

投稿論文(和文報告)

**TECHNICAL
REPORTS**

双設トンネルの施工実績に基づく 地山評価と補助工法の採用特性に関する研究

本間宏記¹・栃木 博²・古川浩平³・中川浩二³

¹正会員 工修 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755 宇部市常盤台 2557) (現 五洋建設(株))

²正会員 工修 日本道路公団広島管理局徳山管理事務所 副所長 (〒745 徳山市久米東秋本 2803-1)
(現 日本道路公団福岡建設局日田工事事務所 所長)

³正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755 宇部市常盤台 2557)

本研究では補助工法の採用過程を解明する一手段として、黒色片岩を主岩種とする地山に施工された双設トンネルにおける地山評価および補助工法の採用に関する現状について、両トンネルの施工形態やトンネル掘進順序といった施工実態を考慮して考察した。その結果、双設トンネルにおける地山条件・施工条件と地山評価ならびに補助工法の関係を明らかにした。

Key Words : NATM, twin tunnel, evaluation of rock condition, assisting method

1. はじめに

NATMで施工されるトンネルは地質(硬岩地山～未固結地山)、掘削断面(中小断面～超大断面)、施工場所(山岳～都市部)に関して多様化し、その施工領域は飛躍的に拡大している。これは、これまでNATMの施工上の問題点であった切羽の自立性確保が補助工法を合理的に採用することによって実現可能となったことが大きな理由の一つと言える。

補助工法は施工時のみに効力を発揮し、施工後の支保効果は一般に期待しない、文字どおり「補助的な支保システム」であるが、その必要性ならびに重要性は広く認識されており、これまでに多種多様な補助工法が開発・適用されている。しかしながら、補助工法に関する明確な採用判断基準は存在しないため、現状では専門技術者によって、トンネル建設工事の施工条件、地形・地質条件、周辺環境条件をはじめ、補助工法自体の施工目的、施工性、経済性等が工学的に判断されて決定されている。このように、補助工法の採用過程は専門技術者の経験的主観に強く依存しているため、「どのような地山状態で採用するのか?」、「どの補助工法を選定するのか?」といった判断過程に関する統一した判断基準が整備されていない。このような現状から、補助工法を合理的に採用するための判定システムの確立が望まれるところである。

前述のとおり、企業者や学・協会による規準類^{1),2)}には補助工法に関する採用判断基準は存在せず、トンネル建設工事に従事する技術者への情報提供を目的とした技術的資料^{3)・5)}が整備されているに過ぎない。このため、現状の実務においてはこれら技術的資料から類似した工事事例を参考にするか、または専門技術者がこれまでに経験した工事事例に基づいて切羽毎に工学的な判断を下しているようである。

トンネル工学をはじめとする岩盤工学の分野では、岩盤評価、構造物の設計・施工システム(例えば、NATMトンネルにおける支保パターンあるいは対策工の選定など)に関する技術的な検討事項は専門技術者の主観的判断や思考過程に強く依存している。この工学的に重要な経験の主観性を客観的に評価する試みとして、これまでにファジィ理論、ニューラルネットワーク等のAI(人工知能)を適用した研究が行われ^{6)・8)}、現状の設計・施工システムを合理化するためにエキスパートシステムの開発も進められている⁹⁾。

しかしながら、これらはあくまでも類似事例からの推論であるため、この信頼性を高めるためには多くの蓄積データが必要となる。そこで、本研究では補助工法の採用過程を解明するための一手段として、日本道路公団(以下、道路公団と呼ぶ)の発注による黒色片岩を主岩種とする地山に施工された双設トンネルに

表-1 対象トンネル

工区 No.	トンネル No.	対象トンネル		施工順番			施工 担当 業者	切羽 データ 数
		名称	工区 ライン	先行	後続	掘進差 (週)		
1	1	W	1	上り	○	○	A社	285
	下り			○	○	249		
2	3		2	上り	○	○	B社	190
	下り			○	○	189		
3	5	X	西	上り	○	○	C社	261
	下り			○	○	278		
4	7		東	上り	○	○	D1社	438
	下り			○	○	D2社 381		
5	9	Y	一	上り	○	○	E社	246
	下り			○	○	234		
6	11	Z	西	上り	○	○	F1社	377
	下り			○	○	F2社 366		
7	13		東	上り	○	○	G社	211
	下り			○	○	217		

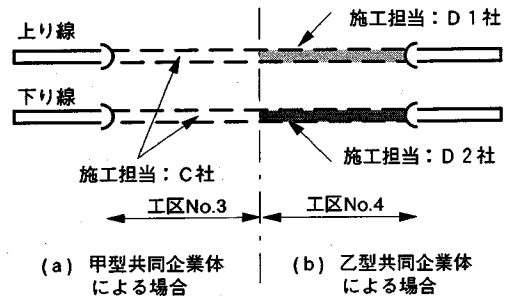


図-1 長大トンネルの施工形態

表-2 切羽観察記録

項目	切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が 抜け落ちる	3. 鏡面の押出しを 生じる	4. 鏡面は自立せず 崩れあるいは流出
(B)	素掘面の状態	1. 自立 (普請不要)	2. 時間がたつとゆるみ 抜け落ちる (後普請)	3. 自立困難掘削前後 早期に支保する (先普請)	4. 掘削面に先行して 山を受けておく 必要がある
(C)	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. $50 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先くい込む
(D)	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、 強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、 破碎、当初より未固結
(E)	割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1\text{m}$	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{m}$	3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	4. $5\text{cm} > d$ 破碎、 当初より未固結
(F)	割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土はさむ、 当初より未固結
(G)	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
(H)	湧水	1. なし、滲水程度	2. 滴水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水
(I)	水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊・流出

対象を限定し、地山条件・施工条件と採用された補助工法との関係を把握することを目的とする。

本文では、初めに双設トンネルにおける先行トンネルと後続トンネルにおける地山評価の現状を考察する。次に、補助工法の採用実態を調査した後、筆者らの既報¹⁰⁾と同様に地山評価点を用いて補助工法の採用特性を考察する。また、切羽での岩盤状態を評価する指標として、道路公団の施工記録のうちの切羽観察記録中で切羽全体に関する総合評価項目である切羽観察④、⑥項目に着目し、これを用いて補助工法の採用特性を考察する。

2. 対象トンネルおよび使用データ

(1) 対象トンネル

対象としたトンネルは道路公団広島建設局管内において NATM で施工された 2 車線断面の双設道路トンネルであり、その概要を表-1 に示す。これらはすべ

て黒色片岩を主岩種とする地山に施工され、対象トンネル 4 本中、W、X、Z トンネルの 3 本では工区分割されている。一般に、長大トンネルでは図-1 に示すように発注段階で工区分割され、さらに施工段階では担当する甲型共同企業体あるいは乙型共同企業体によって工区内に存在する上下線 2 本のトンネルが違った形態で施工される。本研究では施工実態を考慮して考察するため、これら上下線 2 本のトンネルを個別のトンネルとして取り扱い、表-1 に示す 14 本のトンネルについて検討を進める。また、同一工区内にある 2 本のトンネルを掘進順序によってそれぞれ先行トンネル、後続トンネルと呼ぶ。

(2) 切羽観察記録と支保パターン、補助工法

a) 切羽観察記録と地山評価点

使用するデータは道路公団が従来から統一形式で実施してきたトンネル施工時の坑内観察記録であり、上半部掘削時のものに限定した。坑内観察記録には、表

表-3 補助工法施工記録

特殊 施工	増吹付の有無	1.なし	2.あり (cm)				
	増ボルトの有無	1.なし	2.あり (本)				
	インバート早期閉合	1.なし	2.あり				
	縫返し	1.変形 余裕内	2.縫返しあり	3.捨導坑			変形余裕 (cm)
	縫地	1.なし	2.先行矢板	3.斜ボルト	4.ハイルーフ		○当初から予定
	鏡止有無	1.なし	2.吹付のみ	3.鏡止矢板	4.鏡ボルト	5.吹付 + 鏡ボルト	○当初から予定
工	ストラット	1.なし	2.変形	3.座屈			○当初から予定
	リングカットの有無	1.なし	2.あり				○当初から予定
	断面形	1.馬蹄型	2.卵型	3.栗型	4.円型		○当初から予定
補助工	薬注の有無	1.なし	2.ロッドタイ*	3.サルタンジュ			○当初から予定
	水抜き工	1.なし	2.水抜き ホーリング	3.ウェル*イント ディーブ*ウェル	4.水抜き坑	5.迂回坑	○当初から予定

表-4 補助工法

補助工法A	補助工法B	その他
先受け工 ○斜めボルト工 ○ミハイルーフ工 ○鏡吹付けコンクリート工 ○鏡止めボルト工 など	○水抜き工 排水工 圧気工法 ○薬液注入工 ハイルーフ工 凍結工法 特殊鋼矢板推進工法 垂直縫地工法 遮断壁工法 など	○リングカット工 など

(注) ○:本研究での対象工法を示す。

一2に示す切羽での岩盤状態を定性的に評価した「切羽観察記録」と表-3に示す道路公団の標準支保パターン¹⁾に定めていない施工法に関する体系的な施工記録である「特殊施工記録」が記録されている。ここで、特殊施工には支保部材の補強、掘削工法等の変更、補助工法が含まれている。本研究ではこの両者のデータを用いた。

切羽状態の評価指標には地山評価点を適用した。本研究における地山評価点とは表-2に示す切羽観察9項目④~⑩の評価ランク値を単純加算した値であり、この値は9~36点に分布し、点数が高いほど地山状態が悪いことを意味する。

b) 支保パターンと補助工法

本研究では施工時に実際に採用された支保パターンを用い、トンネル一般部での支保パターンをA, B, C I, C II, D I, D IIの6段階とし、坑口部での支保パターンをD IIIとした。

一般のトンネルで用いられている代表的な補助工法を表-4に示す。このうち、本研究では補助工法Aである斜めボルト工、鏡吹付けコンクリート工、鏡止めボルト工の3工法、補助工法Bである水抜き工、薬液注入工の2工法および掘削工法の変更であるリング

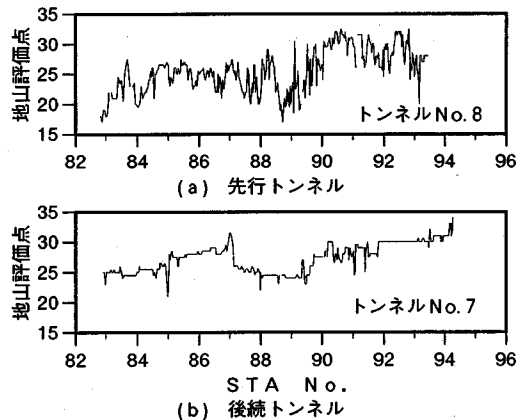


図-2 地山評価点分布

カット工の計6工法を対象とした(表中で○印のついている工法)。なお、補助工法A, Bの境界は通常の設備・機械・材料で対応可能か否かとされている。

このように、切羽観察項目④~⑩の9項目と各項目の評価ランク値の合計である地山評価点を決定し、さらに6種類の補助工法の採否が対応した形で1つの切羽データが得られている。

3. 双設トンネルにおける地山評価の実態

(1) 地山評価点の変動および平均値

一般に、切羽での地山状態は切羽毎に変化するため、切羽状態を評価する切羽観察項目④~⑩の評価ランク値は変動し、結果的にこれに対応する地山評価点の値も変動する。対象トンネルにおける各切羽での地山評価点分布の一例を図-2に示す。この図は同一工区における場合を示し、図-2(a)は先行トンネル、図-2(b)は後続トンネルでの分布である。これらよ

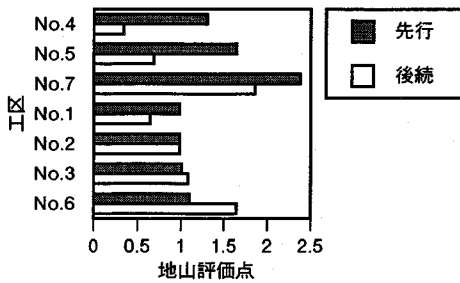


図-3 1切羽当たりの地山評価点

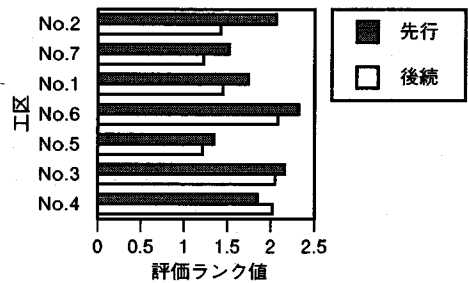


図-5 切羽観察④項目の平均評価ランク値

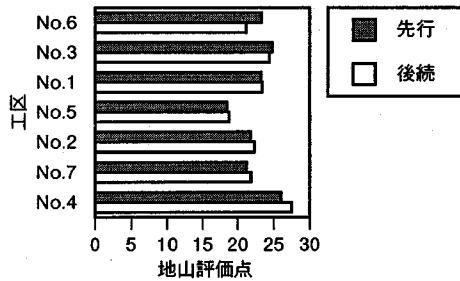


図-4 平均地山評価点

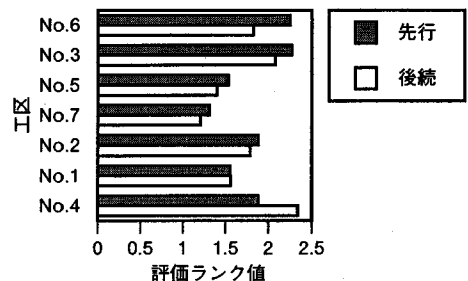


図-6 切羽観察①項目の平均評価ランク値

り、先行トンネルでは各切羽での地山評価点の変化が著しいのに対し後続トンネルでは変化が少なく、トンネル掘進順序によって傾向が違ふことが認められた。

1切羽あたりの地山評価点の変動および全切羽データ数に対する平均地山評価点をそれぞれ図-3、図-4に示す。ここで、地山評価点の変動とは1観察切羽前と当該切羽での地山評価点の差であり、各切羽相互における値を全切羽データについて平均化したものを示した。図-3より、1切羽あたりの地山評価点の変動は全7工区中5工区で先行トンネルの方が後続トンネルよりも大きい結果となった。これらのことより、先行トンネルの方が地山状態の変化に対してより慎重に地山を評価する等の傾向があると考えられる。なお、後続トンネルでの変動が大きい工区No.6の後続トンネルでは切羽崩落に伴う事故が生じ、切羽観察が特に念入りに行われたためにその他のトンネルの場合と逆の結果になったものと考えられる。また図-3～図-9では、後続トンネルに比べて先行トンネルでのそれぞれの図で課題とする値が大きなトンネル順に上から並べている。

また図-4より、各トンネルの地山特性を平均地山評価点で表現した場合、先行・後続トンネルでの平均地山評価点はすべての工区で概ね一致した。よって、同一工区に存在する先行・後続トンネルの地山状態はほとんど等しいといえる。

以上のように、先行・後続トンネルでの地山状態は

ほとんど同じであるが、先行トンネルでは掘削地山の状態がわからないために非常に慎重な地山観察を行っており、一方後続トンネルでは先行トンネルでの施工実績に基づいて切羽前方の地山状態をある程度予測できると考えられる。つまり、上記の結果は地山情報の有無が反映された結果といえる。

(2) 先行トンネルの掘進に伴う地下水の変動

双設トンネルの施工では先行トンネルと後続トンネルで湧水やこれに伴う岩盤の劣化に対する度合いが異なる場合が多い。そこで、対象トンネルにおける地下水の影響について検討する。切羽観察項目のうち、地下水に関係する「㊸湧水」および「㊹水による劣化」における評価ランク値の全切羽データ数に対する平均をそれぞれ図-5、図-6に示す。図-5および図-6より、各工区での先行・後続トンネルにおける㊸、㊹項目の平均評価ランク値はNo.4のトンネルを除いて、先行トンネルの方が後続トンネルよりも若干大きい傾向を示している。

対象トンネルにおける上下2本のトンネルの中心間隔は3D (D:トンネル直径)程度であり、両トンネルの掘進差は2～4週間程度である。よって、先行トンネルでは後続トンネルよりも地下水の影響が若干大きく、また前節で述べた切羽前方の地山状態が不明であるために、特に先行トンネルの施工にあたっては十分勘案している現状が伺える。

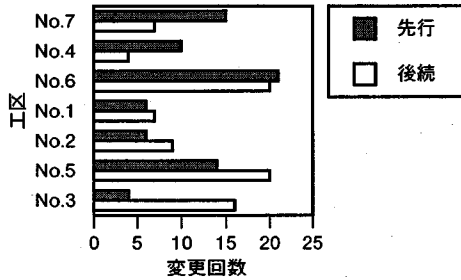


図-7 支保パターンの変更回数

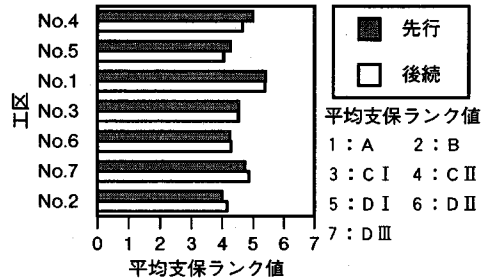


図-9 平均支保ランク値

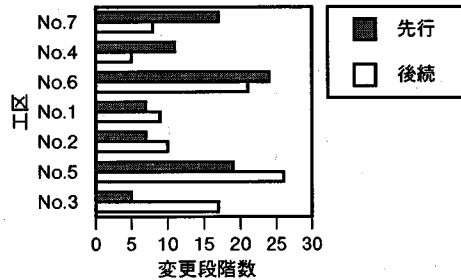


図-8 支保パターンの変更段階

(3) 支保パターンの変更

施工時における支保パターンの変更特性について、先行トンネルと後続トンネルで比較検討する。

施工時の支保パターンの変更回数および変更段階をそれぞれ図-7、図-8に示す。支保パターンの変更には下位(重い)の支保パターンから上位(軽い)の支保パターンへ変更する上位側変更、上位(軽い)の支保パターンから下位(重い)の支保パターンへ変更する下位側変更の2種類があるが、ここではどちらの変更も同一に取り扱う。また、支保パターンの変更にあたっては変更する幅も考慮する必要がある。例えば、C IからD Iへの支保パターンの変更は2段階の変更である。図-7および図-8より、支保パターンの変更回数および変更段階は工区毎に異なる傾向を示した。これは地山状態の変化についての対応手段として支保パターンを変更する傾向がトンネル毎に異なり、トンネル掘進順序とは特に関係は認められないようである。

また、A~DⅢの支保パターンを1~7に点数化し、これを全切羽データ数に対して平均した値を平均支保ランク値とする。トンネル全長にわたっての支保状態を客観的に表現した平均支保ランク値を図-9に示す。図-9より、各トンネルともCⅡ~DⅠパターンあたりに位置し、先行・後続トンネルにおける平均支保ランク値は各工区で概ね一致した。すなわち、各工区での先行トンネルと後続トンネルの支

保等級が同じであったことを示し、これは図-4の結果とも一致している。

4. 地山評価点に基づく補助工法の採用特性に関する一考察

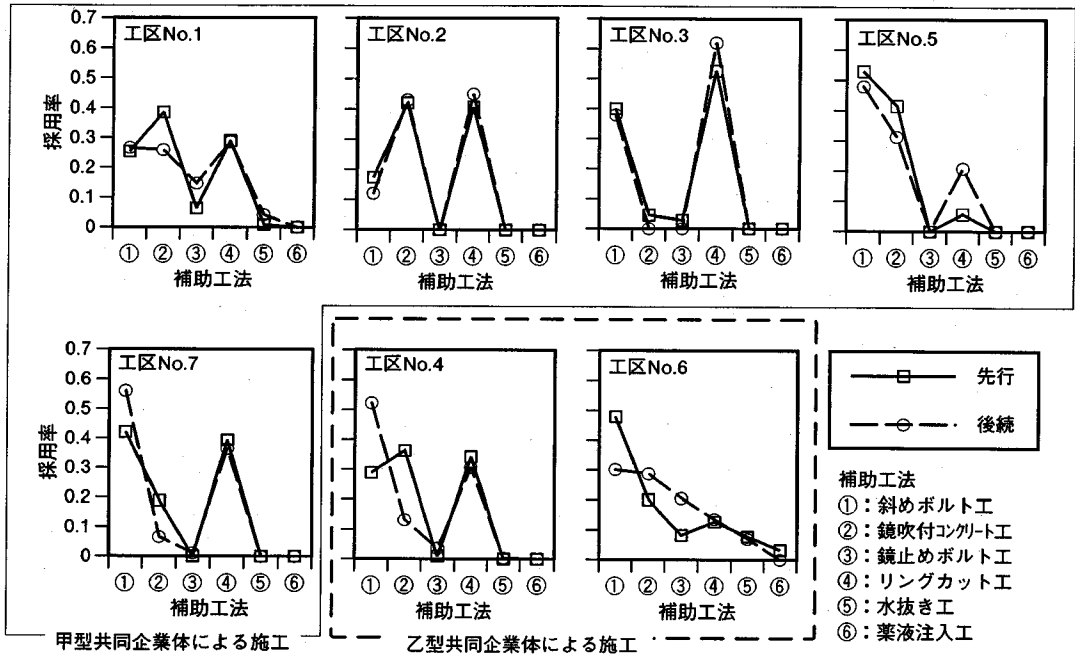
(1) 補助工法の採用実態

前掲の図-4および図-9で示したように、同一工区における先行・後続トンネルの平均地山評価点および平均支保ランク値が概ね一致することから、巨視的に地山状態を捉えた場合、同一工区の先行・後続トンネルは若干地下水に関する④、①項目が先行トンネルで大きいものの、同一地山条件下にあるものと考えられる。よって、補助工法の採用実態を直接対比して考察することが可能である。

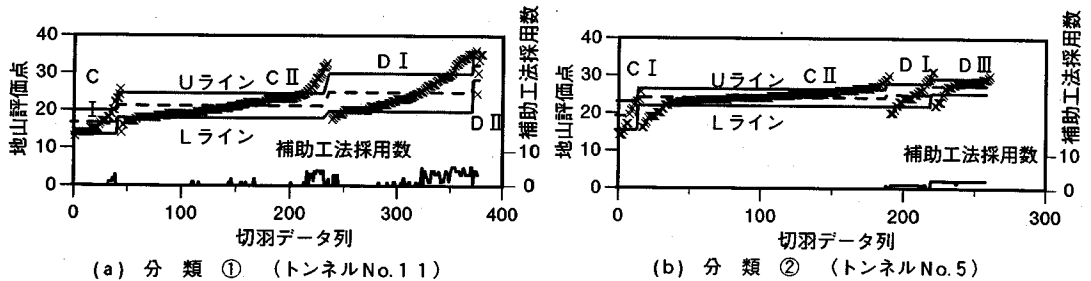
各トンネルにおける補助工法別の採用率分布を図-10に示す。ここで、各補助工法の採用率とは補助工法の採用総数に対する当該工法の占める割合をいう。図中では乙型共同企業体によって施工された工区をわかりやすくするために、破線で囲っている。以下の図についても同様に表示する。図-10より、同一工区における先行・後続トンネルでは補助工法の採用率分布は概ね一致した。ただし、先行・後続トンネルが乙型共同企業体によって縦割り施工された工区(工区No. 4およびNo. 6)では若干傾向が異なる結果となった。これは縦割り施工された工区では両トンネルの施工業者が異なることに起因した結果であると推測できる。工法別にみると、切羽安定対策である補助工法A(①斜めボルト工、②鏡吹付けコンクリート工)および④リングカット工が多く採用され、補助工法Bである⑤水抜き工や⑥薬液注入工は工区No. 1およびNo. 6の4トンネルだけで採用され、その採用率は低かった。

(2) 地山評価点と補助工法の関係

地山等級区分に対応する支保パターン別に地山評価点の小さい切羽より地山評価点および補助工法の



図一10 補助工法の採用率分布



図一11 支保パターン別の地山評価点および補助工法の採用分布の一例

採用数を連続的に示した代表例を図一11に示す。図中のUラインは各支保パターンにおける地山評価点の平均値+標準偏差値、Lラインは平均値-標準偏差値である。ここでは代表例としてトンネルNo. 11(分類①)とトンネルNo. 5(分類②)を挙げているが、分類と根拠については次に示すとおりである。

分類①: C Iパターン以下の支保パターン(重い支保パターン)で、かつ地山評価点がUライン以上となった部分で補助工法が採用される場合

分類②: D Iパターン以下の支保パターン(重い支保パターン)で補助工法が採用される場合
①の場合、補助工法はC I, C IIパターンで、かつ地山評価点がUラインを突出した切羽で多く採用されて

いる。つまり、標準支保パターンでは対処できない地山の相対的な不良部分に対して補助工法が採用される典型的なパターンといえよう。このような補助工法の採用傾向は切羽崩落の影響を受けているNo. 11~No. 14のトンネルで認められた。これは地山状態の変化に対して敏感に反応した結果と考えられる。一方、その他のトンネルについては②のようにD Iパターン以降で補助工法が採用されている。この場合には地山評価点の高低に関係なく支保パターンが支配的になっている。

以上のように、補助工法の採用傾向には2種類存在することが明らかになったが、どのような条件の下でどちらの採用傾向が多くなるかについてはデータが少なく明らかにすることはできなかった。

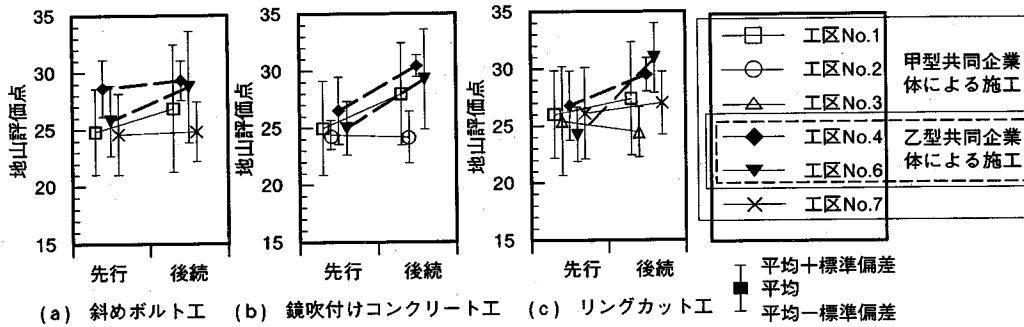


図-1 2 各種工法の採用実績

表-5 切羽観察④, ⑤項目

④	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	素掘面の状態	1.自立(普請不要)	2.時間がたつと緩み肌落ちする(後普請)	3.自立困難掘削後早期に支保する(先普請)	4.掘削に先行して山を受けておく必要がある

(3) 補助工法毎の採用時の地山状態

図-1 0に見られるように、対象トンネルにおいては補助工法B(図-1 0の⑤, ⑥)および補助工法Aの鏡止めボルト工の採用率が低いので、本節では補助工法Aの斜めボルト工および鏡吹付けコンクリート工の2工法とリングカット工の計3工法を対象として検討する。

斜めボルト工、鏡吹付けコンクリート工およびリングカット工の採用実績を図-1 2に示す。図中には補助工法採用時の地山評価点の平均値、平均値+標準偏差値、平均値-標準偏差値を示し、対象工法の採用実績が少ないトンネルのデータは表示していない。図-1 2より、鏡吹付けコンクリート工での工区No. 2およびリングカット工での工区No. 3を除いて、各工法の採用時における地山評価点の平均値は後続トンネルの方が先行トンネルよりも若干高い傾向を示した。これは先行トンネルでの施工経験が後続トンネルの掘削に反映されたことを示唆している。

5. 切羽観察項目④, ⑤に基づく補助工法の採用特性に関する一考察

(1) 切羽観察項目④, ⑤と補助工法の関係

表-2に示した切羽観察記録のうち、「④切羽の状態」、「⑤素掘面の状態」の各項目は切羽全体に関する総合的評価項目であり、その評価内容を表-5に示す。④, ⑤項目はその他の項目と同様に評価ランク値が高いほど切羽での地山状態が悪いことを表している

が、評価ランク値が4では補助工法の採用を示唆する内容となっている。そこで、本節では、切羽観察④, ⑤項目と補助工法の関係について考察する。

全切羽における切羽観察④, ⑤項目と補助工法の関係をそれぞれ図-1 3, 図-1 4に示す。ここで、「④切羽の状態」については鏡吹付けコンクリート工およびリングカット工を、「⑤素掘面の状態」については斜めボルト工を対象工法とした。また、該当するサンプル数の少ない評価ランク値における補助工法の採用率は表示していない。さらに、図中の切羽データには④, ⑤項目が複数の評価ランク値で評価された場合が含まれている。この場合、これら評価ランク値を平均化し、危険側の評価ランク値(例えば、評価ランク値が3.5の場合には評価ランク値を4とする)にしているため、両図において評価ランク値が4であっても補助工法が採用されていない切羽データが存在している。

図-1 3より、トンネル毎に各評価ランクの補助工法の採用率は異なるが、崩落事故の起こったトンネルNo. 11~No. 14を除く各トンネルにおいて④項目の評価ランク値が4ではリングカット工または鏡吹付けコンクリート工が8割程度採用されている。また、鏡吹付けコンクリート工とリングカット工の併用についても評価ランク値が高くなるに従いその併用率も高くなっている。なおトンネルNo. 11~No. 14において、トンネルNo. 11では斜めボルト工、鏡吹付けコンクリート工、鏡止めボルト工またはリングカット工といった複数の補助工法による併用が多く、

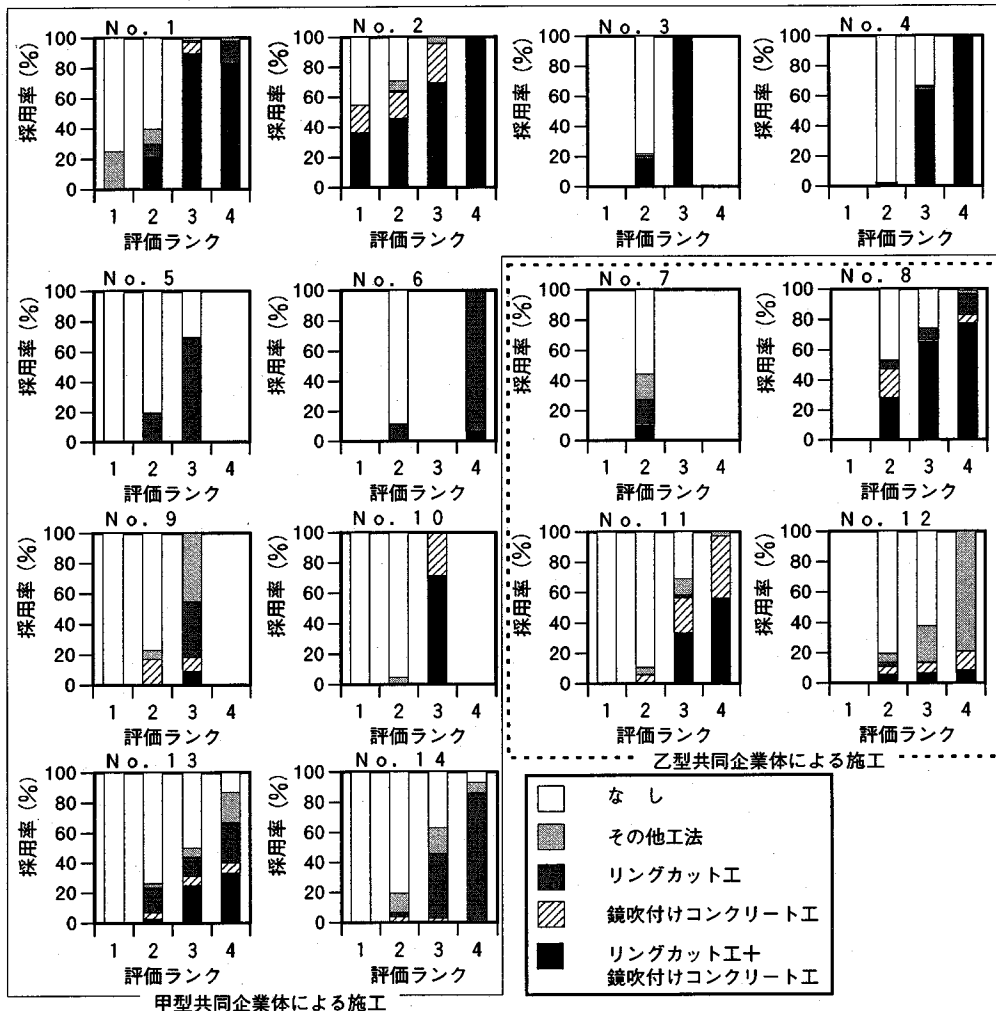


図-1 13 切羽観察④項目と補助工法の関係

トンネルNo. 12では斜めボルト工の採用が多かった。

図-1 4は切羽観察⑥項目と斜めボルト工との関係を示したものであるが、トンネル毎に各評価ランク値の補助工法の採用率は異なるが、⑥項目の評価ランク値が4では斜めボルト工が8割程度採用されている。すなわち、⑥項目の評価ランク値と斜めボルト工の採用には強い相関関係があることが推測できる。

いずれの場合も、評価ランク値が高くなるに従い該当する補助工法の採用率は高くなる傾向にあり、評価ランク値が4の切羽では何らかの補助工法が採用されている。④、⑥項目の評価ランク値が4の場合に補助工法が採用されることは当然のことであり、評価ランク値が2または3の場合には専門技術者による技術的判断によって補助工法が採用される現状が明らかになった。

(2) 切羽観察項目④、⑥の評価に及ぼす影響因子

次に、切羽観察④、⑥項目の評価に及ぼす影響因子を抽出するために数量化理論Ⅱ類を用いて分析した。分析にあたっては切羽観察④項目および⑥項目を外外的基準、⑦～⑩項目をアイテムとした。切羽観察④、⑥項目の評価に及ぼす影響因子をそれぞれ図-1 5、図-1 6に示す。ここで、これらの図はトンネル毎に比較検討しやすくするためにカテゴリーレンジの最大値を1に基準化した。図-1 5および図-1 6より、トンネル毎に④、⑥項目に対する影響因子が異なった。これはトンネル毎に地山条件、施工条件(専門技術者の主観を含む)が異なるためであると考えられる。このように、トンネルの施工においてはトンネル毎に地質条件等が異なり、汎用性のある考え方をすることは難しいと思われる。

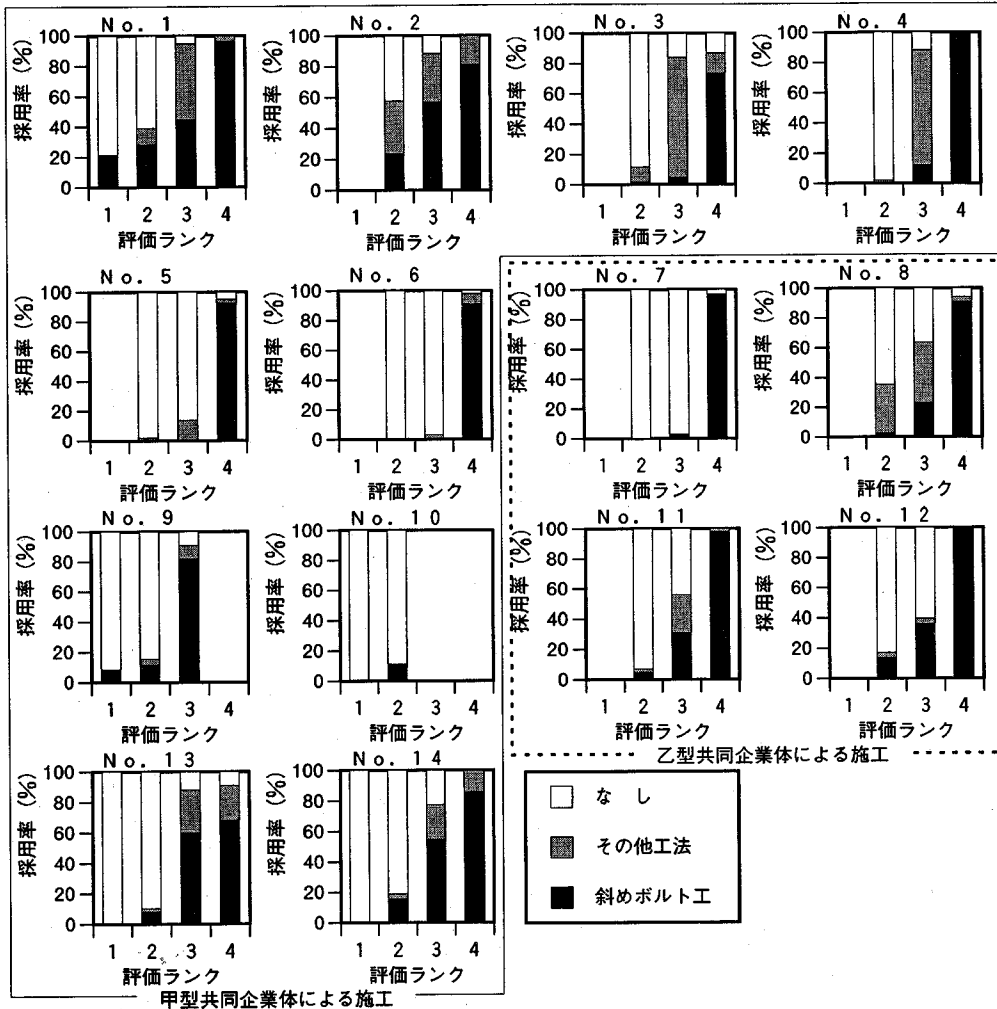


図-1 4 切羽観察④項目と補助工法の関係

6. まとめ

本研究では、日本道路公団広島建設局管内の片岩地山にNATMで施工された双設トンネルについて、まず初めに先行トンネルと後続トンネルの地山評価の現状について、地山評価点の変動・平均値、切羽観察④、⑤項目、支保パターンの変更状況から考察した。次に、補助工法の採用現状について、トンネル掘進順序、施工形態といった施工の実態を考慮して考察した。さらに切羽全体の評価項目である切羽観察④、⑤項目に着目して、補助工法との関係について考察した。その結果、以下の知見を得た。

1) 双設トンネルにおける先行トンネルと後続トンネルの平均地山評価点および平均支保ランク値はほとんど一致することから、双設トンネルにおける両トン

ネルの地山状態は同じであるといえる。

2) 双設トンネルにおける先行トンネルと後続トンネルの地山評価の違いは、先行トンネルにおいて1切羽あたりの地山評価点の変動、切羽観察④、⑤項目の平均評価ランクが大きいトンネルが多かった。

3) 先行・後続トンネルにおける各補助工法の採用傾向は概ね一致し、乙型共同企業体による場合には若干異なる傾向を示した。

4) 切羽全体の総合的な評価項目である切羽観察④、⑤項目の内容に着目し、補助工法との関係を明らかにした。その結果、切羽観察④項目と鏡吹付けコンクリート工およびリングカット工、切羽観察⑤項目と斜めボルト工との相関が良いことがわかった。

以上のように、双設トンネルにおける地山評価を補助工法採用の現状について一つのトンネル群に関して

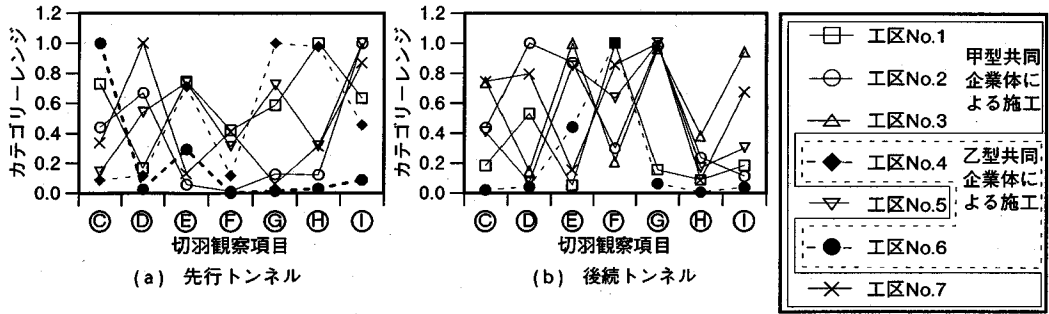


図-15 切羽観察④項目の影響因子

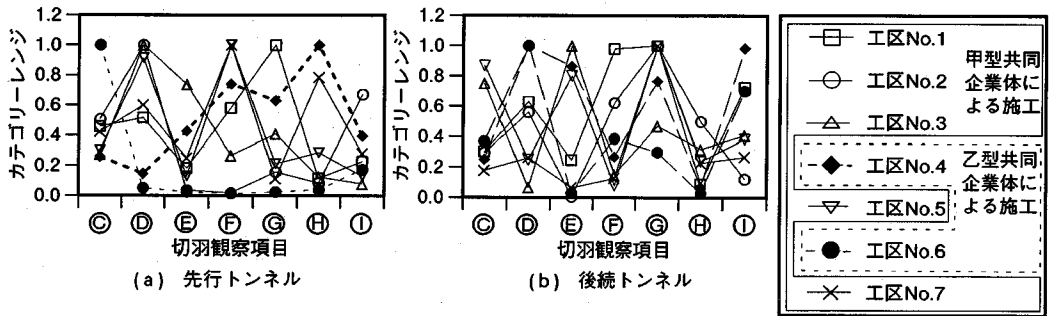


図-16 切羽観察③項目の影響因子

ではあるが、その状況を把握することができた。最近我が国ではNATMの成熟と発展からNATMにとられない支保構造の見直しの論議が聞かれる。補助工法はトンネルの長期安定よりも主として掘削のための切羽の安定(短期安定)を目的として採用されることが多い。補助工法を含めた支保構造の選定は、トンネル掘削における長期・短期両者の安定を目的として決定されるべきものであり、本研究の成果は最近の論議に有用な資料を提供するものとする。

謝辞：本研究を実施するにあたり、日本道路公団広島管理局徳山管理事務所よりデータを提供頂いた。また、データの整理にあたっては当時の山口大学修論生古川正博君(現(株)アイ・エヌ・イー)、卒論生小西佐知君(現八幡浜市役所)並びに畠山慎君(現中央復建コンサルタンツ(株))の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領，第三集，第9編トンネル，1985.10.
- 2) 土木学会：トンネル標準施工方書(山岳編)・同解説，昭和61年改訂版，1991.1.
- 3) (社)日本トンネル技術協会：NATM補助工法選定マニュアル研究報告書，1992.5.
- 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(日本道路公団本社委託)，1994.2.

- 5) 土木学会：山岳トンネルの補助工法，トンネル・ライブラリー第5号，1994.3.
- 6) 清水則一，桜井春輔：ファジー理論を用いた岩盤分類の構成方法に関する研究，土木学会論文集，第370号/Ⅲ-5，pp.225～232，1986.6.
- 7) 鈴木昌次，古川浩平，井上洋司，中川浩二：ファジー回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類法の提案，土木学会論文集，第418号/Ⅲ-13，pp.181～190，1990.6.
- 8) 荒木義則，鈴木昌次，宮崎智司，古川浩平，中川浩二：ニューラルネットワークを用いたNATM施工時の支保パターン選定のモデル化に関する研究，第3回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集，pp.159～165，1993.12.
- 9) 例えば，近久博志，荒井幸夫，筒井雅行，清水則一：トンネルの対策工選定支援のためのデータベースとファジー理論，トンネル工学研究発表会論文・報告集，第1巻，pp.71～76，1991.12.
- 10) 結城則行，日永田雅司，古川浩平，中川浩二：山岳トンネルにおける切羽観察記録と支保工および補助工法との相関性に関する一考察，土木学会論文集，第492号/Ⅵ-23，pp.57～66，1994.6.

(1995.5.8 受付)

**A STUDY ON THE EVALUATION OF ROCK CONDITION FOR
CONSTRUCTION AND ADOPTION OF ASSISTING METHODS BASED ON
THE PAST RECORDS OF TWIN TUNNEL CONSTRUCTION**

Hiroki HONMA, Hiroshi TOCHIGI, Kohei FURUKAWA and Koji NAKAGAWA

Generally, assisting methods in mountain or urban tunnels constructed by NATM were adopted in order to stabilize behaviour of tunnel face or reinforce support system under tunnel construction, but there is no definite criterion of assisting methods for adoption. In this paper, we investigate evaluation of rock condition at tunnel face and adoption of assisting methods in twin tunnels constructed in Schist mountains. As a result, we understand the actual conditions of the evaluation of rock condition and adoption characteristics of assisting methods in twin tunnel.