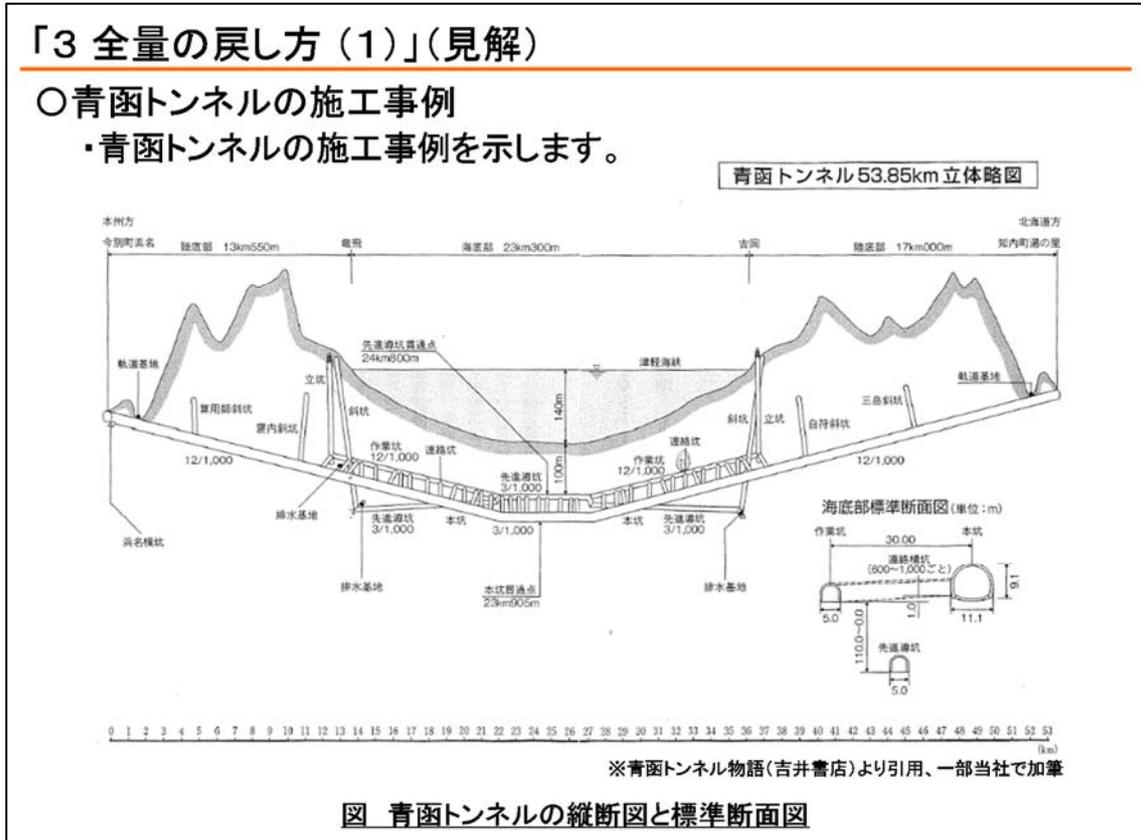


9、トンネルの掘り方に係る参考資料

(1) 参考資料1 青函トンネル掘削時における突発湧水事例

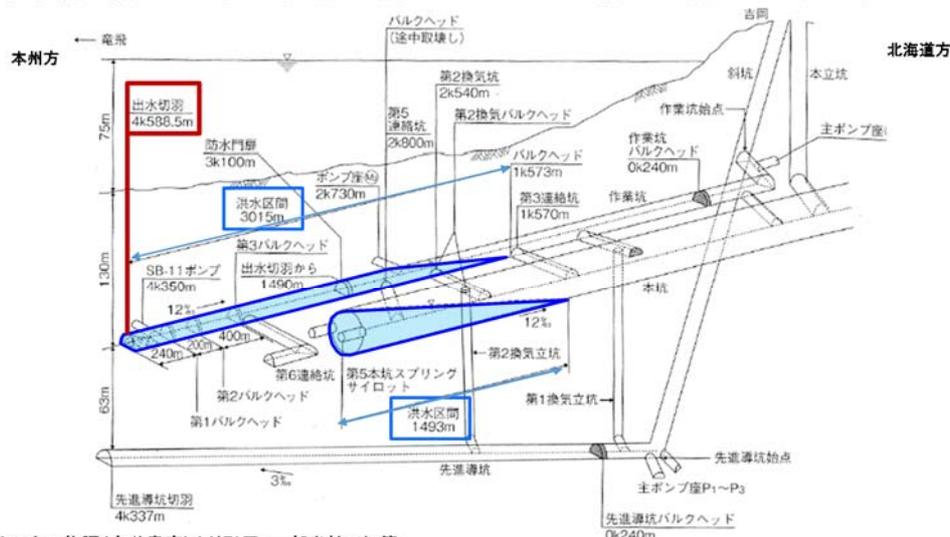
※「(前略) 引き続き対話を要する事項」に対する再見解(その1、その2)より抜粋



「3 全量の戻し方 (1)」(見解)

○青函トンネルにおける突発湧水(1)

- ・青函トンネルでは、突発湧水により、4回水没しました。
- ・そのうちの代表例として、昭和51年、北海道方で最大約70m³/分(約1.2m³/秒)の出水により、作業坑約3km、本坑約1.5kmにわたり水没しました。
- ・なお、最大約70m³/分の出水が発生した日の2日後には約20m³/分となっています。



※青函トンネル物語(吉井書店)より引用、一部当社で加筆

「3 全量の戻し方 (1)」(見解)

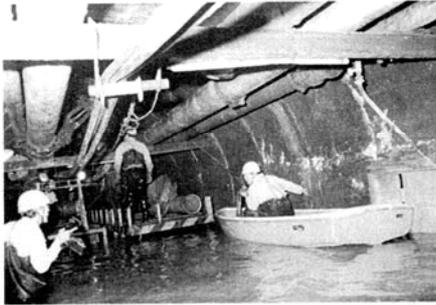
○青函トンネルにおける突発湧水(2)

- ・出水箇所は、破砕帯と呼ばれる脆弱な地質箇所、事前に切羽(掘削面)手前から先進ボーリングにより地質を確認しつつ、掘削を進めていました。
- ・さらに、事前に切羽(掘削面)手前から、地盤への薬液注入を行なうなどの対策をしていましたが、出水が発生しました。
- ・出水に対応するため、複数箇所バルクヘッド(隔壁)を構築して水を防ごうとし、また、作業坑に設置している防水門扉を使用しましたが、それぞれ突破され作業坑と本坑が水没しました。(斜坑底の主ポンプ座の水没を防ぐため、本坑に導水)
- ・復旧のために、青函トンネルの本州方の現場や上越新幹線のトンネル建設現場のポンプなどが集められ、復旧作業に使用されました。
- ・機械・電気設備などにも、大きな被害あったと思われませんが、詳細は不明です。

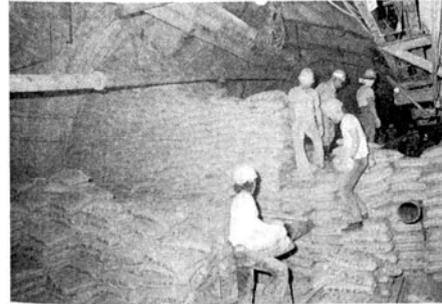
「3 全量の戻し方(1)」(見解)

○青函トンネルにおける突発湧水(3)

- ・この出水より人的被害が出たとの記録はありませんが、作業員等に対する安全性が低下しました。
- ・水没した作業坑、本坑を復旧するために、約半年の工期を要しました。
- ・最終的に、作業坑は迂回させることにより出水箇所を通過しました。



作業坑排水



作業坑バルクヘッド築造

出典: 津軽海峡線工事誌(青函トンネル) 日本鉄道建設公団青函建設局

(2) 参考資料2 突発湧水発生時の検討

- ・突発湧水が先進坑を下向きに掘削している時に生じた場合、先進坑のトンネル断面で、計画縦断勾配である下向き4%の勾配を踏まえ、トンネル後方に湛水する量を切羽からの距離ごとに算出しました。(図9-1、図9-2、表9-1)

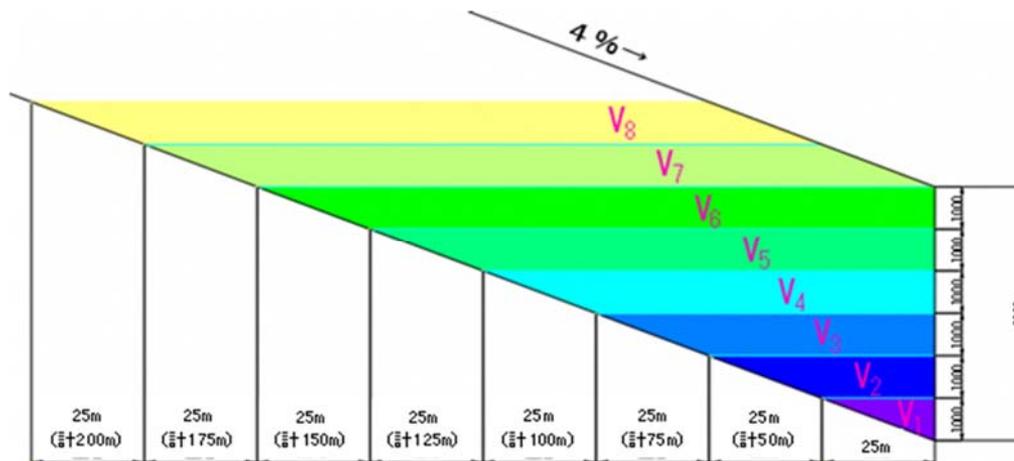


図 9-1 先進坑切羽からの浸水分布図

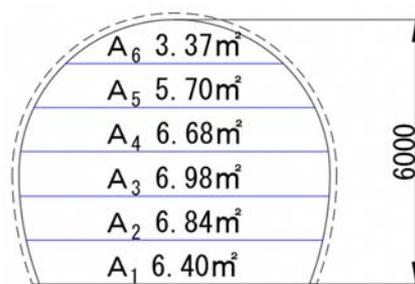


図 9-2 先進坑高さ1m当りの求積図

表 9-1 浸水分布における浸水体積と切羽からの浸水距離

体積 (m ³)	積算体積	浸水高さ	切羽からの距離 (m)	
V ₁	80.0	80	1	25
V ₂	245.5	326	2	50
V ₃	418.3	744	3	75
V ₄	589.0	1,333	4	100
V ₅	743.8	2,077	5	125
V ₆	857.1	2,934	6	150
V ₇	899.3	3,833	7	175
V ₈	899.3	4,732	8	200
V ₉	899.3	5,631	9	225
V ₁₀	899.3	6,531	10	250
V ₁₁	899.3	7,430	11	275
V ₁₂	899.3	8,329	12	300

(3) 参考資料3 山梨県境付近への導水路トンネル取付けに関する追加検討資料

- ・導水路トンネルの計画について、産業技術総合研究所の地質図にトンネル計画を重ね合わせ、さらにトンネル縦断面図を作成し、確認しました。(図 9-3、図 9-4)

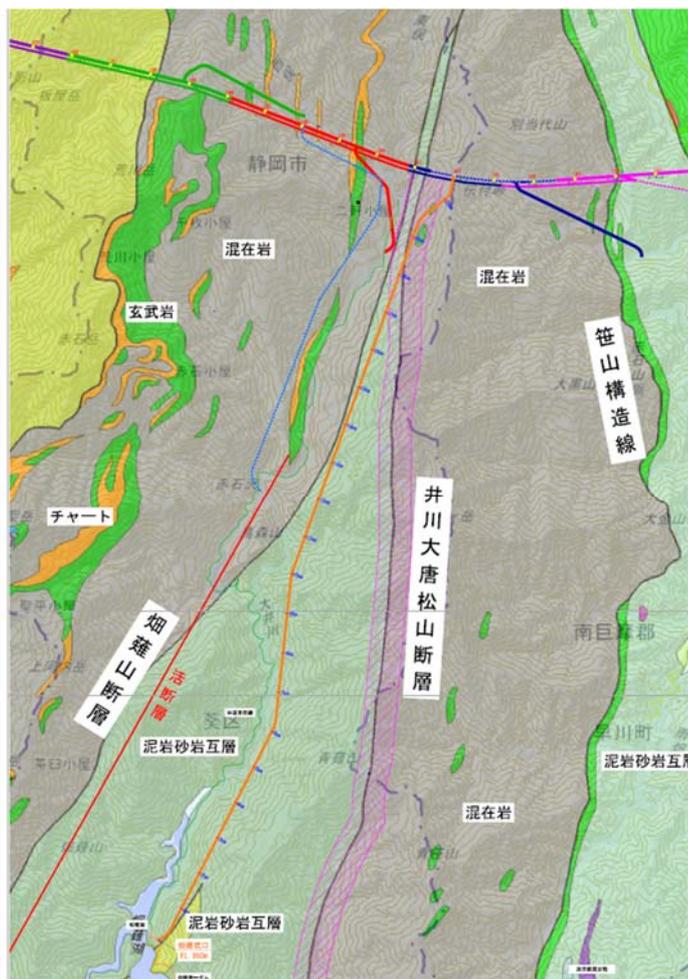


図 9-3 県境付近へ導水路トンネルを取付ける計画 (産総研地質平面図)

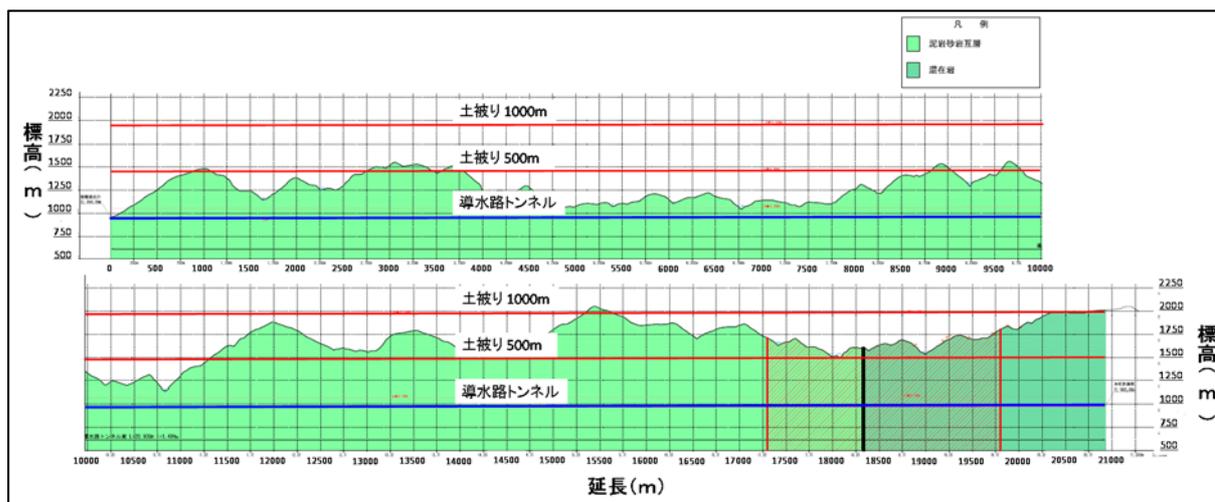


図 9-4 地質縦断面図

- ・産総研の地質平面図では、山梨県との県境付近には、井川－大唐松山断層が明記されています。
- ・井川－大唐松山断層に伴う脆い地質の範囲がどの程度東西方向に広がっているか詳細が分からないため、平面図では、断層を含み約800mの幅で表現しております。
- ・産総研の地質平面図（図9-3）では、県境付近へ導水路トンネルを取付けるためには、井川－大唐松山断層を南北方向に平行して掘削する必要があります。
- ・地質縦断図（図9-4）で見て頂けると、坑口0kmから4km付近と11km付近から到達部20km付近までの区間約13kmにおいて、土被りが500m以上の大土被りとなり、長大なトンネルを掘削することは、技術的にも難しいと考えます。

(4) 参考資料4 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 9-1、図 9-5、図 9-6）で示します。

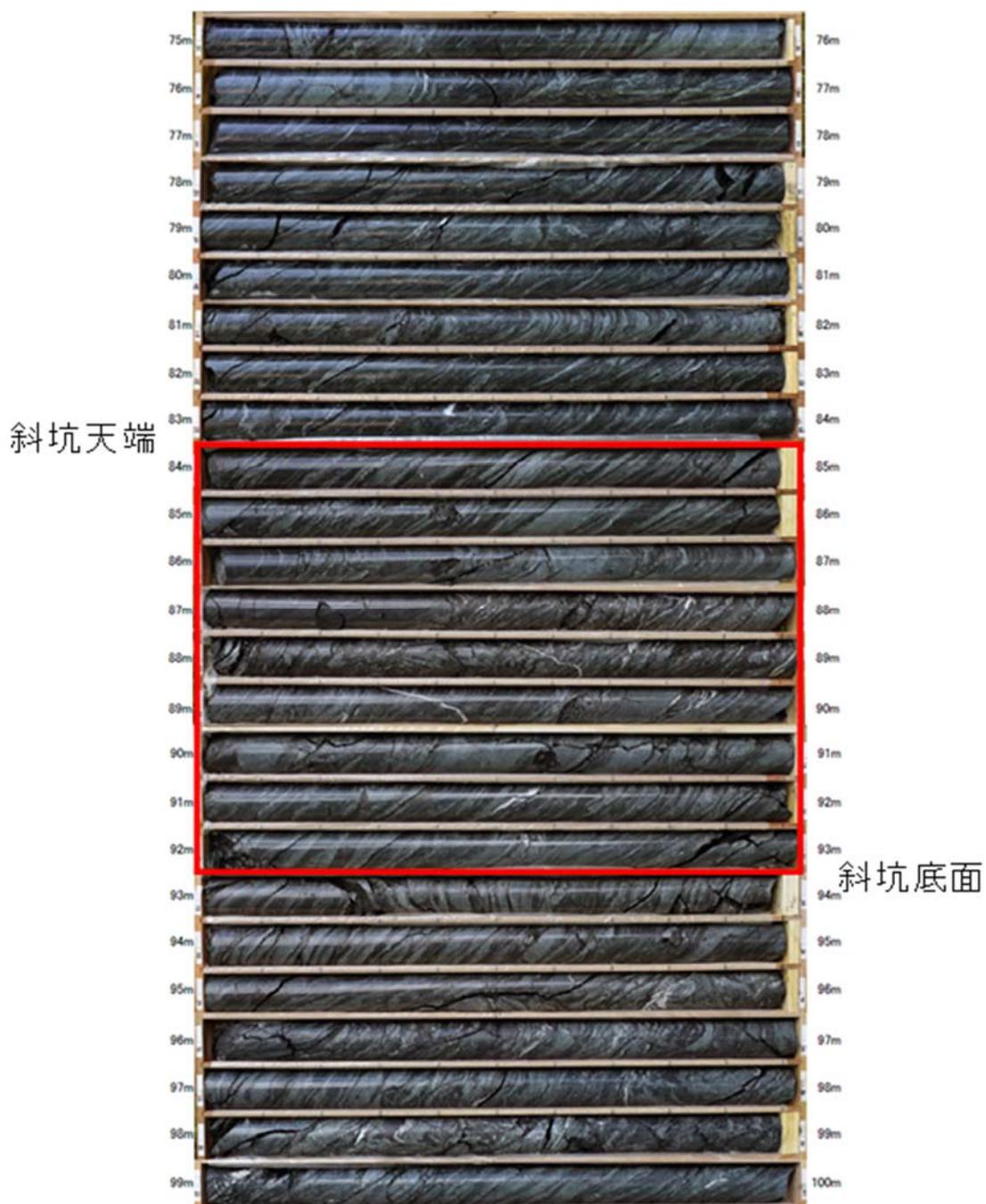
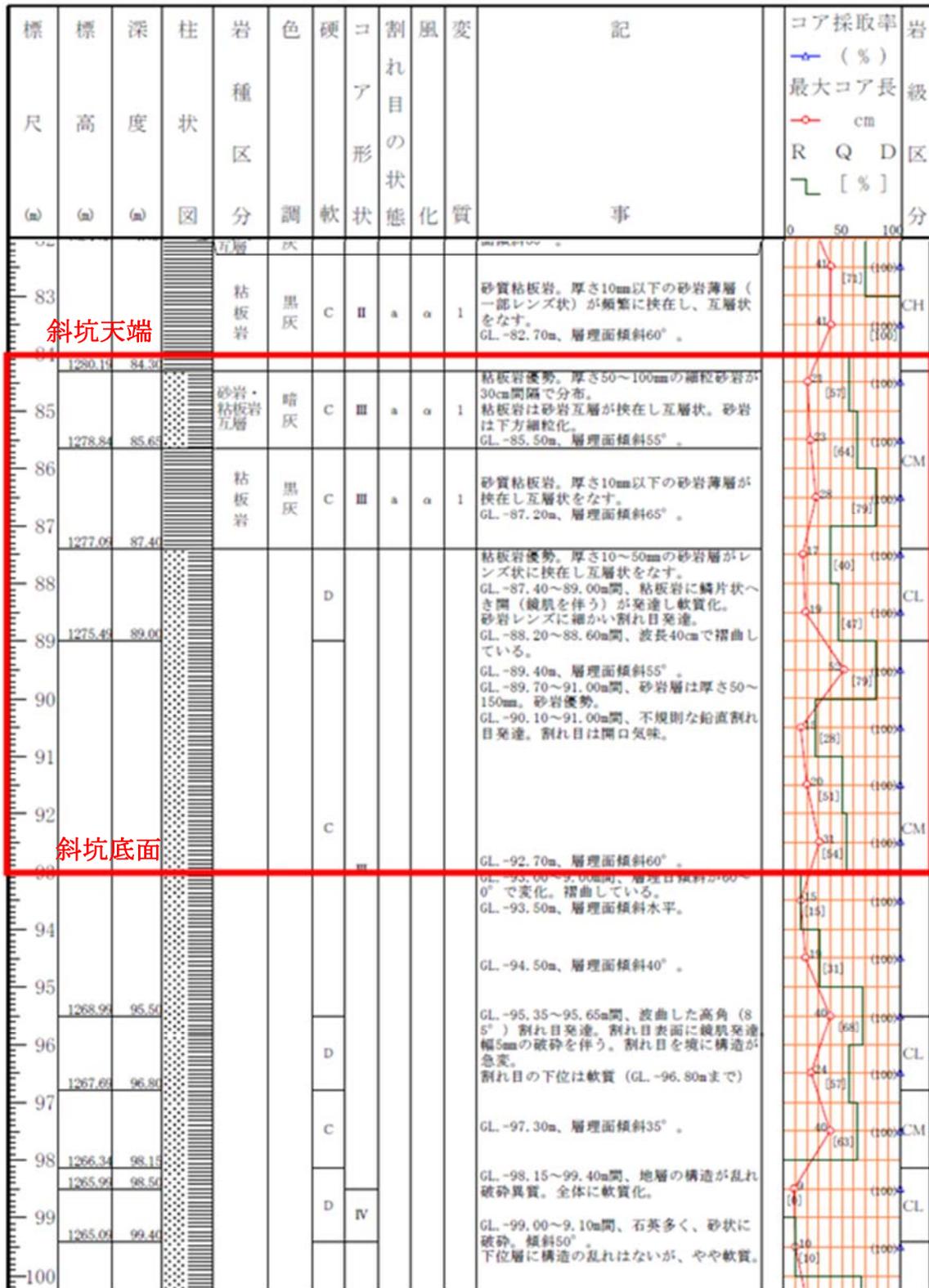


写真 9-1 コアの状況（赤囲み部：深度84m～93m）



斜坑天端

斜坑底面

図 9-5 柱状図（写真 9-1 コアの状況付近の抜粋）

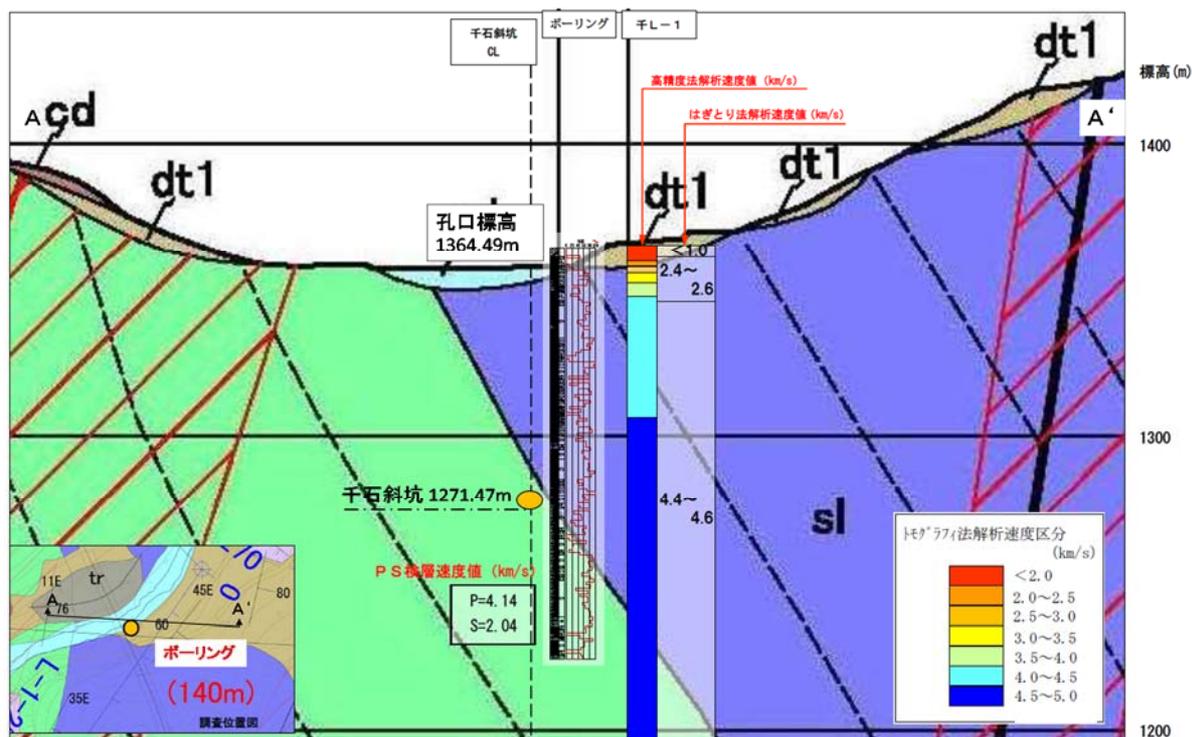


図 9-6 千石斜坑と大井川交差点付近の調査詳細

- ・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10cm当たりに対し、10cm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4.1km/秒であり、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9-7、図9-8）に示すとおり、該当箇所のP波速度は4.5km/秒以上であり、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。

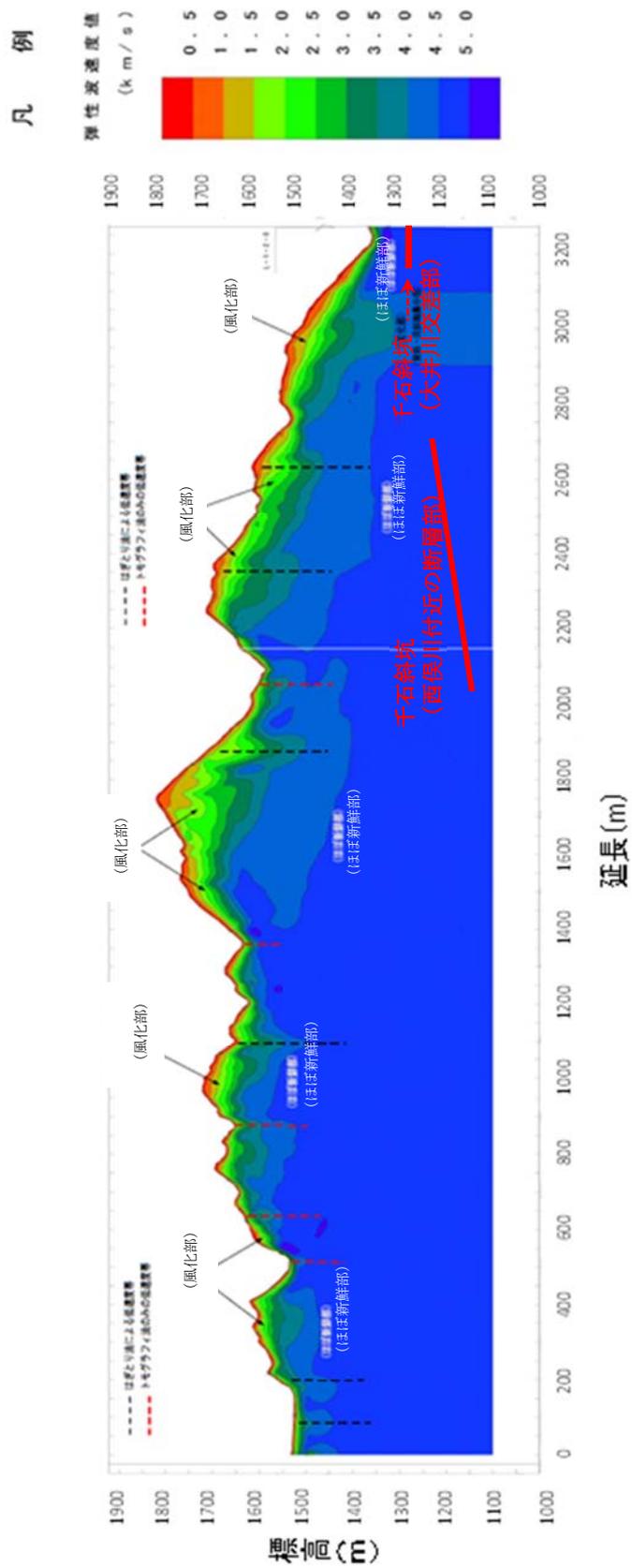


図 9-7 探査 a 弾性波探査の速度分布

凡例

弾性波速度値
(k m/s)

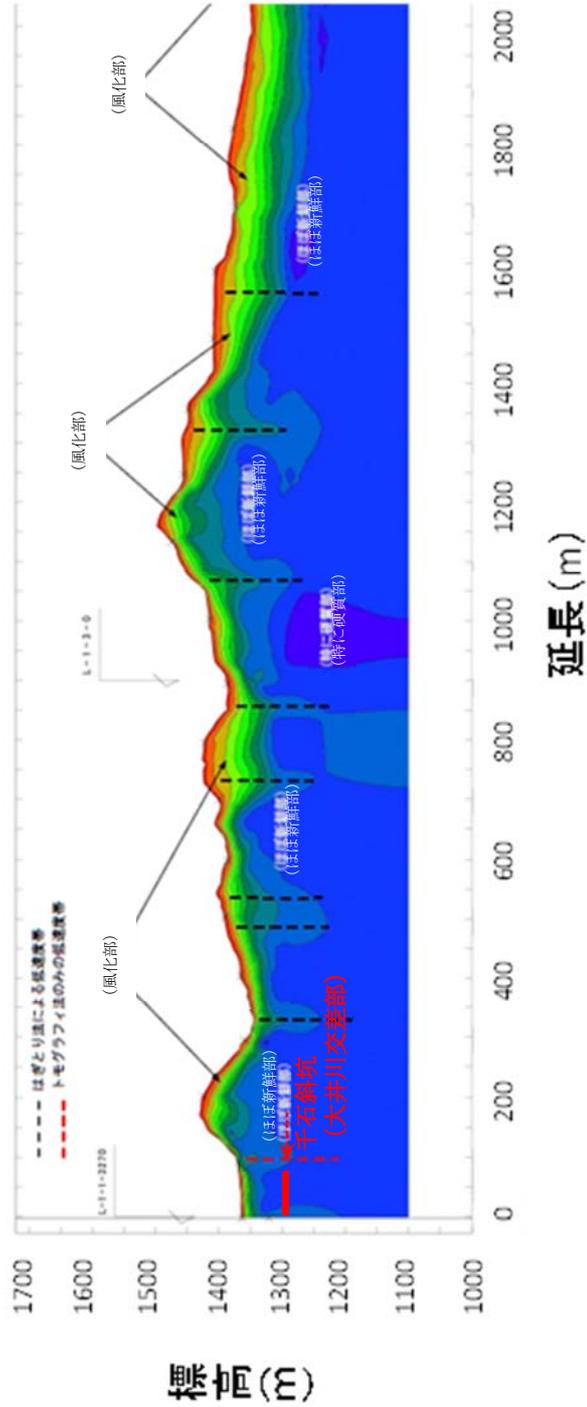


図 9-8 探査 b 弾性波探査の速度分布

- ・ 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 9-9 の P 波速度分布に示すように、測線の 200 m ~ 400 m 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。

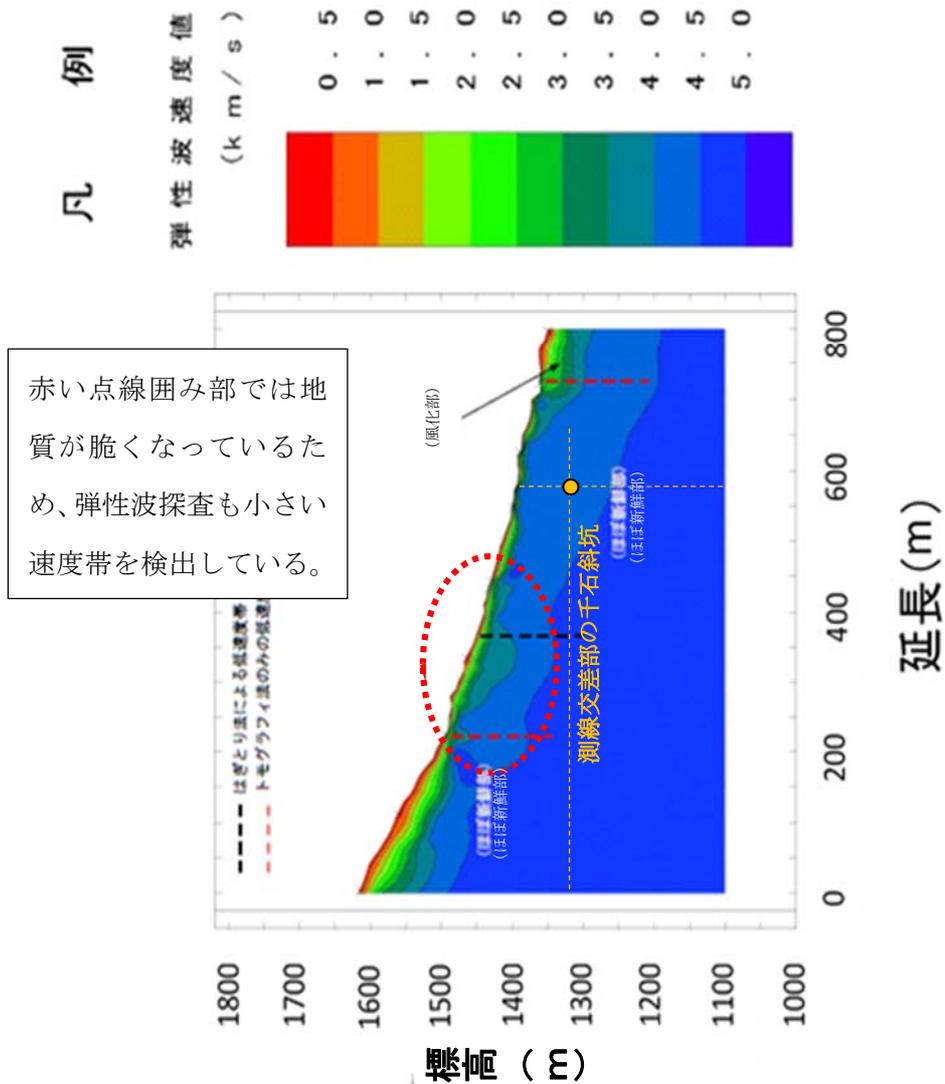


図 9-9 探査 c 弾性波探査の速度分布

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9-10)、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9-2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。

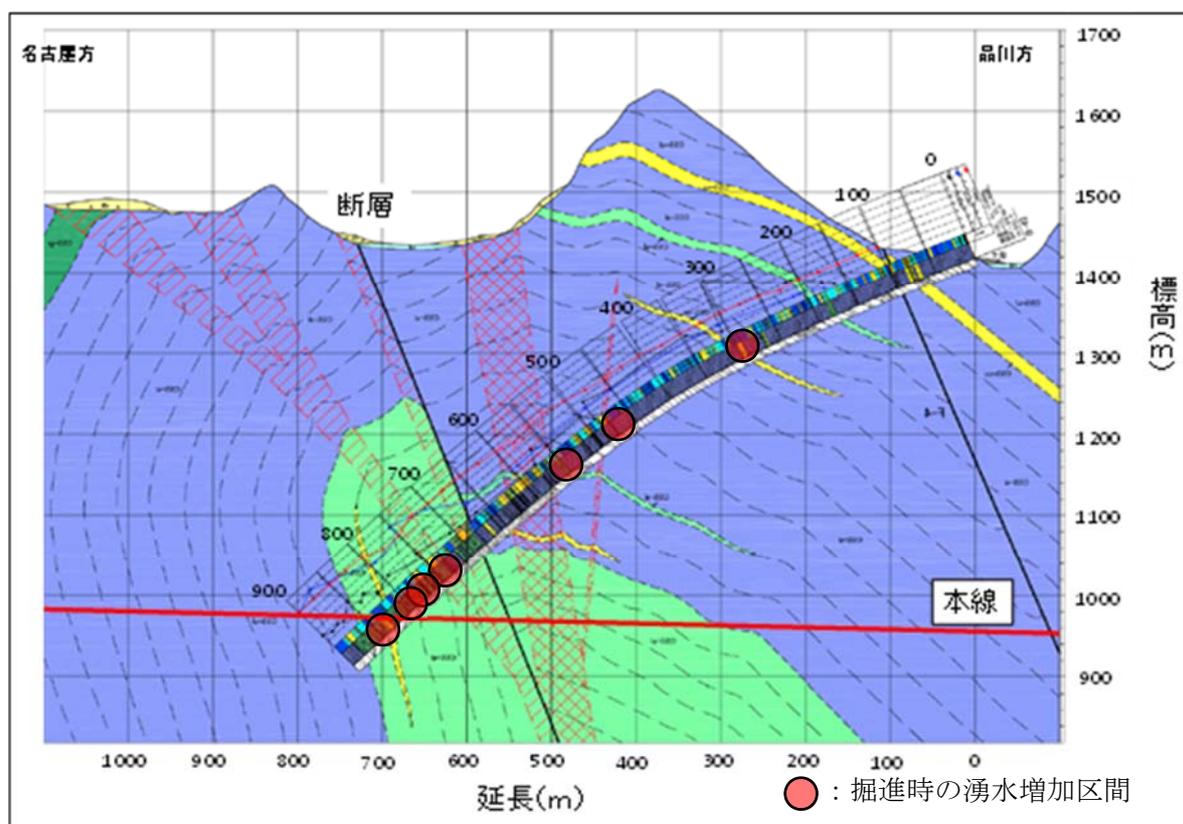


図 9-10 ボーリング調査結果

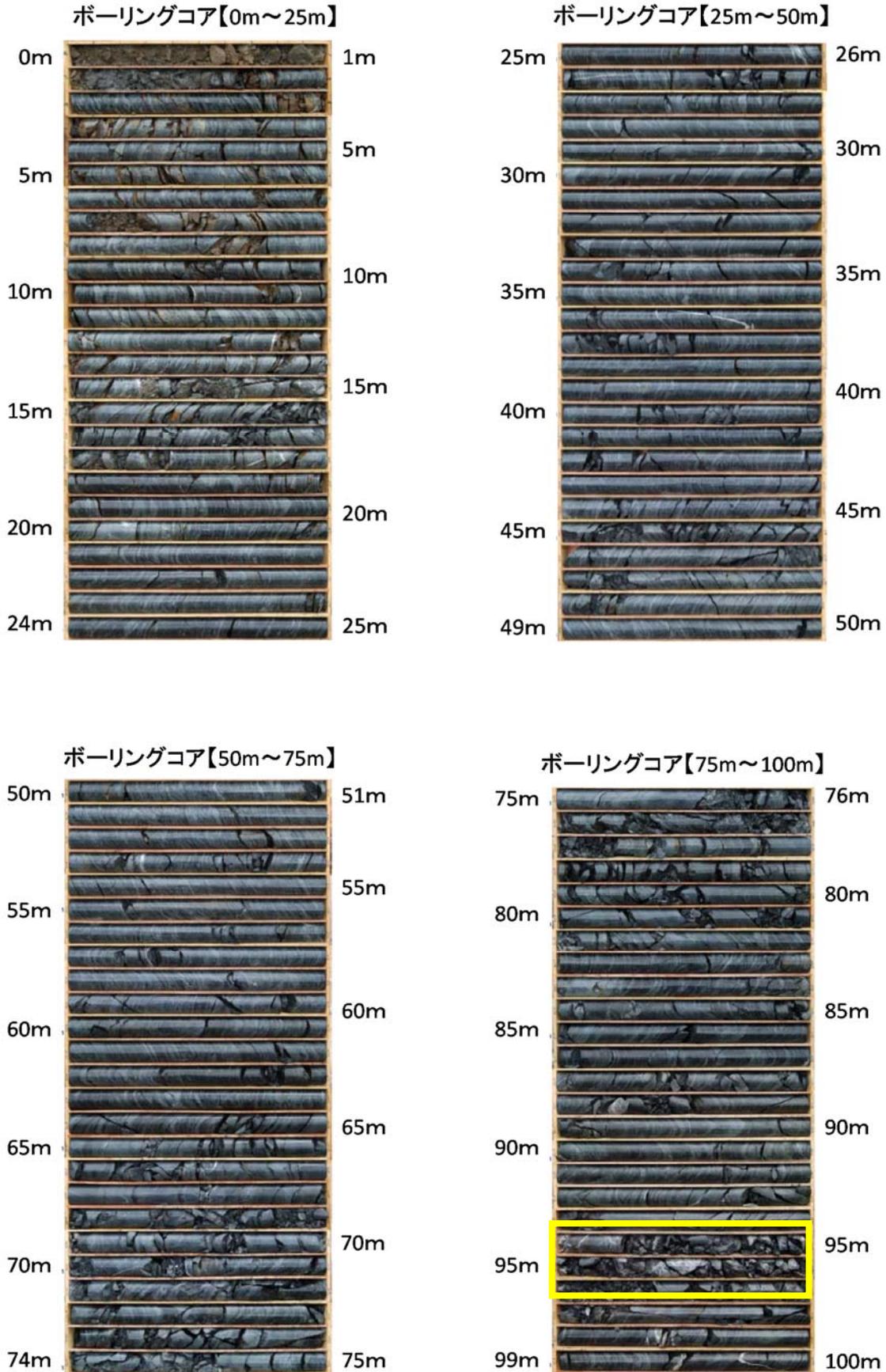


写真 9-2 (1) ボーリングコア写真

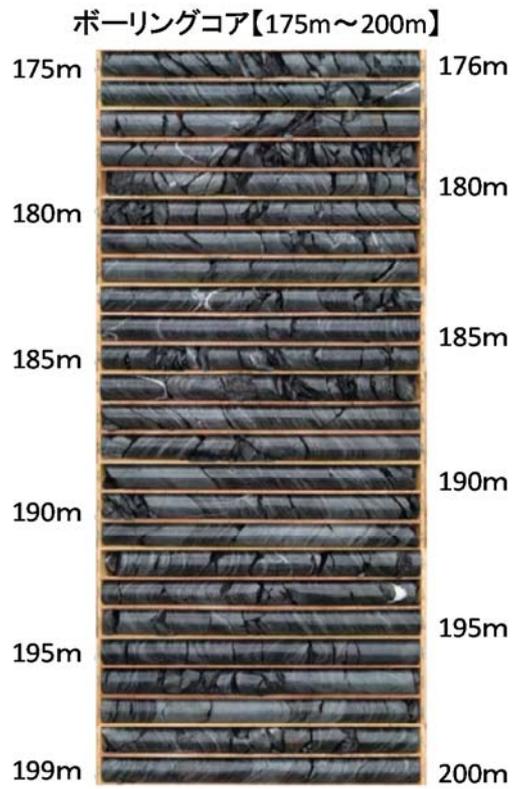
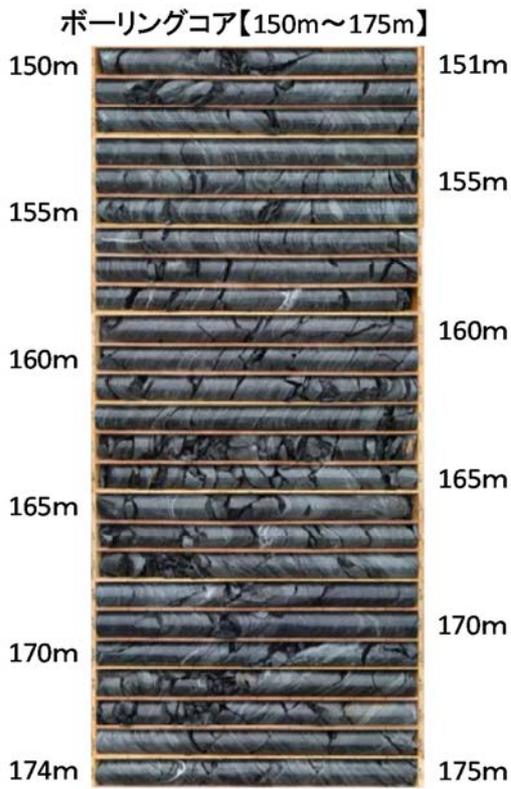
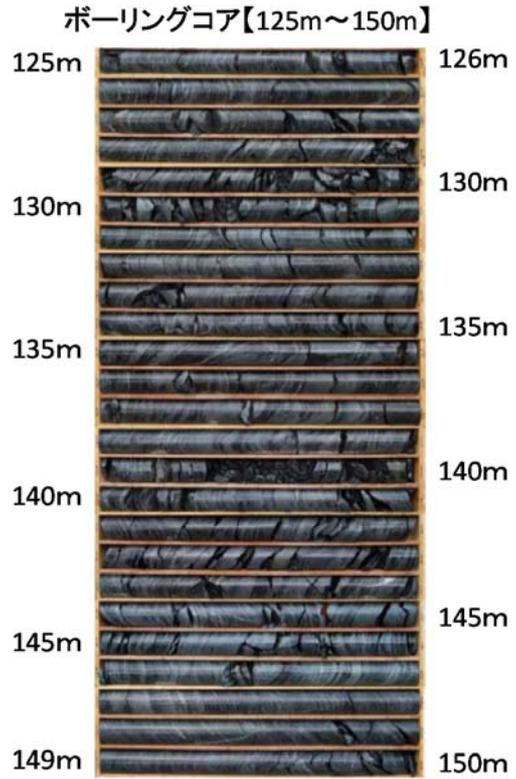
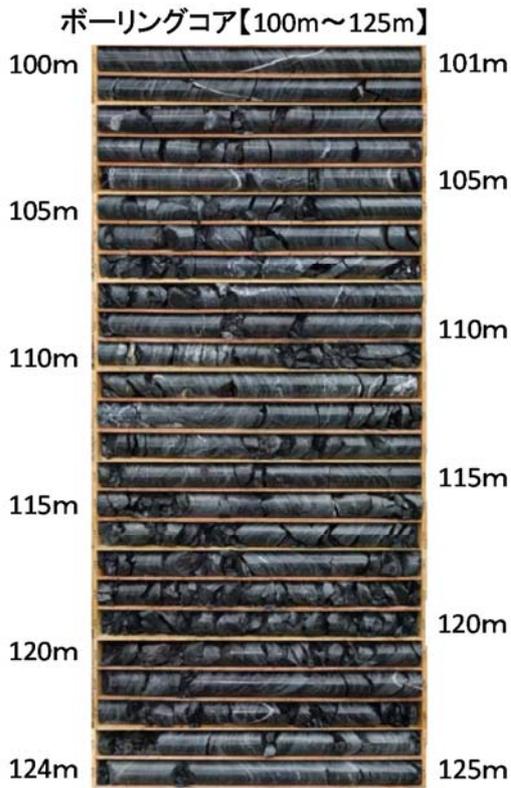


写真 9-2 (2) ボーリングコア写真

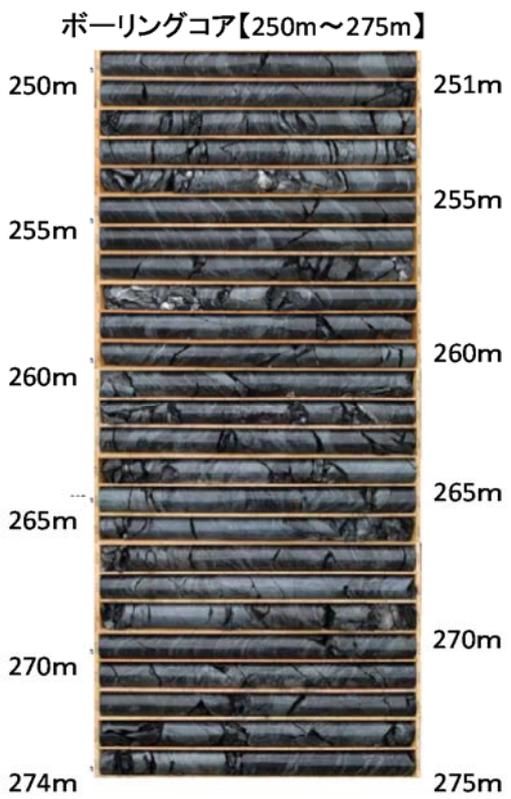
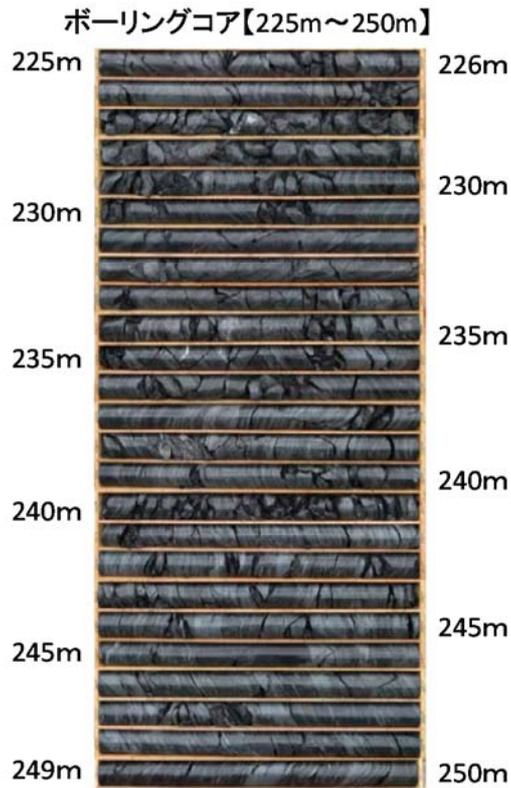
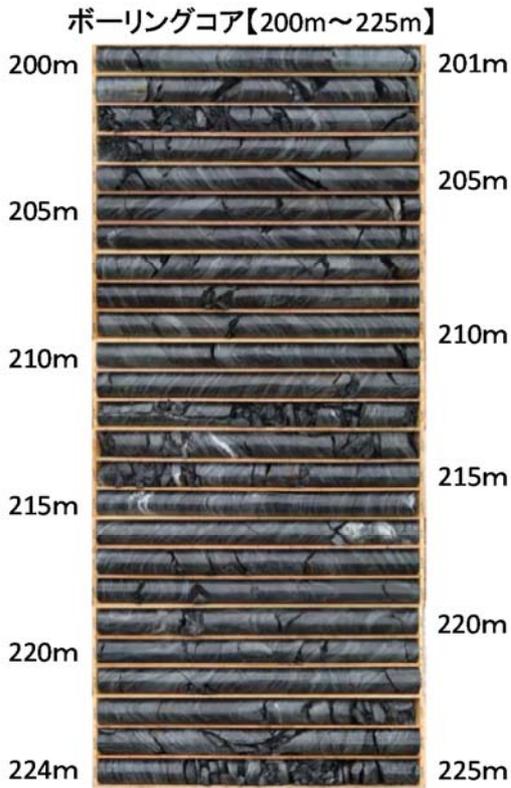


写真 9-2 (3) ボーリングコア写真

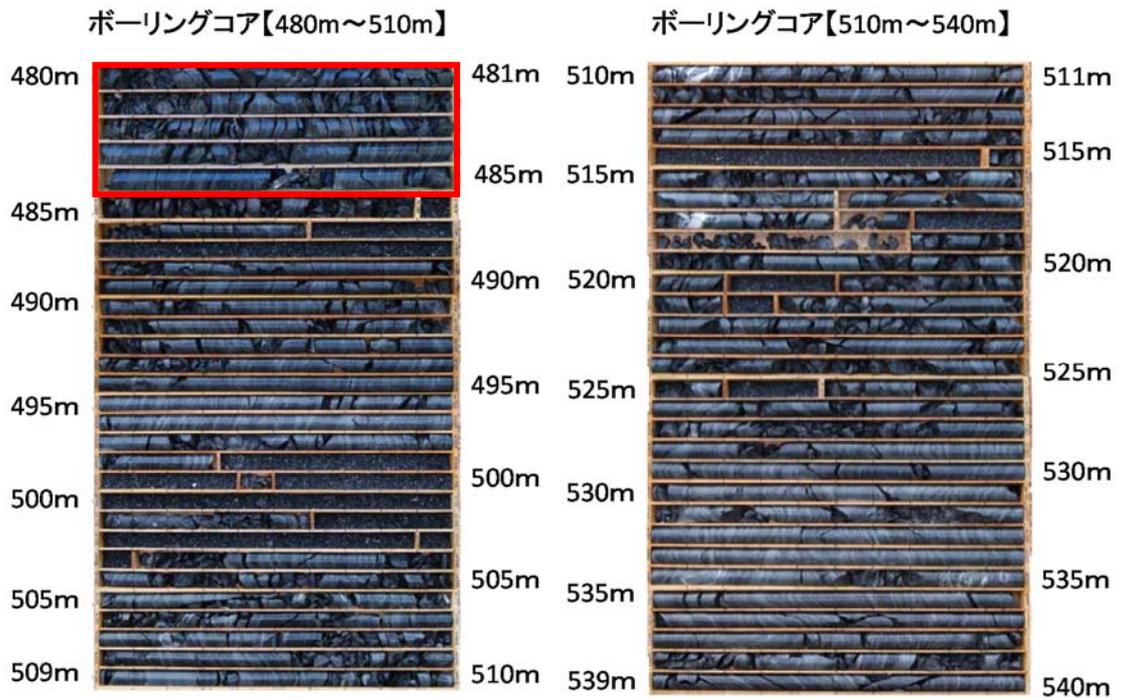
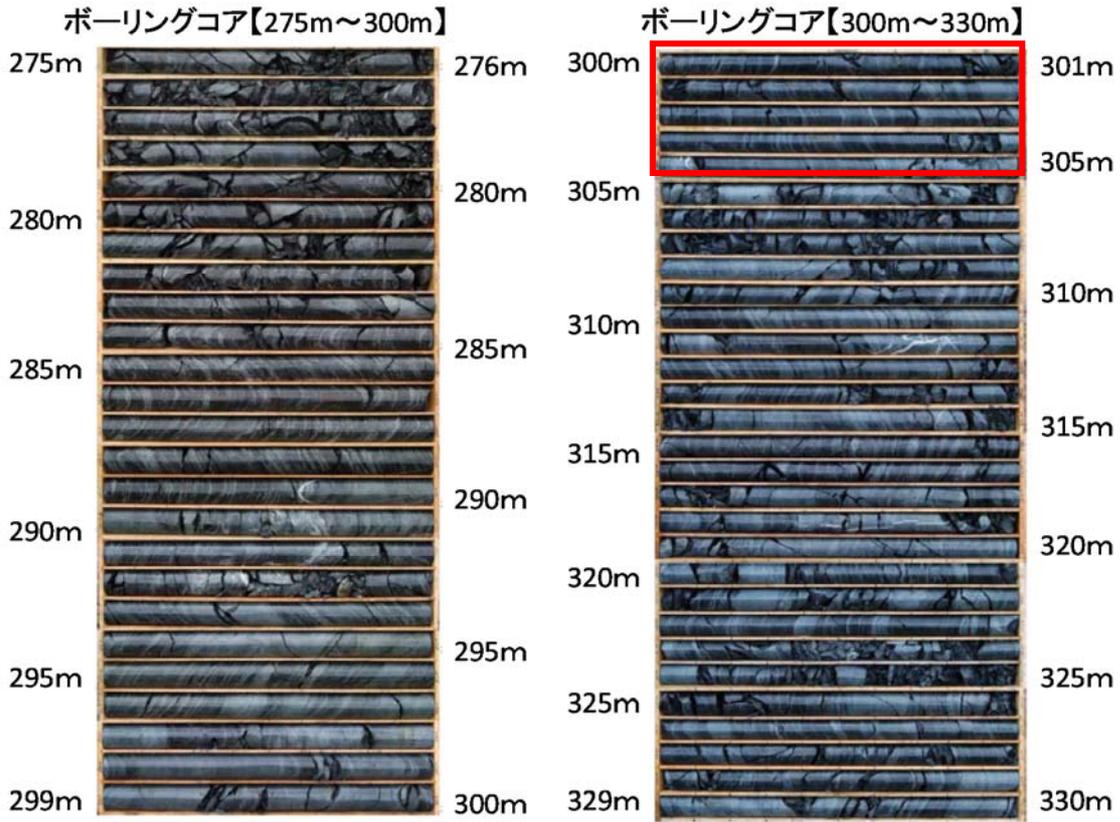


写真 9-2 (4) ボーリングコア写真

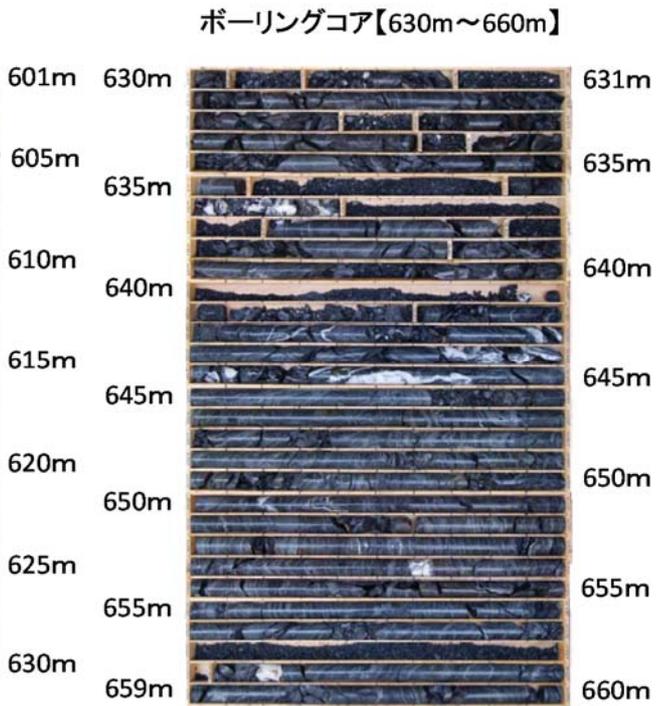
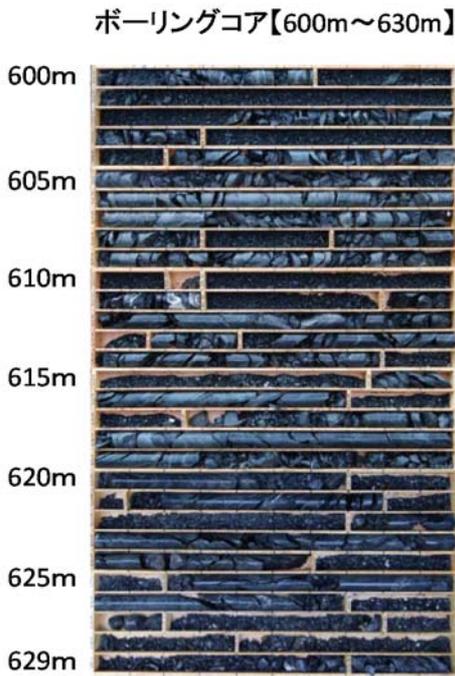
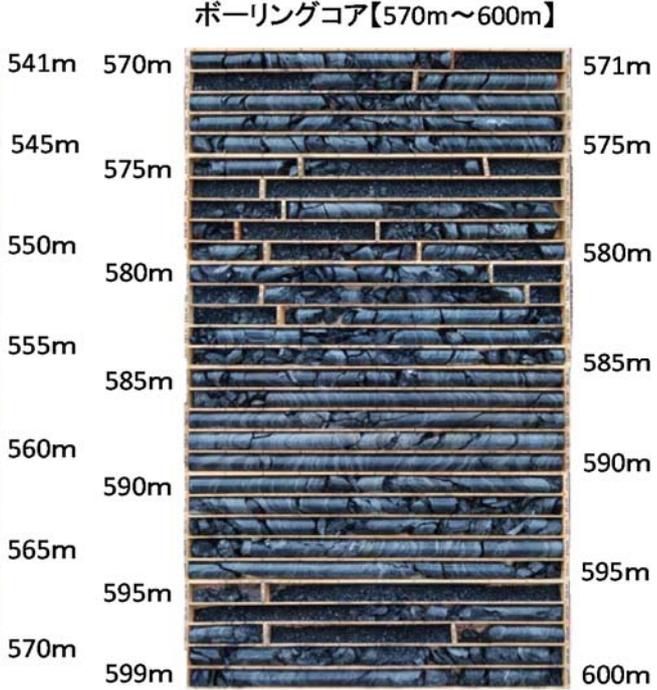
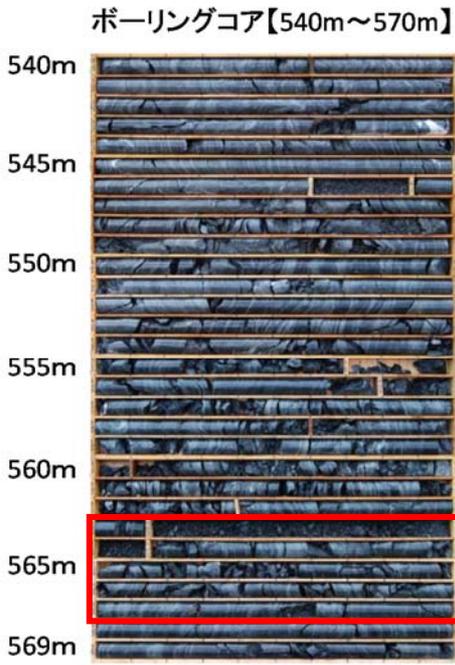


写真 9-2 (5) ボーリングコア写真

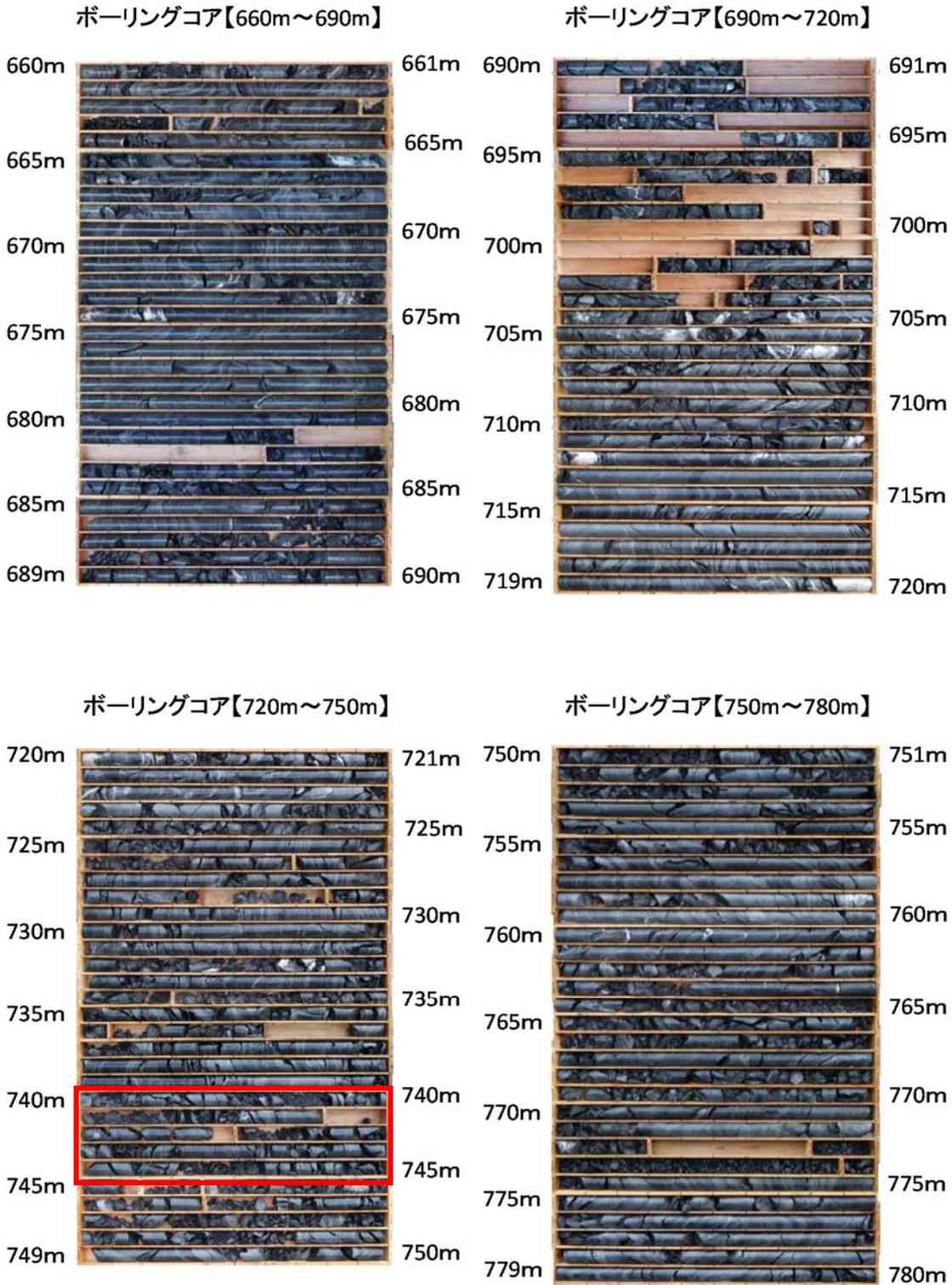


写真 9-2 (6) ボーリングコア写真

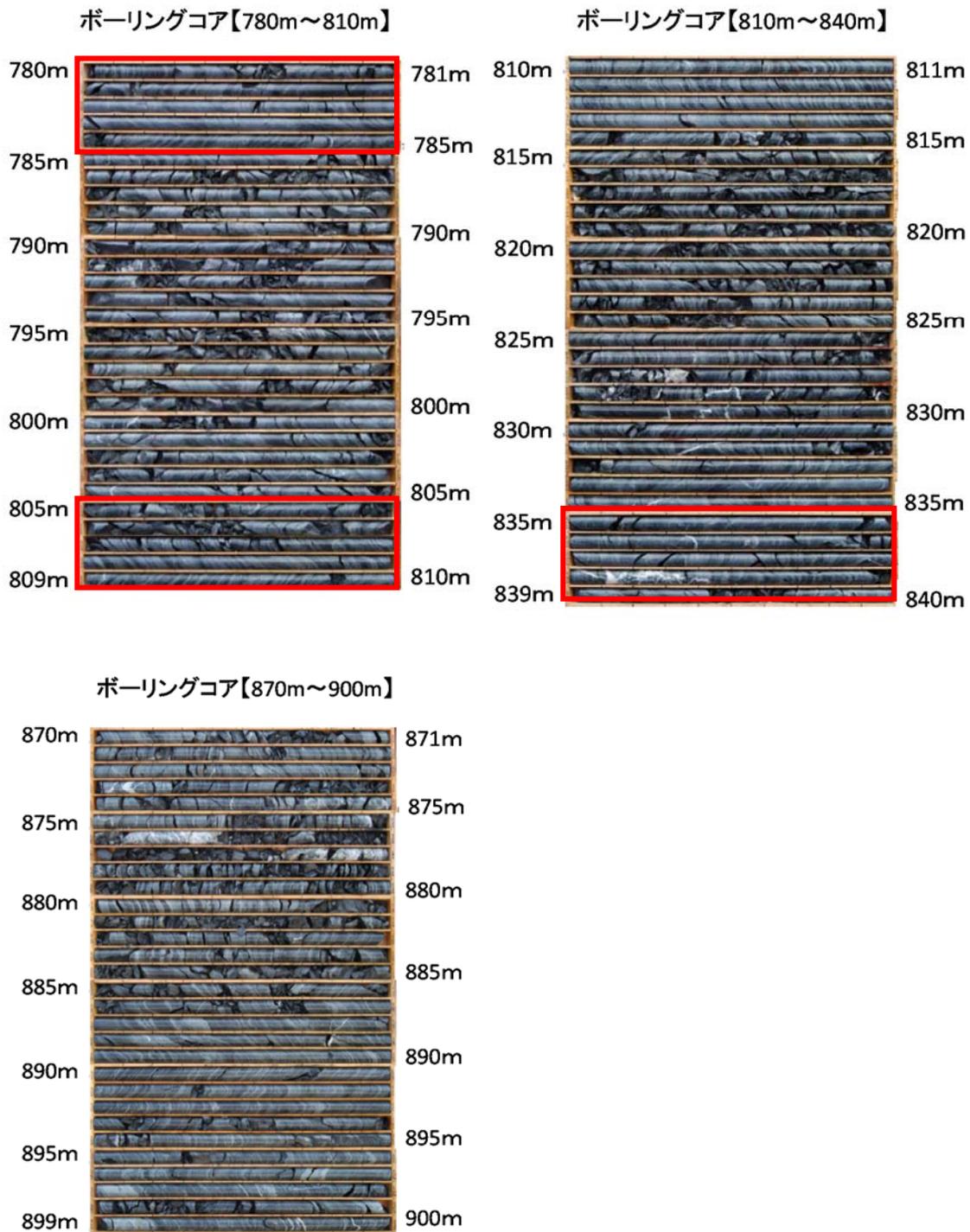


写真 9-2 (7) ボーリングコア写真

- ・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 9-1 1 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9-3)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^{※1}を行いながら掘削を行うことにより、概ね40

0 L／分程度で落ち着いていると言えます。

- ※1 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。

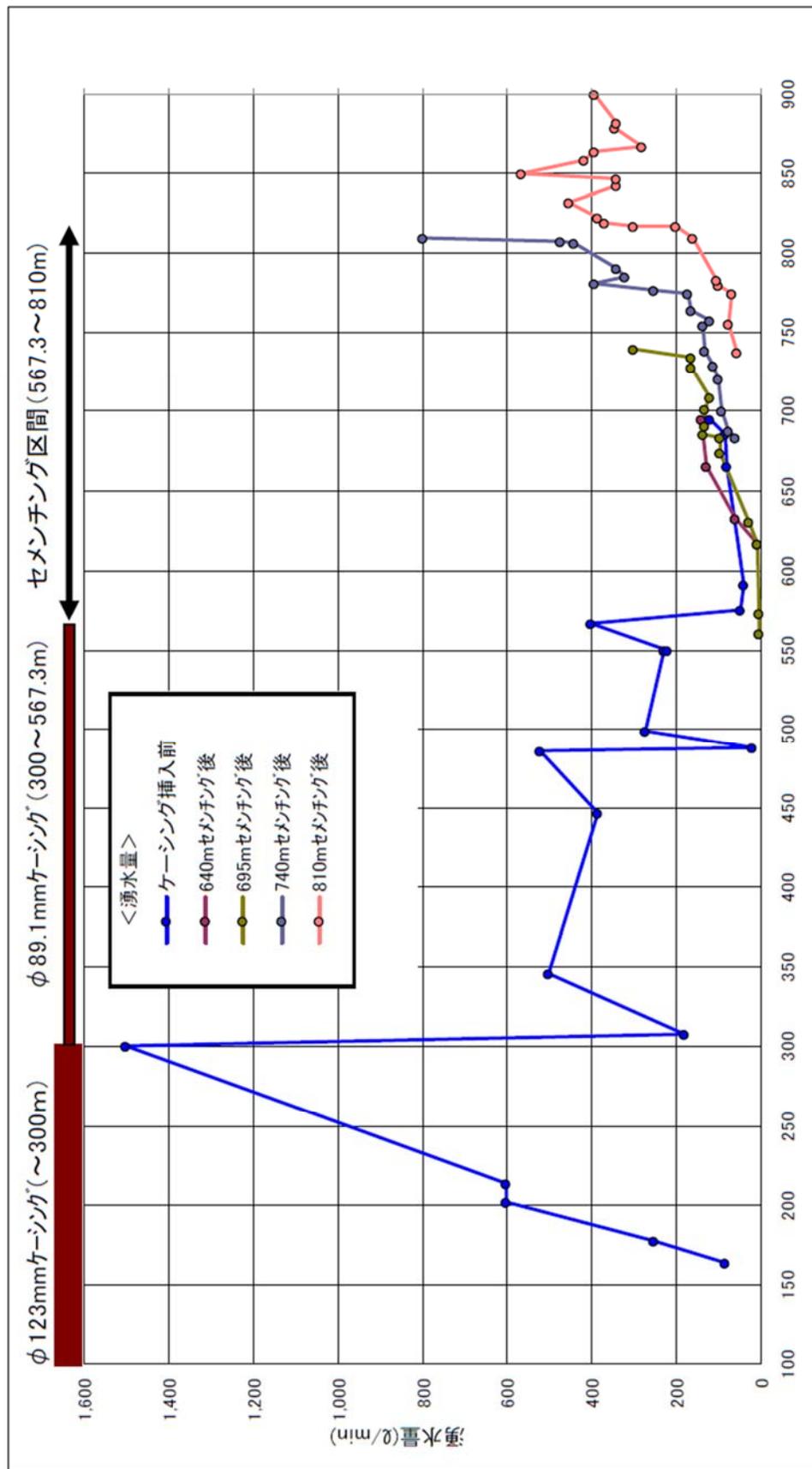


図 9-11 ボーリング時の口元湧水量

ボーリングコア【275m～300m】

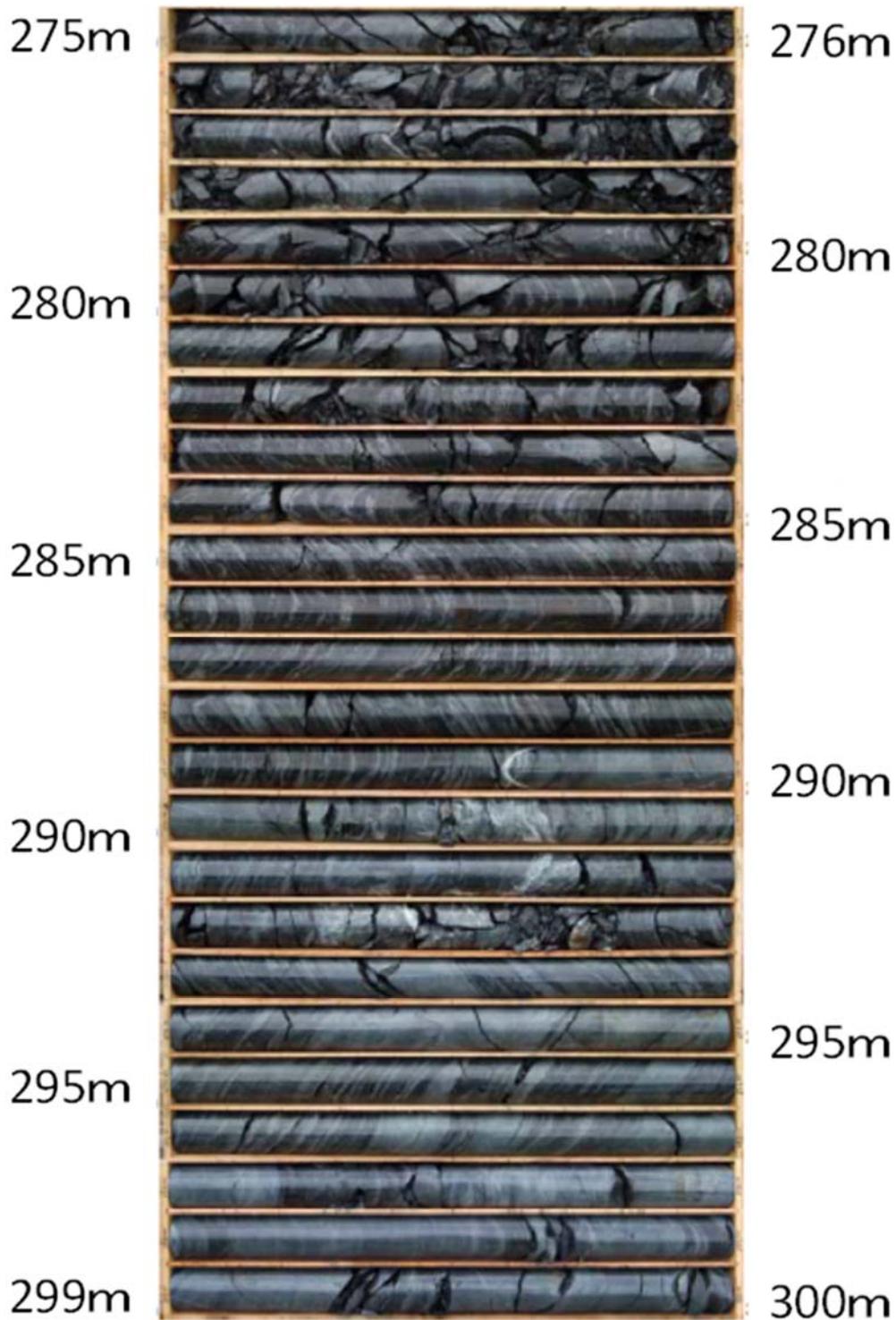


写真 9-3 (1) 深度300m付近のコア写真

ボーリングコア【300m～330m】

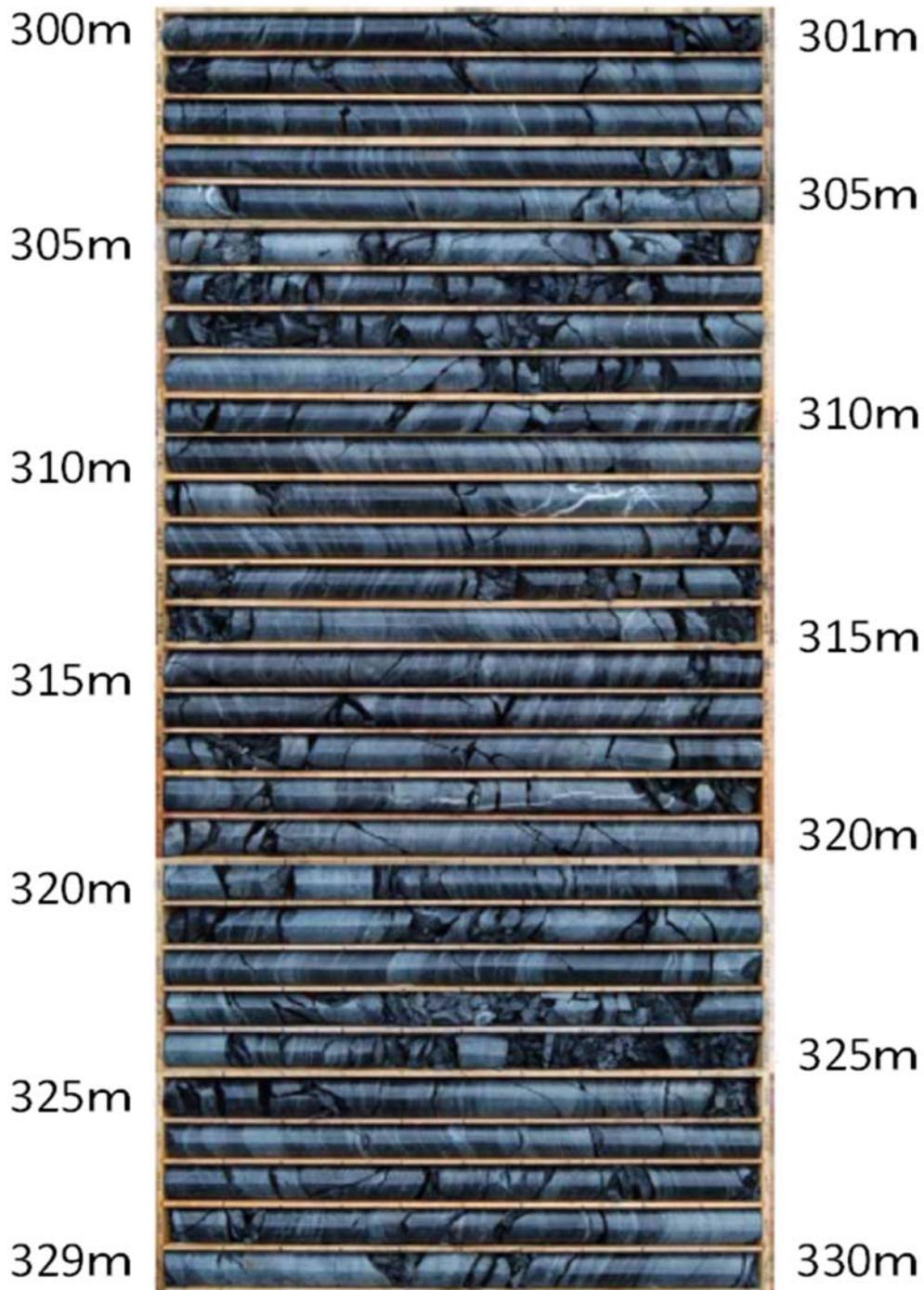


写真 9-3 (2) 深度300m付近のコア写真

- ・ 探査 a の弾性波探査の結果は図 9-7 に示すとおりであり、P 波速度は 4. km / 秒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 9-1 2)

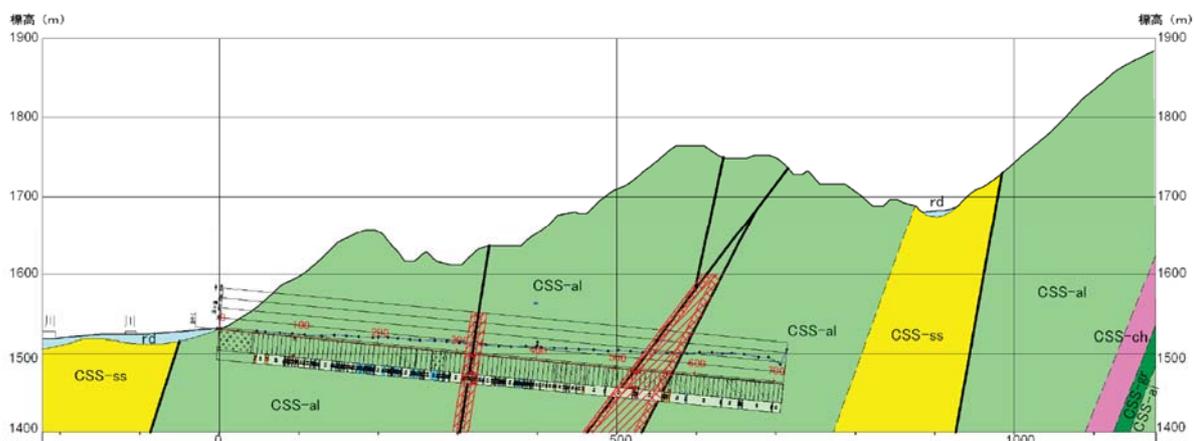


図 9-1 2 ボーリング調査結果 (西俣斜坑沿い)

- ・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 9-1 3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1,200L/分で推移しました。
- ・調査期間中の最大口元湧水量は、約1,700L/分を計測しました。

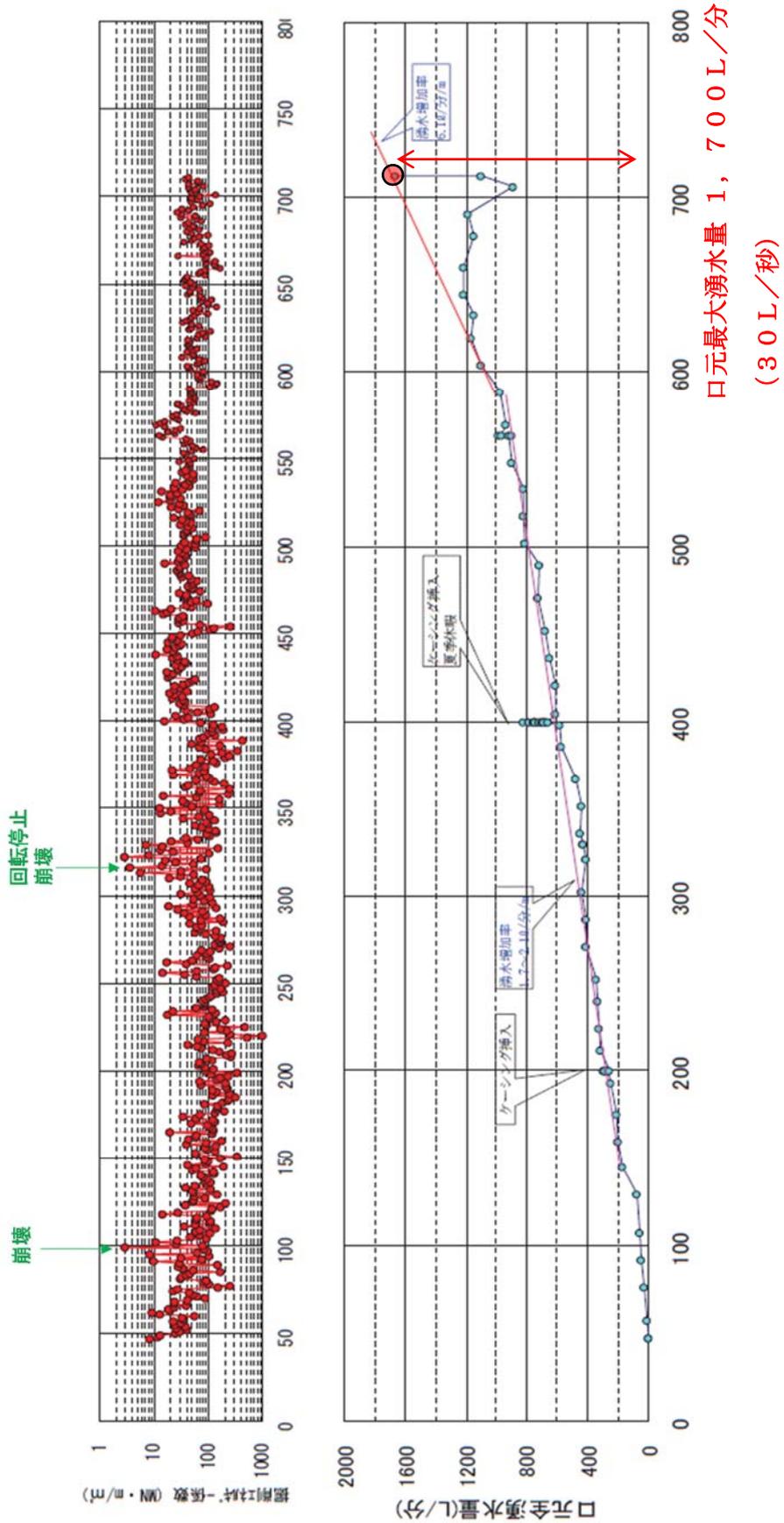


図 9-13 ボーリング調査時の掘削データ (西俣斜坑沿い)

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 9-1 4)

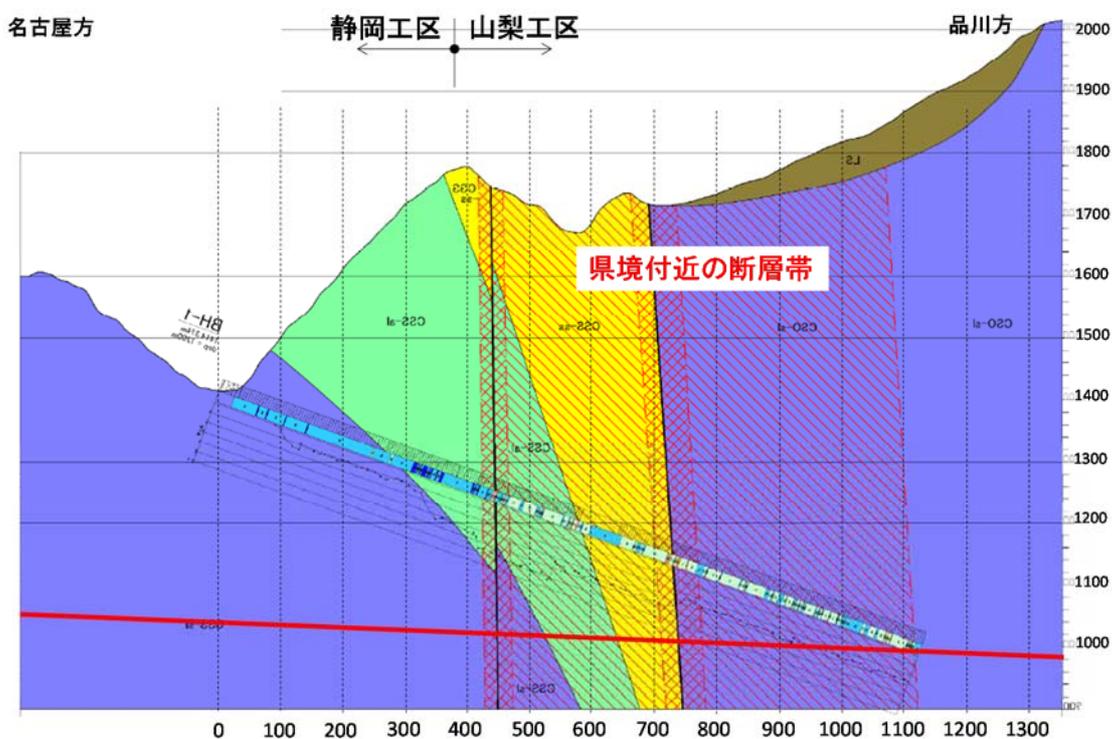


図 9-1 4 ボーリング調査結果 (県境付近の断層帯)

- ・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 9-1 5 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 360 m 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 2,600 L/分を記録、消費エネルギーが少ない破砕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 800 m 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砕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。

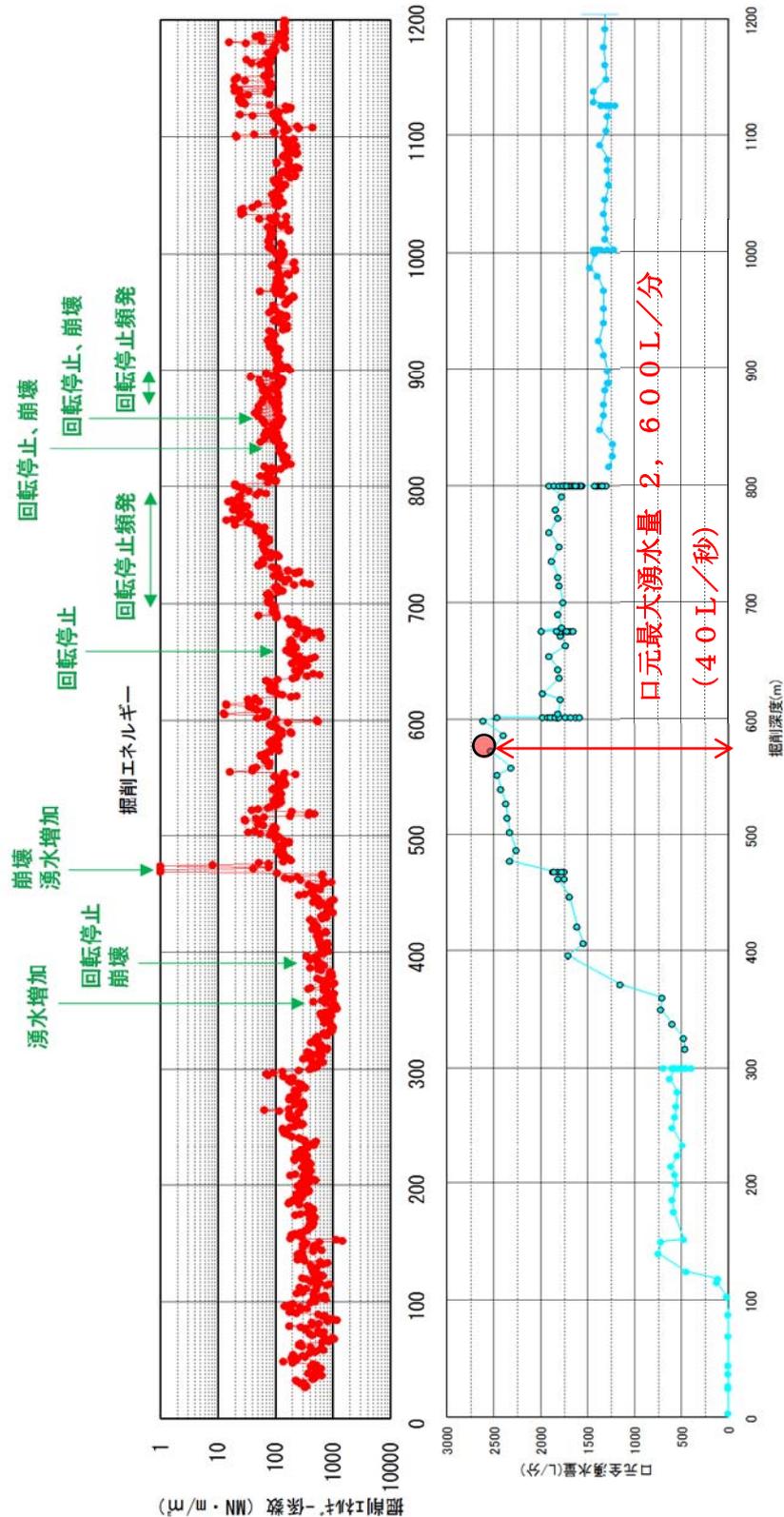


図 9-15 ボーリング調査結果（県境付近の断層帯）

- ・口元湧水量の推移を調査B（図 9-1 1）や調査C（図 9-1 3）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) 先進坑と大井川（東俣）交差部

- ・トンネルの計画にあたっては、先進坑及び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たうえで、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。
- ・先進坑と大井川（東俣）交差部について、地質縦断図と地質縦断図に付しているコメントを図 9-16 に示します。図 9-10 や図 9-11 に示す通り、深度 600 m 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、先進坑と大井川（東俣）交差部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 100 m 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 9-2 のとおりです（当該箇所を黄色囲みで示します）。幅 3 m 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、先進坑と大井川（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。

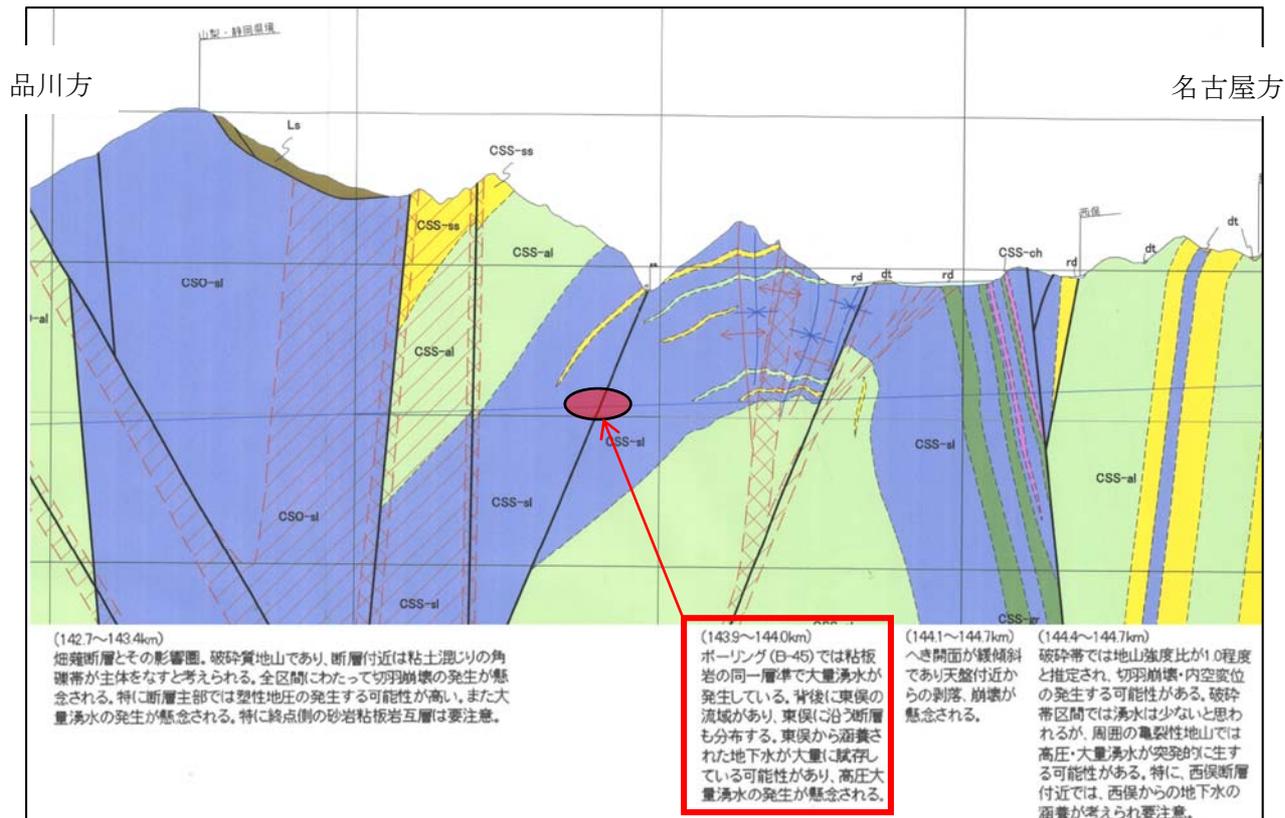


図 9-16 地質縦断図と施工上の留意点