

## 県境付近の断層帯におけるトンネルの掘り 方・トンネル湧水への対応（素案）

本資料は令和2年10月27日現在の内容をまとめたものです。  
今後、有識者会議委員のご意見を踏まえ、内容やデータを加除訂正してまいります。

※中央新幹線が山梨県境付近で交差する断層について、南アルプスの地形地質に精通された有識者より、交差部より北側・南側に伸長する断層を含めて、井川－大唐松山断層であるとの見解を頂いております。一方、当社ではこれまで、文献調査、地表踏査による現地確認や航空写真による地形判読、また弾性波探査やボーリング調査の結果に基づき、交差部の北側・南側に伸長する部分を含めて、「新編 日本の活断層」に記載されている畑薙山断層としての連続性が認められると考え、破碎質な地質の幅を含め、「畑薙山断層帯」として扱ってきております。

交差部付近における断層の存在は、有識者の見解と当社が知得している断層とで共通しており、有識者会議においては、交差部付近の断層の呼び方を「県境付近の断層帯」と改め、資料を構成することといたします。

## 目 次

### 1. 南アルプストンネルの概要

(1) 全体概要

(2) 県境付近の断層帯の概要

### 2. 山岳トンネルにおける一般的な考え方（今回省略）

### 3. 工事期間中のトンネル湧水を山梨県側に流出させない対策の検討（今回省略）

### 4. 県境付近の断層帯を山梨県側から掘削する場合のトンネル湧水への対応（今回省略）

### 5. 千石斜坑等の掘削方法と県境付近の断層帯の掘削方法の比較

参考資料 1 青函トンネル掘削時における突発湧水事例（今回省略）

参考資料 2 地質調査結果

# 1. 南アルプストンネルの計画概要

## (1) 全体概要

- ・南アルプストンネルは山梨県～静岡県～長野県に至る総延長約 25km のトンネルであり、トンネルの縦断線形（図1）は、静岡県と長野県の県境付近の赤石山脈高峰部におけるトンネル土被り※を極力小さくするため、県境付近にトンネルの頂点を設定する線形として計画しました。

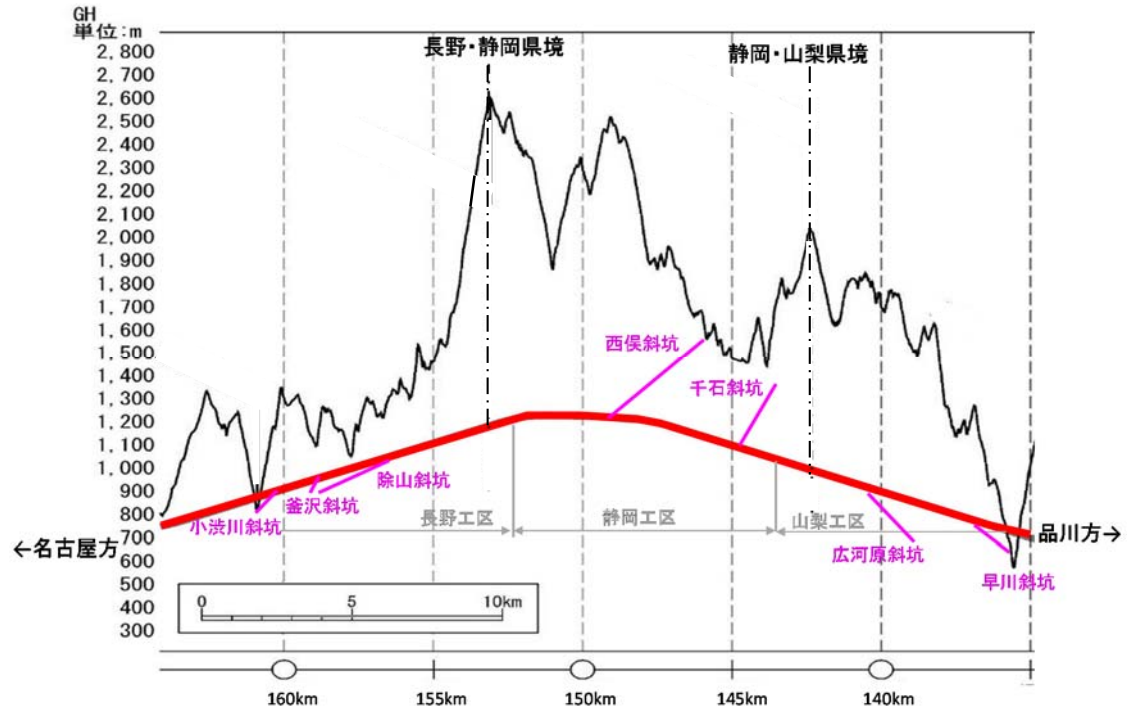
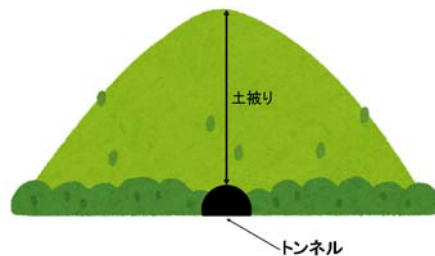


図1 南アルプストンネル縦断線形

※地表面からトンネル天井部までの地盤の深さ



- ・トンネルの土被りが大きくなると、トンネル掘削時にも大きな影響を与えます。トンネル上部にある地山が弛んだ状態にあると、土被りに相応した重さが「山の重み」としてトンネルに掛かります。山の重みが大きくなるほどトンネル掘削時の切羽が壊れやすくなり、トンネルの掘削がより困難となります。
- ・中央新幹線では、走行方式として超電導磁気浮上方式を採用しており、最

急勾配は40%と在来型の粘着駆動方式よりも大きくとることができます。この走行特性を生かし、山梨県と長野県の本線坑口部からトンネル中央部に向かって急勾配とすることで、土被りを極力小さくすることが可能となりますが、それでも長野県と静岡県との県境付近では最大土被り1400mとなり、これまで国内のトンネル工事で最大であった1300mを超える大きさとなります。(表1)

表1 国内における大土被りトンネル

No.	トンネル名称	用途	長さ(m)	土かぶり(m)
1	大清水	鉄道	22,221	1,300
2	新清水	鉄道	13,500	1,200
3	関越(上)	道路	11,060	1,190
4	飛驒	道路	10,740	1,015
5	恵那山(上)	道路	8,650	950

※交通政策審議会資料による

- 一般にトンネルは両坑口付近から掘削を進めて行きますが、トンネル延長が長くなる場合、両坑口のみから掘り進めると工期(時間)がかかり過ぎるため、トンネルの途中に斜坑を設置し、複数の工区に分けて工事を行います。
- 南アルプストンネルの場合、全部で7箇所(千石、西俣)の斜坑を設けており、静岡県内では、斜坑を2か所(千石、西俣)計画しています。
- 静岡県内では、先進坑及び本線トンネルが地中深くを通過することから、工事の起点となる斜坑は地上部から下向きに掘削することになります。

## (2) 県境付近の断層帯の概要

- 静岡県と山梨県境付近に中央新幹線と交差する南北方向に伸長する断層があります。この断層は、産業技術総合研究所のシームレス地質図(図2)では、井川-大唐松山断層として明記されています。
- 一方、当社は、これまで文献調査、地表踏査による現地確認や航空写真による地形判読、「新編 日本の活断層」(図3)による文献調査、及び弾性波探査や大井川(東俣)からのボーリング調査を行い、約800mの範囲において、破碎質な地質が繰り返し出現していることを確認しています。
- いずれにしても、県境付近には大きな幅をもった断層帯の存在が考えられます。

- ・なお、お示した地質平面図及び地質縦断図の破碎質な地質の東端ですが、当社が実施した地質調査の調査限界に達したため、これ以上東側の地質の状態について、確認できておりません。よって、図示した位置より更に東側へ破碎質な区間が延長されている可能性があります。(図4、図5)

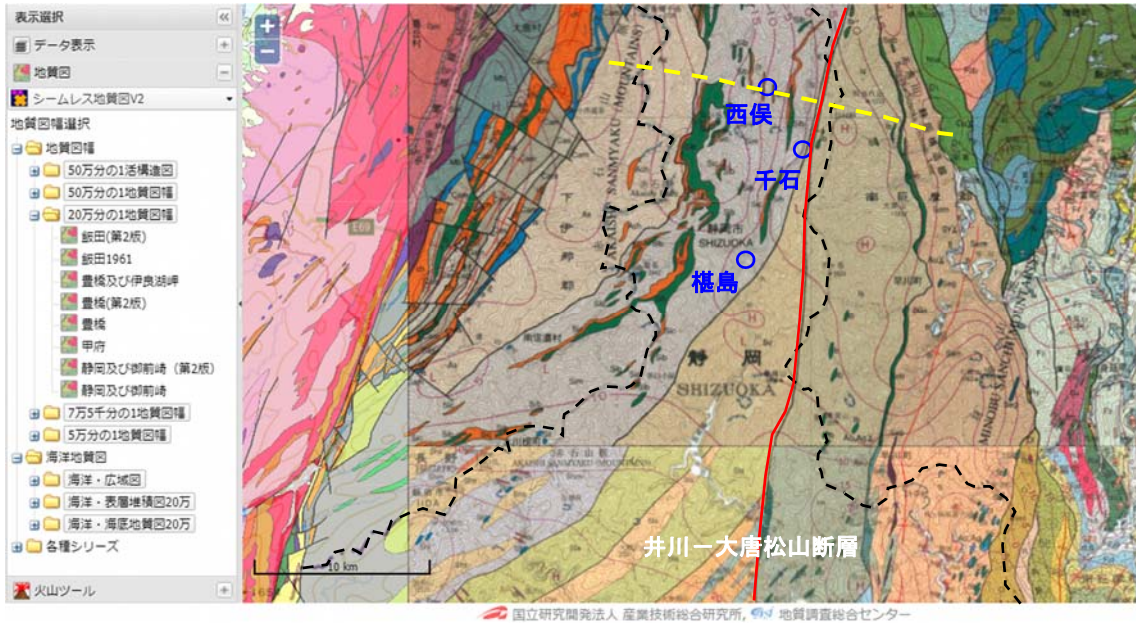


図2 シームレス地質図（20万分の1）

※産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質図 NAVI より抜粋、一部加筆

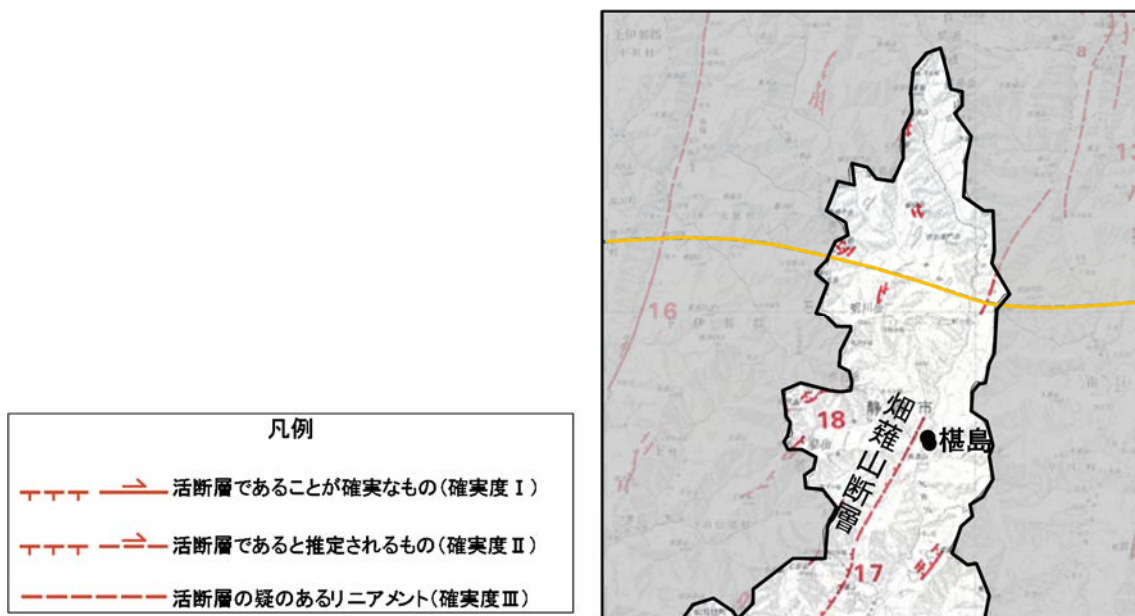


図3 「新編 日本の活断層」(活断層研究会、1991) ※一部加筆

※「(前略)引き続き対話を要する事項」に対する再見解(その1、その2) P46 より抜粋



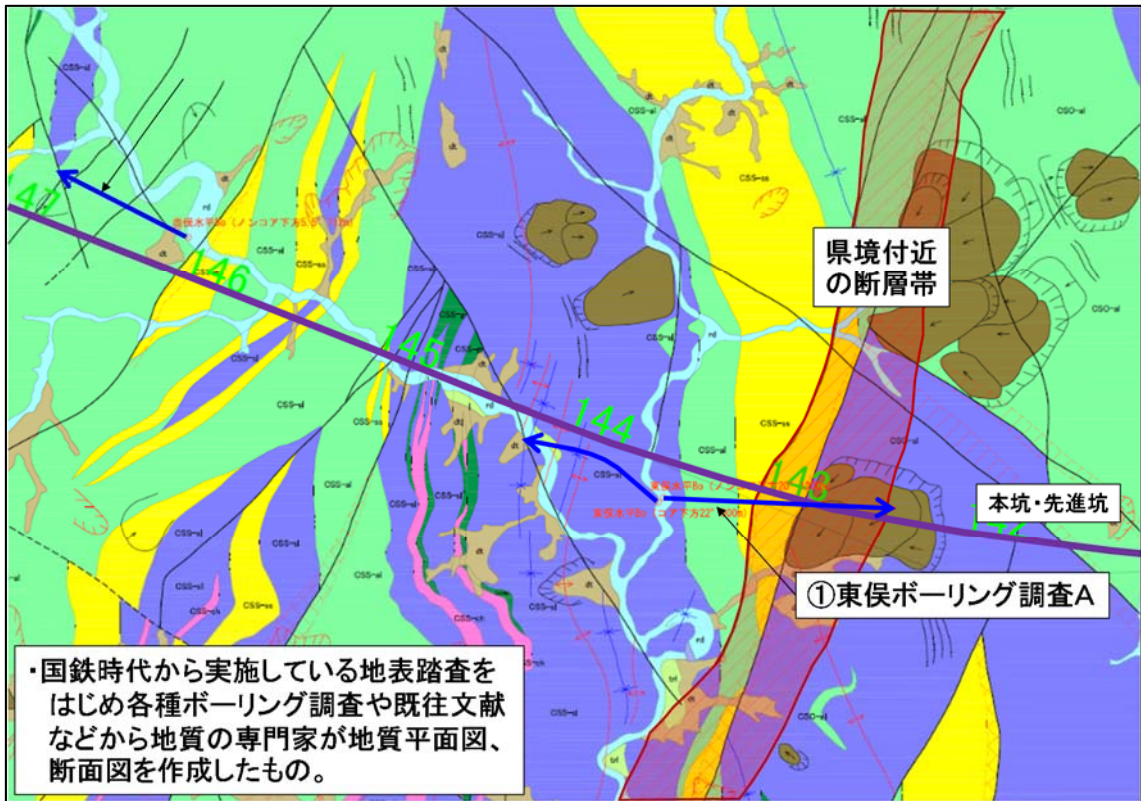


図4 県境付近の断層帯付近の地質平面図

※「(前略)引き続き対話を要する事項」に対する再見解(その1、その2) P47より抜粋、一部修正

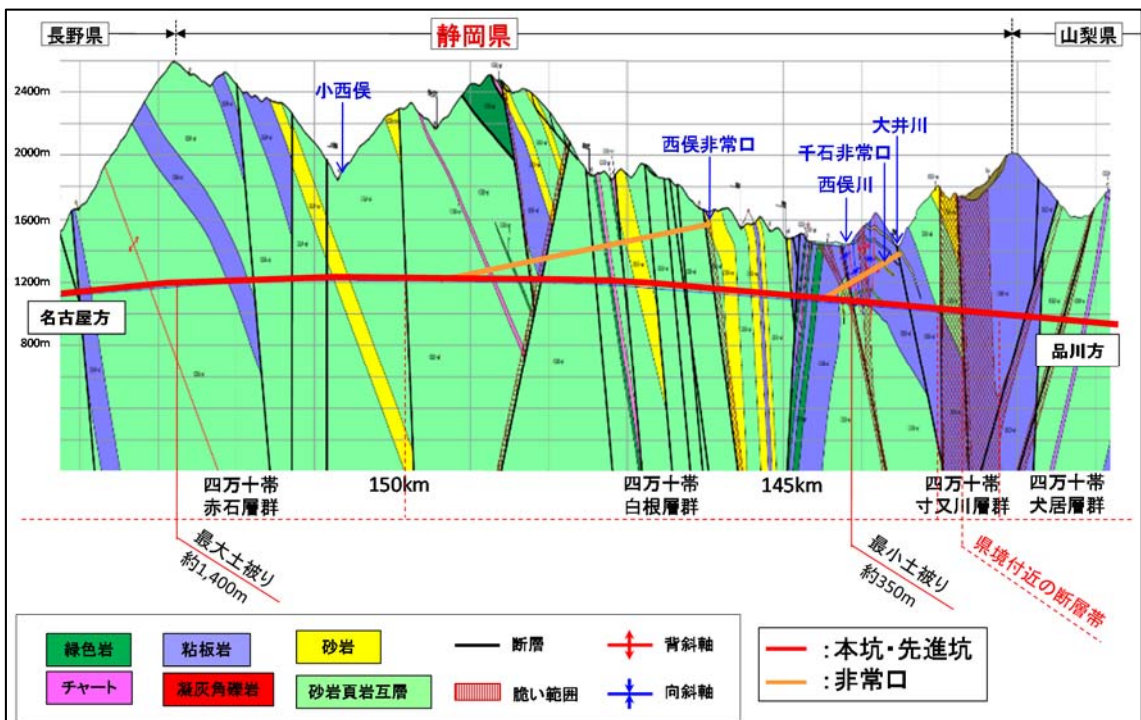


図5 県境付近の断層帯付近の地質縦断面図

※「(前略)引き続き対話を要する事項」に対する再見解(その1、その2) P48より抜粋、一部修正

- 県境付近の断層帯におけるトンネル土被りは約800mと大きいため、断層や破砕帯に遭遇した際には、高圧突発湧水や大きな土圧の作用がトンネル掘削に大きな影響を与える可能性があります。

## 5. 千石斜坑等の掘削方法と県境付近の断層帯の掘削方法の比較

- ・千石斜坑、西俣斜坑は、「1. 南アルプストンネルの概要」でお示したとおり、地形の制約上、地上から下向きに掘削するしか方法はありません。千石斜坑を下向きに掘り進める中で、大井川と交差し、その後、西俣川付近の断層と交差します。また、西俣斜坑を下向きに掘り進める中でも断層と交差します。  
さらに、千石斜坑の到達箇所から先進坑や本坑を山梨側へ下向きに掘削をすすめるうえで、大井川（東俣）と交差します。
- ・一方で、県境付近の断層帯は安全上、山梨県側から上向きで掘る計画です。
- ・①千石斜坑の大井川交差部、②千石斜坑の西俣川付近の断層部、③西俣斜坑沿い、④先進坑の県境付近断層帯、⑤本坑と大井川（東俣）交差部のそれぞれの区間について、トンネル土被りや地質調査（実施位置は図19のとおり）から得られた情報を比較表（表2）に整理し、それに基づいてトンネル掘削の向きについて考察した内容を以下に記します。

### ① 千石斜坑の大井川交差部

- ・千石斜坑の大井川交差部付近で実施した鉛直ボーリング調査（調査A）の結果、斜坑が大井川と交差する深度でのコア採取率は100%であり、また、弾性波探査（探査a、探査b）の結果は、P波速度が4.5 km/s以上であることから、この調査結果からは地質は悪くはないと想定しています。しかし、地質は急激に変化する可能性があるため、切羽周辺からのボーリングによる前方探査を実施し、破砕帯を確認した場合は薬液注入等を行って、大井川の水を大量に斜坑内に引きこむことがないようにしたうえで、慎重に下向きに掘削します。

### ② 千石斜坑の西俣川付近の断層部

- ・大井川（東俣）から西側に向かって実施した斜め下向きボーリング調査（調査B）の結果、西俣川付近の断層部では、コア採取率が低く、破砕質な地質が400mにわたり繰り返し出現することを確認しました。また、ボーリング調査における断層部削孔中の口元湧水量は400L/分程度（ボーリング掘削径約80mm）です。切羽周辺からのボーリングによる前方探査を実施し、破砕帯を確認した場合には薬液注入等を行い、大規模な突発湧水が生じるリスクを極力小さくしながら、慎重に下向きに掘削します。

### ③ 西俣斜坑沿い

- ・西俣斜坑ヤードから西側へ西俣斜坑計画線に沿うように実施した斜め下向きボーリング調査（調査C）の結果、地質は砂岩頁岩互層の中硬岩を主体と



しており、掘削途中にて、複数の小規模な断層を確認しました。口元湧水量は、ボーリング深度600mまでは掘削延長に応じて伸びていましたが、深度600m以降では、概ね1200L/分程度で継続した状態となりました。湧水が多い区間では、地質が脆い懸念があるため、切羽周辺からのボーリングによる前方探査を実施し、地質の脆い区間を確認した場合には薬液注入等を行い、大規模な突発湧水が生じるリスクを極力小さくしながら、慎重に下向きに掘削します。

千石斜坑、西俣斜坑は、本線のトンネル（本坑）と異なり、柔軟性をもった線形計画をとることができるため、万が一トンネル前方に大規模な断層など下向きの掘削が難しい区間が確認できた場合は、斜坑の平面線形を含め変更するなど、柔軟な対応を図ります。

#### ④ 先進坑の県境付近断層帯

- ・大井川（東俣）から東側に向かって実施した斜め下向きボーリング調査（調査D）の結果、県境付近の断層帯では破碎質な地質が800mにわたり繰り返し出現することを確認し、ボーリング中においては、孔壁崩壊や掘削の停止が繰り返し確認されました。また、断層帯削孔中の口元湧水量は2000L/分程度（ボーリング掘削径約120mm）に達しています。
- ・先進坑の県境付近断層帯と千石斜坑の西俣川付近の断層部を比較すると、前者は、土被りが大きく、破碎質な幅が広いこと、さらには湧水量も多いことから後者に比べ大規模な突発湧水が生じるリスクが大きいと考えられます。
- ・先進坑の県境付近断層帯と西俣斜坑沿いを比較すると、前者の方がボーリング掘削時において回転停止が繰り返し確認されるような脆い地層であり、湧水量が多い破碎帯である可能性が高いことから、大規模な高圧突発湧水が生じるリスクが大きいと考えられます。
- ・先進坑の県境付近断層帯と本坑と大井川（東俣）交差部を比較すると、前者は破碎質な地質が800mにわたり繰り返し出現し、またボーリング調査時の湧水量も2000L/分と非常に大きな規模であることに對し、後者は断層として幅3m程度の小規模なもので、湧水量も100L/分程度であり、前者の方が大規模な高圧突発湧水が生じるリスクが大きいと考えられます。

#### ⑤ 本坑と大井川（東俣）交差部

- ・大井川（東俣）から西側に向かって実施した斜め下向きボーリング調査（調査B）において、口元から100m付近において、先進坑及び本坑が大井川（東俣）直下で交差すると想定される断層が出現しています。
- ・断層としては、幅3m程度の小規模なものであり、断層の前後に破碎部は伴

っておらず、湧水量も僅少であり調査時も問題なくボーリング掘削ができています。

- ボーリング結果から、本坑と大井川（東俣）交差部における大量湧水の可能性は小さいと考えておりますが、地質が急激に変化する可能性がありますので、切羽周辺からのボーリングによる前方探査を実施し、地質の脆い区間を確認した場合には薬液注入等を行い、湧水に伴うリスクを極力小さくしながら慎重に掘削します。

以上の比較より、県境付近の断層帯は、山梨県側から上向きに掘削することが現実的であると考えています。

表2 トンネル土被り・地質調査から得られた情報

		千石斜坑		西俣斜坑	④先進坑	⑤本坑
		①大井川交差部	②西俣川付近	③斜坑沿い	県境付近断層帯	大井川交差部
トンネル土被り		約 80m	約 500m	約 1000m	約 800m	約 400m
ボーリング調査概要	調査位置	調査A	調査B	調査C	調査D	調査B
	削孔長	140m	900m	700m	1200m	900m
	削孔方向	鉛直	斜め下向き	斜め下向き	斜め下向き	斜め下向き
	試料形状	コア	コア	ノンコア	ノンコア	コア
	調査時の概況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・斜坑が交差する深度でのコア採取率100%、斜坑通過付近のRQD平均55%</li> <li>・PS検層（ボーリング孔内における弾性波速度）のP波は4.14km/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短いスパンで地質の悪い箇所が400mにわたり繰り返して出現</li> <li>・断層部削孔中の口元湧水量は400L/分程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模な断層が複数出現することを確認</li> <li>・断層部以外は、砂岩頁岩互層の中硬岩地山が連続</li> <li>・深度600m以降の口元湧水量は1200L/分程度で推移</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幅800mに亘り、地質不良部が繰り返し出現することを確認</li> <li>・ボーリング中、孔壁崩壊に伴う停止が複数回発生</li> <li>・断層部削孔中の口元湧水量は2000L/分程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・100m付近で大井川（東俣）直下の断層と交差</li> <li>・約3m程度の破碎質区間あり。</li> <li>・断層部付近削孔中の口元湧水量は僅少程度</li> </ul>
弾性波探査概要	探査位置	探査a、b、c	探査a	—	—	—
	測線長0内、該当箇所の測線位置	探査a全長3.27km(3.20km～3.27km付近) 探査b全長3.295km(0～0.2km付近) 探査c全長0.8km	探査a全長3.27km(2.0km～2.7km付近)	—	—	—
	探査結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・探査a及び探査b、大井川交差部P波4.4km/s～4.6km/s</li> <li>・探査c、県境付近断層帯と考えられる低速度帯を線形回避</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・探査a、P波約4.5km/s～5.0km/s</li> </ul>	—	—	—

RQD：岩盤の割れ目の多さを表す指標。コア100cm当たりに対し、10cm以上のコアが採取できる割合。

PS検層：ボーリング孔を用いて、地盤内を伝達する弾性波（P波及びS波）の速度を測定する方法。

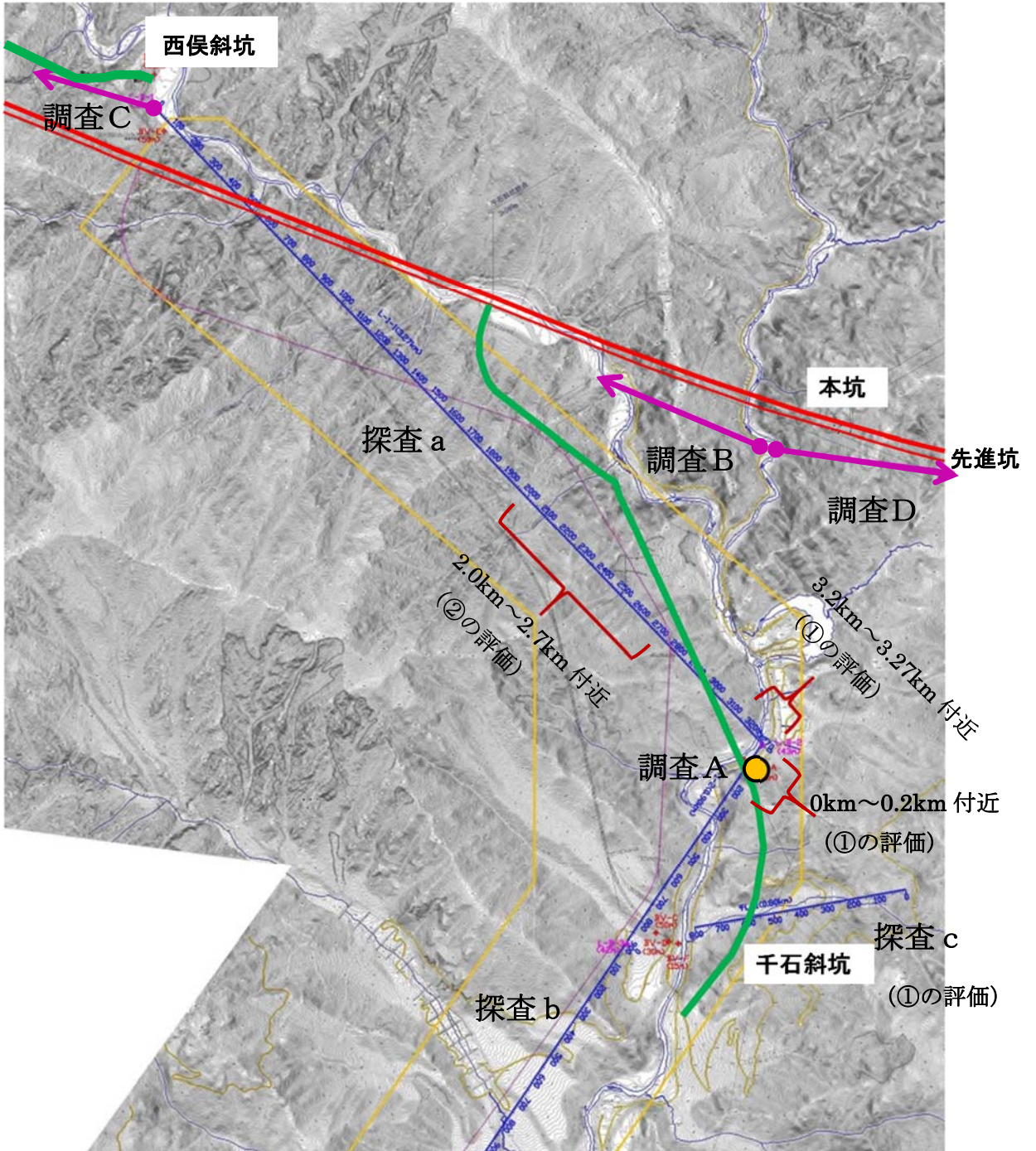


図 1 9 地質調査位置図

- 凡例**
- : 本坑・先進坑
  - : 西俣斜坑、千石斜坑
  - : 弾性波探査
  - ➔ : 斜めボーリング
  - : 鉛直ボーリング



## 参考資料 2 地質調査結果

### ①千石斜坑の大井川交差部

- ・調査Aのボーリング調査の結果、斜坑が交差する深度で得られたコアの状況及び柱状図を（写真7、図20、図21）で示します。

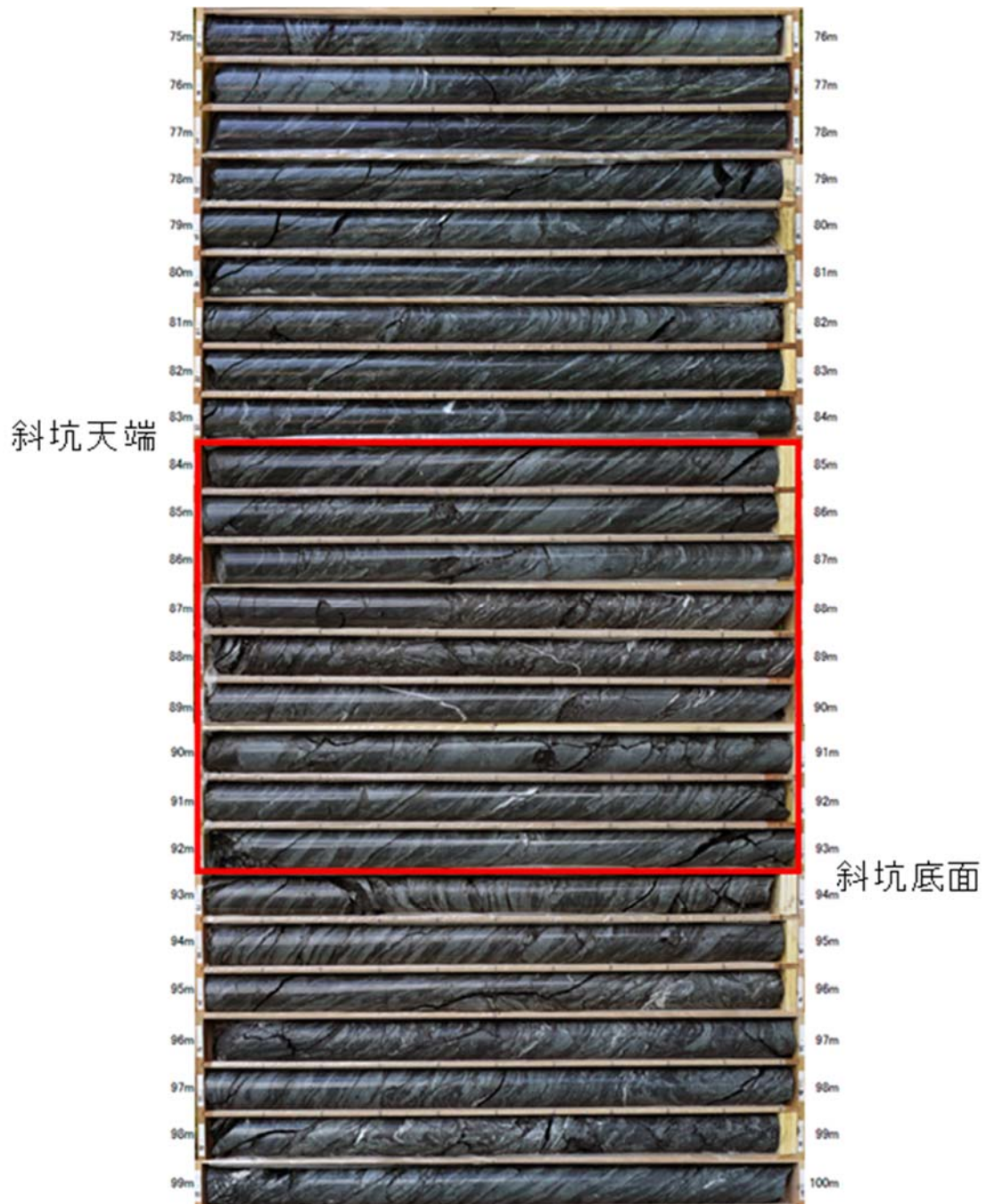
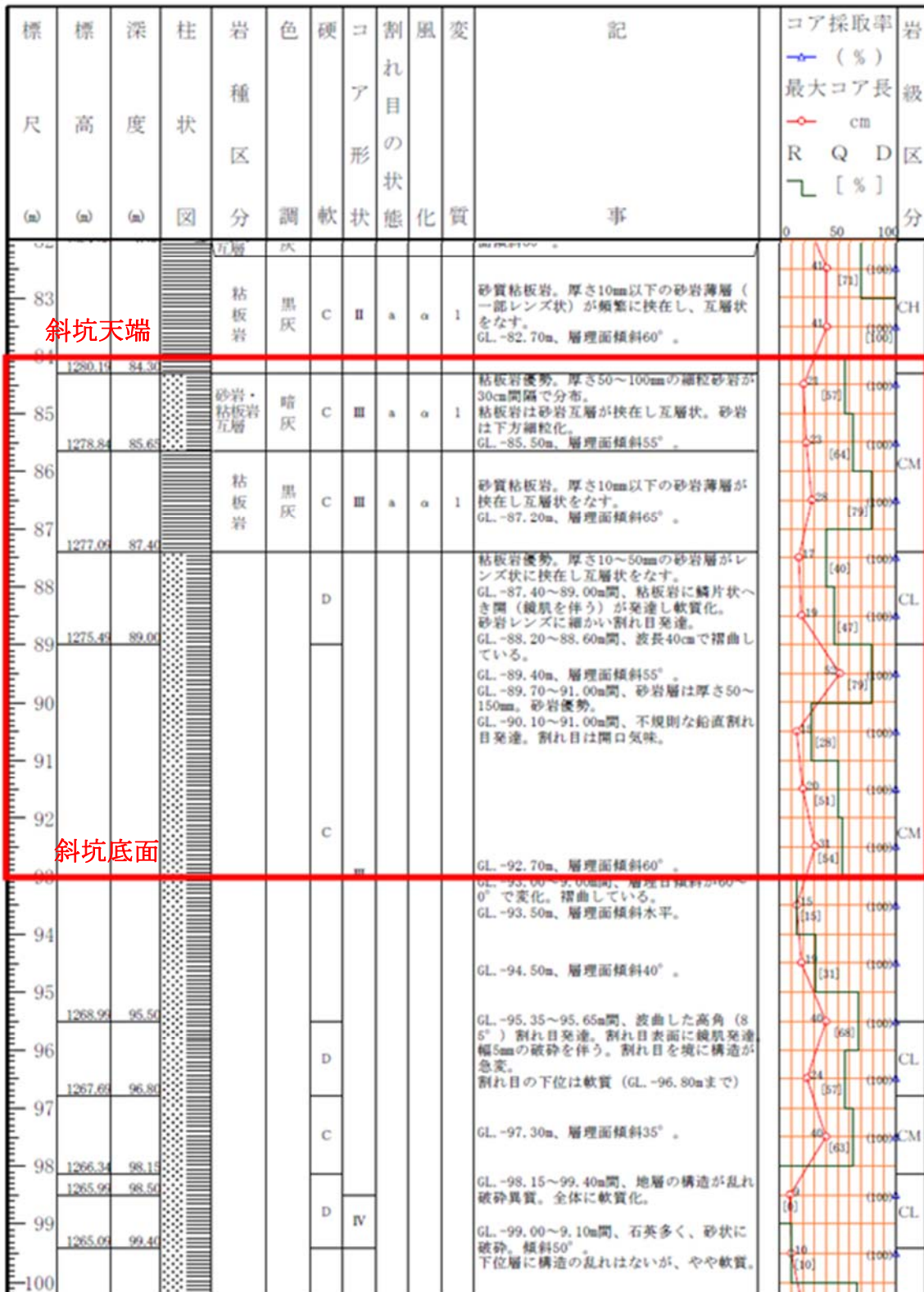


写真7 コアの状況（赤囲み部：深度84m～93m）





斜坑天端

斜坑底面

図20 柱状図（写真7コアの状況付近の抜粋）

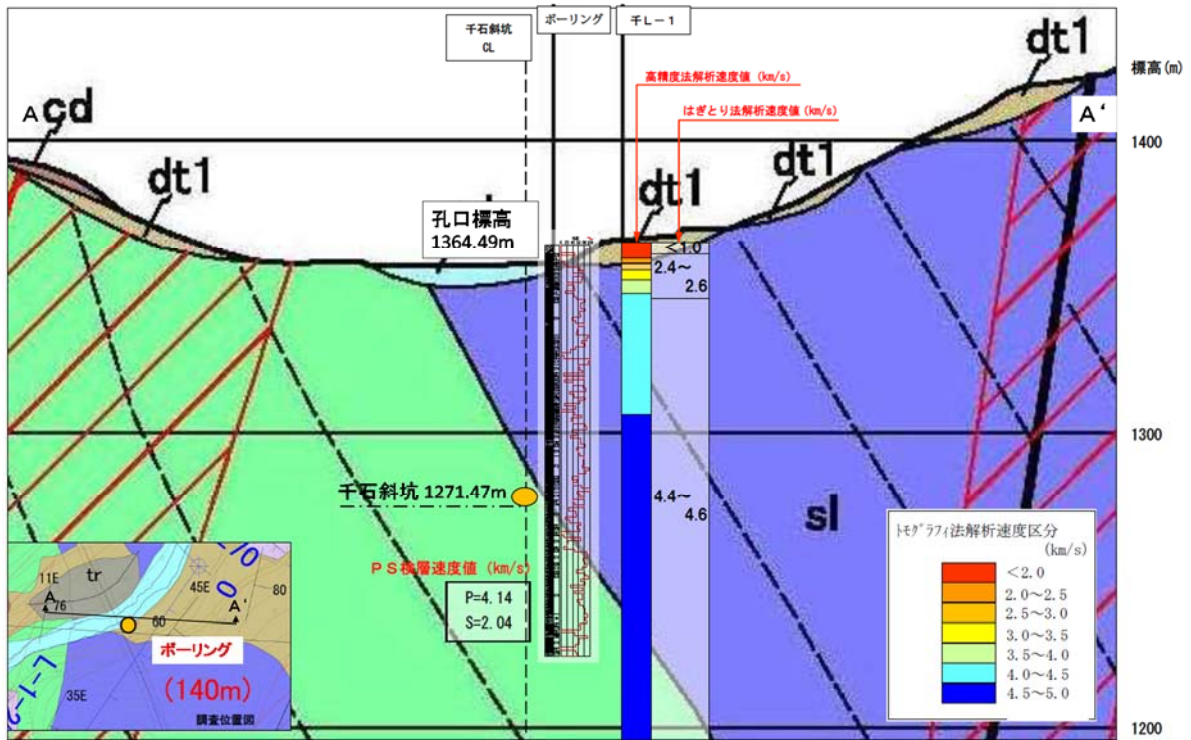


図 2.1 千石斜坑と大井川交差部付近の調査詳細

- ・ コア採取率は100%（地質が悪いとボーリング中にコアが細分化してしまい、取得できない区間が出ます）、千石斜坑通過付近のRQD（コア100cm当たりに対し、10cm以上のコアが採取できる割合）は平均55%であり、ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領（案）・同解説（平成27年6月 一般社団法人全国地質調査業協会連合会）によると、RQD50%～75%の範囲は「普通」（他に「非常に良い」「良い」「悪い」「非常に悪い」という評価区分がある）という評価となります。また、P波速度は4.14 km/sであり、トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説（2016年制定 土木学会）によると地山等級「ⅡN」となり、調査地域における地質で、はく離性の著しいまたは細層理の中生代、古生代の堆積岩類（粘板岩、頁岩等）では、上から2番目（全部で4段階の区分）に良いという評価になります。
- ・ 探査a及び探査bの弾性波探査の結果は（図2.2、図2.3）に示すとおり、該当箇所（140m）のP波速度は4.5 km/s以上であり、トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説（2016年制定 土木学会）によると地山等級「ⅢN」となり、調査地域における地質で、はく離性の著しいまたは細層理の中生代、古生代の堆積岩類（粘板岩、頁岩等）では、一番良い評価になります。

凡例

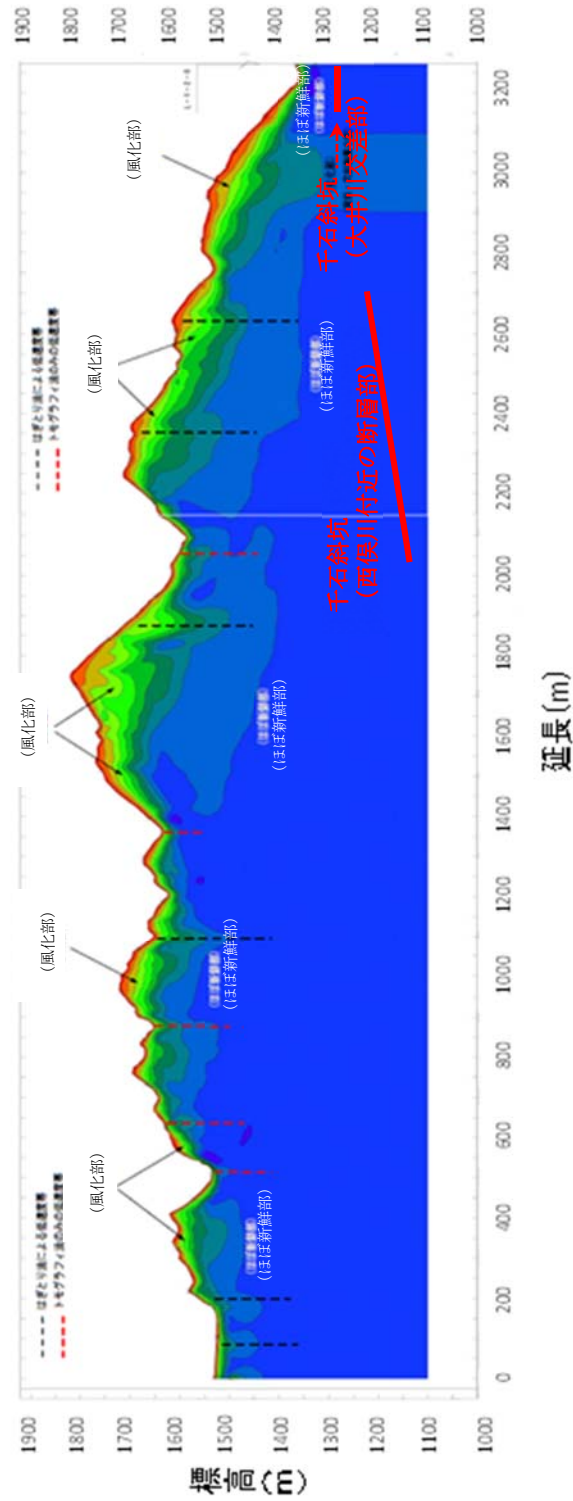
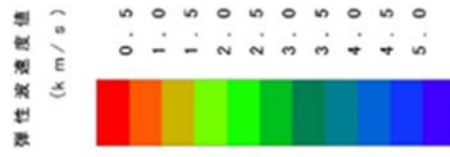


図 2 2 探査 a 弾性波探査の速度分布

# 凡例

弾性波速度値  
(k m / s)

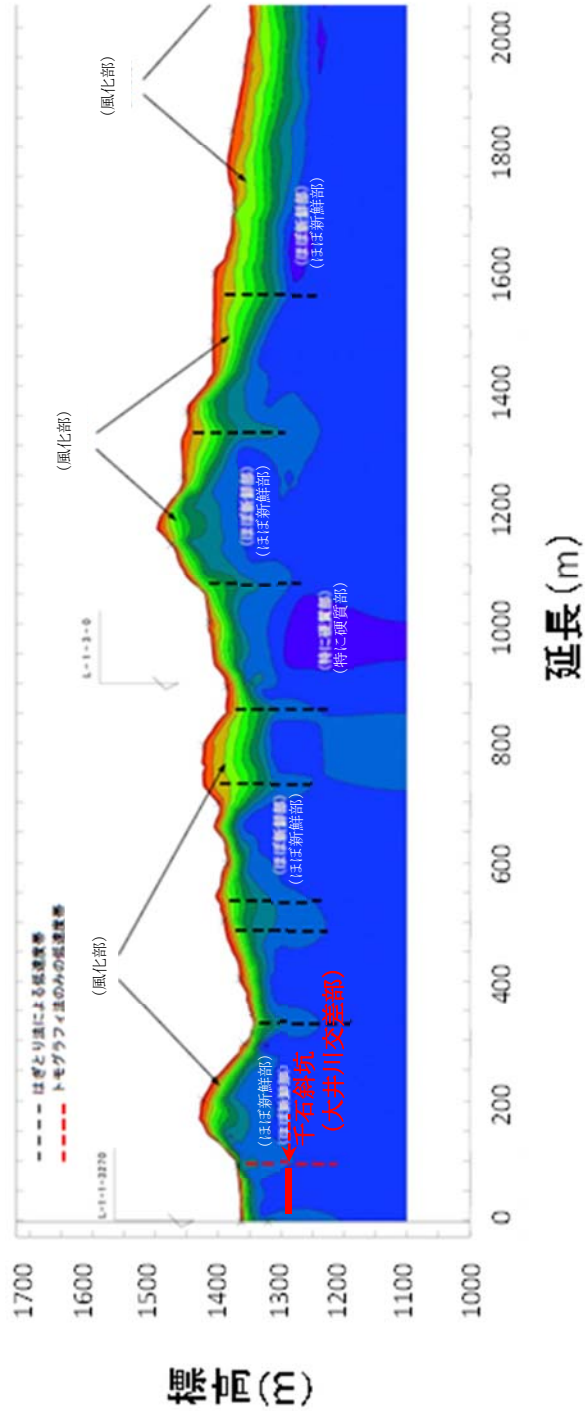
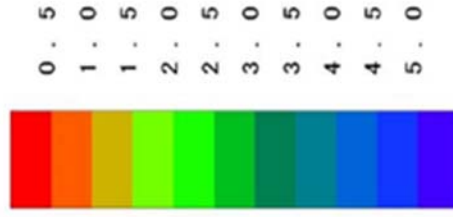


図 2 3 探査 b 弾性波探査の速度分布

- ・探査cの弾性波探査は、大井川から県境付近の断層帯にかけて調査を実施しました。図24のP波速度分布に示すように、測線の200m～400m付近に低速度帯が検出され、断層帯の影響による可能性があります。
- ・千石斜坑は、この低速度帯とは重ならない位置で計画されています。

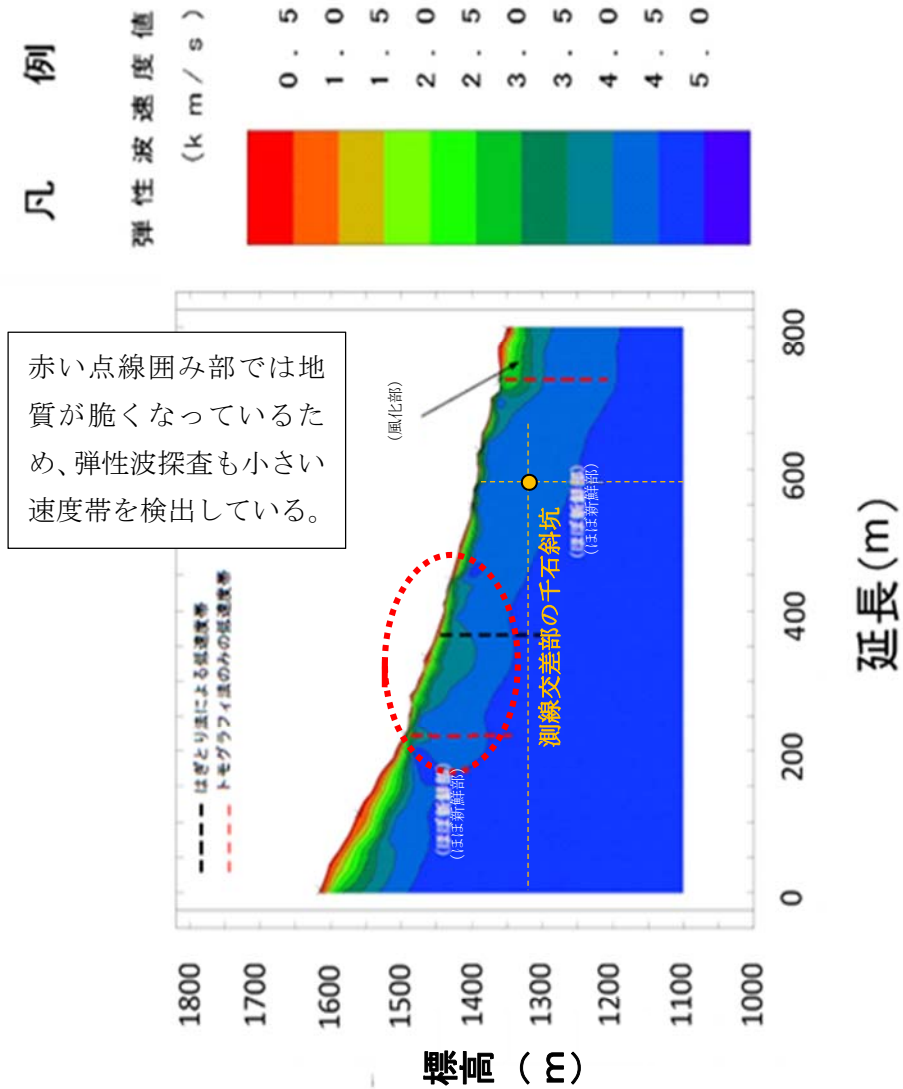


図24 探査c 弾性波探査の速度分布



②千石斜坑の西俣川付近の断層部

- 調査Bのボーリング調査の結果（図25）、断層部及びその周辺においては、短い間隔で地質が悪い箇所が約400mに亘り、繰り返し出現したことを確認しました。当該箇所のコアの状況を写真8で示します。湧水量が増加した区間のコア写真には赤い囲みで表記します。（5m延長で赤い囲みを表記）特に状態の悪い深度690mから700mにかけてはコア採取率約50%、RQDは平均6%であり、ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領（案）・同解説（平成27年6月 一般社団法人全国地質調査業協会連合会）によると「非常に悪い」という評価となります。

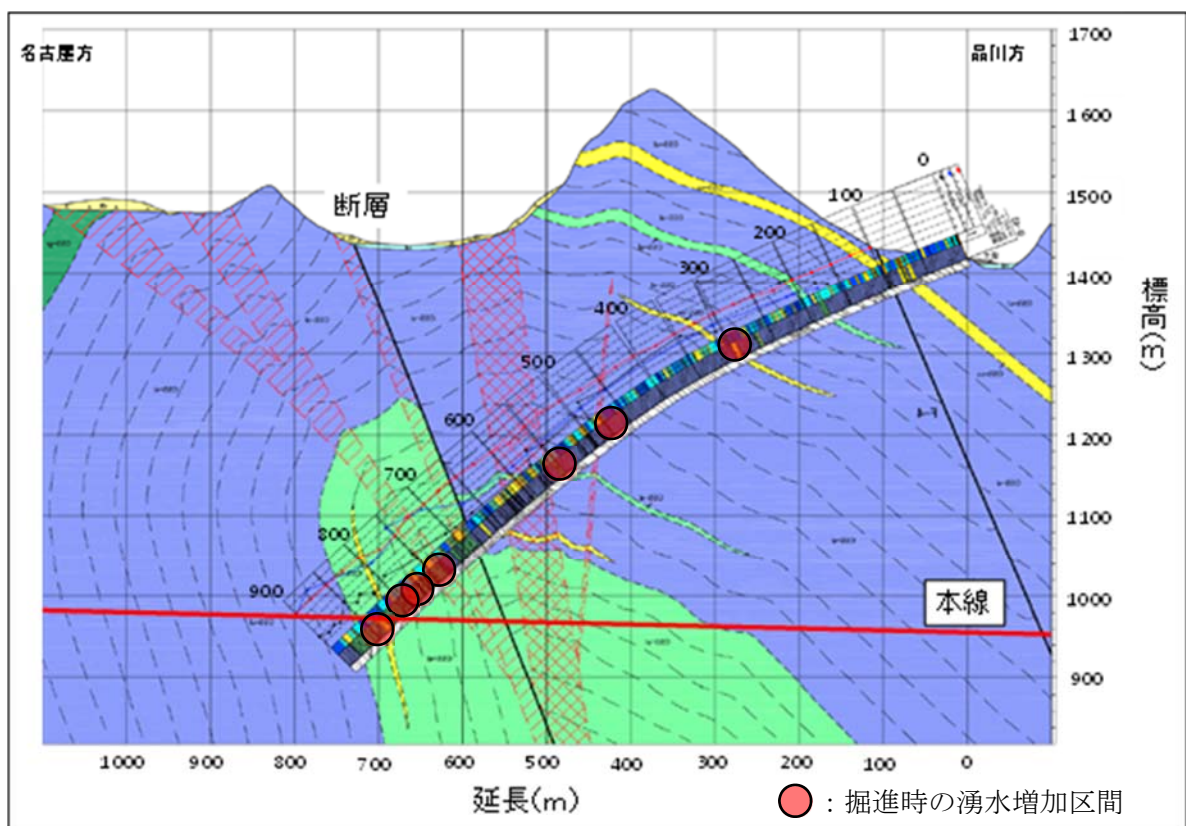


図25 ボーリング調査結果

写真8 ボーリングコア写真

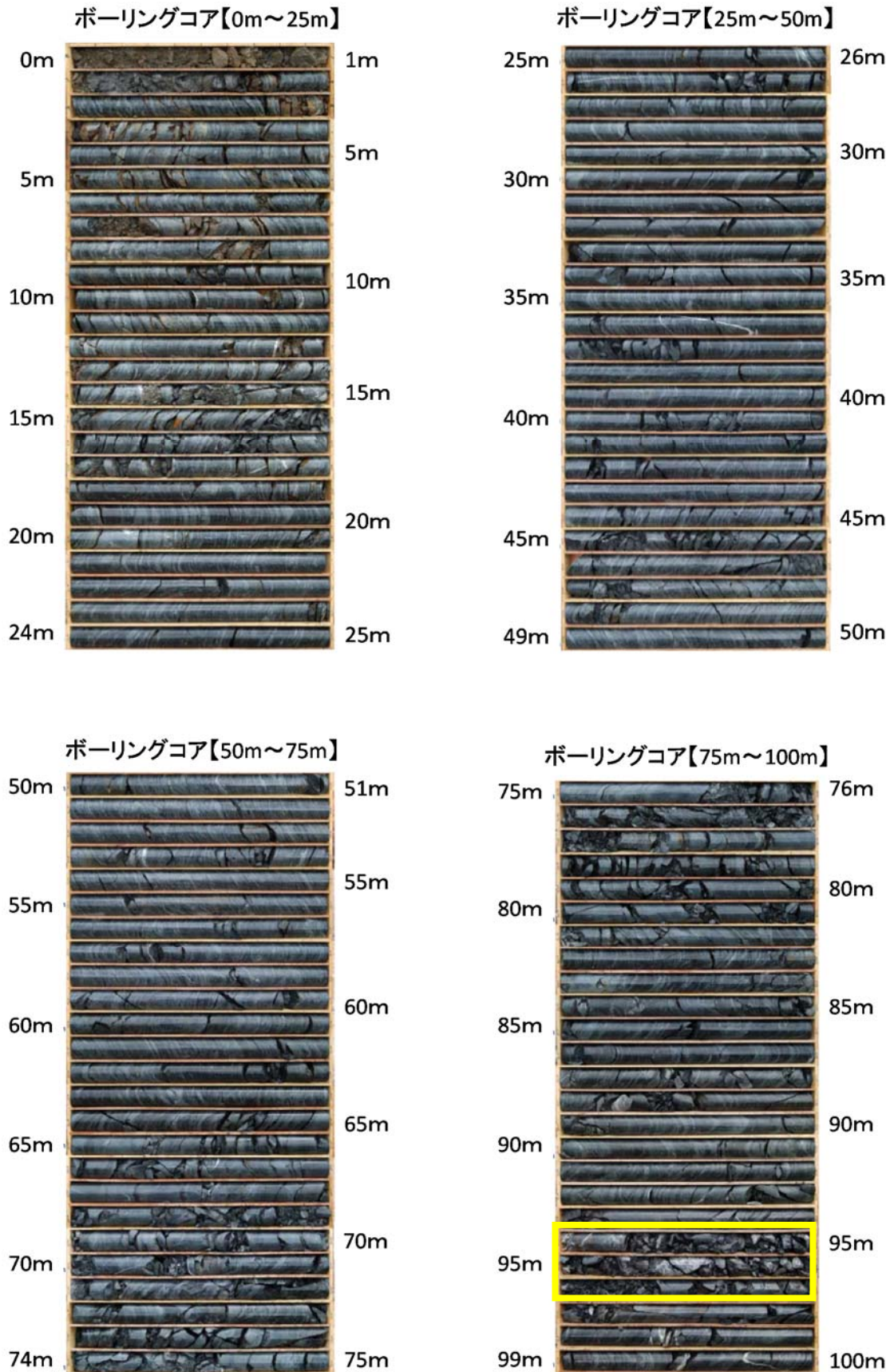




写真8 ボーリングコア写真

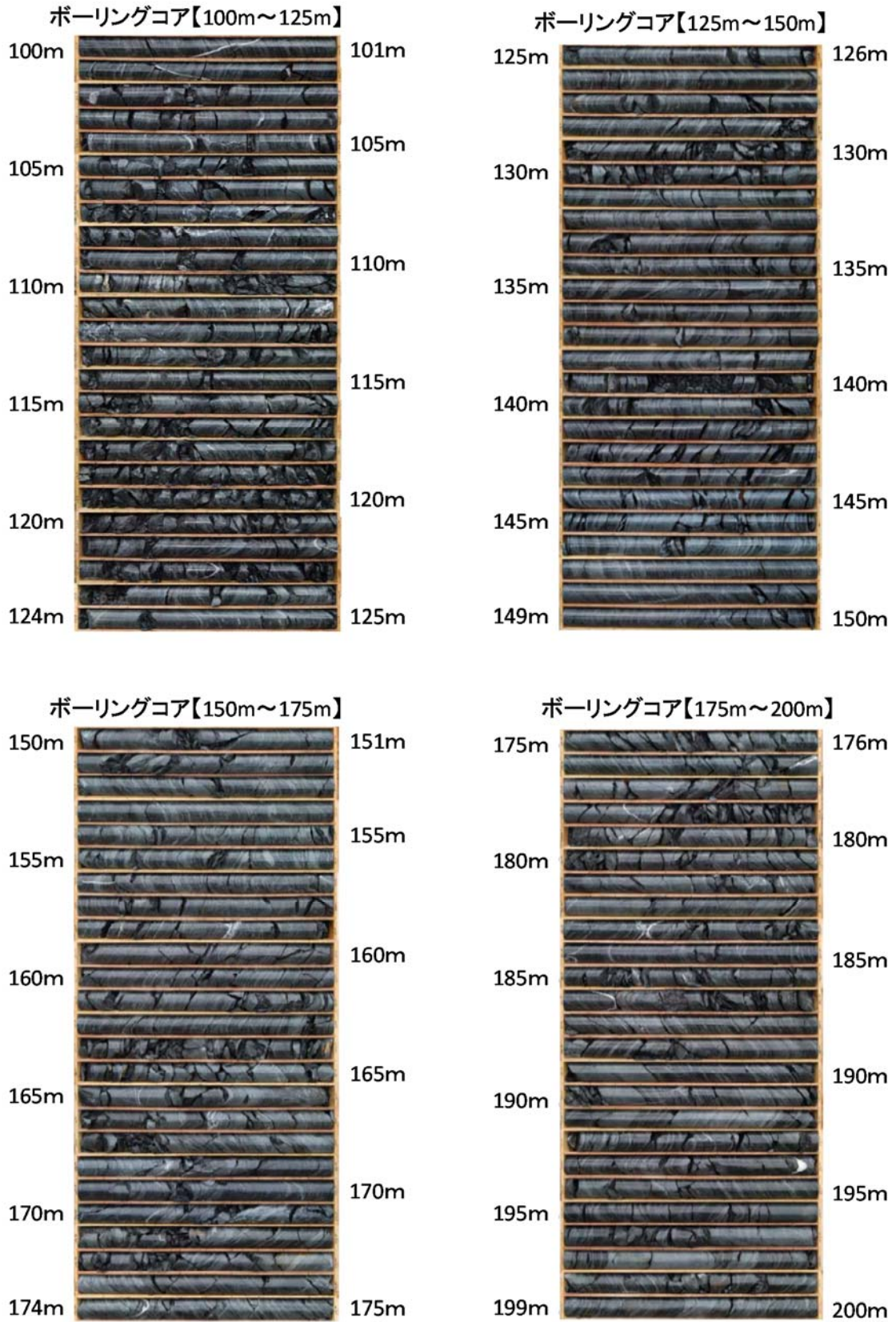


写真8 ボーリングコア写真

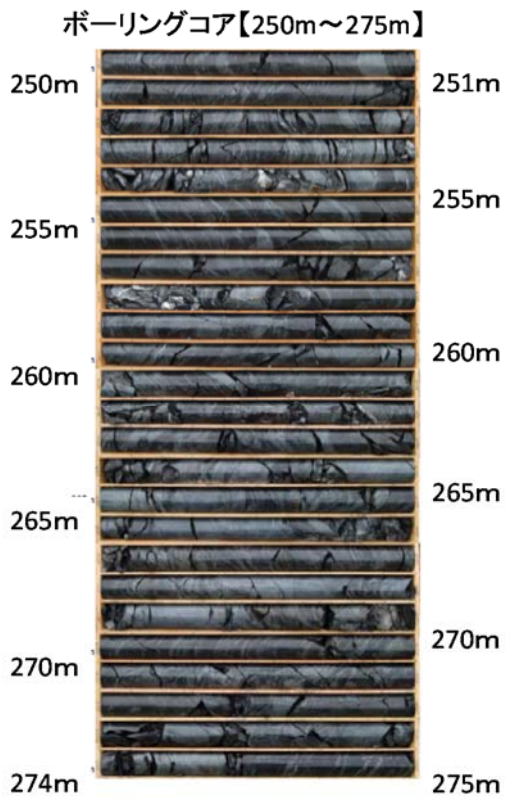
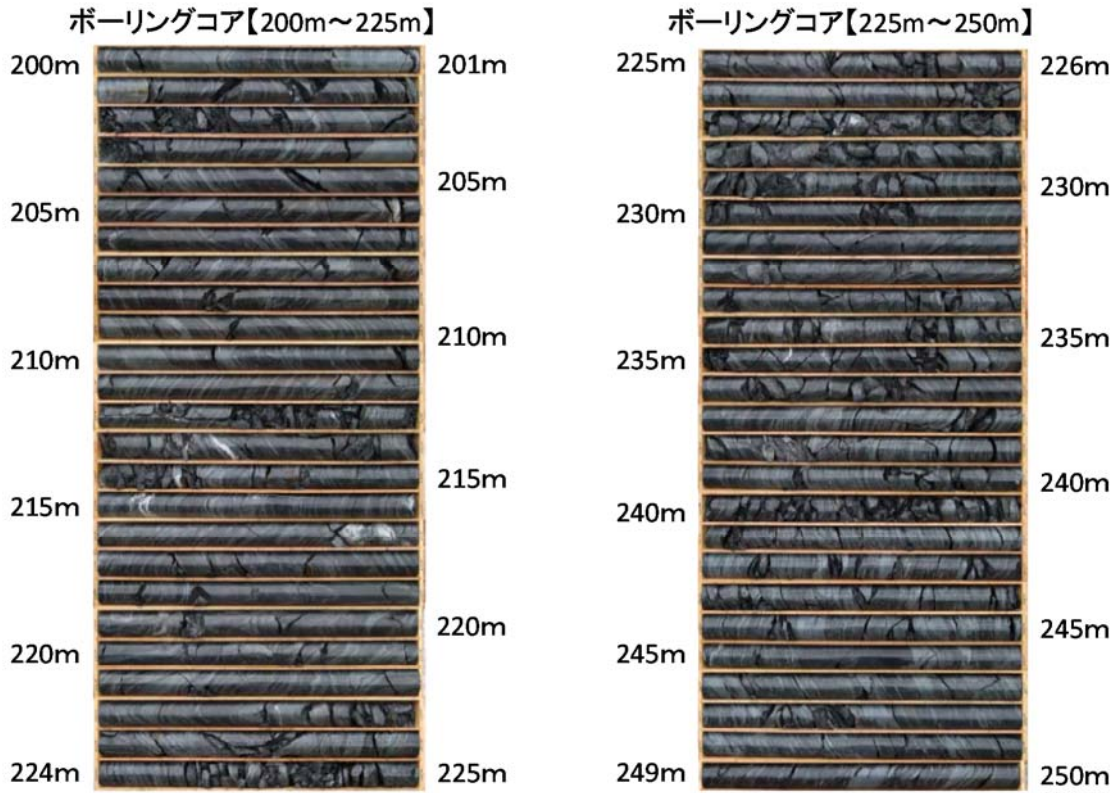




写真8 ボーリングコア写真

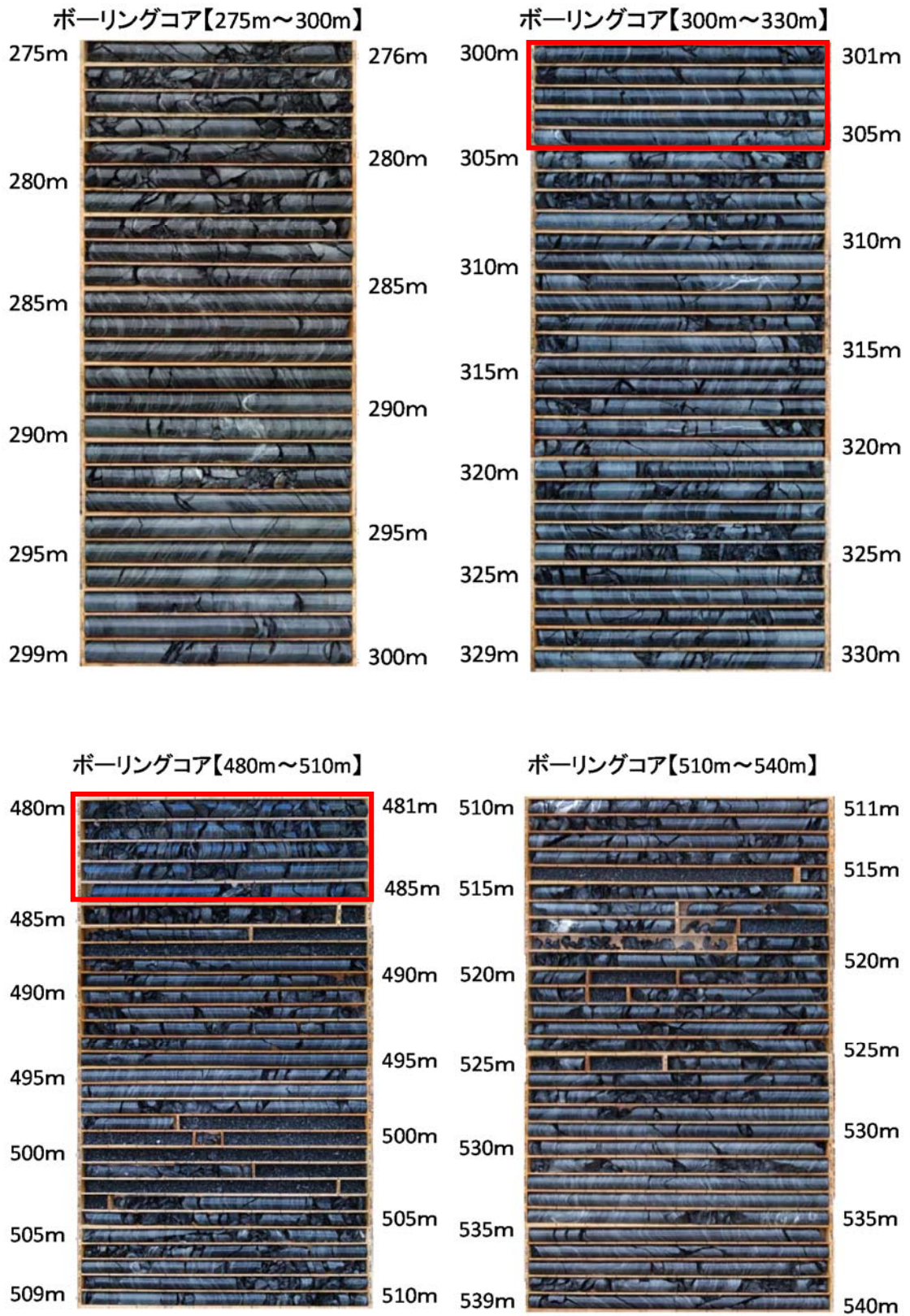




写真8 ボーリングコア写真

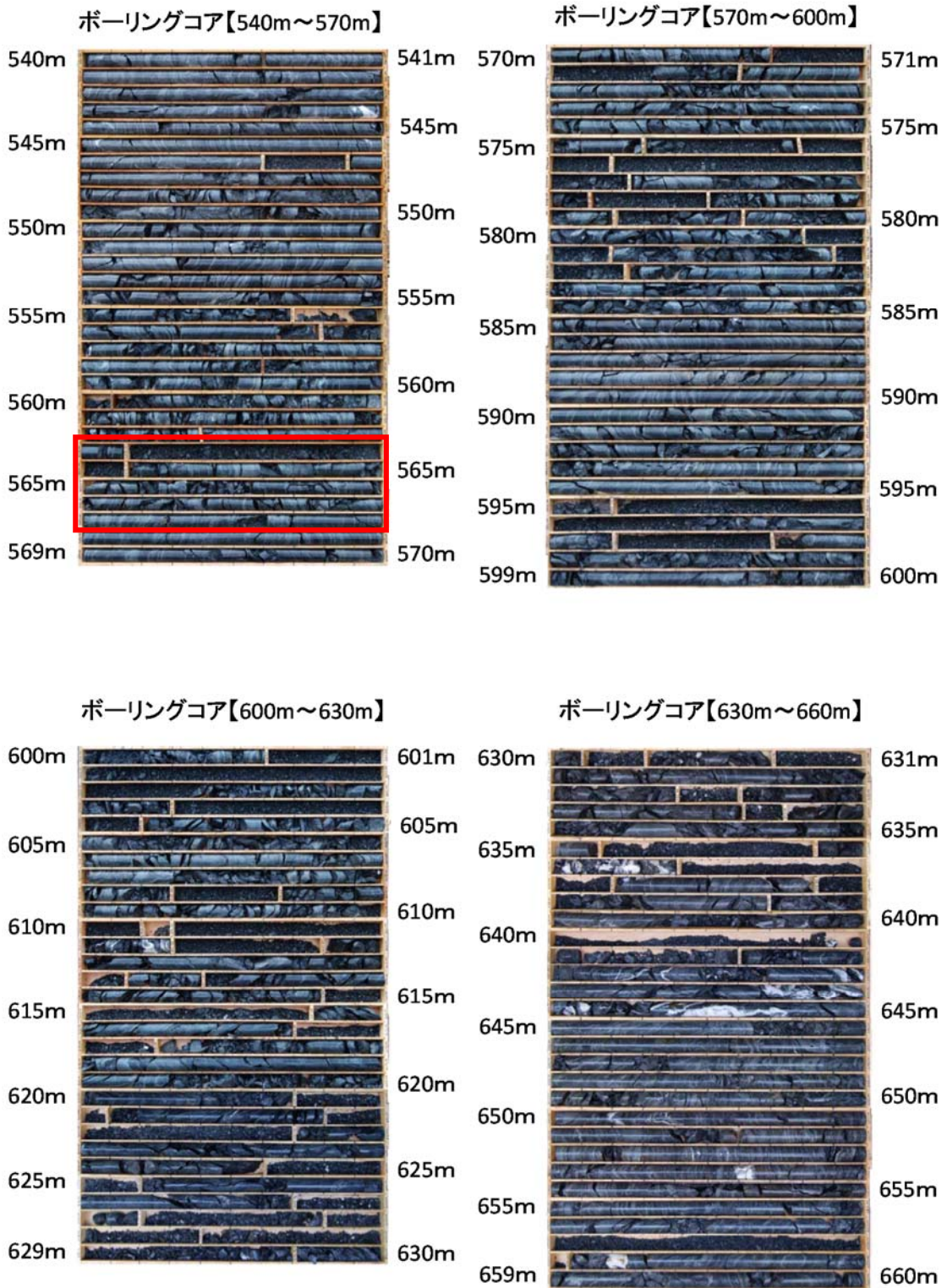


写真8 ボーリングコア写真

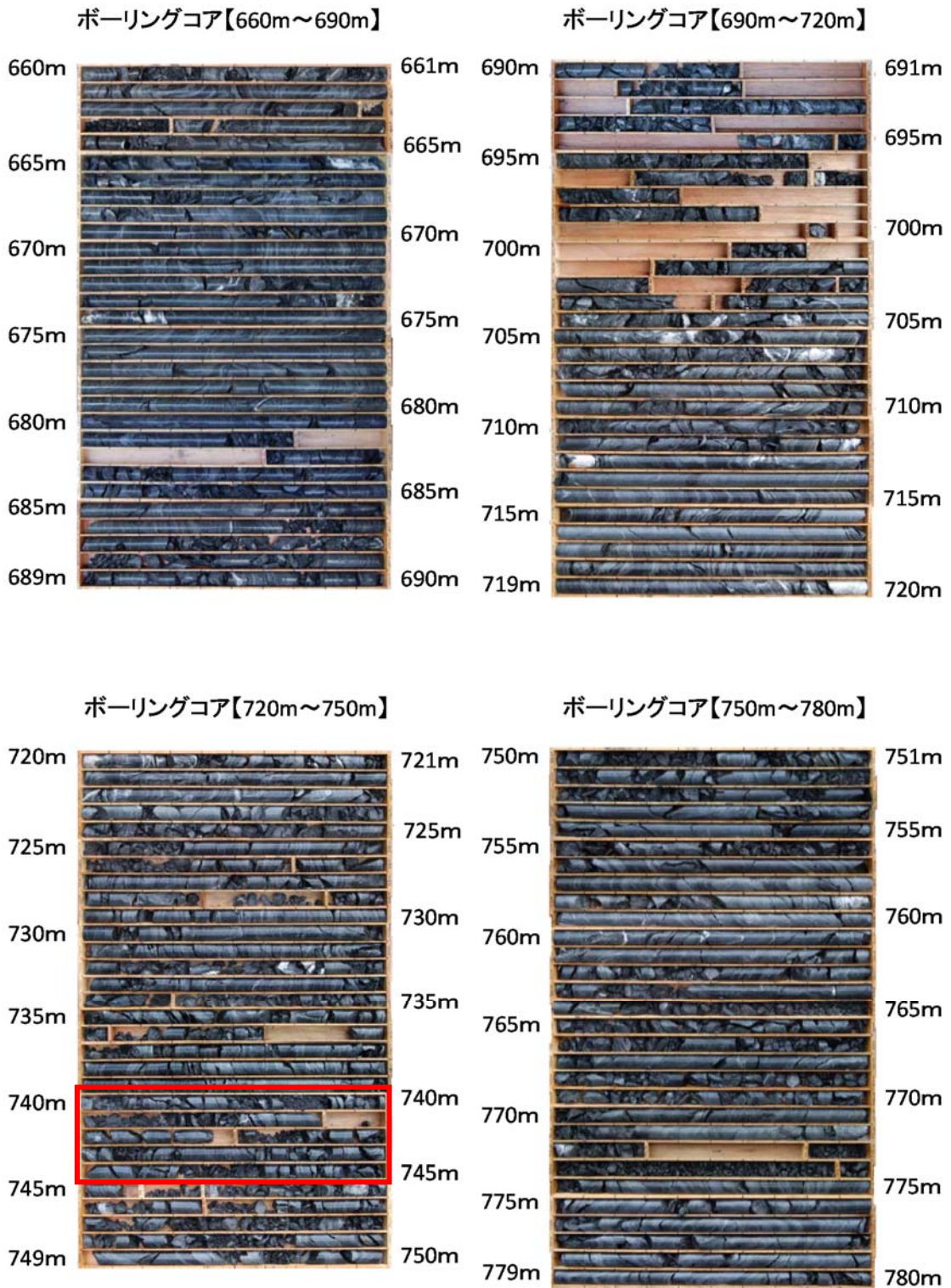
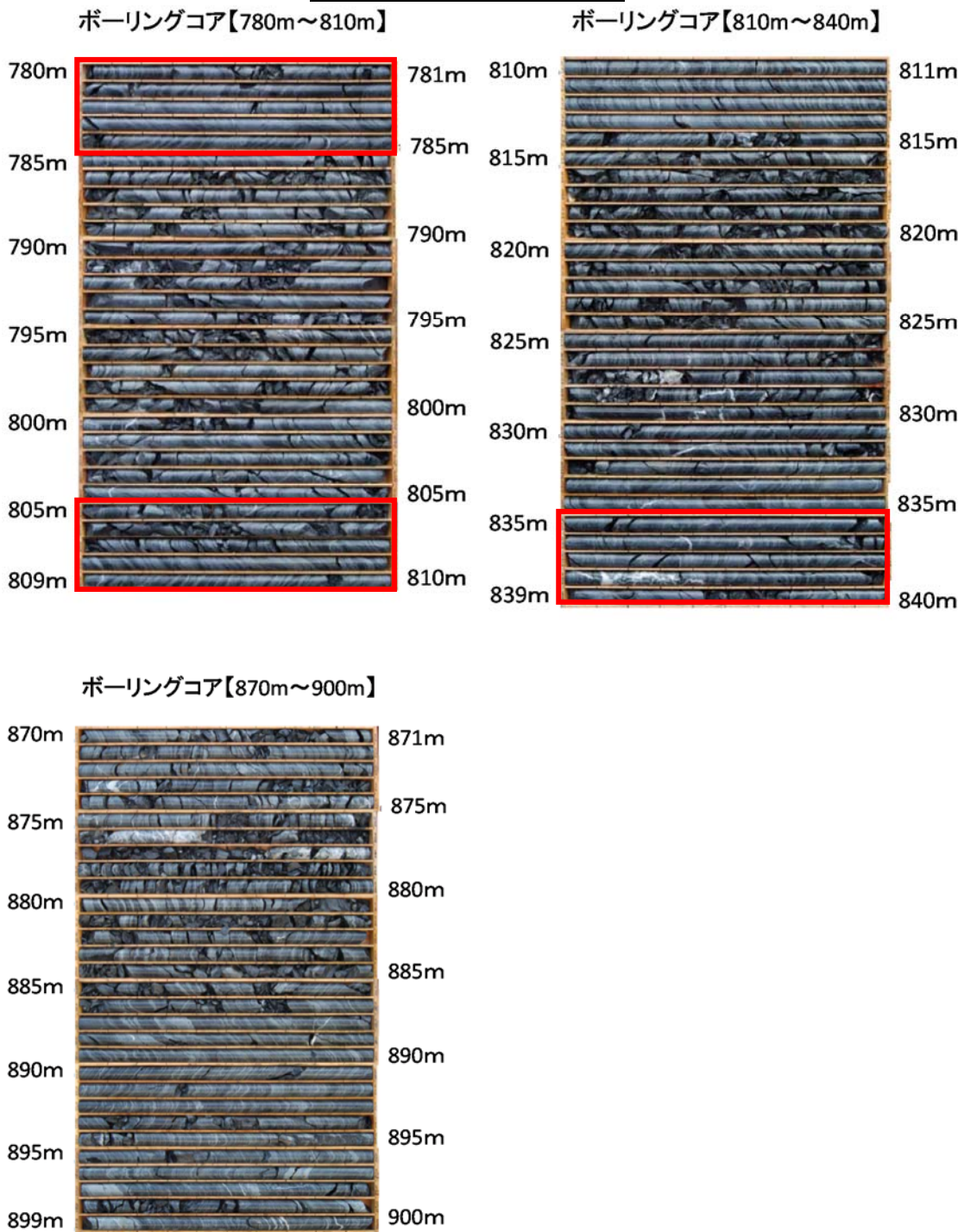




写真8 ポーリングコア写真



- 調査Bのボーリング調査における口元湧水量の推移を図26で示します。深度300m付近で湧水量が急激に増加している箇所がありますが、断層部とは考えにくい場所であり、コアの状況（写真9）を見ても割れ目が見られる程度です。断層部及びその周辺においては、口元湧水量は深度567m付近ボーリング孔の保護を目的としたセメンチングを行いながら掘削を行うことにより、概ね400L/分程度で落ち着いていると言えます。

セメンチング：ボーリング孔が崩れないように保護することを目的に、岩盤の割れ目等にセメントを注入し固める方法。

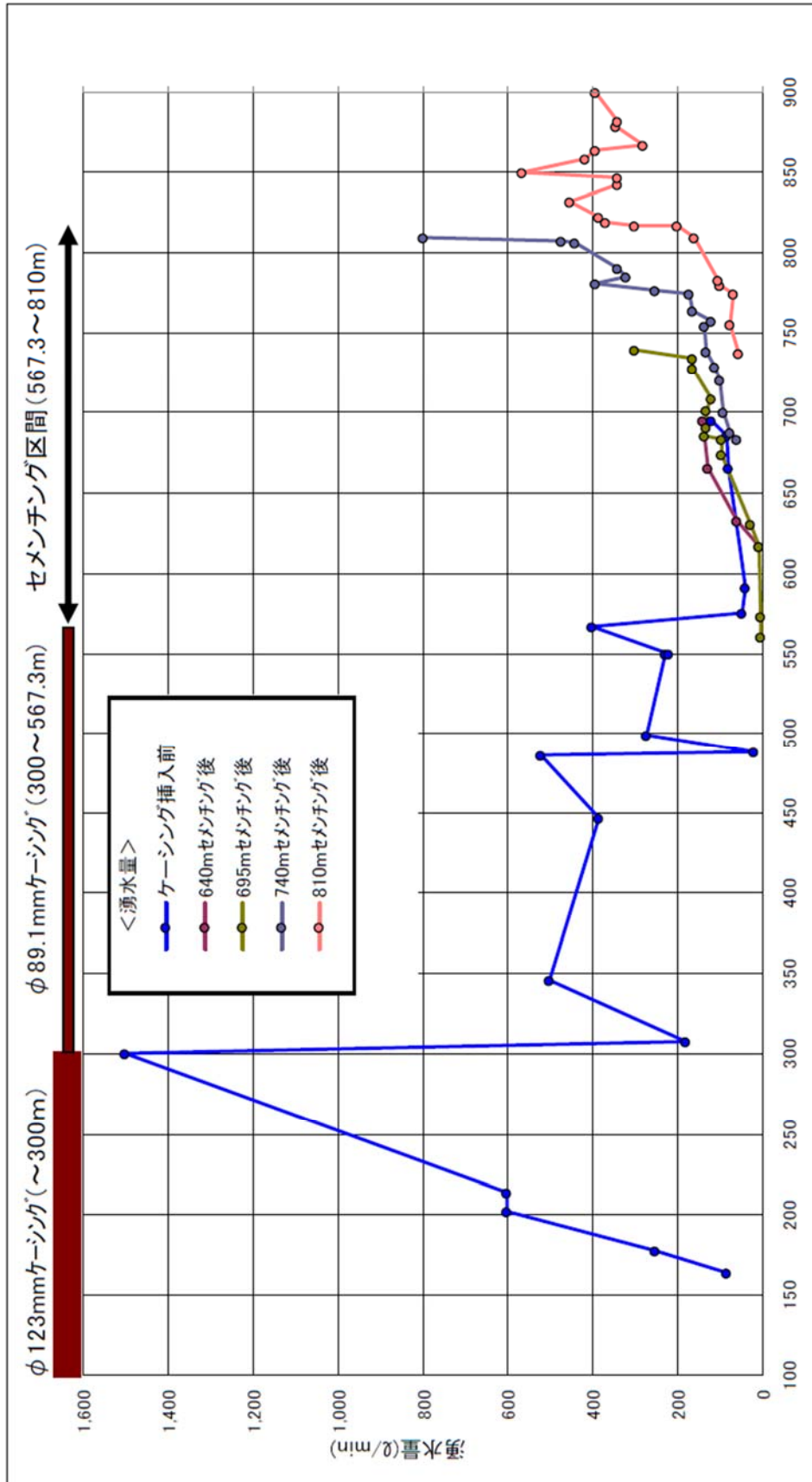
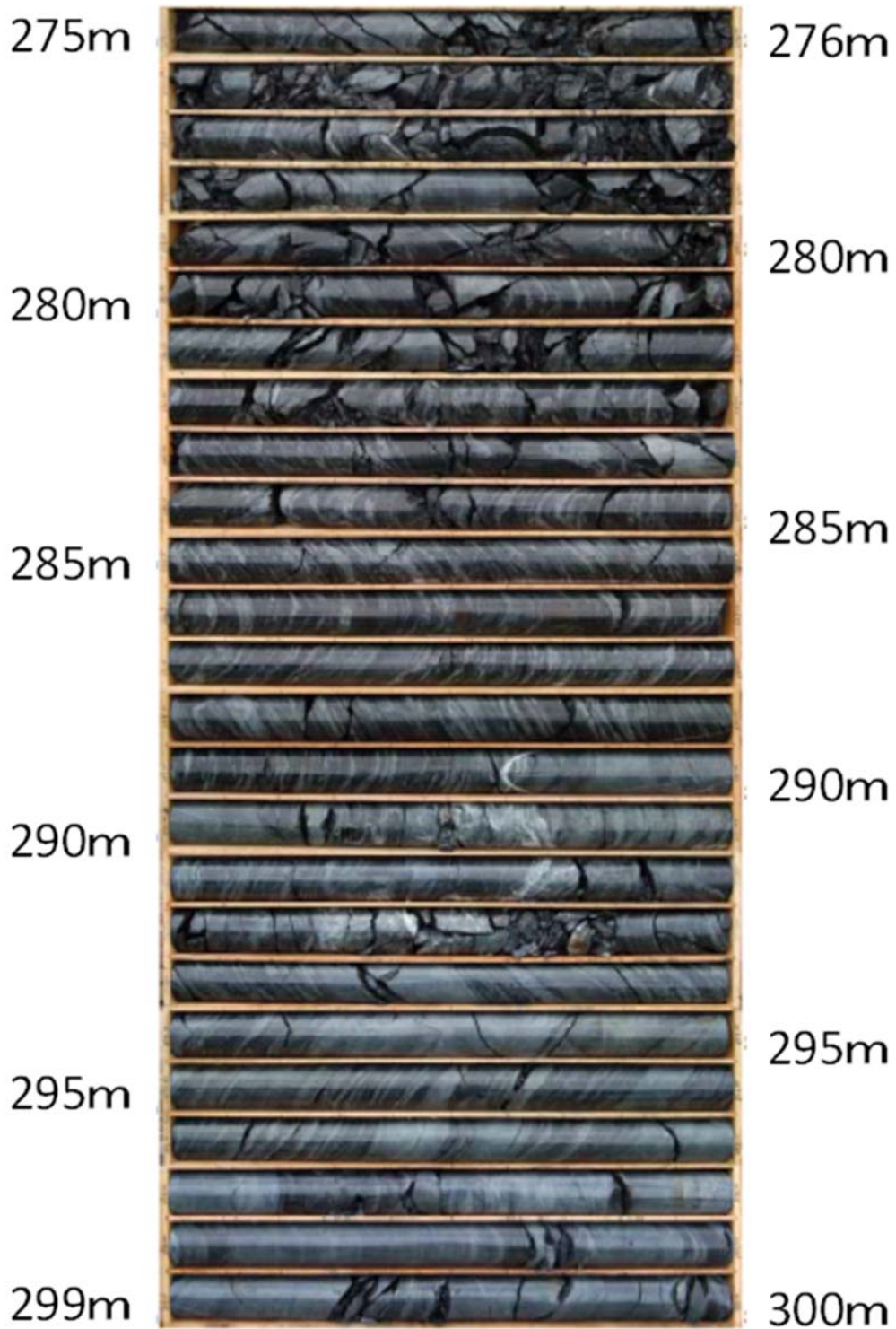


図2-6 ボーリング時の口元湧水量

ボーリングコア【275m～300m】





## ボーリングコア【300m～330m】

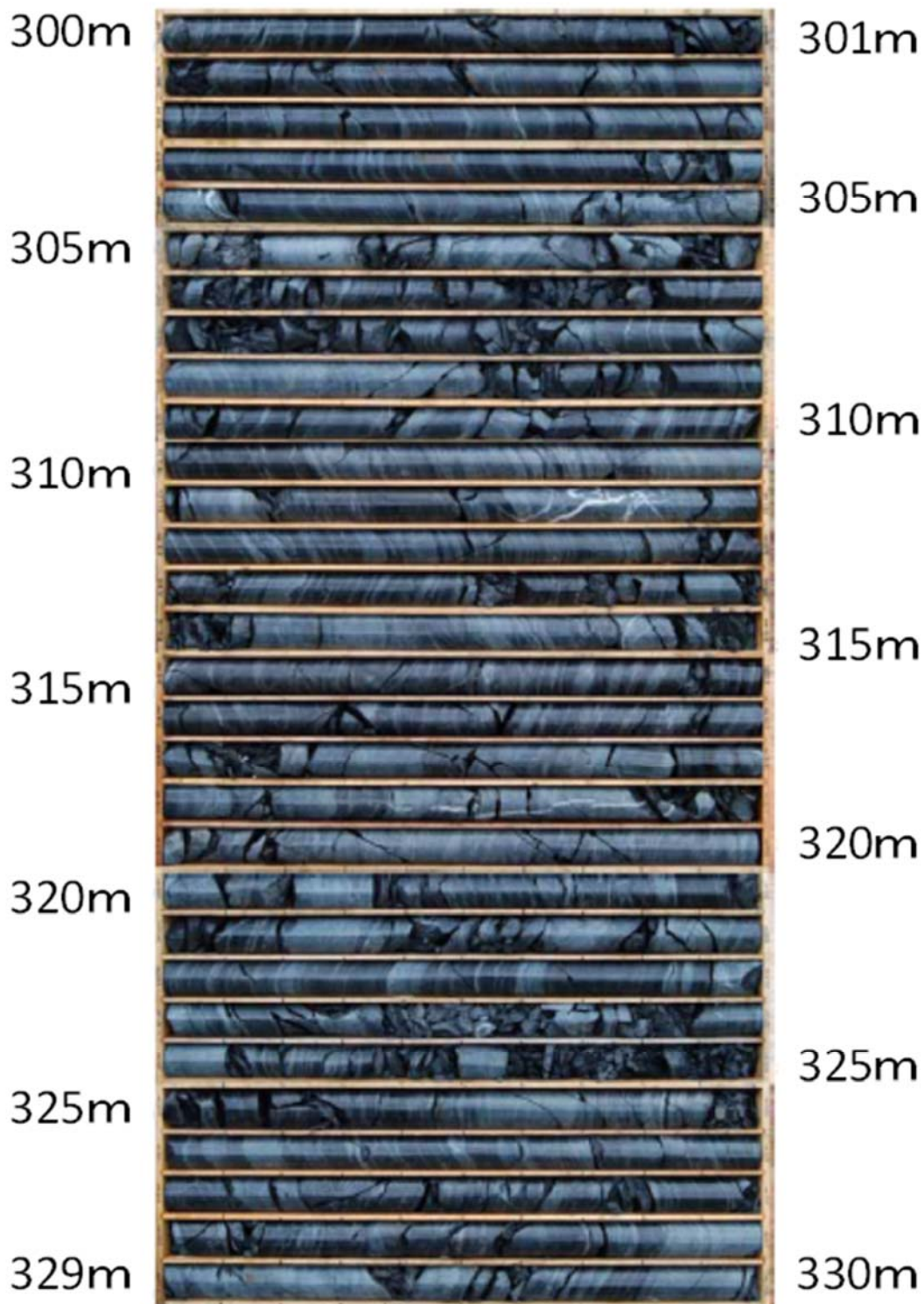


写真9 深度300m付近のコア写真

- ・探査aの弾性波探査の結果は図21に示すとおりであり、P波速度は4.5 km/s以上であることからトンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説（2016年制定 土木学会）によると地山等級「ⅢN」となり、当該地質では一番

良いという評価となります。ただし、弾性波探査は、深度が大きくなると信頼性が低下する傾向にあります。

### ③西俣斜坑沿い

- ・調査Cのボーリングはノンコアで削孔しました。(図27)

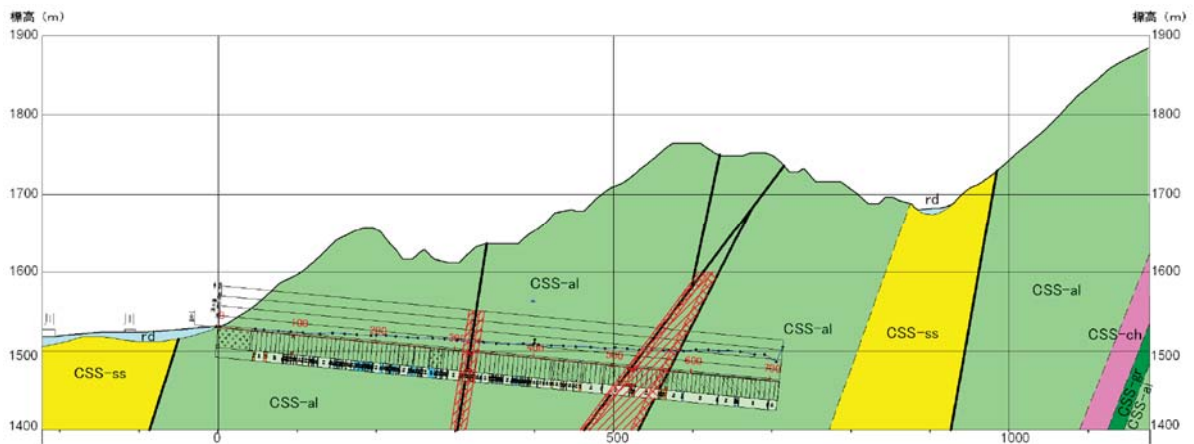


図27 ボーリング調査結果(西俣斜坑沿い)

これまで、山梨県内の斜坑の坑内からのノンコアボーリングのデータとその後の斜坑の掘削実績から、ノンコアボーリング削孔時のデータによる地山の評価を積み重ねています。ノンコアボーリング削孔時の削孔岩盤の単位体積あたりの消費エネルギー(ビットの回転や推進)が少ないほど、破碎質な岩盤であると評価しています。

- ・調査Cのボーリングによる消費エネルギーの推移及び口元湧水量の推移について、図28に示します。ボーリング深度600mまでは、ボーリング掘削延長に応じて口元湧水量も増加していきましたが、深度600m以降は口元湧水量が概ね約1200L/分で推移しました。
- ・調査期間中の最大口元湧水量は、約1700L/分を計測しました。

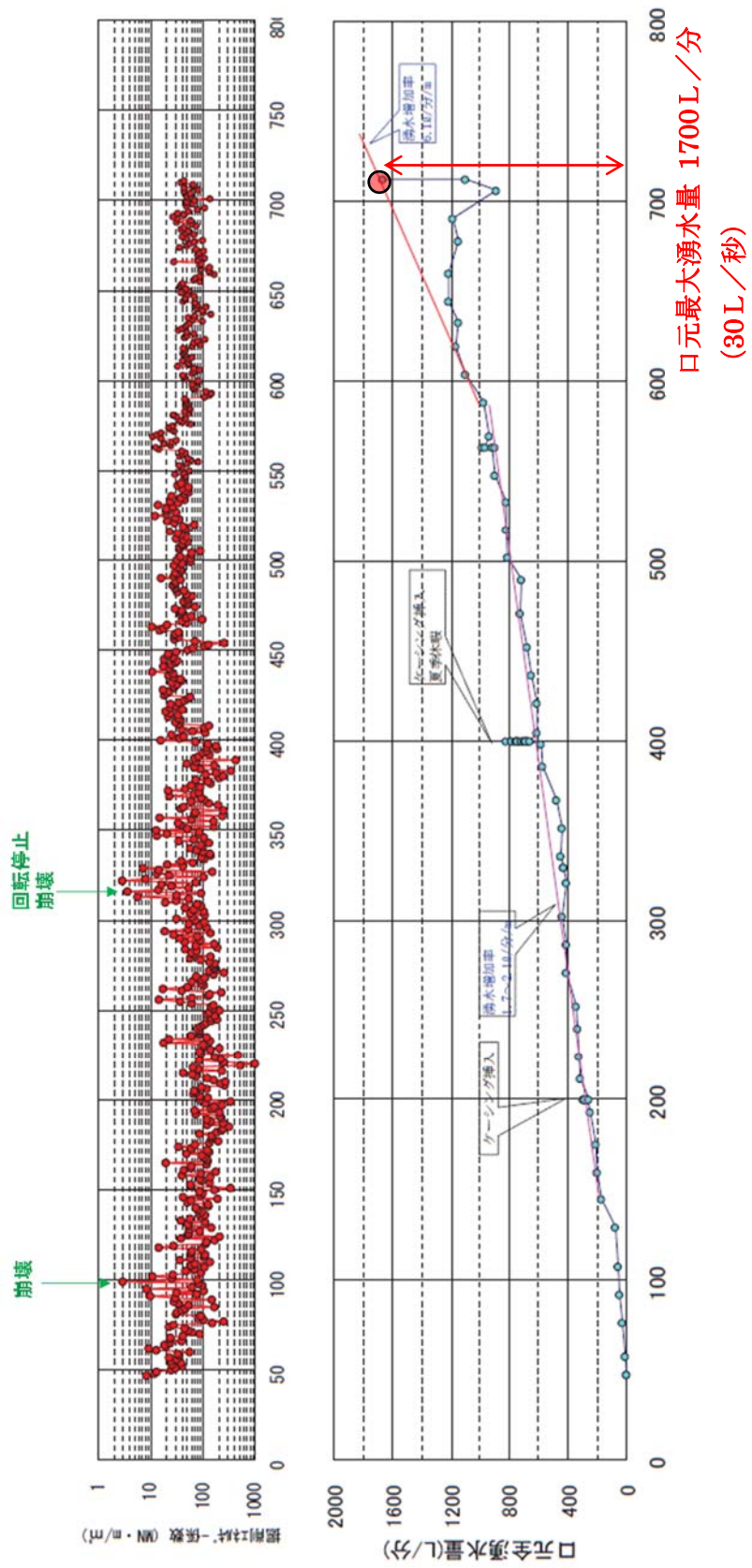


図 2 8 ボーリング調査時の掘削データ (西俣斜坑沿い)



#### ④先進坑の県境付近断層帯

- ・調査Dのボーリングはノンコアで削孔しました。(図29)

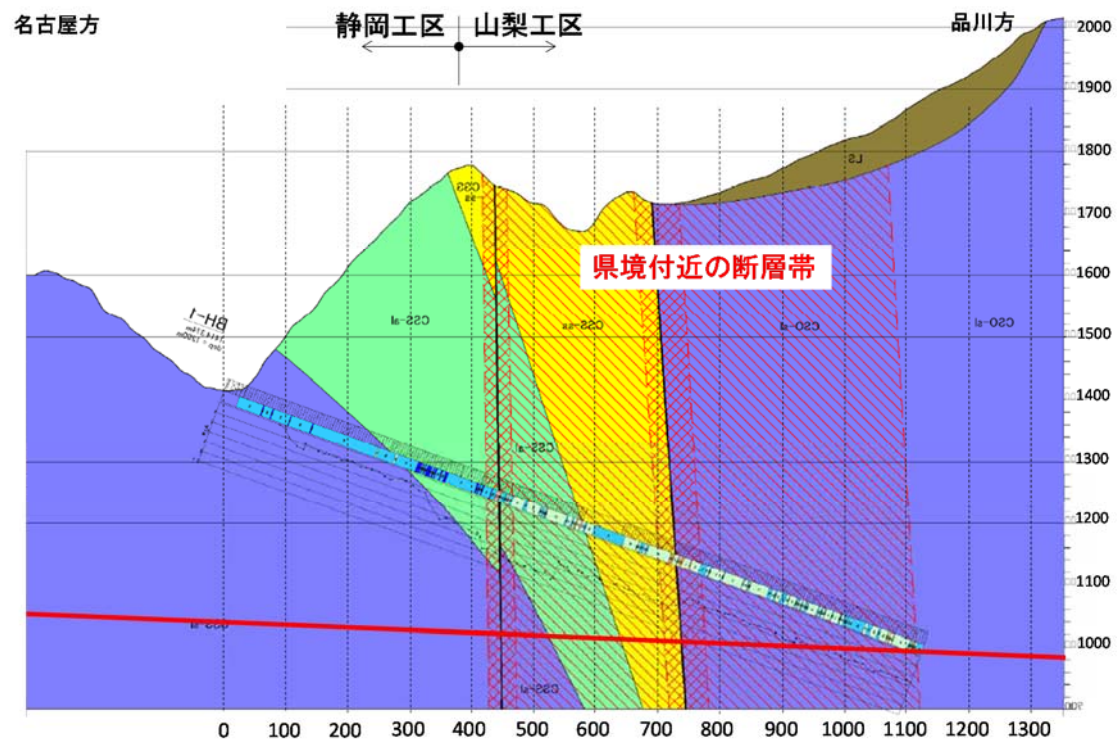


図29 ボーリング調査結果(県境付近の断層帯)

ノンコアボーリング削孔時のデータによる地山の評価については、調査Cと同じ指標で行っています。

- ・調査Dのボーリングによる消費エネルギーの推移、また、孔壁崩壊に伴う回転停止などの異常発生状況について図30に示します。口元湧水量の推移も併せて示しています。ボーリング深度360m以深において、口元湧水量が急激に増加し、最大口元湧水量が約2600L/分を記録、消費エネルギーが少ない破碎質な地質や孔壁崩壊に伴う回転停止が繰り返し発生し、約800mにわたって継続しました。
- ・調査の限界により、調査区間より山梨側の地質の確認はできておりません。よって、ボーリング調査結果よりさらに山梨側へ破碎質な地質が連続している可能性は否定できないと考えております。

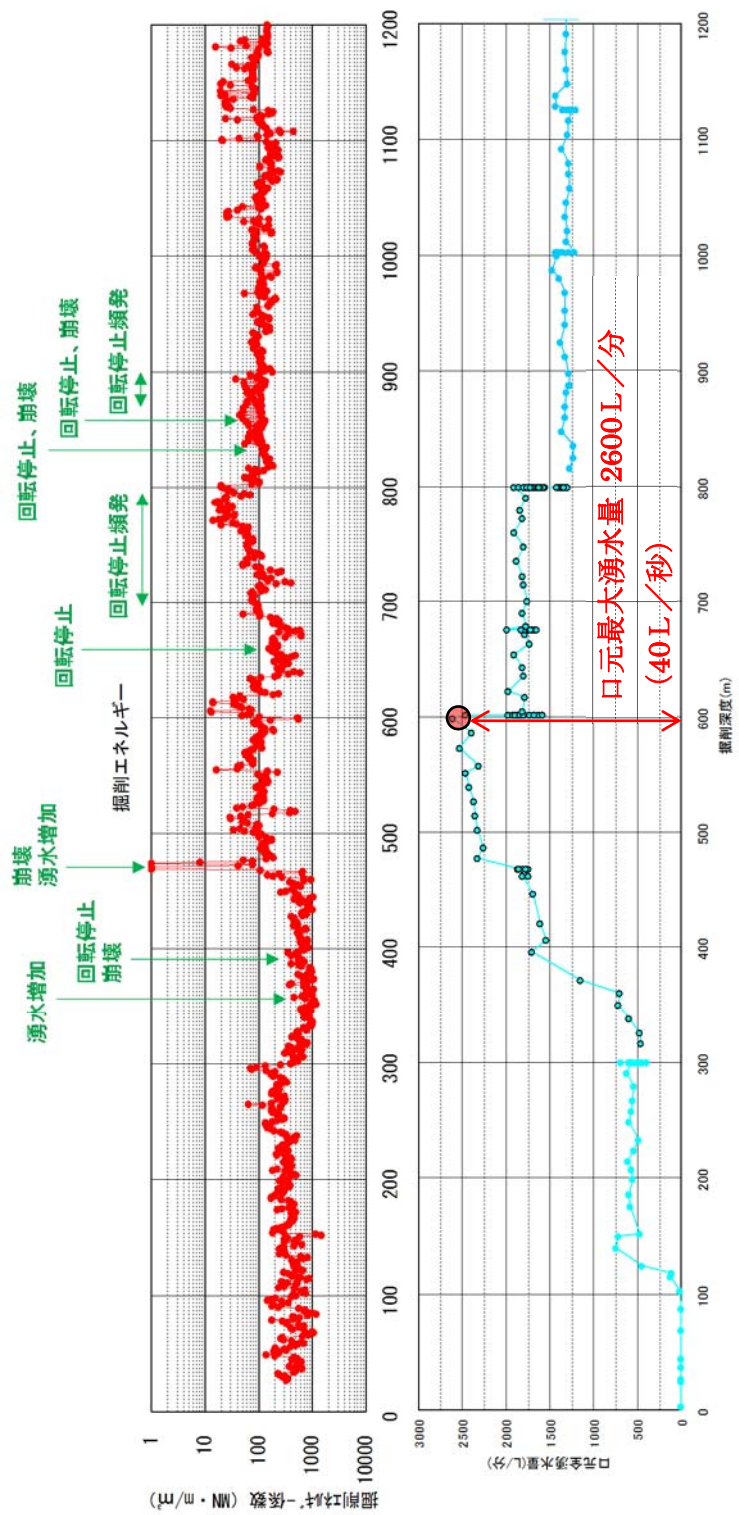


図30 ボーリング調査時の掘削データ（県境付近）

- ・口元湧水量の推移を調査B（図26）や調査C（図28）と比較すると、その量が格段に多いことが確認できます。

⑤本坑と大井川（東俣）交差点

- ・トンネルの計画にあたっては、本線に沿った断面で地質縦断図を作成しています。作成の際、安全にトンネルの施工を進めるという観点から、該当する地層における他の調査結果なども参考にしうえて、可能性や程度に関わらず少しでも施工上の留意点として考えられる事柄を南アルプストンネル全般にわたって列挙し、コメントとして記載しています。
- ・本坑と大井川（東俣）交差点について、地質縦断図と地質縦断図に付しているコメントを図31に示します。図25や図26に示す通り、深度600m付近までの当該箇所と同じ地層において、湧水量が増えている箇所が確認されており、当該箇所において湧水量が増える可能性を否定できないことから、湧水に対する懸念を記載しています。
- ・しかしながら、本坑と大井川（東俣）交差点付近の断層と考えられる箇所に関しては、調査Bの斜め下向きボーリングにおいて、約100m付近で状況を直接確認しています。当該箇所のコアの状況は写真8のとおりです（当該箇所を黄色囲みで示します）。幅3m程度の小規模な破碎質な区間を確認しましたが、湧水量も僅少であり、特にトラブルなく掘削を進めております。
- ・以上のボーリング結果から、本坑と大井川（東俣）交差点における大量湧水の可能性は小さいと考えておりますが、地質が急激に変化する可能性がありますので、切羽周辺からのボーリングによる前方探査を実施し、地質の脆い区間を確認した場合には薬液注入等を行い、湧水に伴うリスクを極力小さくしながら慎重に掘削します。

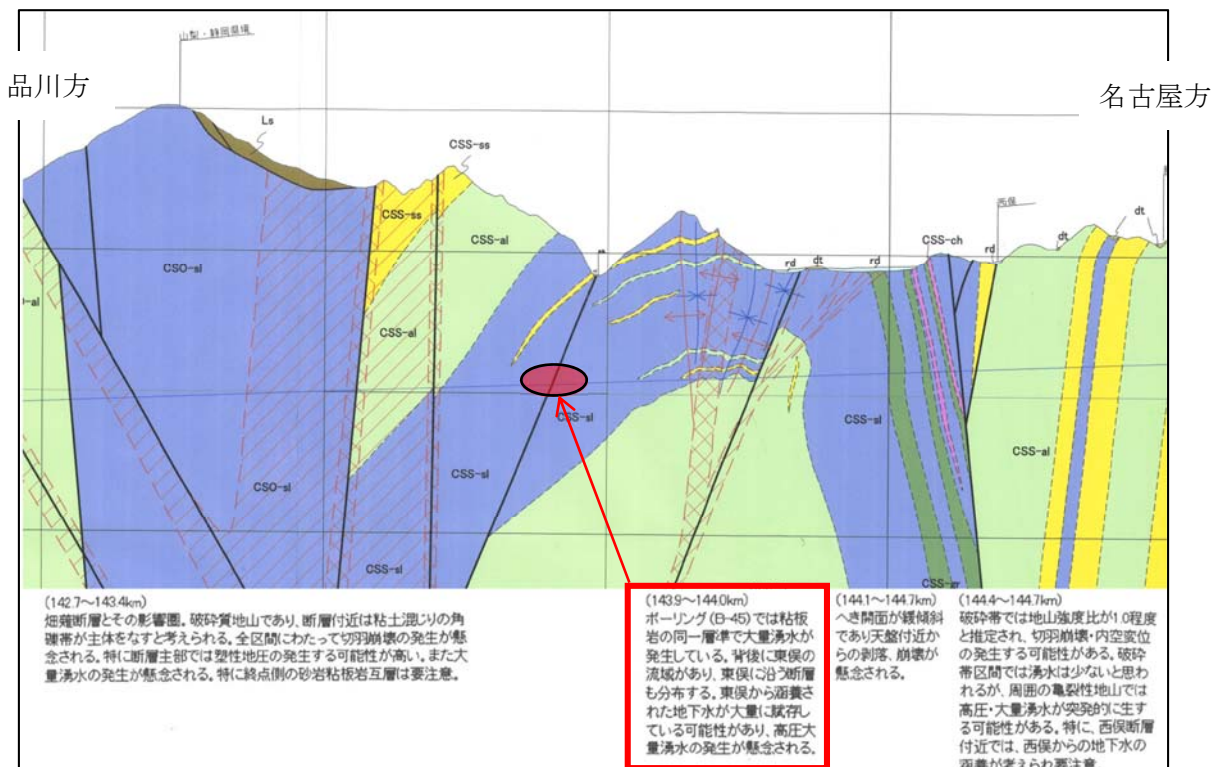


図31 地質縦断図と施工上の留意点