



平成24年2月23日

北海道開発局 北海道開発技術研究発表会
特別セッション 「トンネル工事における切羽前方探査」

ノンコア削孔 切羽前方探査技術 「トンネルナビ®」

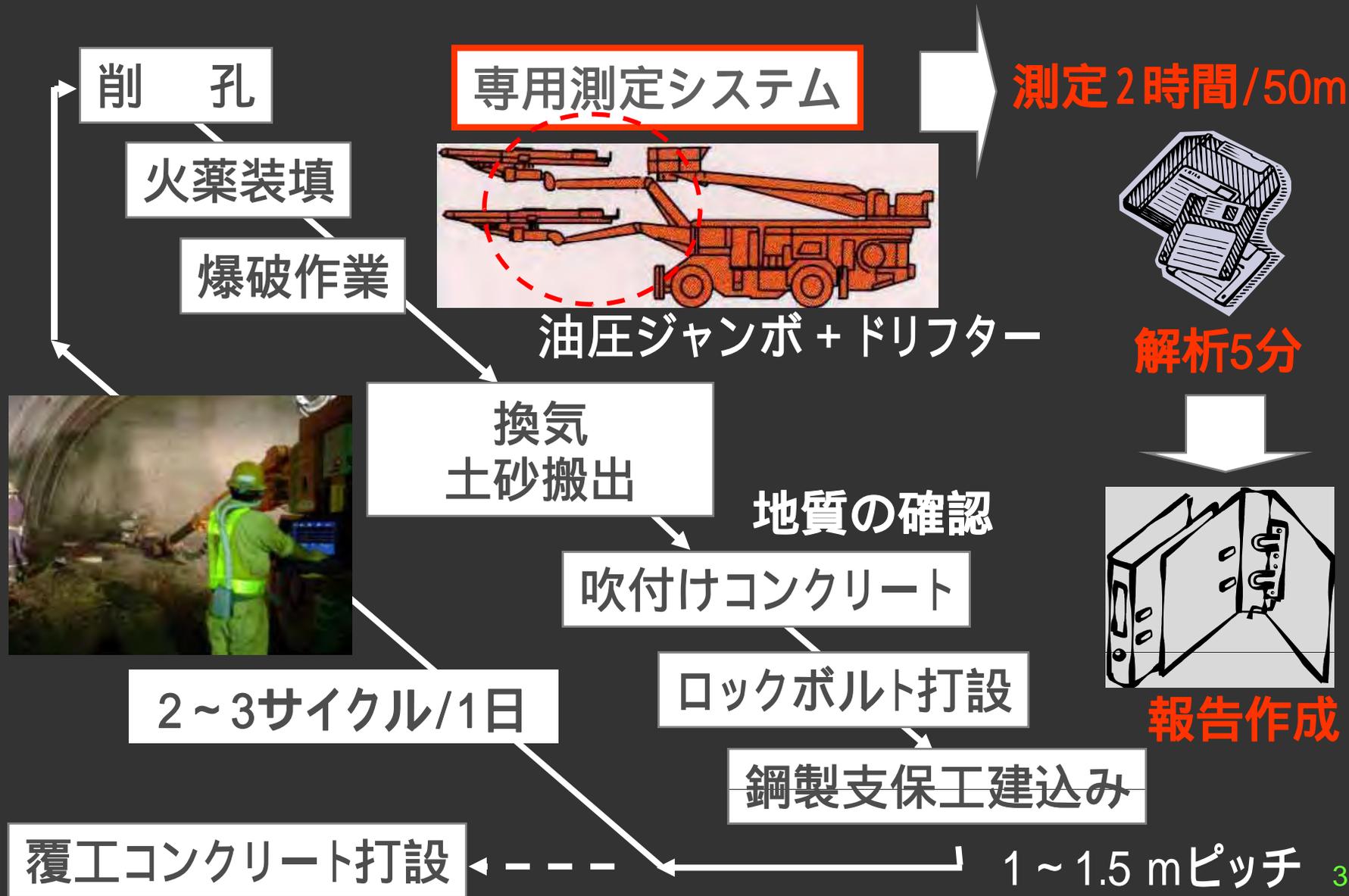
株式会社 大林組
技術研究所

桑原 徹

工法の特徴

- **目的**： ドリルジャンボの削孔データを定量的に解析、最適な支保規模選定を支援。
- **開発成果**： 新しいパラメータの提案、従来技術の課題を克服し予測精度の飛躍的向上を実現。
- **品質向上**： 信頼性を地山等級推定では80%以上に改善。断層破碎帯や変質帯は確実に検出可能。
- **工費縮減**： オールコア採取に比べて経済的で工期短縮。日常的な施工管理技術として使用可能。

ノンコア削孔調査



参考文献・資料 5) に加筆



トンネルナビ

トンネル切羽



削孔用ビット

制御ボックス

探査用ドリフター
(油圧計測システム内蔵)

探査用延長ロッド
3m/本、合計約50m

モニター用、
データ収録用
パソコン

油圧ジャンボ

調査30～50m / 回、2～3時間、7～14日毎

ノンコア削孔調査

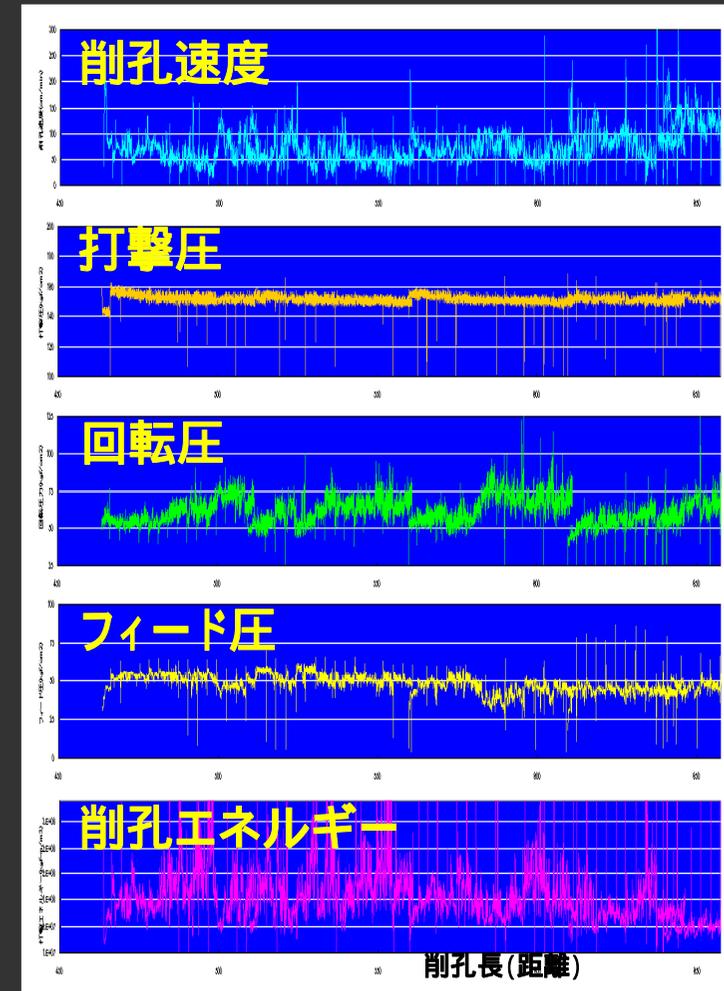
- 資源分野の削孔理論に準拠
- 地山評価は、削孔速度をもとに計算された削孔エネルギー（掘削体積比エネルギー）に基づく
- 隠れた前提条件としてフィード圧が一定
- 削孔性能への影響要因

打撃圧

回転圧

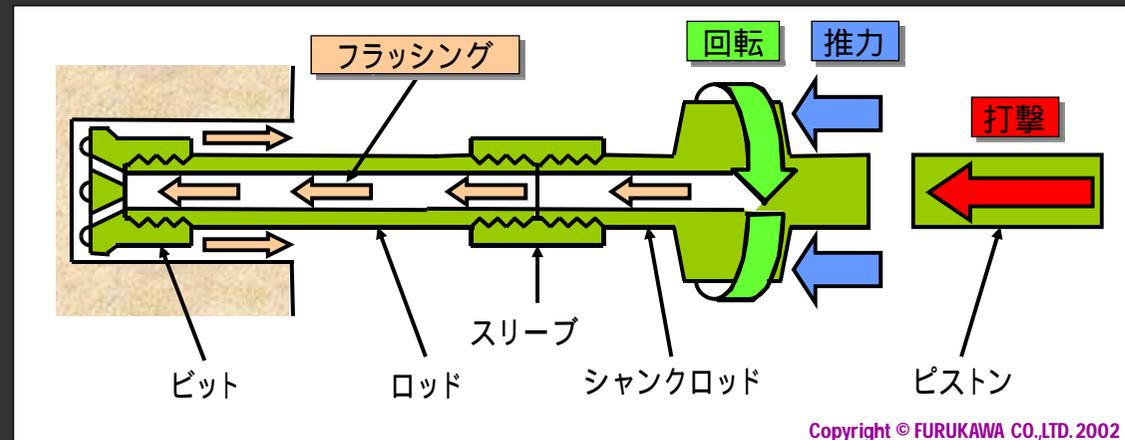
フィード圧（推力）

地山評価との関連で注目



フィード圧

打撃によって岩盤に力を加えると、作用反作用で削孔ビットはドリフター側に戻る。場合によっては、岩盤表面から離れてしまう。これでは効率よく打撃力を岩盤に与えられないため、推力によってビットを岩盤面に密着させる。



- フィード圧 大 → 弱層でジャーミングのリスクが大
- フィード圧 小 → 硬質部で削孔に時間がかかる
- マニュアル運転 → フィード圧を変えながら効率的な削孔
脆弱部ではオペレータの腕が頼り
- 自動運転 → フィード圧保持の努力 → 弱層や効率性に難、
削孔深度が短い

予測精度向上のためには？

- 削孔理論に準拠 -

1 . フィード圧を一定にして削孔する。



現実的には難しい。
特に亀裂集中帯，断層破碎帯など。
前方探査としての信頼性低下の原因

2 . フィード圧は程度の差こそあれ必ず変動する。

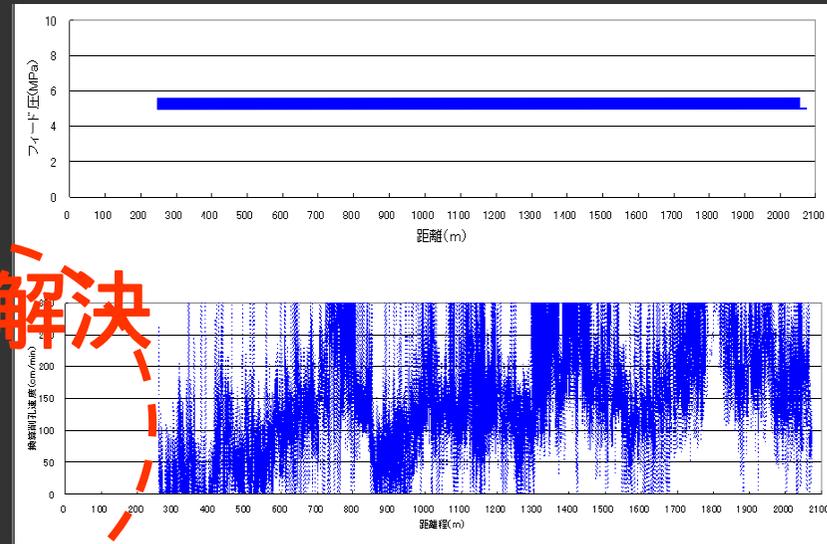
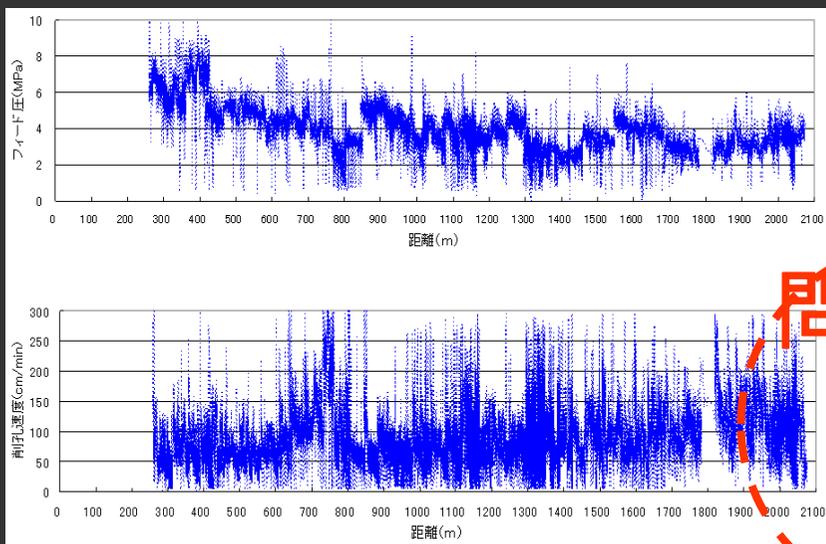


あたかも常にフィード圧が一定であるかのような状態として、他の計測データを換算できればよい。

トンネルナビの概念

フィード圧 測定値

フィード圧 一定と想定



問題解決

削孔速度 測定値
= 地山特性 + フィード圧の影響

削孔速度 換算値
= 地山特性

地山評価に悪影響

前方探査精度の改善

花崗岩の大型試験用岩体での試験

現場実験

施工現場での各種検証

トンネルナビの効果



トンネルナビ

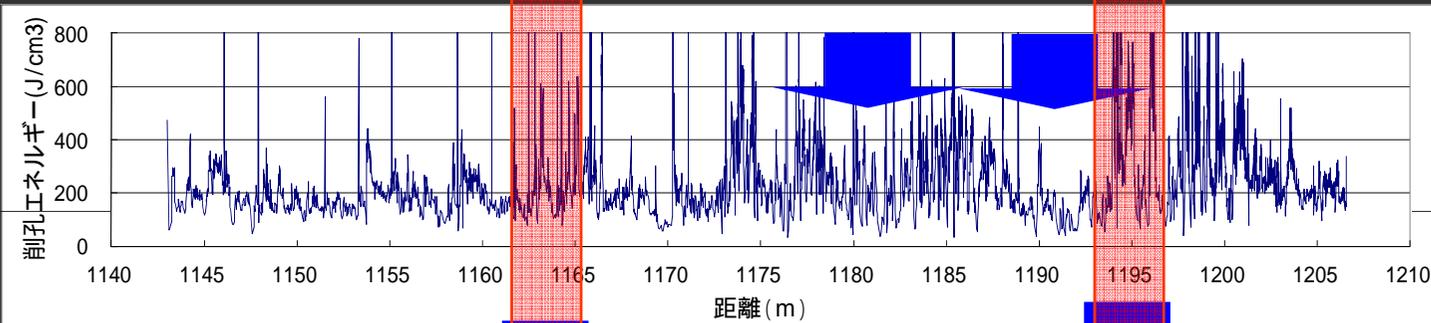
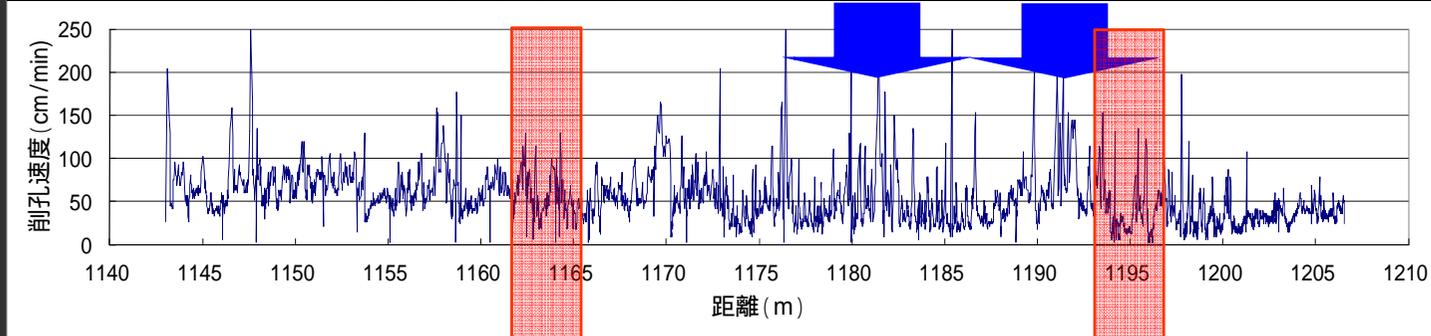
断層破碎帯

予測

亀裂集中帯

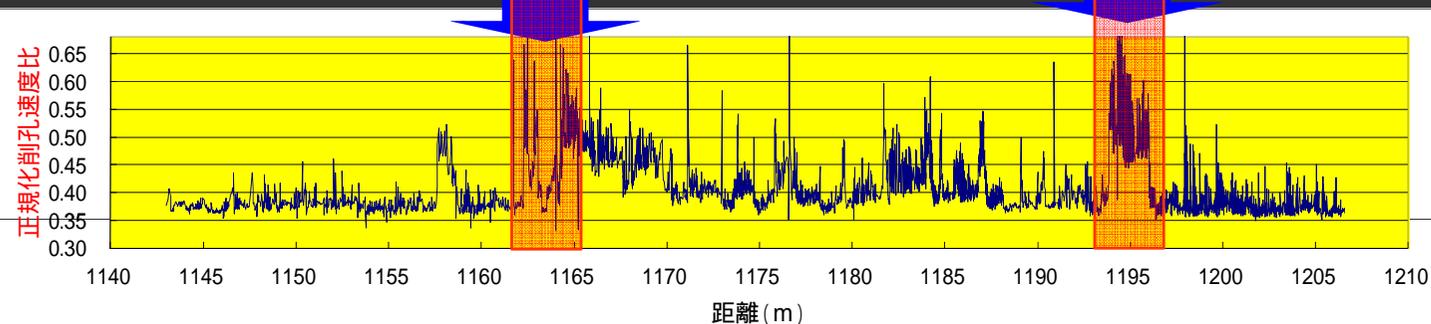
従来方法

削孔速度
削孔エネルギー



トンネルナビ

正規化
削孔速度比



参考文献・資料 4) から編集・加筆

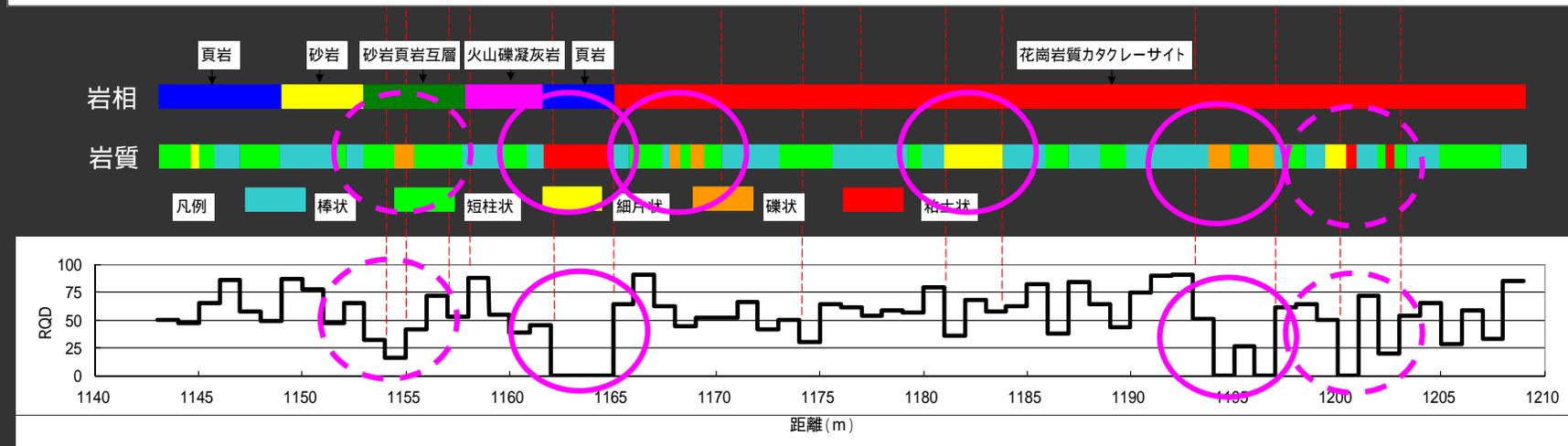
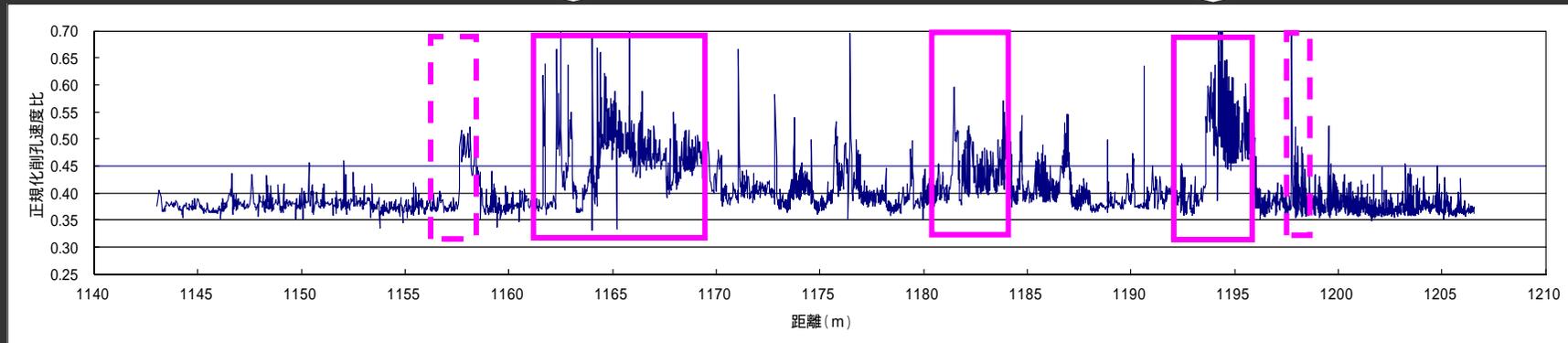
トンネルナビとコア試料



トンネルナビ

断層破碎帯

亀裂集中帯

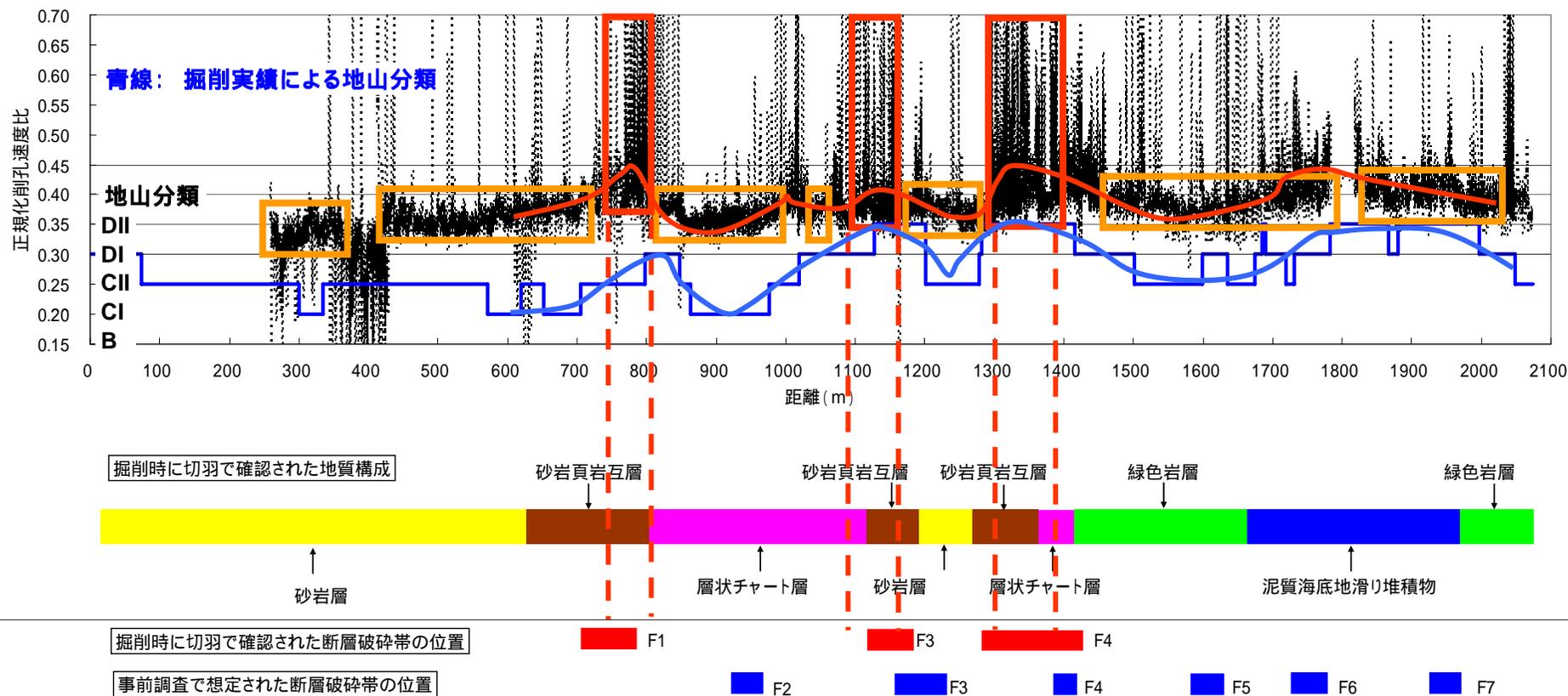


- コア試料の細片状・礫状・粘土状の弱層区間を検出
- 検出のためには1m以上の区間が必要(検出精度 1m程度)
- RQD<25以下の区間は検出、25<RQD<50でもかなり検出可能。
- 以上から、コア試料で確認された主な弱層部はすべて検出。

地山等級と断層破碎帯

断層・破碎帯による不均質性、
力学的異方性を示す区間

相対的に均質な区間



参考文献・資料 2) から編集・加筆

- トンネルナビ解析結果の変動 ~ 掘削実績の変動がよく一致 トンネルナビに基づく地山等級の予測が可能
- トンネルナビの特徴 → 相対的に均質な区間 vs 断層・破碎帯による不均質性、力学的異方性を示す区間
- 3ヶ所の主要な断層破碎帯の予測、掘削実績による検証 断層破碎帯の確実な予測

地山等級の推定

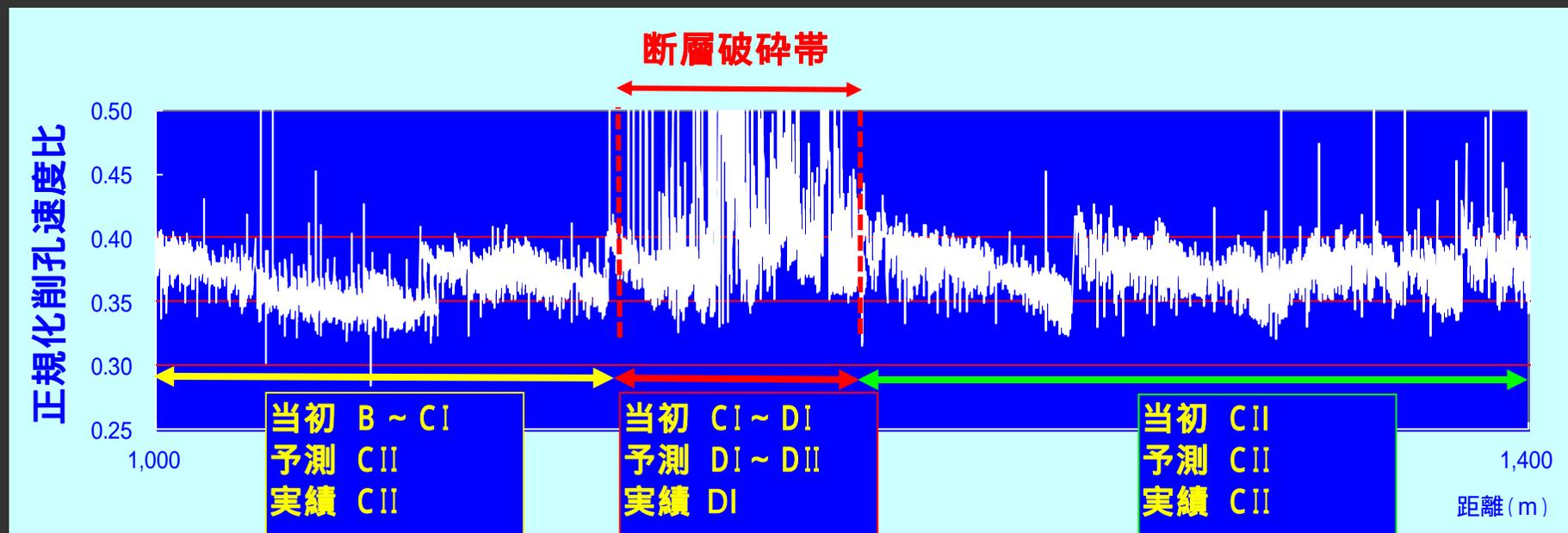
参考文献・資料 2), 9)

正規化削孔 速度比	相対的に均質な区間 (1)	断層・破砕帯による不均質 性, 力学的異方性を示す 区間 (2)
0.45~	DII	
0.40~0.45	DI	DIIへランクダウン
0.35~0.40	CII	DIへランクダウン
0.30~0.35	CI	CIIへランクダウン
~0.30	B	CIへランクダウン

- (1) 正規化削孔速度比が平均的な値に対して ± 0.025 程度の範囲に収まり、ばらつかない区間(標準案)
- (2) 正規化削孔速度比の平均的な値に対してノイズ的な値が頻発し、著しくばらつく区間

当初設計 ~ 予測 ~ 実績

参考文献・資料 4) から編集・加筆



当初：設計段階における弾性波探査からの予測地山等級
 予測：トンネルナビによる予測地山等級
 実績：掘削時の切羽観察による地山等級（施工実績）

前方探査の用途

- 当初設計での支保パターンの確認、特に支保パターン変更地点の確認
- 想定外の断層破碎帯、風化変質帯の予測



検証結果

	不均質な地山	均質な地山
岩質	砂岩頁岩・チャート 花崗岩、火山岩 断層破砕帯	砂岩頁岩
地山等級	CI ~ DII	CII
探查延長距離	7.5km (4件)	400m (1件)
地山等級 適合率	80% ~ 90% 断層破砕帯 顕著な変質帯 100% 検出	95%

➤ 削孔記録はあくまでも“点”のデータ、切羽全体の総合評価が不可欠

適用実績

研究		3 件	三遠(中部地整)
実適用	竣工済	5 件	石樽(近畿地整)、白田(関東地整)、荻平(東北地整)
	実施中	4 件	巨勢山(近畿地整)
	予定	1 件	

砂岩・頁岩・互層・チャート・緑色岩 (付加体)	4 件
断層破碎帯 (中央構造線)	1 件
花崗岩	4 件
火山岩 ~ 凝灰岩類 (軟岩 ~ 半固結地山)	4 件

探査累積延長(予定を含む) 21km

コスト・工期・適用性

評価項目	コスト	工期	断層 破碎帯	地山 分類	地山物 性推定	膨張性 地山
調査法						
先進ボーリング	6	12				
坑内弾性波探査	4	6		×		×
トンネルナビ	1	1			*	**

* , ** : 新しい取り組み

* : 連続的なデータ、室内試験が出来ない区間でも可能

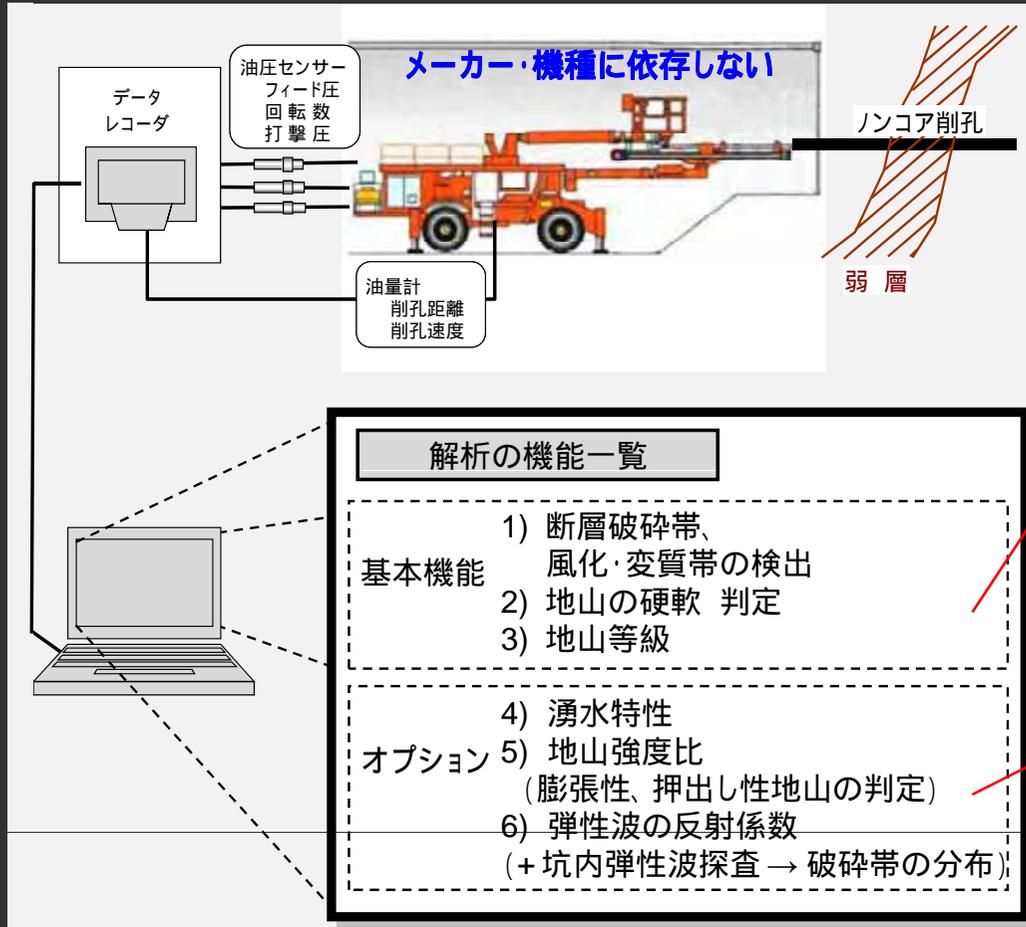
** : 地山強度比から推定

お客様メリット コアボーリングのレベルを維持
しながら、 工期短縮、 コスト削減

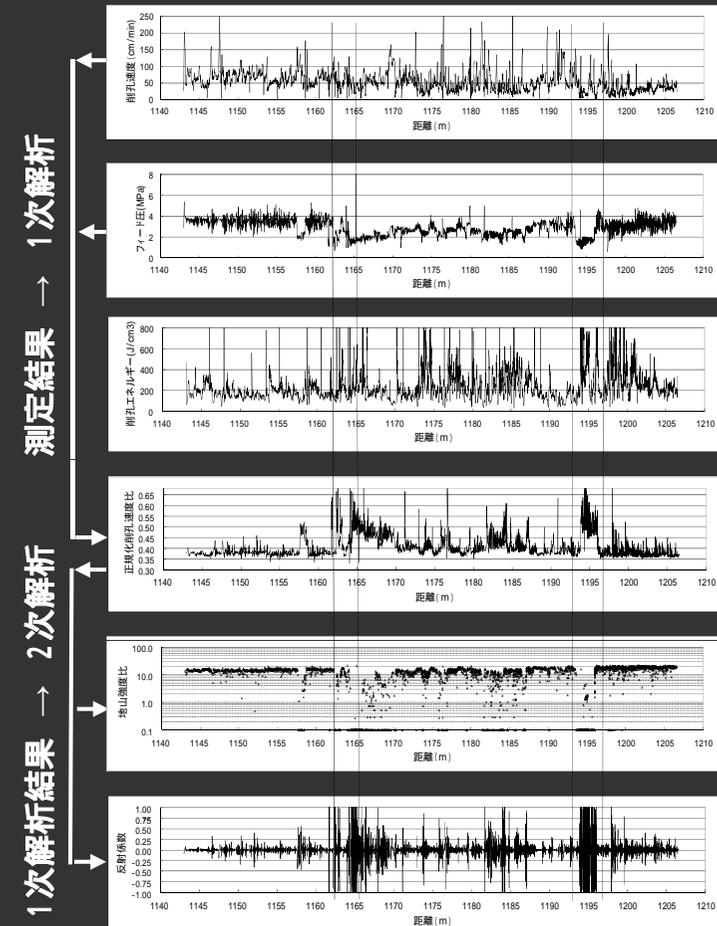
システム構成



トンネルナビ



解析の流れ



トンネルナビ(正規化削孔速度比) ~ 補助工法の関係

参考文献・資料 9)

オプション 5),6)

- トンネルナビ(正規化削孔速度比) ~ 岩石・岩盤物性 相関を利用
- 連続的なデータとして推定可能
- コア試料が採取できない、破碎帯区間で試験が出来ない、試験を行っても微小亀裂などで妥当な結果が得られない場合でも推定可能



御清聴ありがとうございました

参考文献・資料

- 1) 稲川雄宣, 畑 浩二, 桑原 徹, 中岡健一: ノンコア削孔による切羽前方予測技術の基礎的研究 - 大型花崗岩供試体を利用した削孔実験 -, 土木学会トンネル工学委員会, トンネル工学報告集第16巻, pp.107 - 112, 2006.11
- 2) 桑原 徹, 畑 浩二, 稲川雄宣, 平川泰之: 変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術, 土木学会トンネル工学委員会, トンネル工学論文集第18巻, pp.1 - 10, 2008.11
- 3) 桑原 徹, 畑 浩二, 林下敏則, 小野寺 仁, 田中幸一: 削孔速度解析システムによる花崗岩地山でのトンネル切羽前方探査, 土木学会第64回年次学術講演会, 第 部門, pp.577 - 578, 2009.9
- 4) 桑原 徹, 畑 浩二, 玉井昭雄, 田湯正孝: ノンコア削孔トンネル切羽前方探査による地山強度比の推定, 土木学会トンネル工学委員会, トンネル工学報告集第19巻, pp.145 - 156, 2009.11
- 5) 株式会社 大林組: 山岳トンネルの切羽前方探査システム「トンネルナビ」を開発し、各地のトンネル工事に導入、新聞発表リリース、2010.3
- 6) Kuwahara T. and Hata K. : Geological Prediction Ahead of the Tunnel Face by the Exploration Drilling System During the Tunnel Excavation, ITA-AITES 2010 World Tunnel Congress, 2010.5
- 7) 桑原 徹, 畑 浩二, 玉井昭雄: ノンコア削孔切羽前方探査と坑内弾性波探査, 土木学会第65回年次学術講演会, 第 部門-039, pp.41-42, 2010.9
- 8) 浜田 崇, 藤野順也, 木皿直人, 木梨秀雄: 低土被り、転石混じりのマサ山でのトンネル施工, 土木学会第65回年次学術講演会, 第 部門-039, pp.77-78, 2010.9
- 9) 桑原 徹, 畑 浩二, 中岡健一: ノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術の新展開 - 新しい解析技術による信頼性向上と機能の多様化 -, NPO法人 臨床トンネル工学研究所、臨床トンネル工学 特集号5 平成22年度 最新トンネル技術講演会, pp.1-10, 2010.11
- 10) 桑原 徹, 中西隆司, 関山健一, 三橋賢久: ノンコア削孔トンネル切羽前方探査システム「トンネルナビ」による軟弱地山の前方探査, 土木学会建設技術研究委員会, 土木建設技術発表会2010 概要集, pp.221-228, 2010.11
- 11) 奥野慶四郎: 精度上がるトンネル前方探査, 日経コンストラクション, 2011年5月23日号, pp.62-67