

亀裂質なホルンフェルスの地山評価について

戸田建設 正会員 ○山口 伊吹
戸田建設 三宅 拓也

1. はじめに

当トンネルのホルンフェルス区間では、地山弾性波速度は 3.2～3.4km/sec で、地山分類表（道路トンネル技術指針（構造編））からは CⅡ と判定された。しかし非常に亀裂質で粘土層を多く含むため、区間延長 515m のうち CⅡ はわずか 12m、また補助工法を採用した区間は 106m と弾性波速度による推定とは大きな差異があった。このため、地山弾性波速度と岩石の超音波速度から算出される亀裂係数による評価、および切羽で観察された地山の特徴から判定規則を定め地山を再評価した。

2. 地質概要

当トンネルの計画地域は、四万十帯の役勝ユニットと呼ばれる砂岩泥岩互層、砂岩および粘板岩が基盤を構成している。当トンネルの地層は、四万十層群に属し、起点側に分布する非変成の砂岩泥岩互層と、終点側のホルンフェルスに分けられる。

ホルンフェルスは砂岩泥岩互層および砂岩が熱変成作用を被り形成された変成岩である。緻密で硬質であるが亀裂が発達し、亀裂には粘土をはさみ、破碎部は粘土化が進行している状態である。

切羽で確認された特徴としては次の通りである。

- ① 岩片自体は非常に硬質である。
- ② 新鮮で亀裂の少ない連続した岩盤はほとんど無い。
- ③ 大半が 10～30cm 程度の亀裂間隔で亀裂に粘土を挟む。
- ④ 硬質のホルンフェルスの岩塊（50cm～2m）が転石状に分布する。
- ⑤ 多くの断面で硬質なホルンフェルスの岩塊、亀裂が発達した層、厚い粘土層等が同時に見られる。
- ⑥ トンネル縦断方向にも同一な地質の連続性が無く、切羽の状態が急激に変化する。

3. 亀裂係数

岩石試験結果と事前調査段階で実施されたものを含めて表 1 に示す。

切羽から採取したホルンフェルスの試料による岩石試験では、一軸圧縮強度は 90.1～204.9Mpa と硬質で、特に岩石の超音波速度が $V_p=6.3 \sim 6.7\text{km/sec}$ と極めて早い値が得られた。これと地山弾性波速度 3.2～3.4km/sec から算出される亀裂係数 $(Cr=1-(V_p/v_p)^2)$ はほとんどが 0.7 以上と極めて亀裂質という結果が得られた。

道路トンネルの地山分類表では亀裂係数を評価項目に取り入れたものはないが、北海道開発局の設計要領ではこれが考慮されている。表 2 に地山分類表(北海道開発局)を示す。これによると今回の亀裂係数は「DⅠ」程度の評価となる。亀裂と粘土などの挟在物により天端崩落や鏡の安定性が左右される当トンネルのホルンフェルスでは、この点に重点をおいた評価が、現場の実情に適合するものと考えられる。

4. 地山の再評価

北海道開発局の地山分類表では、亀裂係数 70% で CⅡ と DⅠ の境界となる。今回、切羽採取の試料の平均超音波速度は $V_p=6.5\text{km/sec}$ で、亀裂係数 70% から逆算すると、地山弾性波速度は $v_p=3.6\text{km/sec}$ 、事前調査

表 1 岩石試験結果

勝浦トンネル岩石試験結果一覧表(事前調査)									
孔名	深度 m	岩石名	硬軟	風化変質	密度 g/cm3	超音波速度 Km/s	圧縮強度 Mpa	亀裂係数 1-(Vp/vp)2	備考
BV-3	17.15～17.30	ホルンフェルス	C	γ	2.767	5.11	246.83	0.74	1.5Dレベル
	28.05～28.40	ホルンフェルス	C	γ	2.741	5.32	191.24	0.76	地山弾性波速度
	45.30～45.60	ホルンフェルス	B	β	2.750	5.29	167.18	0.76	2.6km/secとした場合
	52.60～52.78	ホルンフェルス	B	β	2.752	5.12	153.09	0.74	
BV-4	21.40～21.70	ホルンフェルス	B～C	β～γ	2.719	4.86	180.31	0.71	
	27.10～27.40	ホルンフェルス	B～C	γ	2.749	4.91	207.85	0.72	
	30.00～30.15	ホルンフェルス	B	γ	2.743	4.34	152.25	0.64	
BH-2	40.15～40.30	ホルンフェルス	C	β～γ	2.750	5.50	196.15	0.78	
	43.65～43.85	ホルンフェルス	C	γ	2.749	5.35	179.07	0.76	
	49.75～50.00	ホルンフェルス	B	β～γ	2.723	4.92	164.95	0.72	
勝浦トンネル岩石試験結果一覧表(切羽採取試料)									
測点	測点 m	岩石名	地山弾性波速度 vp(Km/s)		密度 g/cm3	超音波速度 Vp(Km/s)	圧縮強度 Mpa	亀裂係数 1-(vp/Vp)2	備考
	No310+0	ホルンフェルス	3.3		2.736	6.367	90.1	0.70	
	No313+9	ホルンフェルス	3.5		2.744	6.358	154.5	0.73	
	No315+10	ホルンフェルス	3.3		2.750	6.743	204.9	0.76	

キーワード ホルンフェルス 亀裂係数 地山評価

連絡先 〒810-8502 福岡県福岡市中央区白金 2-13-12 戸田建設株式会社九州支店 TEL092-525-0355

での超音波速度を含めた場合、平均超音波速度は $V_p=5.8\text{km/sec}$ で、この時の地山弾性波速度は $v_p=3.2\text{km/sec}$ となる。これより、地山弾性波速度 $v_p=3.2\sim 3.6\text{km/sec}$ 程度が C II と D I の境界と考えられる。また、施工実績では、No315+2.6～No315+14.6 間は C II タイプで施工し、この区間の地山弾性波速度は $3.2\sim 3.4\text{km/sec}$ であることから、この付近に境界値を設定するのが妥当であると判断された。

今回、上記の事項を踏まえ、地山弾性波速度分布を基に地山分類を検討するにあたり、以下のような判定規則を定め実施している。

- ① 地山弾性波速度 $3.2\sim 3.4\text{km/sec}$ 程度を C II と D I の境界と想定する。

② 速度層が周辺より狭い箇所では硬軟の差が大きく、変化が激しい地山があると考えられ、連続する速度層のより遅い速度層を想定する。

③ 周辺より速度層が広い区間は比較的均一で連続した地山が続くと想定され、概ね表示された速度層が分布すると考える。

④ 速度層が周辺の分布傾向と比較して凹形状を示す場合、断層の介在や不連続面の分布が想定され、速度表示よりも遅い速度分布を考慮する。

⑤ 速度層が周辺の分布傾向と比較して凸形状を示す場合、硬質な岩盤の貫入が考えられ、速度表示よりも速い速度層を考慮する。

表 2 地山分類表（北海道開発局）

地山区分	剥離性に富む 古生層～深成岩		剥離性に富まない 古生層～ 深成岩, 火山岩		第三紀堆積岩類		亀裂係数	地山定数					地山強度比 $\sigma_c/\gamma H$
	Vp RQD(5)		Vp RQD(5)		Vp RQD(5)			準岩盤強度	粘着力	内部摩擦角	変形係数	ポアソン比	
	Km/s		Km/s		Km/s	%		Mpa	Mpa	$^{\circ}$	Mpa	v	
A	4.8以上	60以上	4.5以上	60以上				140以上	6以上	55以上	5000以上	0.25以下	≥4
B	4.5～4.8	50～60	4.0～4.5	50～80	3.0以上	60以上	25以下	140～35	6以上	55～50		0.25以下	
CⅠ	4.0～4.5	30～50	3.5～4.0	30～70	2.5～3.0	40～60	25～50	35～15	6～3	55～45	5000～2000	0.25～0.30	
CⅡ	3.5～4.0	20～30	3.0～3.5	20～50	2.0～2.5	30～40	50～70	15～7	3～1.5	45～40	2000～1000	0.25～0.30	
DⅠ	3.0～3.5	20以下	2.5～3.0	40以下	1.5～2.0	20～30	70～80	7～3.5	1.5～1.0	40～35	1000～500	0.3～0.35	
DⅡ				30以下	1.0～1.5	20以下	80以上	3.5～1.5	1.0～0.5	35～30	500～150	0.3～0.35	2～1
E								1.5～0.5	1.5～0.1	30～15	150～30	0.35～0.40	1以下

図 1 弾性波速度分布図 の地山等級は、これらの規則を基に地山を再評価したものである。

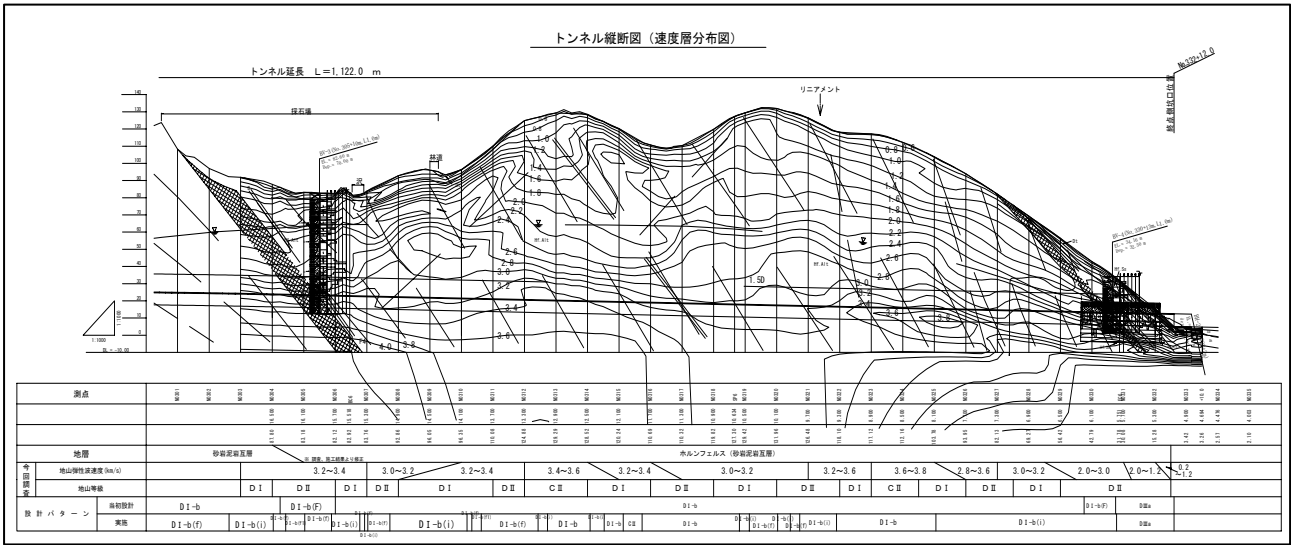


図 1 弾性波速度分布図

5. おわりに

今回、亀裂質なホルンフェルスでの地山評価として、亀裂係数を考慮し、また地山の特徴から判定規則を定め評価したところ、実施パターンとも適合する結果が得られた。当トンネルではこの他にも、切羽前方探查システム（DRISS）を採用し、切羽前方地山を評価、推定しながらの掘削を進めた。トンネル掘削においては、前方地山をより正確に評価し把握することが重要であるが、弾性波速度分布や前方探查データのみで正確に把握できる訳ではない。先ずは切羽をよく観察し、弾性波速度分布や前方探查データと照らし合わせ、先の地山を再度評価し施工に反映させていくことが重要だと考える。最後に文面をお借りしまして、今回の執筆に当たり、勝浦トンネルの施工を含め様々な形でご協力して下さいました関係者の方々に深く感謝申し上げます。