

地すべり土塊を対象とした短尺・中尺ノンコア解析によるトンネル切羽前方探査

山崎貴之¹・加藤建二²・後藤隆之³・黒川尚義³・桑原 徹⁴

¹正会員 鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局 (〒041-1251 北斗市本郷344-2)

²非会員 鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局 (〒060-0002 札幌市中央区北2条西1丁目)

³正会員 大林・宮坂・松本 新茂辺地トンネル西JV (〒049-0281 北斗市茂辺地873-1)

⁴正会員 理博 大林組 技術研究所 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: kuwahara.toru@obayashi.co.jp

北海道新幹線新茂辺地トンネルは、その西側区間の650mは大規模地すべり土塊内に位置し、高地下水位の陥没帯により切羽の安定性不足や多量・突発湧水の発生などの恐れがあった。そのため、ドリルジャンボを利用した短尺ノンコア削孔ならびにロータリー・パーカッション型のボーリングマシンを利用した中尺ノンコア削孔による前方探査を行い、地すべり面などの脆弱層の特徴、地山等級や支保パターンの予測方法について検討した。ノンコア削孔解析はフィード圧の変動影響を排除した削孔速度の変換解析システムに基づき、解析結果はコアボーリングや切羽観察などにより検証した。今回の結果に基づき、ノンコアボーリングによる地山評価の信頼性を高め、支保規模選定支援技術として確立を期待したい。

Key Words : *landslide, geological prediction ahead of the tunnel face, exploration drilling, normalized drilling velocity ratio, engineering rock mass classification*

1. はじめに

新茂辺地トンネル (L=3 345m) は北海道新幹線木古内駅～新函館駅 (仮称) の新線区間のほぼ中間に位置する。該当区間は新第三紀黒松内層の細粒砂岩・凝灰質泥岩からなる。地形図・空中写真からは崩落崖や陥没帯 (滑落崖～地すべり土塊の間に位置する崩壊削剥域) などの地すべり地形が明瞭に認められる。新茂辺地トンネルの西側区間 (新青森起点130km115m～130km765m) の650mは、この大規模地すべり土塊内に位置し、旧地すべり面がトンネルと交差することが予想され、切羽の安定性不足や多量・突発湧水の発生等の恐れがあった。そのため、各種の補助工法・地下水観測・水抜きボーリング・前方探査が実施された。

本報告では、ドリルジャンボによるノンコア削孔の前方探査 (短尺ノンコア解析) ならびにロータリー・パーカッション型のノンコアボーリングマシンを利用した前方探査 (中尺ノンコア解析) に基づいて実施した地すべり土塊の調査、地山等級や支保パターンの予測方法と結果について、既往報告¹⁾をもとに詳細を報告する。

本トンネルの標準掘削断面は81m²、ロードヘッダ

による掘削である。地すべり陥没帯でのトンネル掘削と高地下水位への対応については、別途報告²⁾を参照されたい。

2. 前方探査の概要

(1) 地質概要と前方探査の流れ

該当区間の地質縦断面図を図-1に示す。岩質としては、地すべりの影響を受けていない基盤層 (CM級)、旧地すべり地域内にある硬質岩盤 (CM級)、亀裂や褐色化が進行した風化岩盤 (CL級)、強風化岩盤 (D～CL級)、表層部で土砂化した強風化岩盤 (D級)、および旧地すべり面 (D級) に分けられる。トンネル坑内では130km600m付近から旧地すべり面が切羽に現れると予想された。

図-2に前方探査の解析評価の流れを示す。解析作業は、短尺ノンコア解析 (図中A) と中尺ノンコア解析 (図中B) に分かれる。それぞれに、地山評価と検証作業が伴う。最後に短尺ノンコア解析と中尺ノンコア解析の統合化 (図中C) を検討し、水抜き用中尺ノンコアボーリングによる地山等級区分と支保パターンの推定を試行した。

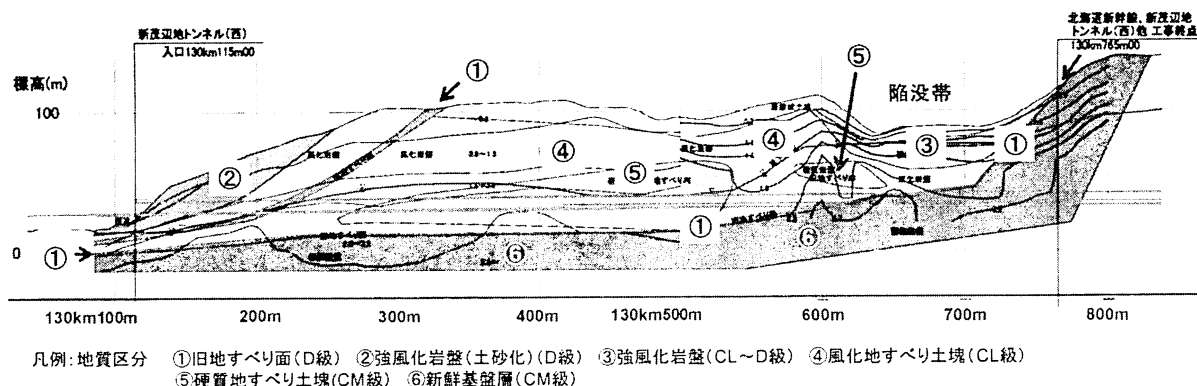


図-1 新茂辺地トンネル（西）地質縦断面図

(2) 短尺ノンコア解析の概要

サンドビック社製（旧タムロック社製）のドリルジャンボを使用し、探査深度は30～50m／回、合計15回の前方探査を実施した。削孔記録の解析方法は、フィード圧の変動影響を排除した削孔速度の変換解析システム³⁾（トンネルナビ[®]）に基づいた。

(3) 中尺ノンコア解析の概要

鉦研工業社製RPD-130Cを使用し、探査深度120m／回、合計6孔、水抜きを兼ねながら前方探査を実施した。削孔は130km555mおよび130km585mから陥没帯の方向に、切羽に対して外向き10度、上向き10度、5度とした。解析は、削孔データの距離減衰を補正した上で、短尺ノンコア解析に準拠した。

3. 短尺ノンコア解析

短尺ノンコア解析結果（正規化削孔速度比）を中心に、ボーリングコア記録、切羽観察結果、当初設計～予測～掘削実績などの関係を図-3にまとめて示す。

(1) 解析結果の特徴と検証

正規化削孔速度比は地山が悪くなるほど、軟質になるほど大きな値を示す。図中には、解析結果の元データ（灰色破線）とスムージングにより平滑化された結果（黒色太実線）を示す。平滑化された正規化削孔速度比は 0.400 ± 0.025 に収まり、軟岩の前方探査結果としては妥当と判断できた。ただし、類似の解析値であってもばらつきの少ない区間と大きな区間が認められた。

解析結果の検証を水平コアボーリング6孔（図-3 Bor.1～Bor.6、総延長658m）で実施した。岩質としては、Bor.1～Bor.3は細粒砂岩および凝灰質泥岩、Bor.4～Bor.6は細粒砂岩から構成される。図中で黒

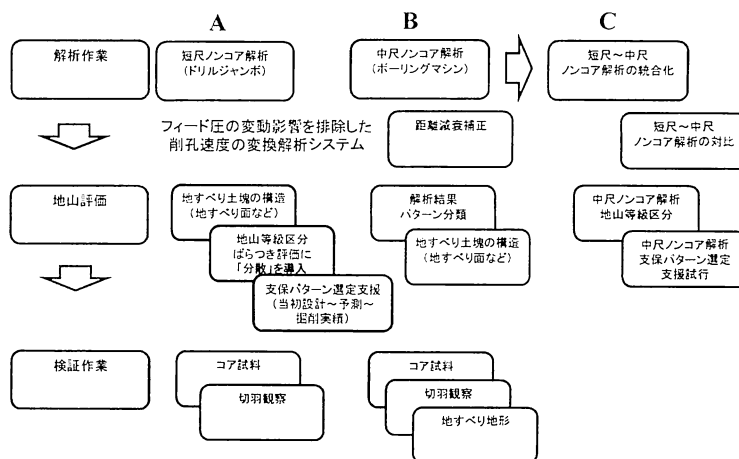


図-2 前方探査の流れ

色塗りつぶしの矢印は、コア試料では著しい低RQDを示す亀裂集中帯や地すべり面直上の脆弱部と、正規化削孔速度比のばらつきが大きく不均質性を示唆する区間との対応性を示す。矢印中の数字は位置の対応関係を示す。同様に、灰色塗りつぶしの矢印は、コア試料ではRQD>90の高RQDを示す均質な岩質の区間と、正規化削孔速度比のばらつきが小さく地山の均質性を示唆する区間との対応性を示す。Bor.5では基盤の均質なCM級砂岩中に若干の亀裂（低RQD部）が認められる。正規化削孔速度比でもノイズ的な高い値が散見されるが、両者は対応している可能性が高い。この対応性を白抜き矢印で示した。

以上から、短尺ノンコア解析結果のばらつきが大きく不均質性を示唆する区間は、コア試料の著しい低RQD区間（亀裂集中帯や地すべり面直上の脆弱部）に対応し、解析結果のばらつきが小さく地山の均質性を示唆する区間は、コア試料のRQD>90の高RQD区間（均質な岩質）に対応することが確認できた。

(2) 正規化削孔速度比による地山等級区分の判定案

正規化削孔速度比は地山の硬軟に関係する指標である。判定基準作成においては、正規化削孔速度比が平均的な値に対して ± 0.025 程度の範囲に収まる

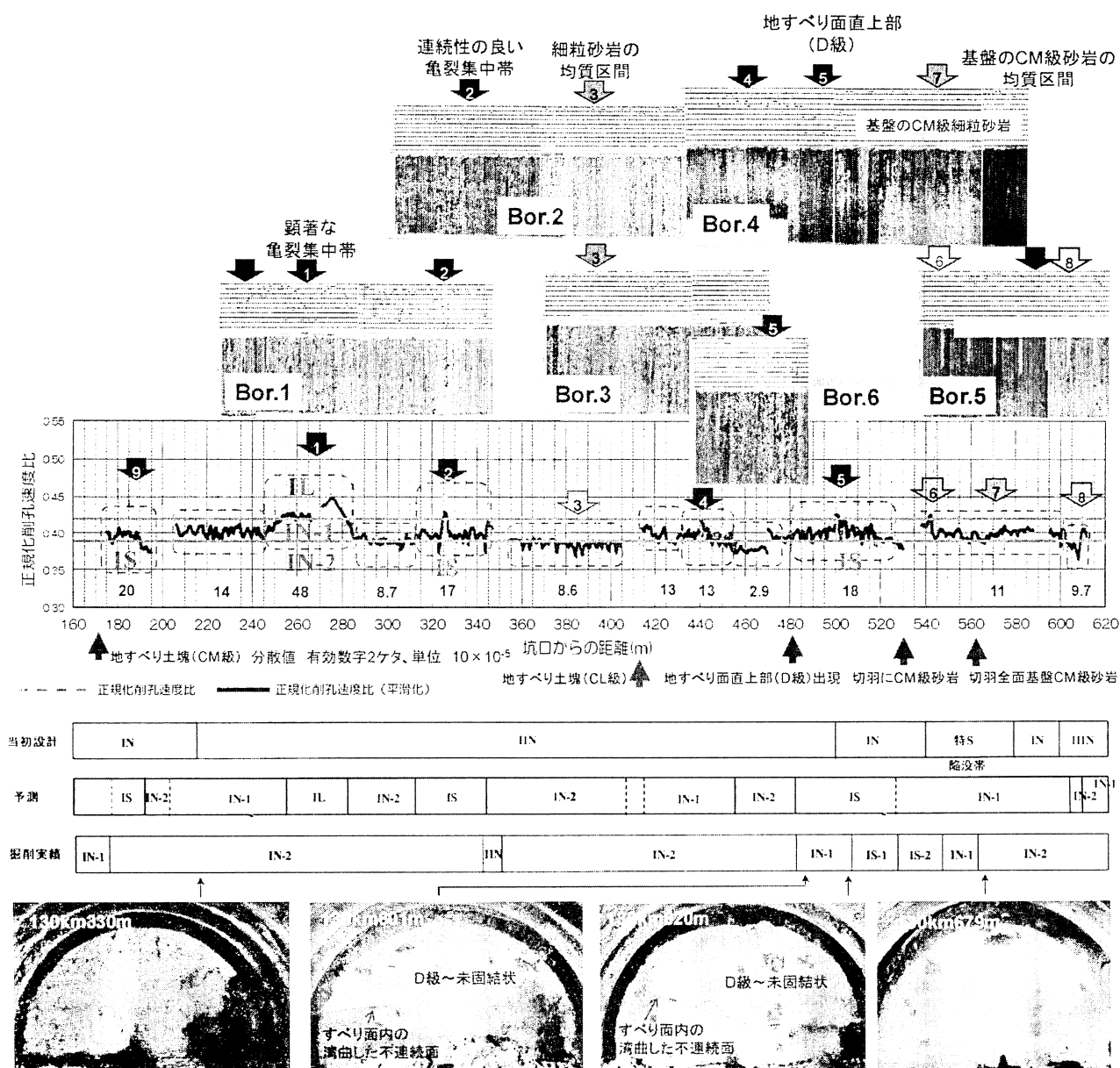


図-3 短尺ノンコア解析による地山等級・支保パターンの推定と検証

表-1 新茂辺地トンネル（西）の支保パターン

支保パターン名	I L	特S	I S	I S-1	I S-2	I N-1	I N-2	II N
掘削間隔(m)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.5
鋼製支保工	H-125	H-200	H-150	H-150	H-150	H-125	H-125(上半のみ)	なし
ロックボルト(本)	L=3m×12	L=3m×8, L=4m×16	L=3m×14	L=3m×8, L=4m×12	L=4m×14	L=3m×14	L=3m×10	L=3m×10
吹付けコンクリート(cm)	20	20	15	15	15	15	12.5	10

ようなばらつかない状況における正規化削孔速度比～地山等級の関係を標準としている。断層・破碎帯による不均質性、力学的異方性を示す区間では、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もあるので、このような場合は上記の標準に対してランクダウンという方法をとる場合もある³⁾。

今回地すべり土塊を含むために、元の地質状態を残した比較的均質な部分と、緩傾斜の地すべり面やその周辺部などの粘土化・亀裂集中による不均質部

分がある。そこで、判定基準を作成する際にばらつきの大きさを定量的に考慮し、解析結果（正規化削孔速度比）の大小関係に加えて、それらの分散の大きさも加味して検討を行った。

表-1 に本トンネルでの支保パターンを示す。推定の対象は、IL, IS, IN-1, IN-2 の 4 ランクとし、正規化削孔速度比～IL, IN-1, IN-2 の関係をまず求めた。次に、ばらつきの大小に応じて分割した区間毎に正規化削孔速度比（灰色破線部）の分散を求めた。ボーリングコア試料や切羽観察の結果などと併

せて、分散の閾値を 15×10^{-5} とし、特に IN-1 において分散がこれよりも大きい場合は地すべり面に関連する脆弱部分と判断し IS とした。すなわち、IS は IN-1 のランクダウンという考え方で判定基準を作成した（表-2）。これによって、地山の硬軟と地すべり面周辺の不均質性を評価した。

(3) 地山等級・支保パターンの推定と検証

図中の当初設計～予測～掘削実績の関係をみると、当初設計では地すべり陥没帯直下で地山が最も悪いと予想されたが、前方予測と掘削実績ではその手前の地すべり面とそれに伴う脆弱層が切羽に現れた区間で地山が悪かった。岩石試験の結果によると（表-3）、地すべり面付近（距離 500m、予測・実績とも IS）と基盤層（距離 620m、予測 IN-1・実績 IN-2）で大きな差は無いと言える。

検証結果における特徴は、掘削実績 IN の中に IL, IS がしばしば予測されることにある。切羽観察や検証用コア試料から、これらの IL, IS は地すべり土塊に伴う低角度・緩傾斜の岩質境界、滑り脆弱部、亀裂帯沿いの削孔データであり、切羽全体に対する予測誤差の原因となっている。ちなみに、従来の予測の適合性は 80%以上である⁴⁾が、今回はこのような要因により地山等級（IL, IS, I, II）に対しては 75%であったが支保パターンに対しては 45%と低かった。しかし当初設計と掘削実績に対する乖離に対して、掘削に対する前方探査の効果は大きいと言える。

4. 中尺ノンコア解析結果

中尺ノンコア解析を実施した水抜きボーリングの配置を図-4 に、調査仕様を表-4 に示す。中尺ノンコア解析は、データの QC・単位系の統一、事前の補正（削孔速度・打撃エネルギーの距離減衰補正）、本解析（短尺ノンコア解析に準拠）、地山評価の順序で実施した。

(1) 距離減衰補正

6孔の削孔記録から、掘削深度の増大に伴う削孔速度の漸減、回転圧（トルク）の漸増が認められた。図-5に一例を示す。前者はピストンの打撃エネルギーの減衰（特に、ロッドの継ぎ目）、後者は孔壁周辺摩擦の増大などに起因する。両者は概ね比例関係にある（図-6）。削孔速度の距離減衰係数は $-0.20 \sim -0.26$ で、既往事例⁹⁾の -0.18 と近い関係にある。今回は6孔の代表値として、距離減衰係数は -0.225 として、各孔の補正を実施した。

すなわち、距離減衰式を
$$V(i) = k \times D(i) + a \tag{1}$$
ただし、 i : i 番目の削孔記録、 $V(i)$: 削孔速度、 k : 距離減衰係数（マイナス値）、 $D(i)$: 削孔深度、 a :

表-2 短尺ノンコア解析による地山等級の判定基準

正規化削孔速度比	相対的に均質な区間 (※1)	地すべり面などによる不均質性、力学的異方性を示す区間 (※2)
0.42~	IL	
0.39~0.42	IN-1	ISへランクダウン
~0.39	IN-2	

(※1) 正規化削孔速度比の分散が 15×10^{-5} 以内に収まり、ばらつきの少ない区間
(※2) 正規化削孔速度比の分散が 15×10^{-5} 以上になり、ばらつきが大きい区間

表-3 岩石試験結果

試料採取地点	弾性波速度 (km/sec)		割線弾性係数 Es50 (MPa)	一軸圧縮強度 (MPa)
	Vp	Vs		
TD 500m	2.65	1.11	40,000	10.7
TD 620m	2.80	1.30	54,400	14.2

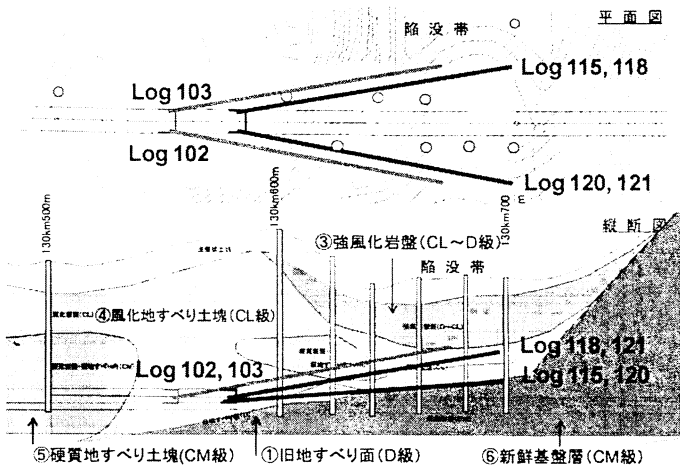


図-4 中尺ノンコア削孔（水抜きボーリング）の配置

表-4 中尺ノンコア削孔の仕様

log No.	施工位置	R/L	施工延長	外向き角度	上向き角度
102	130km555m	R	120m	10°	10°
103		L			10°
115	130km585m	L	120m	10°	5°
118		L			10°
120		R			5°
121		R			10°

定数、
とすると、距離減衰補正式は以下で表わされ、距離に応じて削孔速度が、距離減衰式を介して、大きく補正される。

$$V(i)' = V(i) - k \times D(i) \tag{2}$$

ただし、 $V(i)'$: 距離減衰補正をされた削孔速度
Log102では、削孔速度と回転圧の変化が大きいが、孔曲がりの影響と推測した。

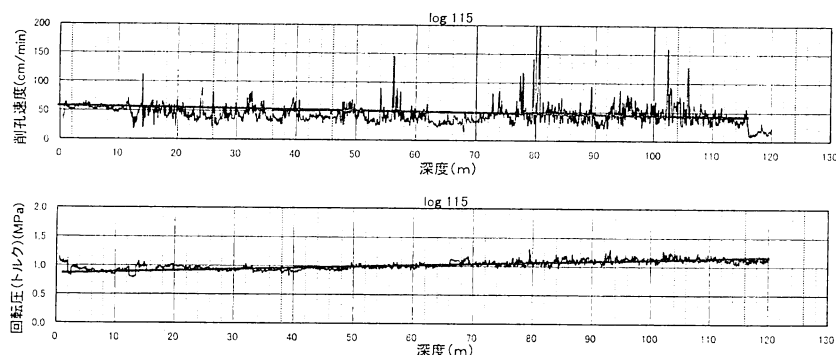


図-5 削孔記録と掘削深度との関係

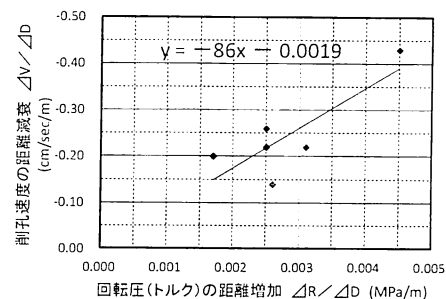


図-6 距離減衰の影響評価

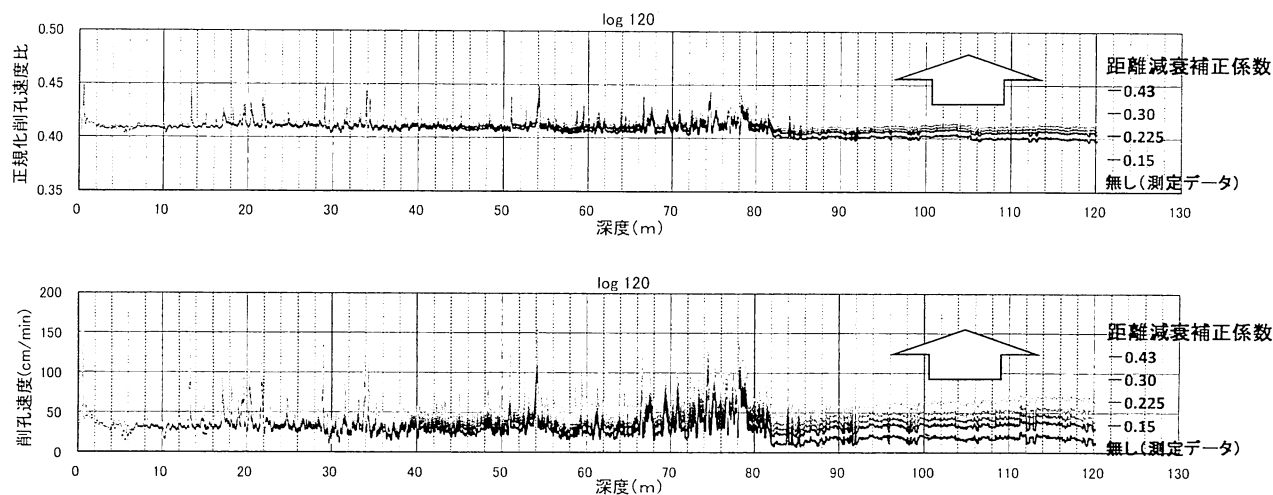


図-7 距離減衰補正のシミュレーション

距離減衰係数の選び方により、補正された削孔速度、正規化削孔速度比にどの程度の違いが出るかを事前に想定し、影響度合いを把握した。今回採用した -0.225 を中心にしてみると、 $-0.15 \sim 0.30$ の間では削孔速度の補正結果に大きな差は無いが、補正なしあるいは最大の -0.43 と比べると差が大きい。正規化削孔速度比でみると、大きな差は無いと言える(図-7)。この理由としては、①ドリルジャンボを利用した短尺ノンコア解析では削孔速度は $0 \sim 250 \text{ cm/sec}$ 程度の範囲にあり、今回の補正值はこれと比べると小さい、②正規化削孔速度比による地山評価の分解能は 0.025 程度(これ以上の差があれば、地山として有意な差があると判定)であるので、今回の変動幅はこれを下回る、などがある。

(2) 解析結果と地山評価

a) パターン分類

地山評価に際しては、短尺ノンコア解析～地山評価の関係から、解析結果を4つにパターン分類化(地すべり面:S 一様・均質な地山:U、亀裂集中帯:F、地すべり土塊の境界:B)し、中尺ノンコア解析の判定基準の参考とした。図-3中の矢印中の番号

(No.1～No.9)とパターン分類の関係を以下に示す。

“S”: Mass Sliding (地すべり面) No.5に見る地すべり面およびその直上部の脆弱層で現れるばらつきの大きい解析結果のパターンで、コア試料では低RQD区間に対応する。

“F”: Fracture Zone (変質帯・亀裂集中帯) 地すべり土塊内部の薄い変質帯・亀裂集中帯で、局部的な低RQDを示す。ばらつきの大きい解析結果のパターンで、No.2,4が該当する。

“U”: Unique Rock Mass (一様・均質な地山) 地すべり土塊内部および基盤層に相当し、 $80 \sim 100$ の高RQDを示す。ばらつきの小さい解析結果のパターンで、No.3,7が該当する。

“B”: Boundary of Strata (地すべり土塊の境界) 短尺ノンコア解析の切羽では現れなかったが、想定地質断面図を見ると、硬さの違うCL級地すべり土塊とCM級地すべり土塊の境界部で“F”に類似した解析結果のパターンが出るはずである。

解析結果を図-8、図-9に示す。図中には、想定地質断面図、解析結果、特徴的な解析結果のパターン分類化などを示した。また後述する検証用のボーリング位置も示した。全6孔の削孔データから、非

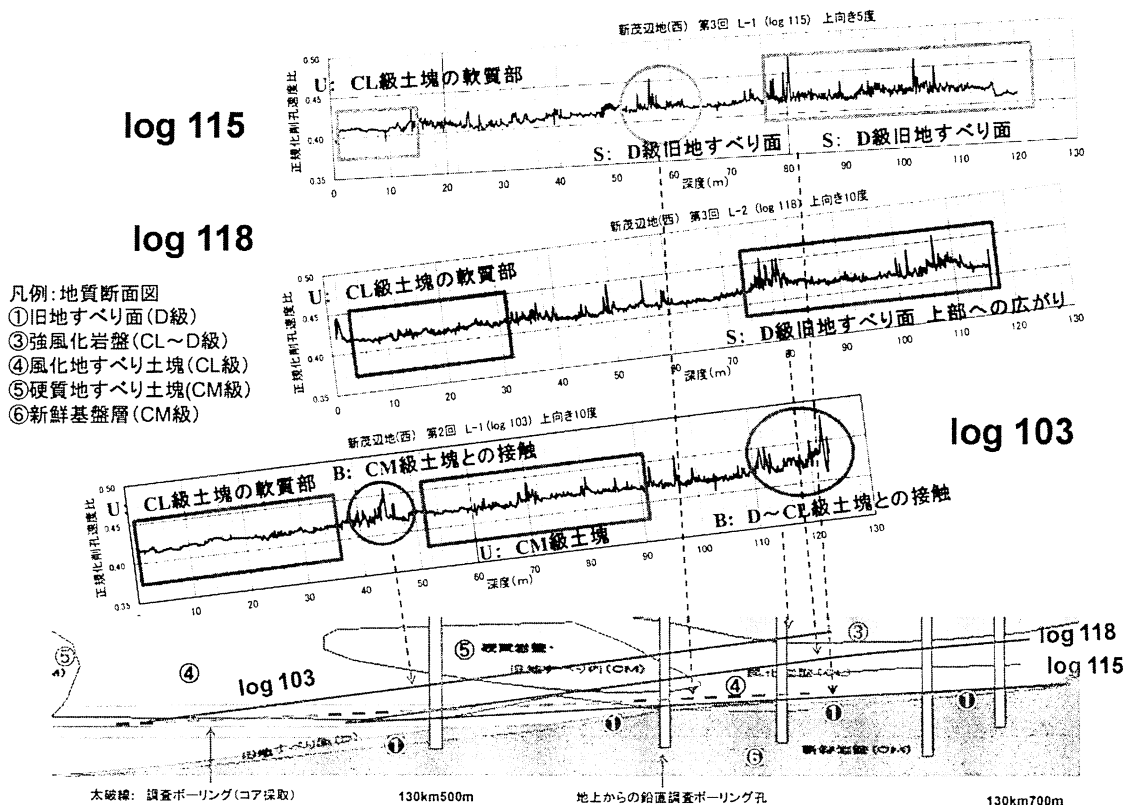


図-8 中尺ノンコア解析結果 (切羽左側外向き 10 度)

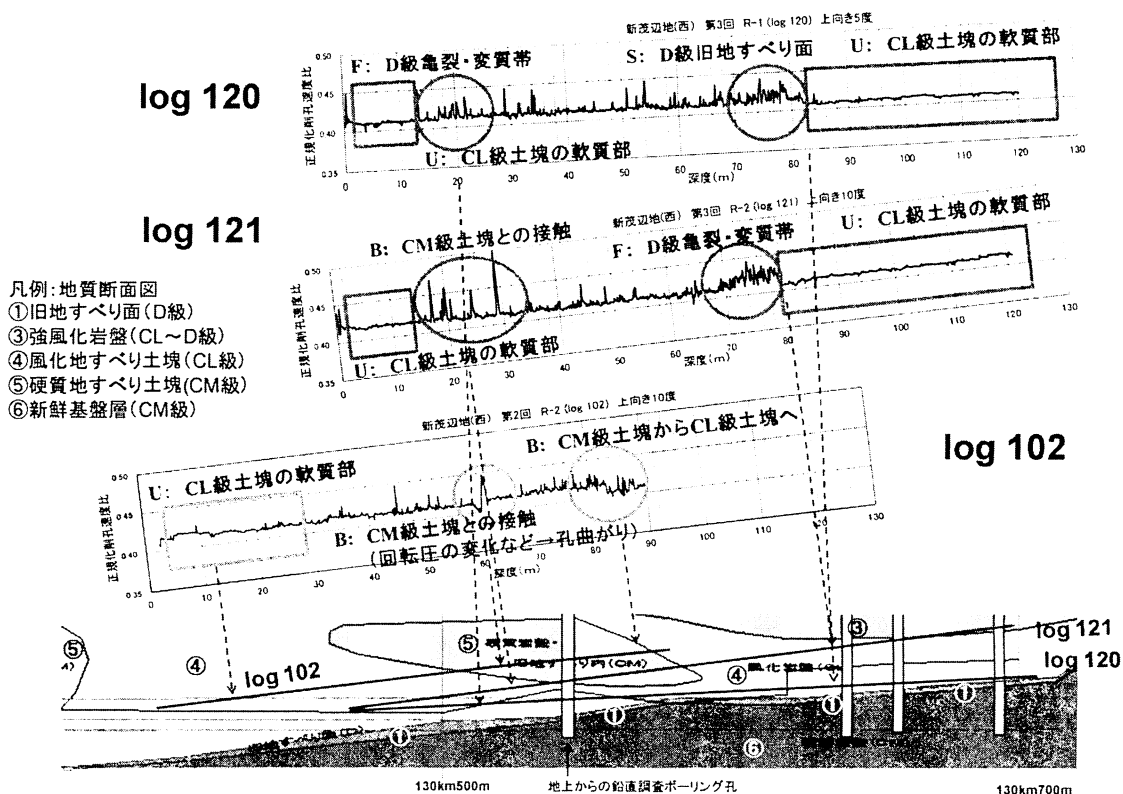


図-9 中尺ノンコア解析結果 (切羽右側外向き 10 度)

常に明瞭な特徴が得られた。1 回目の削孔地点からのノンコア解析 (log 102,103) では CL 級土塊～CM 級土塊との関係で評価を行い、2 回目のノンコア解析 (log 115,118,120,121) ではいずれも D 級旧地すべり面との関係で評価を行った。主な特徴を以下に示す。

b) 切羽左側外向きノンコア解析結果

log 115: 地すべり面を示唆するパターン“S”が深度 55m 前後、深度 80m 以深で広く出現する。正規化削孔速度比は、地すべり面に遭遇後は漸増傾向となる。

log 118: log 115 と類似した結果で、パターン“S”が深度 75m 以深で広く出現する。地すべり面に特徴的な不均質性・変質・割れ目が、上部まで広がると推定した。深度 0～30m までは均質・一様な地山状況を示す“U”が出現し、CL 級土塊の軟質部と判断した。

log 103: 深度 0～35m、50～90m まではパターン“U”が出現し、CL 級土塊の軟質部および CM 級土塊と判断した。深度 44m 付近の解析結果は、CL 級土塊／CM 級土塊の地層境界での不均質性を示唆するパターン“B”と判断した。深度 110m 以深の正規化削孔速度比の増加とばらつきは、CL 級土塊／D～CL 級土塊の地層境界で発生した“B”と判断した。

c) 切羽右側外向きノンコア解析結果

log 120: 地すべり面を示唆するパターン“S”が深度 70～80m で出現する。深度 84m 以深では、パターン“U”が出現し、CL 級土塊の軟質部と判断した。log 115 とは異なり、切羽の左右で地すべり面の広がりや厚さがやや異なると推定した。

log 121: log 120 と類似した結果で、正規化削孔速度比もほぼ同様で顕著な変化はない。亀裂・変質帯を示唆するパターン“F”が深度 75m 前後に出現した後、パターン“U”が出現したので CL 級土塊の軟質部と判断した。深度 18～30m の解析結果は、CL 級土塊／CM 級土塊の地層境界での不均質性を示唆するパターン“B”と評価した。

log 102: log 103 と同様な結果を示す。深度 0～28m ではパターン“U”が出現し、CL 級土塊の軟質部と判断した。深度 60m 付近では、孔曲がりを示唆する回転圧の上昇も伴うので、CL 級土塊／CM 級土塊の地層境界でのパターン“B”と判断した。深度 80～90m の解析結果も CL 級土塊／D～CL 級土塊の地層境界の“B”と判断した。

d) まとめ

以上の解析結果を、特に D 級旧地すべり面との関係でまとめると以下ようになる。

切羽左側外向きのノンコア解析によると、log 115 (上向き 5 度) と log 118 (上向き 10 度) では削孔の軌跡がかなり違うはずであるが、いずれにおいても D 級旧地すべり面およびその直上部の脆弱層と判断される記録が広く現れる。すなわち、当初地質断面図よりも、旧地すべり面直上部の脆弱層が厚く分

布することが予想される。一方、切羽右側外向きのノンコア解析によると、log 120 (上向き 5 度) では D 級旧地すべり面に相当する記録が現れた後にすぐに一様・均質な地山に対応する記録が連続する。log 121 (上向き 10 度) においても同様な一様・均質な地山に対応する記録が連続する。したがって、切羽右側では当初地質断面図に近い D 級旧地すべり面が分布し、その上には一様・均質な CL 級土塊の分布が予想された。

以上のように、中尺ノンコア解析の結果は、切羽左右での地すべり土塊の違いを予測するものであった。

(3) 地山評価の検証

中尺ノンコア解析結果を既往ボーリングデータにより検証をおこなった。

a) 切羽左側外向きノンコア解析結果の検証

切羽左側外向き 10 度の中尺ノンコア解析結果 (図-8) の検証は、坑内 (130km552m) からの水抜き・コア採取ボーリング (図-8 中の灰色太破線、外向き 10 度、上向き 4 度、L=120m)、および地上からの鉛直コアボーリング 5 孔 (図-8 中、左側から順に、H22-7, H22-9, H22-4, B-5, H-3 孔) を用いた。

坑内コアボーリングの軌跡は、ノンコア削孔の log 115,118,103 と斜交するために、直接的な対比は難しいが以下のような考察が可能である (図-10)。坑内コアボーリングでは、深度 0～39m ではおおむね $RQD \geq 80$ 、39～120m では $RQD \leq 50$ である。各ノンコア削孔の軌跡を考慮すると、log 103 深度 0～35m の「U: 均質・一様、CL 級土塊の軟質部」は、コアの高 RQD 区間に相当する。Log 118 の 75m 以深では、log 115 と同様に、地すべり面や直上の脆弱層 (D 級地すべり土塊) を示唆する結果“S”が得られており、これらの D 級層が、当初地質断面図よりもかなり厚いことが考えられる。また、コアボーリングの軌跡と低 RQD の分布区間も合せると、この厚い D 級層は少なくとも 130km600m～700m 程度の範囲にわたっていると考えられる。これらを踏まえると、log 115, log 118 の 75m 以深で得られた“S”の解析結果は、コアの低 RQD 区間に相当していると考えられる。

次に、鉛直コアボーリングの結果を見ると、旧地すべり面 (D 級) の上に CL 級、D 級の地層が互層状に重なっている。地すべり面から、関連する最上部の D 級層までの厚さをみると 4m～12m (図-11) と当初地質断面図よりもかなり厚いと言える。

b) 切羽右側外向きノンコア解析結果の検証

切羽右側外向き 10 度の中尺ノンコア解析結果 (図-9) の検証は、地上からの鉛直コアボーリング 4 孔 (図-9 中、左側から順に、H22-6, H22-5, H22-8, H22-2 孔) を用いた。同様に地すべり面から、関連する最上部の D 級層までの厚さをみると 2m～3m と薄く (図-12) 当初地質断面図に近いものであった。

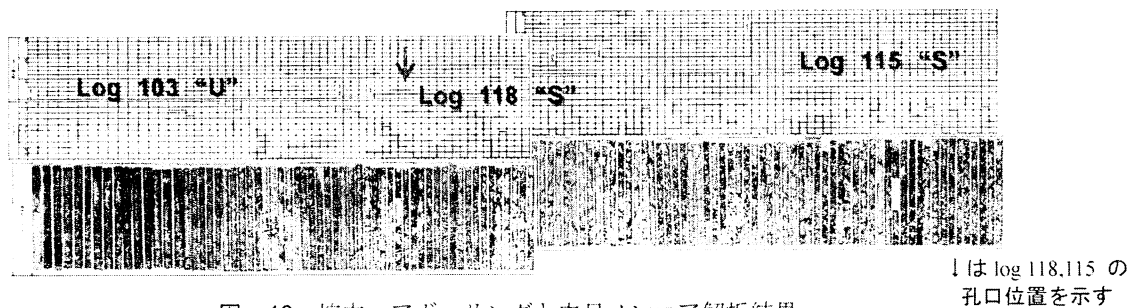


図-10 坑内コアボーリングと中尺ノンコア解析結果

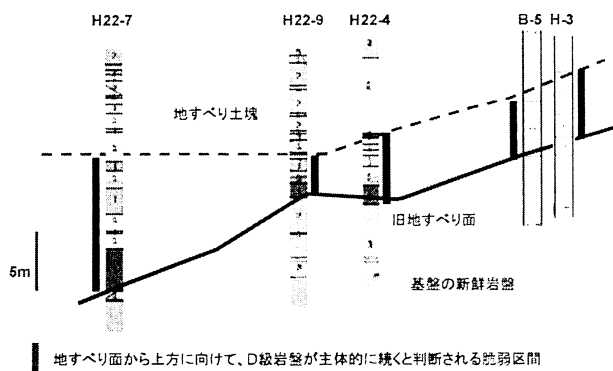


図-11 切羽左側地すべり面直上のコアボーリング結果

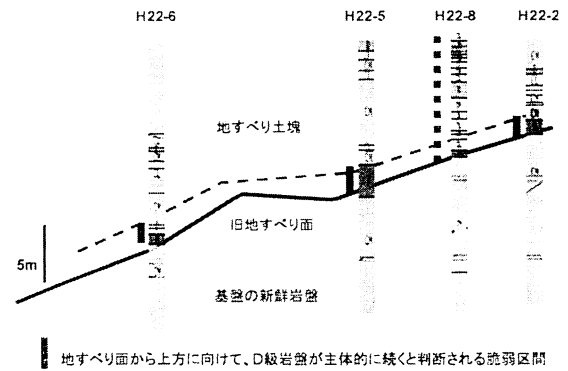
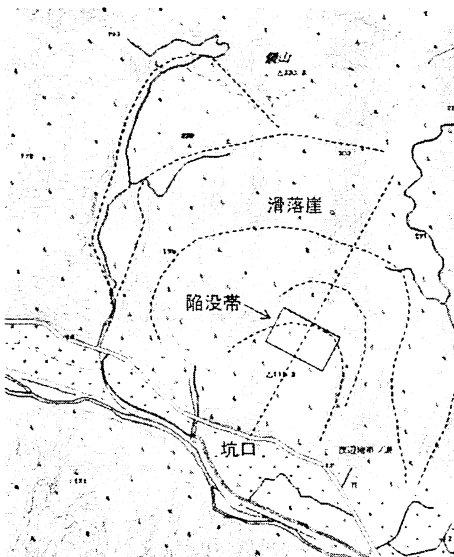


図-12 切羽右側地すべり面直上のコアボーリング結果



国土地理院 1:25,000 地形図「茂辺地」



国土交通省 国土画像情報 (カラー空中写真)
CHO-76-18 C12-37

図-13 地すべり地形の地形図読図および空中写真判読

c) 切羽観察結果の検討

切羽観察結果 (図-3) によると、地すべり面付近は非常に不均質、地層が湾曲、起伏が大、左右非対称といった特徴を示す。中尺ノンコア解析は左右いずれも外向き 10 度であるので、切羽観察から直接切羽左右の違いを確認できるものではないが、前出のボーリングコアに見られる違いを示唆するものと考えられる。

d) 地すべり地形の検討

最後に地すべり地形の地形図読図・空中写真判読の結果を示す (図-13)。図から数回の地すべり跡とすべりの方向の変化が認められる。このような度重なる地すべりにより、地すべり土塊や地すべり面直上の地層・岩質分布は変形を受けて複雑な分布を示し、必ずしも一様ではないと考えられる。

e) まとめ

今回、ボーリングコア試料(水平孔1本, L=120m, 鉛直孔9本), 切羽観察, 地すべり地形を基に地山評価の検証を行った結果, 地すべり面直上のD級層は切羽左側で厚さ4~12m, 右側で2~3mとなり, ノンコア解析による切羽左右での地山の違いは妥当と判断できた。

5. 中尺ノンコア解析による地山等級予測

(1) 短尺~中尺ノンコア解析結果の対比

短尺ノンコア解析(ドリルジャンボのパークッション・ドリリングによる削孔記録)と中尺ノンコア解析(ボーリングマシンのロータリー・パークッション・ドリリングによる削孔記録)の観点から, 比較検討と対比を行った。これらの目的は, 削孔メカニズムに関わらず, 統一的なパラメーターで地山評価を可能にすることにある。対比が可能になれば, 短尺ノンコア解析で蓄積されている各種情報を中尺ノンコア解析にも適用可能となるメリットがある。また, 短尺ノンコア解析で実施している地山等級の推定技術を, 中尺ノンコア解析にも導入できる可能性が出てくる。

解析結果の対比は, 地すべり面および直上のD級脆弱層の区間, およびCM級砂岩層(基盤および地すべり土塊)でおこなった。すなわち, 前者は短尺ノンコア解析結果(図-3)の距離480m~525mの区間“S”での正規化削孔速度比と, 中尺ノンコア解析結果(図-8, 9)のlog 115, 118, 120の区間“S”での正規化削孔速度比の比較を行った。正規化削孔速度比はそれぞれ0.41~0.44, 0.375~0.425の範囲にあるが, 代表値を0.42と0.40と判断し, 中尺ノンコ

ア解析結果を短尺ノンコア解析結果に換算する補正量として-0.02を得た(表-5)。後者は短尺ノンコア解析結果(図-3)の距離545m~590mの区間“U”での正規化削孔速度比と, 中尺ノンコア解析結果(図-8, 9)のlog 102, 103のCM級地すべり土塊での正規化削孔速度比の比較を行った。正規化削孔速度比はそれぞれ0.41~0.42, 0.40の範囲にあり, 同様な補正量が確認できた。

また, 同じ鉱研工業社製PRD-130C, ビット径φ101mmを使用した既往事例では, 中尺ノンコア解析結果を短尺ノンコア解析結果に換算する補正量は, -0.02~-0.05であった⁵⁾。地質的には黒松内層の軟岩(地すべり堆積物)と花崗閃緑岩(亀裂の多い弱風化~新鮮岩)と全く異なるが, 類似の補正量が得られた(表-5)。

(2) 中尺ノンコア解析結果による地山等級予測の試行

上記の方法に基づいた補正済みの中尺ノンコア解析結果(短尺ノンコア解析結果相当値)と短尺ノンコア解析結果から得られている地山等級区分の関係から, log 115, 120について地山等級の推定を試行した。また短尺ノンコア解析の際にも実施した正規化削孔速度比の「分散」によるIS区分の適用についても検討した。

図-14にlog 115の検討結果を示す。短尺・中尺ノンコア解析で「S: D級旧地すべり面」と判定した区間について得られた地山等級区分を比較すると, 短尺ノンコア解析ではおおむねIS, 中尺ノンコア解析ではIN主体で一部ISとなった。同じ場所での比較ではないので一概には言えないが, 中尺ノンコア解析の方がやや安全側の評価になった印象がある。

6. まとめ

本報文では, 新第三紀層の細粒砂岩からなる大規模な地すべり区間でのトンネル工事に対して, ノンコア削孔切羽前方探査による地すべり土塊の調査, 地山等級や支保パターンの予測方法と検証結果について報告した。

表-5 短尺・中尺ノンコア解析結果の対比

地質	中尺ノンコア解析	短尺ノンコア解析	地山等級	備考
地すべり脆弱部(砂岩)	0.41-0.44	0.375-0.425	IS	本報告
地すべり硬質部(砂岩)	0.41-0.42	0.36-0.40	IN-2	
弱風化~新鮮花崗岩	0.360-0.375	0.325-0.350	IIN	既往報告

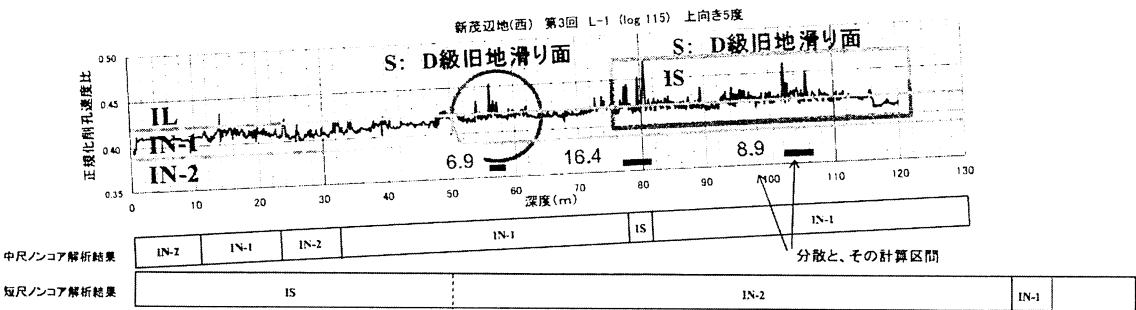


図-14 中尺ノンコア解析結果による地山等級予測の試行

ノンコア削孔調査は、ドリルジャンボによる短尺ノンコア解析 (L=30~50m)、およびロータリー・パーカッション型のノンコアボーリングマシンを利用した中尺ノンコア解析 (L=120m) 行った。ノンコア解析は、いずれもフィード圧の変動影響を排除した削孔速度の変換解析システム (トンネルナビ®) に基づいた。

前方探査としては、ほぼ同様な細粒砂岩層の中で、新鮮部、地すべり層やそれに伴う脆弱層 (風化変質、亀裂を伴う) を識別することが課題であった。しかし、岩石物性的には大きな差は無く、地すべり層などの脆弱層が薄層で緩傾斜を示すために切羽全体の評価が難しい場合にも遭遇した。

このため、短尺ノンコア解析では解析結果のばらつき評価に「分散」を導入して地山等級の判定基準を作成した。中尺ノンコア解析では距離減衰補正を含めた解析手法の妥当性を確認した。短尺・中尺ノンコア解析の相互補完により地山評価の相乗効果が得られ、切羽左右での地すべり土塊の違いなども予測・検証することができた。最終的には中尺ノンコア解析による地山等級の推定も試みた。

トンネル工事では、設計時の地質調査結果と掘削時の地質状況に大きな違いが出ることがしばしばある。したがって、トンネル掘削時には特に断層を対象にして、各種の前方探査を行うことが多い。地山等級や支保パターンは、先進ボーリングによりコア採取を行い、切羽前方の地質を直接確認した上で決めることが多い。しかし、先進ボーリングをトンネル全線で実施する場合、ボーリング費用の増加やトンネル掘削作業の中断など問題も多い。このため作業時間の短縮とコストダウンが図れるノンコアボーリングによる前方探査が注目されている。今回実施した短尺ノンコア解析と中尺ノンコア解析にはそれ

ぞれ特徴があるが、中尺ノンコア解析の大きなメリットは、はるか前方までの長距離区間の予測が可能となり、大変形や大量湧水への対応が迅速に可能となる期待がある。今後ともノンコアボーリングによる地山評価の信頼性を高め、支保規模選定支援技術として確立されることを期待したい。

参考文献

- 1) 山崎貴之, 浦川博臣, 後藤隆之, 黒川尚義, 桑原 徹: ノンコア解析による地滑り土塊のトンネル切羽前方探査, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, III-093, 2012.
- 2) 山崎貴之, 加藤建二, 浦川博臣, 後藤隆之, 黒川尚義: 高地下水位を有する地すべり陥没帯におけるトンネル掘削, 土木学会トンネル工学委員会, トンネル工学報告集第 22 巻, 2012.
- 3) 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.
- 4) 桑原 徹: ノンコア削孔切羽前方探査技術「トンネルナビ®」, 国土交通省北海道開発局 平成 23 年度北海道開発技術研究発表会「特別セッション」実施報告, http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/netis_skip/h23pdf/07.pdf, 2012.
- 5) 村上 明, 島 哲也, 桑原 徹, 田湯正孝: ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査, トンネルと地下, Vol.43, no.6, pp.495-504, 2012.

(2012.9.3 受付)

GEOLOGICAL PREDICTION AHEAD OF THE TUNNEL FACE IN THE LANDSLIDE AREA BY THE NEW EXPLORATION DRILLING SYSTEM USING CONVERSION ANALYSIS OF NON-CORE DRILLING VELOCITY

Takayuki YAMAZAKI, Kenji KATO, Takashi GOTO, Naoyoshi KUROKAWA
and Toru KUWAHARA

The western part of Shin-Moheji Tunnel, the Hokkaido Shinkansen Line, is located in the large scale landslide area showing high ground water level, and we have many engineering geological risks such as instability of tunnel face and mass drainage occurred abruptly or over a long-term. Therefore, we carried out many exploration drillings during the tunnel excavation using by both hydraulic wheel jumbo and rotary percussion drilling machine, and also discussed on the weak zones such as landslide plane, on the suggesting method of engineering rock mass classification and support pattern for NATM. Exploration depth is, respectively, 30~50 meters using drill jumbo and 120 meters using drilling machine.

Exploration drilling data was analyzed by the conversion analysis of non-core drilling velocity, and geological predictions judged from analytical results were verified by the core boring data and geological observation in the tunnel face. We hope to establish the high reliability of geological prediction using non-core exploration drilling, and also the support technology for selection of support pattern of tunnel excavation, based on this analytical system.