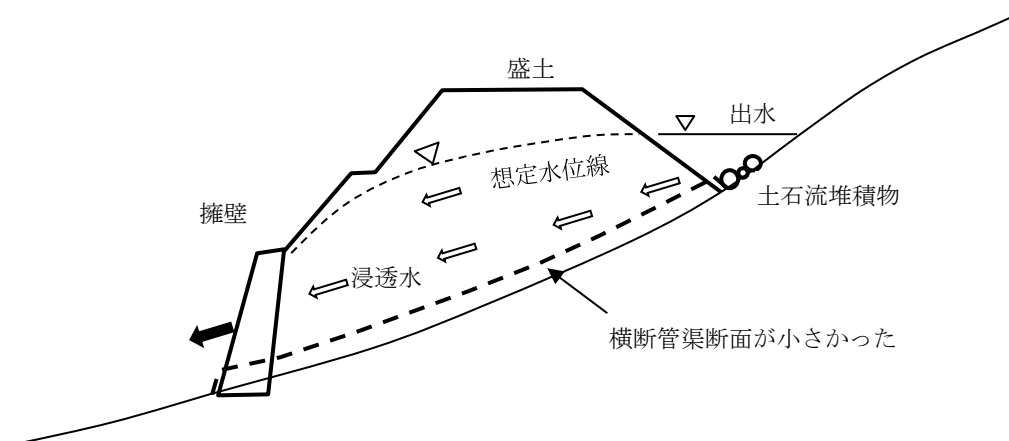


図 1.1.13 土石流が横断排水管に詰まった事例 <sup>1)</sup>を修正加筆

#### (5) 地山からの湧水の見落とし

国道に接した土地を埋め立てた際に、十分な地下水の排水対策を講じなかったため、道路本体が埋め立てた土地の山側から来た雨水や地下水によって、道路盛土が崩壊したものである。

【原因】地山からの湧水により盛土内の水位が上昇し、盛土の安定性を失った。

【調査時の留意点】設計時には地山からの湧水量に応じて盛土内の排水対策を行う。そのため、調査時に地山からの湧水の有無、水量などについて評価を行う。また、盛土材料が泥岩、凝灰岩の場合には、地下水位上昇により、泥れい化し初期のせん断強度が低下することもあるので、スレーキングの状況についても調査を行う。

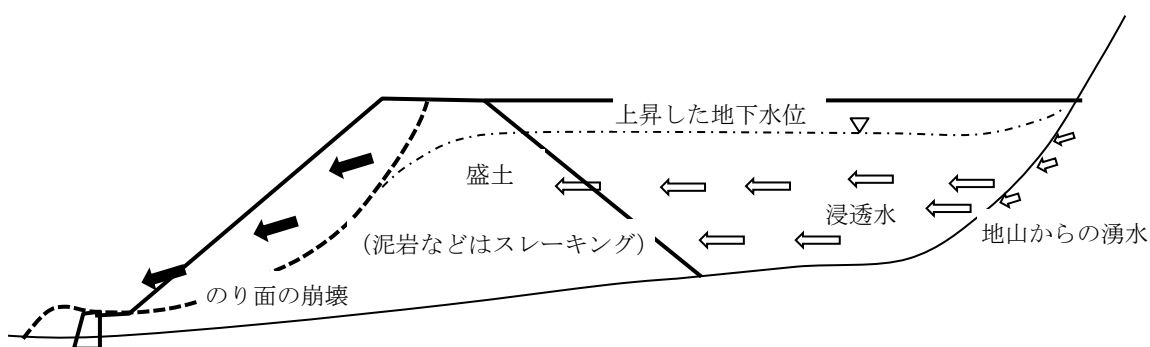


図 1.1.14 地山からの湧水が盛土崩壊につながった事例 <sup>1)</sup>を修正加筆

### 1.1.4 液状化問題に関するトラブル事例

#### (1) 河川堤防における液状化被害

東日本大震災による阿武隈川の堤防液状化被害例である。約 800mにわたって天端が陥没し、沈下量は最大 2mであった。

【原因】 堤体内の飽和した砂質土層が液状化したため、堤体が沈下を生じた。

【調査時の留意点】 堤体の耐震診断では、FEM 解析等を用いて、堤体の沈下量を予測する。東北地方太平洋沖地震では、図 1.1.15 に示すように堤体の液状化が発生した。このため、調査では、基礎地盤だけではなく堤体の地層構成、地下水位、地盤の硬軟、液状化特性なども得る必要がある。

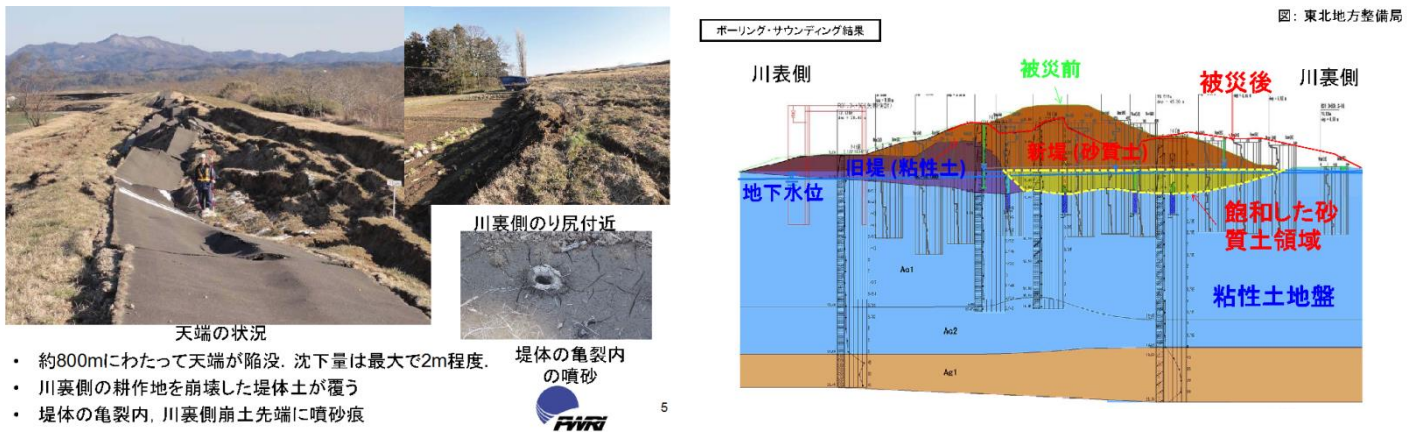


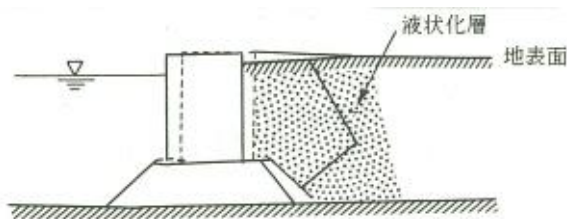
図 1.1.15 堤体の液状化による被害事例 (阿武隈川・枝野) 4)

## (2) 港湾施設の液状化被害

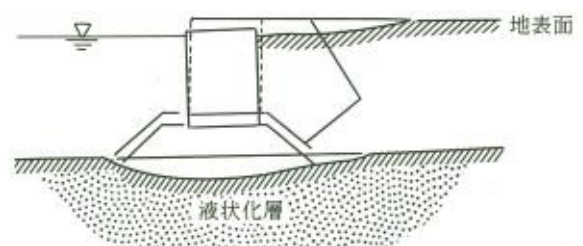
阪神淡路大震災において、港湾構造物の背後埋立土や基礎地盤が液状化を生じ、護岸が前に出る被害が生じた。

【原因】港湾構造物の背後埋立土あるいは基礎地盤に対して、地震前に液状化対策が施工されておらず、液状化被害が生じた。

【調査時の留意点】背後埋立土、基礎地盤の液状化対策としては、サンドコンパクション工法、浸透固化工法、固結工法などが採用され、液状化対策の効果を評価するため、FEM解析等を用いて、護岸の変形量を予測する。このため、調査では、埋立土・基礎地盤の地層構成、地下水位、地盤の硬軟、液状化特性などを得る必要がある。対策工の選定、規模の縮減を図るため、N値と物理試験のみでなく、砂れき、砂地盤からサンプリングし、液状化試験も行う場合もある<sup>5)</sup>。



(埋立土の液状化)<sup>5)</sup>



(基礎地盤の液状化)<sup>5)</sup>



10. 深江浜北側護岸への崩壊



1. ポートアイランド 北側護岸の崩壊

図 1. 1. 16 港湾構造物の液状化による被害事例（神戸地域）



### 1.1.5 洗掘、浸食などの問題に関するトラブル事例

#### (1) 道路橋下部工における洗掘、浸食被害

洗掘とは、河川等の流水の流れの変化や乱れ等によって、河床等が浸食を受けることであるが、流水中の下部構造は、この流水の流れの変化や乱れ等の原因となることがある。その場合、下部構造の周囲の河床等が浸食を受けることとなり、支持地盤が洗掘されることによって下部構造が沈下や傾斜、転倒などの影響を受けることがある。

【原因】十文字橋（橋齢94年）は、平成19年台風9号による酒匂川の増水のため、通行止めをした直後に被災部橋脚が徐々に沈下を生じた。

【調査時の留意点】道路維持管理点検において、橋脚周辺の河床高さを経時的に直接測定し、洗掘の進行度合い、河道への土砂の堆積状況を把握する。

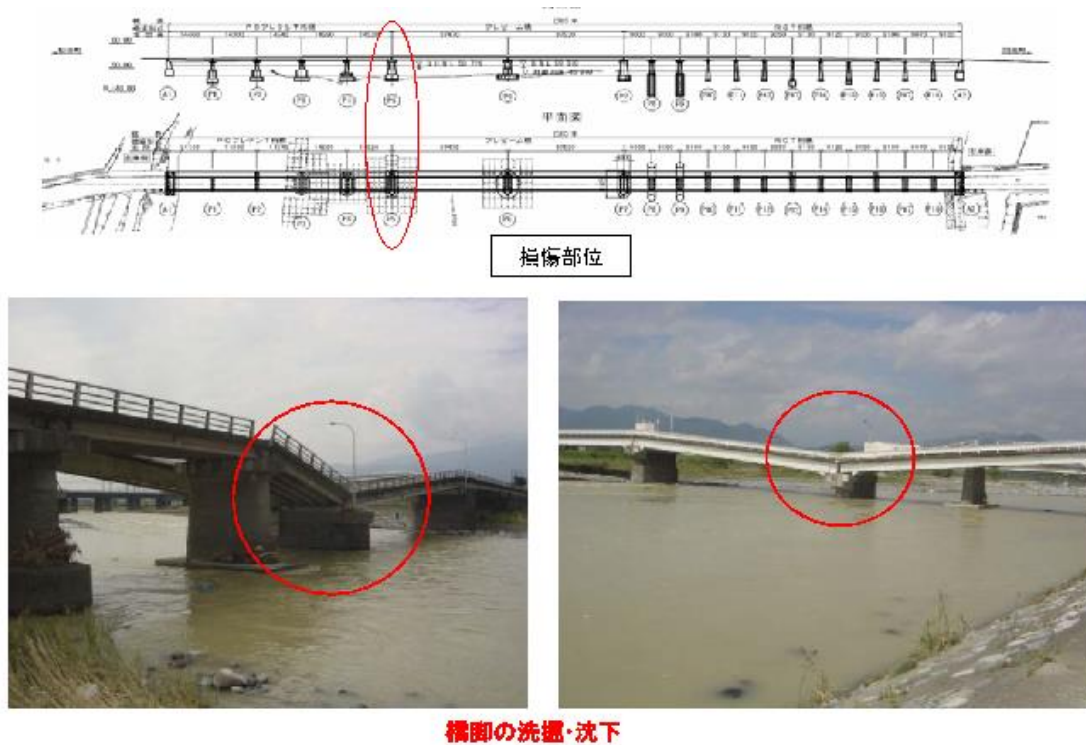


図 1.1.17 橋脚の洗掘による下部工の沈下（神奈川県十文字橋の例）<sup>6)</sup>

## (2) 河川堤防における浸透、浸食・洗掘、越水被害

洪水による堤防の決壊原因は、浸透、浸食・洗掘、越水に大別される。

【原因】堤防の断面や強度が不足する場合には、降雨や洪水により、浸透、浸食・洗掘、越水を受けて破堤する。

【調査時の留意点】浸透、浸食・洗掘、越水被害の対策では、堤防・基礎地盤の浸透特性やせん断強度特性などに基づいてその安定性を評価する。このため、堤防・基礎地盤を構成する土の物理特性、力学特性、透水特性を把握するため、N値、現場透水試験、室内透水試験、三軸試験などを行う。



(円山川の平成16年台風23号破堤状況<sup>13)</sup>)

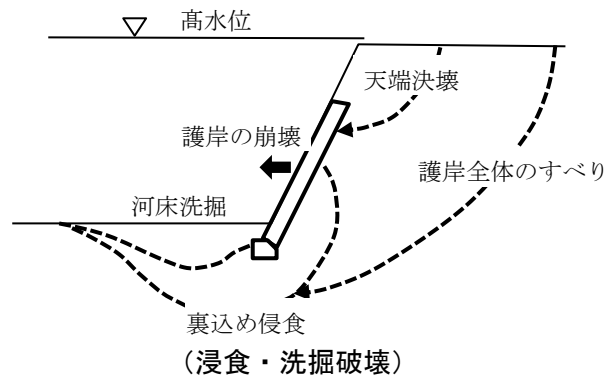
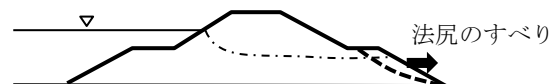
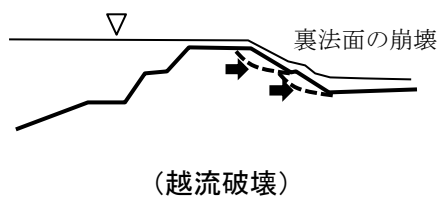


図 1.1.18 河川堤防における浸透、浸食・洗掘、越流被害

### 1.1.6 その他のトラブル事例

#### (1) 地下水の流動阻害

地下構造物が地下水位流動を遮断する状態で建設されると、地下水位変動による地盤および周辺環境等への影響が懸念される。地下水位の流れの上流側では地下水位が上昇し、地下構造物の浮力増大に伴う漏水増大、液状化に対する危険度の増加が懸念される。一方、下流側では地下水位が低下し、構造物・地盤の圧密沈下、湧水の枯渇、樹木の立ち枯れが懸念される。

【原因】地下構造物により地下水位の流動が阻害された場合には、構造物の前後で地下水の上昇、低下が発生することがある。

【調査時の留意点】地下構造物の施工による周辺地下水位の上昇、低下を検討し、地下水位の上昇、低下が周辺地盤環境にどのように影響を及ぼすか検討する。このため、地盤の透水性、粘性土地盤の圧密特性を把握するため、現場透水試験、粘性土のサンプリングによる圧密試験を行う。また、地下水位の上昇による液状化が懸念される場合には、液状化特性についても調査する。

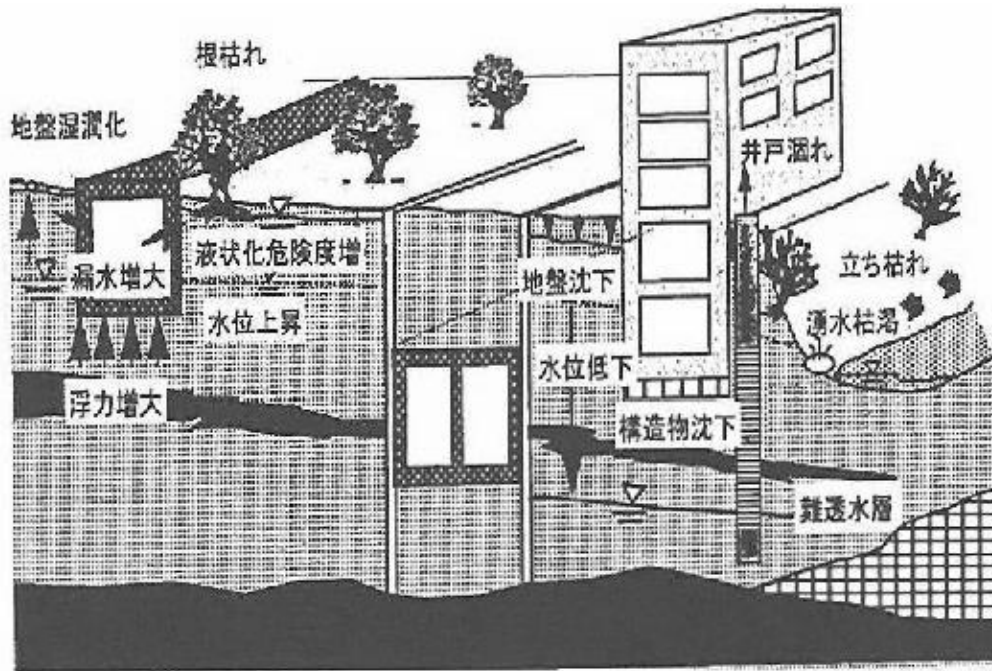


図 1.1.19 地下水流動阻害による影響概念図<sup>7)</sup>

## (2) 地下水位の季節変動

兵庫県豊岡盆地は、兵庫県の北部にあり積雪地帯で冬期には凍結防止のため消雪に地下水を利用している。この揚水量の増加や地下水位の低下と連動して地盤沈下量が増加する傾向にある。豊岡盆地には、深いところで40m程度の軟弱粘性土が堆積し、地下水位低下に伴う冬期の有効応力増加により圧密沈下が生じていると考えられている。

【原因】地下水の揚水量の季節変動の影響で、広域の地盤沈下が発生している。

【調査時の留意点】地下水の季節変動に伴う地盤沈下は、地下水変動に伴う地盤内の応力変化に伴い圧密沈下と考えられている。このような場合には、地下水位の変動記録と合わせて、粘性土の圧密特性を把握することが重要である。

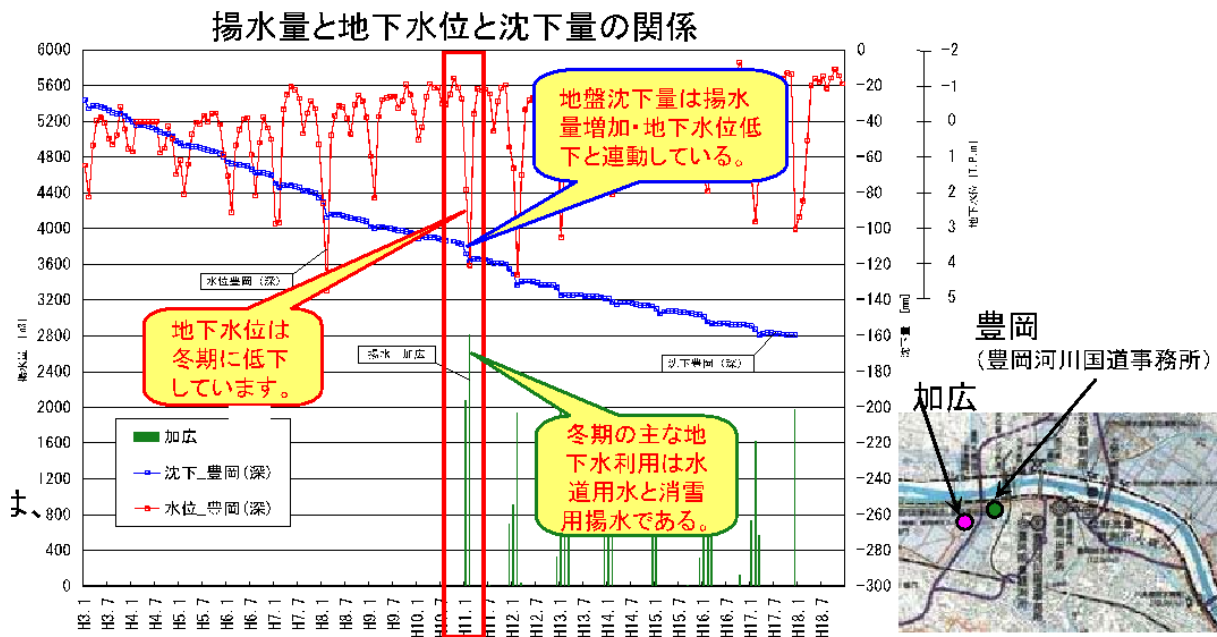


図 1.1.20 豊岡盆地における地下水揚水に伴う地下水位変動と沈下量との関係<sup>8)</sup>

### (3) 不発弾の爆発

不発弾が残存している地域で地下工事を行う場合には、不発弾の有無を確認し工事の安全性を確保する必要がある。

【原因】 調査、工事に伴い不発弾に接触することにより、爆発を生じる。

【調査時の留意点】 陸上では図 1. 1. 21 に示す鉛直磁気探査が用いられている。磁気センサーの探査有効範囲は 0.5～2m 程度であるため、削孔と孔底下の危険物探査を繰り返して、所定の深度まで削孔する。孔壁崩壊を防止するための保護管先端は、磁気に反応しない材料（ステンレスなど）を使用する。

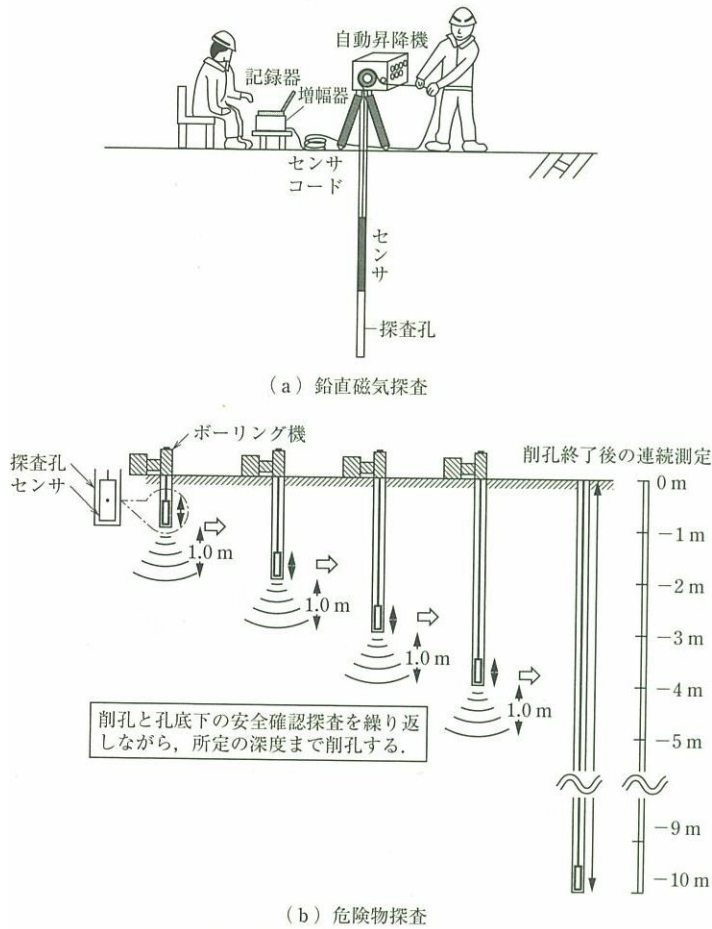


図 1. 1. 21 鉛直磁気探査と危険物探査の削孔状況概念図<sup>9)</sup>

#### (4) 有害ガスの調査

近年の基礎工事、圧気工事、シールド・山岳トンネルでは、可燃性ガス（主としてメタン）、酸素欠乏空気、毒性ガス（硫化水素、二酸化炭素）等の有害ガスが発生することがあり、工事の安全性を確保する必要がある。

【原因】有害ガスが滞留する地盤周辺において、圧力の変化や空気接触により、爆発、酸欠、ガス中毒などが生じる。

【調査時の留意点】土中有害ガスは図 1. 1. 22 に示すように有機質土層の中か、不透水層に覆われた砂層の中の地下水（液相）に溶存ガスとして存在することが多く、地下水が土中ガスの飽和濃度を越えた場合には、土壤ガスとして土中の空隙（気相）に存在すると考えられている。

土中有害ガス調査においては、圧力変化で溶存ガス濃度が変化することから、圧力を保持した容器による地下水の採取を行う。また、土中の空隙に存在する土壤ガスは、圧力持っていることが多く、調査中に噴出することもあるので注意を要する。

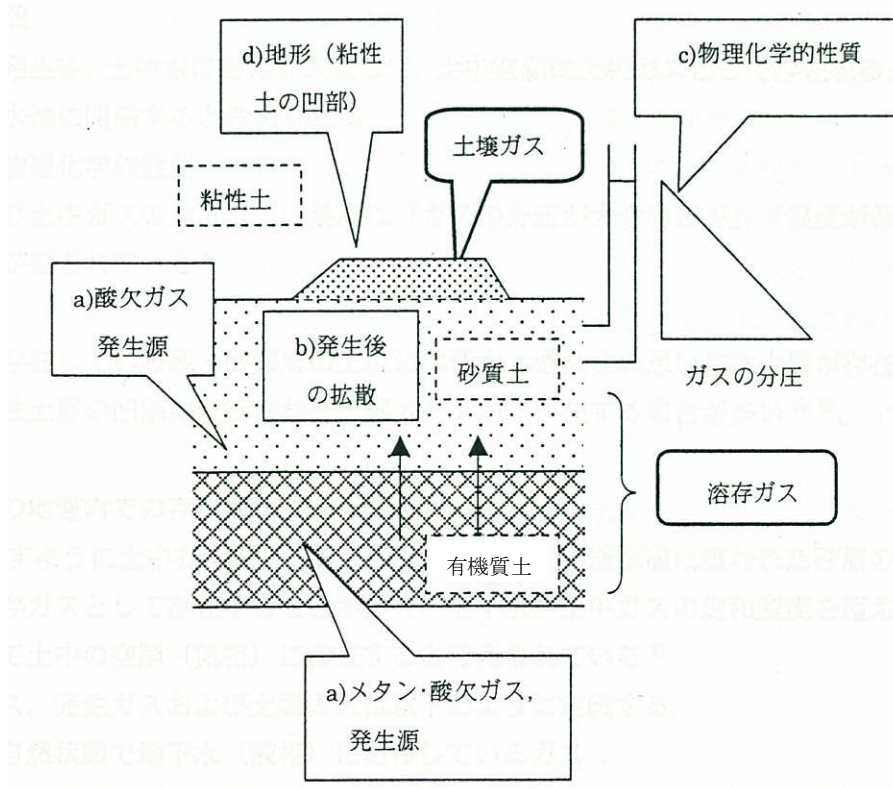


図 1. 1. 22 土壤ガスの生成と存在環境

## 1.2 平野部での注意すべき地形地質とは

平野部における軟弱地盤、地震時に不安定となる地盤に関する注意すべき地形・地質について、図 1.1 に示す典型的な平面図および地質柱状図に示すように、扇状地 (A)、自然堤防 (B)、後背湿地 (C)、三角洲 (D)、土砂供給の多い河川 (E)、小オボレ谷 (F)、海岸砂州 (G)、潟湖跡 (H)、旧河道 (I)、埋立地 (J) に区分される。

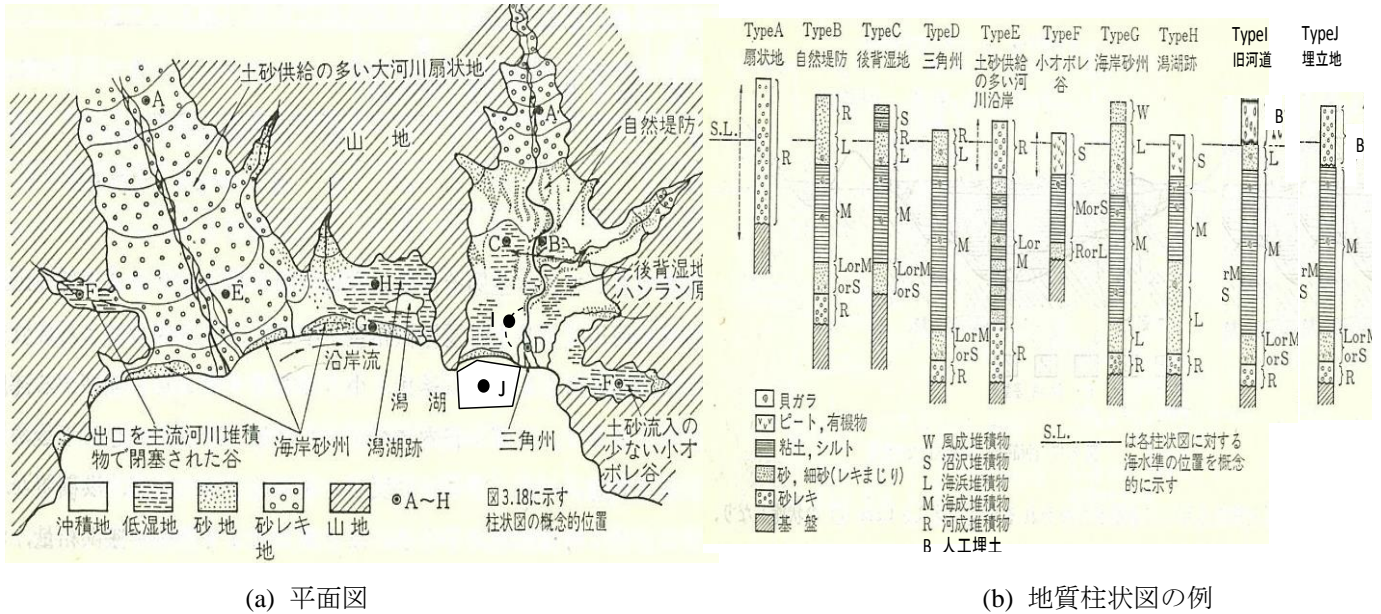


図 1.2.1 平野部における注意すべき地形・地質の典型例<sup>10)</sup>を修正加筆

### 1.2.1 扇状地 (A)

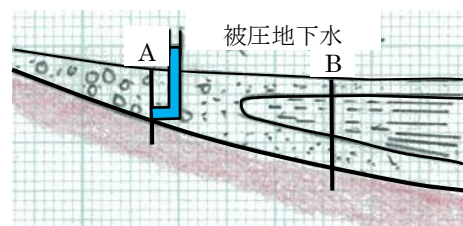
山地部の谷の出口から低地部へ向かって円錐状の扇状に広がる緩傾斜地である。懸念される現象としては、地下水の被圧、大きな地下水流速、洗掘などが考えられる

扇状地の砂れきは著しい地下水流を有する場合や、上位が難透水層に被覆された扇状地性の砂れき層内の地下水が被圧している場合がある。地下掘削時のボーリングや杭施工時のセメントの流出等の問題が生じる可能性がある。また、河川の上流域は急流部であることが多く、河道洗掘に注意する必要がある。

調査項目としては、地下水位、地下水流速、河相調査などがある。



(扇状地の写真<sup>17)</sup>)



(A、B 周辺の模式断面図)

図 1.2.2 扇状地 (A) の代表写真と模式断面図

### 1.2.2 自然堤防 (B)、後背湿地 (C)

自然堤防は河川の氾濫時に河川沿いに形成される微高地であり、後背湿地は自然堤防の背後に形成される低湿地である。

懸念される現象としては、安定、圧密沈下、負の周面摩擦力 (Negative friction : NF)、側方移動、地震

時の液状化・変形、有害ガスの発生などが考えられる。

これらの地形は、河川の下流域～中流域に形成され、下層に海成粘土をともなうことが多い。洪水流に含まれる粘性土が海に到達して堆積した海成粘土は、一般に圧縮性が高く、ごく軟弱で鋭敏な場合が多いので、特に注意が必要である。また、上部には緩い砂質土層が堆積し、地震時の液状化についての検討が必要である。

調査項目としては、圧密特性、せん断特性、液状化層の分布、有害ガス調査（主にメタン）などである。

### 1.2.3 三角州 (D)

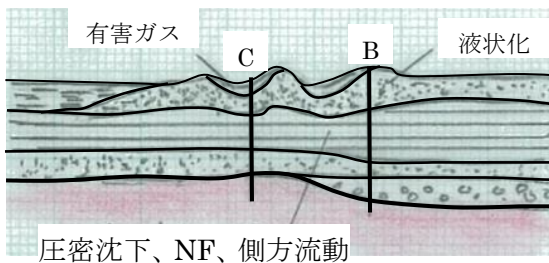
三角州は河口部に開けた低平地である。懸念される現象は、「1.2.2 自然堤防 (B)、後背湿地 (C)」と同様である。



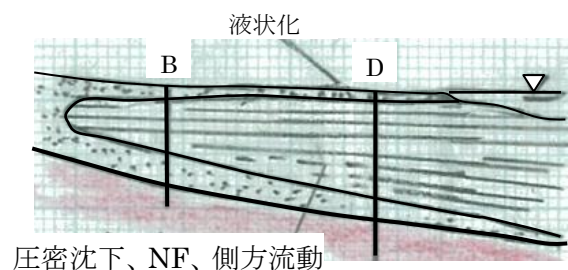
(自然堤防、後背湿地の写真<sup>17)</sup>)



(三角州の写真<sup>17)</sup>)



(C、B 周辺の模式断面図)



(B、D 周辺の模式断面図)

図 1.2.3 自然堤防 (B)、後背湿地 (C)、三角州 (D) の代表写真と模式断面図

### 1.2.4 土砂供給の多い河川 (E)

土砂供給が多い河川では、扇状地が外洋まで連続することがある。懸念される現象としては、薄層支持させる場合の支持層下の粘性土の圧密、地震時の液状化である。

土砂供給の多い河川では、支持層の上部に中間支持層が分布することが多く、薄層支持の検討が必要で

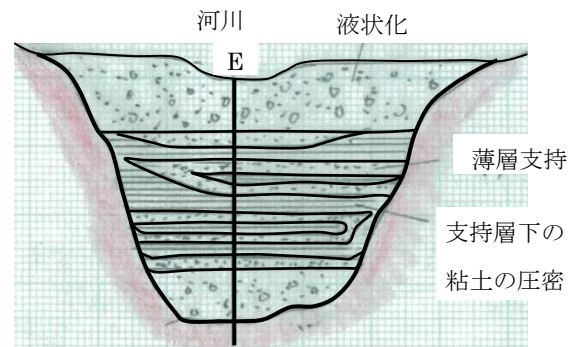


ある。また、扇状地（A）と同様に被圧地下水、河道内洗掘などの検討が必要である。

調査項目としては、支持層の厚さ、圧密特性、液状化層の分布などがある。



（土砂供給の多い河川の写真<sup>17)</sup>）



（E 周辺の模式断面図）

図 1.2.4 土砂供給の多い河川（E）の代表写真と模式断面図

### 1.2.5 小オボレ谷（F）

小オボレ谷は、山間部で河口が閉塞された河川に形成される地形である。懸念される現象としては、支持層の傾斜、圧密沈下がある。

小さな谷部に軟弱な粘性土が厚く堆積していることが多く、支持層が傾斜しているだけでなく、圧密沈下についても検討を必要とする。

調査項目としては、支持層の三次元的分布、圧密特性、せん断特性がある。

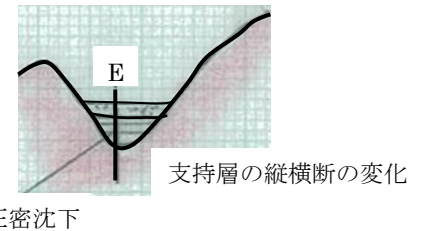


図 1.2.5 小オボレ谷（F）の模式断面図

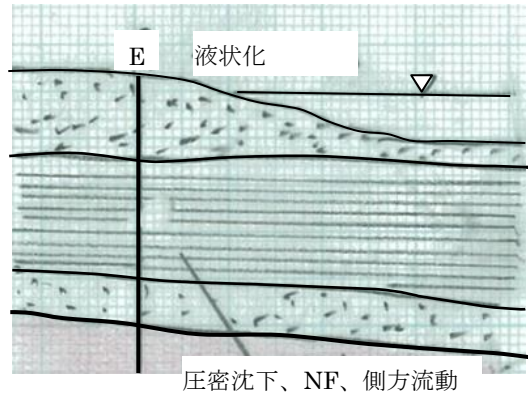
### 1.2.6 海岸砂州（G）

海岸砂州は、沿岸流・風によって運搬された海浜の微高地である。懸念される現象としては、圧密沈下、負の周面摩擦力、側方流動、地震時の液状化がある。

調査項目としては、圧密特性、せん断特性、液状化層の分布などがある。



(海岸砂州の写真<sup>17)</sup>)



(G 周辺の模式断面図)

図 1.2.6 海岸砂州 (G) の代表写真と模式断面図

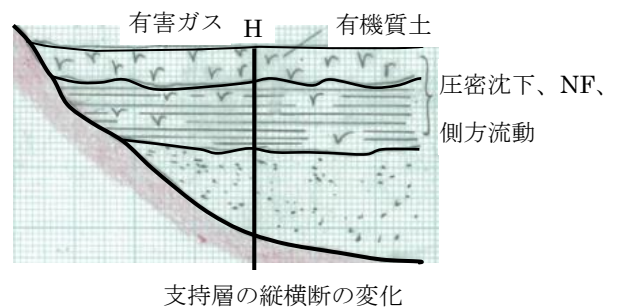
### 1.2.7 潟湖跡 (H)

潟湖跡は、潟湖が埋没され干上がってできた低湿地である。懸念される現象としては、支持層の傾斜、圧密沈下、負の周面摩擦力、側方流動、有害ガスの発生がある。

調査項目としては、支持層の深度、軟弱粘性土の圧密、せん断特性、有害ガス調査(主にメタン)などがある。



(潟湖跡の写真<sup>17)</sup>)



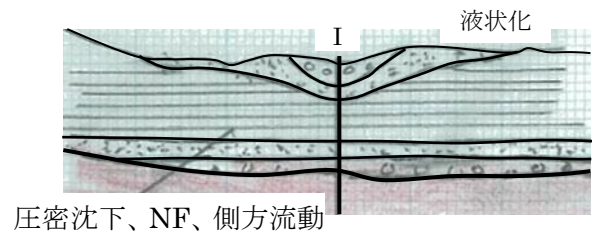
(H 周辺の模式断面図)

図 1.2.7 潟湖跡 (H) の代表写真と模式断面図

### 1.1.8 旧河道 (I)

河道の変動などで本川から切り離されて湖沼となった部分に、細粒泥土などが埋積された地域を旧河道と呼ぶ。懸念される現象としては、地震時の液状化、圧密沈下、負の周面摩擦力、側方流動がある。

調査項目としては、液状化層の分布、圧密特性、せん断特性などがある。



(旧河道<sup>17)</sup>)

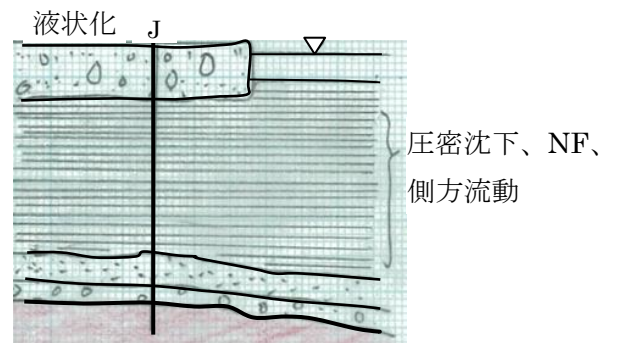
(I 周辺の模式断面図)

図 1.2.8 旧河道 (I) と模式断面図

### 1.2.9 埋立地 (J)

埋立地とは、遠浅の海岸を埋め立てた人工島である。懸念される現象としては、地震時の液状化及び流動化、圧密沈下、負の周面摩擦力、側方流動がある。

調査項目としては、液状化層の分布、圧密特性、せん断特性などがある。



(神戸沖の埋立地の写真<sup>17)</sup>)

(J 周辺の模式断面図)

図 1.2.9 埋立地 (J) の代表写真と模式断面図

### 1.3 丘陵地～山地部での注意すべき地形地質とは

丘陵地～山地部での注意すべき地形地質は、基盤の不陸が大きい地盤、断層・リニアメント、河川及び海岸の浸食、落石・崩壊、表層崩壊、地すべり、土石流、空洞・陥没に区分される。

#### 1.3.1 基盤の不陸が大きい地盤

基盤の不陸が大きい地盤は、旧河道、基礎地盤の風化、貫入岩などが原因で生じる。懸念される現象としては、基礎杭の支持層への未貫入による沈下などがある。主な調査項目としては、縦断方向の支持層の深度を調査するためのボーリング調査、構造物の横断方向の支持層の傾斜を調べるためのボーリング調査、サウンディング、物理探査などがある。

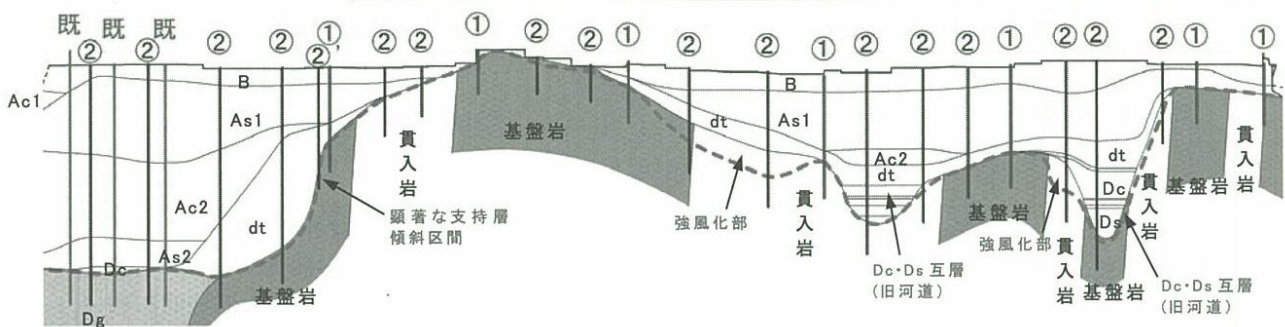


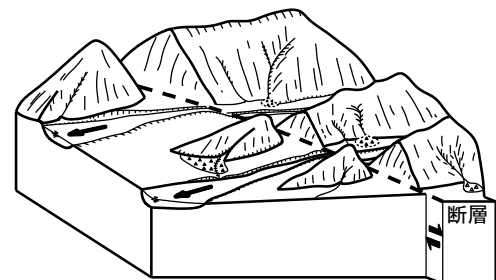
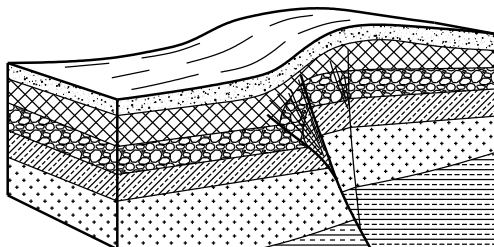
図 1.3.1 旧河道、基礎地盤の風化、貫入岩などが原因で基盤が縦断方向に変化する事例<sup>15)</sup>

#### 1.3.2 断層・リニアメント

断層地形は、過去の断層作用の結果生じた直線性のある地形で、破碎岩石、断層粘土、断層破碎帯に注意が必要で、地下水の流れや貯留に影響を及ぼす。懸念される現象としては、施工時の湧水、崩壊の発生、地震時の断層変位の可能性があることがある。主な調査項目としては、断層の分布（平面、傾斜方向）、断層破碎帯の安定性、湧水の有無、断層の活動度である。



(木戸山西方断層：中国<sup>12)</sup>)



(模式断面図<sup>11)</sup>)

図 1.3.2 断層地形の代表写真と模式断面図

リニアメントは、広域的な直線状又は緩い弧状に配列した地形的特徴であり、線状構造ともいう。懸念される現象とは、断層地形とほぼ同じである。

主な調査項目も断層地形とほぼ同じである。

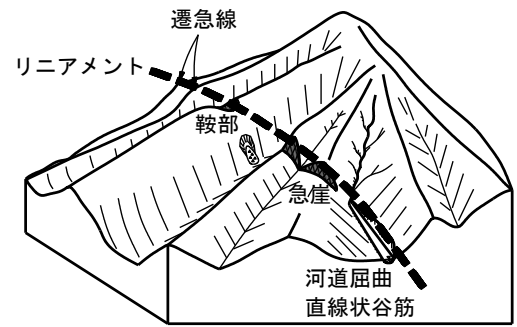


図 1.3.3 リニアメントの模式断面図<sup>11)</sup>

### 1.3.3 河川及び海岸の浸食

河川及び海岸の浸食は、河川の攻撃斜面やリアス式海岸などで生じている。懸念される現象は、将来的な崩壊の可能性があることである。主な調査項目は、近傍の災害履歴、対策工の有無、斜面の硬軟などがある。

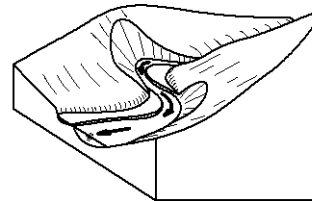


図 1.3.4 河川の攻撃斜面の模式断面図<sup>11)</sup>

### 1.3.4 落石、崩壊

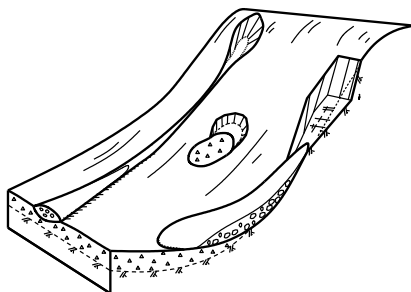
落石地形は、上部に不安定な浮石が存在する斜面、落石の発生した跡にできた窪み地形、その直下に形成された不安定な転石が点在する凸凹した斜面である。懸念される現象は、将来的に落石の可能性があることである。主な調査項目としては、近傍の災害履歴、対策工の有無、落石の発生源・経路があり、用地外の地形にも着目する必要がある。

崩壊地形は、表層崩壊、山くずれなどの崩壊によって形成された地形、亀裂が発達し不安定な岩塊が存在する斜面、下部に脆弱な地層を挟む岩盤斜面である。懸念される現象としては、将来的に崩壊の可能性がある、柱状節理などの亀裂が発達した岩盤斜面では岩盤が緩み基礎が変状するおそれがある、堅硬な岩盤であっても下部に脆弱な地層が存在する場合には、脆弱層の変状に伴って上部の岩盤が変状するおそれがあることがある。主な調査項目は、近傍の災害履歴、対策工の有無、不安定岩塊の分布状況、亀裂の分布状況、連続性、開口度、脆弱層の分布状況、連続性である。

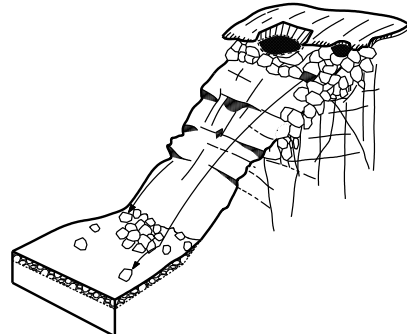


(一般国道 39 号層雲峡天城岩滑落<sup>12)</sup>)

#### 【落石】

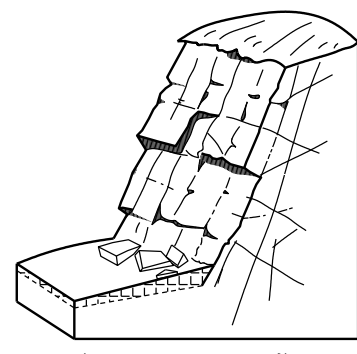
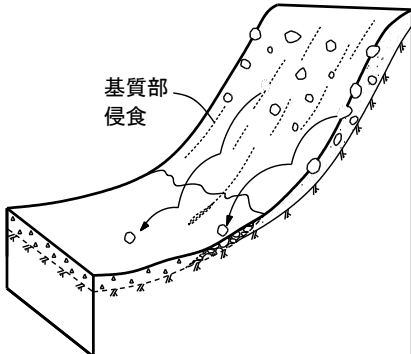


(剥離型落石)



(転石型落石)

#### 【崩壊】



(オーバーハング)

(模式断面図<sup>11)</sup>)

図 1.3.5 落石、崩壊地形の代表写真と模式断面図

### 1.3.5 表層崩壊

表層崩壊は、未固結の地層が厚く堆積する斜面は、山灰、非溶結の火砕流堆積物など固結の進んでいない堆積物が厚く堆積している斜面、深くまで風化が進んだ斜面で発生する。懸念される現象としては、時間をかけ徐々に変形したり、現在動いていない場合でも地震時に変形する場合などがあることである。

主な調査項目は、未固結層又は風化層の分布（平面・深度）、地盤の硬軟、地下水分布である。

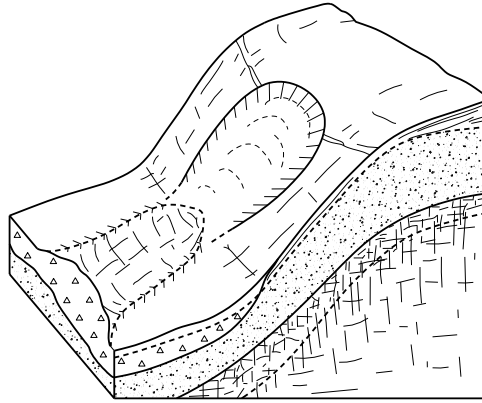


図 1.3.6 表層崩壊が生じる未固結の地層が厚く堆積する斜面の模式断面図<sup>11)</sup>

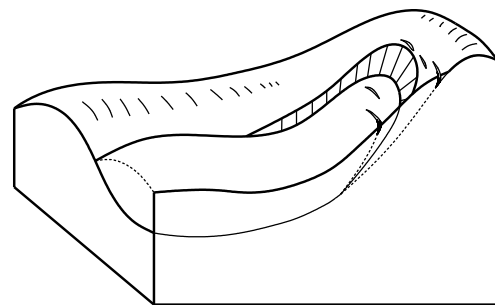
### 1.3.6 地すべり

地すべり地形は、等高線がすべり土塊の部分で開くような地形、上部から下部に向かって滑落崖、緩斜面、舌端部を有する地形、緩斜面での凹地形、湿地などの存在する地形である。懸念される現象としては、時間をかけ地すべり土塊が移動したり、現在動いていない場合でも地震時等に変動するなどの場合がある。

主な調査項目は、災害履歴、地すべり指定地の有無、地すべり土塊の分布（平面、深度）、地下水分布である。



(下北地すべり：東北<sup>12)</sup>)



(模式断面図<sup>11)</sup>)

図 1.3.7 地すべり地形の代表写真と模式断面図

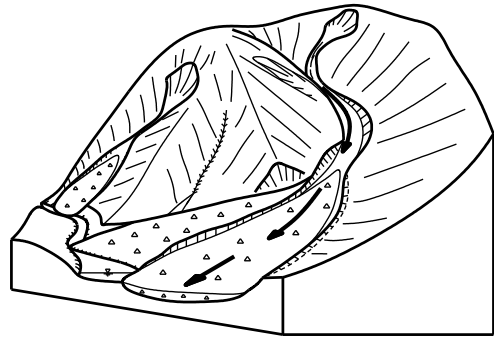
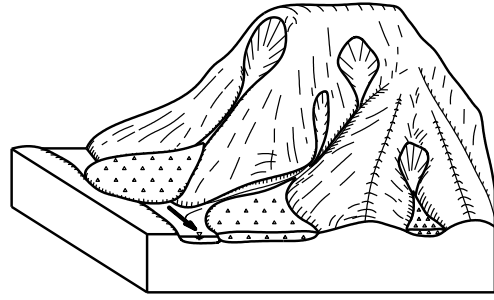
### 1.3.7 土石流

土石流地形とは、中流又は下流側の緩傾斜に土石流による土砂が堆積した地形である。懸念される現象は、豪雨時の突発的な土石流の可能性があることである。

調査項目としては、災害履歴、土石流危険渓流の指定の有無、渓流調査がある。



(平成5年 竜ヶ水災害：九州<sup>12)</sup>)



(模式断面図<sup>11)</sup>)

図 1.3.8 土石流地形の代表写真と模式断面図

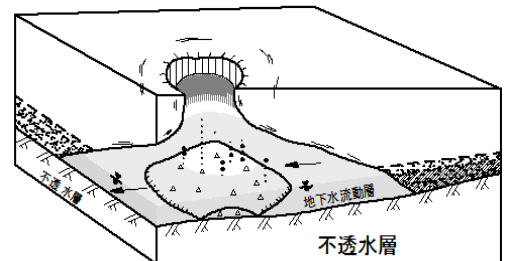
### 1.3.8 空洞、陥没

空洞、陥没地形は、石灰岩地帯において、地下水の流れや空洞の陥没により生じた凹状の地形で、防空壕跡や採掘跡などであり、人工的な空洞で詳細が分からないものも多い。懸念される現象としては、地盤陥没・沈下の恐れがあり、原則は、回避することであるが、やむを得ない場合には、空洞を十分に充てん後に基礎を建設することもある。

主な調査項目は、石灰岩の分布状況と空洞の有無、過去の土地利用履歴である。



(平成17年8月 福井市・足羽山公園西墓地陥没事故<sup>12)</sup>)



(模式断面図<sup>11)</sup>)

図 1.3.9 空洞、陥没地形の代表写真と模式断面図



### 1.3.9 火山地帯周辺の火山灰質粘性土

火山灰質粘性土は、ローム・黒ぼく・赤ぼくなどと呼ばれており、現地では、軽石などの火山噴出物を多量に含んでいる。含水比が大きく、最大乾燥密度も  $1\text{g}/\text{cm}^3$  を超えることは少ない。図 1.3.10 に示すように全国の約 40% が火山灰質粘性土で覆われている。懸念される現象としては、切土斜面や軽い構造物基礎としては安定であるが、こね返しを受けるとせん断強度が低下するため、地盤の安定、沈下に対して注意が必要である。

主な調査項目は、火山灰質粘性土の層厚の変化、こね返した場合のせん断強度の低下がある。

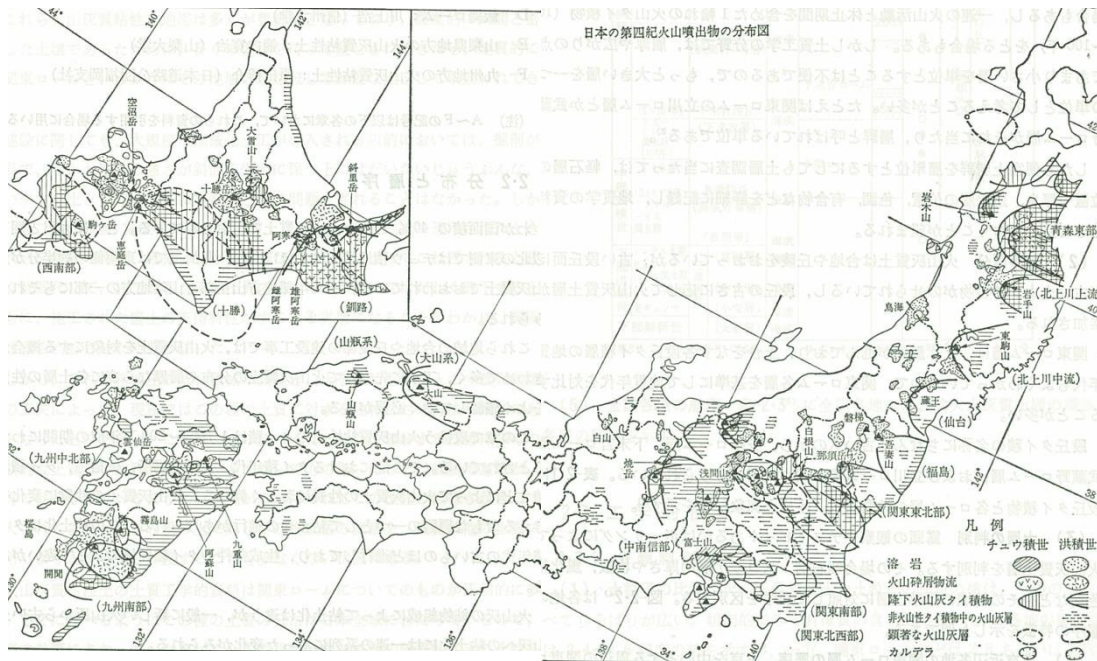


図 1.3.10 火山灰土の分布図<sup>16)</sup>

## 参考文献

- 1) 山本剛、渡邊邦夫：行政側から見た公共事業の地質リスクの事例、第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集、地質リスク学会、平成25年11月
- 2) 国土交通省九州地方整備局福岡国道事務所：「第2回有明海沿岸道路橋梁検討委員会」の結果について、平成19年8月
- 3) 中谷昌一、竹口昌弘、白戸真大、原田健二、野村朋之：橋台の側方移動対策ガイドライン策定に関する検討、土木研究所資料、第4174号、平成22年6月
- 4) 佐々木哲也：河川堤防の液状化対策の効果の検証と高度化に向けた取り組み、防災・減災に向けた研究成果報告会—東日本大震災から3年—、2014年3月19日
- 5) 湾岸開発技術研究センター：埋立地の液状化ハンドブック、1997年8月
- 6) [www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/)
- 7) 西垣誠。木佐貫徹、山下知之、渡邊雄二：地下水流動阻害対策工の設計方法に関する研究、土木学会論文集 NO.749/IV-61、2003年12月
- 8) [www.web-gis.jp/e-Forum/2007/068.PDF](http://www.web-gis.jp/e-Forum/2007/068.PDF)
- 9) (一) 全国地質調査業協会連合会：ボーリングポケットブック、2013年9月
- 10) 池田俊雄：地盤と構造物、鹿島出版会、昭和50年7月
- 11) (社) 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧、平成24年4月
- 12) (一) 全国地質調査業協会連合会：ホームページ (<http://www.zenchiren.or.jp/>) より引用
- 13) 国土交通省：2004年の自然災害 台風23号、平成17年
- 14) WisDOT:1-43 Leo Frigo Memorial Bridge Investigation Report Executive Summary、2014年
- 15) 地質リスク学会：第一回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集、2010年
- 16) 土質工学会：日本の特殊土、1982年
- 17) <http://ord.yahoo.co.jp/o/image/>

## 2. 注意すべき地形地質の探し方

土木構造物の安全性・信頼性の向上のために、土木地質技術者が地形を判読して注意すべき地盤・地質を把握することは、医者が患者の顔や上腕などの皮膚の血色を見て、健康状態を推しはかると似ている。地質調査の初期段階において地形を判読することは、地下に内在する「注意すべき地形地質」を解明する上で、最初に行うべき調査の一つである。

現在ある地形は、そこにある地質や構造と、侵食・堆積作用などの相互関係によって形成されたものである。したがって、地形を判読し、地質図等の既往文献と比較検討することにより、路線選定における地形地質上のコントロールポイント(風化帯、断層、活断層、破碎帯、地すべり、崖錐、崩壊、軟弱地盤など)の把握に必要な情報が得られる。

地形判読には、主に地形図読図と空中写真判読がある。特に、空中写真判読は、判読者の経験や能力に基づく解釈であり、判読結果に個人差が伴うことは避けられない。このため、複数人の判読結果を比較したりしてクロスチェックすることが必要となる。また、判読結果と既存の公刊図書、関連文献等との間に大きな差異がないかをチェックし、大きな見落としがないかを検討することは重要な作業である。

地形図読図を行う際に有効な情報として、自然地名がある。自然地名とは地形を言い表した古い地名のことで、その多くは崖や崩壊地形を意味している。これらは過去の災害の教訓として名付けられたものが数多くあり、地名を手がかりとして災害の危険性のある地形を探す手がかりとなる(表 2.1.1 参照)。

このようにして判読した結果に基づいて、後続する地表地質踏査で問題となる地質現象を検証し、その結果を再び空中写真判読へフィードバックし、地形判読の精度を向上させることが望ましい。

### 2.1 地形判読のための既存資料の準備

#### 2.1.1 地形判読に用いる資料の収集

##### ①地形図

地形判読を行うには、空中写真判読が必要となるが、地表面傾斜量や起伏量等の地形量を把握するためには地形図のほうが効率的である。また、地形図は比較的手軽に入手できる。

広範囲な調査対象地区を総合的に判断するには、1/50,000～1/25,000の地形図が適している。国土交通省国土地理院において1/50,000、1/25,000および1/10,000の地形図が作成され、市販されている。

1/50,000および1/25,000地形図は、全国が完全に網羅されているが、1/10,000地形図は都市部周辺(東京、横浜、名古屋、大阪、京都神戸周辺)に限って作成されている。更に詳細な地形図を用いる必要がある場合には、森林基本図や、市町村作成の地域計画図(いずれも1/5,000程度)も用いることができる。

##### ②空中写真

空中写真には、白黒写真・カラー写真ともに各種の縮尺のものがあるが、広範囲に地形を観察するには、1/20,000、1/40,000程度のもものが適している。

日本全国の空中写真は、国土交通省国土地理院と林野庁、都道府県によって、原則として5～10年ごとに撮影されており、1/8,000～1/40,000の縮尺のものがある。国土地理院は主に都市部を、林野庁、都道府県は林野・山岳地域(林野関係)を担当しており、またこの他に、都道府県によって独自に空中写真

を撮影している場合もある。(財)日本地図センター、(社)日本森林技術協会がデジタル画像データや引伸印画として販売している。

③自然地名資料

地形を言い表した地名を自然地名と呼ぶ。自然地名にはその土地の特徴が表れており、浸水地名や崩壊地名であることが多い。地名と災害について詳しい書籍として「災害と地名 小川豊 山海堂」がある。表 2.1.1 は災害に関係する地名を示したものである。

宅地開発などで旧地名（自然地名）が失われた地区では、古地図を参照して旧地名を確認することができる。国土地理院では、旧版地図の閲覧と謄本交付を行っている。閲覧は国土地理院の本院（情報サービス館）及び各地方測量部において、ディスプレイで閲覧することができる。

図 2.1.1 にインターネット上で閲覧できる旧地形図と現在の地形図等の情報を比較して表示するサイトを示す。

表 2.1.1 災害に関係する地名<sup>1)</sup>

災害区分	地名
洪水氾濫区域内の地名	アイダ、アガワ、アサイ・アサヒ、アソ・アソ・アサ、アナ、アマ、アラキ・オオギ・アラギ、イナ、イノ・イノウ、イマイ・イモイ、ウタ・ウダ、エガワ、エダ・エド、エムラ・エノムラ、カガ、カセ・カゼ、カチ・ガチ、カマ、カモ、キライ、クキ・クグ、コウチ・カワチ・カワウチ、ゴミ・ゴモウ・ゴミョウ、サコ、シバ、スカ・スガ・ズカ、スノウチ・スナワチ、ゾウタ・ソウダ、ソオツ、ソネ、タイ、タキ・ダキ・タケ、タ・タド、ダン、ツボ、テシマ、ドテ、ドメキ・ドメキ、トミ、ナダ、ナガハマ、ナカ・ナカムラ、ナガレダ、ナベ・ナメ、ナラ、ニタ・ニイダ・ニュータ、ヌタ、ニュー・ニフ、ノダ、ハイバラ・ハイバル、ハキ・ハギ、ハヤシ・ハイシ、ヒジ、ヒロ、フクラ、フケ、フタ・フダ・フタ、フワ・フバ、ミスキ・ミズ(ツ)キ、ミノ、ミマ・ミヨシ、モチ、ヤス、ワダ、ワタリ、ワジキ
崩壊に関する地名	アズ(ツ)・アツ、アマ・アマベ、アラシ、アワ、イタ、ウメ、カキ・カギ、カツラ・カツウラ、カノ、カンカケ・カギカケ、キヅ、クエ・クイ、クキ、クリクマ、クレ・クジ、クワ、ケタ、サル・ザレ・サレ、ソガ、タキ・タケ・ダケ、チ(ジ)ツキ、ツエ、ツカ、ツバ・ツバキ、ハカ・ハガ・ハゲ、ホキ・ホケ、ハクチ、フキ・フケ、ヒラ、ミマキ
その他の地名	イボ、ウマ、オソ・オゾ、カシ、カタ、クマ、コマツ、サクラ、シシ、シノ、ソオ、タカギシ、タワ・タワ、ツキ、ツル、ハンダテ、フセ、ミサカ、ミノコシ

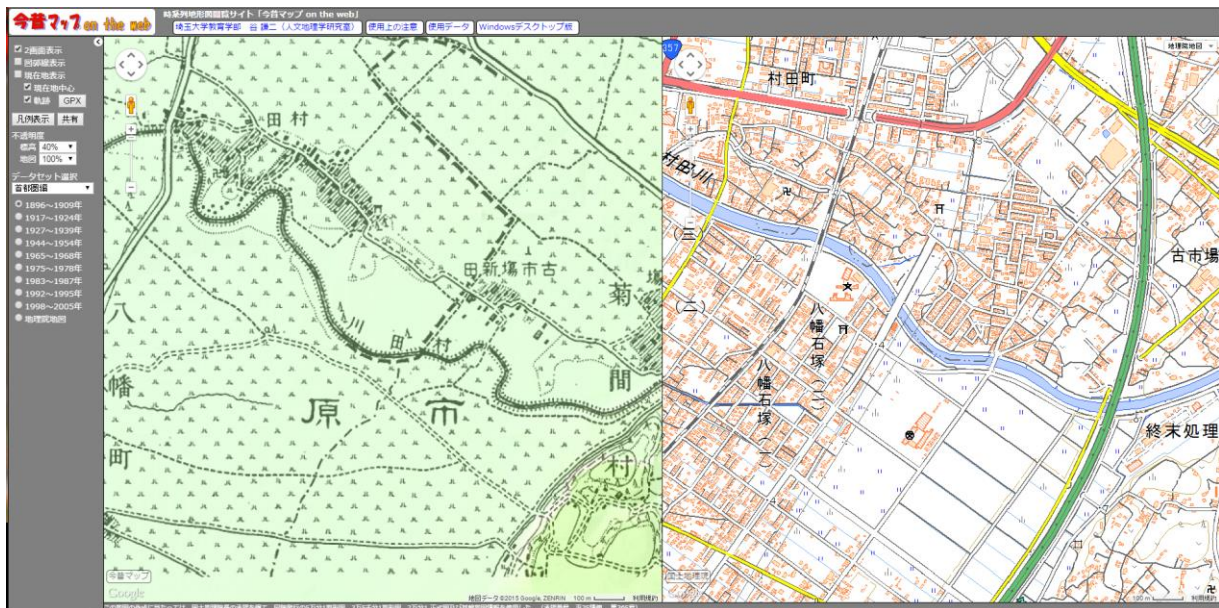


図 2.1.1 新旧地形図を比較して閲覧できるサイトの表示例<sup>2)</sup>

## 2.1.2 インターネット上の地形情報

インターネット上の公開閲覧サービスによって、空中写真に関する情報が容易に閲覧できる。主なサイトとして、国土交通省の国土地理院によるものがある。本サイトでは、全国の空中写真を閲覧することができ、一部の画像データをダウンロードすることもできる。これらの情報は、緊急時に災害時の地形判読作業が迅速に行えることや現地調査前に予察的に空中写真を判読する機会を与えてくれる。

また、近年、国土地理院地図では「誰でも・簡単に・日本全国どこでも」3次元で地形図を見ることができ、サイトを開設し、地形図判読のアシストを行っている。

### ①国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do>

国土地理院では、全国土を対象とする各種の地理空間情報（地図、空中写真）を保有している。これらの情報を対象に、地理空間情報ライブラリ事業として国土地理院が保有する地図・空中写真等のデジタル化を進めており、デジタル化の完了したものを順次、公開している。

表 2.1.2 公開されている地形図データ<sup>(3)</sup>

地形図・地勢図等	約 65、000 枚
主題図	約 3、000 枚
公共測量地図	約 61、000 枚
国土基本図	約 20、000 枚

表 2.1.3 公開されている空中写真データ<sup>(3)</sup>

モノクロ撮影	約 461、000 枚
カラー撮影	約 699、000 枚
米軍撮影	約 147、000 枚
陸軍撮影	約 19、000 枚
その他	約 3、000 枚

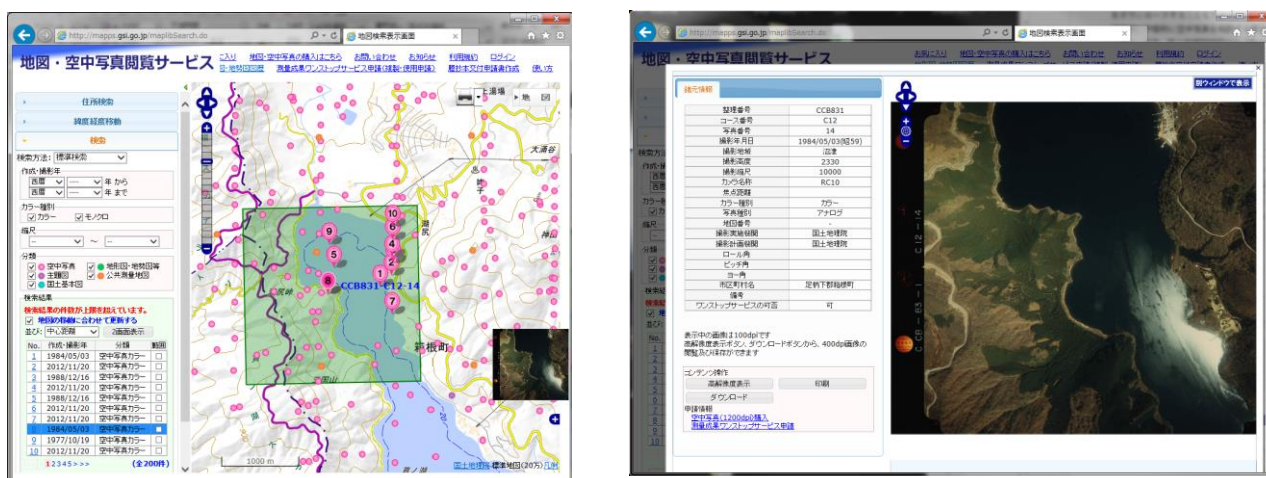


図 2.1.2 地図・空中写真閲覧サービスの表示例<sup>(3)</sup>

②国土地理院：地理院地図 3D <http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/>

日本全国の地理院地図から 3D 地図を作成し、3D プリンタ用のデータ提供を行う。



図 2.1.3 3D 地図の作成手順<sup>(4)</sup>

2.1.3 新しい地形計測技術によるデータの活用

近年、航空機レーザ計測技術が発達し、計測点密度が従来の手法より格段に高い地表面標高計測データを取得し、細密な地形モデルを作る手法が実用化された。このモデルの特徴は、面的に省略の無い詳細な地形表現が可能となったことであり、従来把握できなかった微小な地形が表現されるようになった。微小な地形データの取得により、ごく最近生じた地表面の変動現象を把握できることが期待されるため、災害予測などの精度向上に役立つと考えられる。

地形図、空中写真判読、レーザ DEM 地形判読の比較を表 2.1.4 に示す。

国土地理院では、航空レーザ測量によって数値地図 5 m メッシュ標高を作成し、基盤地図情報のダウンロードサービスで公開している。

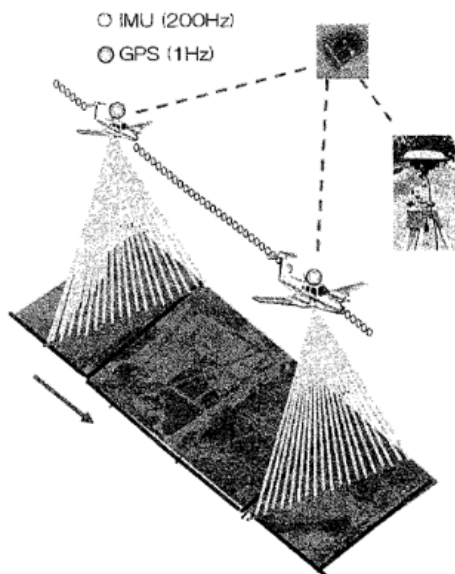


図 2.1.4 航空機レーザ計測<sup>(5)</sup>

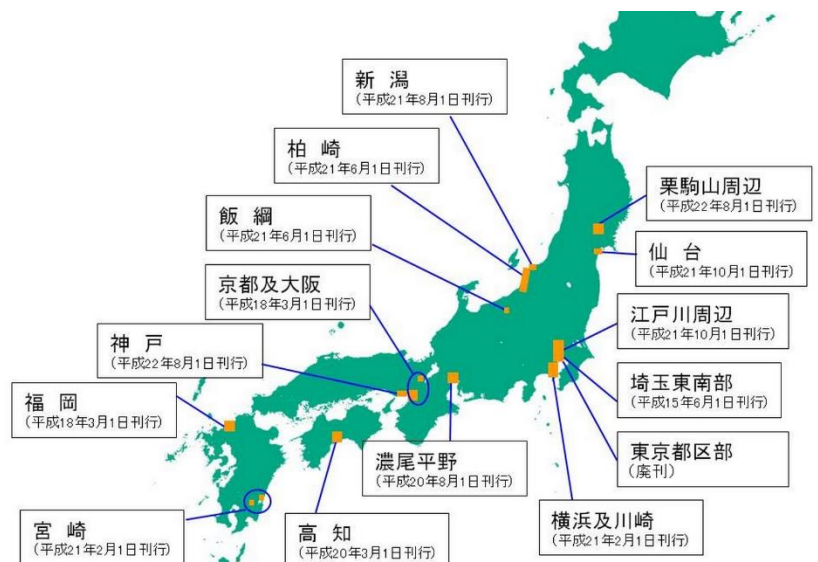


図 2.1.5 数値地図 5 m メッシュ標高刊行地域<sup>(6)</sup>

表 2.1.4 地形図、空中写真判読、レーザ DEM 地形判読の比較<sup>5)</sup>

		地形図の読図	空中写真判読	レーザ DEM 地形判読
必要 品	素資料	地形図	空中写真	地形表現図
	器具等	何も要らない	何も要らない もしくは実体鏡	何も要らない または DEM ビューア
	価格 (1 km <sup>2</sup> )	コピーより安い (1:25,000 地形図 1 図葉)	ビジネスホテル宿泊代以上 (カラー 1 実体視モデル: 数千円以上)	国内線往復航空運賃以上 (既存販売データ: 数万円以上)
	補助資料	空中写真	地形図	空中写真、地形図 (地物情報)
作業時間の桁		数秒ないし数分	数分ないし数時間	数秒以下ないし数十分
論理的基礎		科学技術一般	同左	同左
得ら れる 情報 の 例	種類	人間が取捨選択して地形図 に描写し、記号化した事象 (静止物体) とそれから判読 しうる事項	空中写真画像に移っているすべて の物体およびそれから判読される 事項、移動体の瞬間像	植生を含む地表面あるいは人間 が選択認定した任意の表面にお けるすべてのレーザ光反射点の 位置情報、反射状況 位置情報から作成した地形量、各 表面間差分量およびそれらを加工 表現した画像
	精度	縮尺に制約され、等高線 (5 ~20m 間隔) の間の地形は推 論するのみ 等高線の描画位置はオペ レーターの判断に依存する要 素あり 描画は許容誤差や省略を含 む	画像の方位と位置による多少の差 を除けば、どこでも同じ精度であ り、写真画素の分解能のみに制約 される 通常は写真画像としての歪みを持 つが、画像内の縮尺の違いに注意	選択した任意の表面の、計測点群 密度に制約される 通常は数 m ~ 数十 cm 間隔に 1 点 以上 計測点間は各種の手法で補間さ れる 縮尺の制約はない
	同時性	一般的には図葉内の同時性 はないが、原資料 (空中写真 など) の情報に依存する 描画対象に応じて任意に選 択変更可能である	単写真ごとに同時性を持つ瞬間画 像であるが、各画像間には不連続時 間差を持つ	数万 m <sup>2</sup> 中に 1 秒程度の連続的内部 時間差を持つ
	定量的な 情報	高度、距離、方位、傾斜、面 積などを容易に計測できる	高価な機器を用いれば高精度で可 能であるが、実体視だけでは困難	比較的安価なソフトウェアを用 いて、高度、距離、方位、傾斜、 面積などを、極めて容易に短時間 で計測できる またそれらの多様な表現の可視 化が可能
	地域の 時間的な 変化	明治時代以降、測量年次の異 なる地形図があれば可能で あるが、短期間における詳細 な変化の認識は困難	日本国内全域については、1946 年 以降について撮影年次の異なる写 真があれば可能 短期間に複数回の撮影によって高 精度で認識可能	任意の表面標高の変化について のみ、取得年次の異なるデータが あれば可能 短期間に複数回の取得により極 高精度で認識可能
得られない 情報の例	三角点や等高線以外の場所 の詳しい標高値、地形図に記 入されていない地物、動態な ど	地名、行政区画、構造物管理者、 地下構造物など	地物・地被物の種類、地下構造物 など 地名、行政区画、構造物管理者な ど (これらのデータが GIS データ 化されていれば対照は容易)	
入手可能範囲	全国あり、web 版入手可能	全国あり、web 版 (時期および解像 度限定) 入手可能	現状では限定的	
その他	描画対象に対する誤認情報 を含まない	被写体に対する誤認情報は含まな いが、特に陰影部などで画質上判 別困難な情報を含む	計測対象に対する誤認情報を若 干含む	

## 2.2 平野部における注意すべき地形地質の探し方

広域なエリアから地形判読を始める場合、まず地形を山地・丘陵地・台地・低地などの地形単元に分けて地質や地盤との関係を整理する。さらに各地形単元を細区分し、微地形の単元で地形の成因、地盤の状態、そこで起こる災害などのタイプとその起こりやすさなどを検討する。すなわち、大地形から小地形へ解釈を深めることが、大きな手戻りを防ぐことになる。

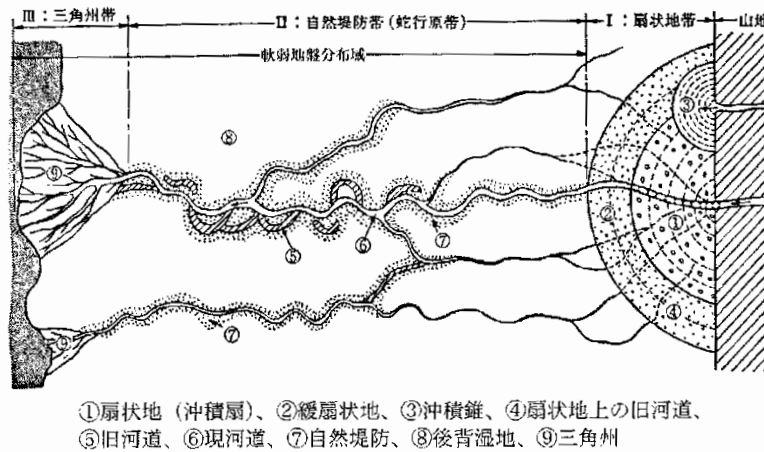


図 2.2.1 低地の区分模式図<sup>7)</sup>

### 2.2.1 軟弱地盤を伴う微地形

1章で挙げた平野部における軟弱地盤、地震時に不安定となる地盤について、その探し方を解説する。

軟弱地盤は低地に多く発達し、地表近くに軟弱層が分布しているところは微地形に現れている場合が多い。一方、地下深くにある軟弱層を微地形から見つけ出すことは難しい。軟弱地盤を伴う微地形は、おぼれ谷埋積地、三角州、潟湖跡地、堤間低地、後背湿地、旧河道などである。表 2.2.1 に地形の特徴と写真判読のカギを示す。

#### ①おぼれ谷埋積地

海退時に当時の陸地に刻まれた谷地形が、海進時に海面下に水没した地形をおぼれ谷と呼ぶ。このおぼれ谷が、シルトや粘土等の軟弱な堆積物で埋められたところがおぼれ谷埋積地となり、有機物を混入した泥質の厚い難弱層となっている。縄文海進時に海が入り込んでいた地域もあり、標高数メートルの低地である。湿地帯や水田等の土地利用を伴うことが多い。

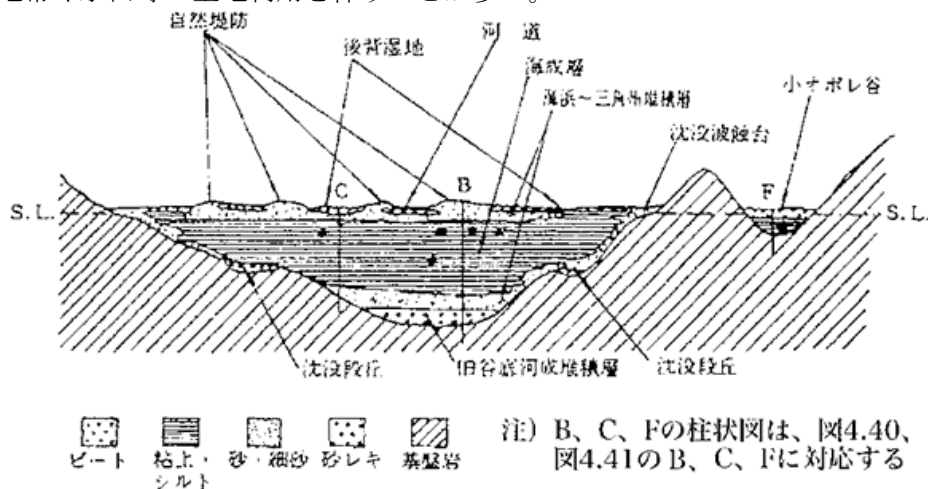


図 2.2.2 おぼれ谷を埋積する沖積層の模式断面図<sup>7)</sup>









表 2.2.1 地形の特徴と写真判読の力ギ (8)

地形区分	地形の特徴	写真判読の力ギ(パンクロマチック)	勾配	主な土地利用	地下水	土地・地盤	災害の種類
河岸段丘	河川に沿った平坦面と急崖により形成される段状または階段状の地形	形態(ガケ)と平坦面の組み合わせ、土地利用の特徴などにより、きめの粗い例が多い	>1/1000 (段丘面)	畑, 果樹, 桑畑, 樹林, 集落	水位深く, 用水に不通。乾燥	礫・砂が主。地盤は強い	ガケ崩れ
谷底平野	小さな谷底に広がる平坦な堆積地。小規模な段丘。旧河道の発達がある	山地・丘陵地を侵食した谷底にある平坦な地形。黒っぽく写る場合が多い	>1/1000 地域差大	水田, 畑, 果樹, 樹木	浅い, 表流水あり	礫～砂・シルト	洪水・土石流・泥流
扇状地	谷の出口または合流部にできる緩傾斜地。両側に斜面・段丘などの規制がないと扇形になるが, 実際には少ない。同心円状の等高線, 網状流路が特徴	山地・丘陵地を侵食した谷底にある平坦な地形。黒っぽく写る場合が多い	>1/1000 礫径に比例して急勾配	畑, 果樹, 桑畑, 樹木, 荒地, 扇頂・扇端集落分布に特徴	扇状部では伏流して水位深い。扇端に湧水	礫, 砂が主。地盤としては良。	洪水(流速速い)・土石流(扇頂付近), 泥流
自然堤防	現・旧河道に沿って発達する微高地。新しいものほど形態が認めやすい。古いものはその後の洪水に侵食されバッチ状となつて残る。河道側にやや急な断面を示す	土地利用の特徴。周辺に比べて白～灰色となる。分布形態が細長くなり, 旧および現河川に平行する例が多い	1/1000 0.2/1000	畑, 集落, 水田地帯などでは集落の分布と一致する	周囲に比べて深い。乾燥	砂質, 砂の厚さが厚いと きは強い。浅い砂の直下 がシルト～粘土ならば 弱い	洪水(浅い) 地震(液状化)
後背湿地 旧河道	自然堤防間や山地・段丘との間に広がる凹地, 平坦な地形。旧河道はさらに一段低い地形で, 連続性がよい	自然堤防に挟まれるようにして分布する。暗灰色～黒色できめは細かい。旧河道は帯状にのびる。土地利用に特徴	<0.5/1000	水田, 荒地, 時に沼沢地化している	地下水位浅く通地となる	砂～シルトが主, 時に粘土質の部分	洪水(深い)地震(家屋倒壊, 液状化)地盤沈下
湿地 泥炭地	湖, 湖の乾いた跡に形成される。ほとんど平坦。泥炭地は盛り上がった形を示すが分布が限定されている。三日月湖跡などにできる	暗灰色～黒色で, きめが細かくムラがほとんどない	<0.5/1000	荒地。そのままでは土地利用できない。土地改良後水田化している	非常に浅いか, 表面に出している	シルト～粘土 泥炭質土壌	洪水(深い) 地盤沈下
三角州	河口付近に広がる広く平坦な地形。起伏にとぼしく, 土地利用により堆積時原地形は不明になることが多い	灰～暗灰色で, 湿性のものほど暗い色をしている。きめは中～密となる。土地利用の特徴が大きい	<0.2/1000 ほとんど平坦面	主として水田	浅く, 表面付近まで湿潤	砂～シルト。粘土層を部分的にはさむ。軟弱地盤	洪水(深い) 地震(家屋倒壊), 液状化 地盤沈下 津波・高潮
海岸平野	海岸線に平行する平坦な地域。背後から大きな河川の流入が少ない。浜埋列や砂丘が発達する場合もある	海岸線に平行する。灰白色を呈し, きめは細かい。浜埋列や砂丘などは平行して分布し, バターンに特徴がある	<0.2/1000 ほとんど平坦面	水田, 畑, 集落(浜埋列の上)	浅い。乾燥～湿潤(塩水の侵入)	砂, シルト, 礫	津波 高潮
干拓地	干潟や浅瀬を人工的に陸化したもの。ほとんど平坦。土地造成のため盛土している場合がある	平坦で, 海岸付近に分布する。灰白色～暗灰色を示す。海底砂の粒度に応じて色に変化。きめは細かい	ほとんど平坦	水田, 工場地帯など	浅い	砂～シルト, 粘土。 軟弱地盤	津波, 高潮, 地震(家屋倒壊)(液状化)地盤沈下

## ②三角州

三角州は、縄文海進によって堆積した海成粘土層と、その後の海退時に堆積した砂層から構成される。この下部海成粘土層が軟弱地盤として問題となることがある。一方、上部砂層は、地下水位が浅くルーズな砂からなるため、地震時には地盤が液状化しやすい特徴がある。表 2.2.2 に三角州のタイプとその性状を示す。

表 2.2.2 三角州のタイプとその性状<sup>(7)</sup>

タイプ (type)	形状	河川からの 堆積物供給量	静水域 の水深	沿岸流潮汐 による侵食	性状	表層の上質	例	備考
		大	浅	弱		砂質 (軟弱度小)		発生期
1鳥足状 (birdfoot)		↑	↑	↑	河川からの流出土砂量が多く、水域の諸作用が相対的に小さい場合に形成	↑	ミシシッピー川 野州川	
2突状 (lobe)					河口部が多数の島(砂州)の集合からなっている。		ローヌ川	
3円弧状 (arcuate)					2つ以上の自然堤防状の突出部の間が埋積されて陸化すると、海岸線は円弧状を示す		ナイル川 黄河 江ノ川 多摩川 岩木川(湖成)	
4尖角状 (cusate)					三角州前面の湖や海の侵食作用が強くなる場合、陸地は削られるが、堆積量の多い主流路河口付近だけは突出して突状の海岸線を示す		安倍川 大野川 テレベ川(イタリア) 台伯川(中国)	成熟期
5直線状 (straight)					湖や海の侵食作用がさらに強いと、河口部でも尖状を示すことなく直線状の海岸線を示す		信濃川 最上川 石狩川	
6湾入状 (estuary)		小	深	強	河川からの土砂流出量に比べて潮差が大きく落潮流の激しい海岸などでは、海岸線は河側に入り込みロート状を示す	↓ 粘土質 (軟弱度大)	テムズ川	

## ③<sup>せきこ</sup>潟湖跡地

内湾の入口部分が、砂丘や砂州・砂嘴・沿岸州などによって外海と絶縁されてできたものを、潟湖と呼ぶ。潟湖に泥や粘土・シルトが堆積したものが潟湖跡地である。潟湖跡地には、N 値の極めて低い軟弱層が分布し、主に水田などの土地利用が多い。図 2.2.3 に潟湖跡地の地形図の例を示す。

## ④堤間低地

海岸沿いに発達する砂丘や浜堤列と間の細長い低地部を、堤間低地と呼ぶ。砂丘や浜堤列は砂や砂礫からなり排水性の高い高燥地であり、集落や畑として利用される。一方、堤間低地は地下水位が浅く、泥質の砂や有機質粘土からなる軟弱地盤を形成する。図 2.2.4 に堤間低地の空中写真の例を示す。

## ⑤後背湿地

河川の洪水氾濫により、砂礫等の粒度の大きい物質は河道の両側に堆積し自然堤防を形成する。粘土・シルトのような細粒分は自然堤防を乗り越えて堆積し、湿生植物が繁茂し、やがて軟弱地盤が形成される。これを後背湿地と呼ぶ。表層部は一般に有機質粘土が分布する軟弱地盤である。自然堤防と後背湿地の模式図を図 2.2.5 に示す。後背湿地は、ほとんど水平に近い勾配で、水田としての土地利用が多い。

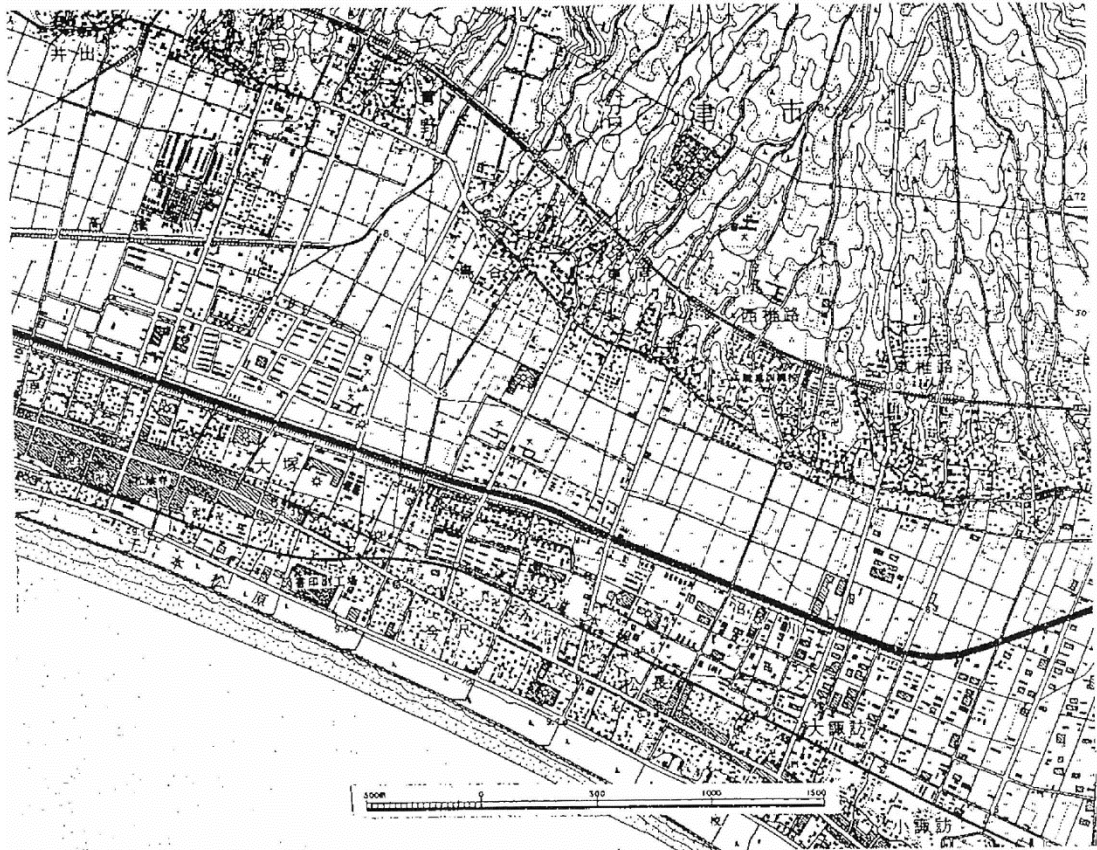


図 2.2.3 潟湖跡地の例<sup>(7)</sup>



図 2.2.4 集落の間に見られる堤間低地の例<sup>(7)</sup>

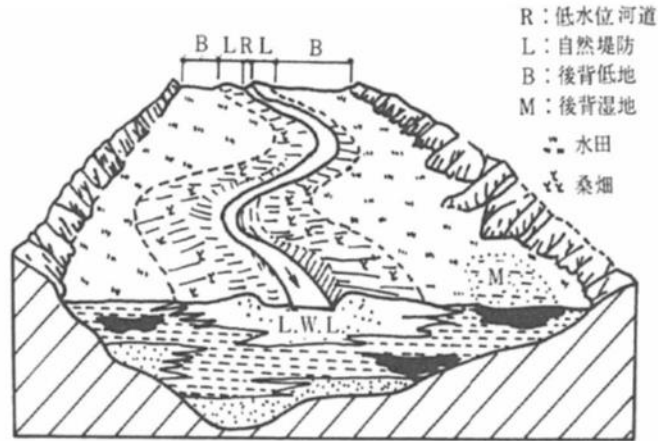


図 2.2.5 谷底低地における自然堤防と後背湿地<sup>(7)</sup>

### ⑥旧河道

河道の変動などで本川から切り離されて湖沼となった部分に、細粒泥土などが埋積された地域を旧河道と呼ぶ。表層に軟弱地盤を伴うことが多い。図 2.2.6 に旧河道を判読した地形図の例を示す。

旧河道は、まわりの平野部よりわずかに低く、空中写真上ではヒモ状に細長い暗灰色をなす。多くは水田や湿地となっており、水田の場合、畔の位置が旧河道の輪郭を示すことが多い。

市街地では、町なみは旧河道に沿う自然堤防上に形成され、旧河道には古くからある集落は少なく、新しい施設が立地することが多い。地形図上では古い地形図を使った方が、圃場整備や無秩序な土地開発が進んでいないため、旧河道を読みとりやすい。

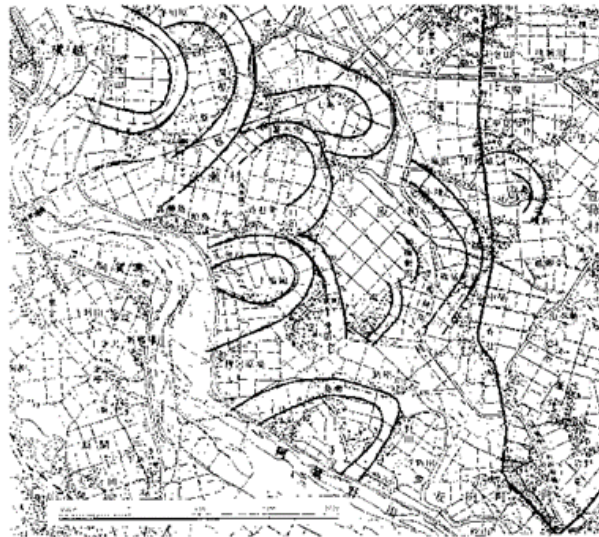


図 2.2.6 旧河道を判読した地形図の例<sup>(7)</sup>

## 2.2.2 空中写真から微地形を判読する着目点

空中写真から微地形を判読するには、形態、色調、きめ、模様などを総合的に解釈することが必要である。これらの特徴は、微地形を構成する地質・土壌・植生・土地利用などの違いを反映している<sup>(8)(9)</sup>。

### ①微地形の形態に着目する

空中写真にある平面的な地形に加え、立体視によって識別される低地の中でさらに相対的な低地を識別して抽出する。また、軟弱地盤の区域は傾斜がほとんど $0^{\circ}$ に近い平坦地に限られる。

### ②色調に着目する

白黒の空中写真の色調は、フィルムの感度特性、地盤を構成する物質の種類、それに含まれる水分量に関係した色や反射率によって決まる。一般に、土壌水分が多いと暗色に、少ないと明色になる。植生に覆われた土地も暗色になる。

### ③きめに着目する

白黒の空中写真の場合、同じ色調であっても表面の粗さに違いが見られることがある。この特徴をきめという。植林された杉林と広葉樹林の境界は、杉の尖った樹冠による規則正しい配列によるきめが特徴となる。海岸の砂浜と扇状地の河原では、河原のほうがきめが粗く見える。

### ④模様に着目する

空中写真に見られる模様は、水系網やリニアメントなどの自然的な起源によるものと、耕作地などの人為的な起源によるものがある。自然的な起源による模様は、たとえばリニアメントの線状模様、扇状地の網状の旧流路と紡錘状の砂礫堆がおりなす模様など、一定の特徴的なパターンが見られる。

### ⑤傾斜変換線に着目する

空中写真の立体視によって、傾斜の異なる二つの地域が接するところに傾斜変換線が識別される。傾斜変換線は、成因の異なる地盤が接するところに形成される場合が多く、その場合、微地形分類の境界線として解釈される。

### ⑥堆積環境に着目する

軟弱地盤を作る地形は排水不良地であることが多い。そこで、水がたまりやすい地形、排水障害を引き起こす地形の配置を考察する。見つけやすいのは排水のバリアとなる地形で、河川沿いでは、自然堤防が排水のバリアとなっているところがある。また、土砂生産力の大きな河川に近接(または合流)する勾配の緩やかな河川に軟弱地盤が形成されることが多い。海岸沿いでは、河川の河口付近に海岸線に沿って長く伸びる砂丘や砂州などの背後に軟弱地盤が形成されやすい。

### ⑦土地利用に着目する

軟弱地盤地域の土地利用は水田、蓮田などになっていることが多い。ピートなどが発達して通常の土地利用が不可能な場合は湿地の植生になっていることが多い。しかし、最近では、都市化や土地改良が

進み、元の地形がわかりにくい場合が多い。旧河道は埋め立てられ、後背湿地には盛土が施され、市街地になっているところも少なくない。そのような場合は、旧版地形図や古い空中写真で土地利用を確認するのがよい。軟弱地盤全体を改良している場合は少なく、一部にもとの地形・地盤を残している所がある。そうした限られたところの軟弱地盤を調査することで、周辺の様子を推定することができる。また、地域に長く住んでいる人から改変以前の様子をヒアリングすることも有効である。

## 2.3 丘陵地～山地部における注意すべき地形地質の探し方

1章で挙げた丘陵地～山地部における注意すべき地形地質の探し方を解説する。

### 2.3.1 水系異常

山地部の地形判読を行う手始めとして、水系模様を把握することが有効である。水系模様は、岩相や地質構造と密接な関係があり、図 2.3.1 に示すような特徴ある模様がある。

注意すべき地形地質を抽出する場合は、水系異常に着目することが重要である。水系異常とは、水系の偏位、水系の湾曲、流路の急変、蛇行の粗密の急変のことで、図 2.3.2 に示す水系の異常発達のことをいい、これらの原因として、岩質の硬軟の差、断層破碎帯の存在、特殊な地質構造の存在、地すべりの分布などによることが多い。

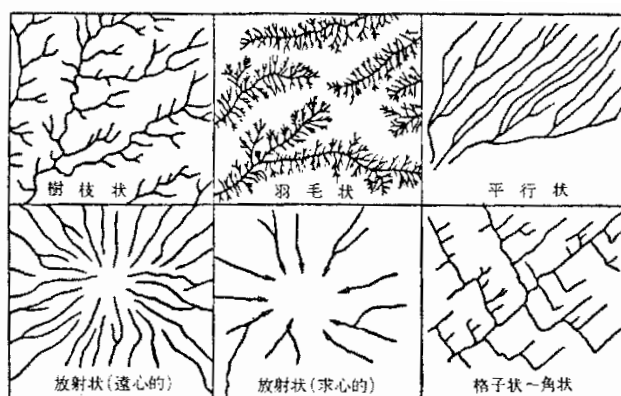


図 2.3.1 主要な水系模様 (7)

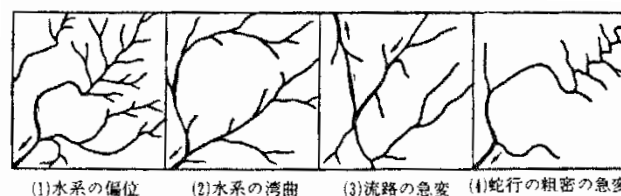


図 2.3.2 水系異常の例 (7)

### 2.3.2 遷急線・侵食前線

山地部の斜面傾斜に着目すると、尾根から山脚までの間に傾斜が急になる箇所がある。この箇所が平面的に連続するものを遷急線と呼ぶ。遷急線より上部と下部では、斜面侵食の強さに違いがあることから遷急線が形成される。特に、図 2.3.3 に示すように、遷急線付近は新たな崩壊が活発に発生している部分であり、侵食前線とも呼ばれる。この侵食前線は、崩壊の発生を繰り返し、次第に上方へ移動してゆく。山地内で崩壊の発生しそうな注意すべき地形を抽出する際には、遷急線に着目した地形判読が重要である。

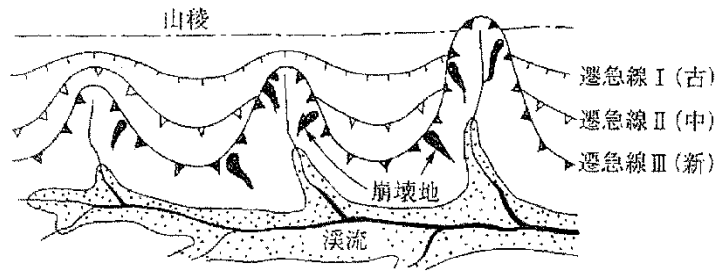


図 2.3.3 遷急線と崩壊の発生位置<sup>(7)</sup>

### 2.3.3 崖錐

山腹斜面が風化や侵食で崩れて落下し、崖下に堆積した半円錐状の地形を崖錐と呼ぶ。崖錐を構成する堆積物を崖錐堆積物と呼ぶ。崖錐堆積物の移動形態には、落石、斜面崩壊、地すべり、クリープなどいろいろのタイプがある。したがって、形成された堆積物も角礫を主とする岩屑から、初生的な崖錐堆積物が流水によって再堆積したもの、風化した表土の崩壊によって形成された粘土質のものまで多様である。

崖錐堆積物は、未固結で侵食に弱く不安定である。崖錐堆積物の下位の基盤岩との間は、不整合面で透水性が高く、地すべりのすべり面となる場合があるため、工学的に問題となる地質である。図 2.3.4 に広義の崖錐の分類を示す。

崖錐の地形は以下の特徴があり、地形判読のカギとなる。

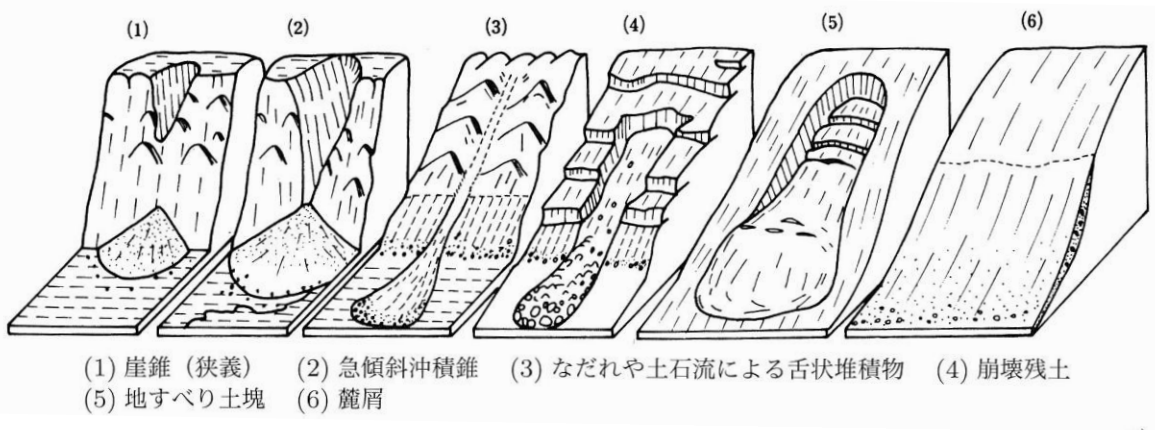


図 2.3.4 広義の崖錐の分類<sup>(7)</sup>

崖錐は地形的に次の性質があり、識別の上の有効な手がかりとなる。

- ①河川に臨接する山麓以外の崖や山腹斜面の裾部に位置し、表面は上方にやや凹の 35° 前後の傾斜を示す。
- ②山腹斜面の中途(岩盤部分)から崖錐部に入ると、傾斜が急に緩やかとなる。地形図上でみると、崖錐の部分は等高線がスムーズで間隔が広い(図 2.3.5)。
- ③堆積物の表面は滑らかで未固結の土砂からなり、地表水は伏流するため山腹でみられた小水系が崖錐部分に入ると消滅することが多い。山肌には俗に 0 次谷と呼ぶ細かい山ひだがあるが、山麓や中腹で山ひだがなくなってスムーズな斜面になっているところは、崖錐で埋められている可能性が高い。



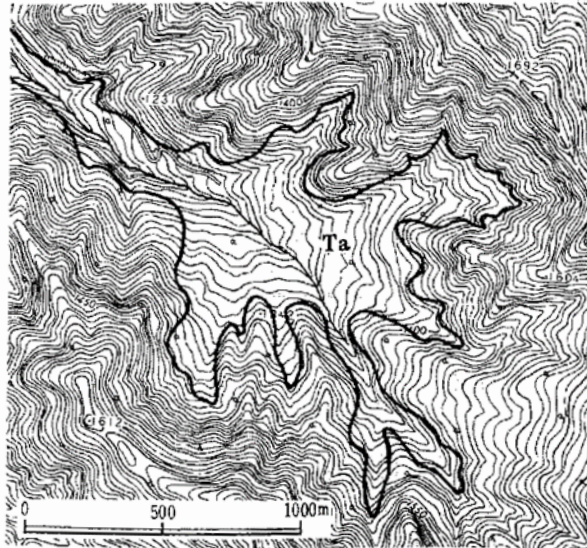


図 2.3.5 地形図による崖錐の読み取り例<sup>(7)</sup>

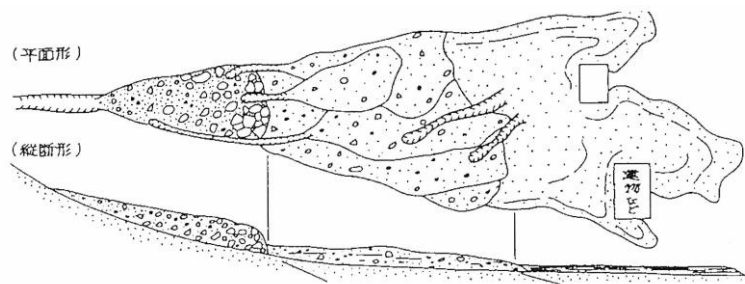
- ④新しく形成されたものや現在形成されつつあるものでは土砂移動が頻繁なため、空中写真上では明灰色を示し植生の定着が悪いが、崖錐の裾部からは徐々に植生が侵入している。
- ⑤土砂供給が停止した古いものでは風化による粘土分が多いため水分が多く、また厚い地層で根が張りやすいため植生の生育が良好で、スギのような深根性の樹林になっていることが多い。
- ⑥傾斜の緩い山の谷あいには、函状の断面をもったガリーが分布するところには、たいてい風化して粘土化した崖錐が厚く分布する。
- ⑦人里に近い地域では畑地に利用されていることが多く、崖錐下端沿いの道路では、数段の腰石積を設けたところもある。

空中写真上では、1~2m以上の厚さをもった崖錐であれば、その分布を容易に判読できる。

#### 2.3.4 土石流地形

土石流とは、溪床や山腹斜面に堆積していた土砂あるいは山腹で発生した山崩れで生産された土砂が、多量の水を含んで集合運搬の形態をとって「かゆ」状の流体として流動する流送形態をいう。

土石流は上流側の流域が  $1\text{ km}^2$  以下の溪流で多く発生し、図 2.3.6 に示すように、1回の土石流は土石からなる家屋などに重大な被害を与える本体部分と、その後続く土砂からなる掃流部分からなる。本体部分の形状は、紡錘型~舌状の平面形と上に凸の縦断形をもって堆積する。土石流は繰り返し発生し、図 2.3.7 に示すような扇状~半円形の沖積堆を形成する。基本的に溪床勾配  $10^\circ$  以下の扇状地地性の地形は、土石流の堆積区域と判読できる。



流送形態	土石流		掃流	
	土石(土砂)* <sup>1</sup>	土砂 [I] * <sup>2</sup>	土砂 [II]	
流送される物質	土石(土砂)* <sup>1</sup>	土砂 [I] * <sup>2</sup>	土砂 [II]	
堆積の特徴	土石流堆積物の本体	土石流本体の堆積後に短時間に堆積する部分	土石流堆や掃流土砂 [I] の堆積に引き続き、長時間かけて堆積する部分	
礫径	Max $\phi = 1.5\text{ m}$ 以上 時に $\phi = 3 \sim 4\text{ m}$ のことがある 平均 $\phi = 20\text{ cm}$ 土	Max $\phi = 1\text{ m}$ 平均 $\phi = 5\text{ cm}$ 土	Max $\phi = 10 \sim 20\text{ cm}$ 平均 $\phi = 0.5\text{ cm}$	
堆積の厚さ	最大 4 m、平均 2 m	最大 1.5 m、平均 0.5 m	最大 1 m、平均 0.3 m	
表面形状	不規則	地形や構造物などに規制され、不規則な場合と平滑な場合の双方あり	ほぼ平滑	
断面形状	かまぼこ形に盛り上がっている。ほとんど層理なし。	平坦型をなす。層理(層状構造)あり。	明確な層理が認められる。	
破壊力	きわめて大きく、致命的破壊力をもつ。	比較的弱い。木造家屋に被害を及ぼすことがある。	ほとんど破壊力はない。	

\*1, \*2: 諏訪 (1982) のいう「盛り型」が \*1、「平坦型」が \*2 に相当すると思われる。  
\*3: 土砂 [I] と土砂 [II] とは区別できないことも多い (図 6.85、図 6.86)。

図 2.3.6 1 回の土石流の発生によって形成される土砂堆積模式図 (7)

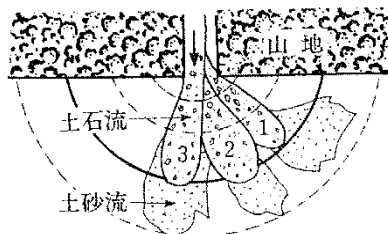


図 2.3.7 土石流のつくる扇状地性の地形 (7)

(図中の 1. 2. 3 は土石流発生 of 順番を示す)

### 2.3.5 地すべり地形

地すべりとは、特別な地質状態の地域にある土地の一部が、地下水などに起因して移動する現象を、山崩れと区別して呼んでいるものである。

地すべりは、同じ場所で繰り返し活動することが多く、そのような場所は、地すべり地形と呼ばれる特徴的な地形を呈する。地質調査の初期段階では、この特徴的な地すべり地形をもれなく抽出することが重要である。

#### ①過去の地すべり地をすべて抽出する

空中写真判読、地形図読図、現地踏査、災害記録からの情報収集などで、すべての地すべり地を抽出する。一般に、地すべり地形は図 2.3.8 のような特徴を持つ。

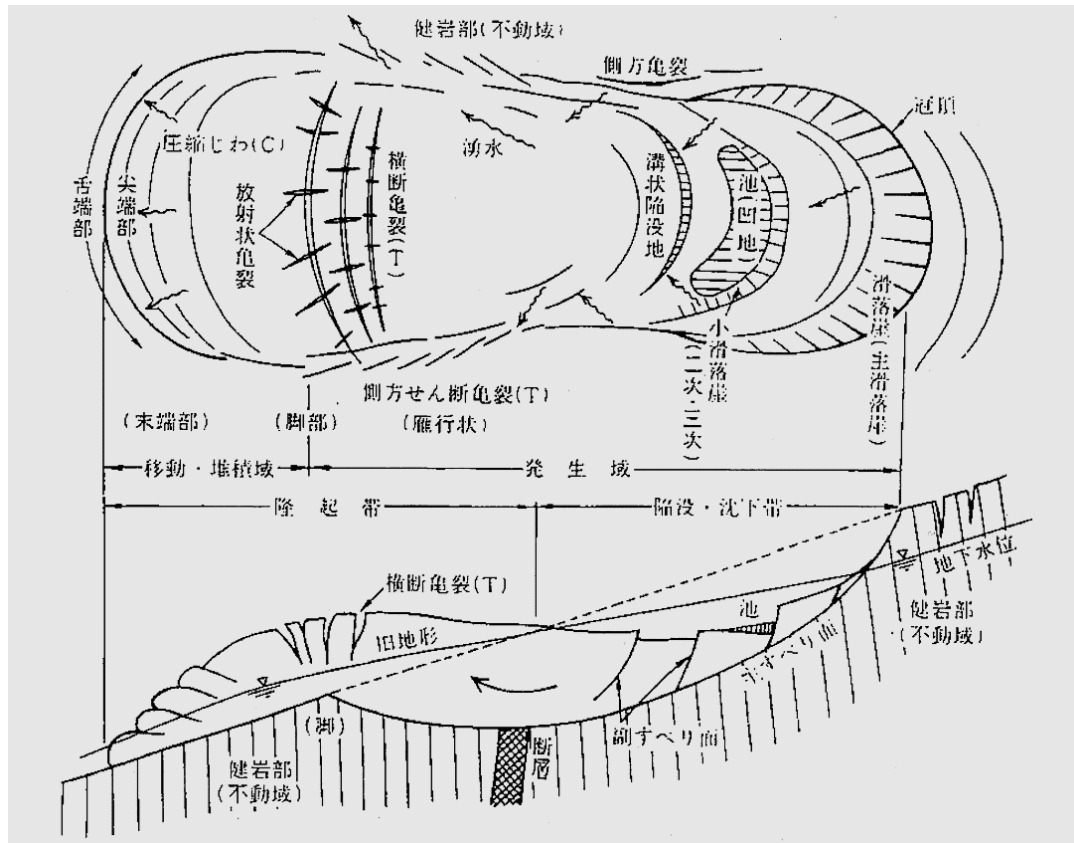


図 2.3.8 地すべり地の一般的な微小地形<sup>(7)</sup>

### 【地すべり地形の特徴】

- ・縦断形が上から急(滑落崖)～緩(地すべり土塊)～急(末端部)というように非地すべり地に比べ、変化が大きい。等高線も等間隔でなく、乱れている。
- ・緩斜面の中にも、段差、亀裂、凹地、池沼、湿地など変化に富む地形が認められる。上部は引張りに、末端部は圧縮に伴う地形となっている。
- ・地すべり土塊の平面形は楕円形、馬蹄形、舌状などと呼ばれるように、すべり方向に伸びた形になっていることが多い。
- ・側方にもしわや亀裂が見られる。そこが水みちになり、さらに明瞭な側方の谷となることもある。

### ②地すべり地形を移動ブロックに細分する(図 2.3.9)

地すべりには、活動の結果に生じた微細な地形や痕跡が認められる。大きな地すべりブロックは何度かの活動により、小さな移動ブロックを伴う場合が多い。そうした微細な地形、痕跡、大きな地すべり中の移動ブロックを細分することで地すべりの特徴が明確になる。

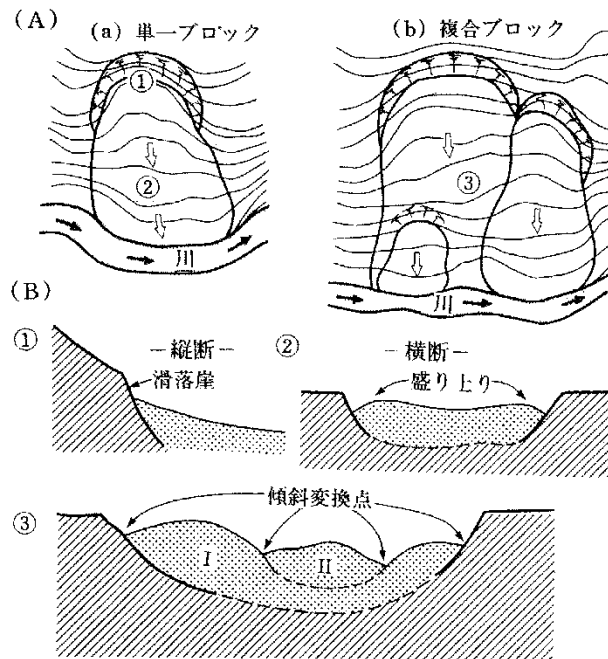


図 2.3.9 地すべり移動ブロック区分と区分する際のキーポイント<sup>(7)</sup>

### ③地すべりタイプを区分する

地すべりの分類はいろいろな観点から行われている。地すべり地の分布と地質との関係から、第三紀層地すべり、結晶片岩地すべり、破碎帯地すべり、熱水変質帯地すべりというような分類もある。しかし、地すべりの変動形式による分類の方が工事や対策に役立つ。前記②項で細分した小さな移動ブロックごとに、表 2.3.1 に示したような崖錐クリープ、流動型地すべり、弧状地すべり、岩盤地すべりに区分すると有効である。

### ④移動ブロックのすべりやすさランク区分する

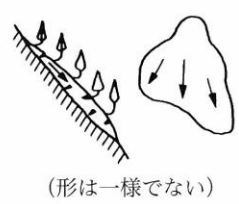

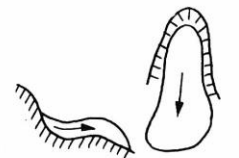
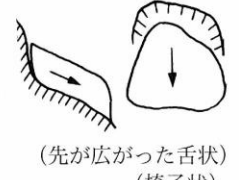
地すべりのすべりやすさを判定するのはかなり難しい。安定していると見られてもすべり出す場合が多いからである。次のような視点で地すべりを観察するとすべりやすさがある程度わかる。なお、これらは地表踏査によって再確認することが望ましい。

#### 【すべりやすさを観察する視点】

- ・地すべり地形が新鮮である。
- ・背後斜面や周辺部から水が集まりやすい地形になっている。
- ・末端部(地すべりの最下部)が河川などによって侵食されている。

空中写真だけで地すべり地形のすべりやすさを判断する場合には、図 2.3.10 に示す基準が有効である。

表 2.3.1 地すべりの平面形状による区分と一般的な変動形式 (7)

地すべりのタイプ	形状		すべりの様式	規模	発生場所の地質状況	すべり塊の状況	識別の難易	
	縦断形	平面形					現地踏査	写真判読
クリープ (creep)		(形は一様でない)	崖錐や風化表層部が、ふつう平面的に緩慢に動くが、動くにつれ粘土化が進むため、いっそう動きが大きくなり、継続的となる傾向がある。	小さいものから大きいものまであるが、“地すべり塊”としてはなかなかつかみにくい。厚さは5~10m程度。	崖錐部分や大きい地すべりの滑落跡あるいは末端部などに発生しやすい。	すべり土塊は著しく乱されており、これが水で飽和されるといっそう活動しやすくなる。	かなり難しい	難しい
流動型すべり (flow)			はじめ豪雨などのとき、一気に水を流下するものと思われる。一度停止した後は、すべり土塊内での多少の移動はあるようだが、著しく動くことはない。	比較的大規模なものが多い(長さ100~数100m)。厚さは5~10m程度。	凝灰岩、凝灰角礫岩などの地域に多いようである。	すべり土塊全体が著しく乱されており、溶岩流と同様、流下方向に平行した“しわ”ができています。末端は少しまるく盛り上がっている。	比較的容易	容易
弧状すべり (slump)			円弧すべりをなす。すべりは比較的緩慢であるが、連続降雨や融雪などを機に、かなり急激に動くことも多い。	長さ10~15m、長さ30~50m程度のものをslump、厚さ15~30m程度でいくつものブロックに分かれて運動するような大規模なものをslideとして区分することがある。	砂質礫岩、シルト岩、凝灰質砂岩、泥岩などの風化した第三紀層地域、あるいは、結晶片岩類、緑色岩類などの変成岩地域などの、流れ盤部分に発生しやすい。	すべり土塊の末端部は比較的乱されないことも多いが、中~先端は土塊が回転運動をしているため、著しく乱されている。	比較的容易	容易
岩盤すべり (rock glide)		(先が広がった舌状) (椅子状)	岩盤中の層理面や節理面、断層面などから外れ落ちるようにしてすべる。すべりは突発的で急激である。	長さ30~50m、厚さ10~30m程度と大きさのわりに厚いのが特徴。	断層や破碎帯の多いところ、あるいは貫入岩の多いところなどの岩盤地域に発生しやすい。	すべり岩塊はほとんど乱されず、ただずり落ちた感じである。椅子のようなすべり面をなすのが特徴。	難しい	容易

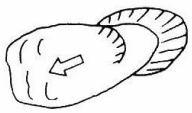
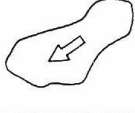
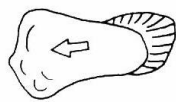

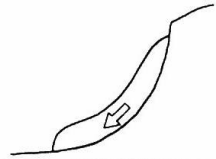
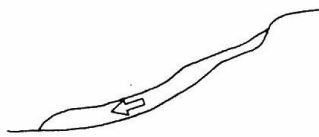
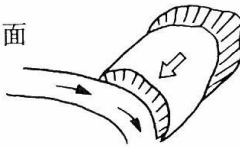
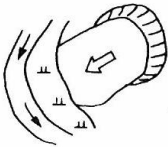
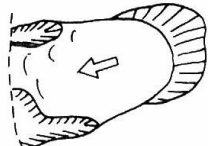
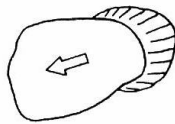
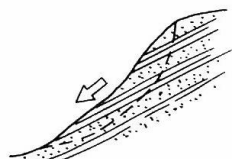
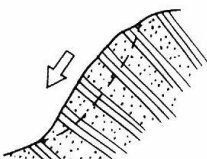
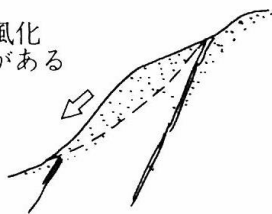
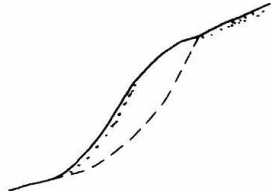
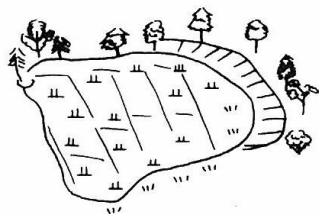

	すべりやすい要素	すべりにくい要素
地形条件	明瞭な地すべり地形 	不明瞭な地すべり地形 
	平面形が舌状 	平面形が紡錘状 
	急傾斜 	緩傾斜 
	攻激斜面 	滑走斜面 
	周辺に新しい崩壊地がある 	なし (安定化している) 
地質条件	流れ盤 	受け盤 
	断層・風化変質帯がある 	なし 
植生条件	水田等への人工改変 植生不均一で粗 	植生が均一で密 

図 2.3.10 すべりやすさの判定要素模式図 (7)

### 2.3.6 崩壊地形

斜面崩壊や崖崩れは、自然斜面や法面の一部が降雨や地震などの誘因によって急激に崩落する現象である。崩壊が発生した場所では裸地状となるため、崩壊地形は明瞭に判読できる。斜面崩壊は山腹斜面の表層部がうすく剥がれる表層崩壊と呼ばれるものから、深層の基盤岩から崩れる岩盤崩壊まで様々である。地すべりが比較的大規模で緩慢に変動するのに対し、崩壊はほとんど前ぶれもなく短時間に急激に発生する。表 2.3.2 に斜面崩壊のタイプを示す。

表 2.3.2 斜面崩壊のタイプ<sup>(9)</sup>

崩壊の種類	表層崩壊	岩盤崩壊	大規模崩壊	崖崩れ	トップリング
頻度	多い	あまり多くない	まれ	多い	まれ
崩壊部の特徴	表層の風化部やシラスなど未固結層が薄く崩れる。	基盤岩中の断層、破碎帯、節理、地層境界などの不連続面にそって、深く崩れる。	深層風化部または岩盤中の不連続面にそって、不安定なブロックが大規模に崩れる。	人工的な崖、台地の縁辺斜面、山すその崖錐が小規模に崩れる。	急崖で、縦方向の節理、割れ目が発達した岩盤が前のめりに崩れる。
規模	小～中 (高さ 10 m～数 10 m)	中～大 (高さ数 10 m～100 m)	大 (高さ 100 m～)	小～中 (高さ数 m～数 10 m)	小～中 (高さ数 10 m)
事例	平成 5 年鹿児島豪雨災害	平成 8 年豊浜トンネル崩壊	昭和 59 年御岳くずれ	平成 7 年西宮仁川崩壊	平成 7 年越前海岸崩壊
断面図					

#### ①表層崩壊

表層崩壊は豪雨時や地震時に、表層の風化した部分が薄く剥がれ落ちるものである。地形から見ると、遷急線(傾斜変換線)の付近で、背後の集水圏が広い所(すなわち谷型斜面)で起こりやすい。また、風化層が厚いか、それ自体が崩れやすい地質のところほど起こりやすい。

#### ②岩盤崩壊

岩盤崩壊は比較的深い岩盤部まで一気に崩壊するもので、大規模な崩壊になりやすい。岩盤に生じた亀裂にそって深く大きく崩れるが、表層崩壊と同様に、遷急線(傾斜変換線)の付近で起こり、集水地形とはあまり関係がないところで発生する。亀裂や地すべり地に見られるクラック地形などを丁寧に観察することによって、危険箇所を見つけることができる。

#### ③大規模崩壊

大規模崩壊は断層やキャップロック構造など、地質構造の影響を受けて形成されることが多く、周辺に古い時代の大規模崩壊地形が認められることが多い。火山斜面などのように火山碎屑物と溶岩の互層になっている斜面では、地震や火山活動に伴って大きく崩れることがある。大規模崩壊の危険箇所を見つけるには、過去の大規模崩壊地形とその堆積物を丁寧に調べるのが重要である。

#### ④崖崩れ

崖崩れは台地の縁辺や人工改変地の急斜面で起こる崩壊で、人為的な要因で崩壊する場合もある。自然斜面での崖崩れは脆弱な地質と水の集まりやすさが原因で発生する。崖崩れの発生する斜面は、縦断形が凸でしかも急斜面であるため、地震時にも崩れやすい。背後斜面での土工や排水の集中、斜面上で

の土工によっても崖崩れが起こりやすい。崖崩れは斜面近くに住宅や道路などがあることが多く、災害に結びつくことが多い。

⑤トップリング

トップリングは岩盤崩壊の一種で、転倒崩壊と訳すことができる。急な岩盤斜面で、上部が先に前方に崩れるものである。大きなのり面や断崖絶壁のような海食崖などで、岩塊上部が何らかの原因により不安定化し、前方に押し出されるように倒れ込む現象である。

崩壊地の形態は、図 2.3.11 に示すように、崩壊源の滑落崖と崩壊した土塊からなる。また、崩壊した場所と崩積土の位置関係は、図 2.3.12 に示すように、流送部の長さによって変化する。




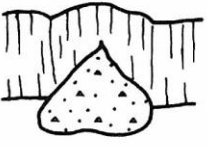
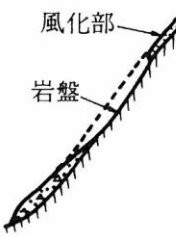
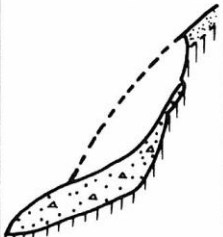
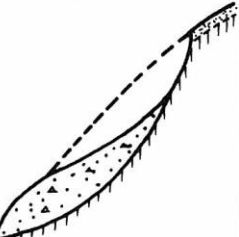
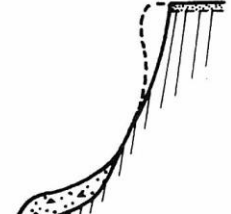
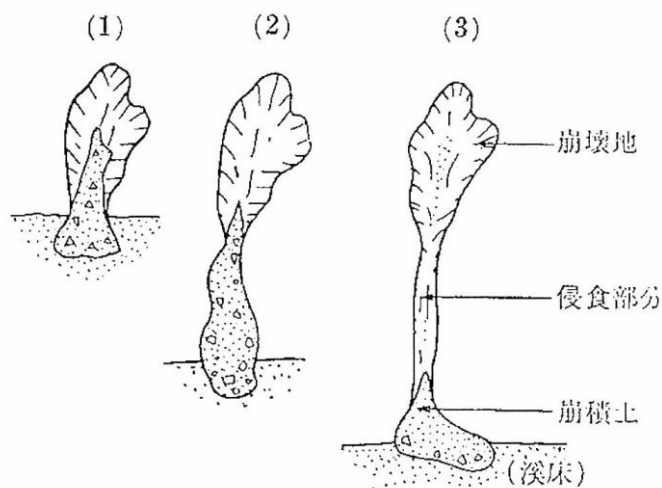
分類	表層滑落型崩壊	岩盤崩壊	大規模崩壊	崖崩れ
側面図				
縦断図				

図 2.3.11 崩壊地の分類<sup>(7)</sup>



移動域を伴わない場合 (1、2)、移動域を伴う場合 (3)

図 2.3.12 崩壊地と崩積土の位置関係<sup>(7)</sup>



### 2.3.7 断層地形

地殻変動によって、地層の連続性が打ち切られて、ずれて食い違いが生じる現象を断層と呼ぶ。断層運動の痕跡が地形に現れたものが断層地形である。断層地形には、断層破砕帯部分が侵食された結果断層の存在が分かるようになった断層組織地形と、断層変位による変位がそのまま地形に残っている断層変位地形がある。

#### ①断層地形の見つけ方

地形から断層を読みとる場合、断層を示す特徴例として表 2.3.3 があり、それらを組み合わせて断層の存在を判定する。

表 2.3.3 断層の存在をしめす特徴例<sup>(7)</sup>

	空中写真上の特徴
地形要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>①断層崖 (fault scarp) の存在</li> <li>②直線的な谷 (fault valley : 断層谷) の存在</li> <li>③ケルンコル (kerncol : 断層鞍部)、ケルンバット (kernbut : 断層突起) の存在</li> <li>④特定方向に平行する地形の存在</li> <li>⑤稜線や川の流路にずれがある場合</li> <li>⑥山腹斜面の傾斜変換点が直線的に連続する場合</li> <li>⑦河川の流路が著しい直線状を示す場合</li> <li>⑧水系が格子状または直線状を示す場合</li> <li>⑨地形的急変部</li> <li>⑩水系異常</li> <li>⑪湖沼、温泉、火口、湧水地点、崩壊、あるいは地すべりなどが一直線に配列している場合</li> <li>⑫扇状地ずれ (断層扇状地) がある場合</li> <li>⑬河成段丘面が (一般には平坦面) 直線的境界をもって、落差もしくは水平ずれを生じている場合</li> </ul>
植生の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>①周囲に比べて植生に成長差が認められ、しかもそれが直線的な場合</li> <li>②樹種や樹高が直線的に変化する場合</li> <li>③植生の分布そのものが直線的な場合</li> </ul>
写真の階調	<ul style="list-style-type: none"> <li>①土壤に覆われた部分で、写真の階調や色調の変化が長く、線状に現れる場合</li> <li>②ある直線的境界をもって、写真の階調や色調が変わっている場合</li> </ul>

#### 【連続する線状構造を見いだす方法】

山地の断層の多くは、線状構造(リニアメント)の抽出によって明らかになる。水系模様の丁寧な判読により、リニアメントを抽出し、それが明瞭で、連続性があるほど断層地形の可能性が高い。

#### 【ある線を境界にして地形の様相が異なることを見いだす方法】

ある線を境に、一方が山地で他方が低地であるようなところは、断層が存在する可能性が高く、しかも、活断層である場合が多い。中央構造線などの大構造線ではそうした地形が連続している。山地側が上がり、低地側が下がるようなところでは、境界線(活断層)付近に扇状地や沖積錐が連続することが多い。

#### 【過去に連続していた地形にずれを見いだす方法】

過去に連続していた地形として、段丘面、尾根線、谷線、河川などがあり、それらが一定の方向にずれ、線上に並んでいる場合、断層があると考えたほうがよい。

#### ②断層・破碎帯に関して明確にすべきこと

写真判読や現地調査によって、断層の伸長方向(走向、傾斜)、派生断層、連続性、規模(ずれの大きさや破碎帯の幅)を明確にすることが求められる。また、特殊な目的の場合は、さらに変動間隔、変位量(地震の間隔やマグニチュードなど)、破碎部の状況(破碎の程度、粘土化の状況)、地下水の状況(地下水の量、流れ)、地すべりや崩壊との関連性などを明らかにする必要がある。

一般に、断層沿いでは扇状地や崖錐が発達していることが多いために、露頭条件が悪く、踏査での確認が困難な場合が多い。大きな断層では、谷の中央部を通っている場合より、谷底平野の端を通っている場合が多い。大きな断層、問題の多い断層やより詳細に把握する必要がある断層の場合は、物理探査やトレンチ調査によってその状態を明らかにする。

### 2.3.8 活断層地形

活断層とは、最近の地質時代に繰り返し活動していて、将来も活動すると考えられる断層のことである。

防災計画や構造物建設事業にあたっては、活断層の位置の特定と今後の変動の可能性・時期・一回の変位量などを明らかにすることが求められる。空中写真判読や現地調査で下記のような特徴が見つかった場合は、活断層の可能性があると、次のステップの調査に入ったほうがよい。

#### 【活断層の可能性のある地形】(図 2.3.13、図 2.3.14)

- ・本来、平滑であるべき扇状地や段丘面に連続する段差地形が認められる(低断層崖)。
- ・畔道、道路、流路、尾根が横方向にずれている。
- ・ケルンコル、ケルンバットの存在
- ・ある線を境に大きく地形の様相が異なる。
- ・家屋や土木構造物の緩慢な破損や亀裂形成
- ・低断層崖の下などへの亀裂形成

活断層に関しては、新編日本の活断層<sup>10)</sup>、都市圏活断層図など活断層分布図が作られており、活断層の存在確認や活断層の事前調査では、それらを参照することが重要である。

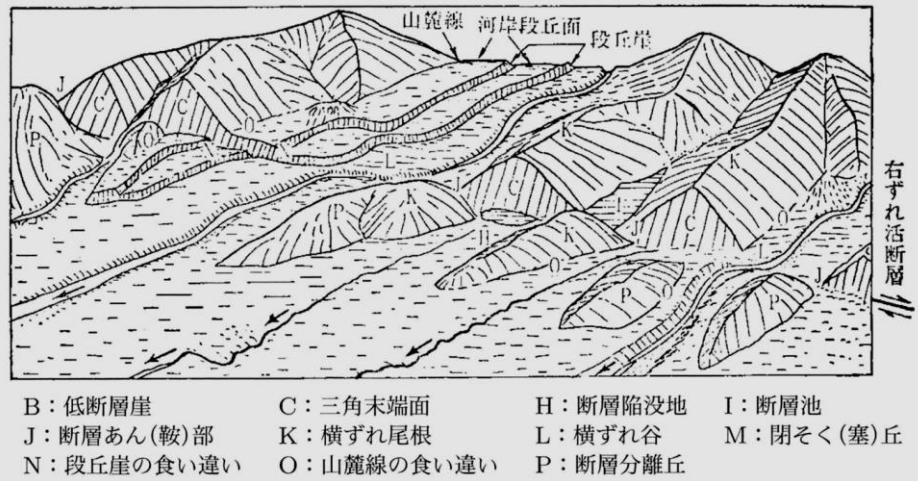


図 2.3.13 横（右）ずれ断層に伴う各種の断層地形 (7)

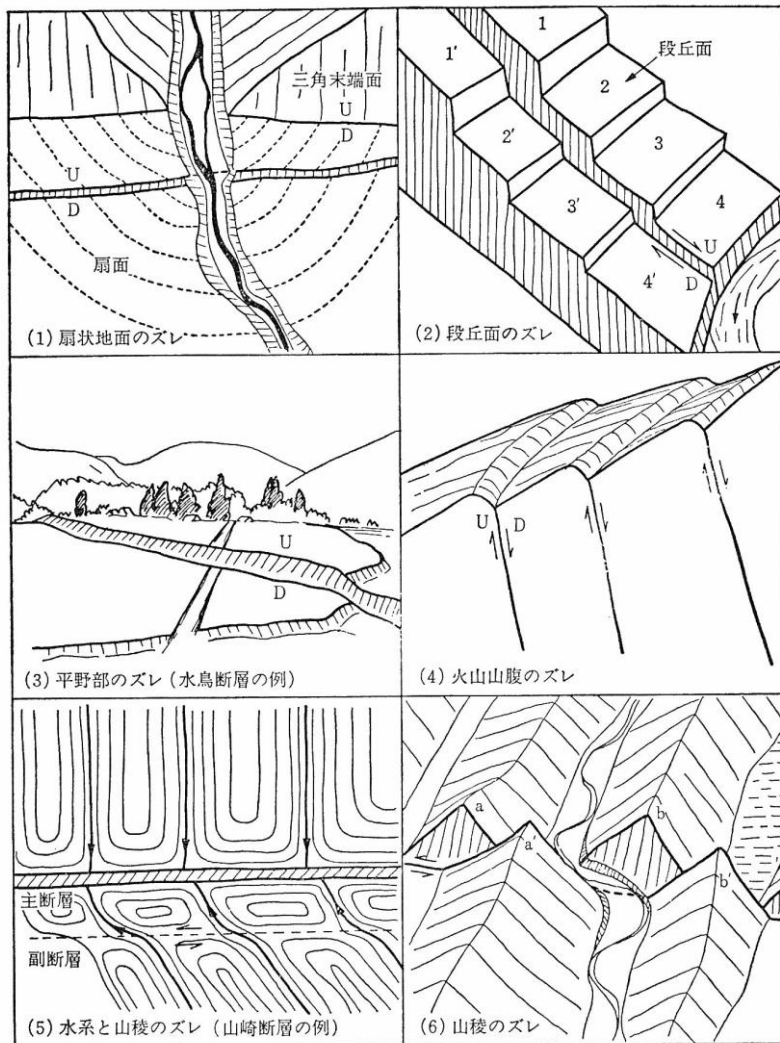


図 2.3.14 活断層を示す地形変位のいろいろ (7)

## 【引用文献】

- 1) 小川豊：災害と地名、山海堂
- 2) 谷謙二：今昔マップ on the web、(<http://ktgis.net/kjmapw/index.html>)
- 3) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス、(<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do>)
- 4) 国土地理院：地理院地図3D、(<http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/>)
- 5) 日本応用地質学会：応用地形セミナー空中写真判読演習、古今書院
- 6) 国土地理院：航空レーザ測量、([http://www1.gsi.go.jp/geowww/Laser\\_HP/index.html](http://www1.gsi.go.jp/geowww/Laser_HP/index.html))
- 7) 今村遼平：地形工学入門、鹿島出版会
- 8) 大矢雅彦ほか：地形分類図の読み方・作り方、古今書院
- 9) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説
- 10) 活断層研究会編：新編 日本の活断層 分布図と資料、東京大学出版会

### 3. 注意すべき地形地質に道路橋基礎を設置する場合の調査計画のガイドライン

#### 3.1 平野部での注意すべき地形地質における調査計画のガイドライン

構造物の代表的な変状原因と注意すべき地形の関係を表 3.1.1 に示す。また平野部において実施されることの多い調査項目を表 3.1.2 に示す。

表 3.1.1 構造物の代表的な変状原因と注意すべき地形の関係

変状原因 地形	支持層	沈下	変形	液状化	洗掘、浸食	その他
扇状地	地下水の被圧 地下水流速が速い	—	—	—	河道内での 基礎の浸食	土石流に伴 う盛土浸食
自然堤防 後背湿地	—	沖積粘性土の圧密	橋台の側方移動	沖積砂質土の 分布	—	有害ガスの 発生
三角州	—	沖積粘性土の圧密	橋台の側方移動	沖積砂質土の 分布	—	有害ガスの 発生
土砂供給の 多い河川沿 岸	支持層深度が深い 地下水の被圧 地下水流速が速い	沖積粘性土の圧密 薄層支持させる場 合の支持層下の圧 密	橋台の側方移動	沖積砂質土の 分布	河道内での 基礎の浸食	—
オボレ谷埋 積地	支持層の傾斜・三 次元的分布	沖積粘性土の圧密	橋台の側方移動	—	—	有害ガスの 発生
海岸砂州 堤間低地	—	沖積粘性土の圧密	橋台の側方移動	沖積砂質土の 分布	—	—
潟湖跡	支持層の傾斜	沖積粘性土の圧密	橋台の側方移動	—	—	有害ガスの 発生
旧河道	—	沖積粘性土の圧密	橋台の側方移動	沖積砂質土の 分布 旧河道の埋立 土の液状化	—	局所的な地 層変化
埋立地	—	沖積粘性土の圧密 埋立粘土の圧密と ネガティブフリク ション	橋台の側方移動	沖積砂質土の 分布 埋立土の液状 化	—	埋土層の複 雑な地層分 布

※上記の変状原因は各地形における代表的なものであるが、これが全てではなく、リストアップされていない変状原因が潜在することもあるので注意が必要である。

表 3.1.2 平野部において実施されることの多い調査項目とその適用

調査手法		調査項目	調査の目的	適用
ボーリング		地層区分, 地下水位	地層分布の観察・土質試料の採取 地下水位の観測 各種原位置試験用の孔掘削	全ての地盤
サウンディング	標準貫入試験	$N$ 値	乱した試料の採取 地盤の硬さ・縮り具合の測定	全ての地盤
	動的貫入試験	$N_6$ 値	地盤の硬さ・縮り具合の測定 地層分布の推定	地層構成が複雑である場合等にボーリングの補完として用いられる
	静的貫入試験	$q_c$ 値あるいは半回転 $N_{sw}$	地盤の硬さ・縮り具合の測定 地層分布の推定	
室内土質試験	物理試験 (液状化判定)	粒度, 含水比, コンシステンシー, 密度	土の物理的性質の把握・土質分類 各種特性値の推定・液状化の判定	全ての地盤
	力学試験	粘着力, せん断抵抗角, 変形係数	土の力学的性質 (強度特性) の把握	全ての地盤
	圧密試験	圧縮指数, 圧密係数, 圧密降伏応力	粘性土地盤の沈下特性の把握	主に粘性土に対して実施される
孔内水平載荷試験		変形係数	地盤の水平方向の変形係数の把握	杭基礎が想定される場合に、ほぼ全ての地盤で適用される
地下水調査	水位測定	各滞水層の水位, 水圧分布, 被圧の有無	地盤中の被圧水位・不圧水位の測定	全ての地盤
	現場透水試験 (砂質土)	透水係数, 間隙水圧	地盤の透水係数の把握 地盤の被圧水位・不圧水位の測定	砂質土・礫質土地盤
	間隙水圧測定 (粘性土)	間隙水圧	粘性土地盤の間隙水圧の測定 圧密の進行状態の推定	粘性土地盤
	流向・流速測定	流向 流速	地盤中の地下水の流速と流向の測定	砂質土・礫質土地盤
	有害ガス調査	有害ガス濃度 遊離ガスの有無	地下水中の有害ガスの有無と溶存濃度の測定 地下水から遊離した有害ガスの有無の判定	全ての地盤
物理探査	速度検層	P波速度, S波速度	地盤の弾性波速度の測定	全ての地盤
	電気検層	比抵抗分布, 地下水位分布	地層構成の把握 帯水層の判定	全ての地盤

### 3.1.1 扇状地

#### (1) 扇状地における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

扇状地において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.3 に示す。また、同表における代表的な事例として地下水の被圧・地下水流速が速いケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.3 扇状地におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
基礎地盤には透水性の高い砂礫層が分布することが多く、地下水も背後の山地部や丘陵部から供給されて高い水頭を持っていることが多い。このため、基礎地盤中の地下水が被圧、もしくは地下水流速が速いことによって、杭施工時にコンクリートが流出することがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地層（帯水層）の分布</li> <li>・ 各滞水層の透水性</li> <li>・ 各滞水層の水位、被圧の有無</li> <li>・ 各帯水層の流向・流速の測定</li> </ul>	事例を(2)節で詳説
扇状地は土石流によって形成されたため、扇状地の河川沿いに土石流が再発する可能性が高い。土石流の衝突の衝撃によって橋梁が損壊・落橋することがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土石流発生流域面積や溪床勾配、斜面崩壊履歴等の溪流特性の調査</li> <li>・ 溪流に設置された既設対策工の調査</li> <li>・ 文献や聞き取り、植生調査や空中写真判読等による土石流発生履歴に関する調査</li> </ul>	
扇状地内は粒径の粗い堆積物が多く、河川の流速も速いことが多いため、河道内における基礎の洗掘・浸食が発生することがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水位・流量・流速、過去の流心、河床変動、洪水や高潮に関する災害履歴等の河相に関する調査</li> </ul>	

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

扇状地地形箇所でボーリング調査を杭基礎フーチングの中央で1本だけ行い、N値>50の砂礫層を5m確認して支持層と判定した。試験類は液状化判定用の物理試験と孔内水平載荷試験のみを実施した。しかし、支持層の地下水が被圧し流速も速かったため杭施工時にコンクリートが流動し、結果として支持力不足を生じた。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

滞水層の水頭や流速の評価を行い、被圧滞水層や流速の早い層を避けて支持層を選定することや、地下水流速や高水頭の影響の小さい杭工法を選定することなどが考えられる。

##### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

近傍の地盤調査結果（被圧水の有無）や公表資料（地形図・土地条件図から扇状地地形の確認）、現地踏査結果（例えば、現地での聞き取りによる地下水状況の確認・自噴箇所の有無、地形勾配の確認等）より地下水状況を予想する。

## b. 調査ボーリング

激しい地層変化や支持層の傾斜が予想される場合以外には、基礎中心位置でのボーリングのみで良いが、入念な地下水調査を行う。

## c. 地下水調査

ボーリングのコアやボーリング中の観察より、帯水層を判別し、現場透水試験や湧水圧測定より安定水位、透水係数を把握する。被圧水頭が高い箇所がある場合には、上部層と遮断して確実に被圧水頭を測定できるよう水位観測井を設置する。また孔内流向流速測定を行い、地下水流速を測定する。

## d. 物理検層

電気検層で滞水層の位置を確認する。

## ④ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、原位置試験結果、地下水に対する考察）
- ・ 設計・施工における配慮事項
- ・ 基礎工法選定に対する考察

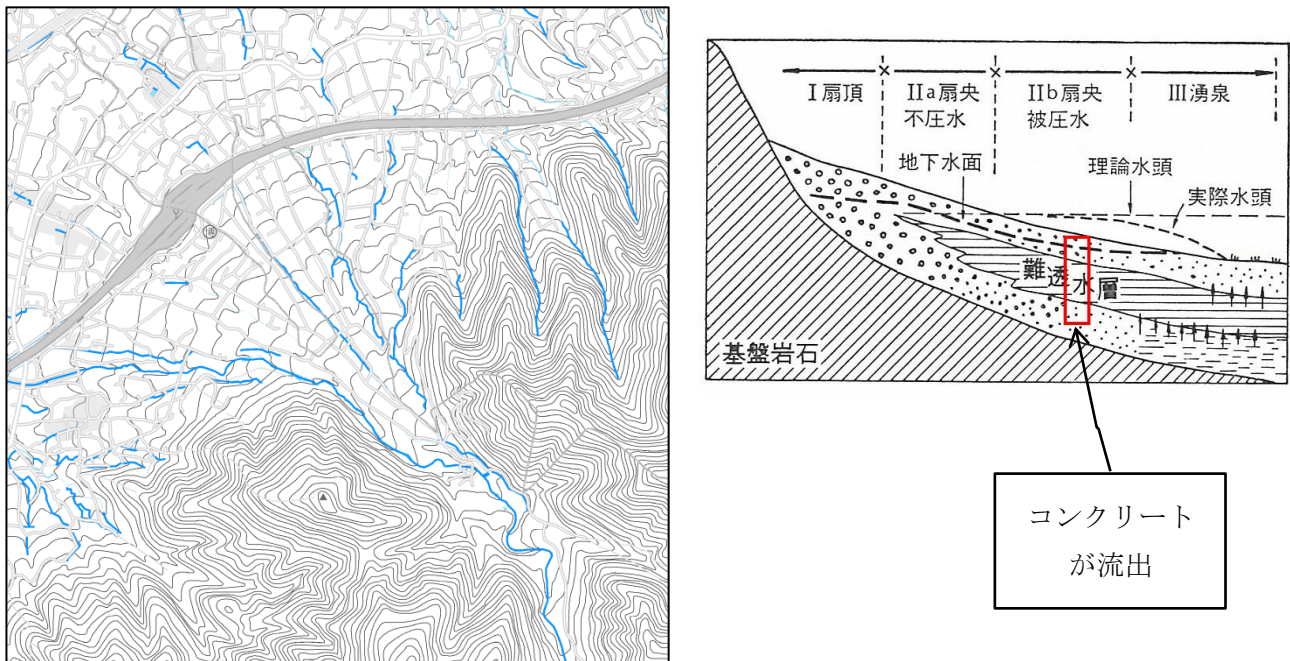


図 3.1.1 代表的な扇状地地形と地層構成<sup>1)</sup>



深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画															
	柱状図	地質	平均 N値	ボーリング 掘進長			標準 貫入 試験	サンプ リング	物理 試験	圧密 試験 せん断 試験	孔内 水平 載荷 試験	現場 透水 試験	孔内 流向 流速 測定	物理 検層					
				φ 116mm	φ 86mm	φ 66mm													
1		砂れき	10	[Redacted]			○								○				
2							○		△		△							○	
3							○		△						○		○	○	
4							○		△									○	
5		粘土	3	[Redacted]			△								○				
6							△	△	△								○		
7							△											○	
8							△											○	
9		砂れき	40	[Redacted]			○						○	○	○				
10							○											○	
11							○											○	
12							○									○		○	○
13							○												○
14							○												○
15							○										○		○
16		軟岩	40~50 以上	[Redacted]			△												
17							△												
18							△												
19							△												

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要となる一般的な調査項目を示す。

図 3.1.2 被圧地下水があり地下水流速が速いと想定された場合の調査例

### 3.1.2 自然堤防・後背湿地

#### (1) 自然堤防・後背湿地における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

自然堤防・後背湿地において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.4 に示す。また、同表における代表的な事例として有害ガスが発生するケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.4 自然堤防・後背湿地におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
軟弱な粘性土の変形係数を過小に評価して基礎杭本数の増加等の過大設計を招く	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱な粘性土の分布確認</li> <li>・ 複数の試験法による変形係数のクロスチェック</li> </ul>	事例を 3.1.7 節で詳説
地震時の沖積砂質土の液状化により、地盤反力・周面摩擦力の低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液状化層の分布</li> <li>・ 地下水位の測定</li> <li>・ 液状化強度の推定</li> </ul>	事例を 3.1.8 節で詳説
杭施工中の有害ガス発生による火災等の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有害ガスの地下水・水中への溶存の有無と溶存濃度</li> <li>・ 地下水から遊離した有害ガスの有無</li> </ul>	事例を(2)節で詳説

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

低平地において橋梁基礎杭を打設したところ、メタンガスが噴出し、溶接作業に着火した。当該地方は過去にガス田が存在し、自然由来のメタンガスが存在する地盤であった。基礎杭をメタンガスの上昇に蓋をするキャップロック層（粘性土層）を貫通して直下の支持層に根入れさせたところ、支持層に賦存していたメタンガスが中掘杭の中空部を通して、地上に噴出したことが原因であった。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

有害ガスの地下水への溶存の有無と濃度、地下水から遊離した有害ガスの有無を調査して、有害ガス対策の必要性を評価する。対策としては、有害ガスが地上に噴出し難い基礎工法の選定、施工現場におけるガス検知、火器使用の抑制、換気施設の整備、防爆機材の使用などにより対応することが考えられる。

##### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

近傍の地盤調査結果や工事記録（ガスの噴出記録）、公表資料（ガス田の位置、地形図・土地条件

図から地形条件の確認)より有害ガス賦存の可能性を予想する。

#### b. 調査ボーリング

施工に伴うガス噴出の危険性があり、ガスが噴出した場合に大きな事故につながる恐れがある場合には地中ガス調査を行う。

#### c. サンプリング

キャップロック層（難透水層）直下の帯水層を対象として、気液分離法もしくは地下水位低下法によって気体ガスの採取を行う。また圧力保持式採水器もしくは、フィルターチップを用いた地下水調査システム（BAT）を用いて地下水を減圧させないまま採取する。

地下水採取が困難なキャップロック層（難透水層）中の溶存ガスを調べるため、サンプリングを行い乱れの少ない試料を採取する。

#### d. 室内ガス分析

採取した気体や地下水、コアに対してガス分析を行い、ガス成分の種類と濃度を調べる。

### ④ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、ガス採取結果、ガス分析結果）
- ・ ガス危険度の評価
- ・ 設計・施工における配慮事項

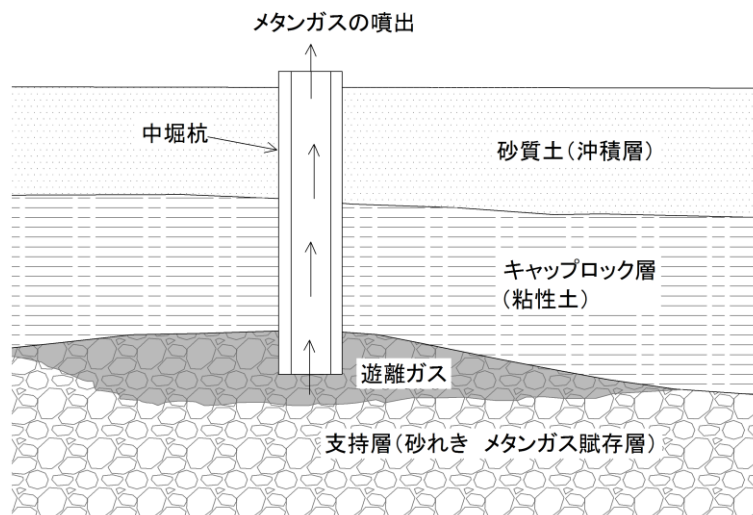
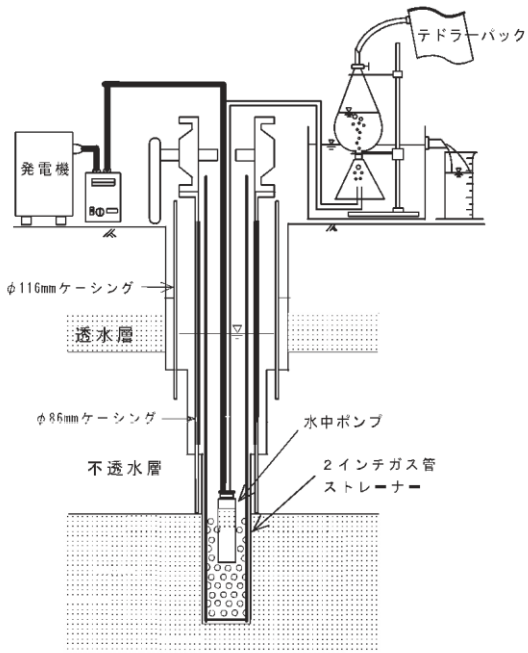
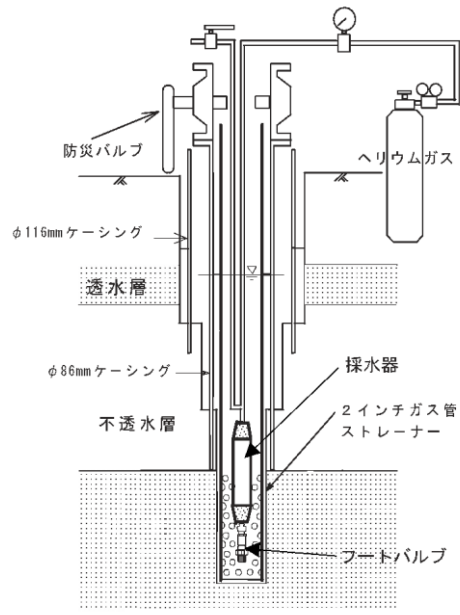


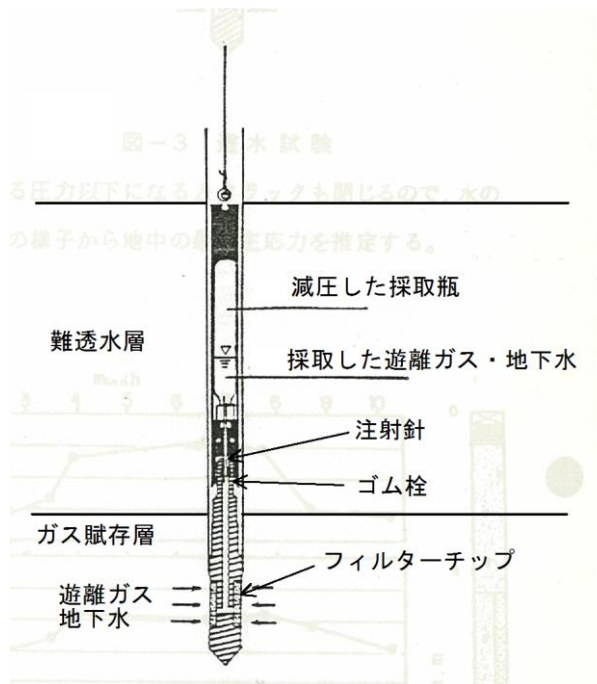
図 3. 1. 3 杭施工に伴うメタンガスの噴出



気体ガスの採取方法例<sup>2)</sup>



地下水の採取方法例<sup>2)</sup>



BAT による遊離ガスの採取例

図 3.1.4 有害ガスが分布すると想定された場合の調査例

### 3.1.3 三角州

#### (1) 三角州における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

三角州において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.5 に示す。また、同表における代表的な事例として橋台の側方移動が発生するケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.5 三角州におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を(2)節で詳説
軟弱な粘性土の変形係数を過小に評価して基礎杭本数の増加等の過大設計を招く	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱な粘性土の分布確認</li> <li>・ 複数の試験法による変形係数のクロスチェック</li> </ul>	事例を 3.1.7 節で詳説
地震時の沖積砂質土の液状化により、地盤反力・周面摩擦力が低下する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液状化層の分布</li> <li>・ 地下水位の測定</li> <li>・ 液状化強度の推定</li> </ul>	事例を 3.1.8 節で詳説
杭施工中の有害ガス発生による火災等の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有害ガスの地下水へへの溶存の有無と溶存濃度</li> <li>・ 地下水から遊離した有害ガスの有無</li> </ul>	事例を 3.1.2 節で詳説

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

軟弱地盤上の杭で支持される橋台部でボーリング調査を行い、支持層と地盤定数を提案した。基礎地盤には海成の鋭敏粘土が分布していたが、調査段階では鋭敏粘土であることを見落としとしてしまっていた。

橋台建設後、側方移動防止のため背面に紛体固化材を用いた深層混合処理工法（DJM）で地盤改良を行った後に盛土した所、橋台が前方に変位した。粘土の鋭敏比が高かったため、紛体による深層混合処理工法では固結し難かったことや、地盤改良の際に強度低下が発生して改良体が打設位置から変位したことが原因であった。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

鋭敏粘土の存在を見落とさないよう慎重に調査を進め、鋭敏比の評価を行う。攪乱に対して極度に強度低下する特性を考慮した地盤改良工法の選定や、攪乱を起こしにくい対策工法を選定することが考えられる。

##### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

#### a. 資料調査、現地踏査の着目点

近傍の地盤調査結果や工事記録（鋭敏粘土の有無）、公表資料（地形図・土地条件図から地形条件の確認）より鋭敏粘土分布の可能性を予想する。

#### b. 調査ボーリング

鋭敏粘土の存在を見落とさないように、入念な原位置試験、サンプリングと土質試験を行う。また、鋭敏粘土は乱れに弱いのでサンプリング～試験室運搬～試料抜出し～整形～土質試験の過程で強度低下が発生し、鋭敏比の評価を誤ることがあるので、極力振動を与えないように十分に注意を払う。

#### c. 原位置試験

乱さない状態と練返し状態でのベーンせん断試験を行い鋭敏比を求める。

#### d. 室内土質試験

物理試験により軟弱層の物理特性を把握する。特に含水比試験、液性限界・塑性限界試験からコンシステンシー特性を調べて粘性土の状態を把握する。

また、乱さない状態と練返した状態の一軸圧縮試験を行い、鋭敏比を求める。

### ④ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、原位置試験結果、鋭敏粘土に対する考察）
- ・ 設計・施工における配慮事項
- ・ 橋台側方移動に対する考察

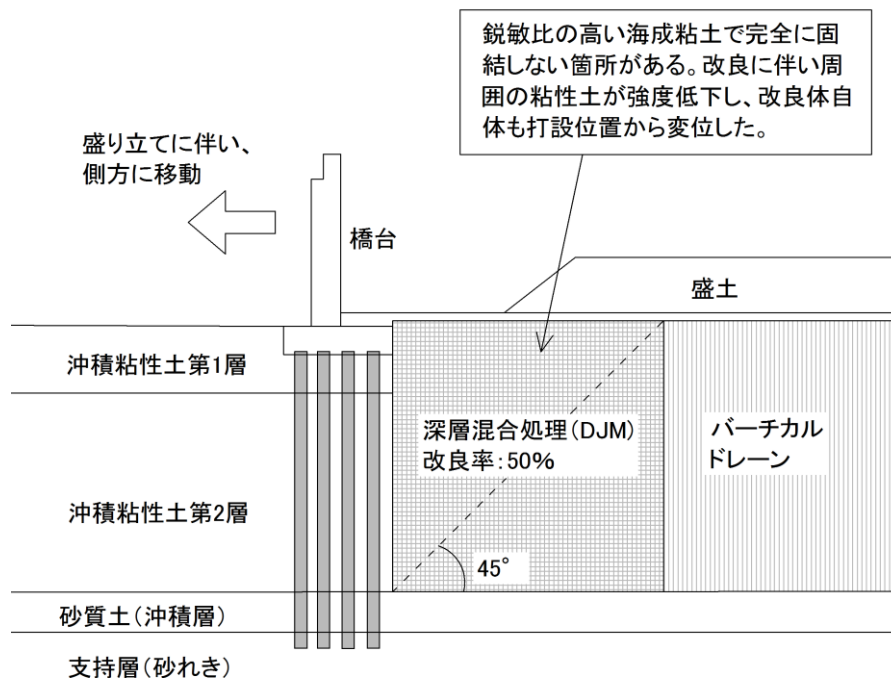


図 3. 1. 5 変位した橋台の地層構成と地盤改良状況

深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画									
	柱状図	地質	平均 N値	ボーリング 掘進長			標準 貫入 試験	サン プ リ ン グ	物理 試験	圧密 試験 せん断 試験	孔内 水平 荷 載 試 験	ペー ン せん 断 試 験	
				φ 116mm	φ 86mm	φ 66mm							
1													
2		砂	5				△		△				
3							△		△		△		
4		粘土	0~1				○						
5									○			△	
6										○	○	○	
7									○				○
8									○				△
9									○				
10									○	○	○		
11									○				○
12									○				
13									○				
14										○	○	○	
15							○						
16							○						
17							○						
18		砂	10				△		△				
19							△		△				
20							△						
21		粘土	2					△	△	△			
22							△						
23		砂	10				△						
24		砂れき	20~30				△						
25									△				
26									△				
27									△				
28		軟岩	40~50 以上				△						
29									△				
30									△				
31									△				

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要となる一般的な調査項目を示す。

図 3.1.6 鋭敏粘土が分布すると想定された場合の調査例

### 3.1.4 土砂供給の多い河川沿岸

#### (1) 土砂供給の多い河川沿岸における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

土砂供給の多い河川沿岸において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.6 に示す。また、同表における代表的な事例として薄層支持において支持層以深が沈下するケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.6 土砂供給の多い河川沿岸におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
軟弱な粘性土の変形係数を過小に評価して基礎杭本数の増加等の過大設計を招く	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱な粘性土の分布確認</li> <li>・ 複数の試験法による変形係数のクロスチェック</li> </ul>	事例を 3.1.7 節で詳説
基礎地盤には透水性の高い砂礫層が分布することが多く、地下水も背後の山地部や丘陵部から供給されて高い水頭を持っていることがある。このため、基礎地盤中の地下水が被圧、もしくは地下水流速が速いことによって、杭施工時にコンクリートが流出することがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地層（帯水層）の分布</li> <li>・ 各滞水層の透水性</li> <li>・ 各滞水層の水位、被圧の有無</li> <li>・ 各帯水層の流向・流速の測定</li> </ul>	事例を 3.1.1 節で詳説
河床には洗掘・浸食が発生しやすい粗粒な土砂が堆積していることが多いため、洪水時に河道内の基礎の洗掘・浸食が発生することがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水位・流量・流速、過去の流心、河床変動、洪水や高潮に関する災害履歴等の、河相に関する調査</li> </ul>	
地盤の堆積環境が複雑であり、砂・粘土の互層状態となっていることが多い。このため薄層支持させた場合に応力が支持層以深の粘性土に伝播して圧密沈下が発生する可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 互層状の地層構成の詳細な把握</li> <li>・ 支持層厚さ・支持層以深の粘性土層厚の把握</li> <li>・ 支持層以深の粘性土の圧密特性の把握</li> </ul>	事例を(2)節で詳説
地震時の沖積砂質土の液状化により、地盤反力・周面摩擦力が低下する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液状化層の分布</li> <li>・ 地下水位の測定</li> <li>・ 液状化強度の推定</li> </ul>	事例を 3.1.8 節で詳説



## (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

### ① トラブル例

長大橋の主塔部予定位置でボーリング調査を行い、地層構成を把握した。地質調査後の設計段階において主塔位置が変更されたが、変更した主塔位置における地質調査は実施せず、主塔位置における地層構成は近傍の地質調査結果から推定して設計がなされた。主塔の建設後に基礎の沈下が生じ、当初予想を上回る継続的な沈下が発生した。基礎は N 値=40~50 の砂礫層に支持されていたがこの支持層は層厚変化が激しく、主塔位置では層厚が薄くてその直下に洪積粘性土層 (Dc3 層) が分布していた。このため、応力が十分に分散せずに Dc3 層まで伝播して圧密が発生したことが沈下の原因であった。

### ② 注意すべき地形地質への対応方法

土砂供給の多い河川沿岸では地層構成が複雑であり、特に洪積層は局所的な地層変化が激しいことから、基礎のジャストポイントで地質調査を行って正確な地層分布を把握する。また薄層支持の可能性を考慮して、支持層以深における粘性土の圧密試験を実施して、薄層支持となった場合の各地層の沈下量を予測することが考えられる。

### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

#### a. 資料調査、現地踏査の着目点

近傍の地盤調査結果や地盤図などから地層構成を把握し、支持層深さ、互層状態、中間杭による薄層支持の可能性等を予想する。

#### b. 調査ボーリング

洪積層は地層変化が激しい場合があるため薄層支持となる可能性がある場合には、基礎中心位置以外に基礎端部位置でのボーリングも追加する。基礎から応力伝播する洪積粘性土層についてもサンプリングを実施する。

#### d. 室内土質試験

基礎から応力伝播する洪積粘性土層については圧密試験を実施して圧密特性を把握する。

### ④設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理 (ボーリング柱状図、土質・地質断面図、原位置試験結果、支持層と薄層支持に対する考察)
- ・ 設計・施工における配慮事項
- ・ 薄層支持となった場合の洪積粘土の圧密沈下に対する考察

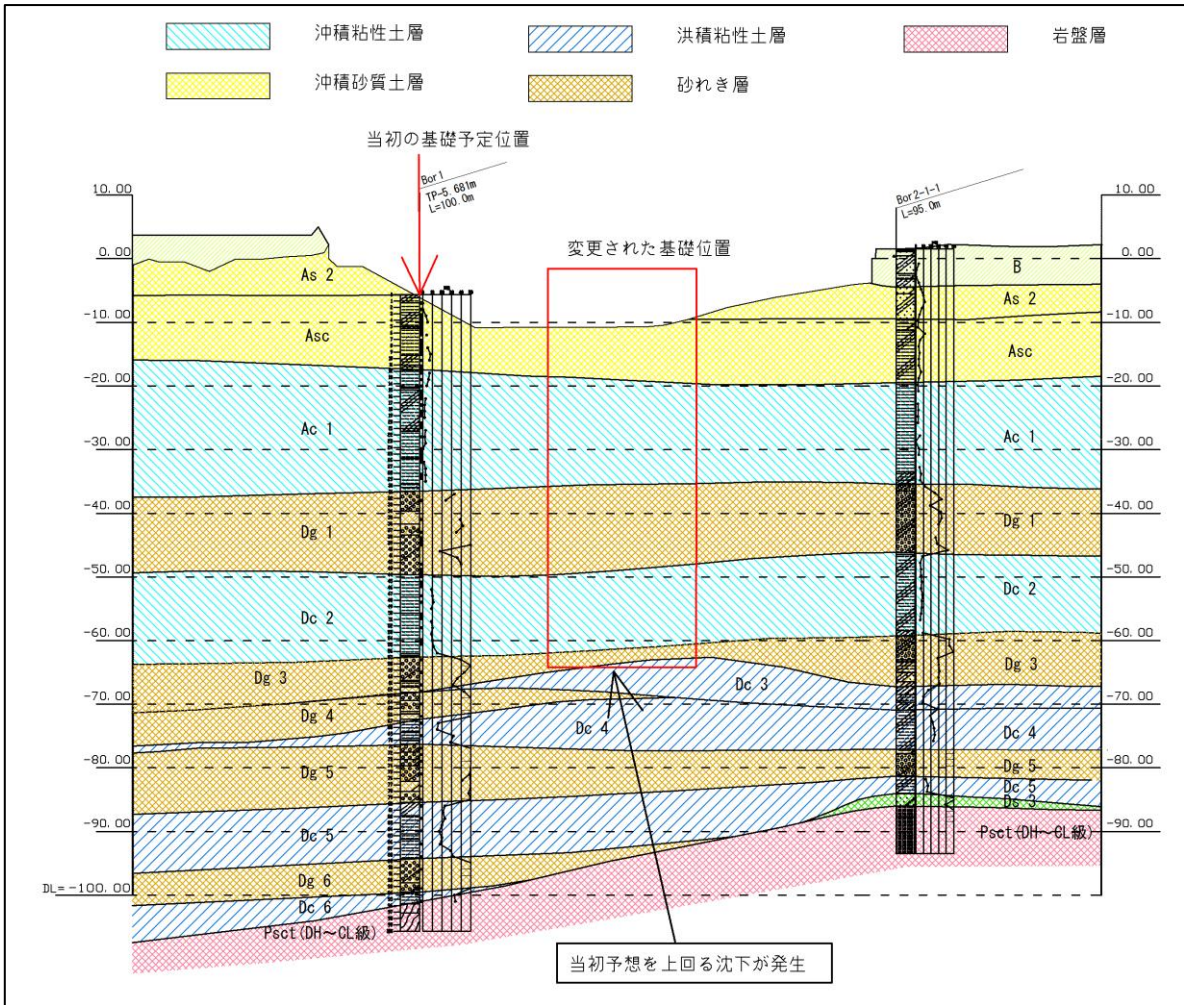


図 3.1.7 ケーソン基礎の沈下が発生した地盤の地層状況

深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画							
	柱状 図	地質	平均 N値	ボーリング 掘進長			標準 貫入 試験	サンプ リング	物理 試験	圧密 試験 せん断 試験	孔内 水平荷 試験
				φ 116mm	φ 86mm	φ 66mm					
1											
2											
3		砂	5				○		△		
4							○		△		△
5							○		△		
6							○				
7								△	△	△	
8		粘土	2				○				△
9							○				
10								△	△	△	
11							○				
12							○		△		
13							○		△		
14							○		△		
15							○		△		
16		砂	10				○		△		
17							○		△		
18							○		△		
19							○		△		
20							○		△		
21							○				
22		粘土	4					△	△	△	
23							○				
24							○				
25		砂	15				○				
26							○				
27							○				
28		砂れき	40~50 以上				○				
29							○				
30							○				
31							○				
32		粘土	5					○	○	○	
33							○				
34							○				
35							○				
36		砂	20~30				○				
37							○				
38							○				
39							○				
40							○				
41		粘土	6					○	○	○	
42							○				
43							○				
44							○				
45		砂	20				○				
46							○				
47							○				
48		砂れき	30~40				○				
49							○				
50							○				

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要となる一般的な調査項目を示す。

図 3.1.8 互層状態で薄層支持が想定された場合の調査例

### 3.1.5 小オボレ谷

#### (1) 小オボレ谷における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

小オボレ谷において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.7 に示す。また、同表における代表的な事例として支持層が傾斜しているケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.7 小オボレ谷におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
オボレ谷部では支持層となる基盤岩の傾斜が大きく、三次元的に凹凸を持った分布をしているため、基礎幅の中で支持層深度が大きく変化することがあり、基礎が支持層未達となる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数のボーリング調査やサウンディングによる補完によって支持層の傾斜と分布を把握する。</li> </ul>	事例を(2)節で詳説
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
杭施工中の有害ガス発生による火災等の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>有害ガスの地下水中への溶存の有無と溶存濃度</li> <li>地下水から遊離した有害ガスの有無</li> </ul>	事例を 3.1.2 節で詳説

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

山間部低平地において橋台予定位置の中心でボーリング調査を行い、支持層深度を定め地層断面を作成した。橋台を建設した後、床版載荷を行ったところ橋台が横断方向に傾いた。当該箇所は低平地であったが、オボレ谷が埋没しており支持層が傾斜していたにも関わらず、支持層を水平として地層断面を描いたため杭長は全て同一として設計された。このため橋台を支持している杭の片側が支持層に到達してなく、支持力が不足したことが変状の原因であった。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

調査位置の地形にのみ着目せず、周辺の地形に注意することでオボレ谷の存在と支持層の傾斜の可能性を想定する。地質調査は基礎中心のみとせず、複数を配置して支持層の傾斜状態を把握する。

##### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

近傍の地盤調査結果や地形図・土地条件図、現地踏査等における周囲の地形観察からオボレ谷の存在と支持層傾斜の可能性等を予想する。

###### b. 調査ボーリング

オボレ谷の可能性がある場合には、基礎中心部のみでなく、縦断・横断方向のボーリングも実施する。できれば橋台四隅において支持層深度を確認することが望ましい。

**④設計、施工に必要な地盤情報の整理**

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、原位置試験結果、支持層と傾斜に対する考察）
- ・ 設計・施工における配慮事項

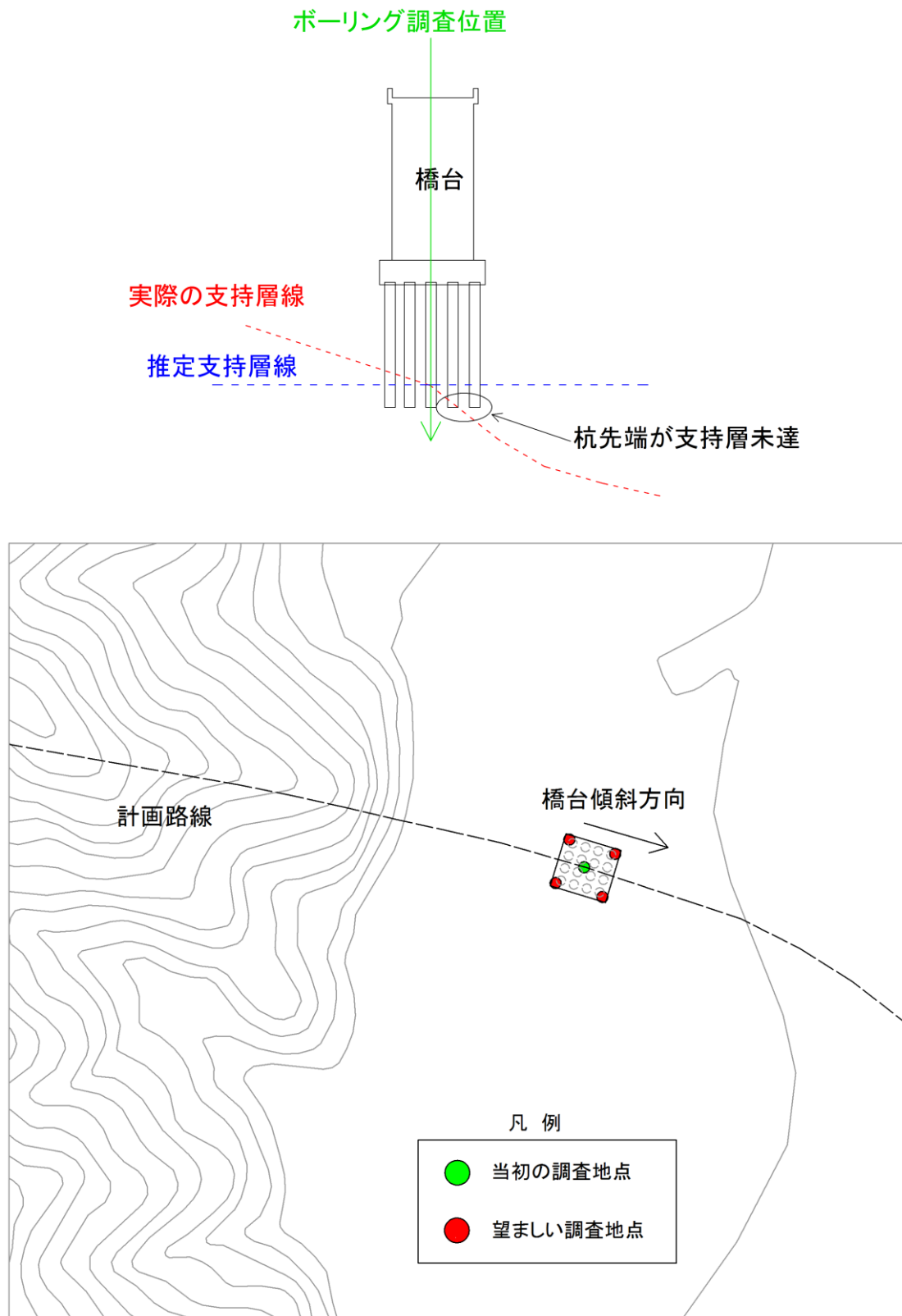


図 3.1.9 橋台の変状が生じた箇所の地形・地盤状況

### 3.1.6 海岸砂州・堤間低地

#### (1) 海岸砂州・堤間低地における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

海岸砂州・堤間低地において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.8 に示す。また、同表における代表的な事例として当初設計以上の圧密沈下が生じたケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.8 海岸砂州・堤間低地におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を(2)節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
軟弱な粘性土の変形係数を過小に評価して基礎杭本数の増加等の過大設計を招く	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱な粘性土の分布確認</li> <li>・ 複数の試験法による変形係数のクロスチェック</li> </ul>	事例を 3.1.7 節で詳説
地震時の沖積砂質土の液状化により、地盤反力・周面摩擦力が低下する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液状化層の分布</li> <li>・ 地下水位の測定</li> <li>・ 液状化強度の推定</li> </ul>	事例を 3.1.8 節で詳説

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

臨海平地部に計画された道路盛土区間において、計画路線沿いにボーリング調査を行い、沖積粘性土のサンプリングと物理試験・圧密試験を実施して、沖積粘性土の沈下特性を検討した。盛土は沈下対策としてプレロードを行った後、計画高さまで無事築造されたが、完成後の盛土の沈下は設計よりも大きく、長時間継続したため、橋台や BOX 部の基礎杭に当初設計を超える負の摩擦力が働く結果となった。当該地盤は沖積粘性土が分布し、上位層と下位層で沈下特性が異なっているが、調査時のサンプリングや物理試験は粘性土層中央の 1 箇所のみで実施していたため、地層構成と沈下特性を見誤っていたことが原因であった。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

地盤の圧密沈下量を見誤ると、基礎杭に負の摩擦力が働き、杭の沈下や破損が生じることがある。調査においても経済性を追求することは重要であるが、行き過ぎると、調査費用には較べものにならない損失が生じることがあるので、必要十分な地質調査を計画し、圧密沈下量を正確に予測しておくことが重要である。

##### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

土地条件図等から地形区分を確認し、周辺の地質調査結果、地盤図、工事記録等から地層構成と沈下特性を想定する。

**b. 調査ボーリング**

調査ボーリングでは綿密に標準貫入試験を行って乱した試料の採取を行い、地層構成を確認する。軟弱な粘性土層では、土層全体を把握できるようにサンプリングを行う。

**c. 室内土質試験**

沖積層に対しては物理試験を多く行い、その特性を十分に把握して、地層区分を行う。特に、粘性土層の物理試験を十分に行う。

力学試験は沖積粘性土層全体を把握できるように十分な数の一軸圧縮試験と圧密試験を行い、強度特性と圧密特性を把握し、物理特性と合せて整理する。

**④ 設計、施工に必要な地盤情報の整理**

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、土質試験結果）
- ・ 強度特性・圧密特性に関する考察（圧密特性・強度特性について十分に整理し、安易に平均値を設計値とせず、地層区分を含めて、十分に検討する。）
- ・ 盛土の沈下量・沈下時間とすべりに対する概略検討
- ・ 設計・施工における配慮事項

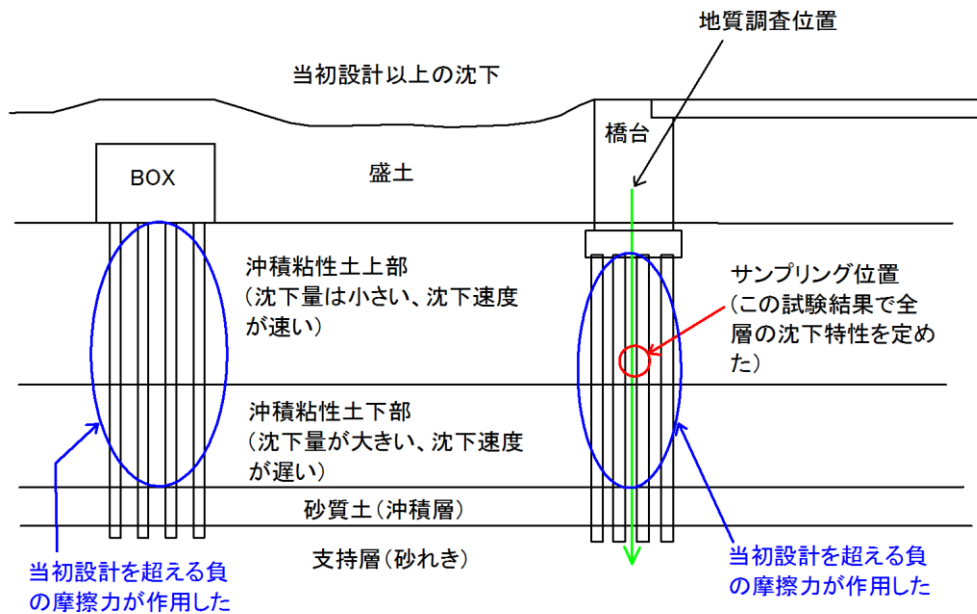


図 3. 1. 10 粘性土層が 2 層あり、設計以上の負の摩擦力が働いた箇所の地層断面



深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画									
	柱状 図	地質	平均 N値	ボーリング 掘進長			標準 貫入 試験	サンプ リング	物理 試験	圧密 試験 せん断 試験	孔内 水平荷 載試験		
				φ 116mm	φ 86mm	φ 66mm							
1		砂	2										
2					○		○						
3		上部 粘土	0~2		○								
4						○		○					
5					○							△	
6					○								
7					○								
8						○			○				
9					○								△
10					○								
11					○								
12						○							
13	○												
14		下部 粘土	0~2		○								
15					○								
16						○							
17					○								
18					○								
19					○								
20						○							
21					○								
22	○												
23		砂	10		△								
24					△								
25		砂れき	40		△								
26					△								
27					△								
28					△								
29					△								
30				△									

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要となる一般的な調査項目を示す。

図 3.1.11 粘性土層が厚い場合の調査例

### 3.1.7 潟湖跡

#### (1) 潟湖跡における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

潟湖跡において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.9 に示す。また、同表における代表的な事例として軟弱粘性土の変形係数を過小評価したケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.9 潟湖跡におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
杭施工中の有害ガス発生による火災等の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有害ガスの地下水中への溶存の有無と溶存濃度</li> <li>・ 地下水から遊離した有害ガスの有無</li> </ul>	事例を 3.1.2 節で詳説
軟弱な粘性土の変形係数を過小に評価して基礎杭本数の増加等の過大設計を招く	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱な粘性土の分布確認</li> <li>・ 複数の試験法による変形係数のクロスチェック</li> </ul>	事例を(2)節で詳説

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

橋梁基礎位置で地質調査を行い、孔内水平載荷試験を行って、水平方向の変形係数を求めて設計用地盤定数を提案し、その結果を用いて設計が行われた。しかし、粘性土層において採用された変形係数は非常に小さい値であったため、基礎杭の剛性を高めることや、杭本数を増やすことを迫られた。そこで杭の水平載荷試験を行って妥当性を検証した。その結果、粘性土の変形係数は地質調査結果よりも極度に大きな値を期待できることが判明して、杭本数を削減できることが分かったため、追加調査や設計のやり直しを余儀なくされた。当初の地質調査では変形係数は孔内水平載荷試験結果から決定し、用いた孔内水平載荷試験装置はプレボーリング型であった。しかし、調査地の粘性土は非常に軟弱であったため、試験区間を掘削して掘削ツールを引き上げた際の応力解放によって孔壁が膨張してしまい、孔内水平載荷試験では膨張した孔壁を押し戻して変形係数を過小に計測していたことが原因であった。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

軟弱な粘性土は、プレボーリング型の孔内水平載荷試験では変形係数を過小評価することがあるため、近傍の工事事例における実績との比較や、複数の試験方法によってクロスチェックを行って、採用する変形係数の検証を行うことが望ましい。

### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

#### a. 資料調査、現地踏査の着目点

近傍の地盤調査結果や地盤図等から軟弱粘性土の存在を予想する。また近傍の工事实績から変形係数の採用値を確認する。

#### b. 地質調査・サンプリング

地質調査より軟弱粘性土の分布を把握し、室内土質試験に用いる乱れの少ない試料のサンプリングを行う。

#### c. 原位置試験

セルフボーリング型の孔内水平載荷試験やダイラトメータ等の複数の試験方法を用いて粘性土の水平方向変形係数を求める。

#### d. 室内土質試験

一軸圧縮試験を行って載荷時の応力とひずみの関係から変形係数を求める。

### ④ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、軟弱層の変形係数の測定結果と設計用の採用値に対する考察）
- ・ 設計・施工における配慮事項（杭の載荷試験の推奨）

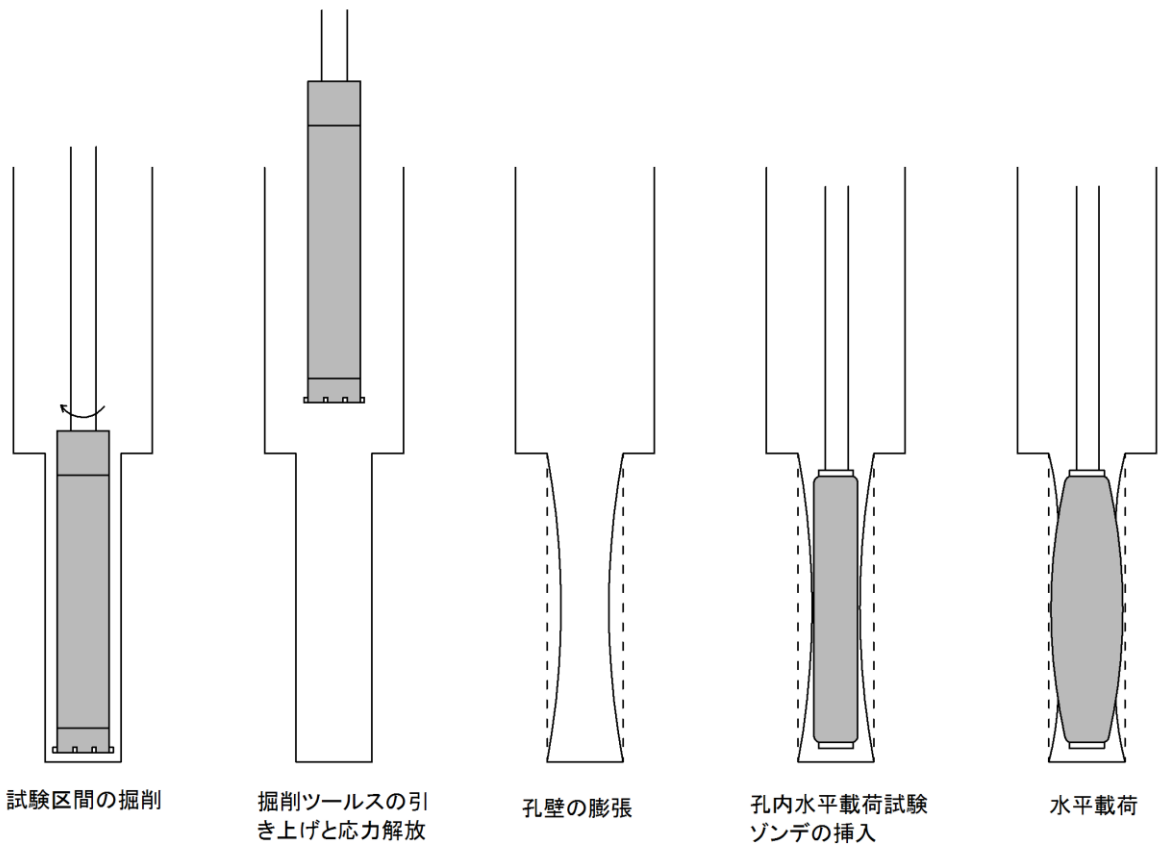


図 3.1.12 孔壁が膨張する軟弱粘土でのプレボーリング型孔内水平載荷試験の荷重イメージ

深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画								
	柱状 図	地質	平均 N値	ボーリング 掘進長			標準 貫入 試験	サンプ リング	物理 試験	一軸圧縮 試験	セルフ ボーリン グ型孔内 水平載荷 試験	ダイラト メータ試 験
				φ 116mm	φ 86mm	φ 66mm						
1		有機質 粘土	1					○	○	○		
2							○					
3							○				○	○
4		粘土	自沈				○				○	○
5							○	○	○			
6							○				○	○
7							○					
8							○	○	○			
9							○					
10							○					
11					○	○	○					
12					○							
13		砂	10				△		△			
14							△				△	
15							△				△	
16							△				△	
17							△				△	
18		砂れき	30				△					
19							△					
20							△					
21							△					
22							△					
23							△					

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要な一般的な調査項目を示す。

図 3.1.13 潟湖跡の調査例

### 3.1.8 旧河道

#### (1) 旧河道における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

旧河道において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.10 に示す。また、同表における代表的な事例として旧河道部において局所的に液状化が生じるケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.10 旧河道におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
旧河道部は水位が高く、締固めを行わない緩い土で埋め立てられていることが多いため、地震時に液状化が発生しやすく地盤反力・周面摩擦力が低下する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旧地形図や空中写真判読による旧河道部の把握</li> <li>・ 地下水位の測定</li> <li>・ 液状化強度の推定</li> </ul>	事例を(2)節で詳説
旧河道部は平坦に埋立てられて、判別し難いことが多いため、旧河道部にかかると想定していない局所的な地層変化が存在する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旧地形図や空中写真判読による旧河道部の把握</li> <li>・ 複数のボーリング、サウンディングによる地層変化の把握</li> </ul>	

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

周囲より若干くぼんだ地盤上に新設された橋梁部において、地震時に基礎部から噴砂が発生した。当初、地質調査は基礎中央位置で実施していたが、地質調査後の設計段階で基礎位置が変更された。しかし、変更後の基礎位置でのボーリングは実施していなかった。変更された基礎位置は旧河道部に位置していたが、旧地形図の確認や空中写真判読を実施していなかったため、旧河道部の存在を見落としてしまっていた。このため、当初設計には見込んでいなかった、表層部の地盤反力と周面摩擦力を低減する必要があり、液状化対策が必要となった。

##### ② 注意すべき地形地質への対応方法

旧地形図の確認や空中写真判読、現地踏査等を行って、微地形区分を実施し、要注意地形箇所を把握する。基礎位置が変更になった場合には急激な地層変化があることを考慮し、極力基礎位置での追加調査を実施する。

##### ③ トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

土地条件図等から地形区分を確認し、空中写真判読から要注意地形を確認する。また、現地踏査によって微地形を確認し、旧河道の可能性を予測する。

#### **b. 調査ボーリング**

旧河道が周囲に存在する場合には、基礎位置が変更された場合には、基礎の中心位置で確実に追加ボーリングを行い、地層を確認する。

#### **c. サンプルング・室内土質試験**

沖積砂質土層については物理試験を多く実施し、液状化の判定を綿密に行う。

### **④ 設計、施工に必要な地盤情報の整理**

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、旧河道の分布形状に対する考察）
- ・ 液状化の判定
- ・ 設計・施工における配慮事項

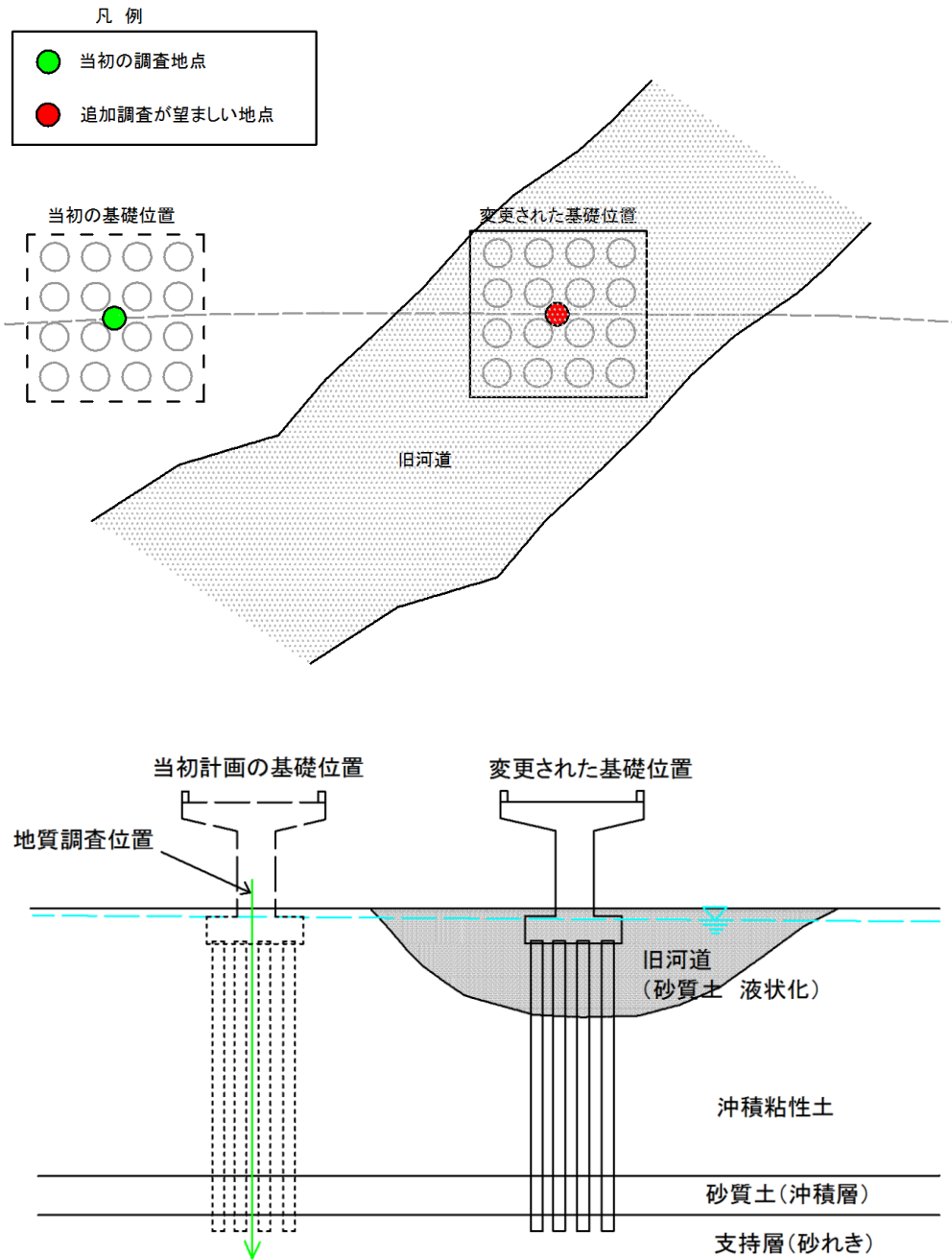


図 3. 1. 14 旧河道部の地層断面と調査位置平面



深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画								
	柱状図	地質	平均 N値	ボーリング 掘進長			標準 貫入 試験	サンプ リング	物理 試験	圧密 試験 せん断 試験	孔内 水平 載荷 試験	
				φ116mm	φ86mm	φ66mm						
1		砂	3				○		○			
2							○		○			
3							○		○			
4							○		○			△
5							○		○			
6							○		○			
7		粘土	2				△					△
8								△		△		
9							△					
10							△					
11							△					
12								△		△		△
13							△					
14							△					
15							△					
16								△		△		△
17	△											
18		砂	10				△		△			
19							△		△			
20		砂れき	45				△					
21							△					
22							△					
23							△					
24							△					
25							△					

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要となる一般的な調査項目を示す。

図 3. 1. 15 旧河道部での調査例

### 3.1.9 埋立地

#### (1) 埋立地における設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

旧河道において考えられるトラブルと必要な調査項目を表 3.1.11 に示す。また同表における代表的な事例として、若齢埋立地の圧密沈下によって杭にネガティブフリクションが働いたケースを選び、これに対するガイドラインを(2)節に示す。

表 3.1.11 埋立地におけるトラブル例

考えられるトラブル	必要な調査項目	備考
盛土等の上載荷重の増加に伴う沖積粘性土の圧密による不同沈下や、杭の負の摩擦力の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈下が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土の圧密特性</li> </ul>	事例を 3.1.6 節で詳説
橋台背後部の盛土荷重による沖積粘性土のせん断変形が発生し、橋台が側方移動する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形が発生する粘性土の分布状況</li> <li>・ 粘性土のせん断特性</li> </ul>	事例を 3.1.3 節で詳説
地震時の沖積砂質土・埋立土の液状化により、地盤反力・周面摩擦力が低下する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液状化層の分布</li> <li>・ 地下水位の測定</li> <li>・ 液状化強度の推定</li> </ul>	事例を 3.1.8 節で詳説
人工的に築造された埋土層は地層が極端に変化する等、自然地盤には見られない複雑な地層分布を示す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自然地盤における調査よりも密なボーリング配置と、サウンディングによる補完によって地層分布を明らかにする。</li> </ul>	
在来粘性土の上に埋立を行った場合や、浚渫した高含水比の粘性土で埋立を行った場合、圧密沈下が終了していないことがある	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 在来粘性土と埋立粘性土の判別</li> <li>・ 粘性土のサンプリングと圧密試験、間隙水圧測定等から現在の圧密度と今後の圧密沈下量を判定する</li> </ul>	事例を(2)節で詳説

#### (2) 代表的なトラブル例と、トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① トラブル例

臨海部に築造された若齢の埋立地に計画された新設橋梁に対し、基礎位置でボーリング調査を行い、沖積粘性土のサンプリングと圧密試験を実施した。しかし、橋梁を建設した後に地盤が沈下していることが発見され、杭にネガティブフリクションが働いていることが判明した。埋立地はポンプによって海底土砂を吸泥して海水と一緒に圧送して吹き込んで築造された。このため在来粘土の上位に埋立粘土が分布する地層構成となっていた。しかし橋梁建設位置が護岸より離れていたため、地質調査の段階では護岸の基礎標高を確認して無かった。また埋立粘土と在来粘土は目視による判別が難しく、物理特性も

似ていたために両層を区分せずに1層として扱っていた。埋立粘土と在来粘土のいずれにおいても圧密試験と物理試験を実施していたが、当初から埋立粘土の存在を意識していなかったため、両層の物理特性・圧密特性の違いを地層のバラツキと試験結果のバラツキとして扱い、間隙水圧測定等の圧密度の判定に必要な試験類の提案もなされなかった。このため、調査報告書では在来粘土層の同一層として記載され、圧密沈下は終了していると考察されていた。しかし実際は、埋立粘土は自重による圧密が完了してなく、橋梁建設後も圧密沈下が継続したことが地盤沈下の原因であった。

## ② 注意すべき地形地質への対応方法

若齢の埋立地では埋立土の自重による沈下と、埋立土の荷重を受けた在来粘性土の圧密が終了していない場合があることを念頭に置き、資料調査による埋立年代の確認と、圧密度を判定するための原位置試験と土質試験を詳細に行うことで、今後さらに圧密沈下が発生するかどうか判定する。

## ③トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

### a. 資料調査、現地踏査の着目点

土地条件図等から地形区分を確認し、旧地形図・旧航空写真等から埋立年代を想定する。また護岸構造図等を入手して海底面標高を確認し、埋立粘土の分布深度と圧密未了の有無を予想する。

### b. 調査ボーリング

調査ボーリングではオールコア採取を行い、詳細なコア観察を行って、粘土中の人工物等から埋立粘土と在来粘土を判別する。

### c. 原位置試験

間隙水圧計によって間隙水圧測定を行い圧密の未了を判定する。

### d. サンプリング・室内土質試験

粘性土層に対して物理試験（特に含水比試験、液性限界・塑性限界試験）を多く行い、埋立粘土と在来粘土の境界部を推定する。

埋立粘土・在来粘土に対して圧密試験を行い、圧密降伏応力を詳細に調べ、圧密未了の判定を行う。

## ④設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、土質・地質断面図、埋立粘土と在来粘土の境界の判定）
- ・ 圧密未了に対する判定
- ・ 設計・施工における配慮事項（ネガティブフリクションの考慮）

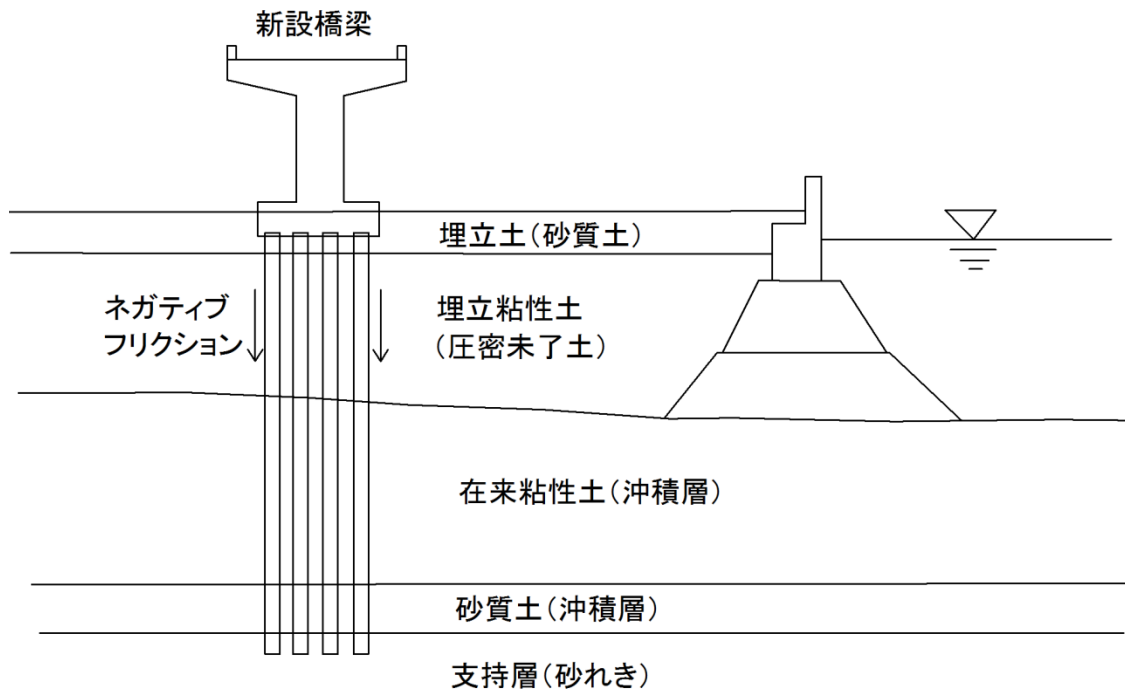


図 3. 1. 16 埋立地の地層断面

深さ (m)	予備調査の結果			本調査の計画																																																		
	柱状図	地質	平均 N値	ボーリング掘進長			標準貫入試験	サンプリング	物理試験	圧密試験 せん断試験	孔内水平 載荷試験	間隙水圧 測定																																										
				φ116mm	φ86mm	φ66mm																																																
1		砂	5																																																			
2													△	△																																								
3													△	△				△																																				
4		埋立 粘土	0~2																																																			
5																						○	○	○																														
6																						○	○	○	△	○																												
7																						○	○	○																														
8																						○	○	○																														
9																						○	○	○																														
10																						○	○	○																														
11																						○	○	○																														
12																						○	○	○																														
13																						○	○	○																														
14		在来 粘土	0~2																																																			
15																															○	○	○																					
16																															○	○	○																					
17																															○	○	○																					
18																															○	○	○																					
19																															○	○	○																					
20																															○	○	○																					
21																															○	○	○																					
22																															○	○	○																					
23																															○	○	○																					
24		砂	10																																																			
25																																								△	△													
26		砂れき	30																																																			
27																																																	△	△				
28																																																	△	△				
29																																																	△	△				
30																																																	△	△				

※ ○印は想定されるトラブルの素因を調べ、トラブル発生の有無と対策を検討するために必要な調査項目を示す。  
 ※ △印は想定されるトラブルには直接関係ないが、設計に必要となる一般的な調査項目を示す。

図 3.1.17 埋立地の調査例

### 3.2 丘陵地～山地部での注意すべき地形地質における調査計画のガイドライン

丘陵地や山地は、地盤の隆起や浸食、これに伴う斜面の崩壊、さらに新たな未固結層の堆積など様々な要因と過程を経て形成された地形である。したがって、平野部に比較して同じ地質での連続性に乏しく、傾斜しているなど、地盤環境は場によって異なり、均一ではない。また基礎型式も、構造物の規模と地盤の状態により異なる。

このため、丘陵地～山地部の調査方法は、各地域の地形・地質特性に応じた考え方で行うことが基本となるが、このうち、主たる調査方法を表 3.2.1 に示す。なお、本項で示す「注意すべき地形地質」と「変状原因」との関係は大別すると、表 3.2.2 のようになる。

表 3.2.1 丘陵地～山地部の橋梁調査における主たる調査手法

調査手法		確認項目	予備調査	本調査			
資料調査	過去の近傍の調査結果 災害履歴,地形判読	既往調査結果,災害履歴の整理 地形判読図	●	▲			
現地踏査		断層,湧水,植生 地質図	●	●			
ボーリング	土砂部	地層区分,地下水位,土質柱状図	●	●			
	岩盤部	地層区分,地下水位,地質断面図,RQD,岩級区分,地質柱状図	●	●			
物理探査及び物理検層	物理探査	弾性波探査	弾性波速度(P波),地質構造	●	●		
		電気探査	比抵抗分布,地下水位分布,地質構造	●	●		
	物理検層	速度検層	弾性波速度(P波,S波),地質構造		▲		
		電気検層	滞水層の分布,地質構造		▲		
原位置試験	サウンディング	標準貫入試験	N値,地層区分,硬軟判定	●	●		
		簡易動的コーン貫入試験	地層区分,硬軟判定	▲	▲		
	地下水調査	地下水位測定	各滞水層の水位,水圧分布,被圧の有無		●		
		現場透水試験(砂質土,礫質土)	透水係数 安定水位		●		
		湧水圧測定(岩盤)	透水係数 安定水位		▲		
	載荷試験	孔内水平載荷試験	変形係数		●		
		孔内せん断摩擦試験	変形係数 粘着力,せん断抵抗角		●		
	有害ガス調査	可燃性ガス調査,酸欠ガス調査	土壌ガス,地下水溶存ガス濃度		▲		
ボアホールテレビカメラ		亀裂の走向・傾斜 湧水	▲	▲			
室内試験	土質試験	物理試験	土粒子密度,粒度,含水比,液性・塑性限界,湿润密度		●		
		力学試験	三軸圧縮試験	粘着力,せん断抵抗角,変形係数		●	
	岩石試験	物理試験	密度試験,有効間隙率試験,給水率試験	単位堆積重量,給水率		●	
		力学試験	詳細	三軸,多段階三軸試験	粘着力,せん断抵抗角,変形係数		●
			簡易	一軸・圧裂試験(亀裂なし),超音波速度試験	粘着力,せん断抵抗角		●
	自然由来重金属調査	岩盤・土壌の含有量・溶出試験,全含有量試験	環境基準への適合	▲	▲		

●:実施すべき項目 ▲:必要に応じて実施すべき項目

斜面上の深礎基礎設計施工便覧((社)日本道路協会,2012)p23表-II.1.2)を基に加筆

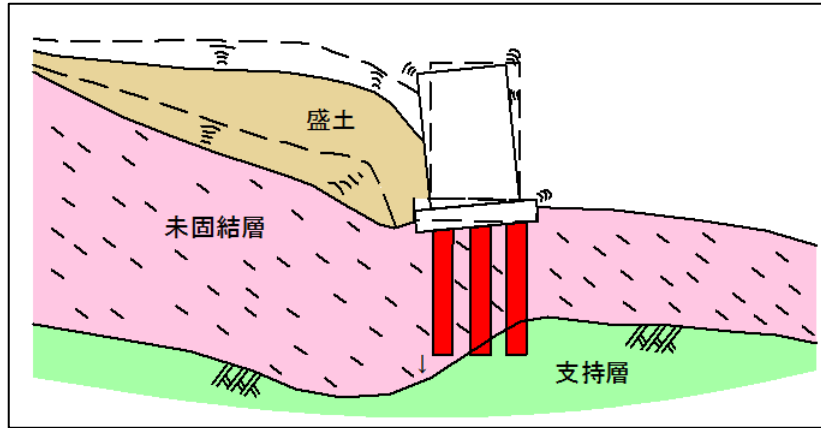
表 3.2.2 丘陵地～山地部の注意すべき地形地質と変状原因との関係

変状原因 注意すべき 地形地質	①支持層	②斜面安定	③洗掘・浸食	④その他	注意すべき地形地質における追加すべき調査項目
1.基盤の不陸の大きい地盤	支持層の傾斜・不陸	側方移動 切土に伴う未固結層の崩壊			・四隅でのボーリング調査 ・孔内水平載荷試験、孔内せん断摩擦試験 ・物理、力学試験
2.断層・リニアメント	支持層の傾斜	切土に伴う断層をすべり面とする崩壊		自然由来重金属	・断層分布把握の高品質ボーリング調査 ・ポアホールカメラ ・地表踏査 ・弾性波(電気)探査
3.河川及び海岸の浸食	支持層の傾斜 地下水流速が速い	浸食部での緩み破壊	河川攻撃斜面、海岸での浸食		・構造物前面でのボーリング調査 ・地下電磁波探査
4.落石・崩落		斜面上方からの落石・崩壊			・浮石転石調査 ・岩盤斜面調査
5.表層崩壊		切土に伴う表層崩壊			・土層調査(土検棒、簡易貫入試験) ・岩盤調査(鉛直、水平ボーリング) ・地表踏査
6.地すべり	支持層深度が深い	切土に伴う地すべり移動			・地すべり調査(高品質ボーリング調査、地表踏査、弾性波(電気)探査等) ・微地形解析 ・計器観測
7.土石流	支持層の不陸	切土に伴う未固結層の崩壊			・土石流調査(ボーリング調査、地表踏査、弾性波(電気)探査等) ・微地形解析
8.空洞・陥没	空洞に伴う支持層深度の変化			自然由来重金属	・空洞調査(ボーリング調査、空洞カメラ等) ・FEM解析
9.火山地帯				火山性有毒ガス・熱水 自然由来重金属	・地中ガス調査 ・地温(電気)探査
各変状原因における追加すべき調査項目	・四隅でのボーリング調査 ・地表踏査 ・孔内水平載荷試験、孔内せん断摩擦試験 ・物理、力学試験 ・弾性波(電気)探査	・斜面上でのボーリング調査 ・地表踏査 ・弾性波(電気)探査 ・斜面安定解析	・構造物前面でのボーリング調査 ・地下電磁波探査	・自然由来重金属調査 ・地中ガス調査 ・地温(電気)探査	

### 3.2.1 基盤の不陸が大きい地盤

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

計画基礎レベルまで掘削したが、一部で支持層が出現せず、隣接した盛土の荷重により地盤が沈下し、構造物が変形した。



基礎が支持層まで到達せず、盛土荷重で構造物も沈下した例

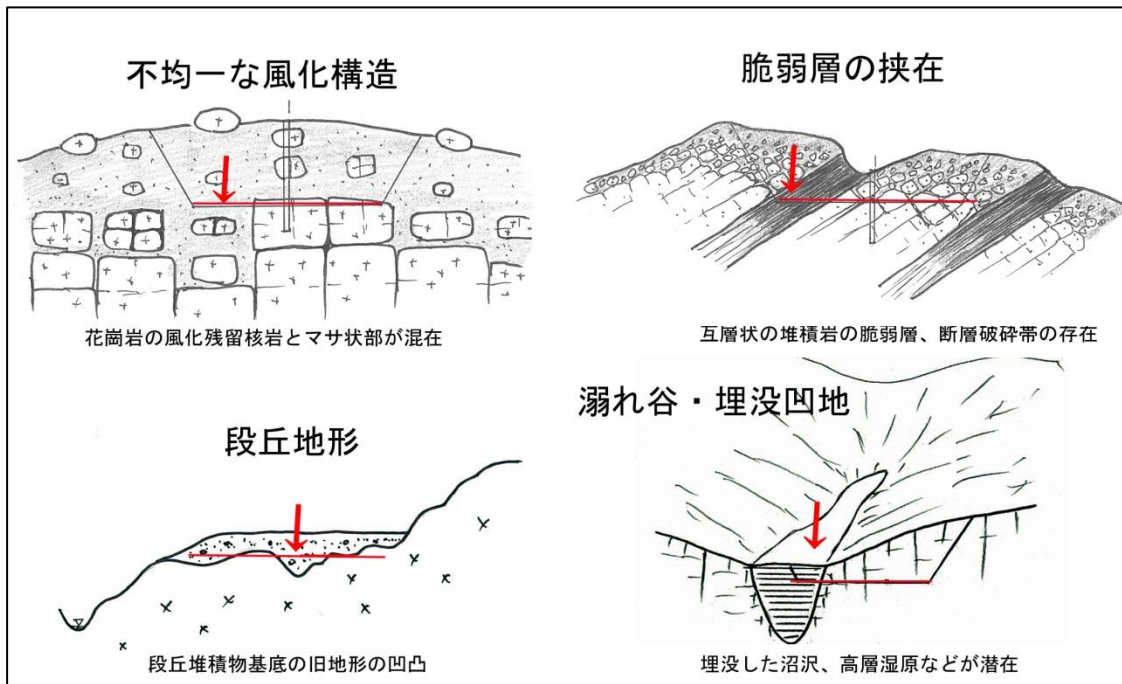


図 3.2.1 基礎地盤に不陸が発生するケース

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① 注意すべき地形地質への対応方法

直接基礎の場合は基礎底面を全体に下げる、あるいは部分的に置換えで対処する。杭基礎の場合は根入れ深度、あるいは杭型式の変更を行う。これらの方法が困難な場合には構造物の位置の変更を行うなどが考えられる。

##### ② トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点



地形と地質分布を観察し、地形の形成過程を整理する。たとえば周辺にはほぼ同レベルの緩斜平坦面が複数あれば、浸食面あるいは段丘地形の名残と考えられ、計画地点にも同様な地形が存在する可能性がある。人工改変地では地形的特徴の多くが失われているが、旧版地形図・空中写真の判読や市町村史、聞き込み等により情報が得られることがある。

#### b. ボーリング調査

支持層の起伏が予想されるような地形・地質の場合には、必要に応じて予備調査の段階から構造物 1 か所につき 2 孔以上の調査を行うとともに、詳細（本）調査ではフーチング四隅（4 か所）での調査を行う。ボーリング調査に伴い標準貫入試験のほか、水平方向の変形係数を定めるための孔内水平載荷試験等も行う。

#### c. 物理探査

支持層の起伏を三次元的にとらえるために、必要に応じて縦断・横断方向に弾性波探査を行う。

#### d. 室内試験

地盤強度等の力学特性を把握するため、力学試験等の室内試験を行うことも有効である。

表 3.2.3 不陸のある基盤岩 調査項目

調査段階		調査項目	目的	備考
予備調査	詳細調査			
○	△	資料調査	地形・地質	5万分1地質図、2.5万分1地形図(新旧)、LP(レーザープロファイラ)地形図
○	△	地表踏査	地質分布、微地形	予備調査 1/5,000 本調査 1/500
○	○	ボーリング調査 (本調査は四隅で実施)	地質情報	
			地盤の力学情報	標準貫入試験、孔内載荷試験
			地下水情報	地下水分布、流向
○	△	物理探査	弾性波探査	地盤の速度層構成 屈折法、反射法
			地下電磁波探査	地下の空洞 いわゆる地下レーダー
			電気探査	地盤の比抵抗分布 地盤の構成物、地下水分布
○	○	室内試験	土質試験 岩石試験	土質、岩石の基本的性質 物理試験、一軸圧縮試験、引張強度試験、弾性波伝播速度測定、三軸試験

### ③ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、地質平面図、地質断面図、原位置試験結果）
- ・ 必要に応じて縦断・横断方向の地質断面図より支持層の三次元的な分布を把握し、わかりやすい表現図(三次元地質図、ブロックダイヤグラム等)を作成する。
- ・ 地盤リスクの評価(構造物との位置関係、対策を要する範囲)
- ・ 設計に用いる地盤定数の整理
- ・ 施工による環境リスク

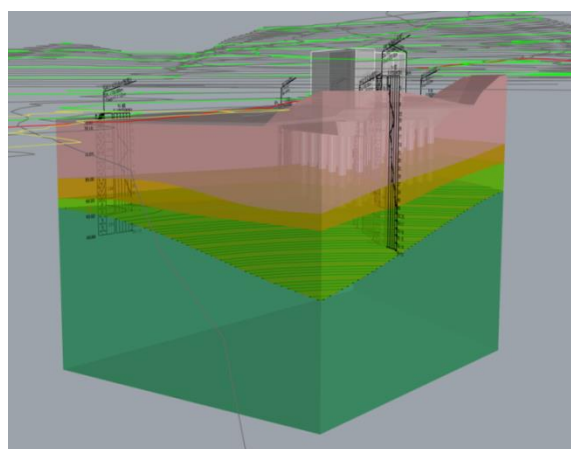


図 3.2.2 三次元地質図の例

### 3.2.2 断層・リニアメント

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

- ① 支持層に破碎帯が現れ、基礎工の設計変更が必要になった。
- ② 被覆層の下に断層が潜んでいた。
- ③ 壁面に断層破碎帯があり、掘削中に突発湧水が発生した。

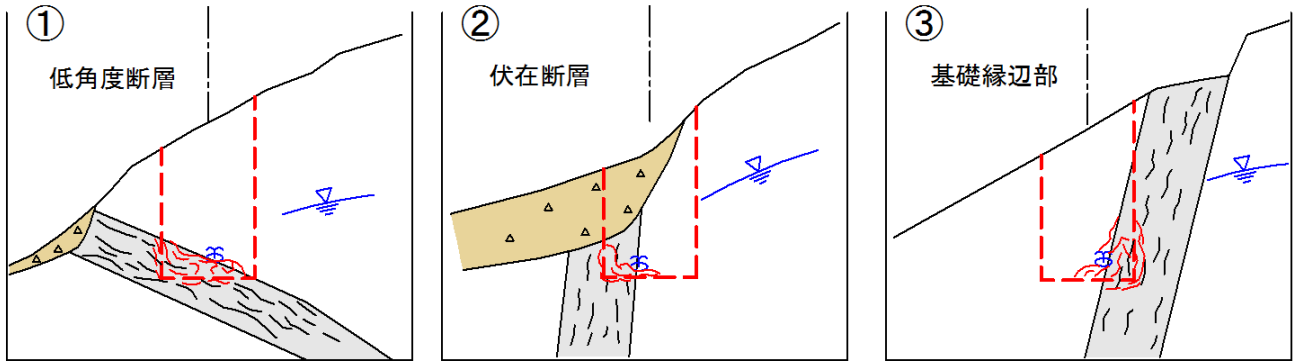


図 3.2.3 見逃しやすい断層が工事段階で出現するケース

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① 注意すべき地形地質への対応方法

直接基礎の場合は部分的に置換えで対処すること、杭基礎の場合は根入れ深度あるいは杭型式の変更を行うこ、活断層である場合には原則として構造物の位置の変更を行うことなどが考えられる。

また、多量の湧水が予想される場合には、あらかじめ排水ボーリングを設置し地下水の水頭を低減させておく等の措置を講ずることが考えられる。

##### ② トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

既往地質図類に「断層」が描かれていることがあるが、これは地層の不連続面などを示す「地質断層」を表わしており、その全てが土木地質で問題となる「脆弱な断層破碎帯」を意味するものではないため、区別して考える必要がある。

また、既往地質図類には各構造物レベルの断層破碎帯までは記載されていないことがほとんどである。

このため、必要とする断層の情報については地形判読や現地踏査に基づいた地質情報、既往ボーリング資料等より、あらためて考察

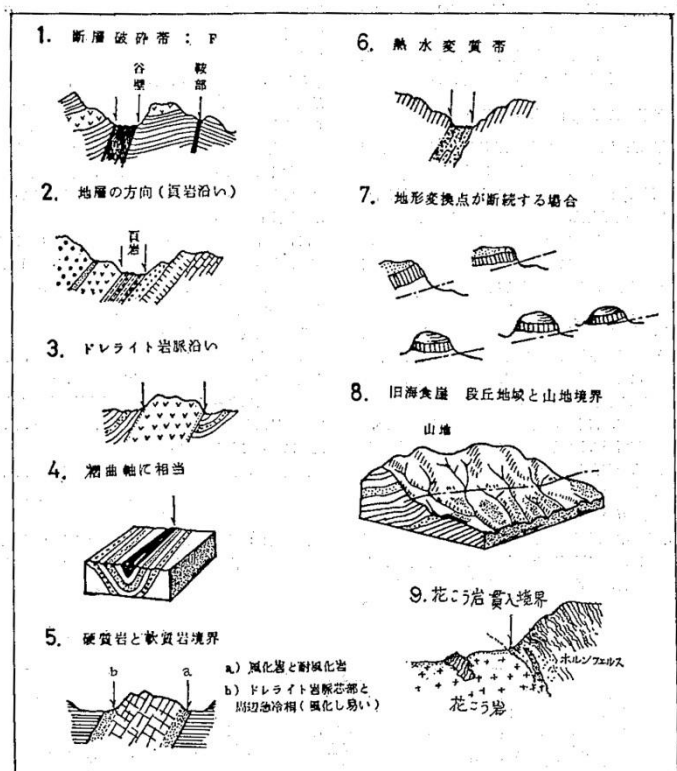


図 3.2.4 リニアメントの種類

する必要がある。

リニアメントは断層が形成する代表的な地形要素のひとつであり、空中写真や地形図からリニアメントが読みとれるときには断層の存在を疑う必要がある。ただし、リニアメントは他の現象、たとえば地層の硬軟の違いや時には植物の伐採跡を反映していることもあるので、現地調査等による確認が必要である。

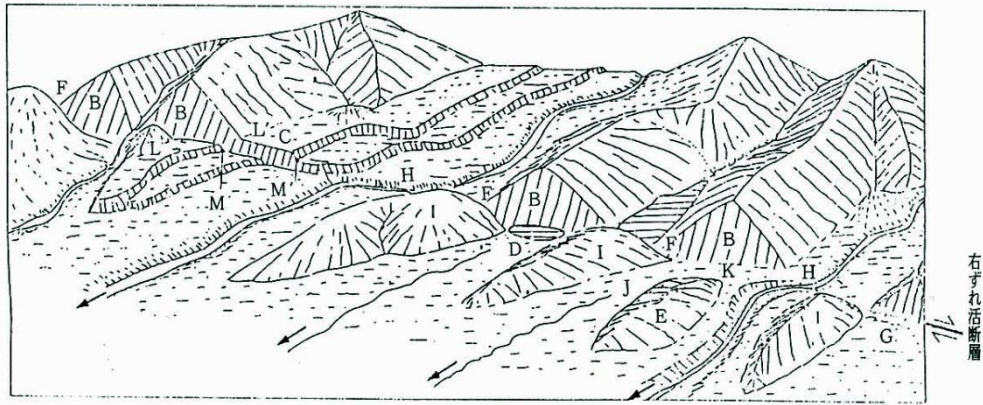


図-3.8 右ずれ断層による変位地形の諸例 (岡田, 1979<sup>(45)</sup>を改定)  
 B:三角末端面 C:低断層崖 D:断層池 E:ふくらみ F:断層鞍部 G:地溝 H:横ずれ谷  
 I:閉塞丘 J 崖の食い違い

図 3.2.5 横ずれ断層の変位地形<sup>1)</sup>

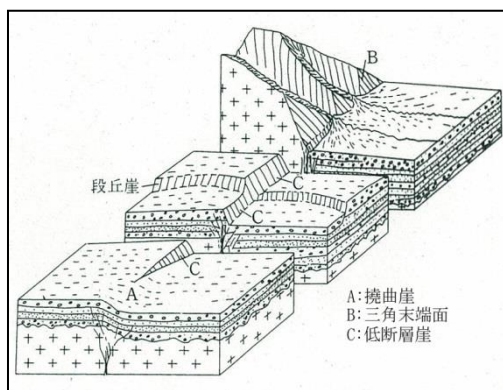


図 3.2.6 断層崖の種類<sup>1)</sup>



図 3.2.7 根尾谷断層のななめ写真<sup>1)</sup>

活断層は特徴的な地形を伴うことが多い。縦ずれ断層では三角末端面や撓曲崖、横ずれ断層では谷や尾根の系統的な屈曲などがある。活断層は、「新編 日本の活断層」(東大出版会,1991)や「活断層詳細デジタルマップ」(東大出版会,2002)などに詳しい。

#### b. ボーリング調査

ボーリング調査は断層を確認する有効な手法であるが、対象範囲を網羅する調査配置計画で実施する必要がある。たとえば急傾斜の断層が想定される場合には1構造物に1孔では見逃すことも多く、複数の孔の配置や傾斜ボーリングを補う等の工夫が必要である。

試料採取は、断層構造や性状が検討できる乱さない試料の採取、高い採取率を目的に、大口径ボーリ

ングや高品質ボーリングを採用することが望ましい。

断層の方向（走向・傾斜）を知るためには複数のボーリングにおいて、孔内ボアホールカメラの観察を行う方法がある。



図 3.2.8 高品質ボーリング（断層）の例

地下水の水圧は、削孔中にこまめに水頭を測定するほか、孔内湧水圧試験を実施することにより把握することができる。断層を境として水頭が大きく異なるときには断層を突き破って湧水が発生する可能性がある。

断層の力学的性質の確認のためには孔内水平載荷試験等を実施する。

### c. 物理探査

弾性波探査は地下に潜んでいる断層（破碎帯）を検出する有効な手法である。

### d. 室内試験

未固結層、強風化部等の脆弱部では室内試験を行う。

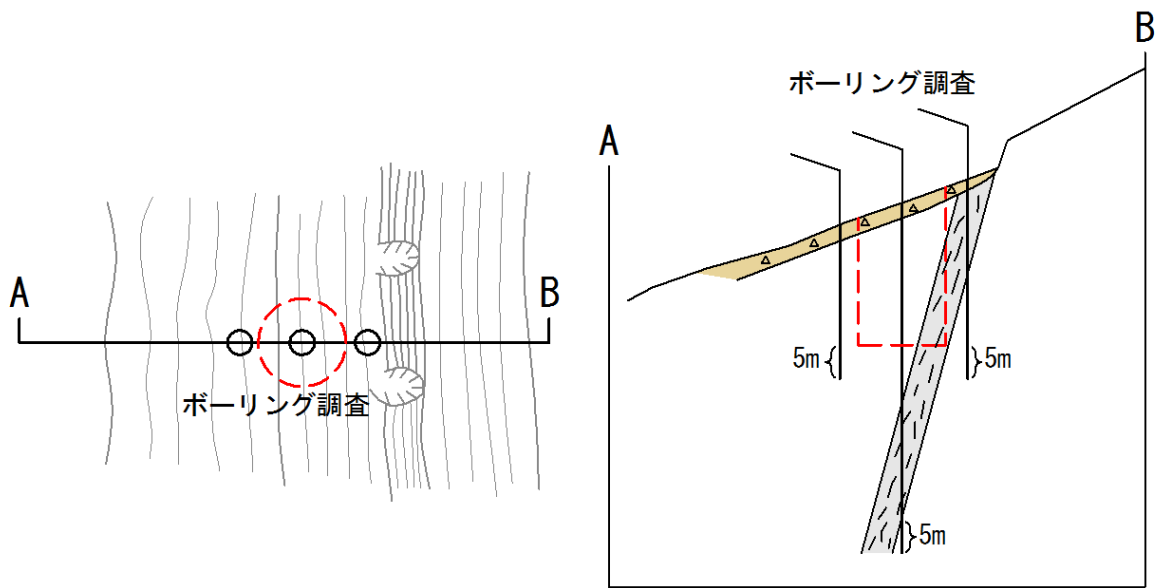


図 3.2.9 断層調査の例

表 3.2.4 断層調査項目

調査段階		調査項目	目的	備考	
予備調査	本調査				
○	△	資料調査	地質	文献断層	5万分1地質図、新編「日本の活断層、活断層詳細デジタルマップ」
			地形	地形の特徴	LP地形図、空中写真
○	○	地表踏査	地質分布、断層地形	予備調査1/5,000 本調査1/500	
○	○	ボーリング調査 (高品質ボーリング)	地質情報	ボアホールカメラ	
			地盤の力学情報	標準貫入試験、孔内載荷試験	
			地下水情報	地下水分布、流向	
	△	物理検層	速度検層	P波・S波速度分布(深度方向)	動的弾性係数
			電気検層	比抵抗分布(深度方向)	
○	○	物理探査	弾性波探査	地盤の速度層構成	屈折法、反射法
			電気探査	地盤の比抵抗分布	
○	○	室内試験	土質試験 岩石試験	土質、岩石の基本的性質	物理試験、一軸圧縮試験、引張強度試験、弾性波伝播速度測定、三軸試験
	△	数値解析	FEM解析	影響度の把握	

③ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理 (ボーリング柱状図、地質平面図、地質断面図、原位置試験結果)
- ・ 地質断面図には、断層破碎帯の位置を表示し、性状を区分した岩盤区分図も作成する。
- ・ 必要に応じて、三次元的な分布を把握し、わかりやすい表現図(三次元地質図、ブロックダイヤグラム等)を作成する。
- ・ 地盤リスクの評価(構造物との位置関係、対策を要する範囲)
- ・ 設計に用いる地盤定数の整理
- ・ 施工による環境リスク

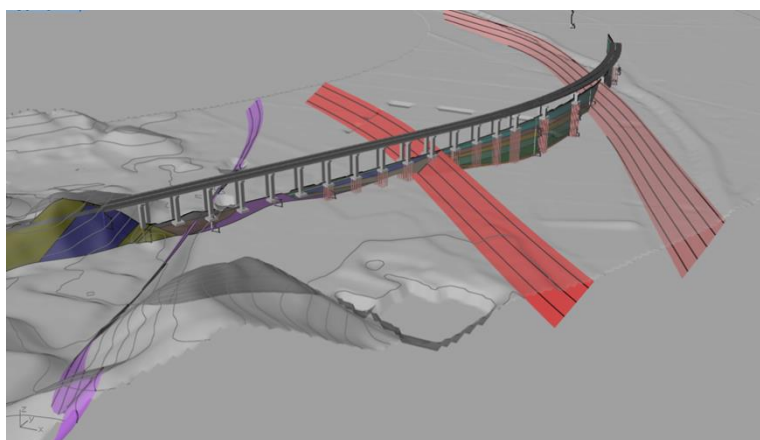


図 3.2.10 三次元断層分布図の例

### 3.2.3 河川及び海岸の浸食

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

①河川の出水時に護岸が浸食され、道路構造物の基礎が露出することにより供用ができなくなった。

②海岸が波浪や潮流により浸食され、道路構造物まで影響が波及した。



図 3.2.11 河川の護岸浸食の例  
岐阜県飛騨市古川（宮川沿い）



図 3.2.12 海岸浸食の例  
静岡県牧之原市相良（新第三紀層の侵食）

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① 注意すべき地形地質への対応方法

直接基礎の場合は浸食されそうな部分を擁壁等で保護するか杭型式に変更することが有効である。杭基礎の場合は、側面が浸食される場合も当該部の保護をするか、浸食されても根入れ長が確保できる深度まで杭を延長する等の変更を行うことなどが考えられる。一方、護岸に消波ブロック(テトラポッド)を置くことも有効である。



図 3.2.13 東名高速道路 静岡県由比海岸  
橋脚基礎をコンクリートで巻き立て、岸壁にはテトラポッドが積まれている。

##### ② トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

河川の護岸浸食は曲流した水衝部（攻撃斜面）で発生しやすい。河川の曲流は山地部では穿入蛇行(地質構造に規制された蛇行)、平野部では自由蛇行(いわゆる暴れ川)と呼ばれる。この情報は地形図・空中写真、地質図、地形分類図等から得ることができる。

海岸浸食は波浪・潮流の営力によるもので、海岸平野のない岩石海岸で起きやすい。この情報も、地形図や空中写真、地形分類図等から得ることができる。

災害を受けやすい箇所は繰り返し発生する傾向があり、管理者の記録や地形判読は被災しやすい箇所の推定

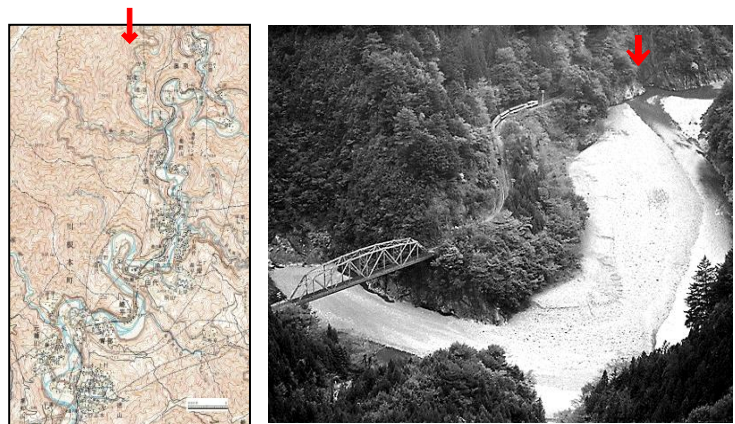


図 3.2.14 蛇行河川の例（静岡県大井川上流域）と攻撃斜面（↓）  
護岸の浸食が鉄道敷まで迫っている

に有効な資料となる。

海岸は大規模な地震で隆起する箇所（隆起海岸）と沈降する箇所（沈降海岸）がある。これを調べることも、将来の浸食の形態を推定する手がかりとなる。いずれにしても現地で確認を行う必要がある。

#### b. ボーリング調査

支持層調査に加え、耐浸食性の地盤の有無とその有効な厚みを知るために、構造物

前面においてもボーリングを行う。標準貫入試験のほか、想定支持層の深度で孔内水平載荷試験等も行う。

#### c. 物理探査

一般には弾性波探査、すでに変状が発生している場合には空洞探査（電磁波探査）が有効な場合がある。

#### d. 室内試験

未固結層、強風化部等の脆弱部では室内試験を行う。



図 3.2.15 リアス式海岸の例（三重県尾鷲市賀田湾）  
海岸浸食により岩盤が緩み、道路まで変状が及んでいる

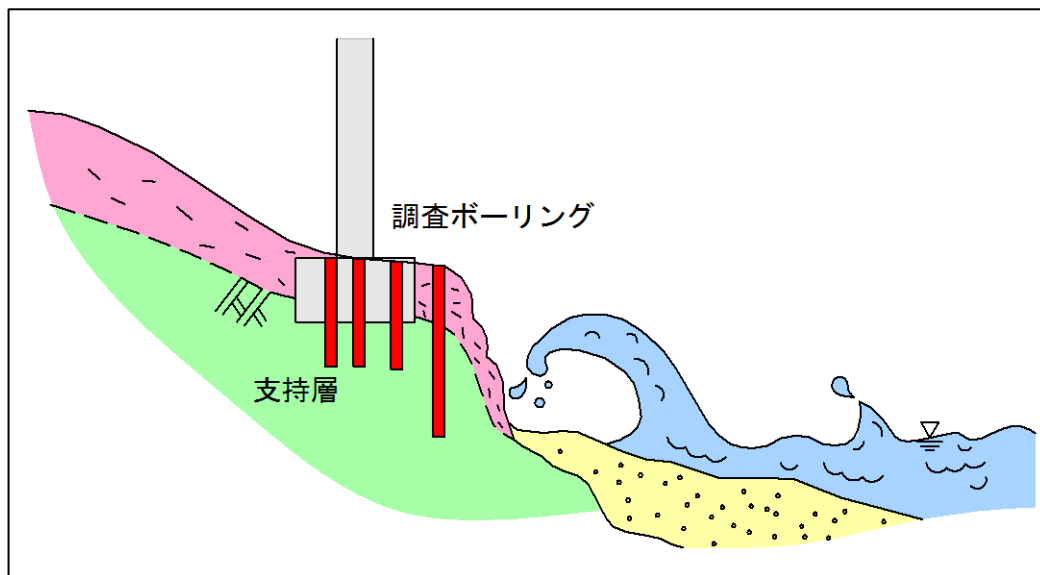


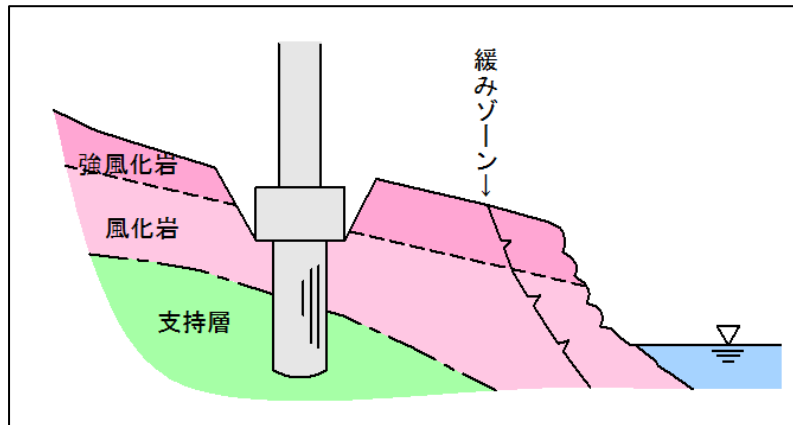
図 3.2.16 浸食地形の地質調査の例

表 3.2.4 浸食地形の調査項目

調査段階		調査項目	目的	備考
予備調査	詳細調査			
○	△	資料調査	地形・地質	5万分1地質図、2.5万分1地形図(新旧)、空中写真、災害履歴
○	○	地表踏査	地質分布、微地形	予備調査1/5,000 本調査1/500
○	○	ボーリング調査 (構造物前面を含む)	地質情報	ポアホールカメラ
			地盤の力学情報	標準貫入試験、孔内載荷試験
			地下水情報	地下水分布、流向
○	△	物理探査	弾性波探査	地盤の速度層構成 屈折法
			電気探査	地盤の比抵抗分布 地盤の構成物、地下水分布
			地下電磁波探査	地下の空洞 地下レーダー
	○	室内試験	土質試験 岩石試験	土質、岩石の基本的性質 物理試験、一軸圧縮試験、引張強度試験、弾性波伝播速度測定、三軸試験

③ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理（ボーリング柱状図、地質平面図、地質断面図（河川あるいは海岸と構造物の相対的な位置関係がわかるように作成）、原位置試験結果）
- ・ 地盤リスクの評価(構造物との位置関係、対策を要する範囲)
- ・ 設計に用いる地盤定数の整理
- ・ 施工による環境リスク・調査結果





### 3.2.4 落石・崩落

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

①道路構造物等の施工時に、斜面上に分布する転石が不安定化し落石災害が発生した(図 3.2.18 の例①)。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・植生斜面で見通しが利かず、落石の危険性を把握できなかった。
- ・落石発生源の調査範囲が不十分で、落石発生源を把握できなかった。
- ・落石発生源の状況を把握していたが、想定と異なる経路で落石が発生した。
- ・落石発生源の状況を把握していたが、落下エネルギーや跳躍量が推定量を超過した。
- ・落石防護策等の機能が経年的に低下し、落石が道路等に到達した。

②岩盤斜面上の緩み岩塊(浮石)が崩落して、道路構造物等が損傷を受けた(図 3.2.18 の例②)。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・植生斜面で見通しが利かず、岩盤斜面からの落石崩落の危険性を事前に把握できなかった。
- ・岩盤斜面が急崖のため、浮石や緩み岩盤の危険性を事前に把握できなかった。
- ・岩盤斜面の状況を把握していたが、想定と異なる経路で落石(崩落)が発生した。
- ・岩盤斜面の状況を把握していたが、落下エネルギーや跳躍量が推定量を超過した。

(例①)

(例②)

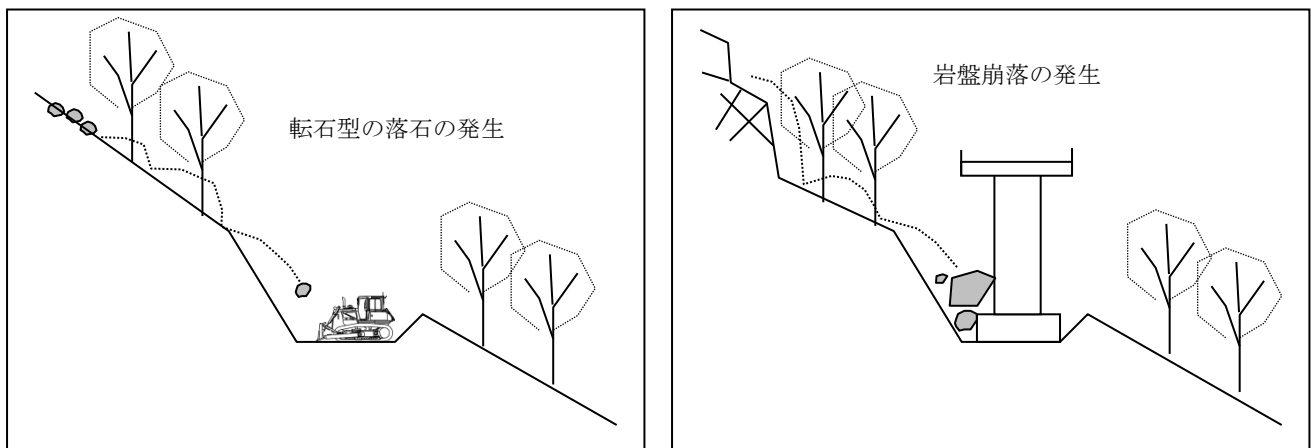


図 3.2.18 想定されるトラブル例

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ①注意すべき地形地質への対応方法

直接的な対応としては、落石発生源位置における予防工や保全対象付近における防護工を検討する。また、これらの対応が困難な場合には、道路線形の見直しを検討する。

また、落石の危険性が懸念された箇所については対策工を含めた防災点検を継続的に実施し、事前調査資料等を供用時の点検に的確に活用することが望ましい。

##### ②トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 調査の着目点

- ・踏査範囲と影響度の把握

地表地質踏査範囲については、落石発生源の状況（位置・規模）と落下経路の双方を把握することが重要であり、地表踏査範囲は斜面上方は原則として尾根線までとすることが必要である。また、斜面下方については、過去の落石の到達範囲等を転石等から類推できる場合があり、踏査範囲とすることが望ましい。

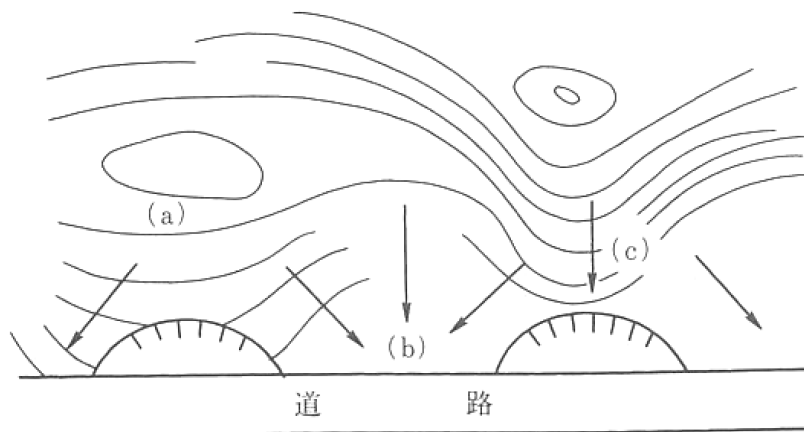


図 3.2.19 落石の落下経路<sup>4)</sup>

・調査の段階的な実施

岩盤からの落石崩壊等では、地質構成・不連続面の分布などの多様な要素が複雑に崩壊に関与しており、現地踏査・ボーリング調査・物理探索等の各種調査を段階的（一次調査～二次調査、概査レベル～精査レベル等）に段階的に実施することが有効である。

**b. 落石に関する調査**

・地表地質踏査（精査）

地表地質踏査（精査）を実施して、転石型の落石発生源の位置、規模（落石の大きさ・形状）、落下経路等を把握する。

・落石シミュレーション

落石が大径の場合や、斜面の起伏や谷地形等によって落下経路や跳躍量の想定が困難な場合には、落石シミュレーションによる落石の崩落挙動解析を実施する。落石シミュレーションにおいては、反発係数等のパラメータについて複数回の計算を実施し、複数の解析結果をもとに落下エネルギー等の上限を統計的に推定することが望ましい。

**c. 岩盤崩壊に関する調査**

1)一次調査

・微地形解析

一般的な測量手法では急崖部の地形状況を捉えることが困難な場合は、現地の植生状況等に応じて、レーザスキャナ測量や空中写真測量を実施し、急崖部の展開図やオルソ画像を作成する。

・登攀調査

登攀調査によって急崖部の不連続面の分布・開口度等を把握し、崩落の危険性を評価する際の基礎資料とする

2)二次調査（図 3.2.20 参照）

・物理探査

岩盤の緩み域範囲（対策必要範囲）や健岩の出現深度を把握することを目的として、弾性波探査、弾性波トモグラフィ、電気比抵抗トモグラフィを実施する。

- ・ボーリング調査及び原位置試験

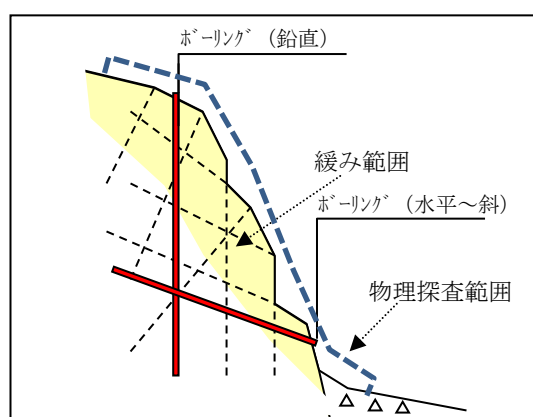
地質特性、岩盤の緩み域範囲、割れ目の分布特性等を把握することを目的として調査ボーリングならびに物理検層・原位置試験（透気試験など）を実施する。

- ・安定解析及び崩壊シミュレーション

岩盤すべり崩壊等については極限平衡法による安定解析を実施するとともに、崩壊土塊の到達範囲や崩落エネルギー等の影響度を把握することを目的として崩壊シミュレーションを実施する。

- ・計測調査

施工時並びに供用時の安定度を把握することを目的とし、傾斜計、伸縮計、変位計等による計測調査を実施する。



- ・物理探査（弾性波速度を指標とした緩み域評価）
- ・ボーリング調査（地質の確認、岩級区分判定）
- ・ボアホールカメラ（不連続面分布・開口性調査）
- ・物理検層（P波速度を指標とした緩み域評価）
- ・孔内試験（水平裁荷試験等による物性評価）
- ・透気試験（透気係数を指標とした緩み域評価）
- ・エアートレーサ試験（不連続面の連続性把握）

図 3. 2. 20 二次調査の実施概念図

### ③設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・調査結果の整理（落石発生源分布、落下経路、到達範囲）
- ・等価摩擦係数を用いた落石エネルギーの試算
- ・シミュレーションによる落石（崩壊）エネルギーの試算
- ・対策必要範囲の抽出

### 3.2.5 表層崩壊

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

①切土工の施工時に、斜面表層が不安定化して崩壊が発生した（図 3.2.21 の例①）。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・ボーリング調査数量が限られ、切土上部の表層厚を把握できていなかった。
- ・急斜面における表層厚データをもとに緩斜面（切土部）の表層厚を過小評価した。
- ・斜面上部の表層厚が側方に変化していた。

②道路構造物の下方側斜面が、供用後に不安定化して崩壊が発生した（図 3.2.21 の例②）。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・地形改変や道路排水等により、構造物周辺に表層水が集まりやすくなった。
- ・豪雨時に、構造物周辺の大量の表層水が下方斜面に流下し、斜面が不安定化した。

(例①)

(例②)

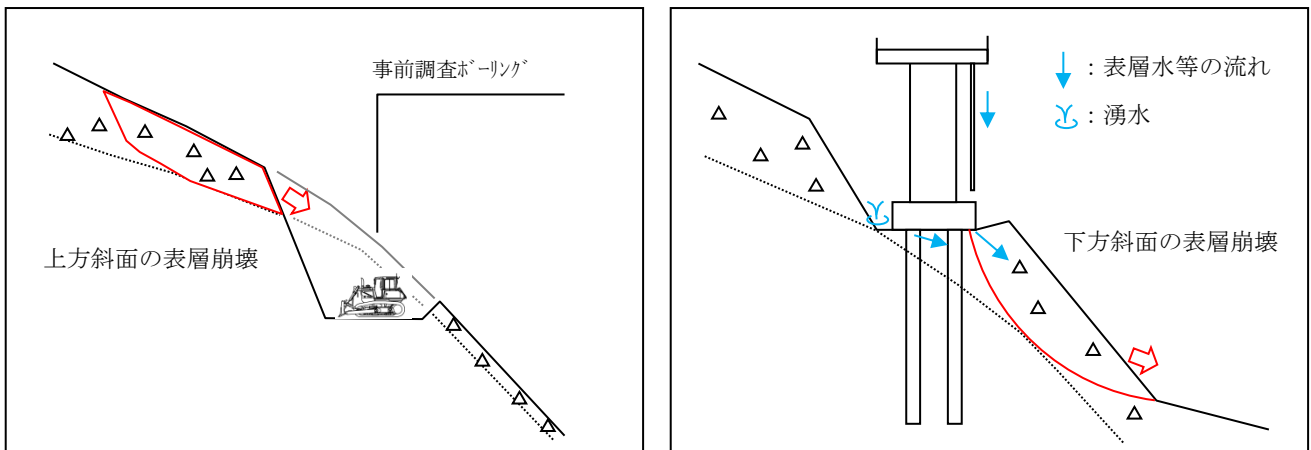


図 3.2.21 想定されるトラブル例

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ①注意すべき地形地質への対応方法

直接的な対応としては、不安定箇所に対する予防工と、待ち受け擁壁工や土砂覆工等の防護工を検討する。また、これらの対応が困難な場合には、計画（道路線形等）の見直しを検討する。

なお斜面崩壊の発生機構は複雑で突発的に変状が拡大する危険性があり、斜面崩壊の危険性が懸念された箇所については、施工～供用時を含めた体系的な防災点検（計器観測）体制を導入することが望ましい。

##### ②トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 調査の着目点

表層崩壊の調査においては、斜面勾配等の地形条件及び斜面表層数mまでの土質地質条件の調査が極めて重要である。特に山腹斜面の上部（侵食と崩積土の発生場）と下部（崩積土の堆積場）では、表層土層の性状・層厚や地下水が異なっており（図 3.2.22）、それぞれの表層地盤の状況を的確に把握することが重要である。

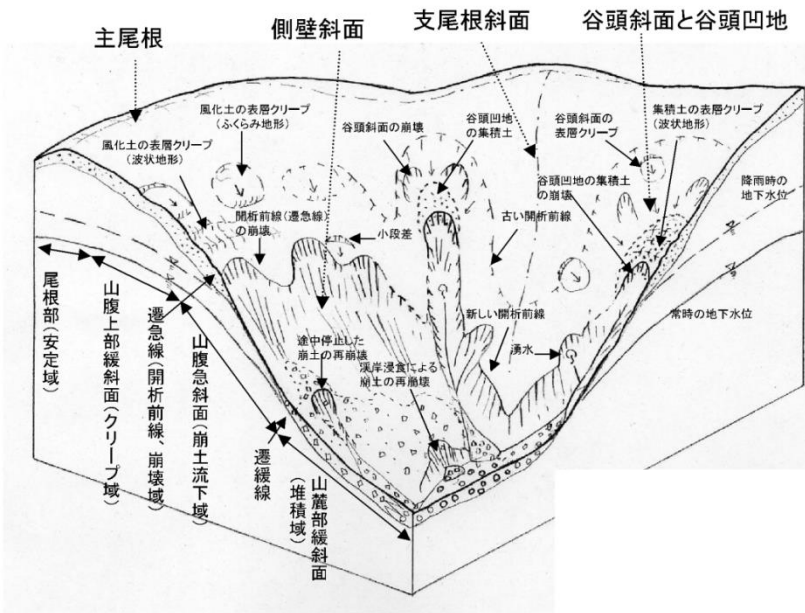


図 3.2.22 表層崩壊の発生場<sup>5)</sup>

### b. ボーリング及び標準貫入試験

構造物基礎地盤を対象としたボーリングに加えて、上下斜面でボーリングを実施し、表層土質、表層厚等を把握する。また、ボーリングと併せて標準貫入試験を実施して表層の地盤物性評価の基礎資料とする。

### c. 表層厚調査

ボーリングを補間する位置で、簡易動的コーン貫入試験や土層強度検査棒等の原位置試験によって表層厚を把握する(図 3.2.23)。斜面形状が平板的でない場合には、副測線を設けるか、グリッド方式で原位置試験を実施して表層厚を把握することが望ましい。

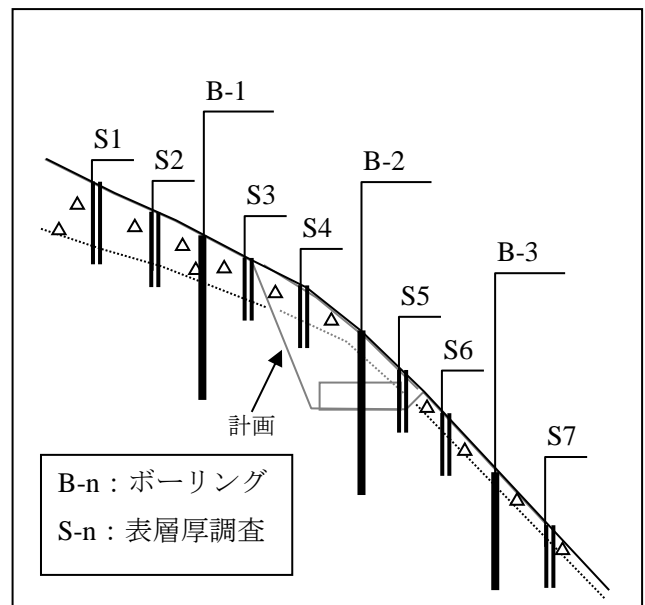


図 3.2.23 調査実施概念図 (調査例)

## ③設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理 (地質平面図・断面図)
- ・ 崩壊機構解析、地盤特性検討、安定度評価

### 3.2.6 地すべり

#### (1) 設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

①地すべり地形の末端部の切土工等によって地すべり土塊が不安定化して崩壊した(図 3.2.24 の例①)。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・ 事前調査で地すべりに着目した調査(地形判読や地表踏査等)を実施していなかった。
- ・ 地すべり地形が不明瞭(小規模)だったため、地すべり地形を把握できなかった。
- ・ 地すべり調査数量が限られたため、すべり面の想定位置に誤りを生じ、切土工の影響を過小評価した。

②大径岩隗で構成される地すべり移動土塊を誤って地山(岩盤等)と評価し、構造物の施工時に法面等が不安定化した(または、供用後に構造物に変状を生じた)(図 3.2.24 の例②)。

トラブル発生の原因として以下があげられる

- ・ 事前調査で地すべりに着目した調査(地形判読や地表踏査等)を実施していなかった。
- ・ 地すべり地形が不明瞭(小規模)だったため、地すべり地形を把握できなかった。
- ・ ボーリングでは、大径岩隗から構成される地すべり移動土塊を誤って岩盤と評価した。

(例①)

(例②)

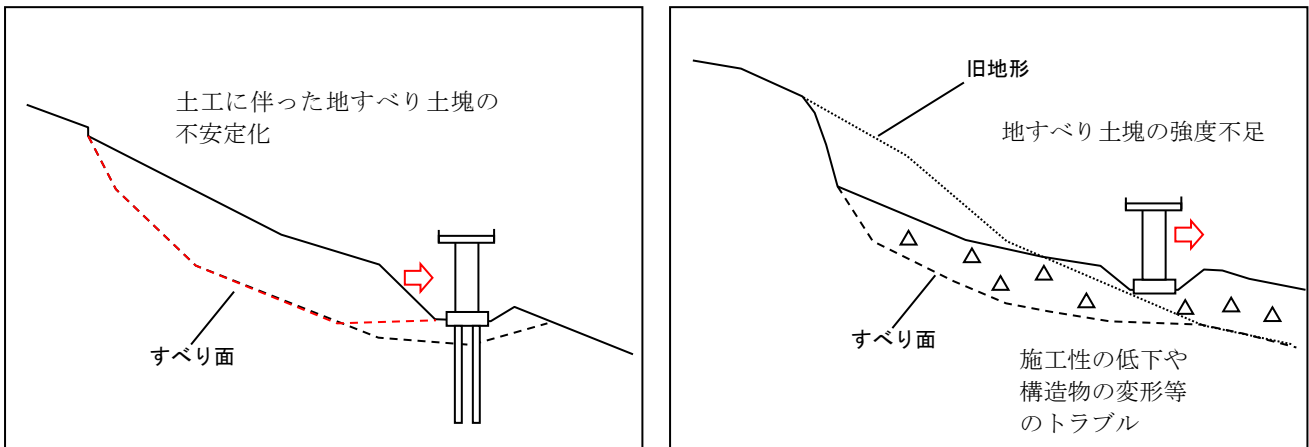


図 3.2.24 想定されるトラブル例

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ①注意すべき地形地質への対応方法

直接的な対応としては、地下水排除工等の抑制工と、アンカー工等の抑止工を検討し、道路等が地すべりブロックを横断する場合は、地すべり頭部では切土工を、地すべり末端部では盛土工を検討する。これらの対応が困難な場合には、計画(道路線形等)の見直しを検討する(図 3.2.25)。

地すべりの対策工の効果を判定する上では、各種地すべり調査・観測を対策前後を通じて継続的に実施することが有効である。また、地すべりの活動性は気象条件や周辺の地形改変によって誘発される場合があり、施工～供用時を含めた体系的な点検体制を導入することが望ましい。

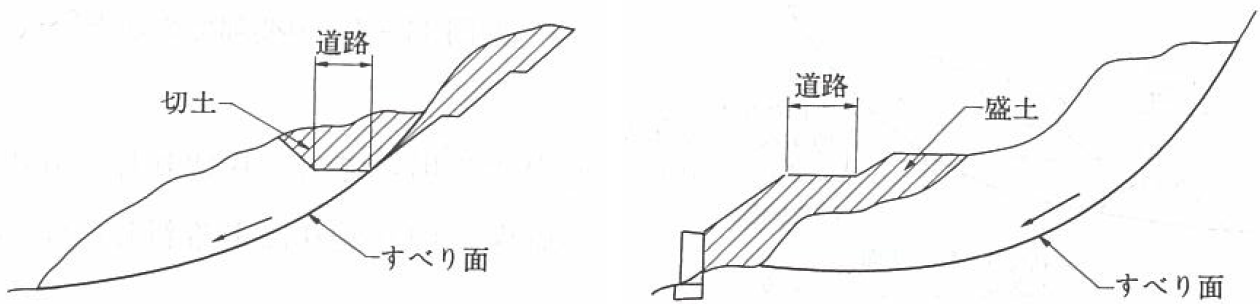


図 3.2.26 地すべり横断部の道路構造例<sup>4)</sup>

## ②トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

### a. 調査時の着目点

#### ・地すべり地形

地すべりは第三紀層の泥岩・凝灰岩帯、中生層や変成岩地帯など、ある程度限られた地質あるいは地質構造の地域に集中する傾向があり、また、過去に地すべり活動を繰り返したことによって独特の地すべり地形を呈している場合が多い。資料調査等によってこのような地域特性が確認された場合は、地すべりの有無の確認を目的とした地形判読・地表地質踏査を実施することが望ましい。また、地すべりの対策工事は大規模となる場合があり、事業の計画段階においても、詳細調査レベルの地すべり調査を実施して、事業全体への影響等を検討することが望ましい。

#### ・初生地すべり

地すべり地形が判読できない場合でも、地質状況や斜面の改変内容によっては地すべり性の変状を生じることがある。このような変状が懸念される場合（表 3.2.6）には、施工時並びに供用時を通じて計器観測によって継続的に安定度を監視することが望ましい。

表 3.2.6 初生地すべりの活動に関わる因子（例）<sup>6)</sup>

区 分	要因等
人工改変で活動が活発化	長大切土斜面の応力解放とクリープ変形の進展 切土斜面の岩盤の風化の進展 急激な地下水上昇
すべり面を形成する地質特性	断層や褶曲等による弱線の形成並びに流れ盤構造 すべり崩壊に関連した特徴的な地質（蛇紋岩・変成岩等）

### b. 微地形解析

小規模～中規模の地すべり地形については、地形図や空中写真判読では抽出が困難な場合があり、レーザープロファイラデータを活用した微地形解析と、地すべりに関する地形判読が有効である。

### c. 地すべり調査

確認された地すべり地形に対して以下の手順で地すべり調査を実施する。

概査：予備調査結果並びに現地踏査結果をもとに地すべりブロック区分を行い、調査側線を設定して、現地の地形地質特性を踏まえた調査計画を立案する。地すべりのブロック区分や測

線配置は、斜面全体について検討し、検討する構造物と地すべりブロックの位置関係や地すべりブロックの活動性を考慮して詳細調査の実施優先度を検討する（図 3.2.26）。

精査：ボーリングや移動変形量調査等の詳細調査を実施し、地すべり解析のための基礎資料とする。すべり面調査では、ボーリングコアですべり面を特定することが困難なケースもあり、孔内傾斜計観測等を併用してすべり面の判定を行うことが有効である。

なお、詳細な地すべり調査内容については下記が参考となる。

地すべり防止技術指針及び解説、土木研究所、2008年

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年

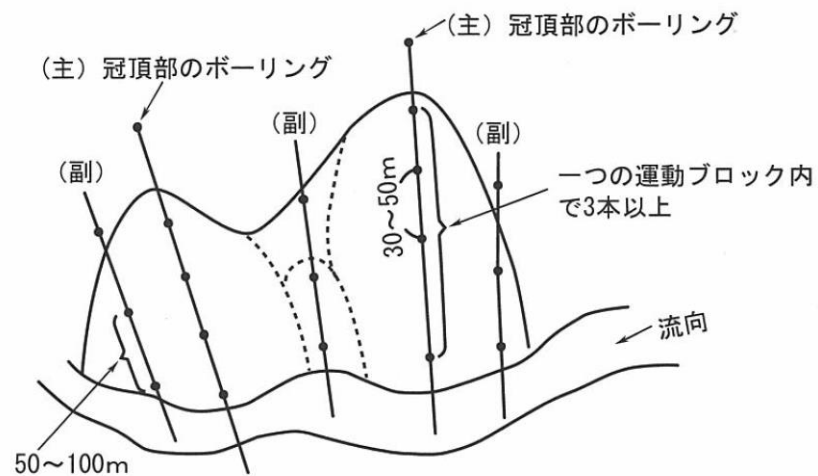


図 3.2.26 概査結果に基づくボーリング配置概念図<sup>7)</sup>

### ③設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・調査結果の整理（地質平面図・断面図、移動変形量）
- ・崩壊機構解析、地盤特性検討、安定度評価、対策工法の選定



### 3.2.7 土石流

#### (1) 設計・施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

①豪雨によって土石流が発生し、流下した岩塊が橋脚等に接触・損傷した。または、流下した岩塊や立木で橋桁下が閉塞されて土石流が越流し、橋梁周辺に土砂が流出した（図 3.2.27 の例①）。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・ 事前調査で土石流に着目した調査（地形判読や地表踏査等）を実施していなかった。
- ・ 土石流の危険性を把握していたが、土砂量が推定を超過した。

②山腹斜面に分布する大径岩塊を主体とする土石流堆積物を誤って地山（岩盤等）と評価し、構造物の施工時に法面等が不安定化した（または、供用後に構造物に変状を生じた）（図 3.2.27 の例②）。

トラブル発生の原因として以下があげられる。

- ・ 事前調査で土石流に着目した調査（地形判読や地表踏査等）を実施していなかった。
- ・ 地表踏査等が河床部に限られ、山腹斜面等の土石流堆積物分布を把握できなかった。
- ・ ボーリングでは、大径岩塊から構成される土石流堆積物を誤って岩盤と評価した。

(例①)

(例②)

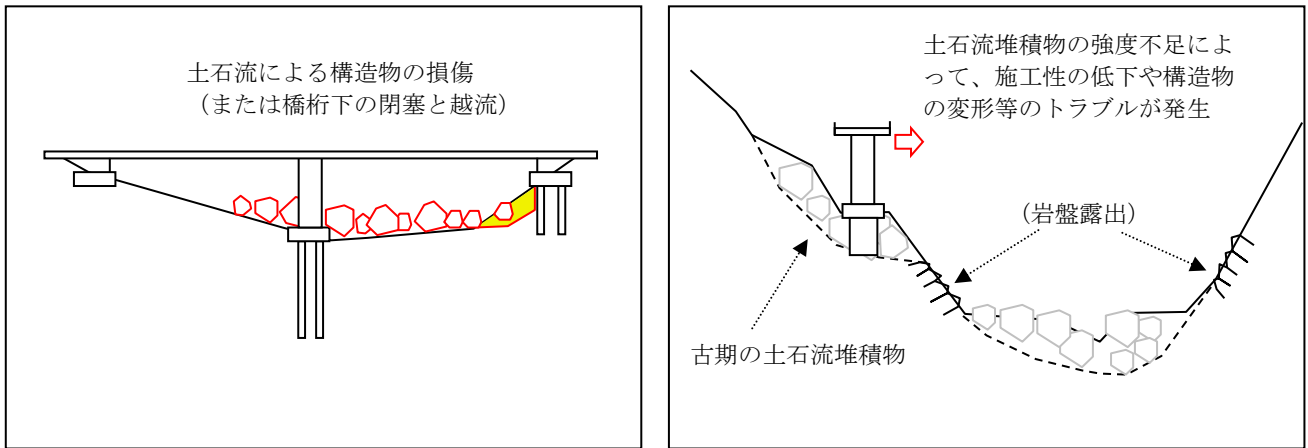


図 3.2.27 想定されるトラブル例

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ①注意すべき地形地質への対応方法

対応策としては、砂防施設等の検討に加え土石流の堆積区域を考慮し、計画（道路線形等）の見直しを検討する（図 3.2.28）。また、土石流の危険性が懸念された箇所については対策工を含めた防災点検を継続的に実施し、事前調査資料等を供用時の点検に的確に活用することが望ましい。

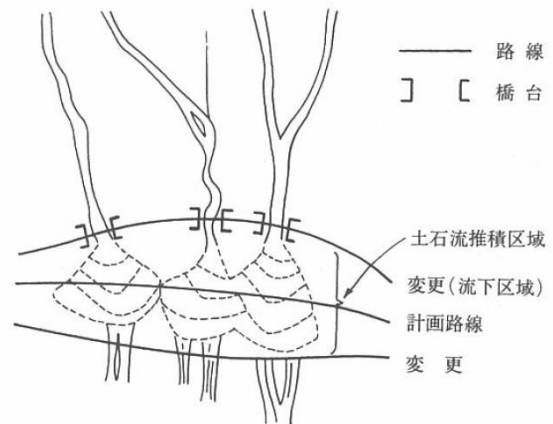


図 3.2.28 土石流を考慮した路線の小シフト<sup>4)</sup>

②トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

a. 調査時の着目点

・土石流と地質

土石流は豪雨・融雪・地震等によって土砂が流動化する現象であり、斜面崩壊と関連した複合的な土砂災害である。土石流の危険性については「溪床勾配 15 度地点から上流の集水面積が 5ha 以上」の目安があるものの、土石流の発生には地盤条件が密接に関連しており（表 3.2.7）、地形特性と地質特性の双方に着眼することが重要である。

表 3.2.7 地質と土石流発生<sup>8)</sup>

岩 石	土石流発生		岩石の分布	(1)/(2)
	件数 (1)	面積 (2)		
広域変成岩	36	9.3%	3.6%	2.58
花崗岩	180	46.3	13.3	3.48
塩基性および超塩基性貫入岩	—	—	1.6	—
第三紀および第四紀の火山岩	50	12.9	20.4	0.63
古生代堆積岩	38	9.8	12.2	0.80
中生代堆積岩	9	2.3	9.3	0.25
第三紀堆積岩	55	14.1	18.9	0.75
第四紀堆積岩	21	5.4	20.7	0.26

・土石流の発生履歴

土石流は繰り返して発生することが知られており、災害記録調査や聞き取り調査によって発生履歴を把握することが重要である。また、土石流堆積物の末端部の緩傾斜地は沖積錐と呼ばれ、一般的には崖錐よりも緩傾斜を、扇状地よりも急傾斜を示し、沖積錐の分布から過去の土石流の発生状況を推定できる（図 3.2.29）。土石流の発生間隔は様々であり、土石流の発生履歴に関しては、聞き取り調査等とともに地形判読による履歴調査の実施が望ましい。

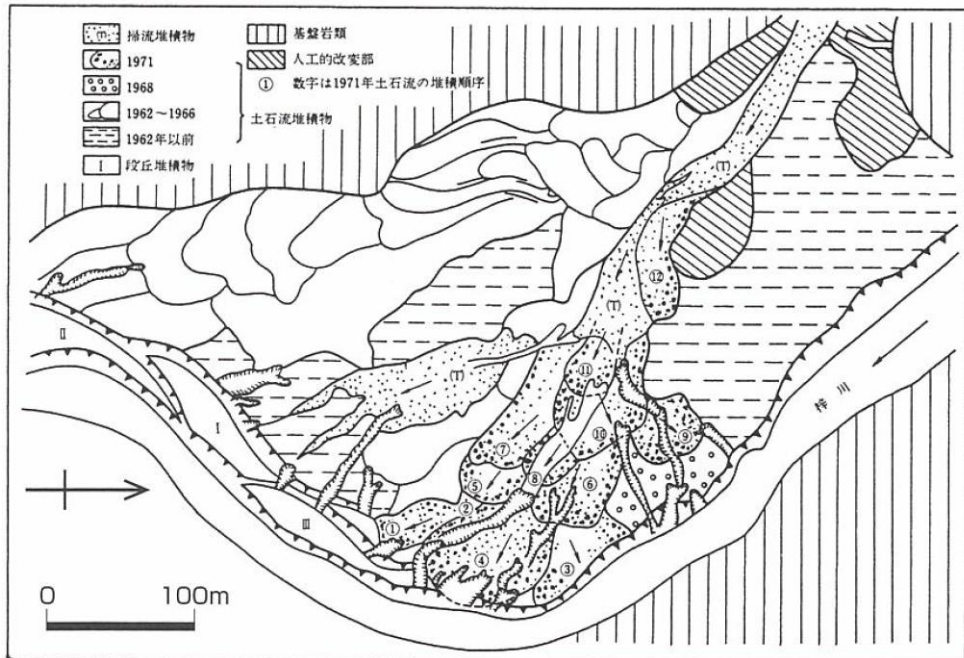


図 3.2.29 地形判読による土石流発生履歴<sup>9)</sup>

## b. 微地形解析

土石流の規模や時期の推定においては、レーザプロファイラデータを活用した微地形解析と、沖積錐・崖錐・扇状地等に着目した地形判読が有効である。

## c. 溪流調査

土石流の危険性が懸念された溪流について、下記の溪流現況調査を実施して溪流の現況を把握し、後続調査の必要性を判断する。土石流は数10年～数100年間隔で繰り返し発生している場合が多く、溪流現況調査によって過去の土石流の土砂構成や流出範囲を捉えることが重要である。

- ・ 範囲：土石流の発生～流下が想定される範囲
- ・ 調査項目：露岩箇所、溪岸部や谷頭の崩壊地形の有無、土砂及び巨礫の堆積状況（土石流堆積物と掃流堆積物を区分）、平水時の流路、既存砂防施設の状況

なお、後続調査内容に関しては下記が参考となる。

- ・ 河川砂防技術基準調査編、国土交通省水管理・国土保全局、2014年

## (3) 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理

（ルートマップ、地質平面図、地質断面図、溪床断面図、崩壊地分布図、既設対策工状況等）

### 3.2.8 空洞・陥没

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

- ①掘削中に、支持層以浅に見逃していた空洞が出現、処理等で手戻り
- ②支持層以深に空洞があり、施工後に基礎が沈下
- ③空洞充填により、地下水障害（水脈枯渇・水質汚濁）

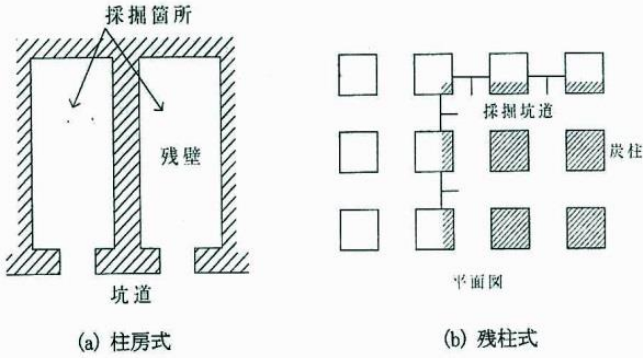


図 3.2.30 坑道の型式（平面）（亜炭坑の例）<sup>2)</sup>

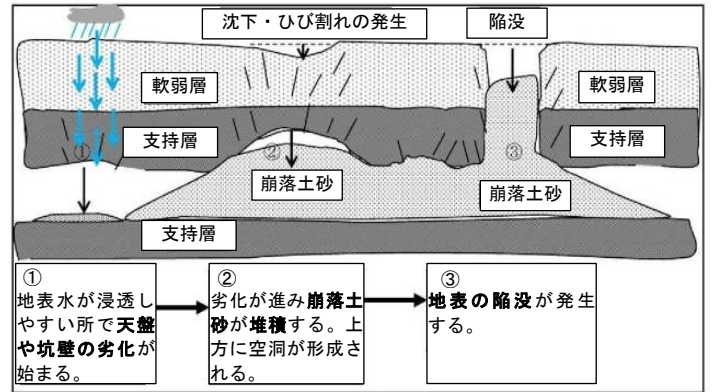


図 3.2.31 坑道陥没の進行過程（亜炭坑の例）<sup>3)</sup>

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① 注意すべき地形地質への対応方法

空洞や陥没地形が構造物の基礎や周辺に存在する場合には、空洞にはモルタルや砂・粘土による埋戻し(充填)、緩み部分にはグラウトによる補強を行うことなどが考えられる。

##### ② トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

空洞は、石炭・鉱物資源、および石材採取の坑道跡(亜炭・石炭・磨き砂・大谷石等)のほか、防空壕、天然の空洞(鍾乳洞等)などがある。

鉱山の空洞は採掘記録や炭層等の地質構造から分布を推定する。鍾乳洞は特定の標高に発達する傾向があり、過去の地形の痕跡(段丘など)を参考とする。得られた空洞の分布深さや広がりをもとに、空洞と構造物の関係を三次元的に検討する。人工的な空洞は資料や聞き込みが主要な情報源となる。

表 3.2.8 空洞・陥没地形の調査項目

調査段階		調査項目	目的	備考	
予備調査	詳細調査				
○	△	資料調査	鉱山資料	経産省保安監督部資料、聞き込み、土地質図等	
			災害資料	災害履歴	市町村史、自治体資料
			旧地形	地形の変遷	旧地形図、空中写真
○	○	地表踏査	地質分布	予備調査1/5,000	
			変状の有無	本調査1/500	
○	○	ボーリング調査	地質情報	ボアホールカメラ	
			地盤の力学情報	標準貫入試験、孔内載荷試験	
			地下水情報	地下水分布、流向	
○	○	物理探査	弾性波探査	地盤の速度層構成	屈折法、反射法
			電気探査	地盤の比抵抗分布	地盤の構成物、地下水分布
			地下電磁波探査	空洞検出	レーダーによる空洞分布
	○	物理検層	空洞カメラ・レーザーレーダー測距	空洞の目視、測量	空洞の拡がりの方向
○	○	室内試験	岩石試験	岩石の基本的性質	物理試験、一軸圧縮試験、三軸試験、引張強度試験、弾性波伝播速度測定
	△	数値解析	FEM解析	影響度の把握	

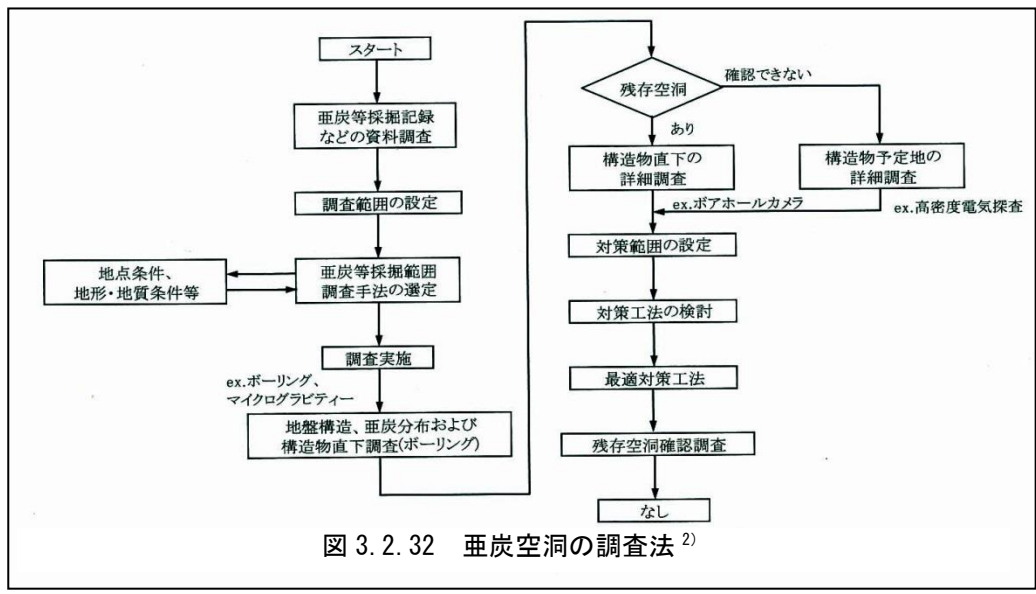


図 3. 2. 32 亜炭空洞の調査法<sup>2)</sup>

**b. ボーリング調査**

基礎型式を考慮し、調査位置は平面的には基礎の四隅、少なくとも想定最深部を含む2か所を目安とする。掘進長は、少なくとも1本は、直接基礎の場合は支持層以深5mまで、杭・深礎基礎では根入れ深度+5mまでを目安とする。

**c. 地下水調査**

ボーリング調査で支持層より上位に地下水(孔内水)が存在することがわかった場合、地下水障害の有無を把握するため、地盤の透水性(透水試験あるいは湧水圧試験)を把握し、必要により地下水の流向を把握する。流向試験は単孔式のほか複数孔のトレーサー試験がある。

**d. 物理検層**

ボーリングで空洞を確認した場合には空洞カメラで内部の観察を行い、レーザーレーダや音響測深探査等により空洞の形状や大きさの測定を行う。

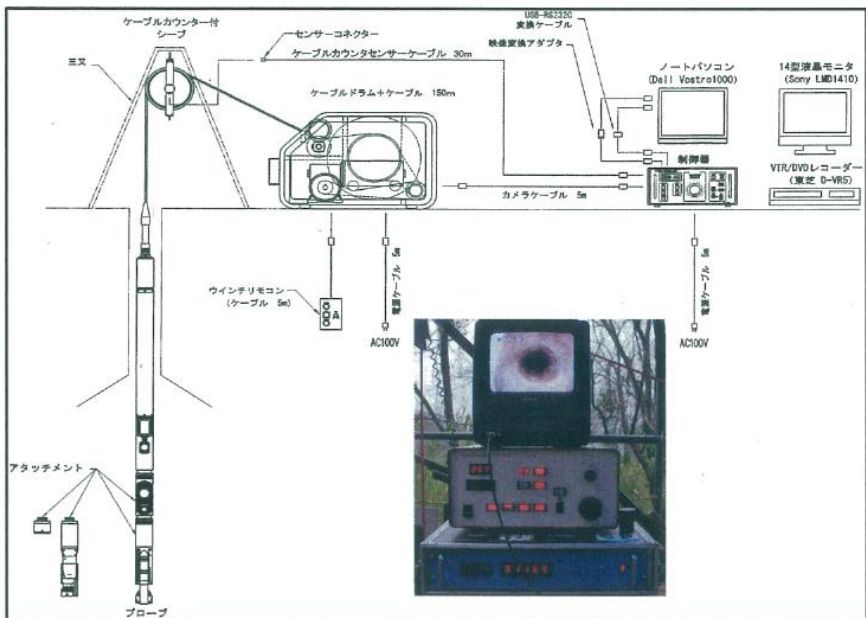


図 3. 2. 33 ボーリング孔を利用した空洞内カメラシステム概要<sup>2)</sup>

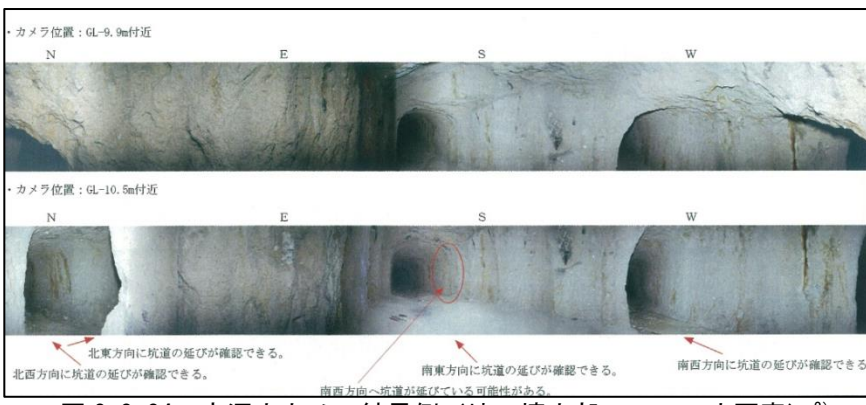


図 3. 2. 34 空洞内カメラ結果例 (地下壕内部のステレオ写真)<sup>2)</sup>

e. 岩石試験

空洞上盤のゆるみ程度を把握し、数値解析の基礎資料とするため、必要に応じて岩石の物理試験(密度ほか)、一軸圧縮強度試験(圧縮強度・換算圧裂強度)、三軸圧縮強度試験(せん断強度)を実施する。

③ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理 (ボーリング柱状図、地質平面図、地質断面図、原位置試験結果)
- ・ 縦断・横断方向の地質断面図より支持層の三次元的な分布を把握し、わかりやすい表現図(ブロックダイヤグラム、透視図等)を作成する。

・ 空洞周辺のゆるみは、地盤のせん断強度によって影響範囲が規制され、これが地表にまで到達しない場合には陥没は発生しないといえる。空洞の安定性を検討するためには、FEM等による数値解析を行うこともあり、設計に用いる地質区分(岩級区分)図とこれらの地盤定数の整理を行う。

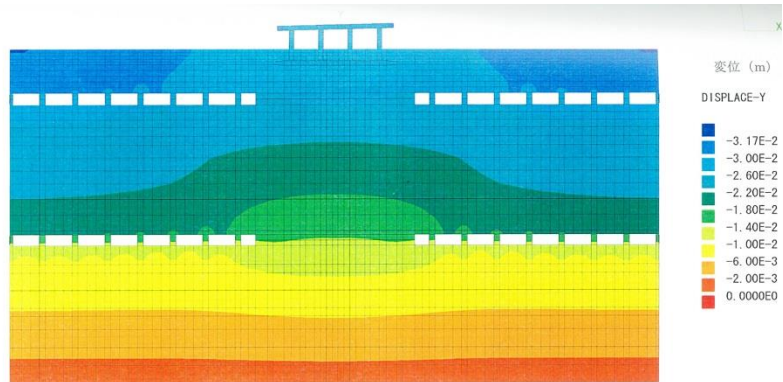


図 3. 2. 35 空洞のある地盤に建設した高架橋 FEM 解析 (変位解析) の例

- ・ 地盤リスクの評価(構造物との位置関係、対策を要する範囲)
- ・ 施工による環境リスク

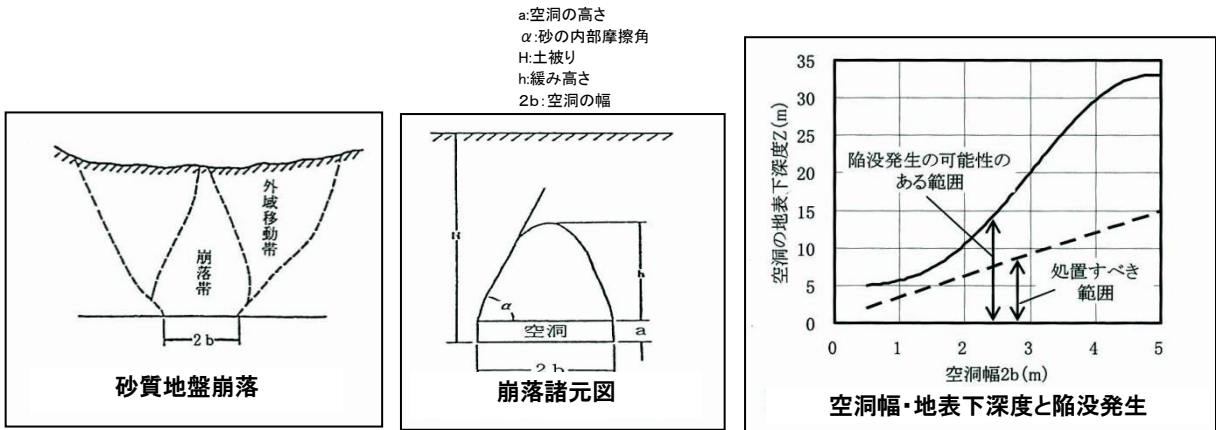


図 3. 2. 36 空洞周辺のゆるみと陥没の発生する深度の説明図<sup>2)</sup>

### 3. 2. 9 火山地帯

#### (1) 設計、施工及び維持管理上の考えられるトラブル例

- ①掘削中の火山性有毒ガス（H<sub>2</sub>S、CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>等）の発生や、高温熱水の噴出により、作業員の安全性に支障をきたした。
- ②施工後の火山性ガスや熱水の成分により、構造物が腐食・劣化を生じた。

#### (2) トラブルを防止するためのガイドライン

##### ① 注意すべき地形地質への対応方法

安全性確保や腐食・劣化対策のため、高温蒸気、有毒ガスを遮断する薬液注入工、防食材工法、増厚工法、地盤冷却工法、大型換気設備の設置、無人化施工等の措置を講ずることなどが考えられる。

##### ② トラブルを防止するための地盤調査のガイドライン

###### a. 資料調査、現地踏査の着目点

既往地質図では、火山、温泉、熱水変質帯等の記載について確認する。また、火山や熱水分布に関する各種文献も参考とする。リニアメントや断層と熱水等噴出地との相関がある場合もあるので、空中写真等での地形判読を実施することが望ましい。

現地踏査では、地質分布や構造のほか、熱水、噴気、熱水性鉱床、熱水性変質鉱物等の有無にも着目し、必要に応じて地表に噴出しているガスを採取し分析することも有効である。最近では広い範囲を調査する必要がある場合に、無人航空機を利用した地表ガス計測が行われることがある。

###### b. ボーリング調査

ボーリング調査は火山性有毒ガス等を確認する有効な手法であるが、対象範囲を網羅する調査配置計画で実施する必要がある。

孔内でのガス調査はホース等により吸引し、ガス成分分析等を行う。地下水に満たされたボーリング孔であれば、地下水や気泡を採取し、分析することもある。

###### c. 物理探査・物理検層

必要に応じて、電気探査により、火山性ガスや熱水分布域を想定する。また、地温探査、ボーリング

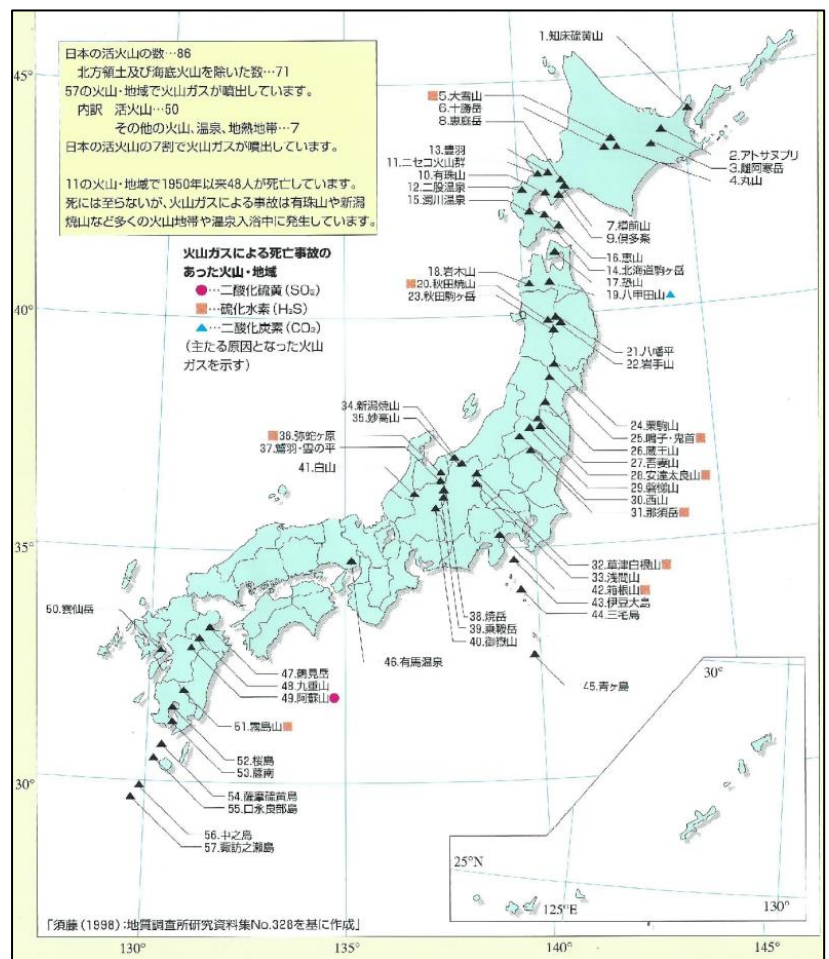


図 3. 2. 37 火山ガスの噴出している火山地域<sup>4)</sup>

孔を利用した地温検層、赤外線カメラ等により、高温地熱分布を想定することも有効な方法である。

d. 室内試験

掘削土処理計画のため、必要に応じて自然由来重金属に関する水質分析、溶出試験等を行う。

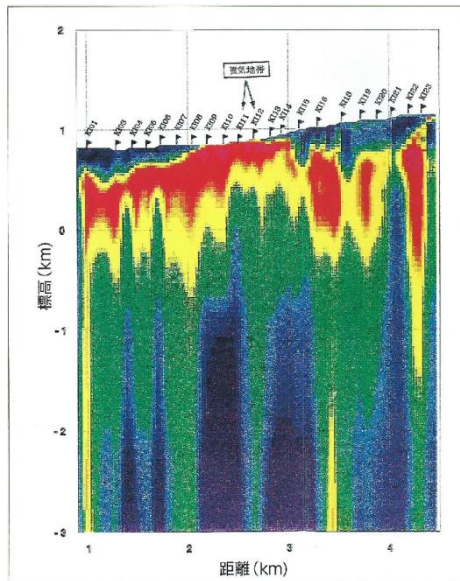


図 3.2.38 電気探査結果例<sup>4)</sup>

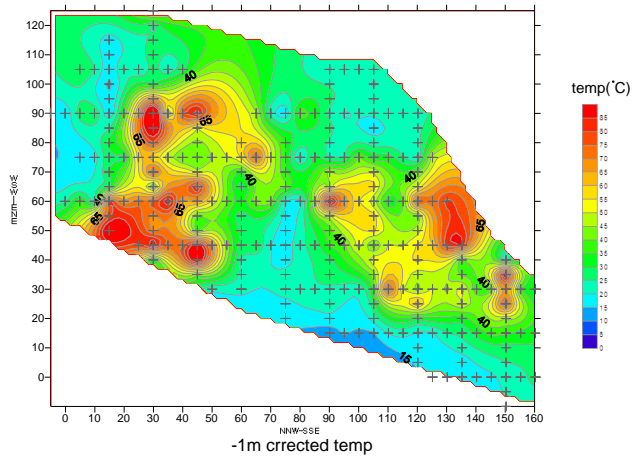


図 3.2.39 地温探査結果例

表 3.2.4 火山地帯の調査項目

調査段階		調査項目	目的	備考	
予備調査	詳細調査				
○	△	資料調査	地形・地質	5万分1地質図、2.5万分1地形図(新旧)、空中写真、災害履歴 火山防災マップ	
○	○	地表踏査	地質分布、微地形	予備調査1/5,000 本調査1/500	
○	○	ボーリング調査	地盤の力学情報	標準貫入試験、孔内载荷試験	
			火山ガス成分	地中ガス調査	
△	○	物理検層	地温検層	熱水、変質の平面分布	
○	△	物理探査	電気探査		地盤の比抵抗分布
			地温探査 赤外線カメラ計測		地盤の地温分布
	○	室内試験	含有量・溶出量試験・全含有量試験	自然由来重金属の量	

③ 設計、施工に必要な地盤情報の整理

- ・ 調査結果の整理 (ボーリング柱状図、地質平面図、地質断面図、原位置試験結果)
- ・ 必要に応じて、三次元的な分布を把握し、わかりやすい表現図(三次元地質図、ブロックダイアグラム等)を作成する。
- ・ 地盤リスクの評価(構造物との位置関係、対策を要する範囲)
- ・ 設計に用いる地盤定数の整理
- ・ 施工による環境リスク



## 参考文献

- 1)建設技術者のための地形図入門 第2巻低地；鈴木隆介、1998年4月、古今書院
- 2)施設整備・管理のための天然ガス対策ガイドブック 営繕工事における天然ガス対応のための関係官公庁連絡会議編；営繕工事における天然ガス対応のための関係官公庁連絡会議、2007年3月、国土交通省関東地方整備局東京第二営繕事務所
- 3)東大出版会：新編 日本の活断層、1991年
- 4)日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定化工指針、2009年
- 5)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年
- 6)日本応用地質学会：斜面地質学、1999年
- 7)土木研究所：地すべり防止技術指針及び同解説、2008年
- 8)地盤工学会：地盤工学ハンドブック、1999年
- 9)日本応用地質学会：山地の地形工学、2000年
- 10) 充填技術センター：新版 空洞充填調査施工マニュアル、2010年
- 11) 充填技術センター：<http://www.juten-tc.com/>
- 12) 科学技術庁：平成9年度「火山ガス災害に関する緊急研究」成果

## 4. 今後の課題

本章では、注意すべき地形地質に関する調査技術や調査手法のうち、現在の知見では十分明らかでない点について今後の課題として整理した。

### 4.1 超軟弱地盤での孔内水平載荷試験（プレッシャーメータ試験）

孔内水平載荷試験方法は、ボーリング孔において孔壁面を一様な圧力で載荷して、地盤の水平方向の変形特性を求めるためによく用いられており、1995年に地盤工学会で基準化された。その当時は、あらかじめ掘削された試験孔に測定管を挿入するというプレボーリング形式であった。その後、2003年の改定の際に、自己掘削型のセルフボーリング形式についても加えられ、2012年には、セルフボーリング型の孔内水平載荷試験について、孔壁の乱れと応力解放による緩みの影響を最小限にした理想的な条件下での物性値評価型の試験として再区分されてきている。

孔内水平載荷試験手順は、ボーリングによって試験孔を削孔した直後に行うものであるが、プレボーリング型では、一度、孔内より削孔機を回収してから測定管を新たに挿入するために、一旦、試験孔が裸孔状態となり応力解放により孔壁が緩みやすい。一方、セルフボーリング型の試験機は測定管の先端に掘削ビットがあるため、測定管を新たに挿入・設置する必要がなく、常に孔壁と試験器のクリアランスが大きくなるように削孔されるため、孔壁の乱れが非常に小さい利点を有する。

現在、セルフボーリング型の試験は、プレボーリング型に比べて測定管が高価であることや、リフトオフ時の反力が必要となる等の理由により、一般的な普及が遅れている。そのために、仕様を限定されていない場合には、プレボーリング型の試験器を利用していることがほとんどであり、セルフボーリング型の試験器を実際に利用されている場面は限られている。

#### <今後の課題>

泥水管理により孔壁の崩壊やはらみ出しを抑制しきれない様な非常に軟質な粘性土や緩い砂質土などの自立性が特に低い土質では、削孔後、新たに測定管を挿入するプレボーリング型では孔壁(試験載荷面)が乱された状態となりやすく、試験結果の信頼性が劣る。今後は、セルフボーリング型(SB)の試験機の普及に努めるとともに、プレボーリング型(PB)との比較実験や、室内土質試験結果との比較を行い、それぞれの適用範囲や試験値の評価について検討および評価を進めることが必要である。

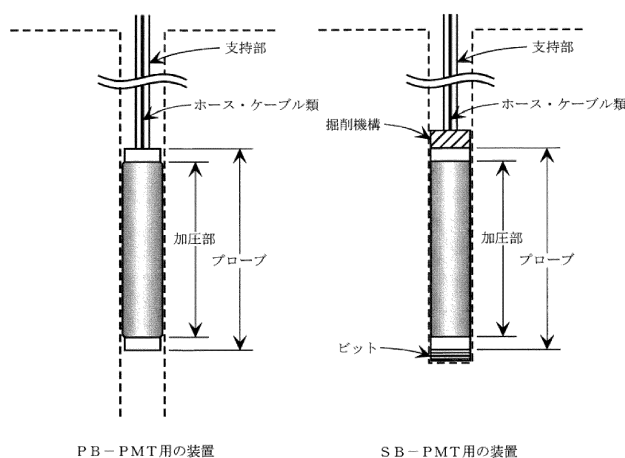


図 4.1.1 孔内水平載荷試験装置の分類<sup>1)</sup>

## 4.2 設計・施工上問題となりやすい地質

花崗岩・砂岩・石灰岩および泥岩などの岩盤は、降雨や地下水等による乾湿繰返しや圧力変化などの物理的および酸化等の化学的な風化作用によって脆くなりやすい特徴を有している。これらの岩盤については層理や節理の存在、風化の程度等、基礎部だけでなく、岩盤全体の性状を把握しておくことが必要となる。以下に各岩盤の特徴を簡単に示す。

### (1) 花崗岩

落石や崩壊が多い岩盤であり、新鮮で堅硬な岩盤から砂状を呈するまさらまで風化の段階によって構成が変化しており、まさ部分の浸食や乾燥・凍結等による剥離・落石に注意しなければならない。

### (2) 安山岩，玄武岩

柱状または板状の節理が発達し、切土のり面の安定を損ないやすい。また、風化すると粘土化するため、土工によって攪乱され土砂化すると著しく性質が悪化することが多い。

### (3) 火山灰，凝灰岩

関東ロームやシラス等の火山灰は、土工によって乱されると著しく強度が低下する。また乾裂による割れ目や流水による浸食等によって安定性を損なうことがある。凝灰質岩石は表層剥離しやすく、また、膨潤性粘土を含有するため、地表面に露出すると応力解放や浸水による膨潤化により粘土化し強度低下が生じることがある。

### (4) 泥岩，砂岩泥岩互層

固結度が低く、雨水や流水によって浸食されやすく、土工によって急速に細粒化しやすい。砂岩泥岩のように硬軟互層状を呈する場合には軟岩部分の風化が進行し、硬岩部を伴う大きな崩落が発生することがある。

### (5) 粘板岩，片岩

層理や節理・片理が発達しており、この岩目からすべりが発生する可能性がある。特に断層や破碎帯の周辺では細片状に破碎されて風化が進み粘土状になっている場合がある。また、片岩などは異方性が高く、扁平に割れやすい性質を有している。

### (6) 蛇紋岩，黒緑色岩石等

給水膨張しやすく、切土による応力解放や浸水によって強度低下したり、擁壁などでは高い土圧によって破壊することがある。

現状では、地形や岩種の区別といった基本事項に加えて、コアボーリングによる風化の速度や層理等の走向傾斜や発達を確認することや、周辺の踏査によって地層の走行・傾斜・風化状況・岩塊の大きさや量といった部分に着目している。さらに、亀裂の存在や風化等の劣化が進む地盤の試験として、現地における弾性波探査・密度検層などが風化の進行具合の判断材料として活用している。その他、原地盤

の弾性波速度とボーリングコアによる超音波伝播速度から亀裂係数(=地山速度/岩盤速度)による岩盤の良否判断や、スレーキング試験、乾湿繰返し試験、吸水膨張試験、凍結融解試験などが風化に対する耐久性を把握する試験として利用されている。

#### ＜今後の課題＞

現在は、多くの試験結果や情報から経験的な知見を持って総合的に地質状況の判断が行われている。しかし、近年は、局所豪雨や土地利用の改変等、これまでの知見だけでは判断できなかった崩落等の災害事例も発生しており、今後は、これらを含めて経験を定量的に評価する手法などの検討も必要と考える。

なお、例えば、新たな計画地の地盤を評価する上で、近隣の同様な地盤にのり面が存在している場合には、風化帯の厚さと切土後の時間経過の関係が判るため、計画地での今後の風化の進行を推測する上で非常に有効な情報となる。同様に、実際の災害事例を参考とすることも非常に有効となる。

したがって、今後は、既往資料(調査記録・工事記録・災害事例等)の開示を積極的に開示して、利活用することが重要と考えられ、これらの情報を活用した岩種と風化等の問題点の関係について定量的な検討を進めること、また、長期的な保守を考慮した対策工や管理手法についても発展を期待するものである。

### 4.3 地山と崩積土

崩積土とは、急傾斜地などから剥離した岩片等が斜面下方に移動して堆積した崖錐をいい、一般的には角礫混りの淘汰の悪い堆積物を指す。また、地すべり土塊などの滑動による二次堆積物を含めて呼ぶこともある。したがって崩積土は、不均質で未固結な土塊から構成されるため、ルーズであり、透水性が高い場合が多いが、地表面からの観察ではその範囲や深さを明らかにすることは困難であり、切土の際の安定等を検討する上で地山と崩積土を正しく区分することが重要である。

崩積土は、崩落や表層崩壊、地すべり等によって形成されるために、地形的には斜面裾部の傾斜の比較的緩い斜面を形成していることが多く、このような地形を示す場所に注意しなければならない。

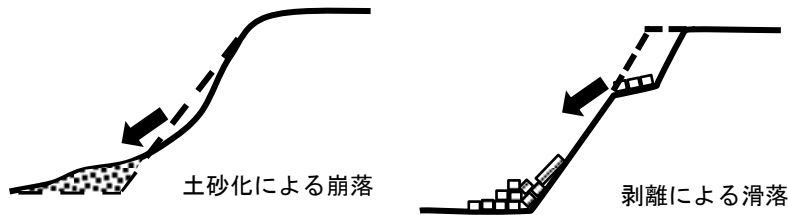


図 4.3.1 崩積土の堆積模式例

崩積土と地山の境界を確認する方法として、コアボーリングにより採取されたコアを観察して未固結土や旧地表面の有機物等の混入状況の確認による区分が行われ、さらに、崩積土の範囲や層厚確認としては、基本的にルーズであることから簡易貫入試験などのサウンディングを多数実施することが多い。

崩積土は、一般的には不均質であり、混在する礫は礫径や形状とも不均一であることが多い。そのため、ボーリング調査では、標準貫入試験の  $N$  値などが深度方向にばらつき、剥離した岩芯を打撃することによって極端に大きな値を示すことがある。また、サウンディングでは貫入不能となる場合が多く、崩積土内の岩片を着岩(地山)と間違えることの無い様に、多数のボーリングやサウンディング試験により着岩深度の凹凸を確認すること一般的であった。

#### <今後の課題>

崩積土の堆積が想定される場所では、移動した崩積土塊中の岩塊(転石・岩芯)を岩盤の出現深度と間違えることの無いようにしなければならない。

崩積土内の岩片と地山の区分ができる方法として、サウンディングの貫入能力の向上や、サウンディングによる土試料の採取による土質観察、簡易ボアホールカメラによる目視確認といった調査箇所数の増加だけでなく、目視確認方法の確立や精度を上げる方法と、弾性波探査や電気探査等の物理探査といった短時間に広範囲を網羅する調査手法の活用とその作業性および解析結果の精度の向上について、さらに開発・検討が必要である。

#### 4.4 物理探査の活用

おぼれ谷や崩積土などの有無により支持層が傾斜していると考えられる場所では、杭長不足などのトラブルが発生することから、複数のボーリングを行い支持層の深さを確実に把握することが問題点としてあげられる。

基盤出現深度が明確に傾斜していると判断できない地形や費用・時間的な制約がある場合には、事前に複数本の調査ボーリングを計画することは難しく、複数のボーリング実施の可否判断、もしくは、支持層の傾斜をボーリングの補完として確認する目的での物理探査の利用について確立されたものはない。

これまでの活用としては、広範囲および概略調査では、弾性波探査・電気探査が利用され、狭範囲および詳細調査では、浅層反射探査・表面波探査・地中レーダを用いることが多い。現在では、測定機器や解析手法ともに開発が進んでおり、その中で深度や精度の制約を考慮して手法を選択している。

表 4.4.1 に主な物理探査の方法と調査の主要着眼点についてまとめる。

表 4.4.1 主な物理探査方法

物理探査の方法		弾性波探査	浅層反射法	表面波探査	微動アレイ	電気探査	地中レーダ
調査の主要着眼点							
土質・岩質		○		○		△	
地質構造	地層構成(互層等) 断層・破碎帯・受け盤・流れ盤等	○		○		△	
	割れ目・亀裂の分布や性状	△		△			△
	風化や変質の程度	○				△	
	表土や崖錐・崩積土等の厚さ	○		○		△	△
地山の強度		△		△			
地下水・湧水の状況						○	
測定原理・測定値		地表面で起振し、速度や密度の異なる境界で反射した弾性波速度を測定		地表面で起振し、発生した表面波速度を測定		電極より電流を通電し、比抵抗を測定	電磁波を地中に放射して電磁波形を測定
主な対象		トンネル・ダム・法面等 主な構造物基礎		構造物基礎 空洞 液状化地盤 堤防		帯水層 断層破碎帯 地すべり	埋設物 空洞 遺跡
適用上の制約		速度コントラストが小さいと境界の把握が困難 測線は平坦地が望ましい(補正可能)		起振力に制約があり、例えば300kgの起振機でも20~30m程度が限界。		電動機や送電線等はノイズ源となりやすい	鉄筋等の金属体などの異物があるとその下位は困難
一般的な探査深度		数m~数100m		数m~数10m		数m~数100m	数m~数10m
精度		低い~中位		中位~高い		低い~中位	中位~高い
作業性		大がかり~普通		普通~簡易		大がかり~普通	簡易

○よく用いられる手法 △補助的に用いられる手法

#### <今後の課題>

探査手法にはそれぞれ測定する物理量や測定間隔によって、主な適用分野、探査深度、探査精度および適用地点(地下水や送電線の有無など)が異なる。したがって概略的な支持層分布を目的とするのか、局所的な地層の傾斜を詳細に把握するのかによって探査手法が異なってくる。今後は、経済的および作業効率が高く、測定深度や精度の高い探査手法の開発が望まれる。

#### 4.5 支持層とみなせる岩の条件や岩の亀裂・風化程度に応じた適切な調査法等

##### (1) 土砂と岩盤の形成過程の相違が岩盤の性状に与える影響

土砂（未固結層）は海進、海退により、堆積したものである。岩盤は、大きく続成作用により形成された堆積岩、火山作用により形成された火成岩に区分され、それらの風化度合に応じて岩級区分が設定されている。

土砂は、構造物を施工中、供用開始後にその性状が大きく変化することは少ない。一方、岩盤は「乾湿繰返しによるスレーキング」、「応力解放、湿潤による膨潤」、「酸素接触（空気、地下水）による酸化」により、施工中、供用開始後にその性状が変化する。

この性状の変化の程度、速度は構造物の施工方法、施工後の状態により変化する。

したがって、岩盤に杭を設置する場合の支持力を議論するうえでは、どのような施工方法を選択するか、施工後の状況はどうなるのか等、岩盤の置かれている環境がどのように変化するか想定する必要がある。表 4.5.1 に土砂、岩盤の施工中・施工後の性状変化の留意点を整理した。

表 4.5.1 砂、岩盤の施工中・後の性状変化の留意点

支持層の地盤状況	土砂(未固結層)		岩盤		
			軟岩		硬岩
	砂質土	れき質土	D 級	CL 級	CM 以上
				強風化	亀裂+風化
施工中の課題	被圧水⇒ボイリング 壁面崩壊⇒杭径小		乾湿繰返しによるスレーキング⇒バラバラ、せん断強度低下⇒沈下 応力解放、湿潤による膨潤⇒せん断強度低下⇒沈下 酸素接触(空気、地下水)による酸化⇒土砂化		
施工後の課題	特になし		風化の進行		

##### (2) D 級岩盤の支持力を従来の土砂と同様に N 値で評価できるか

D 級岩盤は、土砂と異なり、施工中・施工後にその性状が変化する。このため、従来の施工中・施工後の性状変化が少ない土砂を対象としたものとは別に支持力式を構築する必要がある。

##### (3) 岩盤の支持力式を構築するうえでの留意点

###### 【施工中・施工後の性状変化に関して】

杭の施工方法、岩種、硬軟（主に風化、亀裂の程度）に応じた施工中、施工後の

- ・乾湿繰返しによるスレーキングによるせん断強度低下、沈下
- ・応力解放、湿潤による膨潤によるせん断強度、沈下
- ・酸素接触（空気、地下水）による酸化に伴う土砂化

について評価を行う。

###### 【支持力式を算定するうえでの指標値について】

現在、土砂地盤では N 値、一軸圧縮強度（粘着力 C）を指標値として、支持層としての評価、支持力を算定している。

岩盤を支持層とする評価および支持力を算定する場合の指標値を決める必要がある。そのためには、

従来の土砂とことなり，表 4.5.2 に示す岩盤の調査仕様より岩盤用の指標値を選定する必要がある。

表 4.5.2 岩盤を支持層とする場合の調査仕様

試験項目	土砂(従来)	岩盤			得られる情報(岩盤)		
		軟岩		硬岩			
		D級	CL級	CM級以上			
ボーリング	土砂ボーリング(ノンコア)	岩盤ボーリング(コアボーリング)			岩種、岩盤の状態(風化、亀裂)、RQD		
サンプリング	○	可能な限りコア採取					
標準貫入試験	1m間隔		コアボーリング(N値が可能な場合は実施)		N値		
室内試験	物理試験	土砂部	土粒子の密度	○	/	土粒子の密度	
			含水比	○		含水状態	
			粒度	○		粘性土と砂質土の区分	
			液性塑性限界	○		液性限界、塑性限界、塑性指数	
			湿潤密度	○		単位体積重量	
	岩盤部	吸水率		○		岩の吸水状態	
		有効間隙率		○		間隙の状態	
		湿潤密度		○		単位体積重量	
		スレーキング試験		○		スレーキング率	
	力学試験	土砂部	一軸圧縮	粘土		/	粘着力(c)
			三軸圧縮	粘性土、砂質土			
		岩盤部	詳細法	多段階三軸			○
簡易法			一軸圧縮	○			
			超音波伝搬	○			
地下水調査	現場透水試験	○		安定水位、透水係数			
	湧水圧試験		○				
載荷試験	孔内水平載荷試験	○			変形係数		
	孔内せん断摩擦試験	○(地盤条件で不可の場合あり)		/	亀裂を考慮したせん断強度(c、φ)		
物理検層	速度検層		○(力学試験の簡易法の場合)		P波速度		
	電気検層		○		滞水層の深度		

指標値として考えられる項目を以下に示す。

- ・ 岩級区分 (DL～A 級)：従来の岩級区分は，ダムなどを中心に設定されたものであり，「杭基礎に適用する岩盤用の岩級区分」について考察する必要がある。
- ・ 岩種：岩種によりせん断強度の低下，沈下等の度合いが異なる（例えば堆積岩と火成岩など）。
- ・ RQD（コア 1m 当りの 10cm 以上コアの割合）：海外の岩盤用の支持力式で利用されているものもある。
- ・ スレーキング率：施工中・施工後の風化の進行度合いを表す指標に使う。
- ・ 亀裂を考慮したせん断強度 (c、φ)：せん断強度 (c、φ) に基づいた支持力式を算定する。
- ・ N値



#### 4.6 砂礫層の調査方法

砂礫層は、一般的に $N$ 値が高く、支持層として期待されることが多い。しかし、砂礫層は河川や土石流などの運搬作用によって堆積されることが多く、河川流路の変遷等によって平面的および深度方向に層相(礫径や混入する量)が変化する。そのため、得られた $N$ 値は、礫を打撃して反発したような値や、礫分の少ない部分を打撃した小さな値等のばらつきが粘性土層や砂質土層と比較して大きいことから、砂礫層を一連の地層として土質定数の設定を行う際には留意すべき点が多い。

砂礫層の土質定数の設定は、基本的に $\phi$ 材として考えられ、設計時には粘着力 $c$ を見込んでいないことが多い。道路橋示方書・同解説では、せん断抵抗角 $\phi$ は土被り圧と $N$ 値の関係からの推定式を用いて各深度に対応した $\phi$ を算出することとなっている。礫層全体としてのせん断抵抗角 $\phi$ は、得られた深度ごとの $\phi$ を $N$ 値のばらつきを考慮して、特異値を除外した平均値や平均値-標準偏差/2と安全側を考慮した定数設定を行っていることが多い。

一方で、室内土質試験による場合には、供試体ごとの層相のばらつきという点のほかに、通常のサンプラーでは礫の供回りやマトリックス(基質)の流出など、原地盤のまま採取することが困難であるという問題点を有する。現状では、表層に近い部分でのブロックサンプリングや現場密度試験結果を利用して試験室で供試体を再構成した三軸圧縮試験結果を用いていることが多い。

通常、力学試験に用いる供試体の直径は、試料の最大粒径の20倍以上(粒径幅の広い場合は5倍程度まで許容)であることから、 $\phi 10\text{mm}$ を超えるような礫を含んだ砂礫の場合は、三軸圧縮試験自体も中型～大型といった特殊試験となることも利用が困難となっている理由の一つである。

##### <今後の課題>

これまで、砂礫層の乱さない試料を採取し、土質試験を行うため、凍結サンプリングやブロックサンプリング、GPサンプリング、ラバル型大口径サンプリングといった特殊なサンプリング手法や大型の土質試験装置が開発されてきた。しかし、採取にかかる時間や費用が多大であることから、原子力発電所などの重要構造物を除いてほとんど実施されていないのが現状である。

近年では、礫分を除外した粒度調整試料や現場密度に調整した供試体との比較研究などの他視点から礫地盤の評価・検討が行われている。

また、原位置せん断摩擦試験(SBIFT)や三成分コーン貫入試験のようにボーリング孔を利用した原位置でせん断強度を求める試験の砂礫層への適用範囲の拡大などについて、今後さらに開発・検討が期待されている。

なお、標準貫入試験の $N$ 値については、JIS A 1219-2013より礫質土及び軟岩では標準のシューの代わりに先端角 $60^\circ$ のソリットコーンを使うことが可能(記載にはSPT(C)と表示)となったため、今後、シューとソリットコーンの違いについても留意が必要である(設計に用いる $N$ 値を得る目的の場合はこれまでと同様にシューを義務付け)。

#### 4.7 液状化の検討および調査方法

液状化の対象層としては、道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)によれば、「沖積層の土層で次の3つの条件すべてに該当する土層」とされ、液状化の判定には、 $N$ 値と細粒分含有率  $F_c$ 、平均粒度  $D_{50}$  が用いられており、得られた液状化に対する抵抗率  $F_L$  から液状化の可能性および土質定数の低減させる土層の取り扱いが示されている。

- ①地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ地表面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層
- ②細粒分含有率  $F_c$  が 35%以下の土層または  $F_c$  が 35%を超えても塑性指数  $IP$  が 15 以下の土層
- ③平均粒径  $D_{50}$  が 10mm 以下で、かつ 10%粒径  $D_{10}$  が 1mm 以下である土層

道路橋示方書・同解説による判定では、標準貫入試験によって得られた「乱した試料」を用いた粒度試験による動的せん断強度比  $R$ 、もしくは「乱れの少ない試料」による土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験(以下液状化試験)の液状化強度比  $R_{L20}$  と、地震時せん断応力比  $L$  から抵抗率  $F_L$  を検討している。

##### <今後の課題>

上述した判定方法は、平成 23 年度東北地方太平洋沖地震での事例分析によって実際に発生した地点では発生すると判定されており、平成 24 年改定の際には検討方法の見直しは見送られている。一方で、発生すると判断された地点でも液状化していない地点があった。

現在、液状化の発生には、浚渫等の埋土と自然地盤の違いなどの年代効果などが寄与するものと考えられ、年代による補正については現在検討が進められている。

さらに、平成 23 年度東北地方太平洋沖地震の巨大地震では継続時間が 3 分以上と阪神や中越地震の 7 ~10 以上の長さであったことが観測結果から明らかになっている。「乱さない試料」による土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験(以下液状化試験)の液状化強度比  $R_{L20}$  は繰り返し回数を 20 回と規定したものであり、前述の巨大地震の場合は、地震のエネルギーを過小評価する可能性がある。液状化試験では、繰り返し非排水荷重過程を 200 回としており、液状化強度比  $R_{L100}$  などの想定地震に合わせた液状化強度比  $R$  を利用することが可能であり、検討課題の一つである。

なお、一般的なトリプルチューブサンプリングによって得られた「乱れの少ない試料」では、きわめて乱れが少ないと考えられる凍結サンプリングによって得られた「乱れの少ない試料」に比べて、液状化強度比  $R$  は  $N$  値の小さな砂では大きく、 $N$  値の大きな砂では小さくなるという研究事例もあり、サンプリングの精度向上も検討課題として残されている。

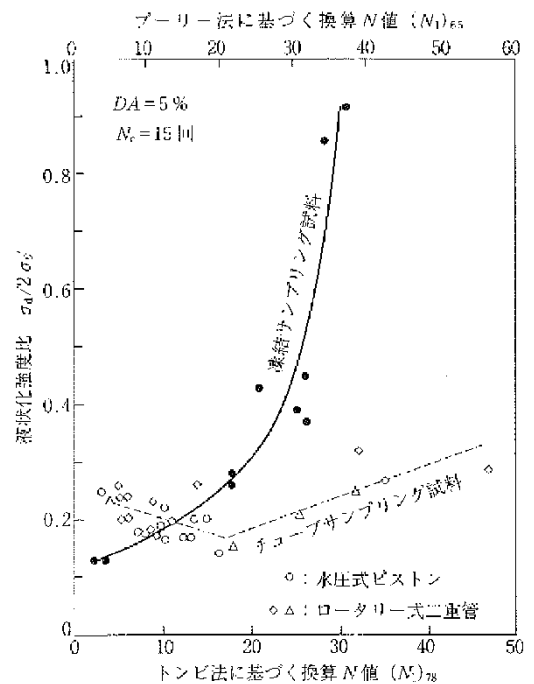


図 4.7.1 凍結サンプリングとトリプルチューブサンプリングにより得られた試料の液状化強度比の比較<sup>3)</sup>

<参考文献>

- 1) (公社)地盤工学会 地盤調査の方法と解説 2013 p.670
- 2) (社)日本道路協会 道路土工 切土工・斜面安定工指針 H21 p.127
- 3) 吉見吉昭：砂の乱さない試料の液状化抵抗～N値～相対密度関係 土と基礎  
Vol. 42, No. 4, PP63～67, 1994

# 資料編

## 資料 1 地盤調査の調査位置及び数量

### 資 1.1 平野部における地盤調査の調査位置及び数量

#### (1) 地盤調査の位置

地盤調査の位置は構造物の大きさや形状によって異なる。例えば、規模の大きい線状構造物であれば、調査地全体の地層構成を把握するための予備調査を行い、予備設計結果を踏まえて、構造物位置における詳細な地層構造と地盤定数を得る目的で行う本調査を実施することが多い。

#### a. 予備調査における調査位置

表 1.1.1 に一般的な条件の下で行われている予備調査の調査間隔の概略の目安を例として示す。予備調査では概略の地層構成を把握することが目的であるが、地形・地質の急変が想定されるような箇所や要注意地形箇所、構造物の設置があらかじめ分かっている場所に調査箇所を配置・追加すると、本調査を効率的に実施できる。

#### b. 本調査

本調査は、構造物の各位置において行うことが原則であり、構造物の中心で 1 本のみのボーリングを行うことが多いが、以下のような場合には、複数のボーリングを必要とする。

- ・ 例えば幅員の広い橋のように構造物が大きな場合には横断方向においても調査地点を配置する。
- ・ 傾斜地や山地等において地層の傾斜があると予測される箇所に構造物を設置する場合には、縦断、横断の必要な方向に調査地点を配置する。
- ・ 例えば埋没谷（小オボレ谷）のように支持層が平坦でない場合には旧地形を調べながら、縦断、横断の必要な方向に調査地点を配置する。

なお、単に支持層の傾斜状況のみを効率的に把握するのであれば、簡易なサウンディングを実施することも有効である。サウンディングは種類によって調査可能深度に差があること、礫があると貫入不能となること等から、地盤条件や現場条件に応じて適切な方法を選択することが必要である。参考のため、表 1.1.7 に代表的なサウンディングの種類と特徴を示す。また、参考として、図 1.1.1、図 1.1.2 に、支持層の傾斜が想定される場合の調査位置の計画例を示す。

表 1.1.1 調査位置の概略の目安

調査段階	対象地形	ボーリング箇所の目安
予備調査	低地	100～200m に一箇所
	台地・丘陵地	50～100m に一箇所
本調査	—	構造物位置

(出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

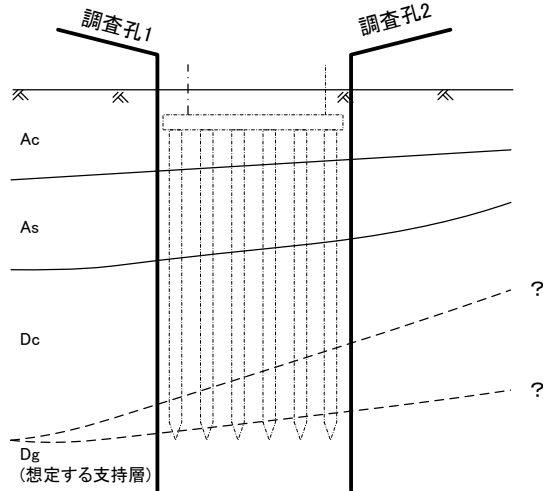


図 1.1.1 支持層の傾斜が想定される場合の調査位置の計画例  
 (出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

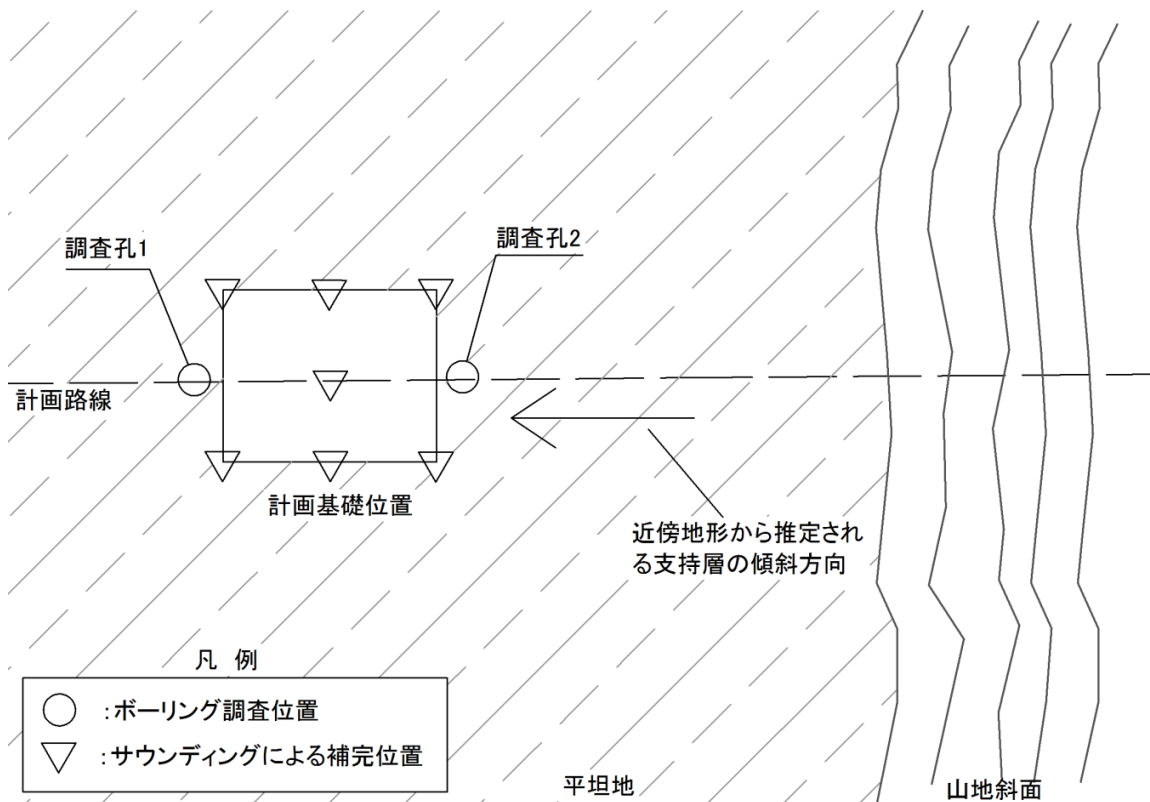


図 1.1.2 想定される支持層傾斜方向と調査位置  
 (出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

## (2) 地盤調査の数量

### a. 掘り止め深度

ボーリングにおける掘り止め深度は調査の目的によってそれぞれ設定しなければならないが、例として構造物の支持層確認を目的とした場合の掘進長の目安を表 1.1.2 に示す。また支持層の目安を表 1.1.3 に示す。なお調査時に想定した支持層によって十分な支持力が得られない場合や、杭先端以深の軟弱層の存在を見落として施工後に十分な支持力を得ることができない場合もあるため、調査段階では支持層を安全側に想定して、掘進長を長めに設定しておくことが重要である。

表 1.1.2 支持層確認後の掘進長の概略の目安

支持層が確認された深さ	確認後の掘進長(m)		
	土砂	岩盤	
		軟岩	硬岩
地表から 5m 未満	10	10	5
地表から 5m 以深	5	5	3

(出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

表 1.1.3 支持層の目安 <sup>1)</sup>より抜粋

地層	支持層の目安	備考
粘性土	N 値 20 以上 (一軸圧縮強度 0.4N/mm <sup>2</sup> 以上)	
砂・砂れき	N 値 30 以上	れきを叩いた過大な N 値に気を付けること。
岩盤	材料としての強度が大きいこと 不連続面やスレーキング等の影響が小さいこと	不連続面やスレーキングの影響について事前に検討を行う必要がある。

※N 値 30 以上の風化岩においても基礎の沈下が発生した事例があり、十分に注意が必要である。

※支持層より下に粘性土層がある場合には圧密沈下の影響を検討する必要がある。

※支持層の層厚が薄くその下に相対的に弱い層又は圧密層がある場合、支持力と沈下について検討を行う必要がある。

## b. 調査の項目と数量

調査の項目・数量は、調査の目的と、設計に必要な地盤定数等を総合的に判断するために必要な数量を検討して決定する。表 1.1.4 に基礎の設計・施工に必要な検討項目と調査方法の関係を示す。また表 1.1.5、表 1.1.6 に、一般的な原位置および室内試験の数量の概略の目安を例として示す。地盤構成が複雑な場合には、より詳細な調査が必要となるため、一般的な地盤よりも調査数量を増やす等の配慮が必要である。以下に、各種調査項目における注意点を示す。

- ・ 孔内水平載荷試験では、杭の水平抵抗に支配的な影響を与える杭頭位置から杭の特性長さ（ $1/B$ ）の範囲で実施し、その範囲内での平均的な変形係数を把握するのが望ましい。なお調査段階では、 $1/B$  の値が定まっていないが、杭頭位置から、概略想定される杭径の 5 倍程度の範囲で 2～3 回の孔内水平載荷試験を実施すると、結果的に  $1/B$  の範囲での平均的な地盤の変形係数を把握することができると思われる。
- ・ 軟弱粘性土層が出現する場合、盛土等のように明らかな圧密沈下が想定される場合以外にも、構造物建設に関わる様々な過程において圧密が発生することが多く、圧密沈下の検討を行う機会が多いため、乱れの少ない試料を採取し、圧密試験を行っておくことが良い。
- ・ 物理的性質を求める試験は、複雑な土を判別・分類するとともに他の試験値、測定値と照合して地層の特性を総合的に評価することにも役立つので、同一性状を示すと判断される層ごとに試験を行うのがよい。また、力学試験を行った試料については、試験結果の解釈を深めるためにも、力学試験 1 試料あたり 1 試料以上の物理特性試験を実施するのがよい。
- ・ 液状化の判定を行うにあたっては、粒度及びコンシステンシーが重要な指標となるため、液状化の可能性が考えられる土層を対象に、標準貫入試験により得られる試料の粒度試験、液性限界試験及び塑性限界試験を 1m 間隔程度ごとに行う必要がある。
- ・ 力学試験のための乱れの少ない試料の採取や原位置試験を行う場合、有用な試験データを得るためには、当該土層の力学特性を代表する箇所をよく検討した上で、試料採取深度や試験の実施深度を設定することが重要である。したがって、地層構成確認のために標準貫入試験を実施するボーリング孔とは別に、乱れの少ない試料の採取あるいは原位置試験を行うためのボーリング孔を設けるのがよい。
- ・ 支持層となる軟岩部・硬岩部での調査結果は、杭先端の支持力の評価、施工方法の選定を行ううえでの重要な資料となる。そのため、軟岩部・硬岩部では可能な限りコアを採取し、観察の結果に基づいて岩種や風化、亀裂、変質等の状態を評価するとともに、採取したコアの一部を用いて物理試験、一軸圧縮試験を行う。また、ボーリング調査の結果のとりまとめの際、土砂部と岩盤部では記録すべき情報に差異があるため、柱状図の様式は土砂部と岩盤部で異なる。したがって、土砂部と軟岩部・硬岩部をまたいでボーリング調査を行う際は、両者を適切に使い分ける必要がある。



表 1.1.4 基礎の設計・施工に際して必要な検討項目と調査手法の関係

調査手法		検討項目 調査項目	地質断面図	支持層の決定	杭工法の選定	先端支持力	周面摩擦力	負の周面摩擦力	水平抵抗	地盤の振動特性	液状化	圧密	側方移動	土圧
ボーリング		地層区分, 地下水位	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○
サウンディング	標準貫入試験	$N$ 値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	動的貫入試験	$N_d$ 値	○	○		○					○			
	静的貫入試験	$q_c$ 値あるいは 半回転 $N_{sw}$	○	○			○	○						○ ○
室内土質試験	物理試験	粒度, 含水比, コンシステンシー, 密度	○			○	○		○	○	○	○	○	○
	力学試験	粘着力, せん断抵抗角, 変形係数			○	○	○	○	○				○	○ ○
	圧密試験	圧縮指数, 圧密係数, 圧密降伏応力		○			○	○				○		
	動的試験	繰返し三軸強度比, 等価せん断剛性率, 履歴減衰率							○	○	○			
孔内水平載荷試験		変形係数							○					○
地下水調査	水位測定	各滞水層の水位, 水圧分布, 被圧の有無			○		○				○	○	○	○
	現場透水試験(砂質土)	透水係数, 間隙水圧			○		○	○				○		○
	間隙水圧測定	間隙水圧			○		○					○		
物理探査	速度検層	P波速度, S波速度								○				
	電気検層	比抵抗分布, 地下水位分布	○		○									

(出典:「杭基礎設計便覧(平成27年度改訂版)」<sup>2)</sup>)

表 1.1.5 予備調査における原位置および室内試験数量の概略の目安

		実 施 頻 度		
		土 砂 部	軟 岩 部	硬 岩 部
サンプリング		・ 軟弱な粘性土に対しては 1 試料/層	・ 可能な限りコアを採取	・ 同左
標準貫入試験		・ 1 回/m を原則とする	・ 同左	・ 実施しない
孔内水平載荷試験		杭頭位置から杭径の 5 倍程度までの範囲で 1 回		
土 質 ・ 岩 石 試 験	土粒子の密度	【液状化の発生が想定される土層】 1 試料/3m 【その他】 軟弱な粘性土に対しては 1 試料/層	—	—
	含水比		—	—
	粒度		—	—
	液性・塑性限界	【液状化の発生が想定され、 $FC > 35\%$ の土層】 1 試料/1m 【その他】 軟弱な粘性土に対しては 1 試料/層	—	—
	湿潤密度	・ 軟弱な粘性土に対しては 1 試料/層	—	—
	一軸圧縮	・ 軟弱な粘性土に対しては 1 試料/層	—	—
	圧密	・ 軟弱な粘性土に対しては 1 試料/層	—	—

(出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

表 1.1.6 本調査における原位置および室内試験数量の概略の目安

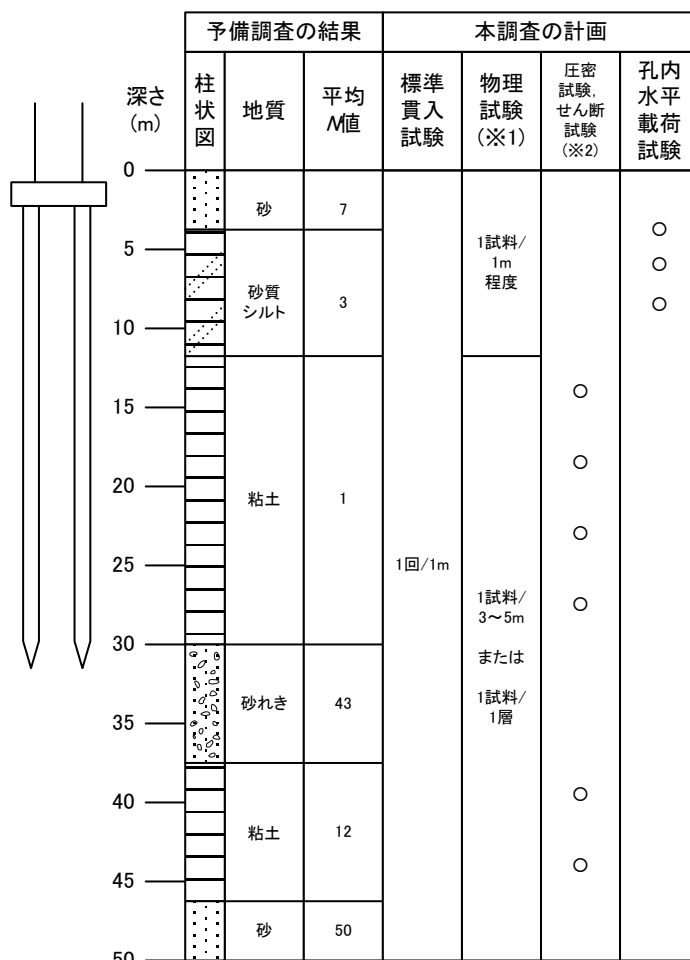
		実 施 頻 度		
		土 砂 部	軟 岩 部	硬 岩 部
サンプリング		・軟弱な粘性土に対しては 1 試料/3～5m ・その他、基礎の挙動に影響する地層で各 1 本	・可能な限りコアを採取	・同左
標準貫入試験		・1 回/m を原則とする	・同左（別孔で実施）	・実施しない
孔内水平載荷試験		杭頭位置から杭径の 5 倍程度までの範囲で 2～3 回		
湧水圧測定 （間隙水圧試験）		支持地盤までに帯水層がある場合に実施		
土 質 ・ 岩 石 試 験	土粒子の密度	1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/3～5m または 1 試料/層	—
	含水比	1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/5m または 1 試料/層
	粒度	【(液状化の発生が想定される土層)】 1 試料/1m 【その他】 1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/3～5m または 1 試料/層	—
	液性・塑性限界	【液状化の発生が想定され、FC > 35%の土層】 1 試料/1m 【その他の粘性土層】 1 試料/3～5m または 1 試料/層	—	—
	湿潤密度	1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/5m または 1 試料/層
	一軸圧縮	1 試料/3～5m または 1 試料/層 (粘性土の場合)	1 試料/3～5m または 1 試料/層	1 試料/5m または 1 試料/層
	三軸圧縮	適宜（洪積粘土の場合等）	適宜	適宜
	圧密	1 試料/3～5m (圧密対象粘土)	—	—

(出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

c. 調査・試験の基本配置例

例として、図 1.1.3 に、軟弱層を中間層にもつ地盤での調査計画を示す。

- ・ 上部の砂質土層および砂質シルト層については、液状化対象層となる可能性があるため、標準貫入試験の際に採取された 1m ごとの乱した試料に対する物理試験を計画している。
- ・ 中間粘土層については、負の摩擦力が懸念されるため、軟弱な粘性土の特性を考慮して、深度 3～5m ごとの乱れの少ない試料の採取および圧密試験、三軸圧縮試験を行う。
- ・ 支持層下の粘性土層についても、沈下や破壊が懸念されるため、圧密試験、一軸圧縮試験を計画している。



※1 乱した試料  
 ※2 乱れの少ない試料

図 1.1.3 杭基礎における調査・試験の基本配置  
 (出典:「杭基礎設計便覧 (平成 27 年度改訂版)」<sup>2)</sup>)

### (3) サウンディング

サウンディングは土層条件や調査深度に限界がある反面、簡易で経済的に実施できるものが多い。例えば複雑な地盤においてボーリングの補完として用いると効率的な調査が可能になる等、その特性を生かして用いることで大きな効果が期待できる。ただし、サウンディングの結果のみで設計を行えることは少ないので、ボーリングと組み合わせて用いるのが良い。なお、サウンディングを採用する際には、以下の5点を考慮するとよい。

- ① 軟弱な粘性土には動的サウンディングは適さない。
- ② 密な砂れきや硬い粘性土には静的サウンディングは適さない。
- ③ 土層構造が複雑と想定される場合や、連続的な地盤情報が必要な場合には、コーン貫入試験などが望ましい。
- ④ 土層中に玉石や転石がある場合には、サウンディングにより得られたデータの信頼性は低くなる。
- ⑤ 測定値の強度換算には、同一地盤で採取した試料による強度試験などを行い、比較・検討する。

表 1.1.7 サウンディング調査法の特徴

調査法	適用土質	測定する量	長所	短所
標準貫入試験	玉石を除くあらゆる土質（ただし、きわめて軟弱な土質には適用できない。また、岩は軟岩に限る。）	63.5±0.5kg の重錘を 76±1cm の高さから落下させ 30cm 打込むのに要する打撃回数 ( $N$ 値) を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>貫入能力が優れている。</li> <li>試料を採取できる。</li> <li>他の物性との関係式がまとめられており、推定が容易である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリングをとめない動的コーン貫入試験より高価である。</li> <li>きわめて軟弱な地層では <math>N</math> 値が 0 となり強度の評価が困難となる。</li> </ul>
動的コーン貫入試験	動的コーン	岩および玉石を除くあらゆる土質（ただし、きわめて軟弱な土質には適用できない。）	標準貫入試験と同じ方法で打撃回数 ( $N_d$ 値) を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査深度としては 10～15m 程度である。</li> <li>ロッドの摩擦による影響が大きい。</li> <li>試料の採取ができない。</li> </ul>
	ラムサウンディング	岩および玉石を除くあらゆる土質（ただし、きわめて軟弱な土質には適用できない。）	63.5kg の重錘を 50cm の高さから落下させ 20cm 打込むのに要する打撃回数 ( $N_d$ 値) を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>貫入能力が優れている。</li> <li>調査深度としては 20～30m 程度である。</li> <li>ロッドの摩擦による影響が大きい。</li> <li>試料の採取ができない。</li> <li>押し込み装置が必要であるため、平坦な場所での実績が多い。</li> </ul>
静的コーン貫入試験	三成分コーン 軟らかい粘性土 緩い砂質土	圧力装置によりコーンを押し込み貫入抵抗値 ( $q_c$ 値) 周面摩擦力 ( $f_s$ 値)、間げき水圧 ( $u_d$ 値) を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続的に精度よく測定できる。</li> <li>比較的簡便である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料の採取ができない。</li> <li>貫入能力が低い。</li> <li>調査深度としては 20～30m 程度である。</li> <li>押し込み装置が必要であるため平坦な場所での実績が多い。</li> </ul>
ベーンせん断試験	軟らかい粘性土	きわめて緩やかな回転力を与えてそのときの最大回転モーメント ( $M_{max}$ ) を求めせん断強さを得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>精度よく測定できる。</li> <li>簡便で場所を選ばない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般にボーリングをとまないので高価となる。</li> <li>試料の採取ができない。</li> </ul>
スウェーデン式サウンディング	軟らかい粘性土 緩い砂質土	全重量 100kg までの重り ( $W_{sw}$ ) 载荷による沈下測定 100kg 载荷による 1m 当りの半回転数 ( $N_{sw}$ ) を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続的に測定できる。</li> <li>簡便で場所を選ばない。</li> <li>ボーリング・標準貫入試験と併用することで支持層深度の判定が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査深度は 10m 程度である。</li> <li>試料の採取ができない。</li> <li>ロッドの摩擦による影響が大きい。</li> </ul>

(出典：「杭基礎設計便覧（平成 27 年度改訂版）」<sup>2)</sup>)

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編;平成 24 年 3 月、(公社) 日本道路協会
- 2) 杭基礎設計便覧 (平成 27 年度改訂版); 改訂作業中、(公社) 日本道路協会

資 1.2 丘陵地～山地部における地盤調査の調査位置及び数量

(1) 予備調査と詳細（本）調査

調査は、図 1.2.1、表 1.2.1、1.2.2 に示すように、予備調査と詳細（本）調査へ段階的に進めていくことが基本となる。ただし、丘陵地～山地部においては各構造物によって、地形・地質特性が大きく異なる場合が多いため、経済的で合理的な調査を進めるためには予備調査の段階で可能な限り綿密に行うことが望ましい。また、新設橋梁等の場合は予備調査の段階で相当なデータが得られたとしても、個々の橋台、橋脚で詳細（本）調査を実施することを原則とする。

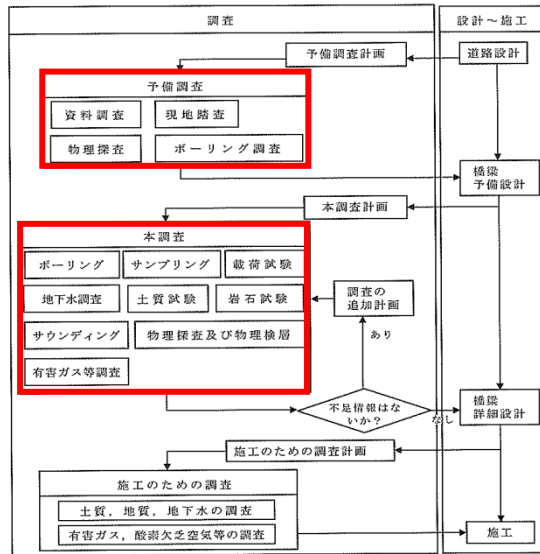


図 1.2.1 調査フロー 1) 加筆修正

表 1.2.1 丘陵地～山地における地盤調査の基本方針 1) 加筆修正

	予備調査	詳細調査
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形の成り立ち</li> <li>地質構成と性状</li> <li>支持層と基礎地形の選定</li> <li>斜面の安定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>下部構造の詳細設計を行うための地盤条件、設計に用いる地盤定数等</li> <li>施工に伴う地下水影響、法面変状の有無の検討</li> </ul>
調査方法	<ol style="list-style-type: none"> <li>資料調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>既往地形・地質資料</li> <li>既往ボーリング調査資料等</li> <li>周辺既設構造物の設計・施行資料</li> <li>既往災害関係資料</li> <li>気象関係資料</li> <li>空中写真判読</li> </ul> </li> <li>現地踏査 <ul style="list-style-type: none"> <li>地形・地質踏査</li> <li>注意すべき地質・地質の把握</li> </ul> </li> <li>物理探査 <ul style="list-style-type: none"> <li>弾性波探査等</li> </ul> </li> <li>ボーリング等による調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング</li> <li>標準貫入試験</li> <li>孔内載荷試験</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>橋脚及び橋台予定地周辺の現地調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>地形・地質調査</li> <li>注意すべき地形・地質の把握</li> </ul> </li> <li>ボーリング <ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング、試掘</li> </ul> </li> <li>サンプルング <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂、岩盤のサンプルング</li> </ul> </li> <li>サンディング <ul style="list-style-type: none"> <li>標準貫入試験</li> <li>簡易動的コーン貫入試験</li> </ul> </li> <li>土質試験 <ul style="list-style-type: none"> <li>物理、力学試験</li> </ul> </li> <li>岩石試験 <ul style="list-style-type: none"> <li>物理、力学試験</li> </ul> </li> <li>地下水調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>水位測定</li> <li>現場透水試験</li> <li>湧水圧試験</li> </ul> </li> <li>載荷試験 <ul style="list-style-type: none"> <li>孔内水平載荷試験</li> <li>孔内せん断摩擦試験</li> </ul> </li> <li>物理探査及び物理検層 <ul style="list-style-type: none"> <li>弾性波探査</li> <li>電気探査</li> <li>速度検層、電気検層</li> </ul> </li> <li>有害ガス・酸素欠乏空気等の調査</li> </ol>
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>地層性状の概要、設計施工上注意すべき地形・地質（地すべり、断層等）等の予備設計に必要な地盤情報を把握する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計上の地盤面設定に必要な地盤情報（表支持層、支持層）を整理する。</li> <li>支持層の傾斜方向を縦断方向及び横断方向で把握する。</li> <li>設計に用いる地盤定数を設定する。</li> <li>地下水状況を把握する。</li> <li>切土が発生する場合には、法面の安定性、盛土部では沈下・滑動の可能性について検討を行う。</li> </ul>



表 1.2.2 深礎基礎の設計・施工に必要な主たる地盤情報と調査手法との関係 <sup>1)</sup> 加筆修正

調査手法		検討項目 検査項目		設計及び施工に必要な地盤情報																				
				地形地質			地盤定数																	
				注意すべき地形・地質	地層区分	地下水位	土砂部			軟岩部			硬岩部											
							強度定数 C, φ	P波, S波, 速度	変形係数 E	強度定数 C, φ	P波, S波, 速度	変形係数 E	強度定数 C, φ	P波, S波, 速度	変形係数 E									
資料調査	過去の近傍の調査結果 災害履歴, 地形判読	既往調査結果, 災害履歴の整理 地形判読図	●	▲	○	□	□																	
現地踏査		断層, 湧水, 植生 地質図	●	●	○	□	□																	
ボーリング	土砂部	地層区分, 地下水位, 土質柱状図	●	●	○	○	□																	
	岩盤部	地層区分, 地下水位, 地質断面図, RQD, 岩級区分, 地質柱状図	●	●	○	○																		
物理探査及び物理検層	物理探査	弾性波探査	弾性波速度 (P波), 地質構造	●	●	□	□			○			○										○	
		電気探査	比抵抗分布, 地下水位分布, 地質構造	●	●	□	□	□																
	物理検層	速度検層	弾性波速度 (P波, S波), 地質構造		▲	□	□			○				○										○
		電気検層	滞水層の分布, 地質構造		▲	□	□	□																
原位置試験	サウンディング	標準貫入試験	N値, 地層区分, 硬軟判定	●	●		□		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
		簡易動的コーン貫入試験	地層区分, 硬軟判定	▲	▲		□																	
	地下水調査	地下水位測定	各滞水層の水位, 水圧分布, 被圧の有無		●			○																
		現場透水試験 (砂質土, 礫質土)	透水係数 安定水位		●			○																
		湧水圧測定 (岩盤)	透水係数 安定水位		▲			○																
	載荷試験	孔内水平載荷試験	変形係数		●					○			○											○
		孔内せん断摩擦試験	変形係数 粘着力, せん断抵抗角		●					○	○		○	○										
有害ガス調査	可燃性ガス調査, 酸欠ガス調査	土壌ガス, 地下水溶存ガス濃度		▲	○																			
ボアホールテレビカメラ		亀裂の走向・傾斜 湧水	▲	▲	○	□	○																	
室内試験	土質試験	物理試験	土粒子密度, 粒度, 含水比, 液性・塑性限界, 湿潤密度		●		○																	
		力学試験	三軸圧縮試験	粘着力, せん断抵抗角, 変形係数		●		○		○	○													
	岩石試験	物理試験	密度試験, 有効間隙率試験, 給水率試験	単位堆積重量, 給水率		●		○																
		力学試験	詳細	三軸, 多段階三軸試験	粘着力, せん断抵抗角, 変形係数		●		○					○	○		○	○						○
	簡易		一軸・圧裂試験 (亀裂なし), 超音波速度試験	粘着力, せん断抵抗角		●		○					□	□	○	□	□							○
自然由来重金属調査	岩盤・土壌の含有量・溶出試験, 全含有量試験	環境基準への適合	▲	▲	○	□	○																	

●: 実施すべき項目 ▲: 必要に応じて実施すべき項目 ○: 直接求めるもの □: 間接的に求めるもの

## ・予備調査

予備調査段階では、主に机上検討（ペーパーロケーション）によりルートと構造物が決められ調査が始められる。この調査では、対象ルート周辺の斜面の安定性等、注意すべき地形・地質の状況を把握するための基本情報を得るものとする。また、想定される構造物に対して支持層と基礎型式を選定するための基本情報や課題が明らかにできるようなデータも得る必要がある。

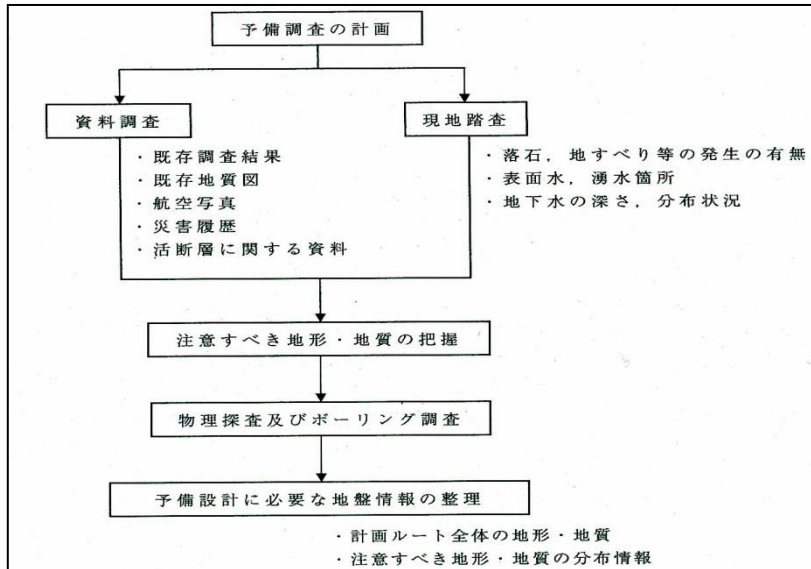


図 1.2.2 予備調査の手順<sup>1)</sup>

## ・詳細（本）調査

詳細調査は本調査とも言われ、構造物の詳細設計ができるように具体的な支持層の形状や物理定数・力学定数を得ることを目的とする。また地下水状況や施工による周辺環境への影響が検討できるような情報も得る。

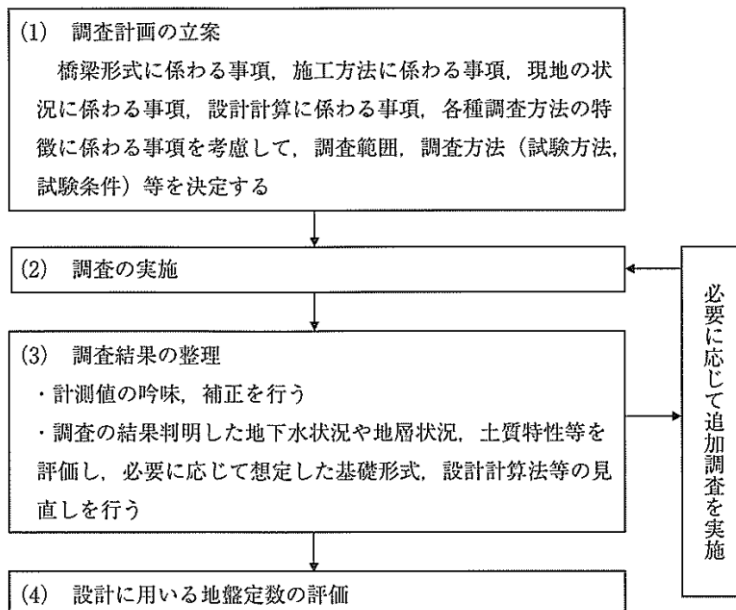


図 1.2.3 本調査の立案から評価に至る流れ<sup>1)</sup>

## (2) 調査の内容

### ①資料調査

#### 【予備調査】

予備調査は計画地付近の地形・地質に関する情報を収集・整理し、理解することから始まる。この段階で、地すべり地・大規模崩壊地、土石流の常襲地帯、活断層の存在等を見逃すと、事業の進んだ段階で思わぬ手戻りが発生することもあるので重要である。資料調査の大半は予備調査段階で終了する。

なお、資料調査では、公表データ等を利用して、できる限り事前に注意すべき地形・地質を把握する必要がある。

### ②現地踏査

#### 【予備調査】

予備調査では、小縮尺の地形図を基に、計画ルート周辺全体の地質構造・分布・性状を露頭等にて確認するとともに、微地形（0次谷、遷急線、崩壊跡地、集水地形、ガリー、湧水跡、表層クリープ等）や、崩積土の堆積状況についても記載し、得られた地形・地質情報を詳細なルートマップとして作成する。これらをもとに地質平面図や断面図を整理するものとともに、ボーリング調査、物理探査による具体的な調査計画を立案する。

#### 【詳細（本）調査】

詳細（本）調査では、大縮尺の地形図を基に、各構造物周辺の詳細な現地状況の確認を行う。ボーリング調査では縦（横）方向の線状の地質情報が得ることができるが、現地踏査では表面だけとはいえ、面的な地形・地質情報を得ることができるため、俯瞰的に地盤評価するためには必要不可欠といえる。具体的には、予備調査の現地踏査結果やボーリング結果等から各構造物における注意すべき地形・地質を抽出し、その形状や位置を立体的に把握する必要がある。このため、詳細（本）調査では三次元地質図で整理することが望ましい。

表 1.2.3 現地踏査の数量目安

	範囲	縮尺
予備調査	ルート周辺全体	1/5,000
詳細(本)調査	各構造物周辺	1/500

### ③ボーリング調査

#### 【予備調査】

予備調査では、基本的に計画ルート全体の地形・地質情報を把握できる地点で行うが、1構造物に対して構造物中央または地盤線が深いと思われる側で1～2本程度行い、早い段階で注意すべき地形・地質の地下地質情報を得るものとする。

#### 【詳細（本）調査】

丘陵地～山地部の地層構成は、平野部に比べて複雑な場合が多く、フーチング四隅で実施したボーリング結果が全て地形とは異なる方向に傾斜している場合もある。このため、詳細調査では必要に応じて、さらに2～3本の調査孔を追加し、これに併せて透水試験等の原位置試験、物理試験や力学試験のための試料採取（サンプリング）も行い、三次元的に地盤状況を把握する。なお、サンプリングや原位置試験を所定の地層で、できる限り乱れの少ない状態で実施するためには、必要に応じて別孔で実施するな

どの配慮も必要である。

各構造物に地すべりや断層等の脆弱部が確認され、設計上の留意点となる場合には、その性状や方向を正確に把握するため、高品質ボーリングによるコア採取やボアホールテレビカメラ等を実施する。ボーリング深度は、直接基礎では想定支持層より 5m 以上、杭基礎（深礎を含む）では杭底面より 5m 以上深くまで掘削することを原則とする。現地踏査等で基礎の直下に断層等の弱部が存在することがわかっている場合には性状が確認される深度までとする。

なお、構造物背後の自然斜面や計画切土法面については、地すべり・崩壊等の有無の検討を行うため基礎底面までのボーリング調査を行う。

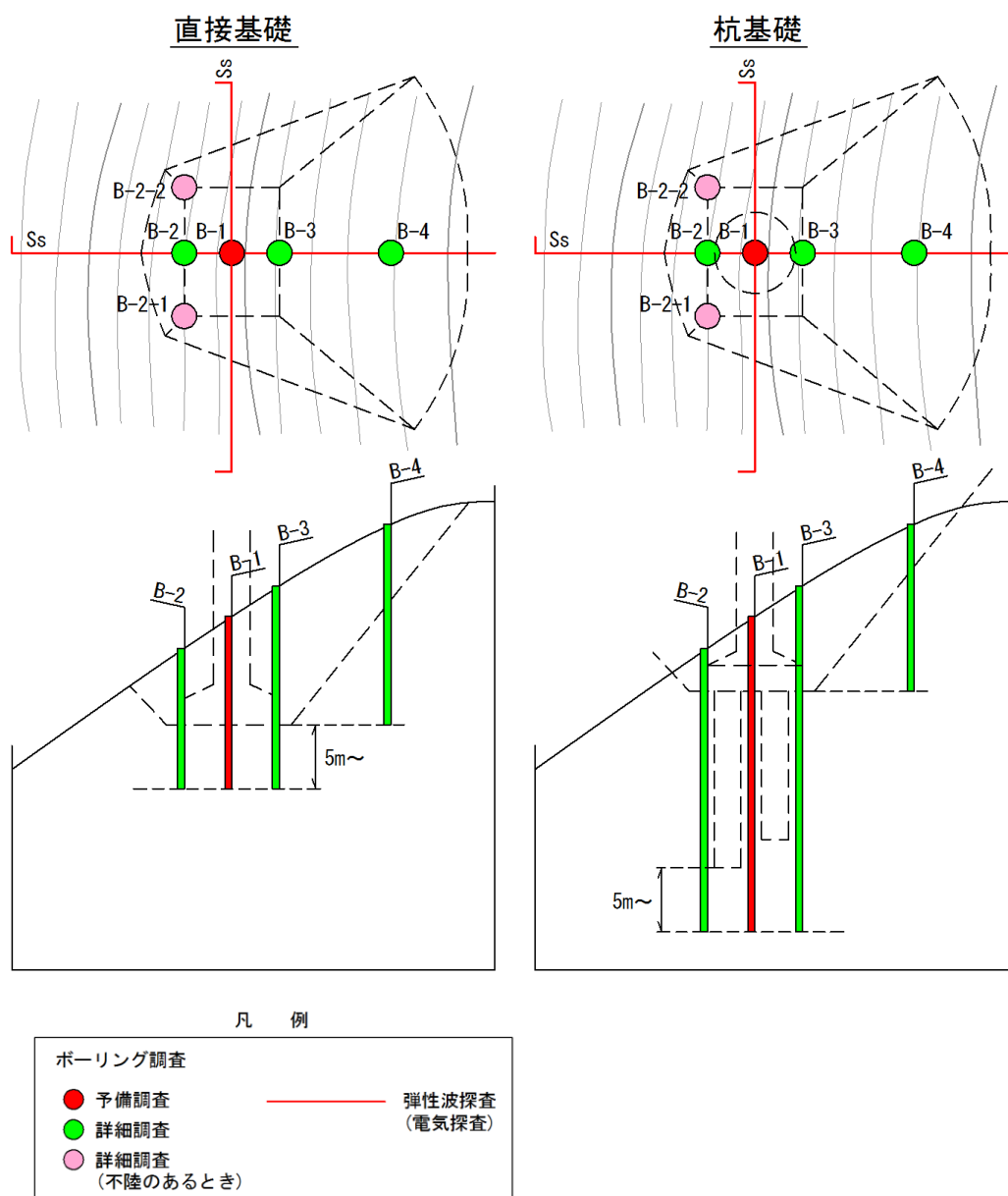


図 1.2.4 ボーリング調査と物理探査の標準的な配置と調査深度の例

表 1.2.4 山地部斜面でのボーリング箇所を選定例<sup>2)</sup>

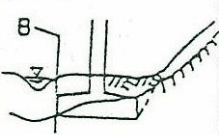

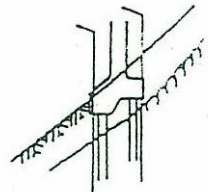
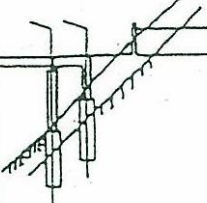
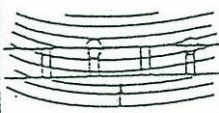

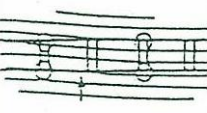
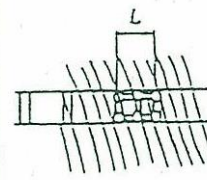
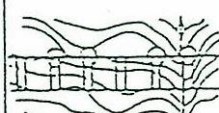
基礎型式 構造規模	直接基礎 (フーチング水平、土かぶりあり)	直接基礎 (多段岩着が主)	フーチング付深礎基礎	ラーメン橋台・脚 (深礎)
長大橋 支間 $l > 40m$ 反力 - 大 フーチング - 大 (トラス、 T ラーメン)	河川内の橋脚等 (河川条件でフーチング 天端が固定されるような ケース)  掘削法、施工性、支持層 (岩盤等)の支持力  (フーチング内で地形の 最も低い所) 各橋脚で1か所	支持等(岩盤)の深さ 傾斜とその面的な把握  掘削法、施工性、支持層 の支持力、崖錘状況  フーチング内の高低 各1か所と平面端部に 1か所) 各橋脚で3か所	(同左)  崖スライ層が味方が敵か、 崖スライ層および支持層 の特に水平支持力  (同左) 各橋脚で3か所	(同左)  (同左)  (端部に各1点ずつ) ラーメン内で4か所
中・連続橋 支間 $l = 20 \sim 40m$ 反力 フーチング - 小	(同上) 各橋脚で1か所	(フーチング内の高低端 各1か所) 各橋脚で2か所	(同左) 各橋脚で2か所	(同上) 垂直部材間は中小橋でも 長大橋でも同じ。 ラーメン内で2~4点 (地形)
小・支間橋(RC) 支間 $l < 20m$ 反力 フーチング - 中小 (RC単・連続)  i) 等高線が橋軸 or 軸直角方向に平行  (等高線が整合)  ii) 等高線が不整合	 2橋脚に1か所 (フーチング内の地形の 低い端部に)   各橋脚に1か所(同上)	- 基本的には前記、中・連続橋に同じ -  2橋脚につき2か所 (同一フーチング内の 地形高低端に)  各橋脚に2か所 (同上)		 同一ラーメン内に2~3 か所 $L > 30m$ : 三つの端 $L < 15m$ : 二つの端  同一ラーメン内に3~4 か所 (上図のLにより判断)
棧道型式(RC) 支間 $\approx 10m$ 反力フーチング - 小  i) 等高線が整合の 場合  ii) 等高線が不整合	40m 間隔程度に1か所 (フーチング内の地形の 低い端に)   1~2 垂直部材に1か所 (地形の低い箇所に)	40m 間隔程度に3か所 (同一断面内の地形高低 端とその中間に1か所)  2~3 垂直部材に3~4 か所 (高低端に)		40m 間隔程度に3か所 (同上)  2~3 垂直部材に3~4 か所 (高低端に)

表 1.2.5 詳細（本）調査におけるボーリング箇所を目安<sup>3)</sup>

		直接基礎	杭基礎	ケーソン基礎	鋼管矢板井筒基礎	深礎基礎
低地・台地	基盤平坦	A	A~B	A	A	A
	基盤傾斜	B~C	B	B~C	B	B
丘陵地	基盤平坦	A	A~B	A	—	A
	基盤傾斜	B~C	B	B~C	—	B
山岳地	地質単調	B	B	—	—	B
	地質複雑	C	B	—	—	C

(ただし、A：下部構造1基につき1点以上、B：1基につき2点以上、C：1基につき4隅の4点)

表 1.2.6 支持層確認後の掘進長の目安<sup>1)</sup>

支持層が確認された深さ	確認後の掘進長 (m)		
	土砂	岩盤	
		軟岩	中硬岩
地表から5m未満	10	10	5
地表から5m以深	5	5	3

#### ④物理探査・物理検層

物理探査は、予備調査と詳細調査のいずれの段階でも必要に応じて実施され、主に弾性波探査あるいは電気探査が行われる。弾性波探査は弾性波の伝播状態から地盤の良非を判定するもので、密度(岩盤の重さや固結度)を反映した結果が得られる。一方、電気探査は地盤の比抵抗値を指標に、地下水の含有状態や変質帯の存在などが捉えやすい方法である。

##### 【予備調査】

予備調査では、計画ルート全体の地すべりや不安定岩盤等の注意すべき地形・地質が懸念される場合、その断面形状を把握するために物理探査（弾性波探査、電気探査）を実施する。

##### 【詳細（本）調査】

詳細（本）調査では、各構造物について基盤の不陸等が大きい場合等に、その地盤状況を把握するために実施する。物理探査の測線は縦断方向と横断方向に設定し、地盤の三次元的な分布状況が捉えられるようにして、ボーリング結果や現地踏査結果と併せて三次元地質図にとりまとめる。

また、各地層と物理的性質（物性値）との正確な相関関係を把握する場合や、地盤の動的特性を把握する場合には、物理検層を実施する。物理検層は主に速度検層と電気検層があり、速度検層は地盤の物性の中で弾性波（P波、S波）の伝わる速さを捉えるもので、浅層部ではダウンホール方式が、深層部では孔内起振受振方式が用いられる。電気検層は孔内において電気の流れにくさ（比抵抗）を測定し、滞水層の分布等を捉えるものである。

#### ⑤原位置試験および室内試験

原位置試験および室内試験は、基礎の設計に用いる物理定数・力学定数を得ることを主な目的として行う（表 1.2.7）。

原位置試験には、標準貫入試験、孔内水平載荷試験、湧水圧試験(透水試験)、ボアホールテレビカメラ等がある。標準貫入試験はN値を得るために行い、予備調査・詳細調査を問わず1m毎に実施する。

孔内載荷試験では地盤の弾性係数を原位置で求めることができるが、具体的な構造物と基礎型式が検討されるようになってから測定されることが多い。湧水圧測定は、地下水位が高く、基礎掘削で地下水が湧出する可能性があるときに実施する。ボアホールテレビカメラは断層や亀裂等の不連続面の方向（走向傾斜）や性状を把握するために実施する。

室内試験は主にサンプリング試料を用いて行う。サンプリングの土砂状試料は標準貫入試験のペネ管あるいはコアサンプラー、岩盤部はコアサンプラーや高品質ボーリングコアを用いる。

室内試験は、未固結層～強風化層は主に物理試験(土粒子の密度・含水比・粒度)を、固結層(岩盤)では物理試験と力学試験(一軸圧縮試験等)を行う。

#### 【予備調査】

予備調査では、標準貫入試験は行うものの、それ以外の原位置試験や室内試験を実施することは稀である。ただし、地すべり面や流れ盤構造等の注意すべき地形・地質が懸念される場合には、ボアホールテレビカメラ等を実施して、早い段階でその性状を把握することが望ましい。また、自然由来の重金属等を含む岩が出現する可能性のある場合には、岩石・土壌の含有量試験及び溶出量試験も実施する。

#### 【詳細(本)調査】

詳細(本)調査では、支持力や水平地盤反力度の上限値等を求める際に、地盤特性を表す地盤定数が必要となる。地盤定数については、標準貫入試験によるN値との相関関係が知られているが、応力・ひずみ状態や排水条件により地盤定数は異なるため、できる限り直接的に地盤定数を評価できる原位置試験(孔内載荷試験等)や室内試験(物理試験、力学試験等)を実施することが望ましい。

表 1.2.7 原位置および室内試験数量の目安<sup>3)</sup>

		実施頻度		
		土砂部	軟岩部	中硬岩部
サンプリング		・軟弱な粘性土に対しては1試料/3～5m ・その他、基礎の挙動に影響する地層で各1本	・可能な限りコアを採取	・同左
標準貫入試験		・1回/mを原則とする	・同左(別孔で実施)	・実施しない
孔内水平載荷試験		【直接基礎】基礎底面から基礎幅の1～1.5倍の範囲で必要に応じて実施 【杭基礎・鋼管矢板井筒基礎】基礎頭部位置から横抵抗を支配する杭の特性長さ(1/β)の範囲で2～3回 【ケーソン基礎・深礎基礎】基礎頭部位置から支持地盤までの代表的な各層を対象として1～2回ずつ		
湧水圧測定 (間隙水圧試験)		【直接基礎】基礎底面までに帯水層がある場合に実施 【その他の基礎】支持地盤までに帯水層がある場合に実施		
土質・岩石試験	土粒子の密度	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/3～5mまたは1試料/層	-
	含水比	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/5mまたは1試料/層
	粒度	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/3～5mまたは1試料/層	-
	液性・塑性限界	1試料/3～5mまたは1試料/層 (粘性土の場合)	-	-
	湿潤密度	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/5mまたは1試料/層
	一軸圧縮	1試料/3～5mまたは1試料/層 (粘性土の場合)	1試料/3～5mまたは1試料/層	1試料/5mまたは1試料/層
	三軸圧縮	適宜(洪積粘土の場合等)	適宜	適宜
	圧密	1試料/3～5m (圧密対象粘土)	-	-

#### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧,平成24年4月
- 2) (社)土木学会：岩盤上の大型構造物基礎,平成4年
- 3) (社)日本道路協会：杭基礎設計便覧,平成19年1月

## 資料 2. 基礎の挙動を再現するために必要な地盤の特性とそのための調査について

### 1. 構造物基礎の挙動を支配する地盤条件とその評価の基本

#### (1) 構造物基礎とは

構造物構造とは、上部構造を支持する橋脚柱や橋台壁からの荷重を地盤に伝達し、その反作用を利用してこれら上部構造及び橋脚柱や橋台壁を支持する構造（なお、道路橋示方書では、橋脚柱や橋台壁、基礎を含めて下部構造と呼称している）をいう。

図-1.1 に基礎に作用する荷重とそれに対する基礎の挙動の概念を示す。

基礎は、基礎の天端に作用する力と地盤からの反作用（地盤反力）とが釣り合う状態になるように変形を生じ、この状態は構造物本体の剛性はもとより、基礎を支持する地盤の強度変形特性に支配される。この際の地盤の強度変形特性は、地盤に生じるひずみレベルや排水条件によってと変化する。

したがって、厳密に基礎の挙動を推定もしくは再現するためには、地盤の強度変形特性を、設計計算法やモデルの精度や地盤定数の感度、地盤調査データの量やばらつきなどを考慮して適切に評価することが不可欠である。

設計に用いる地盤条件は、基礎構造物と地盤との総合作用を表現するための重要な設計パラメータである。なお、本編では、一般的に用いられる「地盤定数」という言葉のかわりに「地盤条件」という言葉を用いる。

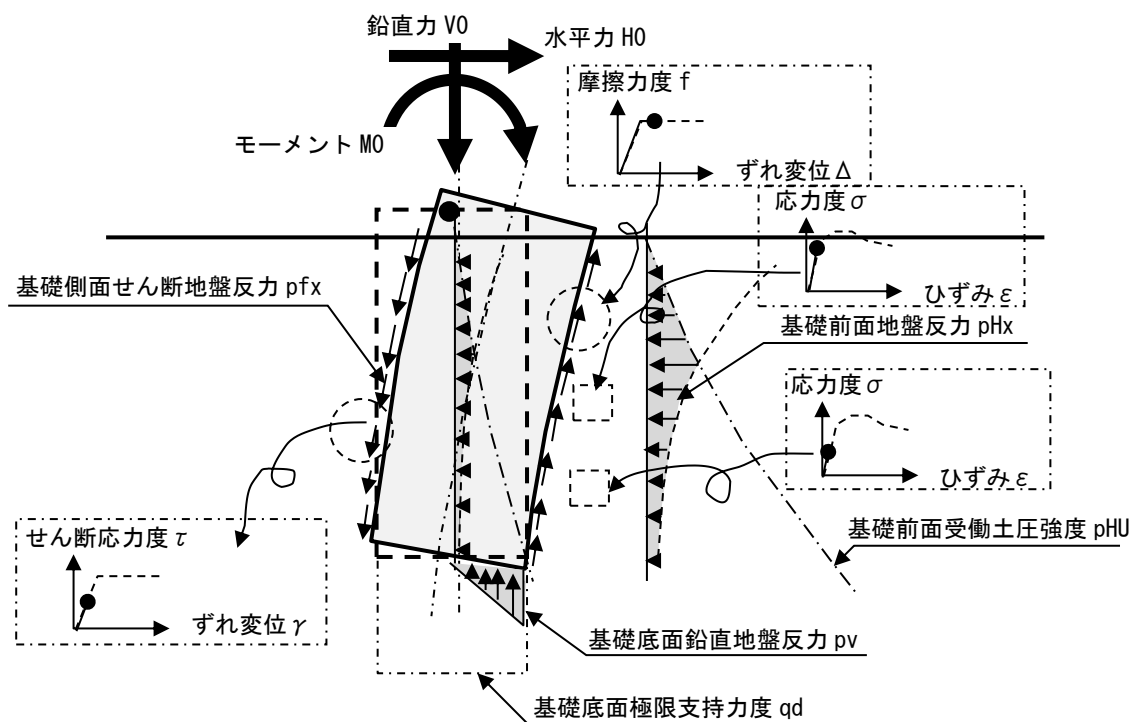


図-1.1 構造物基礎に作用する荷重に起因する地盤の挙動の概念



(2) 基礎の挙動を評価するために必要な地盤条件の評価において留意すべき事項<sup>1)</sup>

近年の地盤、基礎工学の進歩は著しく、構造物と地盤との相互作用による基礎の挙動を理論的に説明できる段階となりつつある。一方で、実務に目を向ければ、設計に用いる地盤条件をどのような方法で調査し、その結果をどのように評価するかという問題は、なかば、避けられてきた課題であると考えている。これは、技術基準が設計技術者の技術レベルへの配慮、示方書としての簡便性、これまでの設計との整合性等への配慮が先行し、設計作業の速やかな遂行が優先されてきたことが原因と考えられ、結果的に、画一的な地盤調査法（たとえば、N 値）により、機械的に確定値としての「地盤定数」が評価されてきたためであると考えられる。この技術と設計実務との乖離が、結果として経済性を損ねているという指摘<sup>2)</sup>もあるが、地盤条件を定める立場にある地盤技術者は、この状況を重く認識する必要がある。

表-1.1 及び図-1.2～1.4 は、代表的な基礎構造物における地盤中の土要素の力学的な条件の考え方と、現時点での道路橋示方書に示される考え方を感覚的に理解するためのものである。

表中の備考欄には、道路橋示方書に示される評価方法の基本的な考え方を示しているが、道路橋示方書では、理論式が実際の挙動を概ね再現できる場合には理論式を、理論式では必ずしも十分に評価できない場合には、実験事実を整理して決定した推定式を用いることとされている。

表-1.1 基礎の安定問題とそれぞれにおいて考慮すべき事項

			考慮すべき地盤の応力～ひずみ特性			異方性	荷重速度に対応する排水条件	備考 (道路橋示方書に示される評価方法の基本的な考え方)
			ひずみ軟化	ひずみ硬化				
				Dr 緩い/ 低拘束圧	Dr 密/ 高拘束圧			
土 圧	荷重	主働土圧 (橋台裏込め)	◎ <sub>①</sub>	—	—	○	○	理論式に基づき計算
	抵抗	受働土圧 (基礎前面)	○	—	◎ <sub>②</sub>			
直接基礎		鉛直支持力	◎ <sub>③</sub>	—	◎ <sub>④</sub>	○	○	同上。ただし、これを補完するものとして別途上限値を考慮。
		水平支持力 (滑動)	◎ <sub>⑤</sub>	—	—			
深 い 基 礎	鉛直 支持力	基礎と地盤との間の 周面摩擦力	施工に伴う応力変化を考慮			—	—	載荷試験に基づく、推定式から計算
		基礎先端の鉛直支持力	◎ <sub>⑥</sub>	◎ <sub>①</sub>	○			
	水平 支持力	基礎前面の受働抵抗力	○	◎ <sub>⑨</sub>	—	○	○	
		基礎側面せん断抵抗力	○	◎ <sub>⑦</sub>	—			

橋台 (図-1.2)、直接基礎 (図-1.3)、杭基礎 (図-1.4) を例に挙げているが、基礎構造物ごとに、地盤の破壊モード、相対密度、要素位置での拘束圧及び考慮すべき土要素の向き等の違いにより、結果的に地盤抵抗は変化する。たとえば、それぞれの力学条件の違いに応じて、強度を支配するモール・クーロンの破壊基準での粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\phi$  は、それぞれ異なることになる。

すなわち、地盤には確定した固有の地盤定数があるわけではなく、ある状態に対して発現する地盤定数は、応力・ひずみの範囲と拘束条件、荷重速度、荷重時間、排水条件などの地盤を取り巻く境界条件によって刻一刻と変化する。したがって、設計対象とする基礎の安定や変形をもっとも大きく支配する力学的な条件は何か？を把握することが、地盤の調査・試験と構造設計を合理的につなぐ第一歩であり、我々地盤技術者が力を発揮すべき最大のポイントである。

すべての構造物基礎に対して、このような力学的な境界条件に最も適合する試験条件により地盤定数を評価することは難しいと考えるが、少なくとも理論的背景は十分に認識しておく必要があり、これら

を理解した上で基礎の設計に用いる地盤条件を決定するための地盤調査計画を立案し、さらにその結果を評価するのが我々地盤技術者に課せられた課題であると考えます。

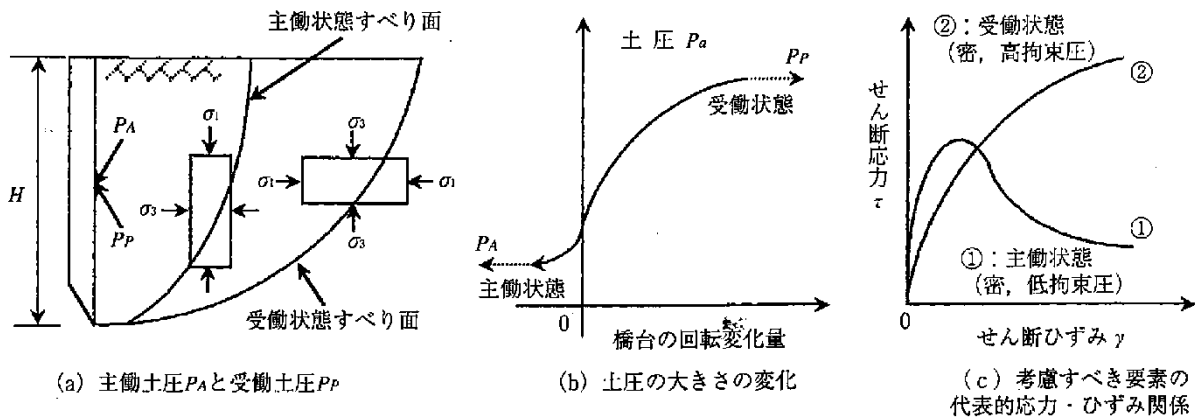


図-1.2 橋台（土圧）の場合（十分に転圧された裏込め土を仮定）

※図中の番号は表-1.1 中の番号と対応

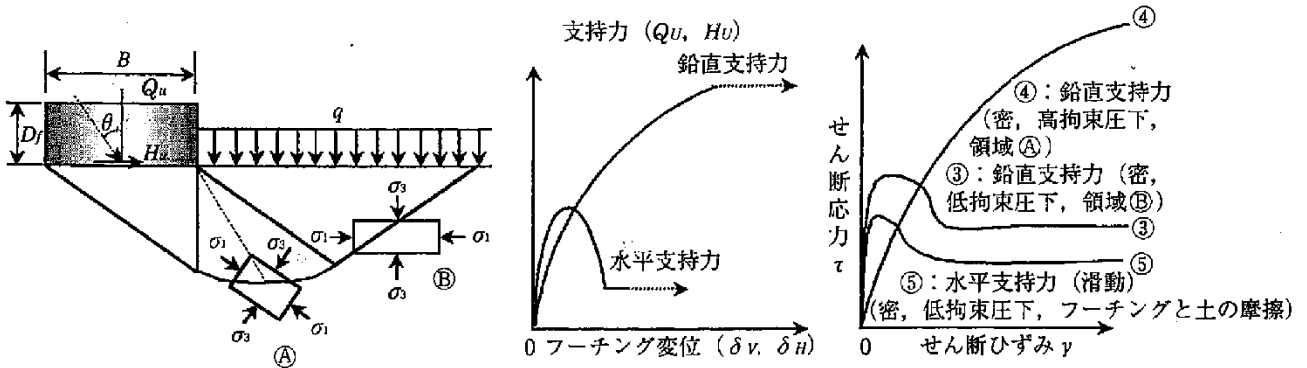


図-1.3 直接基礎の安定問題の場合（支持地盤は十分に密と仮定）

※図中の番号は表-1.1 中の番号と対応

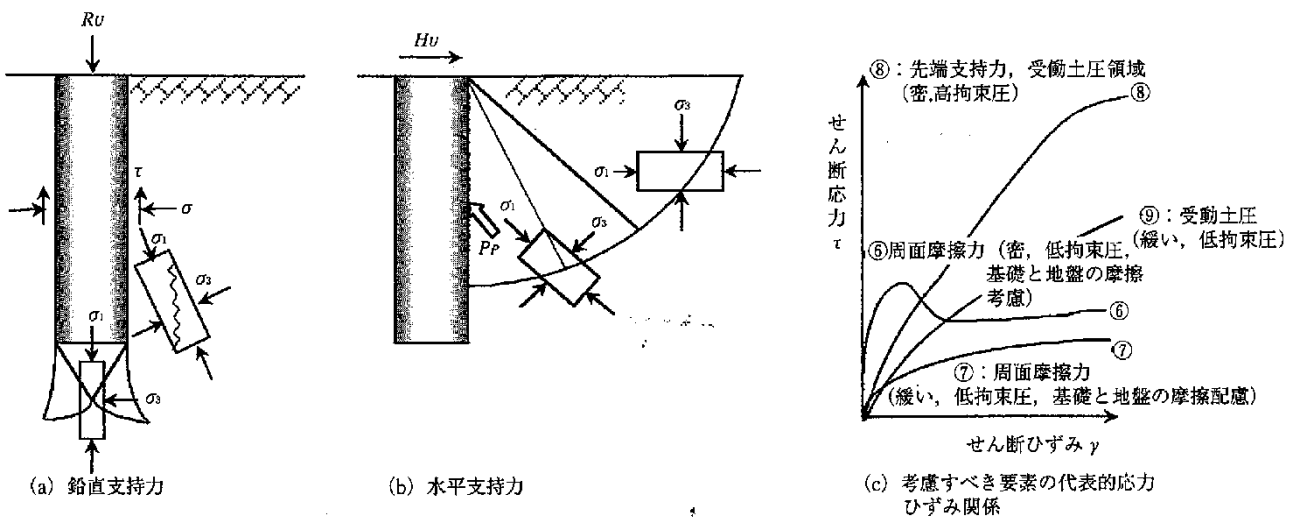


図-1.4 深い基礎の安定問題の場合

※図中の番号は表-1.1 中の番号と対応

### (3) 設計実務における取扱いとこれに対する注意喚起

現在、実務設計で用いている基礎の解析モデルは、(2)に示した留意事項のすべてを網羅できているものではなく、後述のとおり、地盤を相当に単純化したモデルとして取り扱っているのが実情である。結果として、基礎設計者は、基準に示される単純化されたモデルのみが是であると受け取り、基礎の挙動再現という本来の命題を忘れ、種々の状況によりと変化する「地盤条件」を、言葉のとおり、唯一無二の地盤定数として取り扱ってしまっているきらいがある。

このため、地盤条件を定める地盤技術者は、地盤の強度変形特性を理解し、さらに、基礎の設計に用いられている単純化された解析モデルにも精通した上で、地質調査結果から地盤条件を定めなければならない。

また、(2)は基礎と地盤の相互作用のうち、強度に係わる事項を主に考察したものであるが、基礎の挙動を評価するためには、地盤の変形特性を精度よく評価することもきわめて重要である。実務設計では、孔内水平載荷試験から求められる変形係数  $E_b$ 、一軸及び三軸圧縮試験から求められる  $E_{50}$ 、 $N$  値から推定される変形係数  $E_N$  を、平板載荷試験から求めた  $E_P$  に換算して基礎の設計に用いる地盤反力係数  $k_H$  を求めることとされている。

地盤調査結果から変形係数を整理し、設計に用いる地盤反力係数を定める一連の作業の中では、変形係数はあたかも一義に定まる定数であるかのように扱われているが、本来、変形係数は図-1.5 に示すように地盤のひずみレベルに応じて変化するものである。

現在の実務設計では、このひずみレベルの問題を、①橋の動的解析や固有周期の算出に用いる変形係数(せん断弾性波速度から推定)、②常時荷重に対する設計に用いる変形係数(試験結果をそのまま使用)、③基礎の地震時の設計に用いる変形係数(L1地震時には常時状態の2倍の値を使用、L2地震時にはさらに1.5倍を考慮)という割り切りの中で扱っており、設計者に変形係数のひずみ依存性を認識させるものとはなっていない。しかしながら、設計実務の実態はあるにせよ、地盤の変形係数がひずみレベルに依存することは、地盤技術者の基本として認識しておく必要がある。

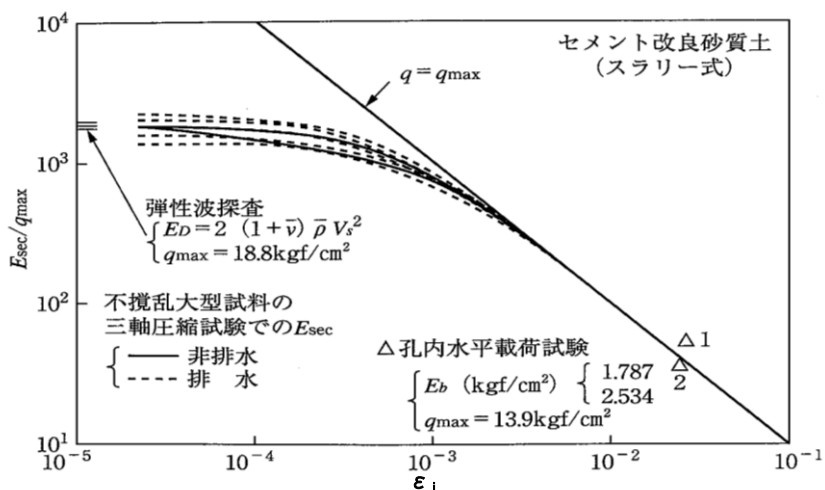


図-1.5 ひずみレベルに応じた地盤の変形係数の変化<sup>3)</sup>

## 2. 道路橋示方書に規定される基礎の概要と設計に必要な地盤条件

### 2.1 橋梁基礎の設計に必要な地盤条件とその基本的な取り扱い

#### (1) 橋梁設計における基礎の解析モデルの概要とこれに必要な地盤条件

橋梁基礎の設計実務では、FEM解析のような精緻な解析モデルを用いるのではなく、基礎を支持する地盤を上限値を有する地盤ばねとしてモデル化し、この上限値や地盤ばねの値を地盤調査結果から地盤条件（定数）として与えている。また、設計に用いる荷重のうち、耐震設計の基本となる設計水平震度（地震の際の慣性力を決定する値）は、地盤調査の結果から決定した地盤条件によって推定される。

このような実務設計の概念を図-2.1及び表-2.1に示す。

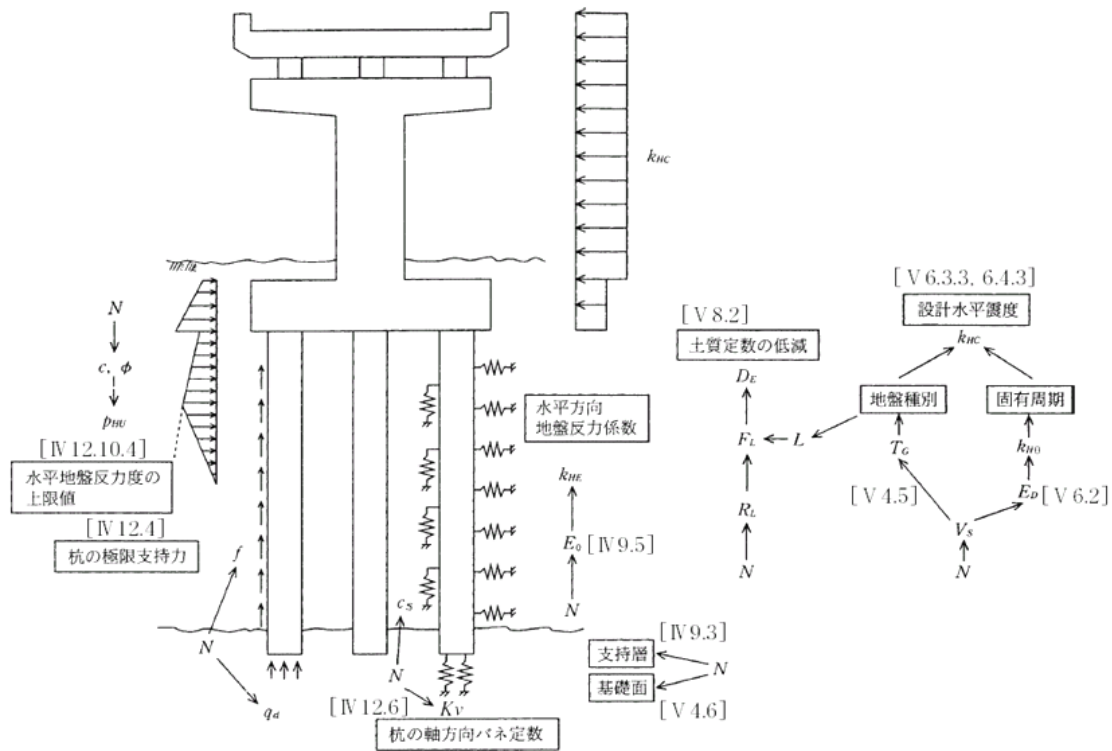


図-2.1 基礎の設計に必要な地盤条件（杭基礎の場合）<sup>4)</sup>

表-2.1 地盤条件から推定する荷重と抵抗の例（杭基礎の場合）

地盤条件		荷重と抵抗の別		地盤条件から推定される設計諸量	備考	
		荷重	抵抗			
変形特性	変形係数 E	常時, L1 地震時, L2 地震時設計用	—	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤の変形係数 <math>E_0</math></li> <li>水平方向地盤反力係数 <math>k_H</math></li> </ul>	
	せん断弾性波速度 $V_s$ (せん断弾性係数 G)	橋の固有周期産出, 耐震設計用	○	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤の固有周期 <math>T_g</math></li> <li>地盤種別</li> </ul>	
強度特性	粘着力 c	非排水条件 (粘性土の場合)	—	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎前面の水平地盤反力度の上限値 <math>p_{H0}</math> (受働土圧強度)</li> <li>基礎周面の極限周面摩擦力度 <math>f_u</math></li> <li>基礎底面 (先端) の極限支持力度 <math>q_d</math></li> </ul>	
	内部摩擦角 $\phi$	排水条件 (砂質土の場合)	—	○	・ 同上	
標準貫入試験	N 値	—	—	○	・ 支持層の評価	
	N 値 (変形係数 E)	—	—	○	(変形係数に同じ)	$N > 5$ 以上の場合のみ
	N 値 (せん断強度 c, $\phi$ )	—	—	○	(強度特性に同じ)	同上
	N 値 (液化化強度比 $R_{120}$ )	—	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>液化化抵抗率 FL</li> <li>土質定数の低減 DE</li> </ul>	N 値からの推定を推奨

※◎：特に留意すべき事項，○：留意することが望ましい事項

## 2.2 道路橋示方書 IV下部構造編に規定される基礎の概要

道路橋示方書 IV下部構造編には、直接基礎（10章）、ケーソン基礎（11章）、杭基礎（12章）、鋼管矢板井筒基礎（13章）、地中連続壁基礎（14章）、深礎基礎（15章）の6つの基礎についての規定が記載されている。これら基礎のうち、最も代表的な直接基礎、ケーソン基礎、杭基礎を例に、設計モデルの概要と設計に必要な地盤条件をまとめて以下に示す。

### （1）直接基礎

直接基礎の設計で満足しなければならない項目とそれに必要な設計諸量及びそれを求めるために必要な地盤条件をまとめて表-2.2に示す。

なお、直接基礎の場合、基礎本体は剛体であり、かつ、基礎の変位が問題となることはほとんどないため、変位の照査を省略してよい（道示IV10.1解説中に規定）こととなっているため、基礎底面中心位置で集計された外力に対する基礎の抵抗の照査のみが基本となっている。

基礎の極限鉛直支持力を算出するために用いるせん断強度は、粘性土の場合には粘着力  $c$ （非排水せん断強度）を、砂質土の場合には内部摩擦角  $\phi$ （排水せん断強度）を用いることとなっている。土質力学的な厳密さを適用するとすれば、長期荷重に対しては排水強度を、短期荷重に対しては非排水強度を用いることが本来的であるが、直接基礎が建設される地盤の多くは、低拘束圧条件下での密な砂質地盤であり、一般に排水強度 < 非排水強度のため、設計での仮定が問題となることはないと考えられる。

表-2.2 直接基礎の設計照査項目とそれに必要な地盤条件

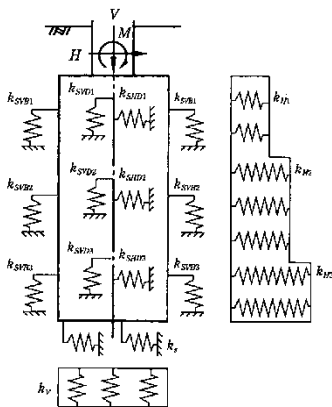
設計照査項目	照査の概要	必要な設計諸量	必要な地盤条件
基礎底面の鉛直支持力 (鉛直力に対する安定照査)	鉛直力が許容鉛直支持力以下であることを照査	極限鉛直支持力 $Q_u$ (Terzaghi の支持方式に準じた静力学公式により算出)	支持層のせん断強度 $c, \phi$
基礎の転倒 (転倒モーメントに対する安定照査)	転倒モーメントによる合力の作用位置が基礎底面の所要幅内にあることを照査	— (力の釣合のみで算出)	—
基礎底面の滑動 (水平力に対する安定照査)	水平力が許容せん断抵抗力以下であることを照査	極限せん断抵抗力 $H_u$ (基礎底面の摩擦係数 $\times$ 鉛直力)	基礎底面と地盤との間の摩擦角 $\phi_B$ (支持層の内部摩擦角 $\phi$ から推定)
基礎の変位 (外力に対する変位の照査)	外力によって生じる基礎の変位が許容変位以下であることを照査	一般に省略できる (算出する必要がある場合には、基礎底面地盤のせん断地盤反力 $k_s$ が必要)	算出する場合には、地盤の変形係数 $E$

(2) ケーソン基礎

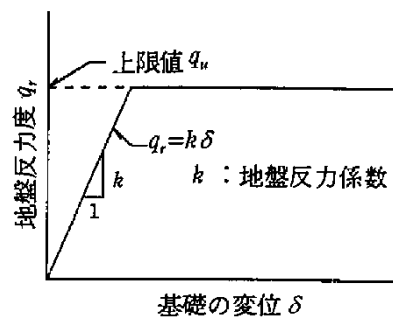
ケーソン基礎の設計で満足しなければならない項目とそれに必要な設計諸量及びそれを求めるために必要な地盤条件をまとめて表-2.3 に、また、設計モデルの概要を図-2.2 に示す。

表-2.3 ケーソン基礎の設計照査項目とそれに必要な地盤条件

設計照査項目	照査の概要	必要な設計諸量	必要な地盤条件
基礎底面の鉛直支持力 (鉛直力, モーメントによって生じる基礎底面の鉛直力に対する安定照査)	基礎底面に作用する鉛直力が許容鉛直支持力以下であることを照査	基礎底面の極限鉛直支持力 $Q_u$ (Terzaghi の支持方式に準じた静力学公式により算出)	地盤のせん断強度 $c, \phi$
基礎底面の滑動 (水平力, モーメントによって生じる基礎底面の水平力に対する安定照査)	基礎底面に作用する水平力が許容せん断抵抗力以下であることを照査	基礎底面の極限せん断抵抗力 $H_u$	基礎底面と地盤との間の摩擦角 $\phi_B$ (支持層の内部摩擦角 $\phi$ から推定)
基礎の変位 (外力に対する変位の照査)	外力によって生じる基礎の変位が許容変位以下であることを照査	杭軸直角方向地盤反力係数 $k_H$	地盤の変形係数 $E$
		水平地盤反力度の上限値 $p_{Hu}$	地盤のせん断強度 $c, \phi$



(a)解析モデルの概要



(b)杭軸直角方向の抵抗特性

図-2.2 ケーソン基礎の設計モデル

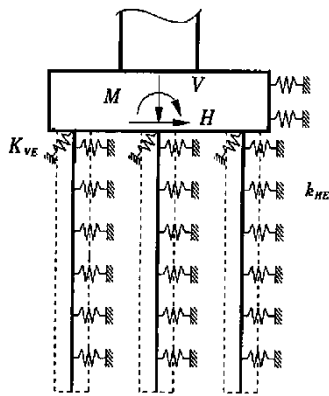
### (3) 杭基礎

杭基礎の設計で満足しなければならない項目とそれに必要な設計諸量及びそれを求めるために必要な地盤条件をまとめて表-2.4 に、また、設計モデルの概要を図-2.3 に示す。

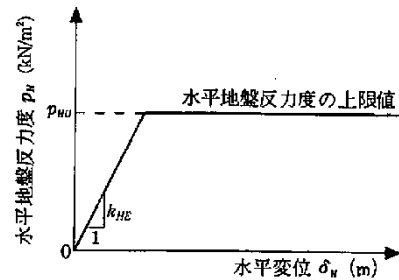
杭の支持力評価式は、実大実験の蓄積によって定められてきているため、支持力の推定には、粘性土を除き、N 値を使うことが基本となっている。

表-2.4 杭基礎の設計照査項目とそれに必要な地盤条件

設計照査項目	照査の概要	必要な設計諸量		必要な地盤条件
杭の鉛直支持力 (鉛直力、水平力、モーメントによって生じる鉛直力に対する安定照査)	外力によって杭頭に作用する鉛直力が杭頭における許容鉛直支持力以下であることを照査	杭の極限鉛直支持力 $P_u$	杭の極限先端支持力 (度) $Q_d$ ( $q_d$ )	・ 支持層の N 値 (砂質土) ・ 支持層の一軸圧縮強度 $qu$ (粘性土)
			杭周面の極限周面摩擦力度 $f$	・ 地盤の N 値 (砂質土) ・ 地盤の粘着力 $c$ (粘性土)
基礎の変位 (外力に対する変位の照査)	外力によって生じる基礎の変位が許容変位以下であることを照査	杭軸直角方向地盤反力係数 $k_H$	地盤の変形係数 $E$	
		水平地盤反力度の上限值 $p_{Hu}$	地盤のせん断強度 $c, \phi$	



(a) 解析モデルの概要



(b) 杭軸直角方向の抵抗特性

図-2.3 杭基礎の設計モデル

### 2.3 橋梁基礎の設計で留意すべき特殊な条件

#### (1) 液状化の判定 (道示 V 8.2)

平成 24 年の道示改定により、液状化の可能性のある土層については、全深度での物理試験の実施が求められている (道示 V 8.2.3 解説(1)中)。また、洪積地盤に対する液状化判定は原則行わなくてよいことが明記された (道示 V 8.2.3 解説(1)3) 中)。これらは、基礎の諸元に大きな影響を与える液状化判定の精度を高めることが目的であり、さらに、過度な安全側の設計を行わないための記述でもある。

調査の実施や結果の評価にあたっては、この規定の改定の意図を十分に理解の上、適切な運用が必要である。

#### (2) 偏荷重を受ける基礎の側方移動の判定 (道示 IV 9.9)

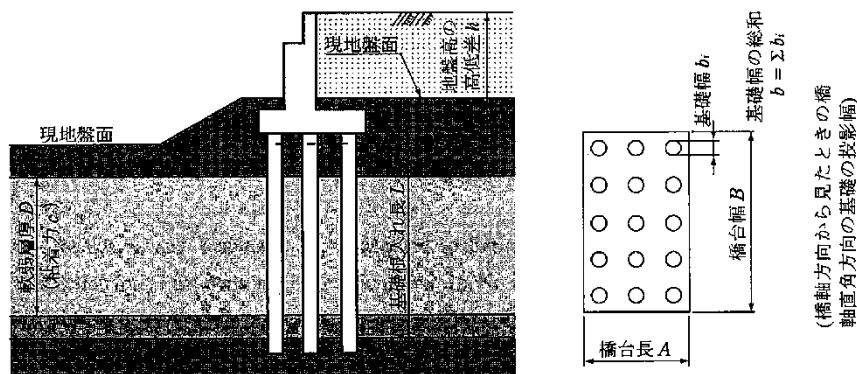
図-2.4 に示すような偏荷重をうける状況において、基礎地盤が軟弱な場合には基礎が側方変位を生じ

る可能性がある。

道示では、このような状態における側方移動の可能性を判定する照査方法として I 値を用いた照査を示している。この照査は図-2.4 中に示すように地盤の粘着力  $c$  と基礎の諸元とから側方移動判定値  $I$  を求め、これが過去の事例分析によって定めた閾値(1.2)未満かどうかによって側方移動の可能性を判定する。

したがって、このような条件下で計画されている橋梁の調査を行う場合には、側方移動の可能性についても検討が必要である。

なお、側方移動の判定方法としては、道示の I 値以外に、NEXCO 設計要領Ⅱ集の F 値がある。F 値についても、過去の側方移動例データから判定指標を定め、閾値を決定したものであるが、取りまとめの時期が古く、やや安全側過ぎる値を与える傾向がある。



$$I = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \frac{\gamma h}{c}$$

ここに、

- $I$  : 側方移動判定値
- $\mu_1$  : 軟弱層厚に関する補正係数で、 $\mu_1 = D/L$
- $\mu_2$  : 基礎の抵抗幅に関する補正係数で、 $\mu_2 = b/B$
- $\mu_3$  : 橋台の長さに関する補正係数で、 $\mu_3 = D/A$  ( $\leq 3.0$ )
- $\gamma$  : 盛土材料の単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $h$  : 上図に示す地盤高の高低差 (m)
- $c$  : 軟弱層の粘着力の平均値 ( $\text{kN/m}^2$ )
- $D$  : 軟弱層の厚さ (m)
- $A$  : 橋台長 (m)
- $B$  : 橋台幅 (m)
- $b$  : 基礎幅の総和 (m)
- $L$  : 基礎根入れ長 (m)

図-2.4 側方移動の判定

(3) 支持層以深の地層の圧密沈下の判定 (道示Ⅳ 9.9 解説 4))

平成 24 年の道路橋示方書改定に際して、支持層より下にある粘性土層の圧密沈下の可能性に対する判定方法が明記された。本編 1.1.2(1)に示す基礎の沈下事例のように、支持層が比較的薄く、その下層に



粘性土が堆積している場合には、基礎からの増加荷重による圧密沈下の可能性について検討が必要である。

道示の規定を抜粋して図-2.5に示す。一般には基礎幅の3倍の深さを目安に試験の必要性を判断すればよいと考えるが、ケーソン基礎が採用されるような河川内橋脚の場合には、基礎幅の3倍の範囲がかなり大きくなるため、粘性土層に対する検討の必要性の判断は慎重に行う必要がある。

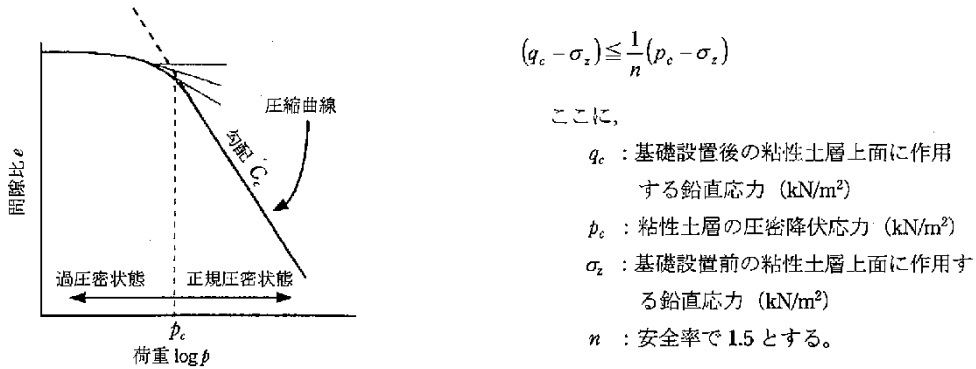


図-2.5 圧密沈下の照査

## 2.4 地盤条件の設定における留意事項

道示IV 2.2.4に示される設計に用いる地盤定数の評価の項から主要な内容を抜粋して以下に示す。

### (1) ばらつき処理 (道示IV 2.2.4 解説1)

地盤定数評価の基本的な考え方として、道路橋示方書には、「地盤は複雑でばらつきの大い材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その地盤条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を考慮したうえで、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。」の記載がある。

さらに、地盤調査データのばらつき処理については、「自然地盤から得られる計測データは多様でしかもばらつくのが普通である。データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を求める必要がある。地盤定数の算出にあたっては、事前に計測データを吟味して異常値を除去し、必要な場合には補正を行い、計測データを整理する。これらを計測値の一次処理と呼ぶことがある。」とも示されている。

これらより、基礎の設計に用いる地盤条件は、当該地盤における計測値の一次処理（異常値の除去、補正を一次処理と称す）を行った上で、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが基本と考えられる。

これに対して、地盤調査結果に対して、平均値 -  $\alpha \times \sigma$  ( $\alpha$  : 1/2 ~ 1.0,  $\sigma$  : 標準偏差) を地盤定数の代表値として決定するという考え方もある。斜面安定解析や沈下計算のように地盤定数の安全側評価が設計に対して安全側の配慮として直結するような場合には、平均値を割り引いたものを代表値とすることも一つの方法ではあるが、橋梁設計は非常に複雑であり、地盤定数を安全側に決定することが必ずしも橋梁全体系として安全側の配慮とならない可能性がある。このため、橋梁設計のための地盤条件は、

調査結果の一次処理後のデータの平均値とすることが基本となる。

ただし、道路橋示方書にも示されているように、データのばらつきが非常に大きい場合、データ数が極めて少ない場合、地盤定数の変動に対する設計結果の感度が大きい場合には、上記のばらつきに応じた低減を考慮するなどの考え方を採用するなど、状況に応じて考え方を变えることも、考慮する必要があるだろう。

## (2) 標準貫入試験のN値の利用

橋梁設計の多くの場面で標準貫入試験のN値及びN値からの推定値を用いる可能性がある。

しかしながら、1.に示したように基礎の挙動を評価するための地盤条件は、その地盤が置かれている境界条件によってと変化するものであり、このような条件を考慮することのできない標準貫入試験の結果をもって、厳密な地盤評価は不可能であり、できる限り、地盤定数を直接的に評価できる地盤調査及び室内試験を実施することが望ましい。

また、N値を用いて地盤定数を評価する場合にも、標準貫入試験が比較的大きなエネルギーによる試験であることから、軟質な地盤の性状の評価には適していないため、道示では $N < 5$ の場合にはN値から推定値（せん断強度、変形係数）を用いてはならないとしていることに注意が必要である。

### 【参考文献】

- 1)白戸真大，前田良刀：地盤調査と地盤定数の評価方法，基礎工，vol.30，No.5，2002.5を加筆～修正
- 2)落合俊英：分かることと作ること，基礎工，vol.30，No.3，2002.3
- 3)龍岡 他：三軸試験と原位置試験法との関連,三軸試験法に関するシンポジウム，土質工学会，1991
- 4)木村嘉富：N値と地盤・杭の支持力，基礎工，vol.25，No.12，1997.12を一部修正