設楽ダムにおける地質調査について

令和3年5月

国土交通省 設楽ダム工事事務所

目　次

国土交通省

1. ダム本体建設に向けた各種調査について

1－1　代表的なダム型式
1－2　設楽ダムのダム型式
1－3　ダム建設にあたり必要とされる基礎地盤と主な地質調査
1－4　地質調査（第四紀断層調査）
1－5　地質調査（ダム基礎の調査）
1－6　地質調査の実施状況

2. 地質調査結果について

2－1　第四紀断層調査の結果
2－2　ダムサイトの地質
　　【参考】岩石の種類
2－3　ダムサイトの断層
2－4　ダムサイトの岩級
　　【参考】ダムサイトの岩級
2－5　岩盤の透水性

3. その他

3－1　ダムの貯水について
3－2　二重山稜状の地形について

1．ダム本体建設に向けた各種調査について

1-1 代表的なダム型式

国土交通省

●ダムの種類は大きく分けると、本体を①コンクリートでつくる「コンクリートダム」と、②岩石や土を積み上げてつくる「フィルダム」があります。

代表的なダム型式

- ①コンクリートダム
  - 重力式コンクリートダム
  - アーチ式コンクリートダム
- ②フィルダム
  - ロックフィルダム
  - アースダム

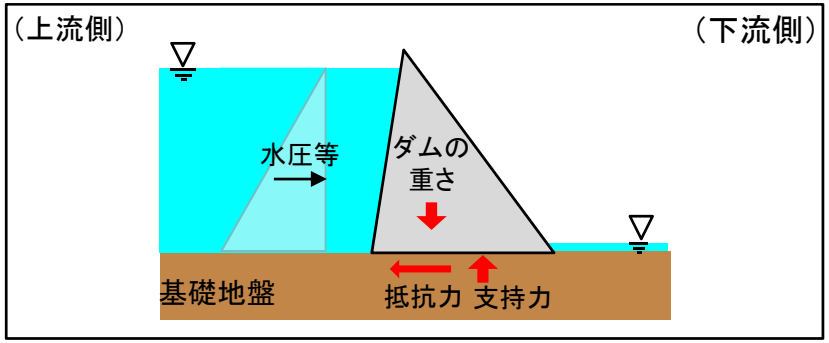
1-2 設楽ダムのダム型式

国土交通省

●設楽ダムは、高い強度の基礎地盤があるため、「重力式コンクリートダム」を採用しています。

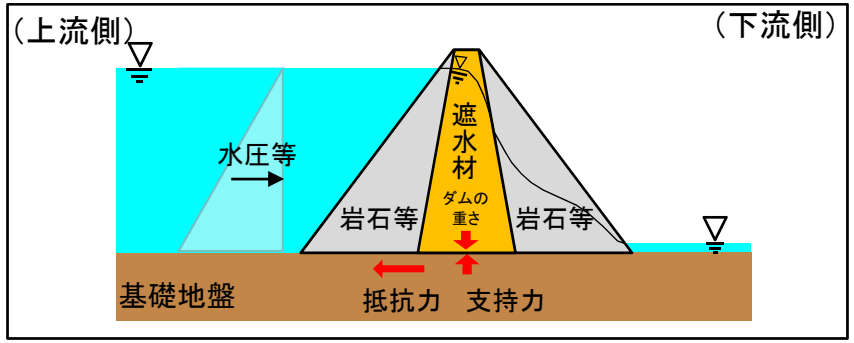
重力式コンクリートダム

貯水池の水圧等に対して、ダムの重さ及び基礎地盤の抵抗力で支える型式のコンクリートダムです。
したがって、高い強度の基礎地盤が必要となります。



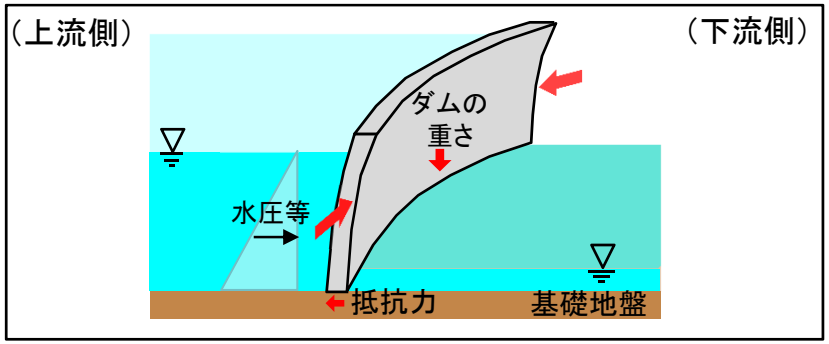
ロックフィルダム

中央に遮水材を設け、これを支えるように上下流に岩石等の材料でダムを築堤する型式です。堤体の基礎を広くとるため、コンクリートダムに比べて高い強度の基礎地盤は必要としません。



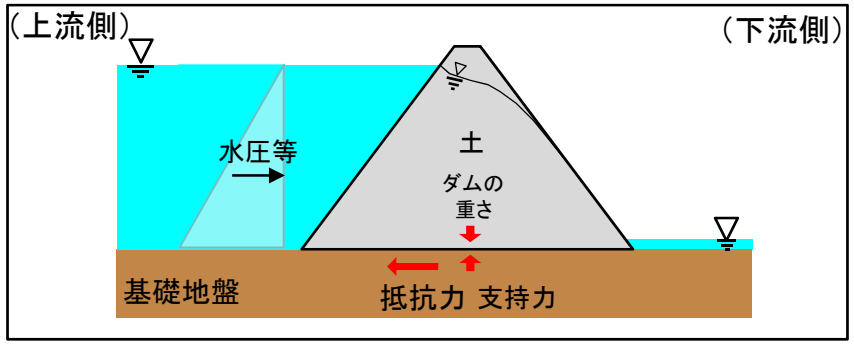
アーチ式コンクリートダム

貯水池の水圧等に対して、両岸及び基礎の地盤の抵抗力で支える形式のコンクリートダムです。
したがって、両岸及び基礎地盤で高い強度が必要となります。



アースダム

主に土を材料とするダムです。堤体の基礎を広くとるため、コンクリートダムに比べて高い強度の基礎地盤は必要としませんが、堤高が高いダムには適用されません。



1-3 ダム建設にあたり必要とされる基礎地盤と主な地質調査

国土交通省

●重力式コンクリートダムには、次の条件を満足する基礎地盤が必要です。

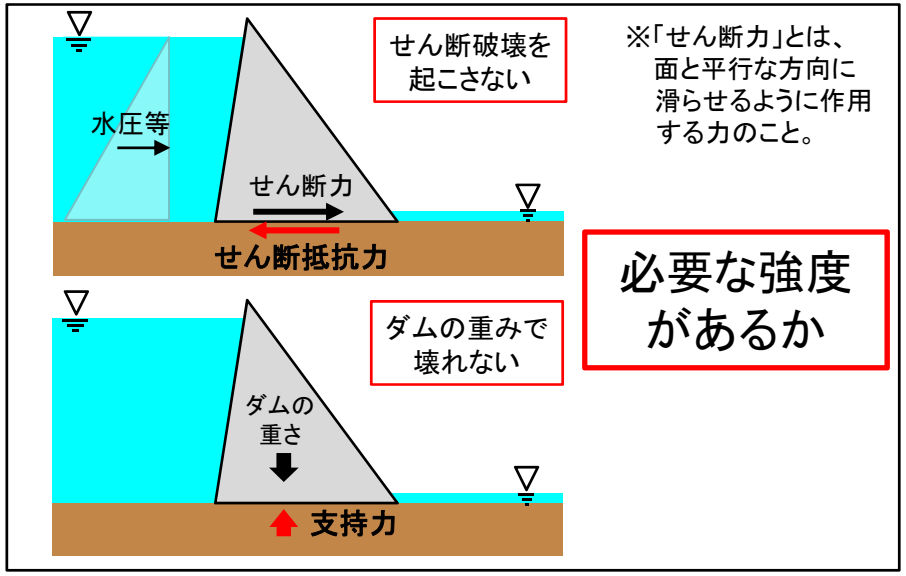
①ダム敷にダム建設に支障となる第四紀断層がない。

②予想される荷重に対して必要な強度を有する。

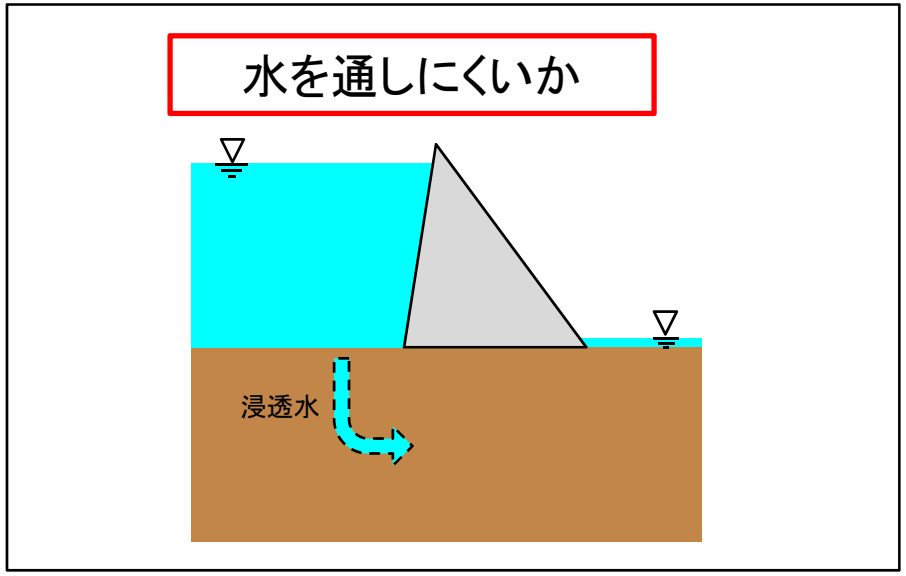
③水を通しにくい、または止水改良できる地盤である。　　等

上記のような基礎地盤であるかを確認するため、地質調査等を行っています。

必要とされる基礎地盤



※「せん断力」とは、面と平行な方向に滑らせるように作用する力のこと。



主な地質調査

■条件

①ダム敷にダム建設に支障となる第四紀断層がない。

②予想される荷重に対して必要な強度を有する。

③水を通しにくい、または止水改良できる地盤である。

■地質調査

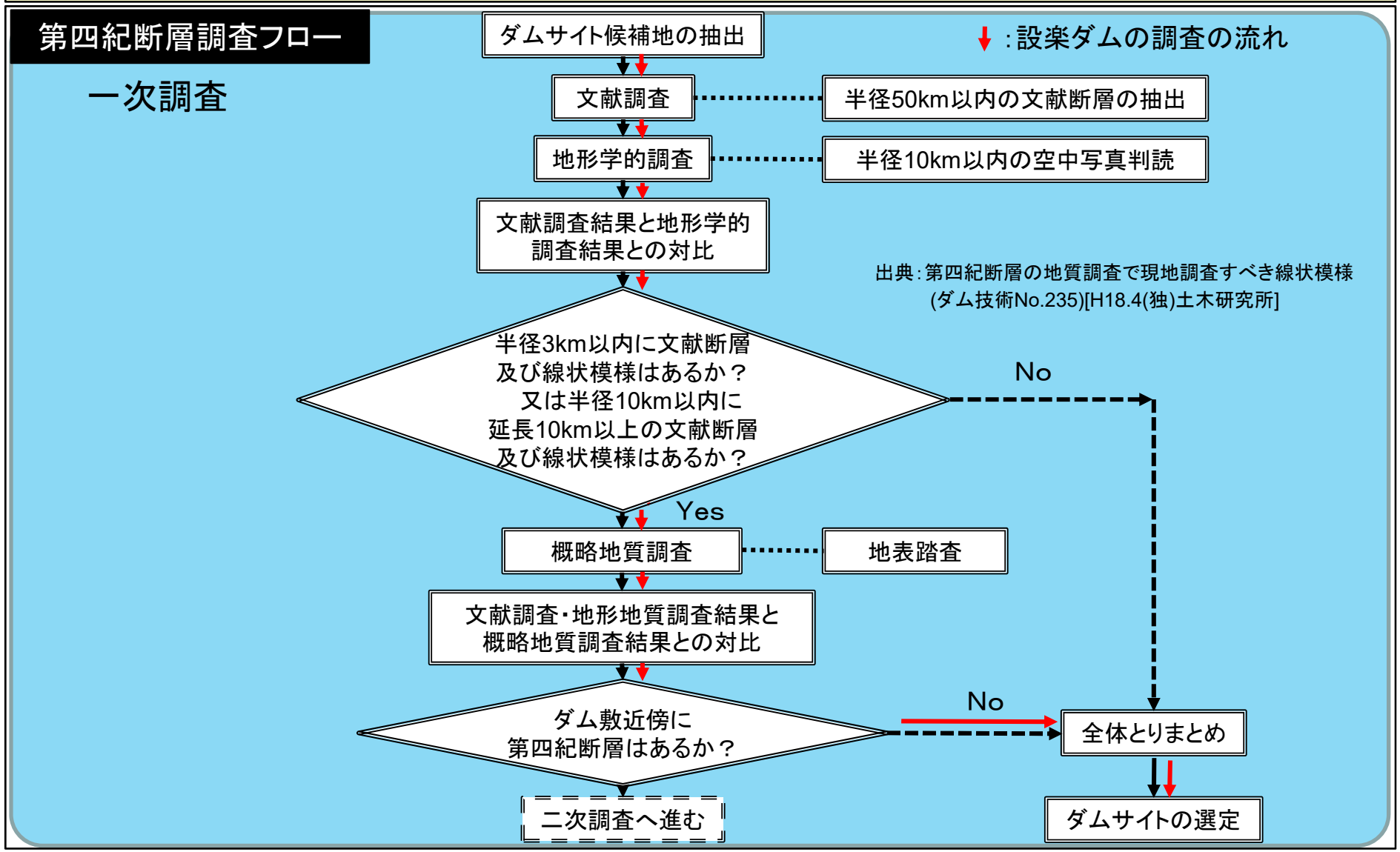
①→ 第四紀断層調査

②③→ ボーリング調査、横坑調査、ルジオンテスト等

1-4 地質調査（第四紀断層調査）

国土交通省

●ダム建設における第四紀断層の調査の内容と方法は「第四紀断層の調査（河川砂防技術基準調査編）」等の技術資料と文献によって示されており、設楽ダムにおいてもこれらの技術資料等に基づき 第四紀断層調査を実施しました。



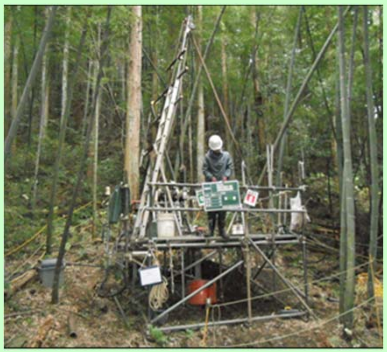
1-5 地質調査（ダム基礎の調査）

国土交通省

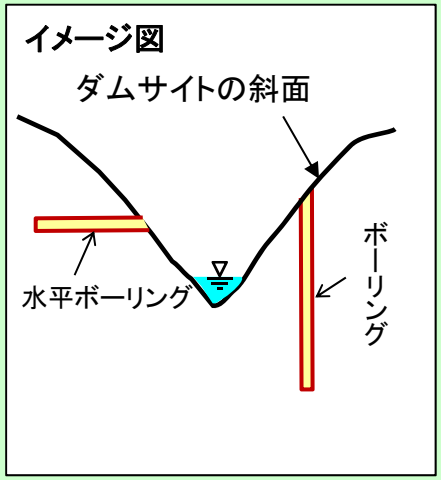
●ダム基礎の調査としては、主に「ボーリング調査」、「横坑調査」、「ルジオンテスト」等があります。

ボーリング調査

○ボーリング調査とは、岩盤に径66mmや86mmの孔をあけ、コア採取を行うことにより、地下に分布する地質や岩盤状況を確認する地質調査です。



ボーリングマシンの写真



ボーリングの模式断面図

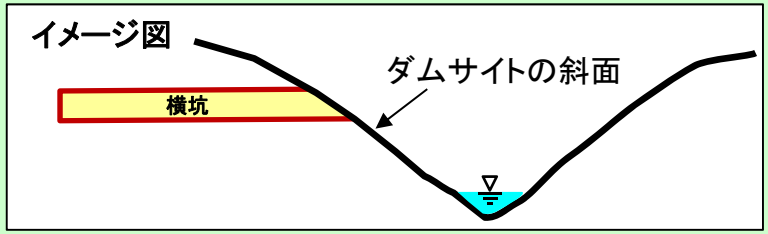
ボーリングコア
（抜き取った棒状の試料）

横坑調査

○横坑調査とは、人が中に入って歩ける程度の横穴（横坑）を掘り、横坑壁を観察して、岩盤の種類や硬さ、断層などを確認する地質調査です。

横坑内部の状況

横坑壁の観察状況



横坑の模式断面図

1-5 地質調査（ダム基礎の調査）

国土交通省

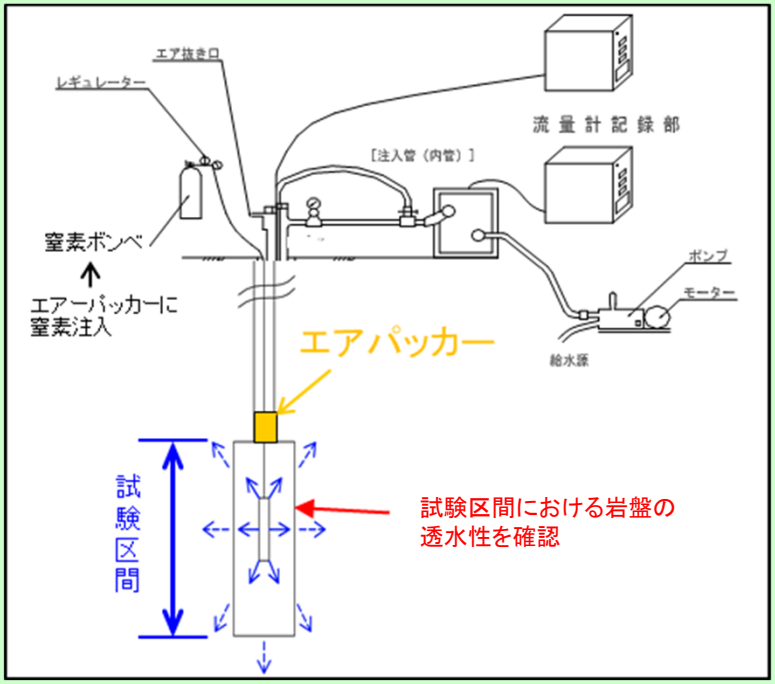
ルジオンテスト

○ルジオンテストとは、ボーリング孔を利用して、試験区間（通常5m）の上部をエアパッカー（気体等でゴムを膨らます装置）で区切り、試験区間内に水を注入し、岩盤の透水性を確認する試験です。
試験区間で注入圧の管理を行いながら注入量を計測し、注入圧（P）と注入量（Q）との関係から**ルジオン値**を求めます。

ルジオン値

○水深100m地点相当の水圧（0.98MPa）で注水したときの試験区間1mあたりの1分間の注水量（Q（ℓ/min/m））

ルジオン値の値は数字が小さいほど水を通さない岩盤であることを示します。
一般的に、2ルジオン以下は、非常に水を通しにくい岩盤、10ルジオンより大きい場合は比較的水を通しやすい岩盤とされています。



ルジオンテスト模式図

ボーリング孔を利用して、試験区間に水を注入し試験区間で注入圧の管理を行いながら注入量を計測する。
（写真右側のモニターで各種値が表示される。）

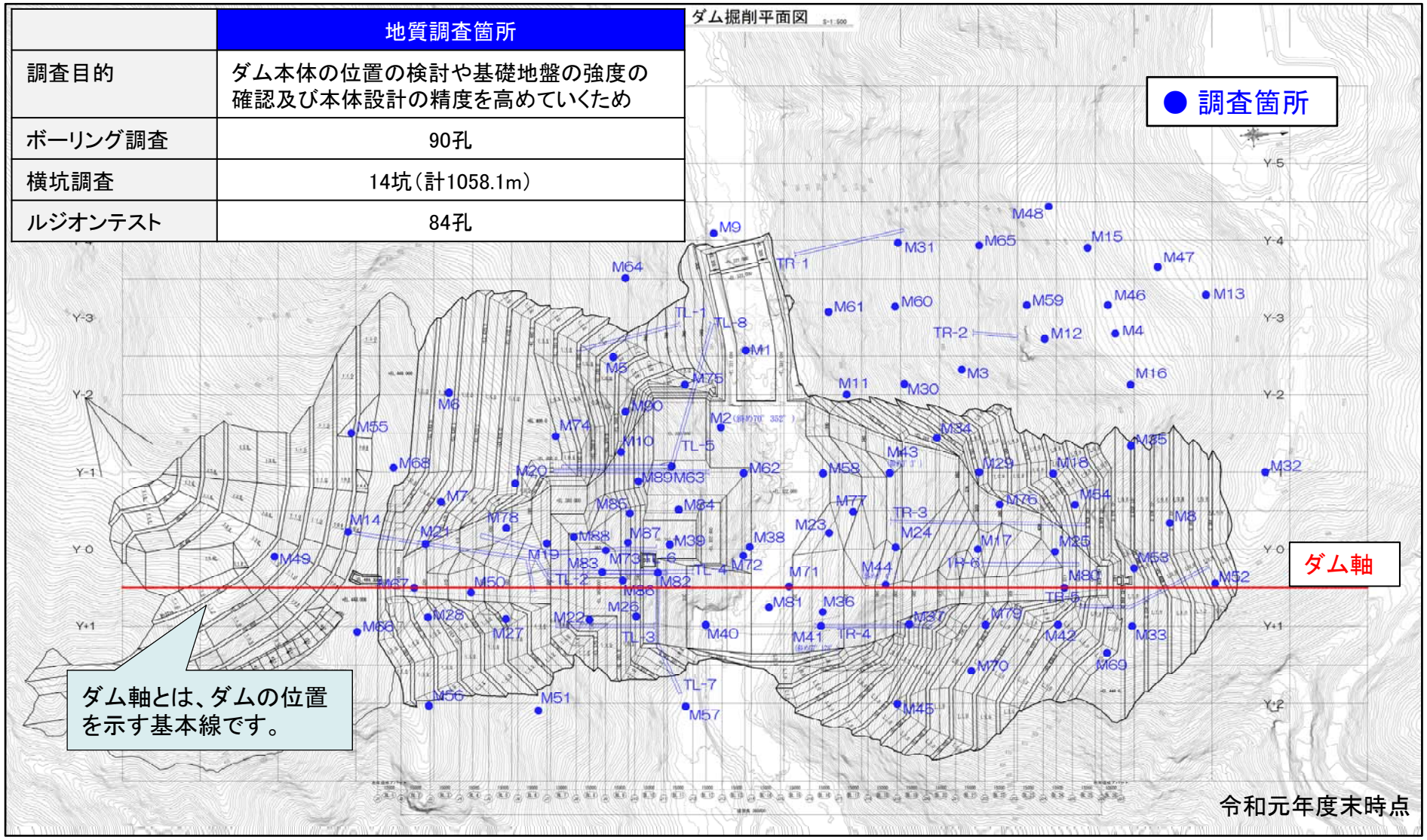
ルジオンテスト実施状況写真

1-6 地質調査の実施状況

国土交通省

●実施してきたダム本体に関する地質調査箇所は、以下のとおりです。

	地質調査箇所
調査目的	ダム本体の位置の検討や基礎地盤の強度の確認及び本体設計の精度を高めていくため
ボーリング調査	90孔
横坑調査	14坑（計1058.1m）
ルジオンテスト	84孔



2. 地質調査結果について

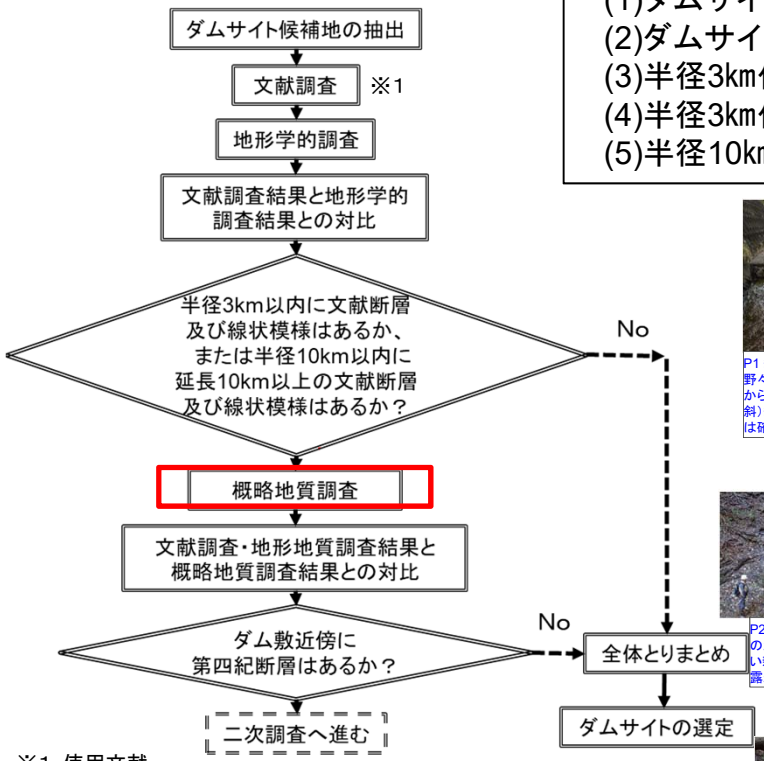
2-1 第四紀断層調査の結果

国土交通省

●文献調査、地形学的調査の結果より、半径3km以内における文献断層及び線状模様と半径10km以内における延長10km以上の文献断層及び線状模様について、概略地質調査（地表踏査）を実施しています。

概略地質調査

■調査フロー



○文献調査結果、地形学的調査結果等より、以下の文献断層及び線状模様について、概略地質調査（地表踏査）の対象とし調査を実施しています。

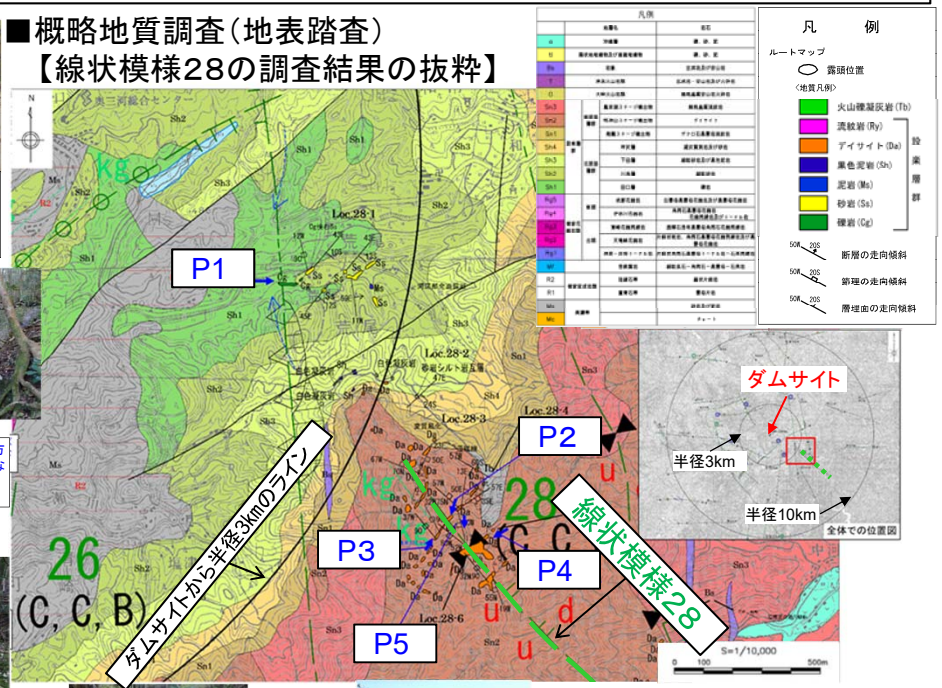
(1)ダムサイトから半径 3km以内に位置する線状模様 :7条
(2)ダムサイトから半径10km以内に位置する延長10km以上の線状模様 :2条
(3)半径3km付近まで延びている線状模様 :1条
(4)半径3km付近まで延びている文献断層 :1条
(5)半径10km以内にわずかにかかる延長10km以上の文献断層 :1条

■概略地質調査（地表踏査）
【線状模様28の調査結果の抜粋】

P1 線状模様の北西部延長部の野々瀬川河床。砂岩および礫岩からなる全面露岩（10°程度南傾斜）線状模様方向の断層、割れ目は確認できない。

P2 線状模様の北東側、堰堤上方の沢床状況。ほとんど割れ目がない新鮮なデイサイト(※2)の全面露岩。

P3 線状模様の北東側、堰堤上方の沢床状況。ほとんど割れ目がない新鮮なデイサイトの全面露岩。



P4 線状模様の北東側の沢に見られる全面露岩。ほとんど割れ目の無い全面デイサイトからなる。

P5 線状模様の通る尾根から南東部を望む。線状模様とほぼ直交する尾根に遷緩線(※3)が確認される。

※1：使用文献
（第四紀断層に関わる既往の文献）
・新編日本の活断層（活断層研究会 1991）
・新編日本の活断層―分布図と資料（活断層研究会 1991）
・活構造図『京都』（地質調査総合センター 2002）
・活断層詳細デジタルマップ（中田高・今泉俊文編 2002）
・活断層詳細デジタルマップ〔新編〕（今泉・宮内・堤・中田編 2018）
・愛知県と周辺地域における活断層と歴史地震の分布図（愛知県防災会議地震部会 1979）
・愛知県活断層アトラス（愛知県防災会議地震部会 1997）

※2：デイサイト
・花崗閃緑岩に相当する化学組成をもつ火山岩

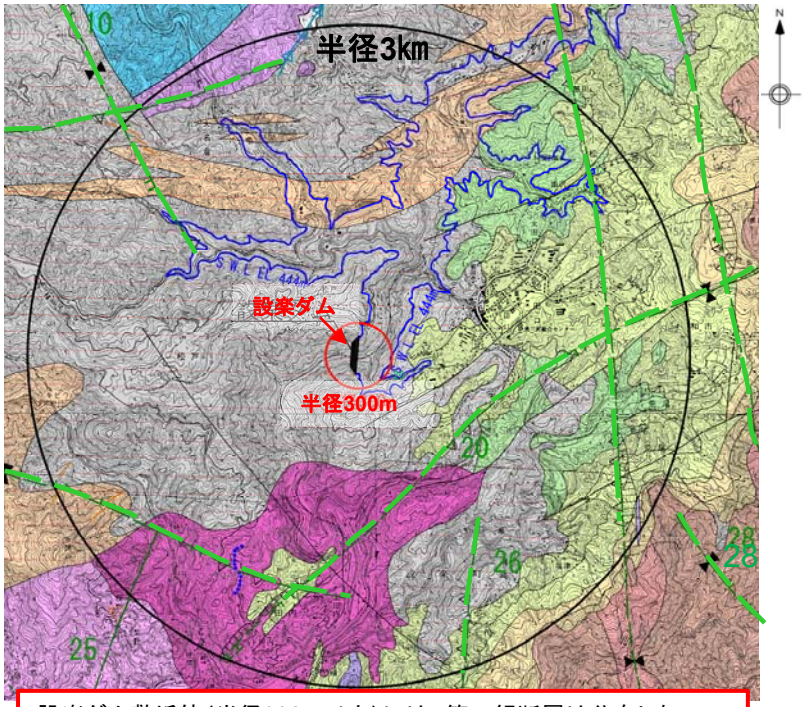
※3：遷緩線
・山地斜面を尾根から見下ろしたとき、急に傾斜がゆるくなる地点を結んだ線

2-1 第四紀断層調査の結果

国土交通省

●概略地質調査（地表踏査）により以下のとおり確認しています。
・調査対象とした文献断層及び線状模様は、第四紀に活動したことを示す地質情報は確認されない。
・調査対象とした文献断層及び線状模様は、いずれもダム敷近傍に延びない。
よって、**設楽ダム建設にあたり、支障となる「第四紀断層は存在しない」ことを確認しています**。

概略地質調査結果



設楽ダム敷近傍（半径300m以内）には　第四紀断層は分布しない。

線状模様の分類基準

記号	分類	定　義
	L1	ごく最近（第四紀程度）の変位を示す地形の確からしさの最も高い線状模様
	L2	L1に準じ、変位を示す地形である確からしさのやや高い線状模様
	L3	L2に準じ、変位を示す地形である確からしさの最も低い線状模様。他の要因も考えられるもの。

※L1，L2は存在していない。

― 地質断層（地質の文献で確認した断層）

凡　例

	地層名			岩石
a	沖積層			礫、砂、泥
tl	扇状地堆積物及び崖錐堆積物			礫、砂、泥
Bs	岩脈			玄武岩及び安山岩
T	津具火山岩類			玄武岩・安山岩及び火砕岩
O	大峠火山岩類			無斑晶質安山岩火砕岩
Sn3	設楽層群	南設亜層群	鳳来湖ステージ噴出物	無斑晶質流紋岩
Sn2			明神山ステージ噴出物	デイサイト
Sn1			尾籠ステージ噴出物	ザクロ石黒雲母流紋岩
Sh4		北設亜層群	坪沢層	凝灰質頁岩及び砂岩
Sh3			下田層	細粒砂岩及び黒色泥岩
Sh2			川角層	細粒砂岩
Sh1			田口層	礫岩
Rg5	領家花崗岩類	新期	武節花崗岩	白雲母黒雲母花崗岩及び黒雲母花崗岩
Rg4			伊奈川花崗岩	角閃石黒雲母花崗岩、花崗閃緑岩及びトーナル岩
Rg3		古期	清崎花崗閃緑岩	透輝石含有黒雲母角閃石花崗閃緑岩
Rg2			天竜峡花崗岩	片麻状斑岩、角閃石黒雲母花崗閃緑岩及び黒雲母花崗岩
Rg1			神原・非持トーナル岩	片麻状角閃石黒雲母トーナル岩―石英閃緑岩
Mf			苦鉄質岩	細粒長石―角閃石―黒雲母―石英岩
R2	領家変成岩類		珪線石帯	縞状片麻岩
R1			菫青石帯	雲母片岩
Ms	美濃帯			砂岩及び泥岩
Mc				チャート

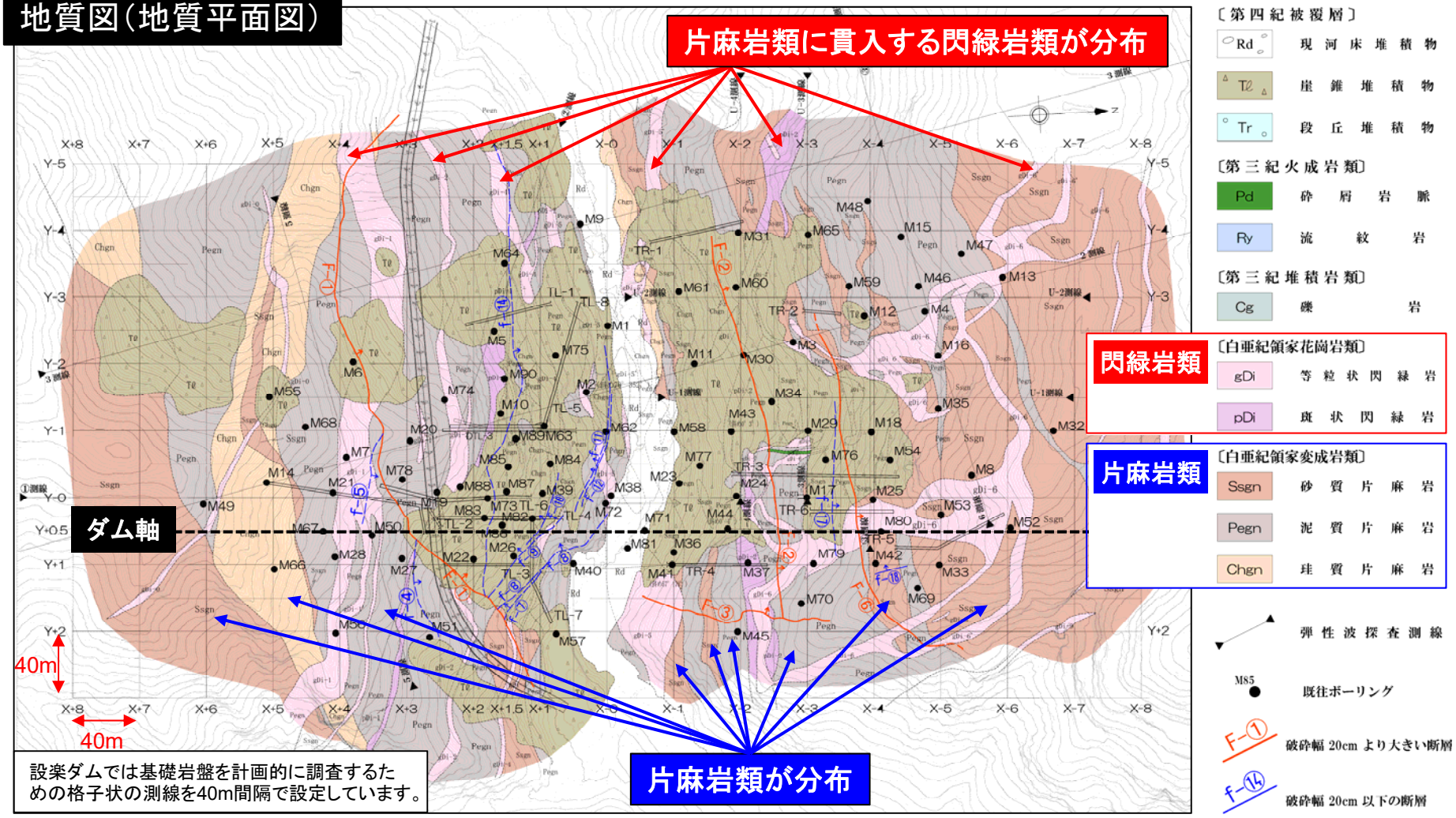
2-2 ダムサイトの地質

国土交通省

●設楽ダムのダムサイトの基礎地盤は主に片麻岩類とそれらに貫入する閃緑岩類から構成されています。

●地質図とは、地表・地中に分布する地質（岩）の種類等の分布や積み重なり方、断層等の地質構造を表現した地図のことです。現地の地表踏査、ボーリング調査、横坑調査の結果と地形等とを重ね合わせて作成します。

地質図（地質平面図）

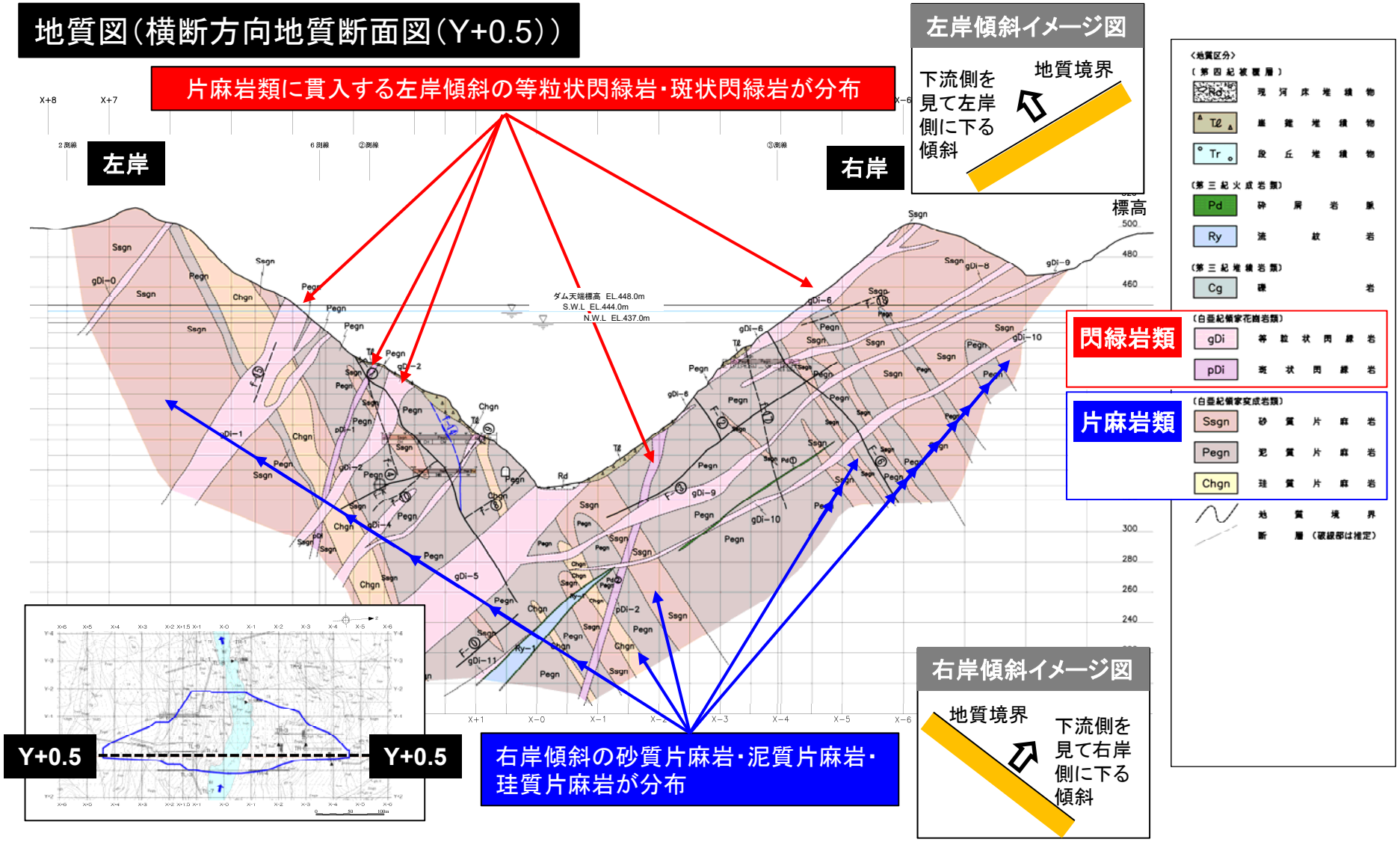


2-2 ダムサイトの地質

国土交通省

●主に片麻岩類（砂質片麻岩・泥質片麻岩・珪質片麻岩）が右岸傾斜（「イメージ図」参照）で分布し、それらに貫入する閃緑岩類（等粒状閃緑岩・斑状閃緑岩）が左岸傾斜（「イメージ図」参照）で分布しています。

地質図（横断方向地質断面図（Y+0.5））



【参考】岩石の種類

国土交通省

●岩石は大きく分けて、堆積岩、火成岩、変成岩に分類されます。
このうち、設楽ダムのダムサイトでは主に変成岩と深成岩で構成されます。

岩の種類

■ 一般的な岩石

第四紀被覆層		現河床堆積物、崖錐堆積物 段丘堆積物
堆積岩		礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩 石灰岩・チャートなど
火成岩	火山岩	流紋岩・安山岩・玄武岩、　など
	深成岩	花崗岩・閃緑岩・斑れい岩　など
変成岩		片岩・片麻岩・角閃岩・緑色岩　など

- 第四紀被覆層とは、基盤となる岩盤を覆う新しい地質時代の堆積物。
- 堆積岩とは、礫・砂・泥または火山灰や生物遺骸（チャートや石灰岩になる）などが堆積して固まった岩石。
- 火成岩とは、マグマが冷え固まった岩石。急激に冷え固まった火山岩とゆっくり冷えて固まった深成岩に分類される。
- 変成岩とは、すでにある岩石（堆積岩・火成岩）に熱や圧力が加わることにより変成作用（構成鉱物の組合せやその鉱物の化学組成が変化する現象）を被った岩石。

設楽ダムサイトの地質構成

第四紀被覆層		現河床堆積物、崖錐堆積物 段丘堆積物
堆積岩		設楽層群（砂岩・泥岩・礫岩） ※主に貯水池周辺に分布
火成岩	火山岩	流紋岩、砕屑岩脈
	深成岩	等粒状閃緑岩、斑状閃緑岩
変成岩		片麻岩（泥質・砂質・珪質）

【参考】岩石の種類

国土交通省

●設楽ダムのダムサイトの基礎地盤で、主に見られる閃緑岩類、片麻岩類の特徴は以下のとおりです。

【閃緑岩類】

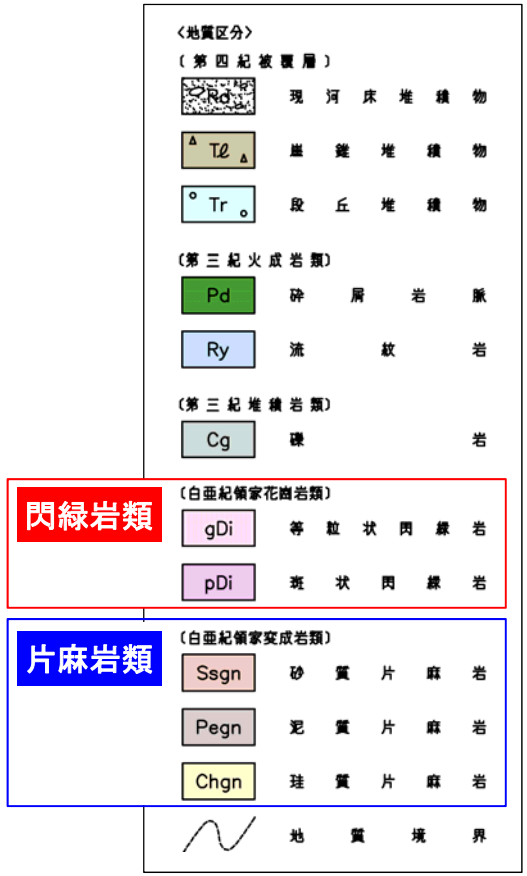
〇地下深部のマグマがゆっくり冷え固まってできた岩石。（火成岩：深成岩）

〇一般的に新鮮部であれば、<u>ダム基礎として十分な強度がある</u>。

【片麻岩類】

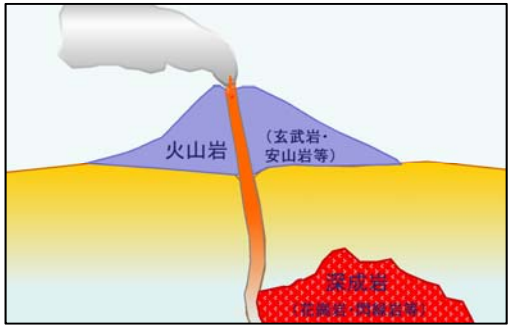
〇地下深部の高温低圧下で広い範囲で鉱物等が変化した岩石。（変成岩）

〇一般的に新鮮部であれば、<u>ダム基礎として十分な強度がある</u>。



閃緑岩類

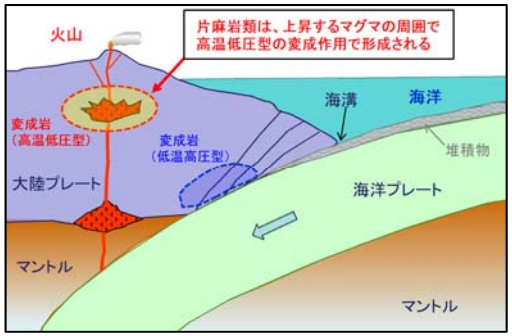
ダムサイトの閃緑岩は、構成している鉱物粒子がほぼ揃っている「等粒状閃緑岩」と斑状の鉱物が認められる「斑状閃緑岩」に分けられます。



閃緑岩類：深成岩のでき方（イメージ図）

片麻岩類

ダムサイトの片麻岩は、変成を受ける前の岩の種類の違いから、 泥質片麻岩（泥質岩が変成）、砂質片麻岩（砂岩が変成）、珪質片麻岩（チャートが変成）に分けられます。



片麻岩類：変成岩のでき方（イメージ図）

【参考】岩石の種類

国土交通省

設楽ダムのダムサイトのボーリングコア写真

【閃緑岩類】

等粒状閃緑岩

斑状閃緑岩

【片麻岩類】

泥質片麻岩

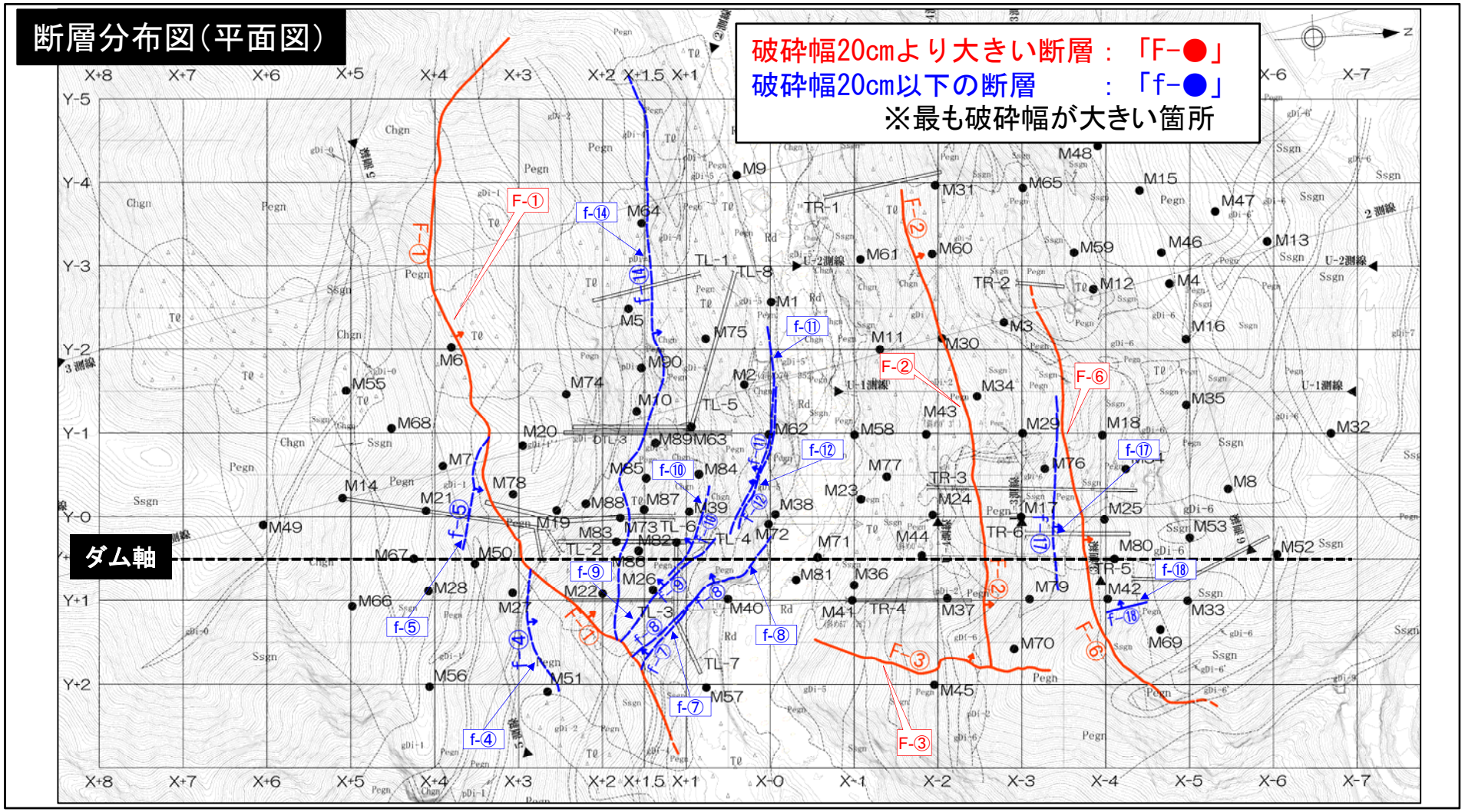
砂質片麻岩

珪質片麻岩

2-3 ダムサイトの断層

国土交通省

●設楽ダムのダムサイトに見られる断層は、ダム建設に支障となる（変位を起こす可能性のある）第四紀断層ではなく、地質断層であるため、ダム建設には問題ないと判断しています。
●断層分布図とは、現地の地表踏査、ボーリング調査、横坑調査の結果を踏まえ地形図に断層の分布状況を反映したものです。



2-3 ダムサイトの断層

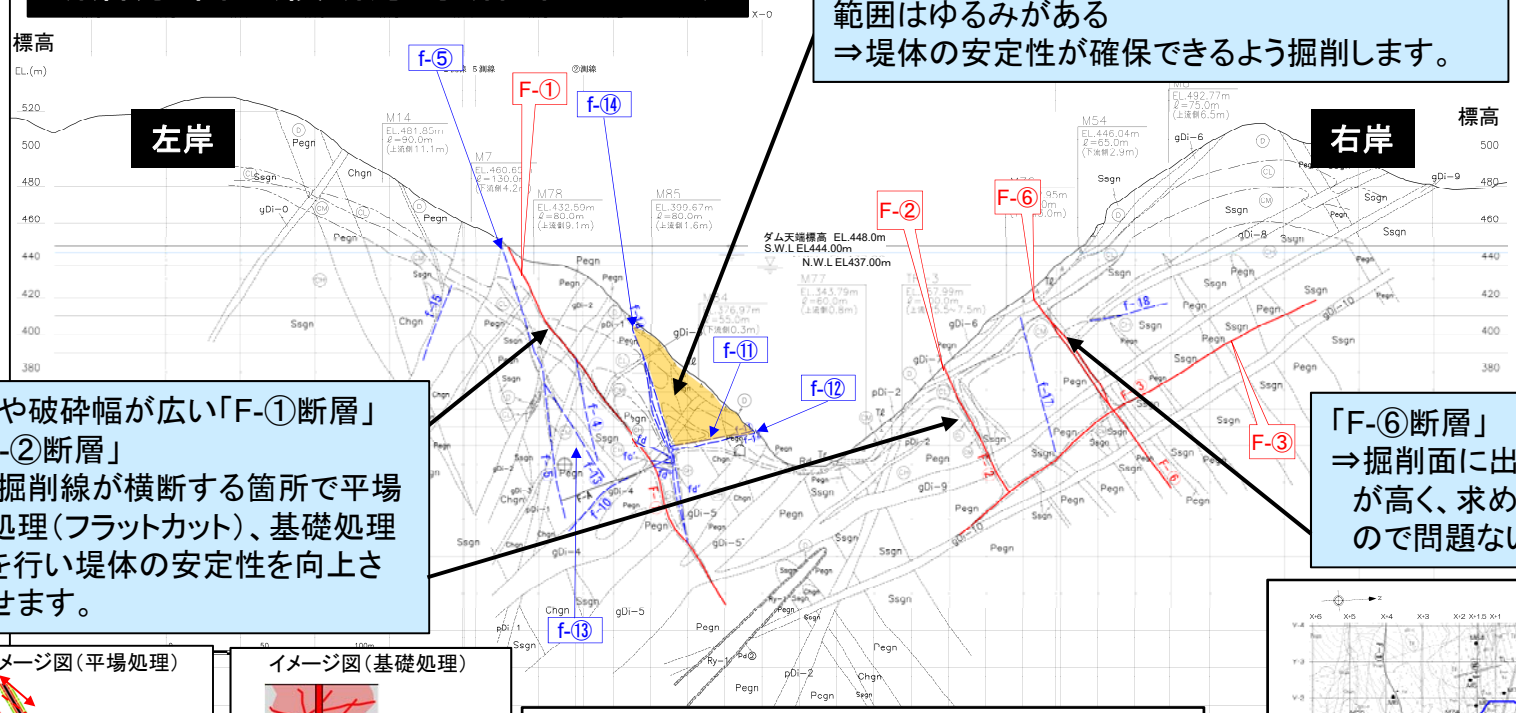
国土交通省

●やや破砕幅が広い「F−①断層」、「F-②断層」は、高角度の断層であり強度上の問題はありませんが、堤体の安定性を向上させるため、掘削線が横断する箇所で平場処理・基礎処理を行います。

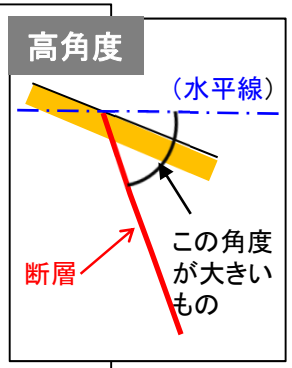
●「f-⑪断層」、「f-⑫断層」及び「f-⑭断層」で囲まれた範囲は、ゆるみがあり弱部となる可能性がある　ため、堤体の安定性が確保できるよう掘削除去します。

●その他の断層は横坑及びボーリング調査の結果から周辺部にゆるみがないことを確認しています。

断層分布図（横断方向断面図：Y-0.5）

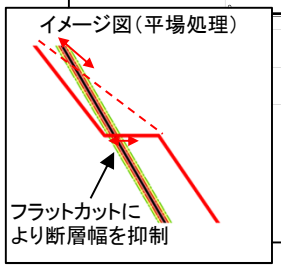


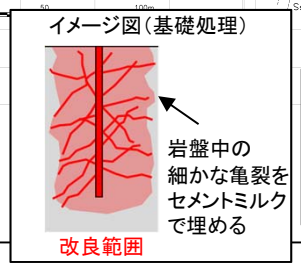
「f-⑪」、「f-⑫」断層及び「f-⑭」断層で囲まれた範囲はゆるみがある
⇒堤体の安定性が確保できるよう掘削します。



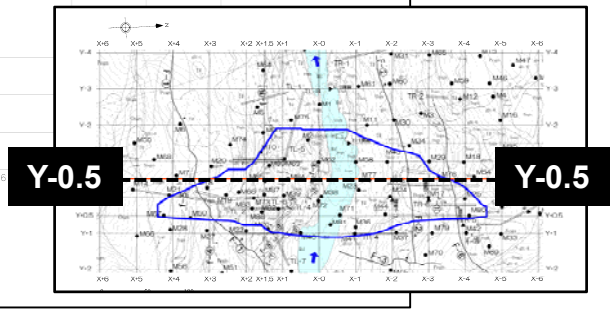
やや破砕幅が広い「F-①断層」「F-②断層」
⇒掘削線が横断する箇所で平場処理（フラットカット）、基礎処理を行い堤体の安定性を向上させます。

「F-⑥断層」
⇒掘削面に出現する位置は、標高が高く、求められる強度が小さいので問題ないと判断しています。





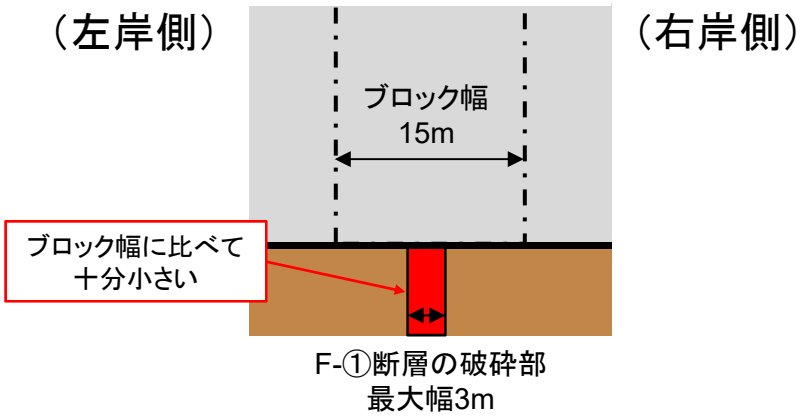
破砕幅20cmより大きい断層：「F−●」
破砕幅20cm以下の断層　　：「f−●」
※最も破砕幅が大きい箇所



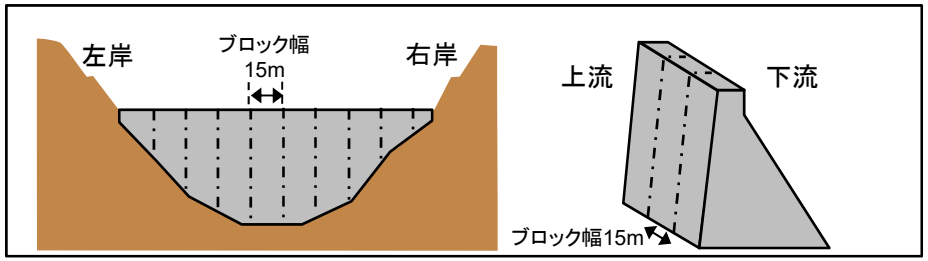
2-3 ダムサイトの断層

●設楽ダムでは、最も規模が大きい「F-①断層」でも破砕部は最大3m程度であり、ダム本体のブロック幅15mに対して十分に小さく、「F-①断層」の影響を見込んでも必要な強度は十分確保されているため、問題ないと判断しています。

最も規模が大きいF-①断層による影響の確認



イメージ図



仮にF-①断層の強度を「0」とした場合の岩盤のせん断強度：
2,000×12/15＝1,600kN/㎡
※基礎岩盤をCM級とし、F-①断層の強度を0kN/㎡とした場合
（実際にはF-①断層にも一定の強度があり、また基礎岩盤にはCM級より強度が強いCH級も分布しています。）

必要せん断強度：1,507kN/㎡
※F-①断層を横断するEL.360mで算出した値

⇒F-①断層の影響を見込んでも、必要なせん断強度は十分確保されており、堤体の安定性に問題はないと判断しています。

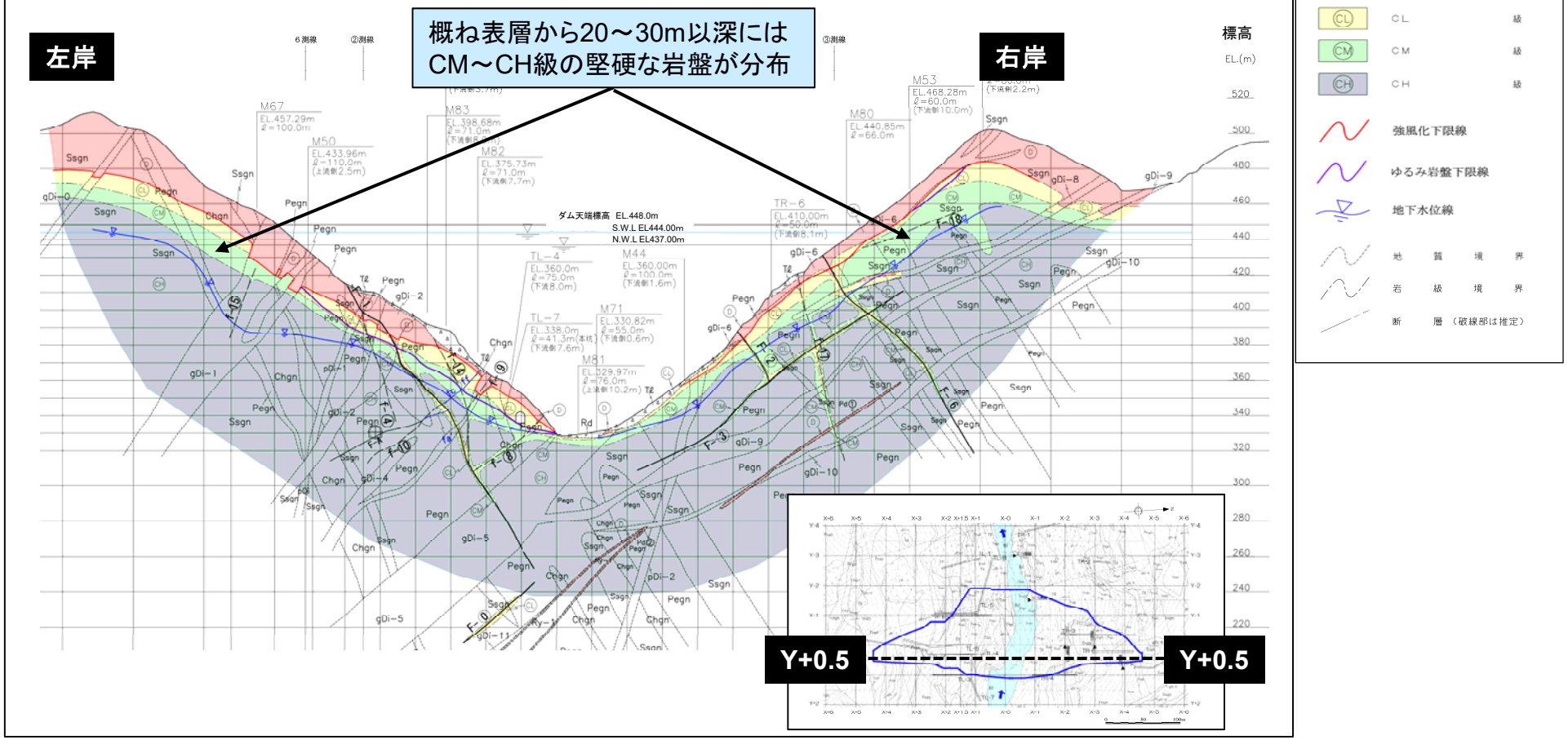
2-4 ダムサイトの岩級

国土交通省

●岩級区分を横断方向にゾーニングした岩級区分図より、概ね表層から20～30m以深にはCM～CH級の堅硬な岩盤が分布していることが確認できます。

●堤体の安定性を確保するため、必要な強度を満足する岩級に着岩するように、広く分布するCL級～D級岩盤は掘削します。

岩級区分図(横断方向断面図Y+0.5)



【参考】ダムサイトの岩級

国土交通省

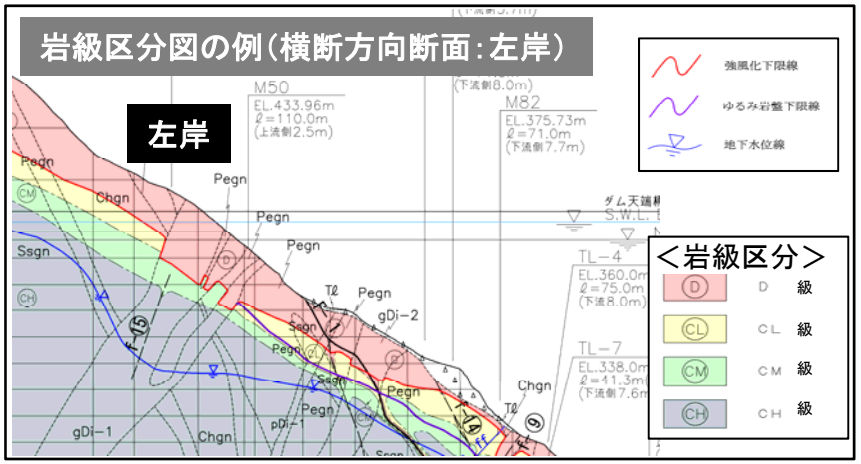
●岩級区分図とは、ダムの基礎地盤について、岩級区分細区分要素「岩盤の硬さ」・「割れ目の間隔」・「割れ目の状態」の組合せから岩盤の強さの程度を示す「岩級区分」の基準を作成し、各岩級区分の範囲を断面図等に示したものです。

岩級区分細区分要素

細区分要素	記号	特　　徴	評価
岩片の硬さ	A	新鮮・堅硬。ハンマーによる打撃で金属音（キンキン）を発する。	強い
	B	硬。ハンマーによる打撃で金属音（カンカン）を発する。	
	C	中硬、ハンマーによる打撃でやや濁音（コンコン）を発し、容易に割れる。	
	D	軟。ハンマーによる軽打で濁音（ボコボコ）を発し、バラバラに砕ける。	
	E	極軟、マサ状、粘土状。指圧でコアが崩せる。	弱い
割れ目の間隔	I	長さが 50cm 以上の棒状コア。	強い
	II	長さが 50～15cm の長柱状コア。	
	III	長さが 15～5cm の短柱状～片状コア。	
	IV	長さが 5cm 以下の短柱状～片状コア。	
	V	主として角礫状のもの。	
	VI	主として砂状のもの。	
	VII	主として粘土状のもの。	
	VIII	コア採取ができないもの。	弱い
割れ目の状態	α	新鮮・密着している。割れ目の酸化，変質は認められない。	強い
	β	割れ目の大半は酸化しているが、岩片はほとんど酸化していない。	
	γ	割れ目の全部が酸化するとともに、岩片自体が酸化または著しく茶褐色化している。	
	δ	流入粘土や木根の混入など、明瞭に開口している。 風化によるマサ状コア。	
	ε	断層、熱水変質による粘土状コア。	弱い

岩級区分の特徴（細区分要素の代表的な組合せ）とせん断強度

岩級区分	代表的な細区分組合せ	特　徴		せん断強度
CH級	A, II, α A, II, β B, II, α	強い	ダム高が高い箇所でも堤体基礎になる	$\tau = 3.0MN/m^2 + \sigma \tan 55°$
CM級	B, II, β B, III, β A, III, β		ダム高が中～低い箇所の堤体基礎になる	$\tau = 2.0MN/m^2 + \sigma \tan 50°$
CL級	B, III, γ B, IV, β B, III～IV, γ		堤体基礎とするのは困難	$\tau = 0.75MN/m^2 + \sigma \tan 45°$
D級	C, V, γ D, IV, γ D, V, δ	弱い	堤体基礎とするのは困難	―



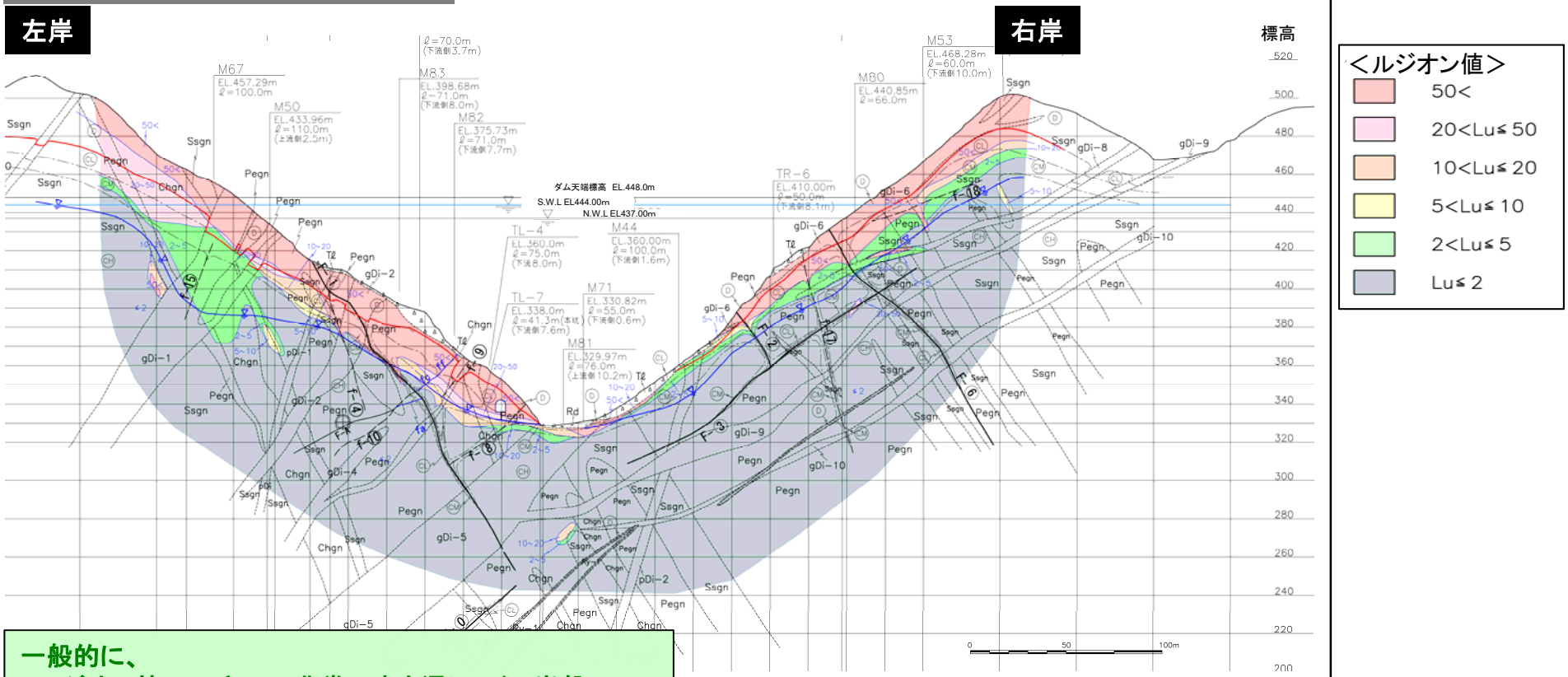
2-5 岩盤の透水性

国土交通省

●ダムの目的は水を貯めることにあるため、堤体の基礎地盤には強度のほか、遮水性も求められます。
一般的にダムでは基礎地盤からの漏水を防止するための基礎処理を行います。この基礎処理の計画はルジオンマップ等により策定します。

●ルジオンマップとは　岩盤の水の通りやすさを示す分布図であり、ルジオン値（Lu）を、2Lu以下、2～5Lu、5～10Lu、10～20Lu、20～50Lu、50Luより大きいゾーン等に分け、岩盤の地表からの風化状況、地質分布、断層等を考慮し、断面図をゾーニングした図面です。

ルジオンマップの例（横断方向断面）



一般的に、
ルジオン値　Lu≦2　：非常に水を通しにくい岩盤
ルジオン値　10＜Lu：比較的水を通しやすい岩盤

2-5 岩盤の透水性

国土交通省

●ダムサイトの地下水位は、左右岸ともに計画上の最高水位（サーチャージ水位：標高444m）以高の水位を確認しています。

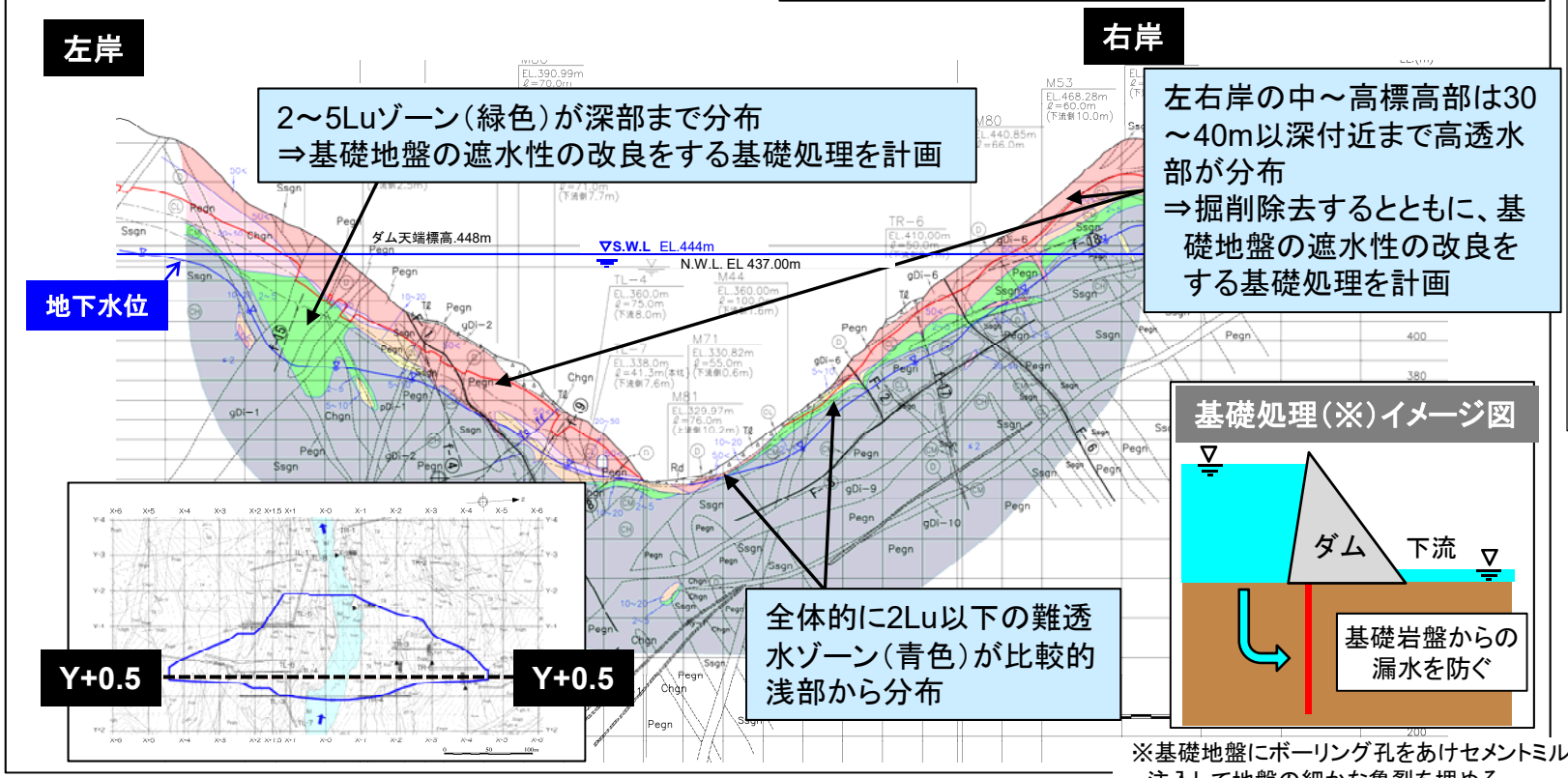
●左右岸の中～高標高部で分布している高透水部は、掘削除去します。

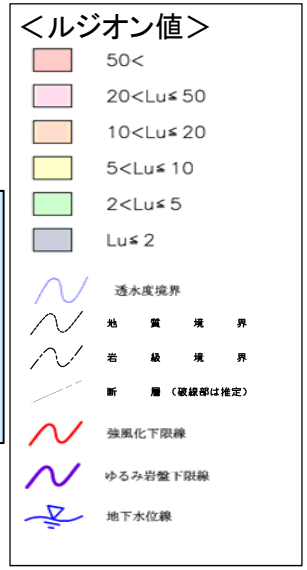
●また基礎地盤の遮水性を改良する基礎処理を計画します。

（一般的にダムでは基礎地盤からの漏水を防止するために基礎処理を実施します。）

ルジオンマップ(横断方向断面図Y+0.5)

■一般的な改良目標値
・掘削面～H：ダム高/2相当深度までは「2Lu」程度
・H：ダム高/2～1H：ダム高相当深度までは「5Lu」程度





※基礎地盤にボーリング孔をあけセメントミルクを注入して地盤の細かな亀裂を埋める。

3. その他

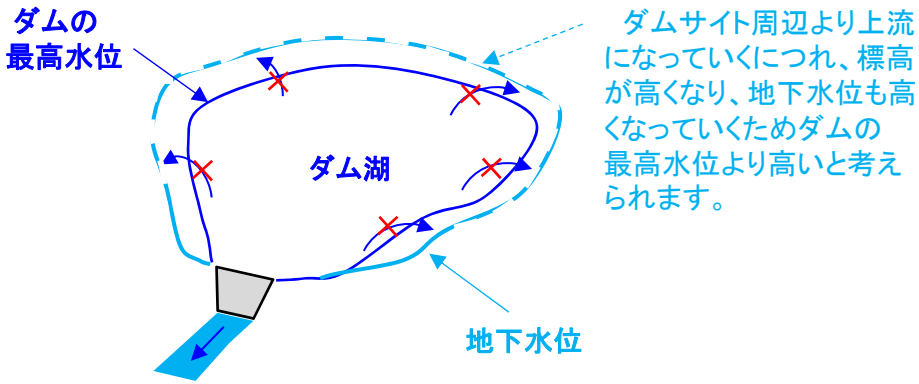
3-1 ダムの貯水について

国土交通省

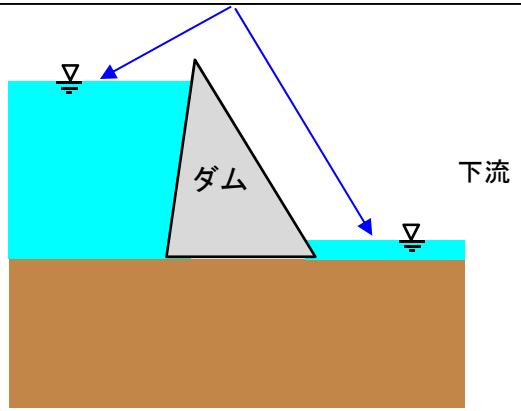
●水は高いところから低いところに流れます。ダムサイト周辺の地山の地下水位はダムの最高水位（計画上の最高水位=サーチャージ水位）より高いので、地山を通ってダム湖外へ漏水することはありません。
●ダムサイトについては、地山がなく水位差が生じますが、必要な強度が確保できる岩盤まで掘削した上で、さらに基礎処理を実施して問題となるような漏水を生じないようにします。
●またダム地点の左右岸近傍についても、地下水位の高さまで基礎処理を実施して、問題となるような漏水が生じないようにします。

貯水池周辺イメージ図

ダムサイト周辺の地山の地下水位はダムの最高水位より高いのでダム湖外へ漏水することはありません。

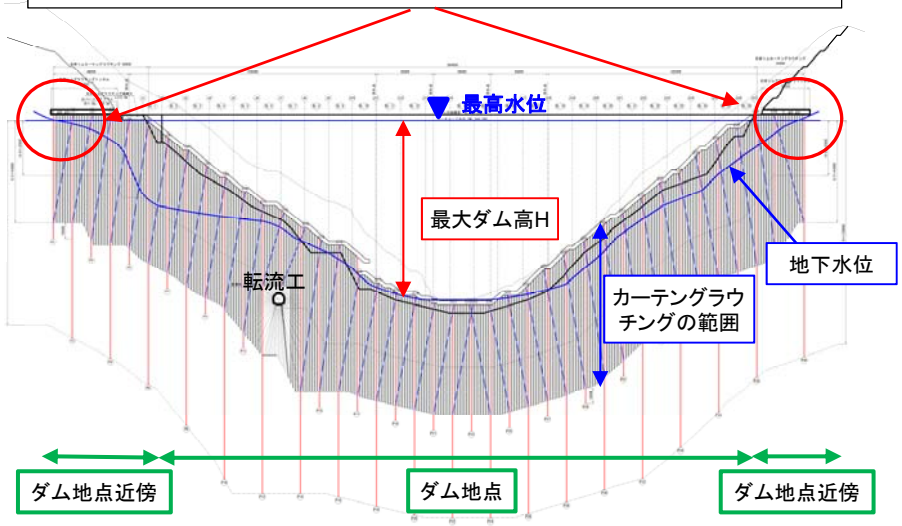


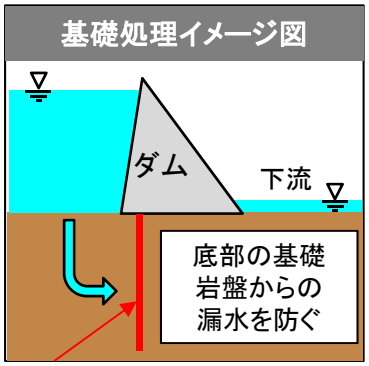
ダムサイトについては水位差が生じますが、必要な強度が確保できる岩盤まで掘削した上で、さらに基礎処理を実施します。

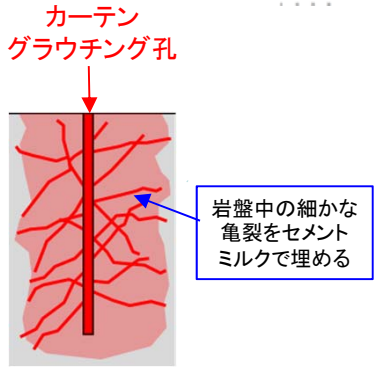


基礎処理イメージ図

ダム地点の左右岸近傍についても、地下水位の高さまでまで基礎処理を実施します。





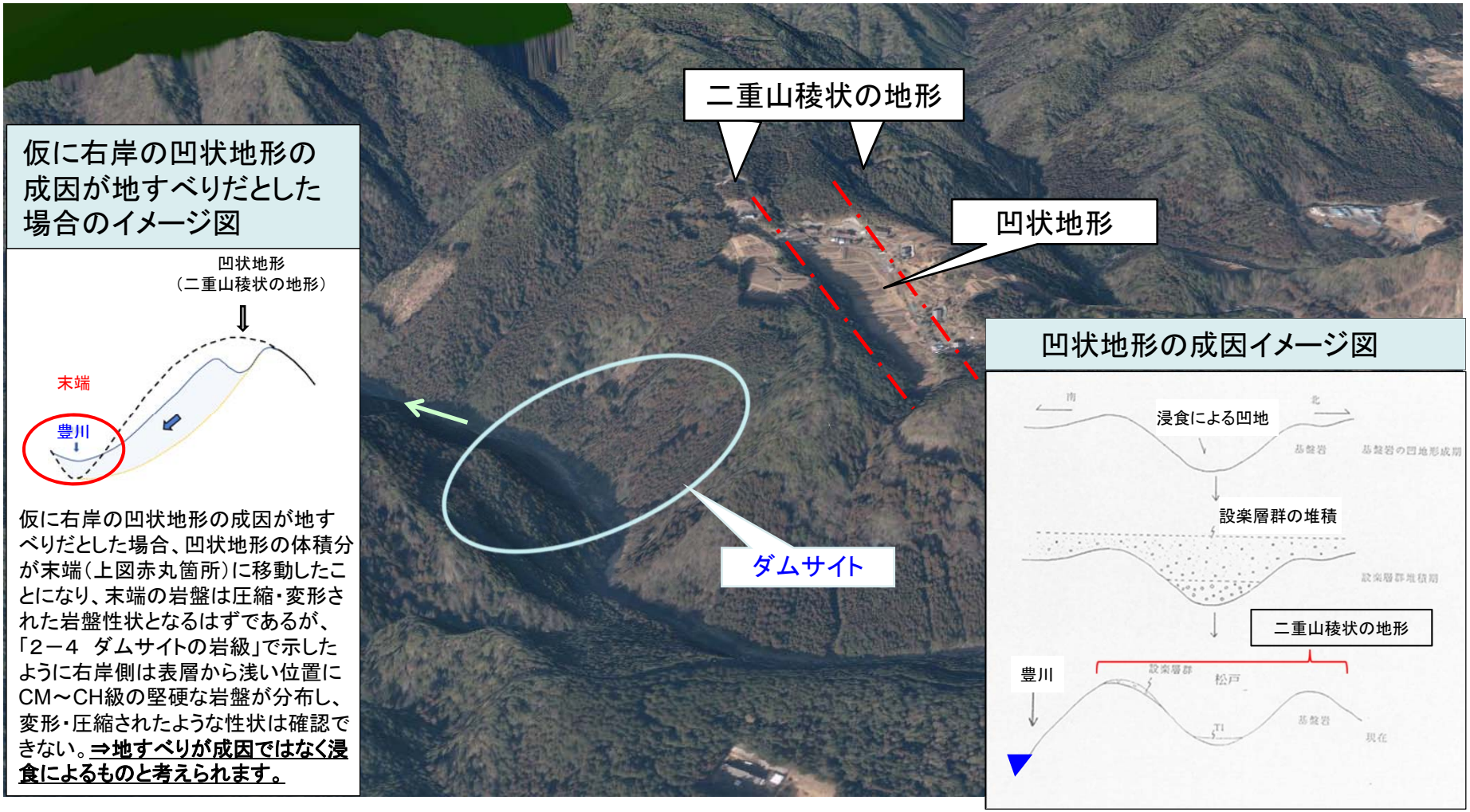


カーテングラウチングのイメージ図

3-2 二重山稜状の地形について

国土交通省

●ダムサイト右岸の凹状地形（二重山稜状の地形）について、ボーリング調査の結果、ダムサイト右岸側にすべり面が確認されないこと、表層部の風化層より下部の岩盤は良好であること、透水性も低いこと等から、右岸の凹状地形は浸食によるものと考えられ、ダム建設には問題ないと判断しています。



仮に右岸の凹状地形の成因が地すべりだとした場合のイメージ図

仮に右岸の凹状地形の成因が地すべりだとした場合、凹状地形の体積分が末端（上図赤丸箇所）に移動したことになり、末端の岩盤は圧縮・変形された岩盤性状となるはずであるが、「2－4　ダムサイトの岩級」で示したように右岸側は表層から浅い位置にCM～CH級の堅硬な岩盤が分布し、変形・圧縮されたような性状は確認できない。**⇒地すべりが成因ではなく浸食によるものと考えられます。**

凹状地形の成因イメージ図