

## トンネル支保の適正化に関する取り組み - 代太郎トンネル東工事の計測結果を通して -

成瀬 哲哉\* 沖田 徳\*  
青木 英一\* 武内 秀木\*\*  
渡邊 伸弘\*\*

### 要 旨

日本道路公団九州支社発注の大分自動車道代太郎トンネル東工事では、これまで採用されてきた標準支保パターンを細分化した暫定支保パターンを設定し、切羽観察および計測結果に基づいて支保パターンを適用することで、支保の適正化を試行した。その結果、各種計測値や地質状況、トンネルの長期安定性などから総合的に判断すると、当トンネルにおける適用支保パターンはほぼ妥当であったことが確認された。また、新切羽評価点に関しては、岩質変化が乏しかったことから比較的狭い範囲での変動にとどまり、支保変更の指標として適切かどうかを評価することは困難であった。しかしながら、当該地質条件下における実績データの蓄積、および新切羽評価点と実施支保パターンとの大まかな対応付けをすることができた。

### 1. まえがき

山岳トンネル工法では、施工中に実施する切羽観察や各種計測によって当初設計を見直し、合理的な設計を実現することを基本理念の一つとしている。しかしながら、切羽観察および計測結果に基づいた最適支保の選定は、これまで支保変更の基準や、観察・計測結果の評価法が必ずしも明確でなかったこと等が要因となり、十分に行われていなかった。日本道路公団（以降「JH」と記述）試験研究所では合理的な設計を実現することを目的に「新標準支保パターン」ならびに「新切羽評価点評価法」（以降「新切羽評価点法」と記述）を設定し、平成8年11月より全国の2車線トンネルを対象として試験導入<sup>1)</sup>を図っている。今回、本工事においても新手法に基づいた施工管理が試行的に実施され、施工当初から新切羽評価点ならびに各計測データを蓄積していった。

本報告は、切羽位置300m時点において設定した暫定支保パターンの設定方法と、それ以降に実施した支保パターンの妥当性および新切羽評価点法の適用性に関する検討についてまとめたものである。

### 2. 暫定支保パターンの設定と適用手順

暫定支保パターンの適用に関して、下記の手順を提案した。

当初設計の支保パターンで施工を行い、この間に新切羽評価点法で地山を評価する。各計測結果や施工経験を蓄積することによって地山の特性を把握する。

標準支保パターンを基準として、内圧量によって暫定支保パターンを設定し、新切羽評価点と暫定支保パターンの対応を付ける。

新切羽評価点に基づき、暫定支保パターンを適用する。

同時に、各種計測を利用してその適用性を確かめる。観察、計測の結果、必要ならば暫定支保パターンの変更を行い、地山特性に合致した支保パターンに徐々に改善していく。

暫定支保パターンは、ラブセビッツ - 岡の方法により算定した内圧量と、各支保部材の特性を考慮して設定した。図 - 1 に支保適正化に関する適用手順フローを、表 - 1 に提案した暫定支保パターンと内圧量の関係を示す。

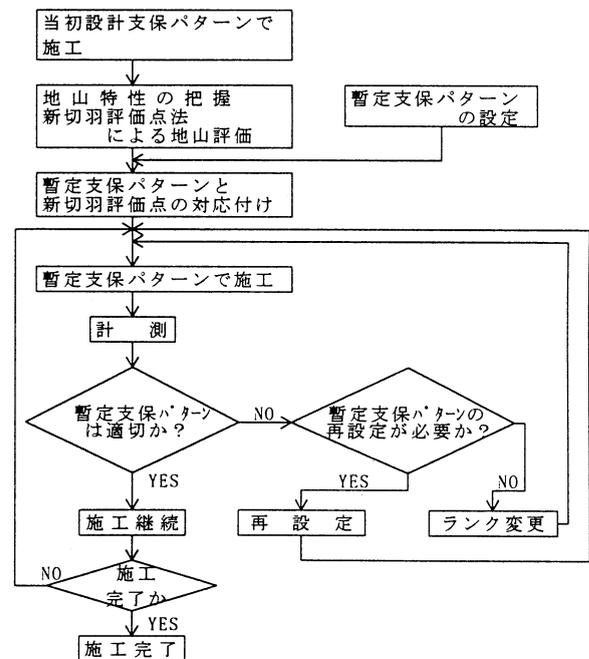


図 - 1 トンネル支保の適正化 適用手順

\*九州支店 \*\*技術研究所

表 - 1 支保パターンと内圧

地山等級	掘進長 (m)	ロックボルト (m)			吹付け厚 (cm)	鋼製支保				内圧 (kN/m <sup>2</sup> )	実施支保パターン	
		長さ	周方向	軸方向		上半部	SC	SS	RB			計
CII	1.2	3.0	1.5	1.2	10	H-125	20	30	30	80		
↑	1.2	3.0	1.5	1.2	10	H-125	20	60	30	110		
↑	1.2	3.0	1.2	1.2	15	H-125	20	60	40	120	DI-aL	
↑	1.0	3.0	1.2	1.0	15	H-125	20	80	40	140	DI-a	
DI	1.0	4.0	1.2	1.0	15	H-125	20	80	60	160	DI-b	
↓	1.0	4.0	1.2	1.0	15	H-150	20	100	60	180		
↓	1.0	4.0	1.0	1.0	20	H-150	30	100	70	200		
DIII	1.0	4.0	1.2	1.0	25	H-200	40	150	80	250	DIII-a	

SC:吹付けコンクリート  
SS:鋼製支保工  
RB:ロックボルト

図 - 2 に当該区間で実施した D -a、DI -b、DI -a の支保パターン図を示す。

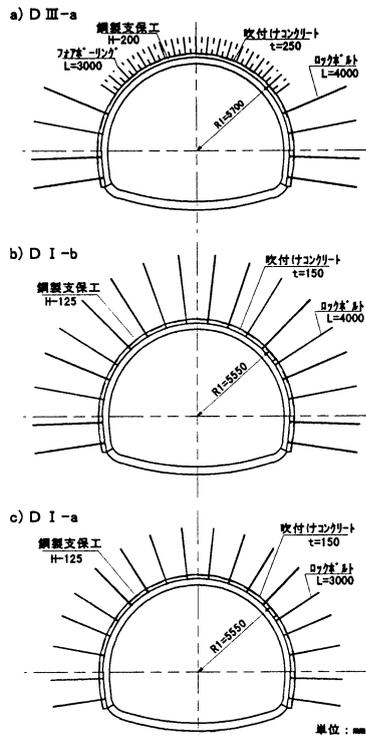


図 - 2 支保パターン図

3. 地山評価点と暫定支保パターンの対応付け

3.1 坑口から 300m までの地質概要

地山特性を把握するために坑口から 300m までの各種計測データの集積と検討を行った。実施区間の地質は新第三紀以降の堆積岩(湖成層)と火山岩類から構成され、主な岩質は凝灰角礫岩、シルト質凝灰岩であった。湧水については、坑口から約 60m、220m 付近において 50 l/min 程度見られた。

3.2 計測管理基準値

本工事で設定した各種計測の管理基準値を表 - 2、3 に示す。実施支保パターンの D -a、D -b、D -aL は表 - 2 中の D に含まれる。変位計測の管理基準値は、直接ひずみ制御法<sup>2)</sup>を用いて設定した。計測管理値となる管理レベル、は、それぞれ岩石の限界ひずみ量から算出される限界変位量の 50、75、100% 相当とした。また、各支保部材の応力または耐力の管理基準値は、JH 試験研究所資料「支保規模判定について」を参考に設定した。管理基準に従って地山や支保の状態を評価することによって、施工の安全性と設計の妥当性を検討した。

表 - 2 変位計測の管理基準

支保パターン	天端沈下			内空変位水平			内空変位斜		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
DIII-a	15	22	29	29	44	58	18	26	35
DI	12	17	23	23	35	46	—	—	—
DI-L	16	24	32	32	48	64	—	—	—

単位: mm

表 - 3 支保部材の管理基準

管理対象	単位	判定		
		過大	適	過小
吹付けコンクリート 圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>	7未満	7.0~13.8	13.8超
吹付けコンクリート 引張応力	N/mm <sup>2</sup>	0.3未満	0.3~1.2	1.2超
ロックボルト 軸力	kN	120未満	120~180	180超
鋼製支保工 曲げ圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>	70未満	70~210	210超

3.3 各種計測結果

図 - 3 は、管理基準値の注意レベル の値を 1.0 とした時の収束時の各計測結果を示したものである。表 - 3 に示した支保応力の管理基準「過大、適、過小」は、変位計測における注意レベル、にそれぞれ相当する。天端沈下、内空変位に関しては、全ての測点において注意レベル を下回っており、管理基準値に対して余裕がある。しかし、鋼製支保工、吹付けコンクリートの発生応力から判断すると、天端沈下、内空変位ほどの余

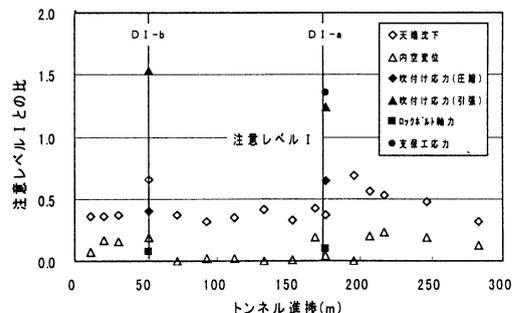


図 - 3 各計測値 - 許容値比

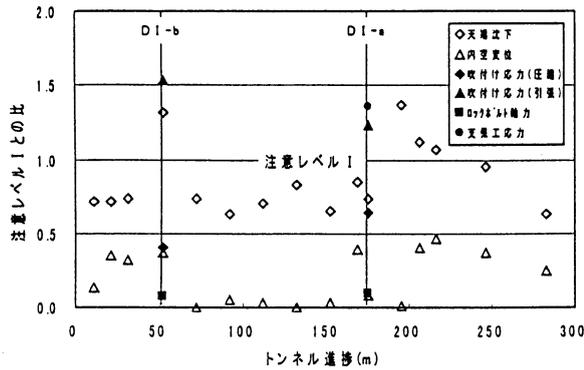


図 - 4 各計測値 - 許容値比 (管理基準見直し後)

裕はない。中でも D I -a の鋼製支保工応力は注意レベルを上回って "適" の範囲にあり、適切な支保と判断できる。このことは、日常的な計測項目である天端沈下、内空変位計測によって各支保工応力の管理が十分にできていないことを示している。すなわち、天端沈下と内空変位の管理基準値が過大であり、変位計測によって得られる注意レベルは、支保応力状態に対しては危険側にあると推察されるので、管理基準値の見直しを行った。管理基準値の見直しは、注意レベル と の境界値をそれまでの半分の値 (限界変位量の 25%) とした。図 - 4 は天端沈下と内空変位の管理基準値を見直した後の図であり、管理基準の見直しにより変位と支保応力の注意レベルがほぼ対応するような分布状態になった。

3.4 地山評価法の本トンネルへの適用性

中間検討では、本トンネルの地山特性を最もよく表す地山評価法を選定するために、RSR法<sup>3)</sup>、RMR法<sup>3)</sup>、JH新切羽評価点法<sup>4)</sup>、JH新切羽評価点法、JH新切羽評価点法(湧水を考慮しない)の5種類について検討した。なお、Q値による評価は、当地山のように全体に軟質で地山の挙動に対して亀裂が支配的でない場合には不適であるため除外した。JH新切羽評価点は表 - 4 に示した観察表を用いて各観察項目を評価し、次式と表 - 5、6 の岩種別の重み、湧水による調整点等によって算出した。

$$\text{新切羽評価点} = 100 \cdot \left[ \frac{Pa \times (A-1) \times 100/5 + Pb \times (B-1) \times 100/3 + Pc \times (C-1) \times 100/4 + Pd \times (D-1) \times 100/4 + Pe \times (E-1) \times 100/6}{Pa+Pb+Pc+Pd+Pe} \right] - \text{湧水による調整点}$$

(各評価点項目)

- A: 圧縮強度、B: 風化変質、C: 割目間隔、水による劣化
- D: 割目状態、E: 土被り高、F: 湧水

図 - 5 は、トンネル位置での各種地山評価点を示したものである。図中にトンネル位置に対応した適用支保パ

表 - 4 切羽観察項目と評価区分

パラメータ	評価区分						
A. 圧縮強度 (kaf/cm)	ド(ノット)強度	1) 40以上	2) 40~20	3) 20~10	4) 10以下	5) 100~30	6) 30以下
	一軸圧縮強度	1) 1,000以上	2) 1,000~500	3) 500~250	4) 250~100	5) 100~50	6) 50以下
	強度の目安	1) ベネー強打で跳返る	2) 強打で割目から剥脱する	3) 打撃で割目から剥脱する	4) 軽打で割目から剥脱する	5) 軽打で砕先が喰込む	6) ベネーの刃先が喰込む
評価点	1	2	3	4	5	6	
B. 風化変質	風化変質の目安	なし 岩盤は健全	割目に沿って変色 強度やや低下	全体に変色 強度相当に低下	土砂状、粘土状、礫状	当初より未固結	
	評価点	1	2	3	4		
C. 割目間隔	間隔dの目安	d ≥ 1m	1m > d ≥ 50cm	50cm > d ≥ 20cm	20cm > d ≥ 5cm	5cm > d	
	評価点	1	2	3	4	5	
D. 割目状態	割目状態	密着している	部分的に開口	部分的に開口	15開口幅<5mm	5mm<開口幅	
	割目面の目安	割目面は新鮮	開口幅<1mm 弱い	開口幅<5mm 弱風化肌面	断面粘土<5mm	5mm<断面粘土	表層粘土
	評価点	1	2	3	4	5	
E. 土被り高	高さHの目安	H ≥ 250m	250 > H ≥ 150m	150 > H ≥ 100m	100 > H ≥ 60m	60 > H ≥ 40m	40 > H ≥ 20m
	評価点	1	2	3	4	5	6
F. 湧水	状態	なし、滲水程度	湧水程度	集中湧水	全面湧水		
	評価点	1	2	3	4		
G. 劣化	水による劣化	なし	あり・緩みを生ず	あり・軟弱化	あり・剥離流出		
	評価点	1	2	3	4		

表 - 5 新切羽評価点の観察項目と重み

岩種グループ	重み					代表的岩石名
	Pa 圧縮強度	Pb 風化変質	Pc 割目間隔	Pd 割目状態	Pe 土被り高	
1. 硬質岩塊状	1.0	0.5	3.5	1.0	1.0	中生層砂岩、花崗岩
2. 中硬質岩塊状	2.5	0.5	0.5	1.0	1.0	凝灰岩、流紋岩
3. 中硬質岩層状	2.5	1.0	0.5	0.5	1.0	粘板岩
4. 軟質岩層状	1.5	2.0	1.0	0.5	1.0	黒色片岩、泥岩頁岩

表 - 6 湧水に関する調整点

湧水状態による調整	F. 湧水量	なし・にじみ程度	滴水程度	集中湧水	全面湧水
評価点	水による劣化なし	0	0	-5	-10
	水による劣化あり	0	-5	-15	-20

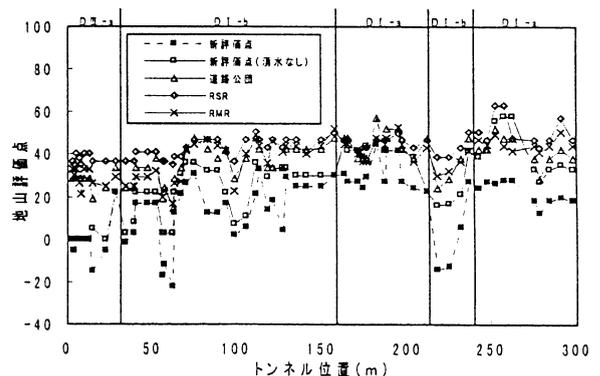


図 - 5 支保パターン別評価点分布図

ターンを併記した。全体的な傾向としては、他評価点と比較して新評価点だけが同一支保パターンの中でもバラツキが大きい傾向が窺えるが、新評価点でも湧水を考慮しない場合はバラツキが小さい。ここでバラツキが大き

ということ、支保パターンを決定する評価点の幅が広いことを示している。これは必ずしも支保パターンを特定できる確率が小さいことを示しているわけではない。例えば、平均値が互いに離れていればバラツキ(標準偏差:  $\sigma$ )が大きくても支保パターンを決定する確率が下がるとは限らない。

次に表 - 7 は、これらの評価点が平均値( $\mu$ )の周りに正規分布すると仮定し、各支保パターン別に当該支保パターンに入る確率が95%( $\mu \pm 2\sigma$ )の範囲を示したものである。表 - 7 から、DIII-aとDI-aはどの評価点もほぼ区分できているが、DIII-aとDI-bはどの評価点でも

表 - 7 支保パターンと評価点の関係

	RSR			RMR			道路公団			新評価点法		新評価点法 (湧水なし)			
	$-2\sigma, \mu, +2\sigma$														
DIII-a 重なり①	34	38	42	20	28	36	20	27	35	-18	1	20	(-12)	5	21
DI-b 重なり②	33	44	56	19	38	57	19	38	56	-17	14	45	2	28	53
DI-a 重なり③	37	47	58	35	44	53	29	43	57	9	27	44	22	40	58

①: DIII-aとDI-bの重なりを示す  $\mu$ : 平均値  
 ②: DI-bとDI-aの重なりを示す  $\sigma$ : 標準偏差  
 ③: DI-aとDIII-aの重なりを示す

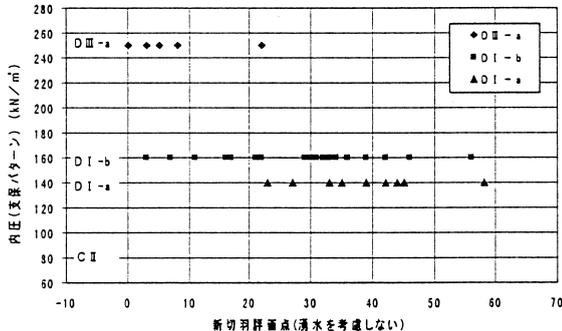


図 - 6 新切羽評価点法(湧水を考慮しない)と支保パターンの関係(実施)

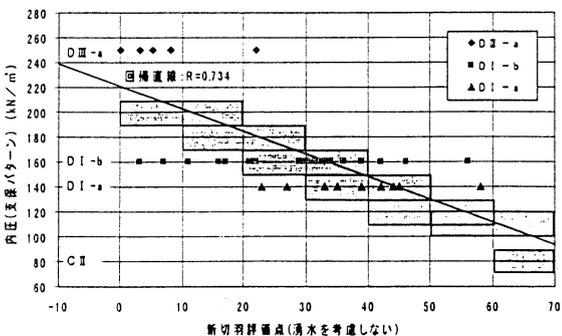


図 - 7 新切羽評価点法(湧水を考慮しない)と支保パターンの関係(提案)

区分できているとは言えない。しかし、その中では新評価点(湧水を考慮しない)は区分が比較的明確であると考えられる。

### 3.5 地山評価点と暫定支保パターンの対応

図 - 6 は、最もよく実施支保パターンを区別できていた新切羽評価点法(湧水を考慮しない)と支保パターン(内圧換算)の関係を示したものである。暫定支保パターンの内圧量については表 - 1 に示したとおりである。DI-bとDI-aの95%( $\mu \pm 2\sigma$ )確率の範囲の場合、表 - 7 に示したとおり55%が重なり、どちらの支保パターンを適用するか迷うところである。そこで、これまでのデータから68%( $\mu \pm 1\sigma$ )確率の範囲で切羽評価点と支保パターンの関係を図 - 7 のように設定した。

## 4. 施工完了時での評価

### 4.1 計測概要

中間検討結果をもとに、暫定支保パターンを適用し、同時に切羽観察調査結果および各種計測結果などの実績データを蓄積した。施工開始から完了までを通じて集積した実績データは以下のとおりである。

切羽観察調査結果(新切羽評価点、新切羽評価点(湧水を考慮しない)) 235断面  
 計測工A(天端沈下、内空変位)計測結果 50断面  
 計測工B(鋼製支保工応力、吹付け応力、地中変位、ロックボルト軸力) 5断面

また、計測工Bについては、坑口部のDIII-aを除く各支保パターンで少なくとも1回実施し、当初設計にはなかった鋼製支保工応力測定を4箇所で行った。

以上の実績データから本トンネル工事における暫定支保パターンの適用性および実施支保パターンの妥当性について検討した。

### 4.2 適用区間の地質概要

当工事の全線にわたる地質概要を支保パターン別に以下に示す。

#### 4.2.1 DIII-a区間

崖錐堆積物や粘土状の凝灰岩が見られ、風化傾向が強く天端等より大きな剥落が見られた。また、切羽中央部には比較的堅牢な凝灰角礫岩が見られたが、小さな割目等が多く、岩塊の脱落が見られた。湧水は雨水がほとんどであり、切羽面で湧水による劣化等は見られなかった。

#### 4.2.2 DI-b区間

切羽の進行に伴い、凝灰角礫岩からシルト質凝灰岩に移行していった。シルト質凝灰岩は岩検ハンマーの軽打で脆く砕け、部分的に風化変色した箇所は手で砕ける程度であった。また、比較的大きな岩塊の脱落も見られた。湧水は、天端付近より集中湧水(40ℓ/min)が見られた箇所

もあったが2日程度で減少し、その他には切羽における湧水の影響は観測されなかった。

4.2.3 D - a 区間

主な岩質として凝灰角礫岩、およびシルト質凝灰岩が見られた。凝灰角礫岩は風化傾向が強く、割目より湧水が見られた。シルト質凝灰岩は、掘削直後は亀裂の発達などは見られず比較的健全であるが、時間の経過とともに劣化を生じ、薄片での剥離、剥落が見られた。湧水は切羽において最大で120ℓ/min程度が見られたが、1日で50ℓ/minまで減少した。突発的な湧水はその後数回観測されたが、比較的早期に減少し、地山の緩みもほとんど見られなかった。

4.2.4 DI - aL 区間

岩質はDI - a区間と差異はないが、風化傾向が少なく、湧水も観測されなかった。

4.2.5 DI - L 区間

凝灰角礫岩と軽石凝灰岩が見られた。特に凝灰角礫岩は風化礫層から構成されていたため、ロックボルト孔が孔荒れを起こし、自穿孔ボルトの使用を余儀なくされた。また、湧水はほとんど観測されなかった。

4.3 本地山における新切羽評価点

図 - 8は両新切羽評価点の推移状況を示したものである。この中で、両評価点の差が大きくなっている箇所は、集中湧水や湧水による劣化が見られる箇所である。切羽から300m程度までは両評価点とも大きな変動が見られるが、400mを過ぎた辺りから一時的に湧水状況が変化する箇所を除いて20～30点の狭い変動幅で推移するようになった。これは湧水を除いて地山状況に大きな変化が見られなかったことを示している。また、坑口から900～1100m付近で集中湧水が何度か確認されているが、この区間で湧水状況を判断基準にD - aとD - aLとの間で変更が数回行われている。

図 - 9、10には両評価点の支保パターン毎の度数分布

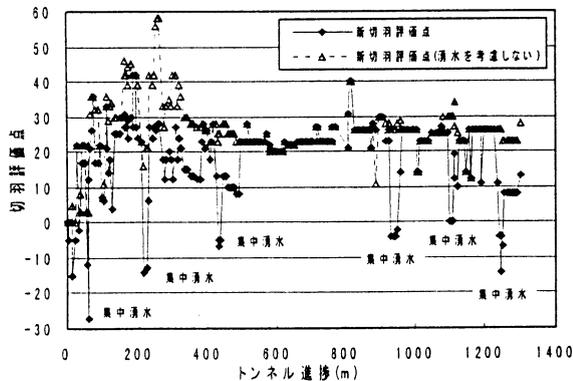


図 - 8 両評価点の推移

布図を示す。通常の新切羽評価点では10～30点の間に約75%、新切羽評価点(湧水を考慮しない)で20～40点の間に約80%の断面が集中しており、当該地山は地山状況の変化が非常に少なかったことがうかがえる。

4.4 各種計測結果

図 - 11は、管理レベル と の境界値(支保計測では”過大”と”適”の境界値)を1.0とし、各計測結果を示したものである。図より計測値は概ね注意レベル以下の範囲であるが、D - b、D - a、D - Lパターンで鋼製支保工応力や吹付けコンクリート引張応力に1.0を超える値が認められる。表 - 8、9は各測点毎の鋼製

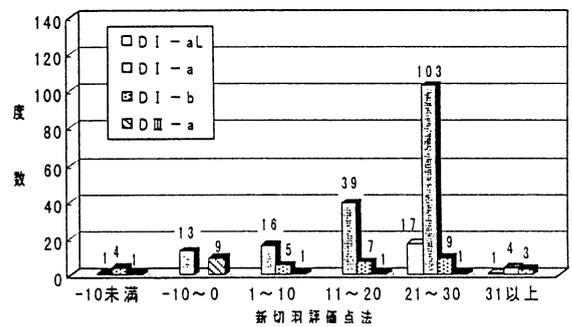


図 - 9 新切羽評価点の度数分布

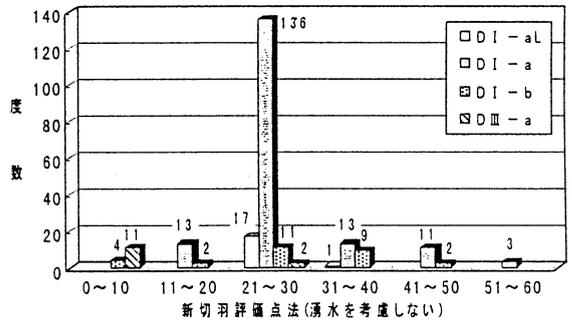


図 - 10 新切羽評価点(湧水を考慮しない)の度数分布

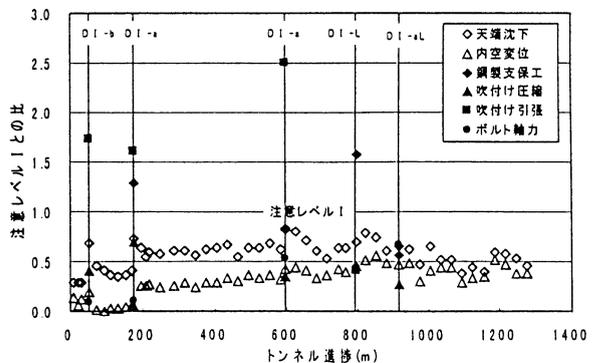


図 - 11 各計測値と管理レベル の値に対する比

支保工と吹付けコンクリートの応力値である。鋼製支保工では、D-aパターン(STA146+85.0)の天端部で90N/mm<sup>2</sup>、D-Lパターン(STA140+64.5)の上半右脚部で110N/mm<sup>2</sup>程度の応力が発生している。これらの値は判定基準における、“適”の範囲である。また、“適”と“過小”の境界値210N/mm<sup>2</sup>までは余裕があって鋼材の弾性範囲内にあり、安全性に対して特に問題はないと判断できる。吹付けコンクリートに関しては、圧縮応力では最大でD-aパターン(STA146+85.0)天端部の5N/mm<sup>2</sup>程度が見られる。引張応力ではD-b、D-aで0.5~0.8N/mm<sup>2</sup>の応力が見られ、判定基準の“適”の範囲である。その境界値1.2N/mm<sup>2</sup>の2/3程度の応力が認められるが、吹付けコンクリートにクラックや剥落等の現象は見られず、安全性については特に問題ないと判断できる。ロックボルト軸力では1.0に達するものは見られない。軸力の大きさに着目すると最大でも80kN程度しか発生しておらず、判定基準によると全てが“過大”に相当した。また、図-13は計測工Bを実施した断面における各変位計測と支保応力計測の管理レベルに対する比をプロットしたものである。図の直線上にプロットされている点は、変位と支保応力の管理レベルに対する安全率が同一で

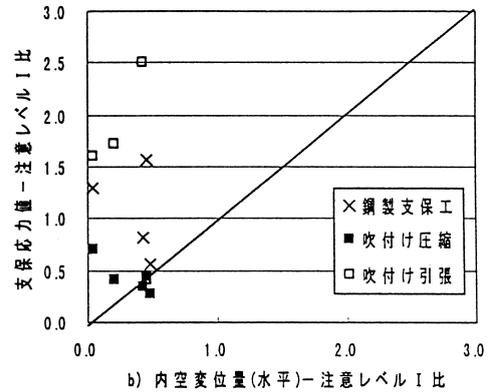
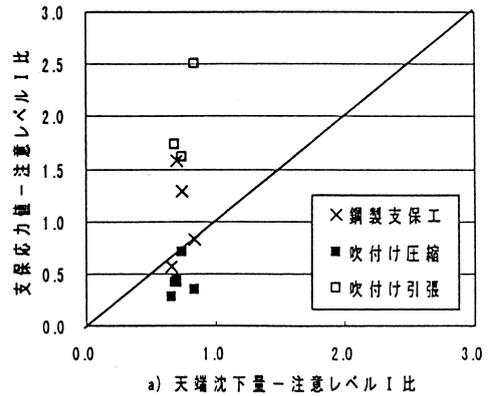


図-13 変位計測値と支保応力値

表-8 鋼製支保工応力測定結果

測点 (支保パターン)		S4	S2	S1	S3	S5
		下半左脚部	上半左脚部	天端部	上半右脚部	下半右脚部
STA146+85.0 DI-a	上縁	5.4	26.7	85.8	7.7	2.9
	下縁	3.1	40.9	90.1	17.6	17.4
STA142+65.4 DI-a	上縁	11.0	49.3	40.9	18.4	27.1
	下縁	28.5	52.2	57.8	46.3	16.4
STA140+64.5 DI-L	上縁	8.9	48.2	83.5	96.0	6.9
	下縁	12.8	7.6	26.5	109.9	20.1
STA139+43.3 DI-aL	上縁	2.6	39.4	31.8	-17.9	21.3
	下縁	6.4	-9.4	22.3	33.5	-0.5

網掛け部は判定基準の“適”の範囲 単位：N/mm<sup>2</sup>、+：圧縮

表-9 鋼製支保工応力測定結果

測点	支保パターン	F4	F2	F1	F3	F5
		下半左脚部	上半左脚部	天端部	上半右脚部	下半右脚部
STA148+8.0	DI-b	-0.24	0.88	2.88	0.85	-0.52
STA146+85.0	DI-a	-0.48	0.06	4.88	-0.38	-0.25
STA142+65.4	DI-a	-0.21	1.19	2.42	-0.75	1.05
STA140+64.5	DI-L	-0.13	0.53	1.08	3.16	0.46
STA139+43.3	DI-aL	1.29	1.71	1.96	1.39	1.06

網掛け部は判定基準の“適”の範囲 単位：N/mm<sup>2</sup>、+：圧縮

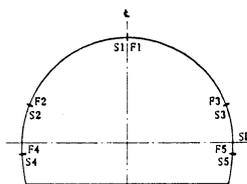


図-12 支保応力計測位置

あることを示している。図より支保応力の注意レベルが変位計測の注意レベルを上回っているケースが多く見られた。これは日常管理項目である変位計測結果に支保の状態が反映されておらず、変位計測では支保の妥当性の判断が難しいことを示している。

4.5 実施支保パターンの妥当性

表-8、9よりD-aLパターンでは支保応力計測で注意レベル値に達しているものは見られず、管理基準によると“過大”と判定される。表-10は山岳トンネルの支保設計の増減に対する修正の考え方<sup>5)</sup>を表したものである。本トンネルにおいては、現象面では表に示された「設計を軽減する必要がある場合」に該当しているが、一方で検討事項である湧水は多いというような状況が頻繁に起こり、支保軽減の決定の判断は容易ではなかった。また、当該地山は凝灰岩類を主体とする地質条件であったが、地質が第三紀泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の粘性土岩の場合、トンネルの長期耐久性の評価に関し慎重な対応が必要であるとされている<sup>5)</sup>。図-14は上記のような地質条件下で施工時の変位も小さく、長期安定性も問題なしとしてインバートを省略したトンネルにおいて、供用後に変状が確認された事例を地山強度比との

表 - 1 0 設計の修正の考え方

	現象	検討事項	修正方法
設計を軽減する必要がある場合	変位量が小さい ロックボルトの軸力が小さい 吹付コンクリートの応力が小さくかつ変状が少ない 切羽が安定している	節理の発達程度 湧水の多少 地山強度比	支保構造の軽減 一掘進長の延伸 断面分割の変更 変形余裕量の減
設計を増強する必要がある場合	変位量が多い 吹付けコンクリートに変状がある。 ロックボルトに過大な軸力が作用している。 鋼アーチ支保工に変状がある 切羽が安定しない	初期変位速度 変位の収束性 地山の応力・歪状態 ゆるみ領域の大きさ 地山強度比 切羽の自立性 湧水の多少	支保構造の増加 切羽付近の補強（フォアパイリング、切羽吹付け等） 断面の早期閉合 断面分割の変更 掘削断面の変更（インパートの曲率を大きくする等） 変形余裕量の増

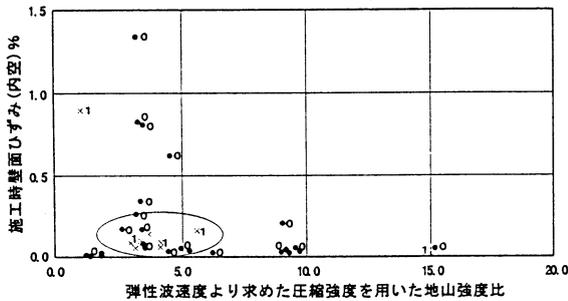


図 - 1 4 地山強度比と変状の有無（一部加筆）

関係を示したものである。図中の番号1(x印)が供用後に変状が確認されたものであり、地山強度比が5以下の時に集中している。本トンネルにおいては、一般部のほとんど全線で地山強度比が3以下であることから、トンネルの長期安定性を考慮した上で実施支保を評価しなければならない。これまでに述べてきたように支保部材によっては計測結果と管理基準からは”過大”と判定されるものもある。しかし、支保工応力計測結果、切羽における湧水状況、当該地質を考慮した上でのトンネルの長期安定性を加味すると、それぞれの適用支保パターンは妥当であると考えられる。

4.6 新切羽評価点の支保設計指標としての妥当性

ここでは、試行的に導入された新切羽評価点法と、中間検討では最も適用性があったと思われる新切羽評価点法（湧水を考慮しない）の2手法が、本トンネルにおける条件下で、どの程度支保変更に対して有効な指標となり得たかを検討した。図 - 1 5に両評価点の各支保パターン毎の平均点と標準偏差の幅を、表 - 1 1に両評価点の支保パターン毎の基本統計量を示す。両評価点とも

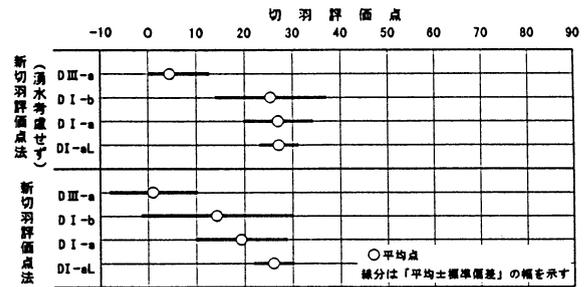


図 - 1 5 切羽評価点の支保パターン別分布状況

表 - 1 1 両評価点の支保パターン毎基本統計量

新切羽評価点法(湧水考慮せず)				
DIII-a	DI-b	DI-a	DI-aL	
平均 4.62	平均 25.46	平均 26.90	平均 27.00	
標準偏差 2.25	標準偏差 2.70	標準偏差 0.55	標準偏差 0.98	
中央値 (ジ7) 0.00	中央値 (ジ7) 30.00	中央値 (ジ7) 26.00	中央値 (ジ7) 25.50	
最頻値 (ε-D) 0.00	最頻値 (ε-D) 22.00	最頻値 (ε-D) 23.00	最頻値 (ε-D) 25.00	
標準偏差 8.11	標準偏差 11.65	標準偏差 7.29	標準偏差 4.14	
分散 65.76	分散 135.31	分散 53.11	分散 17.18	
尖度 2.02	尖度 -0.25	尖度 4.66	尖度 4.91	
歪度 1.80	歪度 -0.64	歪度 1.71	歪度 1.87	
範囲 22.00	範囲 43.00	範囲 47.00	範囲 17.00	
最小 0.00	最小 3.00	最小 11.00	最小 23.00	
最大 22.00	最大 46.00	最大 58.00	最大 40.00	
合計 60.00	合計 713.00	合計 4724.00	合計 486.00	
標本数 13.00	標本数 28.00	標本数 176.00	標本数 18.00	
最大値 (I) 22.00	最大値 (I) 46.00	最大値 (I) 58.00	最大値 (I) 40.00	
最小値 (I) 0.00	最小値 (I) 3.00	最小値 (I) 11.00	最小値 (I) 23.00	
信頼区間 95.0%	4.90	4.52	1.08	2.06

新切羽評価点法				
DIII-a	DI-b	DI-a	DI-aL	
平均 1.15	平均 14.07	平均 19.17	平均 25.89	
標準偏差 2.59	標準偏差 2.94	標準偏差 0.72	標準偏差 0.97	
中央値 (ジ7) 0.00	中央値 (ジ7) 17.00	中央値 (ジ7) 23.00	中央値 (ジ7) 25.00	
最頻値 (ε-D) 0.00	最頻値 (ε-D) 17.00	最頻値 (ε-D) 23.00	最頻値 (ε-D) 25.00	
標準偏差 9.33	標準偏差 15.53	標準偏差 9.49	標準偏差 4.13	
分散 86.97	分散 242.66	分散 90.10	分散 17.05	
尖度 1.96	尖度 0.65	尖度 1.36	尖度 8.11	
歪度 1.01	歪度 -1.03	歪度 -1.07	歪度 2.63	
範囲 37.00	範囲 63.00	範囲 56.00	範囲 17.00	
最小 -15.00	最小 -27.00	最小 -14.00	最小 23.00	
最大 22.00	最大 36.00	最大 42.00	最大 40.00	
合計 15.00	合計 394.00	合計 3374.00	合計 466.00	
標本数 13.00	標本数 28.00	標本数 176.00	標本数 18.00	
最大値 (I) 22.00	最大値 (I) 36.00	最大値 (I) 42.00	最大値 (I) 40.00	
最小値 (I) -15.00	最小値 (I) -27.00	最小値 (I) -14.00	最小値 (I) 23.00	
信頼区間 95.0%	3.64	5.04	1.41	2.05

に、D -aとD パターンに差は見られるが、D 内では明瞭な区別が現れていない。図から分かるようにD -bのパラッキが大きく、D -bの平均点 ± 1 の中にD -a、D -aLの平均点 ± 1 のほとんどが含まれるような形で分布している。また、図 - 1 6、1 7は、表 - 1 1に示した各支保パターン毎の標準偏差を基にした正規分布図である。両評価点ともに20点～30点の間ではD パターンの3種とも重なり具合が大きく、切羽評価点による支保の判別が困難な状況になっている。このようにD パターンのグラフが重なり、支保の判別が付きにくい最大の要因としては、支保構造がよく似ていることが挙げられる。支保構造の変化は、D -b D -aがロックボルト3m 4mの変更、D -a D -aLは鋼製支保工1.0mピッチ 1.2mピッチの変更であり、前出した表 - 1より内圧量の変化は160 140 120kN/m<sup>2</sup>である。また、D パターン内での支保の変更は、変位

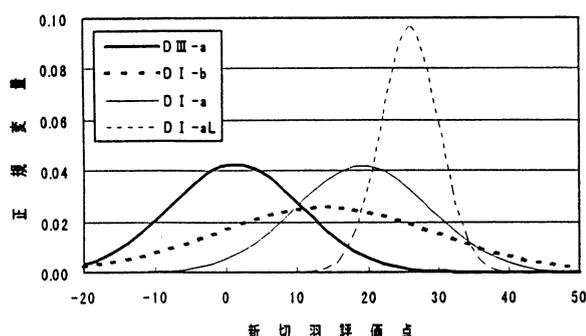


図 - 1 6 新切羽評価点の正規分布

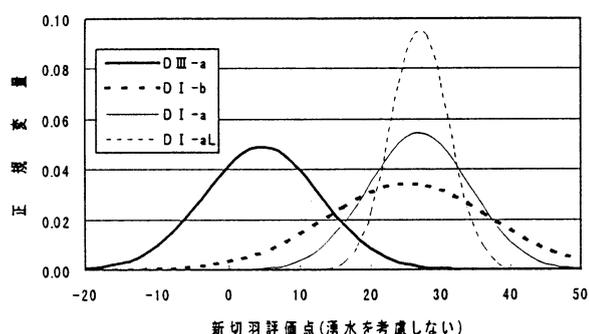


図 - 1 7 新切羽評価点(湧水を考慮しない)の正規分布

の大小や湧水量を主な指標としていたため、切羽観察項目の評価にこの3パターンの明確な差は現れなかったものと考えられる。

また、図 - 1 5 ~ 1 7 から中間検討とは異なり、通常の新切羽評価点の方がより支保パターンを区別しているようである。これは中間検討以降、切羽の湧水条件により支保パターンを変更する機会が増加したためであると考えられる。湧水や湧水に伴う地山の劣化が支保パターン変更の指標となる以上、やはり何らかの形で湧水量と劣化を評価し、評価点に反映していかなければならないようである。今後、湧水量と劣化の評価に基づく、新切羽評価点への適切な補正方法を模索していく必要がある。

## 5. まとめ

本トンネルにおける新切羽評価点の支保パターンへの適用性、ならびに適用支保パターンの妥当性を検討してきた。この検討によって得られた結果をまとめると以下のようである。

新切羽評価点法に基づいた施工管理によって、安全なトンネル施工ができた。ただし、当該地山は変化に乏しく、新切羽評価点と支保パターンの関係を十分に把握するには至らなかった。

当該地質条件下における、新切羽評価点の実績データを蓄積できた。

計測結果やトンネルの長期安定性等を総合的に考慮すると、本トンネルにおける実施支保パターンは妥当であると考えられる。

当該地質条件下では、新切羽評価点で10～30点に該当する箇所はD -b～D -aLパターンが妥当な支保パターンと考えられる。

今回、本トンネルで得られた実績データは、「新標準支保パターン」ならびに「新切羽評価点法」を試行導入された他現場の実績データと併せて、新切羽評価点による支保選定方法の提案や、より支保の選定に結びついた切羽観察手法の確立に活用できるものと考えられる。

## 謝 辞

本工事においてトンネル支保の適正化を実施するにあたり、日本道路公団九州支社および日田工事事務所の方々には、多大なご協力を頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 吉塚ほか：トンネル支保のマルチ化に関する研究、トンネル工学研究論文・報告集、第7巻、pp147～152、1997
- 2) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法、土木学会論文報告集、第317号、pp93～100、1982
- 3) (社)日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針、1993
- 4) (社)日本トンネル技術協会：トンネル計測工の活用に関する調査検討(その2)報告書、1994
- 5) 日本道路公団：設計要領 第三集 トンネル、1997