

山岳トンネル施工支援のための切羽 評価法の適用性に関する研究

赤木 渉¹・佐野 理²・進士 正人³・西 琢郎⁴・中川 浩二⁵

¹正会員 日本道路公団試験研究所 道路研究部トンネル研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

²正会員 工修 応用地質株式会社 長野支店 (〒380-0912 長野県長野市大字稲葉字日詰沖1593-1)

³正会員 学博 応用地質株式会社 技術本部 (〒330-8632 埼玉県大宮市土呂町2-61-5)

⁴正会員 理博 清水建設株式会社 和泉研究室 (〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-2)

⁵正会員 工博 山口大学工学部社会建設工学科 教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

NATMは、計測と施工が一体化したトンネル掘削工法であり、その導入からすでに20年が経過している。この間に蓄積された計測データを有効に活用することにより、合理的な山岳トンネル施工を目指すことは今後極めて重要となる。日本道路公団では、従来の地質的な記載が中心で、地山状態を定性的に評価する切羽観察手法を改め、切羽状態をより定量的に評価できる切羽評価法を提案した。そこで、本論文では、この評価法により収集された6,101断面の切羽観察結果データベースを活用し、切羽観察項目の寄与度を数値化する。そして、湧水や劣化による評価点の調整方法について議論し、この切羽評価法を実際のトンネル施工事例に適用した際、妥当な評価結果が得られたことを記述する。

Key Words : tunnel face, geological observations, rock mass classifications, support determination methods

1. はじめに

山岳トンネルの標準施工法としてNATMが位置付けられてほぼ20年が経過した。NATMは、現場計測を一つの判断基準として活用する施工法と位置付けられており、この間に蓄積された計測データは膨大である。今後の山岳トンネルの施工においては、蓄積された計測データを可能な限り有効利用することにより、施工時の安全性を確保することはもちろん、より合理的かつ経済的な山岳トンネル施工への取り組みがこれまで以上に期待されている。

1997年から日本道路公団（以下JHと呼ぶ）では、NATMの標準支保パターンとして自らが設定したB~DIパターンの施工実績に基づき、画一的な支保パターンの選択から、地質状況により見合った柔軟な支保パターンの選択ができるように標準支保パターンの追加・修正を行ういわゆる「支保パターンのマルチ化」に取り組んできた。これら標準支保パターンを弾力的に適用する（マルチ化する）ためには、事前調査段階で設定した支保パターンを施工時の現場計測、切羽観察に基づいて修正していく必要がある。NATM導入時から、JHでは切羽観察の重要性を認識し、独自に切羽観察様式を制定し、切羽観察データを収

集している。そのデータに基づき、施工者を含めた岩判定委員会を組織してその委員会の中でこれまでの計測データおよび切羽観察結果を評価し、今後の支保パターンの検討を行い、必要に応じて支保パターンの変更を実施している。すなわち、切羽観察結果は、地山状態を評価する重要な情報すなわち岩盤評価として、支保判定材料の一つとして用いられている。しかし、JHの従来の切羽観察手法は、何人かの研究者により切羽観察結果の定量的な評価が試みられているものの、観察結果と支保パターンとの関連性が明確に数値化されていなかった。従来の岩盤評価としては、地山分類あるいは岩盤分類としてトンネル、ダムなどのそれぞれの構造物に特化した数多くの提案がなされている。山岳トンネルでは、Bartonが提案したQ-system¹⁾、BieniawskiによるRMR²⁾が世界的によく用いられている。しかし、これらの方法は、地山が比較的均質かつ硬質で良好な状態における岩盤評価を目的に考案されたものであり、そのままが国に導入できるとは考えにくい。わが国においても、トンネルの岩盤評価の取り組みは数多くなされているが、それらの多くは特定のトンネルあるいは限られた地域を対象としたものである。そこで、筆者らは、切羽観察データを数値化Ⅲ類に

表-1 従来の切羽観察様式

土 被 り	m		総合判断	地山区分あるいはパターン区分の判定		
岩 種	a, b, c, d, e			岩 石 名		
特 殊 条 件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m、重要構造物近接、谷の直下・(その他)					
掘削地点の地山の状態と挙動						
㉔	切羽の状態	1. 安 定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出しを生じる	4. 鏡面は自立せず崩れあるいは流出	5. その他
㉕	密着面の状態	1. 自 立 (管脚不要)	2. 時間がたつとゆるみ肌落ちする (後管脚)	3. 自立困難掘削後早期に支保する (先管脚)	4. 掘削に先行して山を受けておく必要がある	5.
㉖	圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{kgf/cm}^2$ ハンマー打撃はね返る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で可	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃で可	4. $50 \text{kgf/cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先喰いこむ	5.
㉗	風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って変色強度やや低下	3. 全体に変色、強度相当地に低下	4. 土砂状、粘土状、破碎、当初より未固結	5.
㉘	割れ目の精度	1. 間隔 $d \geq 1\text{m}$ 割れ目なし	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	4. $5\text{cm} > d$ 破碎、当初より未固結	5.
㉙	割れ目の状態	1. 密 着	2. 部分的に開口	3. 開 口	4. 粘土をはさむ、当初より未固結	5.
㉚	割れ目の形態	1. ランダム 方 形 	2. 柱 状 	3. 層状、片状 板状 	4. 土砂状、細片状、当初より未固結	5.
㉛	湧 水	1. なし、滲水程度	2. 過 水 程 度	3. 集中湧水	4. 全面湧水	5.
㉜	水による劣化	1. な し	2. ゆるみを生ず	3. 軟 弱 化	4. 崩壊・流出	5.
割れ目の方向性(定規で確認するとき)	縦 断 方 向 (切羽面をみて)	1. 水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3. さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4. 流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5. 流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6. 垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 【最大傾斜角をとる】				
	横 断 方 向 (切羽面をみて)	1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. 右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3. 右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4. 左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5. 左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6. 垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 【切羽面のみかけの傾斜角をとる】				

より観察項目の類似性分析と類似性からみた岩種の分類を行い、観察項目の整理を行った。そして、新しい切羽評価法の枠組みを提案し、現行の切羽観察と新しい切羽観察を用いた評価点法（以下、「新評価点法」と呼ぶ）による支保パターンの判別に関する比較を実施した³⁾。

新評価点法は、1996年11月からJHに試行導入されている。この手法による施工データも蓄積され、現時点では分析を行うのに十分なデータ数に達している。そこで本論文ではより合理的な山岳トンネル施工を支援するために切羽評価結果を数値化することを目的として、各観察項目の支保パターンに対する寄与度を重みとして評価した。そして、その結果を実際の施工事例に適用しその適用性について検証した。

2. 切羽評価法

(1) 従来の切羽評価法の問題点

トンネル周辺の地山挙動を支配する地質的な因子を整理して、切羽の安定性を評価する手法には、

種々の方法が提案されている。JHがNATM導入時に制定した切羽観察の様式を表-1に示す³⁾。当初の切羽観察手法の考え方は、この様式に見られるように切羽の状況を定性的に記載することにより、これらの観察項目と変位量等の計測結果からトンネル技術者の総合的な判断を支援する記録資料としての性格を有するものとされてきた。従って、それぞれの項目の記載にも定性的な記述が多いことがその特徴のひとつである。

この表を使って、切羽観察結果から支保パターンを定量的に評価する試みは多くの研究者により何度か行われてきた^{4), 5)}。筆者らは従来の切羽観察様式を改良し、地山評価、支保判定のための資料とするため、特に観察項目の選択に関しては、クラスター分析を行い、その結果、切羽評価を「総合的な岩盤強度に対する評価」と「場の状態に対する評価」を組み合わせるものと定義した。すなわち、新評価点法における岩盤強度に関する項目は、「圧縮強度」、「風化変質」、「割れ目の間隔」、「割れ目の状態」の4項目、場の状態に対する評価区分は、「湧水量」、「(水による)劣化」、「地山強度比」とした。これまでの検討³⁾と同様、土被りが概ね1000m以下の

表-2 新しい切羽観察様式

観察項目		評価区分					
A.圧縮強度 (N/mm ²)	一軸圧縮強度	100以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3以下
	ポイントロート	4以上	4~2	2~1	1~0.4	0.4以下	
	ハンマーの打撃による強度の目安	岩片を地面に置きハンマーで強打しても割れにくい	岩片を地面に置きハンマーで強打すれば割れる	岩片を手を持ってハンマーでたたいて割ることができる	岩片どおしをたたき合わせて割ることができる	両手で岩片を部分的にでも割ることができる	
	評価区分	1	2	3	4	5	6
B.風化変質	風化の目安	概ね新鮮		割れ目沿いの風化変質		岩芯まで風化変質	
	熱水変質などの目安	変質は見られない		変質により割れ目に粘土を挟む		変質により岩芯まで強度低下	
	評価区分	1		2		3	
C.割目間隔	割れ目の間隔	$d \geq 1m$	$1m > d \geq 50cm$	$50cm > d \geq 20cm$	$20cm > d \geq 5cm$	$5cm > d$	
	RQD	80以上	80~50	60~30	40~10	20以下	
	評価区分	1	2	3	4	5	
D.割目状態	割目の開口度	割目は密着している		割目の一部が開いている (幅<1mm)		割目が開いている (幅1~5mm)	
	割目の狭い物	なし		なし		薄い粘土を挟む (5mm以下)	
	割目の粗度鏡肌	粗い		割目が平滑		よく磨かれた鏡肌	
	評価区分	1		2		3	
E.走向傾斜	走向がトンネル軸と直角	1:差し目 傾斜 45~90°	2:差し目 傾斜 20~45°	3:差し目流れ目 傾斜 0~20°	4:流れ目 傾斜 20~45°	5:流れ目 傾斜 45~90°	
	トンネル軸と平行			1:傾斜 0~20°	2:傾斜 20~45°	3:傾斜 45~90°	
	評価区分			1	2	3	

切羽 10m 区間での湧水量と水による劣化状態による評価(劣化は現在および将来における可能性について判定する)

F.湧水量	状態	なし、滲水 1/分以下	滴水程度 1~20/分	集中湧水 20~100/分	全面湧水 100/分以上
	評価区分	1	2	3	4
G.劣化	水による劣化	なし	縊みを生ず	軟弱化	流出
	評価区分	1	2	3	4

通常のトンネルでは、地山強度比が地山状態の指標となりうる岩石は限定されているようであり、試行導入後の地山強度比と変位量とのデータ検討では、支保パターン並びに地山状態、変位量などの明確な関係が得られなかった。従って、観察項目から除外し、切羽観察シートには土被り高を記入する欄を設け、今後に向けてデータとして蓄積することとした。

同様に、RMRなどで採用されている「不連続面の走向・傾斜」とトンネルの位置関係は、場の状態を表す観察項目として、切羽状況の判断に影響を与えるものと考えられる。しかし、現状ではデータ量が不十分なため、今回新たに観察項目に加え、データ収集を行うこととした。

従って、「圧縮強度」、「風化変質」、「割れ目の間隔」、「割れ目の状態」という総合的な岩盤強度に関する4項目の観察項目の足し合わせで最高点の100点を構成し、その点数に対して、「湧水量」、「劣化」、「不連続面の走向・傾斜」という場の状態に対する3項目の調整点を減じる考え方とした。表-2に新評価点法で使用する切羽観察データシートを示す。実際の切羽観察では、切羽スケッチとともにこのデータシートを記入し切羽の評価を行うことになっている。

表-1と表-2を比較すると明らかなように、新

表-3 岩石グループの区分

強度区分	硬質岩	中硬質岩	軟質岩
風化区分			
塊状	グループ1 [硬質岩・塊状]	グループ2 [中硬質岩・塊状、軟質岩・塊状]	
	花崗岩、中生層砂岩、石英斑岩、花崗閃緑岩など	凝灰岩、火山礫凝灰岩、流紋岩、安山岩、玄武岩、砂岩など	
層状		グループ3 [中硬質岩・層状]	グループ4 [軟質岩・層状]
		中生層頁岩、粘板岩など	緑色片岩、黒色片岩、第三紀層泥岩など

評価点法は、定量的に評価の可能な観察項目は評価区分の分割数を増やしている。例えば、「圧縮強度」に関する観察項目に関しては6分割、「割れ目の間隔」、「割れ目の状態」に関しては5分割し、それらの評価区分の感度をより高めるようにしている。

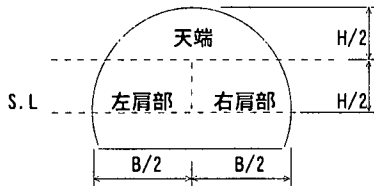


図-1 切羽分割概念図

(2) 岩石のグループ分け

各観察項目の評価区分の寄与度が岩種により異なることは、十分予想される。八木らは、これまでの川に蓄積された現場計測データを分析し、支保パターンと内空変位の発生量を岩種毎に整理した結果、同じ変形挙動を示すいくつかの岩石グループに分類できることを述べている⁶⁾。また、今田は地山特性とトンネル挙動を整理する際、地山強度と不連続性の大小で緩み荷重が変化することを示唆している⁷⁾。そこで、ここでは八木らの区分を参考として、表-3に示すように一般的な岩石グループを各岩石の新鮮な状態での圧縮強度とその後の風化・劣化形態により4区分し、それぞれの区分に対して観察項目の寄与度を検討することにした。以下、簡便のため、各岩石グループを表中に示す岩石グループ名⁸⁾で呼ぶこととする。

(3) 切羽の分割に関する評価

新評価点法を試行導入する際に、ひとつの切羽に複数の岩種が出現する場合や風化・劣化の程度が切羽内で異なる場合が考えられる。このような場合、切羽をどのように評価するかが問題となる。鈴木ら⁹⁾の研究では、トンネル技術者は、切羽安定の評価として、切羽天端付近における不連続面の状態を重視していることを示唆している。そこで、切羽の評価を図-1に示すようにトンネル高さで2等分し、その上部を天端部とした。そして、下部をトンネル中心線で左右肩部として分割し、それぞれ3分割された切羽を独立に評価することとした。3分割されたそれぞれの切羽評価区分値について、それらの平均値、最小値、加重平均値などの値と支保パターンとの関係をいくつかのトンネルでトンネル縦断方向に整理したが、有意差は認められなかった。しかし、

- ① 切羽観察者から、地山全体の評価に関しては、天端部の評価比重を大きくした方がよいという意見が多数寄せられたこと。
- ② 2車線道路トンネルでは、それぞれの分割された切羽の面積が、天端部面積：各肩部面積

≒1.28：1となること。

等を考慮して、切羽の安定に大きな影響を与える天端部の評価結果を左右両肩部の結果より重く（切羽を代表する評価点としては天端を2倍）評価する加重平均法を用いることにした。すなわち、評価区分値の加重平均値は、天端部の地山状況が比較的良好な場合は、切羽全体をより良好と判断するように切羽断面を3分割して評価した時の（左肩部+天端部×2+右肩部）÷4で算出したもので、この場合、切羽の評価区分値は0.25刻みになる。また、個々の観察項目において、切羽全体を代表させる場合にはこの重みがついた区分値を使用することとした。

3. 各評価区分の評価配点の考え方

(1) 基本的考え方

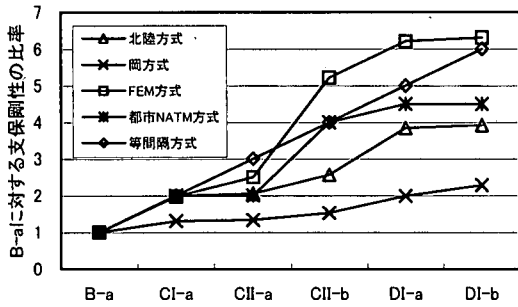
トンネルの支保構造は、施工時の安全性を担保した上で、所定の内空断面を確保することが必要条件である。従って、地山と支保の両者の剛性をうまく組み合わせ、各支保パターンにおいて発生する変位が各支保パターンにおける許容変形量以下に収まるように過不足なく施工することが理想である。すなわち、施工後、過不足ない変形が生じた切羽観察結果は、支保選定の判断基準としての適切な地山の支保剛性を評価していると判断してよい。

新評価点法では、「圧縮強度」、「風化変質」、「割れ目の間隔」、「割れ目の状態」という総合的な岩盤強度に関する4項目の観察項目を用いて地山状態を表現している。それぞれの観察項目の独立性に関しては、先の研究³⁾において検討を行っているので、総合評価としてはそれぞれの岩石グループ毎に観察項目の寄与度の検討を行う。

支保パターンと観察項目との関係を整理するためには、支保剛性に関する定量化を行う必要がある。しかし、支保剛性の評価に関しては、経験的な手法から理論的な手法まで種々提案されているが確立された手法はない。そこで、筆者らは代表的な以下の5つの方法について、支保パターンの剛性を試算した。なお、それぞれの詳細な算出方法については別途に取りまとめる⁹⁾こととし、ここではその概略のみ述べる。

a) 北陸自動車道施工技術検討委員会案¹⁰⁾

北陸自動車道の施工技術検討委員会において提案された手法である（以下「北陸方式」と呼ぶ）。各支保部材毎の耐荷能力を吹付けコンクリートは吹付厚により、ロックボルトは本数により鋼製支保工は、



	B-a	CI-a	CII-a	CII-b	DI-a	DI-b
北陸方式	1.0	1.99	2.06	2.57	3.84	3.92
岡方式	1.0	1.31	1.34	1.53	1.99	2.28
FEM方式	1.0	1.98	2.51	5.21	6.14	6.33
都市NATM方式	1.0	2.0	2.0	4.0	4.5	4.5
等間隔方式	1	2	3	4	5	6

図-2 各評価手法によるB-aを基準とした剛性比較⁹⁾

そのサイズに対してそれぞれ定め、それらを足し合わせるにより支保剛性を表現している。

b) 岡の提案による手法¹¹⁾

NATM導入期に岡により提案された土圧推定式であり、支保工の許容応力状態での支保耐力を理論的に算定する手法である(以下「岡方式」と呼ぶ)。円形トンネルを仮定し、トンネル掘削により発生する土圧を地山のくさび型押し出し圧力によるものと仮定し、その押し出し力を支保工で支持する際の荷重を支保耐力と想定する方法である。ここではその支保工耐力を支保剛性とした。

c) 有限要素法解析から支保工の限界状態を検討した手法¹²⁾

有限要素法解析による数値シミュレーション用い、解析結果の支保部材の応力と限界応力とを比較することにより各支保パターンにおける限界耐荷能力の検討を行った結果を用いた方法である(以下「FEM方式」と呼ぶ)。すなわち、重力解析により地山内の応力を再現し、その後掘削応力解析を行う。覆工は掘削と同時に施工されると考え、全荷重が支保工に作用する解析を行う。解析結果から覆工の曲げモーメント及びび軸力を算出し、得られた曲げモーメント及びび軸力を覆工の断面剛性を表現したM-N曲線と比較し、支保工が限界状態に達する際の、各支保パターンの初期応力(限界土被り高)の大きさを算定する。

d) 都市NATM施工データに基づく提案式¹³⁾

都市部におけるNATM施工事例を基に、標準支保及び補助工法の支保効果を評価点として提案している手法である(以下「都市NATM方式」と呼ぶ)。吹付



図-3 アンケートによる評価結果

けコンクリートは吹付厚により、ロックボルトは本数により点数を与えている。鋼製支保工の支保効果に関しては、本手法が都市NATMの補助工法の評価に主眼をおいているために、決められていない(都市NATMでは標準的に鋼製支保工を施工するのが一般的であるため)。補助工法(薬液注入、鏡ボルト、仮閉合等)に関してはそれぞれに対応する評価点を定めた。

e) 等間隔と仮定した案

支保剛性とは関連がないが、B-aパターンを基準とし、それぞれの支保パターンの剛性比率が整数倍になると仮定した案(以下「等間隔方式」と呼ぶ)。

これらの手法をJHで実際に採用されている標準支保パターン¹⁴⁾に適用し、B-aパターンとの剛性比として整理した結果を図-2に示す。図から明らかなように、支保工の限界状態を仮定したFEM方式は、最も支保剛性の比率が大きい。それに対して地山の許容応力状態における釣り合いを基礎として支保剛性を検討している岡方式の変化は最も小さい。北陸方式、都市NATM方式は経験的な評価法であり、支保工の限界状態と許容応力状態の中間的な状態を表すものと考えられる。

(2) アンケートによる支保剛性の評価

切羽観察結果と対比させる支保剛性の数値を設定するにあたり、本論では(1)で述べた各手法が、切羽観察に直接関与しているトンネル技術者においてどのような印象をもたれるかアンケート調査を行い、トンネル技術者の印象と最も適合性の高いと思われる手法を採用することとした。これは硬質岩から軟質岩にわたる全ての岩種を対象とした支保剛性算定に対する理論解が十分得られていない現状を踏まえ、

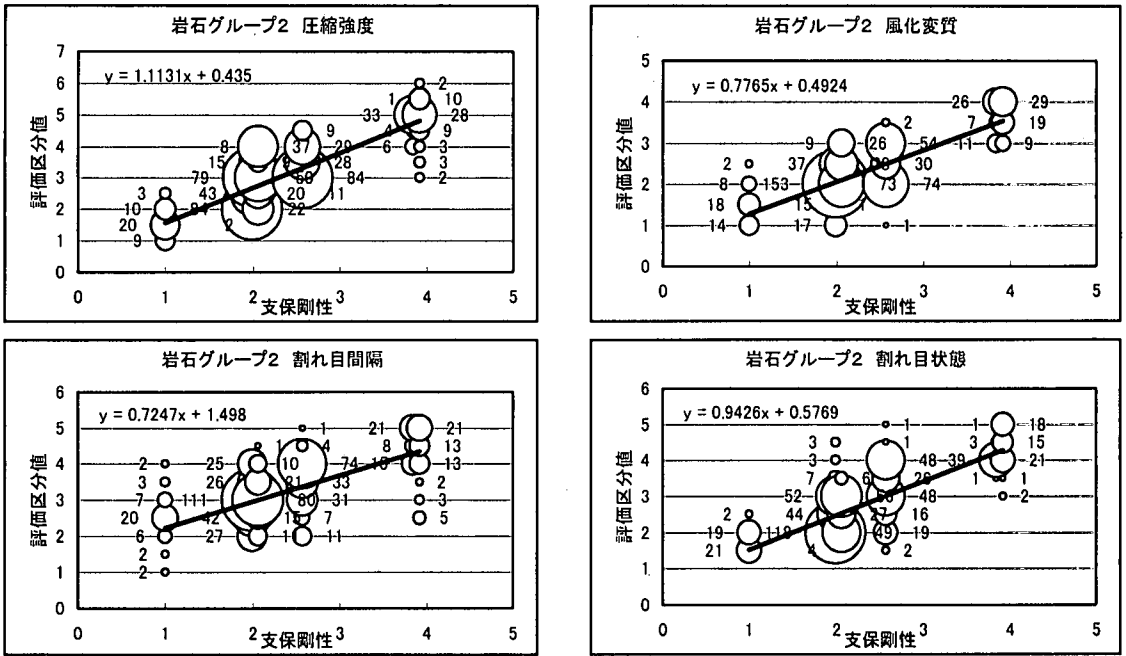


図-4 支保剛性と評価区分値との関係

常に施工性への合理的判断を迫られる技術者の主観を重視することも1つの規準として許容されると考えたためである。

アンケートの対象者は、JH、調査設計コンサルタント、トンネル施工業者に属する技術者総計209名であった。図-3に支保剛性比率として適当と思われる手法をそれぞれの岩石グループにおいて順位付けされた結果を示す。

この図より、すべての岩種において、北陸方式が支保剛性比率として最も適当との印象をもたれていることがわかる。また逆に、支保剛性比率を等間隔に割り付けるものは、ほとんどの場合不適当と判断されている。つまり、トンネル技術者の多くは、支保剛性比率にはある種の偏りがあるとの印象を持っていると考えられる。

この結果から、本論では切羽評価点と対比させる支保剛性の値として、北陸方式によるものを採用することとした。図-2から明らかなように、北陸方式は、CI-aとCII-a並びにDI-aとDI-bの差がそれぞれ小さくB-aに対してDI-bの支保剛性が4倍程度と評価される方式である。

(3)各評価区分の配点結果

a) 分析対象データ

分析に使用したデータは、新しい切羽観察様式を用いて切羽観察が実施された平成8年11月から10年12月までの2年2か月間に施工されたトンネルを対象

としている。新しい切羽観察手法は全国規模でJHのトンネル施工現場に導入されたので、個々のトンネルの施工時期が対象期間に合致した現場の切羽観察データは、ほとんどが収集されている。

当該期間内の新しい切羽観察手法によるデータ数は53トンネル、66工区、9,690断面分である。そのうち、6種類(B-a, CI-a, CII-a, CII-b, DI-a, DI-b)の標準支保パターンで施工されたものは6,101断面であり(表-4参照)、これらのデータを用いて分析を行うこととする。

b) 岩盤強度に関する評価区分の配点検討

2章で述べたように、新評価点法は「圧縮強度」、「風化変質」、「割れ目の間隔」、「割れ目の状態」という総合的な岩盤強度に関する4項目により最高点の100点を構成し、その点数に対して、「湧水量」、「水による劣化」、「不連続面の走向・傾斜」という場の状態に対する3項目の調整点を減じる方式の切羽評価システムである。ここでは、総合的な岩盤強度に関する4つの観察項目の支保パターンに与える寄与度を定量的に評価し、それぞれの観察項目の最高点を決定する。

寄与度の検討を行うに当たり、表-4で示したデータを以下の条件をもとに選別し、分析に用いるデータを決定した。

①土被り条件による選別

坑口部等の低土被り区間の地形条件による支保選定やそのパターンと本来の支保パターンと

表-4 分析対象データの内訳 (標準パターン全データ)

支保パターン 岩石	B-a	C I-a	C II-a	C II-b	D I-a	D I-b	計	
硬質岩入塊状V	片麻岩		新中山W34 (8)	新中山E 22 (4) 新中山W48 (14)	新中山E 25 (4) 新中山W18 妙口 21 (1) 円山 11	新中山E 18 (10) 新中山W22 (3) 妙口 27 飯岡 18	187 (43) 192 (1)	
	中生層砂岩		百地E 16 円山 10 莊川 9 三尾河 10	百地E 37 則之内 2 莊川 1	莊川 101 三尾河 29	莊川 23	214 (6)	
	閃緑岩	莊川 11 (3)	莊川 30 (3)	新中山W26 (2)	新中山W31 (4) 関都東 13 軽岡 S 4 松阪 20 多気 31	新中山W12 関都東 24 (3) 軽岡 S 53 松阪 7 多気 13 上小島 60	古屋 37 (1) 関都東 7 関都西 19	695 (57)
	花崗閃緑岩	松阪 24 (17) 多気 12 (7) 軽岡 S 6	関都東 16 (1) 軽岡 S 20 松阪 18 (6) 多気 67 (8) 上小島 42 (7)	関都東 10 軽岡 S 50 古屋 17 上小島 24 多気 26 (1) 松阪 6	新中山W31 (4) 関都東 13 軽岡 S 4 松阪 20 多気 31	新中山W12 関都東 24 (3) 軽岡 S 53 松阪 7 多気 13 上小島 60	古屋 37 (1) 関都東 7 関都西 19	695 (57)
	花崗岩	軽岡 N4	莊川 10 (1) 軽岡 N14 (8)	莊川 1	莊川 6 軽岡 N17	莊川 2 軽岡 N159 三尾河 2	莊川 14	229 (9)
	石英斑岩	天山 32 (2) 莊川 6 (2)	莊川 16 (3)	莊川 7		莊川 4		65 (7)
花崗斑岩		軽岡 S 13	軽岡 S 44		軽岡 S 11		66	
	95 (31)	246 (37)	290 (11)	282 (22)	552 (8)	185 (14)	1650 (123)	
中硬質岩軟質岩入塊状V	第三紀層砂岩			新中山W28 (18)	新中山W16 (1)	関伽流山 20 代太郎 E 1 夕張 2 名川 34 (1) 八風山W50 (8) 白鳥 41 (25) 袴腰 S 14 袴腰 N16 萩尾 25 (16) 代太郎 W7 代太郎 E15 名里 10 大頭 7	67 (19) 23 (3)	
	凝灰岩	鞍手山W10 (6) ｼﾝ ㊦ N9 (4) ｼﾝ ㊦ N15 (3)	鞍手山 E 7 (7) 鞍手山 W2 関伽流山 13 (8) 袴腰 N131 (3) ｼﾝ ㊦ N31 (6) ｼﾝ ㊦ S 27 ｼﾝ ㊦ N19 (6)	鞍手山 E 81 (46) 鞍手山 W2 (1) 袴腰 S 120 (9) 袴腰 N101 (19) ｼﾝ ㊦ S 6 ｼﾝ ㊦ N2	鞍手山 E 1 (1) 白鳥 27 袴腰 S 94 (4) 袴腰 N 84 (13) ｼﾝ ㊦ S 4 萩尾 5 (2) 名里 29 (9)	名川 35 (7) 八風山 E 4 白鳥 37 (4) 名里 8 代太郎 E 30 (7) 上小島 34 鞍手山 E 14	1201 (215)	
	角礫岩		名川 20 (7) 関伽流山 2		関伽流山 76 (19)	代太郎 E 61 (24)	八風山W23 (3) 関伽流山 10 萩尾 4 代太郎 E 12 代太郎 W6 高玉東 23 上野第一 70 上野第二 52	191 (50)
	火山礫凝灰岩	鞍手山W3 (2)	高玉東 12 (4) 高玉西 1 鞍手山W58 (24)	高玉西 20 (5) 鞍手山W20 (17)	高玉東 40 (8) 高玉西 26 (7)	高玉西 6	331 (67)	
	玄武岩				白地E 2 風明山 3		2 3	
	安山岩	双海 51 (26) 八風山 E 1	高玉東 45 (32) 八風山 E 26 (10) 八風山W18 (11) 関伽流山 34 (25) 双海 104 (37)	高玉東 21 (12) 双海 7 (2)	白地E 2 風明山 3 風明山 12 (1) 高玉東 17 (2) 八風山W6 関伽流山 3 (2) 双海 91 (27) 八風山 E 9 (3)	双海 2 高玉東 2	八風山W30 (4)	479 (194)
	流紋岩	高鷲 11 (1)	高鷲 100 (51) 袴腰 N 8	高玉西 1 (1) 高鷲 59 (26) 袴腰 S 4	新中山W1 高鷲 19 袴腰 N28 高玉西 19 (6) 風明山 60	新中山E 19 (1) 高鷲 48	新中山E 13 高鷲 11	341 (86)
	變質岩	100 (42)	658 (231)	444 (138)	684 (161)	316 (44)	496 (57)	60 2698 (673)
中硬質岩入層状V	中・古生層頁岩		新境目 E 1 (1) 新境目 W2 川口 17 (9) 円山 7	太刀野W3 白地 E 5 新境目 E 56 (9) 新境目 W82 (3) 川口 1 円山 56 双海 1	太刀野W108 (8) 白地 153 白地 W94 (12) 新境目 E 43 (1) 新境目 W14 川口 19 双海 18 (6) 八堂山 6 則之内 48 (7) 円山 27	白地 W80 妙口 5 池田第一 78 (54) 白地 E 3 八堂山 33 円山 23 則之内 8 双海 5	太刀野 E 48 太刀野 W71 (1) 妙口 24 飯岡 22 八堂山 117 大頭 1	1279 (111)
	緑色片岩	中山 9 (6)	中山 48 (30)	中山 37 (5)	中山 120 (26) 永木下 4		山口 5 (12) 平野山 10 花立 23 (2) 八風山 E 28 (8) 水沢 9 高玉東 2 夕張 15 間沢 20	218 (67)
軟質岩入層状V	第三紀層泥岩		高玉西 4 (2) 八風山 E 2	高玉西 38 (9)	平野山 1 高玉西 2 北立 6 八風山 E 29 (5) 間沢 3 高玉東 1	水沢 10 高玉西 3 間沢 18	229 (38)	
	黒色片岩						山口 27	27
計	204 (79)	985 (310)	1013 (175)	1662 (248)	1134 (106)	1103 (94)	6101 (1012)	

E, W, S, Nは、それぞれ東・西・南・北側の切羽を、㊦、㊧は上下線の別を示す。
トンネル名の後ろの数字は、観察断面のデータ数を示す。

の間に設置される遷移パターン等の影響を取り除くため、中田らの論文³⁾を参考に土被り40m以上のデータのみ採用することとした。この結果、対象とする断面は4,911断面となった。

②標準偏差による選別

観察項目以外の特殊な条件等で支保が選択されている場合の影響を極力取り除くため、各岩石グループ、支保パターンのグループごとに評価区分値の総和を算出し、総和が平均値±標準偏差1σの範囲内に収まるデータを抽出し、それ以外の断面は除外した。

評価区分値の総和の分布が正規分布と仮定すれば、データの上下約15%ずつをカットすることになり、平均的な評価区分値の総和を持つ約70%のデータを用いることとなる。これにより、対象とするデータ数は3,201断面となった。

③湧水・劣化の評価による選別

湧水・劣化の評価が選択された支保パターンに与える影響を取り除くため、湧水・劣化の評価区分値が1すなわち湧水がほとんどなく、劣化もしないと判断されたデータのみを抽出し、それ以外の断面は除外した。この結果対象とするデータ数は1,012断面となる。なお、湧水・劣化の影響検討の際には、再度データを選択する。

以上のような条件のもとに最終的に抽出されたデータは49トンネル1,012断面となる。表-4中、括弧書きに採用となった個数を合せて示す。その数は、標準支保パターンの全データの約17%に相当する。対象とするデータの内訳を表中に合せて示す。同表において、支保パターンではC1-aパターン(310断面, 30.6%)が、また、岩石グループでは中硬質岩・軟質岩<塊状>(673断面, 66.5%)が最も多く占めている。中硬質岩<層状>の中・古生層頁岩については、徳島自動車道、松山自動車道のトンネルのデータが主であり、和泉層群内の砂岩・頁岩互層の地質データに限定されている。

c) 各岩石グループにおける評価配点の検討

岩石グループ2を例として、支保剛性を横軸に評価区分の分布を縦軸にとった時の、観察項目毎の評価結果の分布を図-4に示す。図中の○印の大きさおよび数字は、その点の個数の量とその個数を示している。先に述べたように、図中の横軸は、北陸方式の支保剛性で表現しているため、Bのグループ、C1-aとC11-aのグループ、C11-bのグループ、D1-aとD1-bのグループにそれぞれ対応するものの分離が明らかになる。また、図中には、分布から推定した回

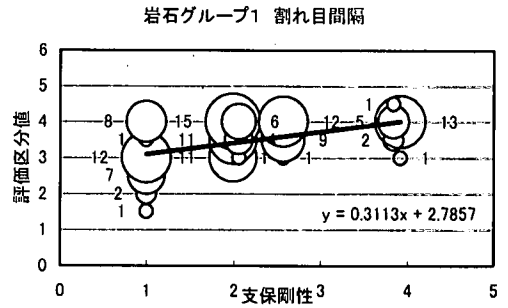


図-5 評価区分値が支保剛性に影響を受けない事例

表-5 各観察項目における最高点の配点表

		回帰直線の傾き	比率 (%)	最高点
グループ1 硬質岩 (塊状)	圧縮強度	0.752	39.68	40
	風化変質	0.345	18.20	18
	割れ目の間隔	0.311	16.41	16
	割れ目の状態	0.487	25.71	26
合計		1.895	100.00	100
グループ2 硬質岩 (塊状)	圧縮強度	1.113	31.28	31
	風化変質	0.777	21.84	22
	割れ目の間隔	0.725	20.38	20
	割れ目の状態	0.943	26.50	27
合計		3.558	100.00	100
グループ3 硬質岩 (塊状)	圧縮強度	1.427	32.37	32
	風化変質	1.149	26.07	26
	割れ目の間隔	0.603	13.68	14
	割れ目の状態	1.229	27.88	28
合計		4.408	100.00	100
グループ4 硬質岩 (塊状)	圧縮強度	1.005	37.08	37
	風化変質	0.414	15.28	15
	割れ目の間隔	0.558	20.59	21
	割れ目の状態	0.733	27.05	27
合計		2.710	100.00	100

帰直線を合せて示す。この図から明らかなように、岩石グループ2ではどの観察項目においても、それぞれの評価が低下するにつれて、施工される支保はより剛性の高いものが施工されている。すなわち、支保パターン(軽→重)を横軸に、評価程度(良→不良)を縦軸に整理すると右上がりにデータが分布している。しかし、図-5に示す岩石グループ1における「割れ目の間隔」の項目のように、支保剛性が変化しても評価区分がほぼ一定で大きく変化しない観察項目もある。従って、支保剛性が大きくなるのに対応して評価区分値が大きく変化する場合、その観察項目の影響が支保剛性に大きく寄与するもの、逆に、支保剛性が変化しても、評価区分の変化

表-6 各評価項目の配点案

評価区分		1	2	3	4	5	6
岩石グループ1	圧縮強度	40	32	24	16	8	0
	風化変質	18	12	6	0	-	-
	割れ目の間隔	16	12	8	4	0	-
	割れ目の状態	26	19	13	6	0	-
	圧縮強度	31	25	19	13	6	0
岩石グループ2	風化変質	22	15	7	0	-	-
	割れ目の間隔	20	15	10	5	0	-
	割れ目の状態	27	20	13	7	0	-
岩石グループ3	圧縮強度	32	26	19	13	6	0
	風化変質	26	17	9	0	-	-
	割れ目の間隔	14	10	7	3	0	-
	割れ目の状態	28	21	14	7	0	-
岩石グループ4	圧縮強度	37	30	22	15	7	0
	風化変質	15	10	5	0	-	-
	割れ目の間隔	21	15	10	5	0	-
	割れ目の状態	27	20	14	7	0	-

があまりない項目は、その観察項目が支保選択に大きな影響を及ぼさないものと考えられる。すなわち、回帰直線の傾きがそれぞれの観察項目に対する寄与度の大きさを示している。

従って、この回帰直線の傾きに着目し、傾きの値が大きいほど大きな評価点（最高点）を与えるように観察項目の寄与度を考案した。すなわち、観察項目における評価区分の和として切羽状態を評価することとし、各観察項目の傾きの合計が全体として100%となるような点数配分を考えた。このようにして決定した各観察項目の最高点を表-5に示す。また、表-5をもとに、各岩石グループの評価区分をほぼ等間隔で配分した配点表を表-6に示す。

表から明らかなように、いずれの岩石グループも圧縮強度が最も大きな寄与度を持ち、次に割れ目の状態が続く。硬岩に適しているとされているRMR2)に比べ、圧縮強度の寄与度が高く、割れ目の情報(割れ目の間隔、割れ目の状態)が低い傾向を示した結果となった。硬岩地山では、地山や岩片自身の強度は高いため、地山の安定性はブロックの抜け落ちの判断が重要になると考えられる。従って必要な情報としては、割れ目の間隔や割れ目の状態であり、

表-7 湧水量と劣化の評価区分による分類

全パターン 全岩種		湧水量の評価区分(加重平均値)													
劣化の評価区分	1.なし 1/2分以下	2.滴水程度 1~20%/分			3.集中湧水 20~100%/分			4.全面湧水 100%/分以上							
		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	
		2.2級 を 生 ず	1.00	1012	128	94	51	253	20	24	6	57	1		
3.軟弱化	1.25	33	115	39	17	20	19	1	5	2				2	253
	1.50	35	13	140	19	47	5	5	2	2				1	269
	1.75	36	10	16	66	26	3	8	14	3				1	163
	2.00	131	26	24	33	204	31	28	11	128	6			1	3
4.流出	2.25	2	2	3	5	3	28	6	3	12	3			13	80
	2.50	3		3	7	4	6	2	3	1				3	35
	2.75	2	5	3	4	3	4	5	2					2	28
	3.00	2	8	7	1	9			2	7				7	42
		3.25							1	1					2
		3.50													1
		3.75													1
		4.00													1
		1256	302	334	197	573	113	82	51	217	12	1	1	62	3201

- グループA …… 湧水量の評価区分が2~3で、劣化の評価区分が1~2である924断
- グループB …… 湧水量の評価区分が1~2で、劣化の評価区分が2~3である491断
- グループC …… 湧水量と劣化の評価区分がともに2~3である512断面
- グループD …… 湧水量と劣化の評価区分がともに「1」である1,012断面

それらの評価区分の寄与度が大きくなっているものと思われる。それに対して、日本でよく見られる中硬質岩~軟質岩の地山に対しては、地山や岩片の強度が地山の安定性評価や支保の選定に非常に重要な要素であり、岩片の一軸圧縮強度の寄与度が相対的に大きく評価される結果になったものと推測される。

ここで提案する新しい切羽評価手法は、国内の二車線道路トンネルの切羽観察結果を評価検討の対象データとしているため、日本の地山に適した中硬質岩から軟質岩までを対象とした切羽評価手法になったと考えられる。

d) 湧水劣化の調整点

第2章(1)でも述べたように、新しい切羽観察表における地山評価の観点は、「総合的な岩盤強度に対する評価」を行うものと「場の状態に対する評価」を行うものとに分類している。その観察項目の中で「湧水量」と「水による劣化」は、後者の評価に当たり、この評価結果については、岩盤の状況によっては支保の選定に直接影響する場合としない場合とがあると考えられる。そこで、「湧水量」と「水による劣化」の観察項目は、岩盤強度に対する評価に補正を与える(調整点により減じる方式)観察項目としての位置付けで採用されている。

一方で、「湧水量」と「水による劣化」の評価による調整点(以下、「湧水調整点」と呼ぶ)の設定に当たり、これらの評価は、岩石グループ並びに評価区分の違いにより数値化する必要がある。

そこで、同一岩石グループでありかつ同一支保パターンでの切羽評価点(=総合的岩盤強度の評価点)を、「湧水量」と「水による劣化」の評価区分値が両者とも「1」と評価された場合(=D)とそうでな

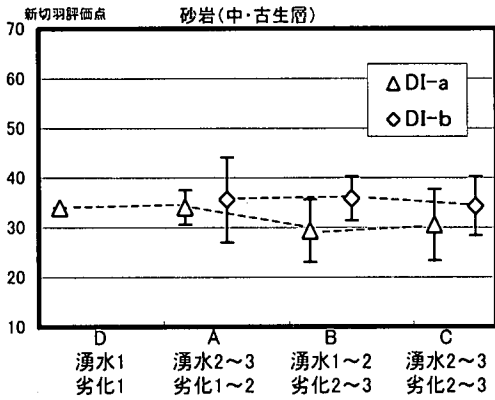


図-6a(妙口Tn)

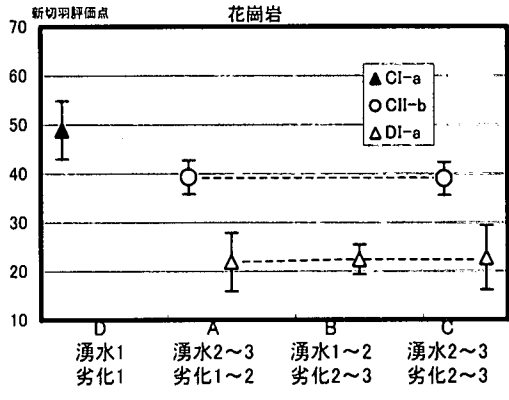


図-6b(軽岡Tn北工区)

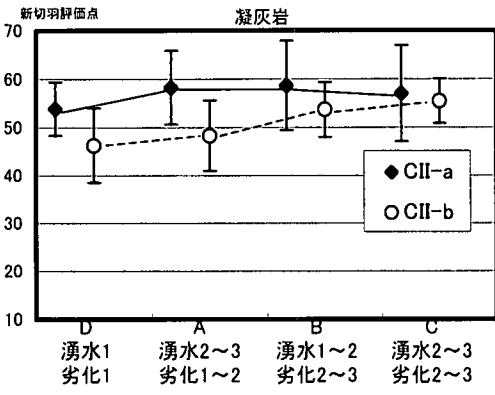


図-6c(袴腰Tn南北工区)

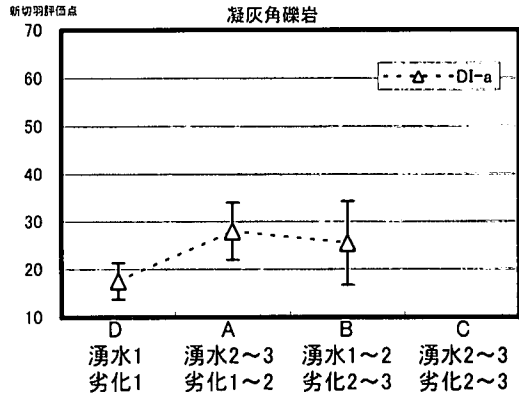


図-6d(代太郎Tn東工区)

図-6 各トンネルにおける地質毎の湧水・劣化の例

表-8 湧水・劣化の調整点

劣化	湧水	区分			
		1	2	3	4
区分	1	0	0	-5	-10
	2	0	-5	-7	-10
	3	-5	-7	-10	-15
	4	-7	-10	-15	-20

い場合(=N)に分けて考える。この場合、NとDとに違いが生じていれば、湧水・劣化により評価が異なるため、湧水調整点を割り当てる必要がある。一般に、ある支保パターンに対応する評価点を固定とした時、同じ支保が選択された切羽であれば、Nは、Dより高い点となっているはずである。すなわち、湧水調整点は、NからDを減じたものと考えればよい。逆に、両者に明確な有意差がない場合は、湧水・劣化による寄与度が小さいため、湧水調整点は必要ではない。

この考え方にに基づき、Nを次の3つのグループに細分し、グループDと比較した。
 グループA…湧水量の評価がやや悪く(2.00~3.00), 劣化の評価はあまり悪くない(1.00~2.00)グループ
 グループB…湧水量の評価はあまり悪くなく(1.00~2.00), 劣化の評価がやや悪い(2.00~3.00)グループ
 グループC…湧水量も劣化も評価がやや悪い(2.00~3.00)グループ

ここで、湧水量と水による劣化の評価区分値が1.25~1.75のデータを用いないのは、Dグループと明確な差を持ったデータと比較したいためである。さらに、両者の評価区分値が2.0であるデータを重複して使用したのは、グループ分けの際、境界上のデータを作為的にぼかしたこと並びにそれぞれのグループでデータ数を確保するためである。なお、湧水量と劣化の評価区分の値がともに「1」であるグループは、当初どおりグループDとした。また、それぞれのグループの断面数は、表-7に示すとおりで

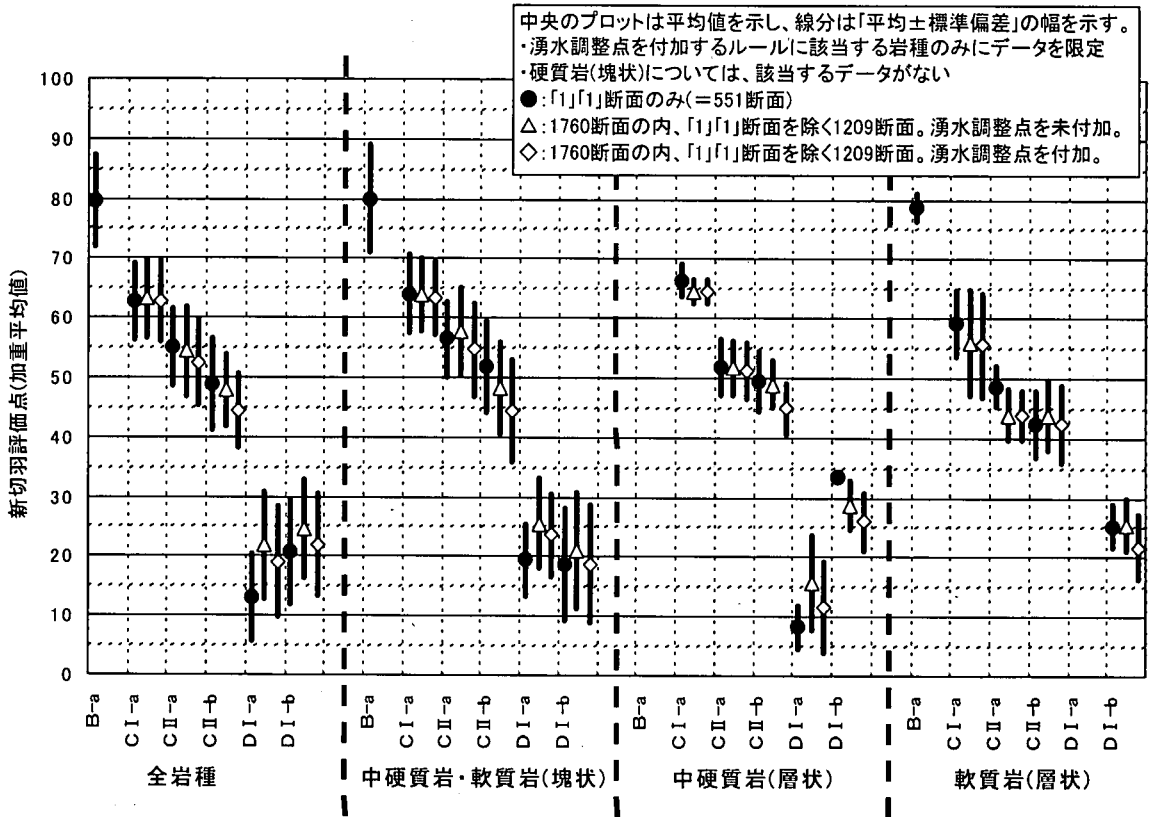


図-7 湧水劣化調整点の検討結果

ある。表中の断面数の分布に着目してみると、湧水量と劣化の評価区分(加重平均値)がそれぞれ1.00~3.00である範囲に3,122断面(97.5%)が集まっており、逆にその他の範囲、つまり湧水量や劣化の評価が特に悪かった断面はごく僅かであったと言える。特に、劣化の評価が悪かった(3.0~4.0)データは3断面と少ないことがわかる。

前述のグループA~Dを地質毎に整理した上で、個々のトンネルにおいて新切羽評価点を比較した結果の一例を図-6に示す。図では、各支保パターンにおける切羽評価点の平均値と標準偏差(±1σ)の幅を示している。図-6aの結果から、砂岩(中・古生層)では、各支保パターンの切羽評価点は、湧水量と劣化の評価区分がともに「1」である場合(グループD)と、それらの評価がやや悪くなった場合(グループA~C)との比較において、両者とも同程度の評価点となっている。また、図-6bに示す花崗岩の結果では、グループDとグループA~Cとを直接比較することは出来ないが、CIIパターンおよびDIIパターンにおいてグループA~Cはほぼ一定値を示すことから、これらの岩石は、湧水調整点を

付加しなくても切羽評価点は同程度であり、湧水や劣化の影響を受けないと判断された岩石であると言える。このような傾向は、硬質岩(塊状)(岩石グループ1)、中硬質岩(塊状)(岩石グループ2の一部)に分類される岩石グループにみられる特徴であり、これらの岩石では、湧水調整点は適用しないものとする。

逆に、図-6c,dに示す凝灰岩、凝灰角礫岩の事例では、各支保パターンの切羽評価点は、グループDと、グループA~Cとの比較において、グループA~Cの方が若干ではあるが高い評価点となる傾向を示している。つまり、これらの岩石は湧水や劣化の影響を受けると判断された岩石であると言え、グループDとの間に発生する点差(約5~10点)を湧水調整点として設定し、減じてやれば両者とも同程度の切羽評価点となる。このような傾向は、軟質岩(塊状)(岩石グループ2の一部)、中硬質岩・軟質岩(層状)(岩石グループ3および4)に分類される岩石グループに見られる共通の性質であり、これらの岩石については湧水調整点を適用するものとする。次に、「湧水量」と「水による劣化」の評価区分の違

いによる影響について、湧水調整点の配点を具体的に検討する必要がある。ここでは、表-8³⁾を用いることとし、それらを前述した湧水調整点の適用する岩石グループ(軟質岩(塊状)、中硬質岩・軟質岩(層状))のデータに代入した。その結果、表-7に比較して、検討に用いるデータ数は1760断面となった。そしてそれらのデータの中で、グループD(551断面)とグループN(1209断面)との比較をした。この結果を図-7に示す。図において、印と棒の長さは、データの平均とその標準偏差(±1σ)の幅を示す。なお、●印は、グループDの平均、△印は、グループNにおいて湧水調整点を未付加のデータの平均であり、◇印は、同グループにおいて湧水調整点を付加した結果である。

図-7において、●印と△印を比較すると明らかのように、グループDとグループNの平均値は、全岩種を対象とした場合、Cクラスまでの軽い支保の場合にはほぼ等しいが、Dクラスの支保パターンでは明らかにグループNの評価点が高くなる。これは、重い支保ほど湧水による影響が大きく、支保パターン毎に調整点を個別に設定する必要性を示唆しており、◇印も合わせて検討すると、Dクラスの支保パターンでは、表-8より更に大きな調整点が必要と考えられる。しかし、岩石グループ毎に分けて検討すると、中硬質岩・軟質岩(塊状)の岩種グループのCクラスの支保パターンでは、調整点を加えると平均値の差がさらに拡大する。従って、今後の湧水調整点の取り扱いにあたっては、今回試行した岩種による補正のみだけでなく、支保パターン毎に調整点を個別に設定するなどの調整点の補正が必要と考えられる。データの更なる蓄積を図ったうえで、今後検討していきたい。

4. 新評価点法の適用検討

表-6に示した各観察項目の配点案及び表-8に示す湧水劣化の調整点を用いて3201断面の切羽評価点を計算した。そして、各支保パターンにおける切羽評価点の平均およびその標準偏差を検討した。その結果を図-8に示す。図中ハッチ部分は、この結果に基づいて定めた理想的な支保選定の目安である。この範囲は、各支保パターンの平均点を含んで、理想的な支保パターンの点数幅を15~20点程度に設定している。この配点案と調整点を用いて、二車線道路トンネルの切羽観察結果の中からひとつのトンネルを選び、縦断面方向に切羽評価点を適用した事例を図-9に示す。なお、図で示したトンネルの事例

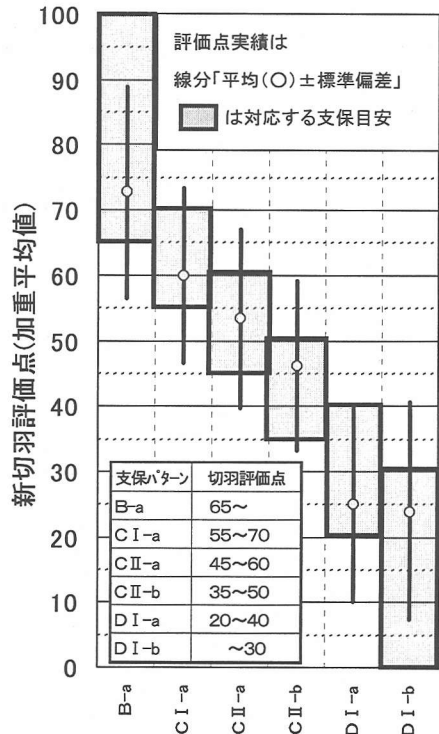


図-8 新切羽評価点法と支保選定実績の目安

は、本検討用にトンネルデータを収集した後に施工されたトンネルであり、分析用データベースとしては利用していない。図中に、施工実績の支保パターンに基づき、図-8を参考にしてそれぞれB-a: 65点~80点、C I-a: 55点~70点、C II-a: 45点~60点、C II-b: 35点~50点、D III a: 0点の切羽評価点の範囲を示している。また、土被りについても合わせて示す。

図から明らかのように、D III aで示す坑口部の支保パターンの区間においては、土被りが大きくなると同時に切羽評価点も高く、地山状態が急激に良好になっていくことが読み取れる。そして、土被りが20mを超え、評価点からはC I-aパターンが採用できる程良好な地山になっていると思われる区間に、遷移パターンとしてC II-bが採用されている。そのため切羽評価点と実施支保パターンとの間にずれが生じている。それ以降の切羽評価点は、理想的な支保選定の目安の範囲内に収まるだけでなく、支保パターンの変更うまく運動できており、地山の良悪の変化をうまく表現している。

坑口部の支保パターンであるD III aは、地山状態以外の土被りや偏圧などの要因で支保パターンが決まることを考えると、評価点が支保パターンと一致しないことは自明である。また、土被りが約20mを

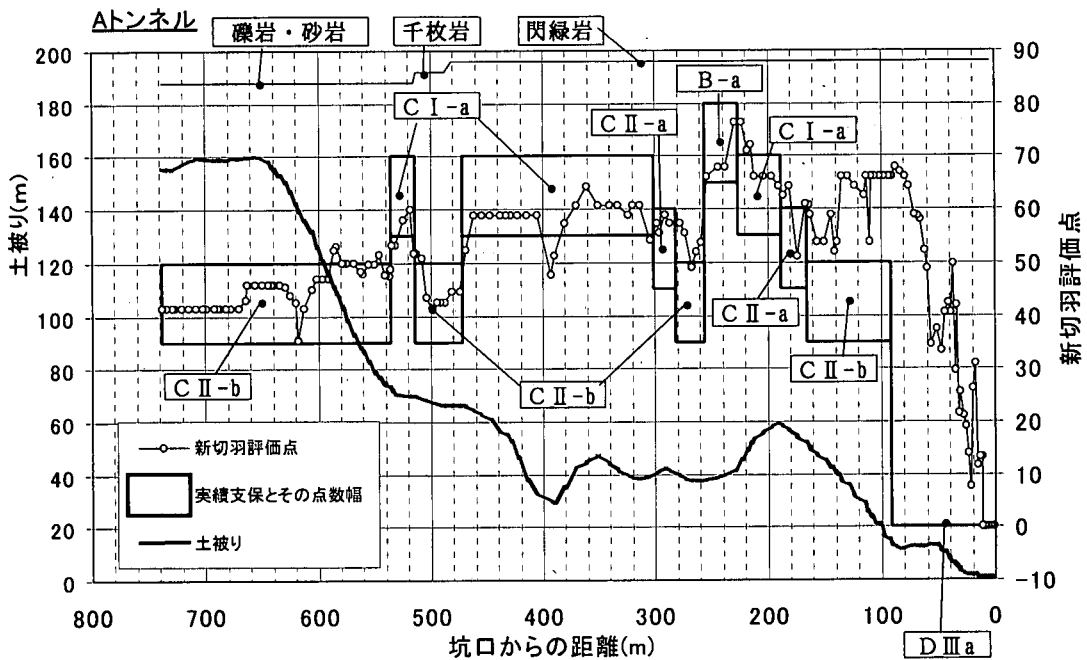


図-9 新切羽評価点法の適用事例

超える段階でC II-bに変更しているが、先にも述べたようにこの支保パターンが遷移パターンとして採用されたことを考えると、今回土被り40m未満の切羽観察データを不採用とした理由の一つが示されている。これらの考察から、新切羽評価点法は、全体として地山評価に極めて有効な方法であるといえる。

5. おわりに

新評価点法の評価結果と支保パターンとの関連を整理し、それぞれの評価区分に対してどのように重み付けをすれば選択した支保パターンと関連がとれるかについて検討した。その結果、地山状況をうまく表現できる結果が得られた。しかし、この方法は、観察者による個人差をいかに小さくし、客観的に切羽を判断し評価するかが重要である。そのため、JHでは、筆者らが中心となって、この方法の説明会および現地の切羽観察会を数年に渡って実施している。今後も、このような取り組みを行いながら、より適正な地山評価を行うことができるようにデータの蓄積に努めていきたい。

参考文献

- 1) Barton, N., F. Loset, R. Lien and J. Lunde: Application of the Q-system in design decisions concerning dimensions and appropriate support for underground installations, Int Conf. on Sub-surfaceSpace, Rockstore, Stockholm, Sub-surface Space, Vol.2, pp.553-561, 1980.
- 2) Bieniawski, Z. T.: Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, 1989.
- 3) 中田 雅博, 三谷 浩二, 八木 弘, 西 琢郎, 西村 和夫, 中川 浩二: 切羽観察の分析に基づく新しい切羽評価システムの提案, 土木学会論文集, No. 623/VI-43, pp. 131-141, 1999.
- 4) 本間 直樹, 竹田 直樹, 平野 逸雄, 亀村 勝美: 膨張性泥岩中に掘削されたトンネルの地山挙動について, 第18回土質工学研究発表会講演集, pp.1371-1374, 1985.
- 5) 鈴木 昌次, 古川 浩平, 井上 洋司, 中川 浩二: ファジィ回帰モデルに基づく岩盤分類法の提案, 土木学会論文集, No. 418/III-13, pp. 181-190, 1990.
- 6) 八木 弘, 大津 敏郎, 三谷 浩二, 吉塚 守: 新標準支保パターンの導入結果, pp.26-35, ハイウェイ技術No.9, 1997.
- 7) 今田 徹: NATM20年 我々は何を学んだか, pp.26-35, ハイウェイ技術No.9, 1997.

- 8) 鈴木 昌次, 古川 浩平, 井上 洋司, 中川 浩二: アンケートに基づくトンネル施工時の岩盤分類に関する研究, 土木学会論文集, No. 435/VI-15, pp. 51-60, 1991.
- 9) 赤木 渉, 西 琢郎, 進士 正人, 佐野 理, 中川 浩二: アンケートによる技術者の支保剛性に対する評価について, 第10回トンネル工学研究発表会, pp. 145-148, 2000.
- 10) 財) 高速道路技術センター: 北陸自動車道上越~朝日間総合検討(昭和62年度)第三紀層泥岩地帯におけるNATMの計測管理検討委員会報告書(総括), pp. 115, 1988.
- 11) 今田 徹: NATMの支保理論, pp. 14-16, NATMの理論と実際, 土木工学社, 1983.
- 12) 赤木 渉, 三谷 浩二, 吉塚 守: 支保耐力を考慮した新しい切羽評価点法の検討, 土木学会第53回年次学術講演会, III-B78, 156-157, 1998.
- 13) 櫻井 春輔 編: 都市トンネルの実際, pp. 132-133, 鹿島出版会.
- 14) 日本道路公団: 設計要領第3集(1)トンネル本体工(建設編), pp. 74-77, 1997.

(2000. 8. 25 受付)

A NEW ROCK MASS CLASSIFICATION METHOD AT TUNNEL FACE FOR TUNNEL SUPPORT SYSTEM

Wataru AKAGI, Aya SANO, Masato SHINJI, Takuro NISHI and Koji NAKAGAWA

It will be very important for taking measures of tunnel support in either rational or economical way to know either strength or deformability of rock mass at the tunnel face quantitatively. In the paper, the authors propose a new rock mass classification method based on observational results obtained at the tunnel face, which will enable to know appropriate amount of support measure. The study is confirmed by the database consisting of 6,101 sections of tunnels constructed by Japan Highway Public Corporation. The paper additionally discusses the contribution of rock condition against the mechanical rock properties and ground water inflow. An application of the method to the real tunnel construction is also illustrated and the results of application become agreeable reasonably.