

# 山岳トンネルの補助工法の選定における技術者の評価と意思決定に関するアンケート調査

中川 浩二<sup>1</sup>・御手洗 良夫<sup>2</sup>・寺戸 秀和<sup>3</sup>・木村 恒雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2557)

<sup>2</sup> 正会員 工修 株式会社熊谷組 土木本部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1)

<sup>3</sup> 正会員 修(工) 山口大学助手 工学部社会建設工学科

<sup>4</sup> 正会員 工修 山口県道路建設課長 (〒753-8501 山口市滝町 1-1)

本報告では、山岳トンネルの施工における補助工法の選択とその評価について、技術者の経験を参考に工学的な観点から考察を行った。具体的には、実際のトンネル施工を例として、その施工で採用された補助工法について妥当性を問うアンケートを行った。アンケートでは、個々の補助工法の採用について、安全性、経済性、施工性、信頼性および総合的立場から評価を求めた。アンケートの結果は、トンネル技術者を職種によって分類した個人属性別にとりまとめ、それぞれの個人属性による補助工法の選択と評価の傾向を示した。

**Key Words :** rock tunnel, auxiliary method, engineering decision, questionnaire

## 1. はじめに

我が国の山岳トンネルの掘削においては、地山の地質変化が著しく、当初想定した地山状態と実際に遭遇する地山状態とは異なることが多い。このため、実施工においては設計変更がしばしば行われる。設計変更は基本的には支保パターンの変更で行われるが、これだけで対処できない場合には補助工法が採用される。

補助工法の開発は現在も盛んであり、今日の山岳トンネルの施工において補助工法の採用は不可欠となっている。このような状況にありながら、補助工法の選択基準は必ずしも明確にはされておらず、補助工法の選定には技術者の経験や意識が大きく影響する。一般に補助工法は当該トンネルを担当する技術者により決定される。トンネル技術者は、発注者、施工者、設計者に大別でき、補助工法の選定にあたっては各々の技術者の経験や技術的な判断に基づいた補助工法が検討される。

こうした意味から、補助工法に対するトンネル技術者の意識や、どのような基準に基づき補助工法を

選定するか技術者の傾向を把握することは、トンネルの設計・施工の最適化をめざす上で重要である。

著者らは、これまで蓄積データやアンケートを利用し、山岳トンネルの設計・施工について経験的手法を利用した研究を行ってきた<sup>1)~4)</sup>。本報告では経験的手法を利用した研究の一環として、山岳トンネルの補助工法の選択に関する調査を行った。本報告の目的は、経験が重視される補助工法の選択において、技術者はどのような基準に基づき補助工法を選択し、また技術者の立場の違いが補助工法の選択に対してどのように影響しているかを明らかにすることである。具体的には、数種類の補助工法が採用された一つのトンネルの施工を対象に、そこで行われた補助工法などの対策工について技術者に対してアンケート調査を実施した。そしてその結果に基づき、技術者が補助工法選定にあたってどのような意思決定あるいは評価を行うか、その傾向について考察を行い、さらに各技術者の立場の違いによる補助工法の選定基準の相違について考察を行った。

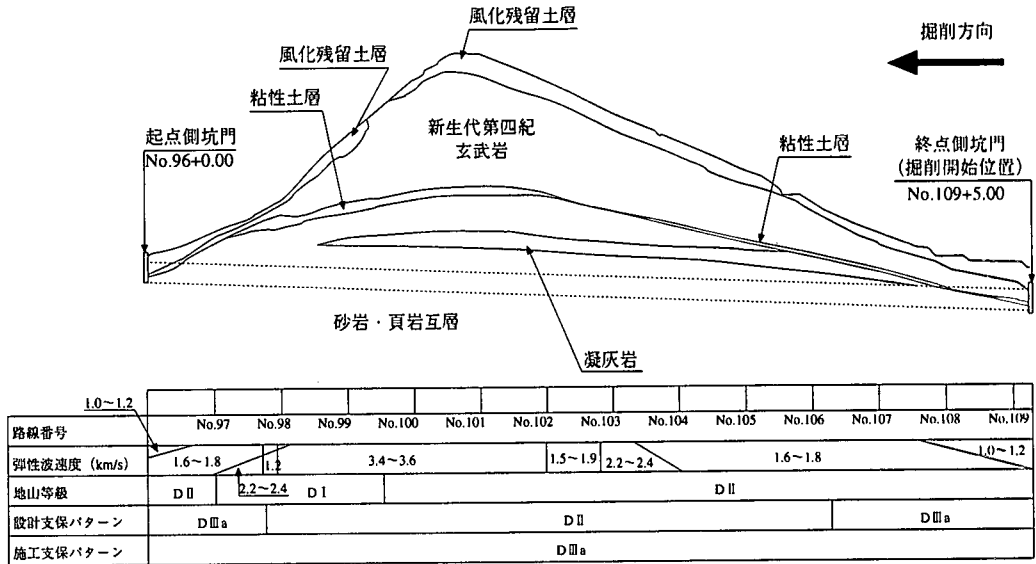


図-1 事前調査より推定された地質縦断面図

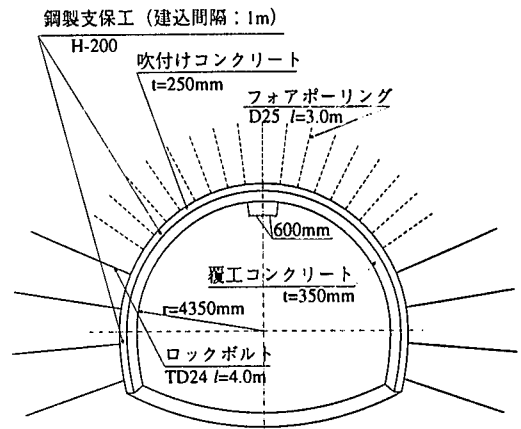
## 2. 実施工に用いられた補助工法の採用に対するアンケート調査の概要

山岳トンネルには種々の補助工法があるが、その時々のはやりによって多用されたり、技術者の好みによって選定されることがないとは言えない。また、トンネルの建設に携わる技術者でも、発注者、設計者、施工者と各立場が違うことにより補助工法に対する考え方や意識は異なっていると考えられる。

より合理的な設計、施工が要求されている現状で、山岳トンネルの施工において重要な役割を果たす補助工法の選定にあたり、トンネル技術者の考え方を明確に把握することは、補助工法の合理的な選定を行うために重要であると考えられる。そこで山岳トンネル技術者の補助工法選定に対する意識を明らかにするために、本報告ではあるトンネル施工を対象としたアンケート調査を行った。対象としたトンネル施工は、予想外の地すべり粘土帯に遭遇しトラブルが発生したが、種々の補助工法を採用することにより施工を完了したトンネルである。本報告ではこのトンネル施工を例として、山岳トンネル技術者に種々の補助工法の採用に関して妥当性を問うアンケート調査を実施した。この結果に基づき、山岳トンネル技術者の補助工法選定と評価について検討を行う。

### (1) アンケートの対象としたトンネル施工

本報告で評価の対象とするのは、付近一帯に地すべり粘土が分布する地山で施工された延長270mの2車線道路トンネルである。



掘削方法：上半先進掘削ショートベンチカット工法 (リングカット併用)

図-2 支保パターン図 (D III a)

事前調査より推定されたトンネルの地質縦断面図を図-1に示す。図中の設計支保パターンのD IIは、日本道路公団の標準支保パターン<sup>5)</sup>と同一である。また施工支保パターン (D III a) は、図-2に示すとおりである。掘削に先立って行われた事前調査より、トンネルの両坑口において垂直縫地ボルト工が計画され、また、D25の鉄筋 (l=3.0m) によるフォアボーリングが標準断面として計画された。

こうして掘削を開始したが、施工に際して様々なトラブルが生じ、種々の対策工が施工された。対象トンネルで行われた対策工の位置を図-3に示し、以下に本報告で評価の対象とするトラブルとその対策について述べる。

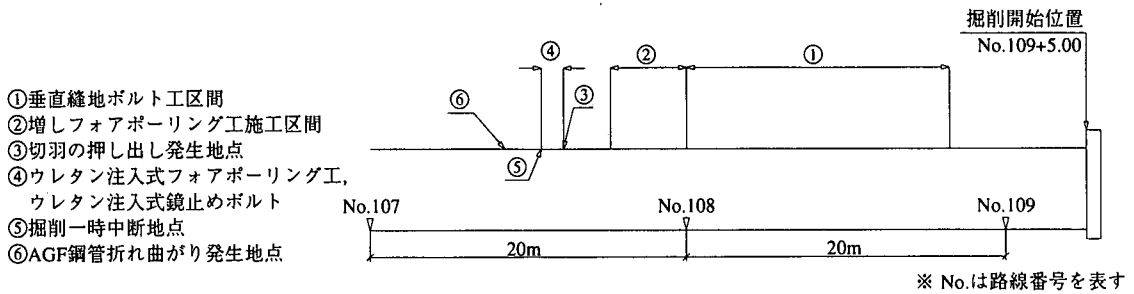


図-3 補助工法の施工位置と変状箇所

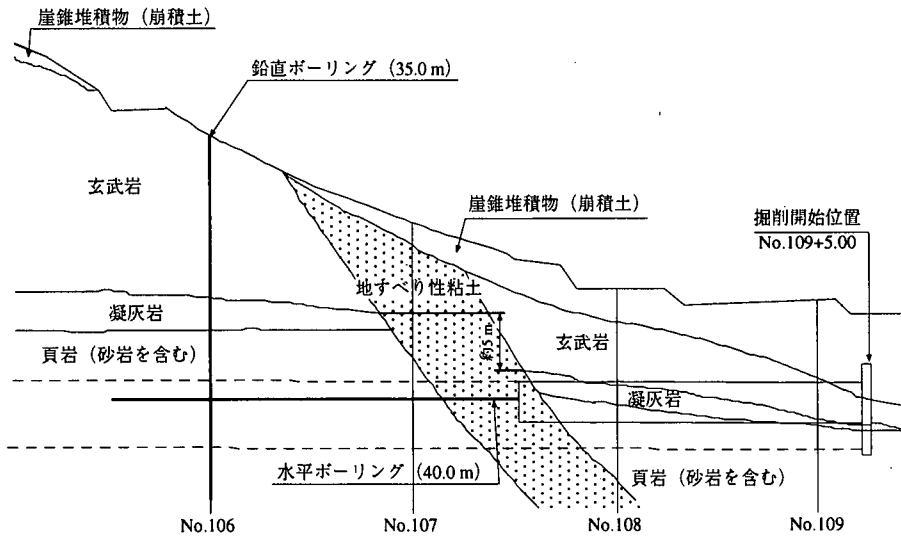


図-4 追加ボーリング調査より推定された地質縦断面図

垂直縫地ボルト工区間(図-3の①区間,以下同様)である坑口部付近のトンネル施工は,天端・切羽とも比較的安定した状態での施工が行われた。垂直縫地ボルト工区間を通過した②区間では,天端の崩落が頻繁になり,増しフォアボーリング工が施工された。その後,③で示す地点において軟弱な粘土に遭遇し,切羽全体が押し出され,天端は切羽の3~4m奥からすべりを生じ崩落した。そこで切羽鏡部の処理として,鏡吹付けコンクリート工および鏡止めボルト工が施工された。切羽の鏡処理を施した後,支保工間隔を設計の1.0mから0.7mに変更し,更にウレタン注入式フォアボーリングおよびウレタン注入式鏡止めボルト等を施工しながらトンネルを2.4m掘削した(④区間)が,以後も天端の崩落や切羽の押し出しなどの変状が懸念され,トンネル掘削が困難であることが予想されたため,ここで一旦掘削を中断し以後の施工に備えての対策を検討することとなった。

⑤の地点において,対策の検討に先立って水平

(40.0m)および鉛直(35.0m)の2本の追加ボーリング調査が実施された。追加ボーリング調査の結果,図-4に示すように軟弱な地すべり帯が縦断方向に約10m分布し,地層のずれの状態から地すべり粘土帯を境とした手前側の旧地すべり土塊は,地すべり粘土帯を境とした奥側の在来地山に対して約5mの落差があることが推定された。そこで地すべり突破の対策工として鋼管長尺先受け工法であるAGF(All Ground Fasten)工法が選定された。AGF鋼管の打設長は,施工能率を考慮して12.5mとし,AGF工法で地すべり粘土帯を完全に横断するために,図-5に示すように7.5mのラップ長を持つ2シフトのAGFが計画された。

第1シフトのAGF施工後,第2シフトのAGF施工断面までAGF施工基地確保のための切り上げを行い,既存の最終支保の取り除きと新しい支保の建て込みのため切羽面の掘削を行ったところ,AGF上部の地すべり性粘土がすべりを生じた。そのため切羽の押し出しと第1シフトのAGF鋼管の折れ曲がり

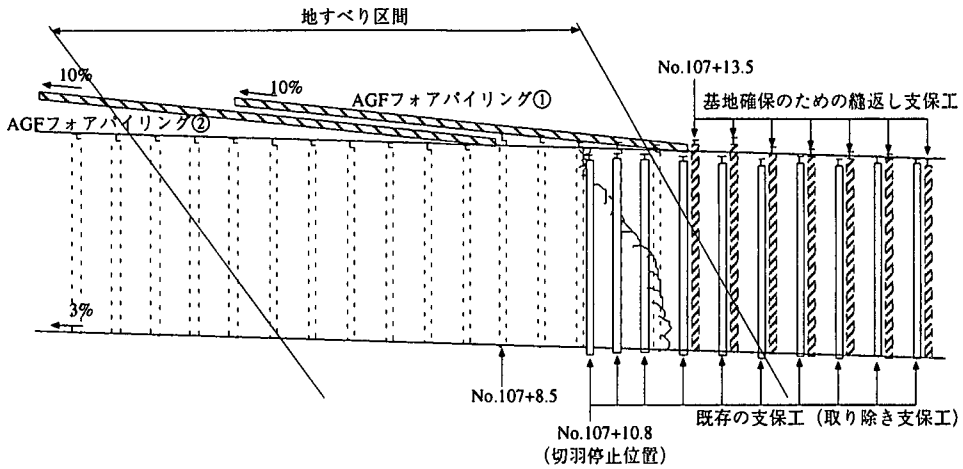


図-5 AGF 施工計画断面

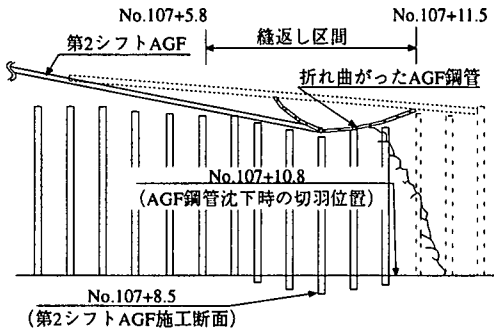


図-6 AGF 鋼管沈下状況

生じ(図-6)、内空断面が大きく侵された(⑥の地点)。そこで、切羽の自立確保のための鏡処理として、長さ12.5m、27本のAGF鏡止めボルト工が打設間隔50cmの千鳥配置で施工された。

AGF鏡止めボルト工を施工した後、以後の施工方法を検討した結果、侵された内空断面より第2シフトのAGFを施工し、地すべり粘土帯を突破した後、AGF鋼管沈下部分を縫返すことにより内空を確保する計画が立てられた。縫返しにあたっては、第1シフトのAGF施工断面へ長さ5mのレールを24本打ち込み、縫返し部の施工においてはウレタン注入式フォアポーリングが施工された。この方法による地すべり粘土帯突破後は、変位も比較的小さく順調な掘削が行われた。

## (2) アンケート調査方法

本報告では、対象トンネルで施工されたトラブルへの対策工の妥当性を評価するために、トンネル技術者に対してアンケート調査を行った。アンケートの対象者は、トンネル工事の発注者であるトンネル

表-1 アンケートの回答者の一覧

個人属性	発注者	施工者	設計者
回答者数	34	35	32

技術者34名、トンネル工事の受注者である民間建設会社のトンネル技術者で現場を担当している施工技術者(以下、施工者)35名、同じく民間建設会社のトンネル技術者で、設計、工務、技術支援担当者(以下、設計者)32名の計101名である。表-1にアンケート回答者の一覧を示す。また、アンケートの対象者は対象トンネルの工事には関与していない技術者とした。

アンケートの実施においては、前項に述べたトンネル掘削状況を詳しく述べた上で、施工のポイントごとに15の質問項目を設定した(表-2)。その上で、それぞれの質問項目で実施された対策工がどの程度適当であるかを「安全性」、「経済性」、「施工性」、「信頼性」および「総合的観点」の各評価項目ごとに回答を求めた。アンケートの回答例を図-7に示す。また回答の際には、コメントを任意に付け加えてもらった。なお、以下において[ ]で囲まれた数字は質問項目を表す。

## 3. アンケート結果の基礎分析

アンケート調査の結果のとりまとめに際しては“適切度”という指標を設定し、考察を行った。“適切度”とは、アンケートの回答結果を数字で表したものであり、「不適当」を1、「やや不適当」を2、「どちらでもない」を3、「ほぼ適当」を4、「適当」

表-2 アンケートの質問項目と施工内容

項目	施工内容
[1]	垂直縫地ボルト工の施工
[2]	増しフォアポーリング (60cm→30cm) の採用
[3]	増しボルト工の採用
[4]	天端抜け落ち部の吹付けによる充填
[5]	鏡押し出しに対する鏡吹きと鏡止めボルトの採用
[6]	支保工間隔の変更 (1.0m→0.7m)
[7]	天端小崩落に対するウレタン注入式フォアポーリングおよびウレタン注入式鏡止めボルトの採用
[8]	掘削の一時中断と追加ポーリング調査
[9]	地すべり地帯への AGF 工法の計画
[10]	AGF 基地確保の際のウレタン注入式フォアポーリングの施工
[11]	AGF 鋼管の沈下と鏡押し出しに対する AGF 鏡止めボルトの施工
[12]	内空断面が侵された状態での粘土帯の突破計画
[13]	沈下した天端への第2シフトの AGF の施工
[14]	地すべり帯縫返しの際のレールの打ち込みとウレタン注入式フォアポーリングの採用
[15]	工事全体の評価

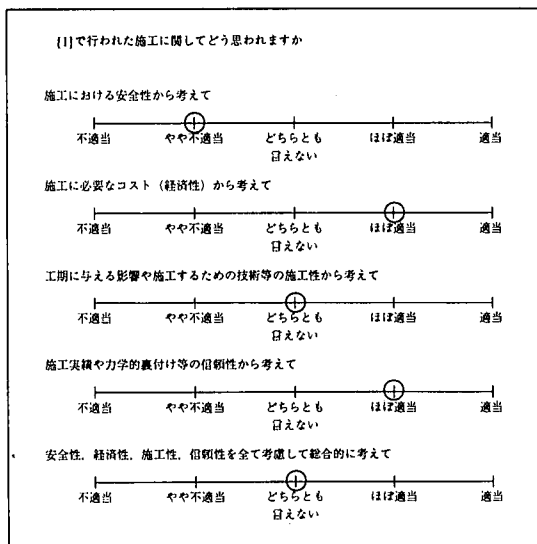


図-7 アンケートの回答例

を5としたものである。回答結果の評価は、発注者、施工者、設計者の個人属性別に行った。

(1) 各質問項目に対する回答結果の平均値

図-8 に適切度の平均値を個人属性別に求めた結果を示す。また各質問に対して多くのコメントが得られたが、コメントは項目によっては一つの補助

工法に対して肯定的なものから否定的なものまで分布していた。このことからトンネル技術者は、各自の経験に大きく依存して判断を下しているということがうかがわれた。ここではその一部を示して考察を加える。

[1] 事前調査に基づく垂直縫地ボルト工の施工について (図-3 ①区間)

個人属性別平均値によると、発注者、施工者、設計者のいずれも、ほぼ同じかつ比較的高い適切度となっているが、信頼性で発注者と施工者に対し設計者は低い適切度となっている。また、相対的に発注者の施工性に対する評価が低い。

設計者の意見には、事前調査の段階でトンネル上層に粘性土が分布すると予測されたため (図-1 参照)、粘性土における垂直縫地工の信頼性に対する疑問 (粘性土には不向き) を述べていたものがあつた。また、他の補助工法の採用もあつたのではないかとあつた。

全体を通して、垂直縫地工の施工範囲をもう少し広げるべきであるという意見が多かつた。

[2] 天端崩落に対する増しフォアポーリングの施工について (60cm→30cm) (図-3 ②区間)

三者ともほぼ同様な回答傾向を示しており、信頼性に対して低い評価となっている。また、全評価項目を通じてわずかに設計者の評価が低い。

これも前項の垂直縫地に対する評価と同様に、粘性土地山に対するボルトの信頼性が低いため、設計者の評価が低く、特に信頼性に対する評価が低くなったものと考えられる。また、設計者の意見には地山条件や計測結果等から判断すると切羽対策工としてより重い補助工法を採用すべきであると述べているものがあつた。

[3] 内空変位抑制のための増しボルト工の施工について

全体的に低い評価で、特に設計者の評価が低い。

[2]と比較してもさらに顕著に設計者の評価は発注者、施工者に比べて低く、安全性、信頼性、総合では3以下となっている。設計者の意見としては、増しボルトよりも増し吹付けや仮閉合が有効であり、さらにフットパイルや脚部吹付け施工を採用すべきであるという意見が多かつた。

一方、発注者、施工者にも、粘性土におけるボルト (増しボルト) の効果は少ないという意見や、上半仮インバートの早期閉合やレッグパイルの採用等の意見もあつたが、増しボルト打設は早急な対策工

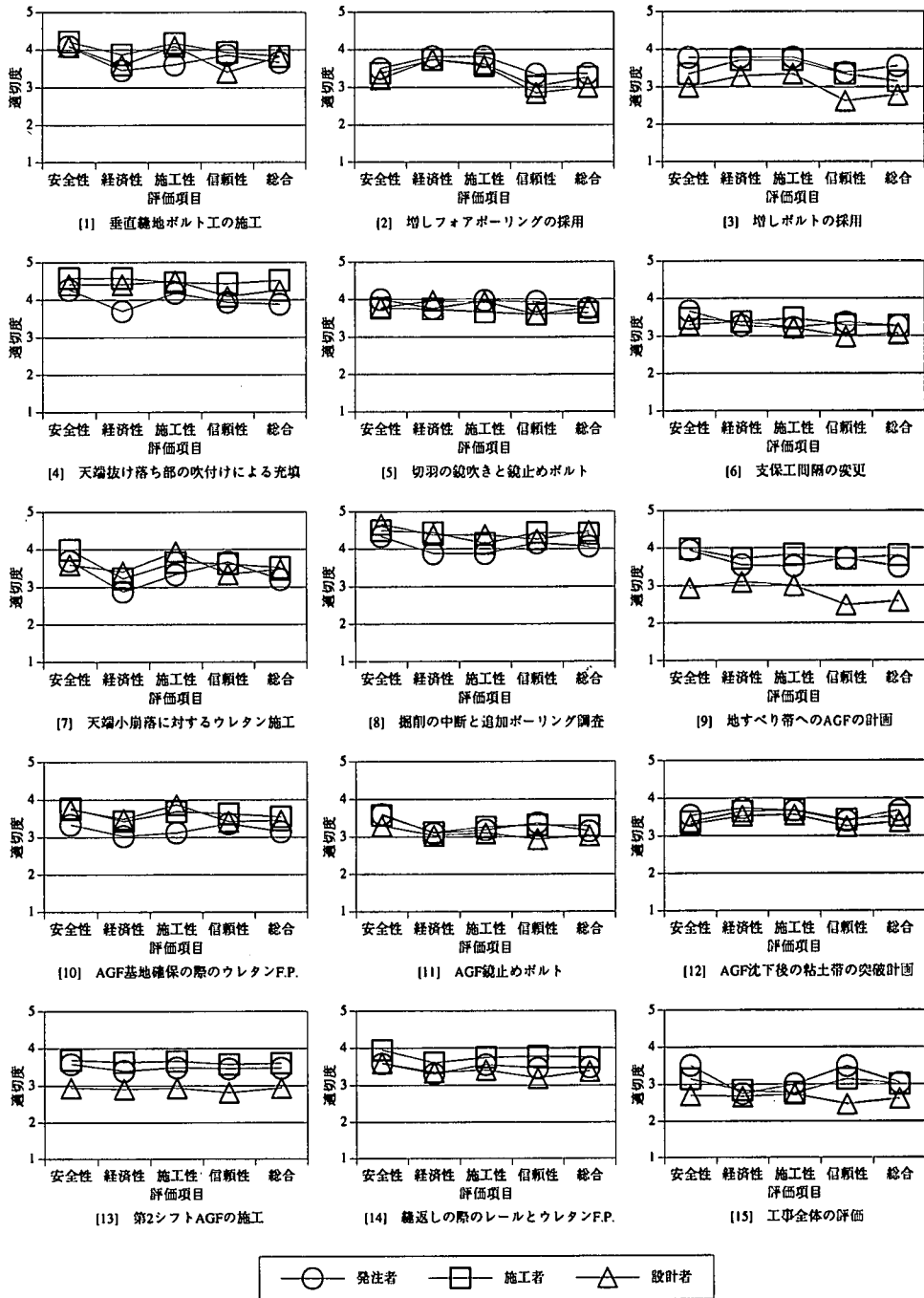


図-8 回答結果の平均値

としては妥当であるという意見が多かった。

であった。

[4] 天端の抜け落ち部の吹付けコンクリートによる充填について

全体的に評価は高いが、わずかながら発注者の評価が相対的に低く、特に経済性においてそれが顕著

コメントによると設計者、施工者はここでの施工は、早急な対策として妥当であるとしているが、発注者は吹付けのコストに重点をおいて回答がなされているようである。そのため発注者における経済性の評価が低くなったものと考えられる。

[5] 鏡処理としての切羽の鏡吹き、鏡止めボルトの施工について

三者ともほぼ同様の評価結果を示しており、比較的高い評価となっている。

設計者は、もっと長い、あるいは太い鏡止めが必要であるという意見があるものの、応急対策としては妥当であるという意見が多かった。また鏡ボルトについては鋼材より切断が容易なグラスファイバーを使うべきだという意見があった。

一方、施工者は、もう少し状態を見て抜本的な対策工を検討すべきであるという意見が多かった。

切羽の安定性に対しては、現場（施工者）の判断によって対策していくことが最も要求される所であるが、この点に関しては施工者が通常第一に考えられる対策（鏡吹付け、鏡止めボルト）に慎重であり、もう少しグレードの高い対策を望む意見が多いのは興味深い結果であった。

[6] 支保工間隔の変更（1.0m→0.7m）について

三者とも同じような評価をしているが、評価点は全体的に低い。コメントの中でも設計者、発注者で妥当とする人は少なく（2名）、施工者では8名が適切としているが、支保工の大きさを大きくした方が良いというただし書きがあった。

全体的に、注入式フォアポーリングや AGF 工法等の対策工の採用や、加背の分割など抜本的な見直しを行うべきであるという意見が多かった。こうした対策工の採用により、掘進長も 1.0m で可能となるとしている。

[7] ウレタン注入式フォアポーリングとウレタン注入式鏡止めボルトの施工について

三者とも経済性に対して低い評価となっている。特に発注者の経済性に対する評価が低い。コメントによると、全体的に粘性土地山におけるウレタン注入の効果について疑問があるとの意見が多かった。

発注者には安易にウレタン注入フォアポーリングを採用しているという意見があり、経済性の点で不満が残ることを示しており、そのため発注者の経済性の適切度が低くなったものと思われる。

[8] 掘削一時中断と追加ポーリング調査について

全体的に適切度は高く、特に設計者の適切度は他の項目と比較して高くなっている。設計者の意見の中には、既にある調査結果を有効に使っていないという指摘はあったが、追加ポーリングの必要性を是認しているものが多い。

施工者も同様な意見があったが、鉛直ポーリング

がもう一本必要であるというものもあった。

発注者は経済性、施工性において相対的に低い評価となっている。コメントによると追加調査はより以前にすべきであるとの意見があり、追加ポーリングの必要性を是認しつつも、その位置や時期などの計画性については、やや低い評価を示していた。

[9] AGF 工法の選定について

この対処については、大きく評価が分かれた。発注者と施工者はほぼ同じ評価であるのに対して、設計者は低い評価となっている。

施工者は、トンネル上部の補強対策として AGF 工法の選択は適切であるという意見が多いが、トンネル脚部の補強が考慮されていないという指摘が多かった。

一方、設計者の低い評価のうち、特に信頼性の項目が低く、この結果がそのまま総合の評価に影響しているようである。コメントによると、AGF 工法は脚部の弱い所では不相当であるとするものや、地すべり対策ではないというものがあつた。

[10] 断面拡幅のためのウレタン注入式フォアポーリングの施工について

全評価項目とも発注者の評価が低く、特に経済性、施工性で低い評価となっている。

全体的な意見としては、脚部補強を行うべきであるというものと、拡幅は安全上問題があるというものがあつた。またウレタンの採用については、施工者は妥当であるというものが多いのに対して、発注者ではウレタンの量や改良範囲に問題があるという意見が多かった。

[11] AGF 鋼管沈下後の対策としての AGF 鏡止めボルトの施工について

三者ともほぼ同様な回答傾向を示しており、比較的低い評価となっている。

発注者は、鏡止めの AGF 工法は本来の使い方ではないのではないかという意見や、位置が悪く本数が多すぎる等の意見があつた。三者とも高価な AGF による鏡止めの他に、より合理的な方法があつたのではないかという意見が多かった。

[12] AGF 鋼管の沈下した状態での粘土帯突破計画について

三者とも同様な評価をしており、設計者の評価がやや低い。また三者とも安全性、信頼性の評価が低い。

この項目に対する設計者のコメントは、他の項目

のコメント数に比較すると目立って多く、トンネルがつぶされる可能性があるというものや、地すべり誘発の可能性が高いというような、重大災害発生になりかねないというものから、早急に悪い区間を抜けるのが良いという意見等があった。

[13] 侵された内空断面への第2シフト AGF の施工について

発注者と施工者は総合の適切度で 3.6~3.8 の評価をしているのに対し、設計者は 2.9 と低い評価となっている。

設計者は第 1 シフトでの変状で大きなゆりみを生じている可能性があり、第 2 シフトをそのまま進むのは問題があるというものや、AGF で突破できる保証はないという意見があった。[9] の AGF 工法の計画でも同様な結果がでており、AGF 工法の適用については設計者は低い評価をしている。施工者の意見としては、この対処は適切で、早急に悪い箇所を突破するのが良いとする意見があった。

現場で日々の管理を行っている施工者としては迅速な判断をし、その場その場で的確な判断を迫られているのに対し、設計者はデータに基づき比較的確実に対処するという立場の違いがうかがえる。

[14] 縫返しにおけるレールの打ち込みとウレタン注入式フォアポーリングの施工について

施工者、発注者、設計者の順に評価が低くなっているが、ほぼ同様な傾向となっている。

施工者の意見には、レールの打ち込みは現場技術者の迅速な判断によるものであり妥当としているものが多かった。

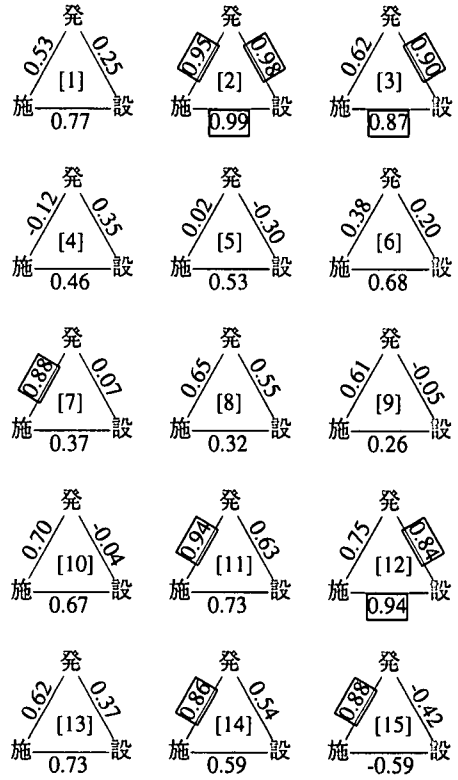
設計者はウレタンの使用に対して意見を述べており、施工全体を通じて粘性土地山に対するウレタンの使用に対して信頼性に疑問があるとしており、低い評価となっている。

[15] 対象トンネルの工事全体の評価について

[1]~[14] の各質問事項の回答は、少数の項目における設計者の評価を除いて三者とも適切度がほぼ 3~4 に入っており、[4] と [8] については適切度が 4~5 の高い評価となっていた。しかし、総合的にこの事例を評価したこの項では、3.0 以下となっている。特に設計者の評価が低く、安全性と信頼性に対して他者の評価に比べ著しく低い評価となっている。

(2) 回答結果に基づく各個人属性の相関性の検討

次に各施工項目において、技術者の個人属性間の相関性について検討する。



発... 発注者 設... 設計者 施... 施工者  
(角囲みは相関係数が 0.80 以上のもの)

図-9 各質問項目における回答者間の単相関係数

図-9 は、個人属性間の単相関係数を各質問項目ごとに、“総合”の回答結果を用いて求めたものである。図に示される単相関係数の内、係数が 0.80 を越えるものに対しては角囲みで示している。図から質問項目[2]を除けば三者間に強い相関は見られず、個人属性の違いにより回答結果は比較的ばらついていようである。

これは、同様の施工内容であっても、個人属性が異なれば施工に対する評価は異なることを表している。したがって本報告のように、施工に対する評価を目的とする場合は、技術者の個人属性に注目した評価を行う必要があることを示唆しているものと考える。

(3) まとめ

対象トンネルの施工に対するアンケートの結果をとりまとめ、考察を加えて以下に示す。

全体として、トンネル施工におけるそれぞれの対策工についての各論については必ずしも適切とはいえないものの、やむをえないということで比較的高い評価を行っていたが、総合的に評価した場合には、



一貫した計画性がない、あるいはその場限りの対処をしていたという印象のためか総合的な評価は低くなっている。

発注者の意見としては、調査が不十分であるという意見や、追加調査が遅いという意見があり、発注者はトンネルにおける事前調査を重視しているようである。また、経済的にやや不利なウレタンの採用に対しての評価が低い。施工者は、発注者、設計者に比べ高い評価結果を示している。施工者のコメントは各対策について良否を述べているものが多く、他の設計者、発注者にも同様な意見を述べているものがあつたが、施工上、地耐力不足による沈下対策や、地すべり粘土に対する対策等について言及していた。三者の中でも設計者の評価は低く、コメントには各対策が後手、後手にまわつたというのや、総合的判断に欠けていたというものがあつた。また適切度を見ると信頼性に対する評価が低い。

発注者の意見に見られたように、初めから高価な材料を用いた補助工法の採用は難しいため、必然的に段階を追って、グレードの高い対策へと移行していかざるを得ないという現状があるということもこれらの評価にあたっては考慮しなければならない。

#### 4. 技術者の属性によるアンケート回答の相違

##### (1) 分析方法

本報告では、技術者の職種や立場などのいわゆる個人属性が、補助工法の採用に対してどのように影響しているかを調査することも目的としている。補助工法の選定は技術者の経験や立場などに大きく依存することが考えられる。そこでここではアンケートの回答結果を用いたクラスター分析<sup>6)</sup>を行うことにより、各施工項目に対する評価パターンの分類を行い、それぞれの評価パターンについて考察を行う。

本報告ではクラスター分析を行うにあたり、個人属性が評価パターンに与える影響を明瞭にするために、変量である施工項目をいくつかに絞り込んで解析を行った。またクラスター分析に用いた回答結果は、各質問項目における総合に対する結果を適用した。クラスター分析の手法としては、実用度が高いとされるウォード法<sup>6)</sup>を用いた。

##### (2) 評価の対象とする施工項目

評価パターンの分析に用いる施工項目の抽出は、以下の2つの方法により行った。

一方は、6名のトンネル技術者に[1]～[15]の質問

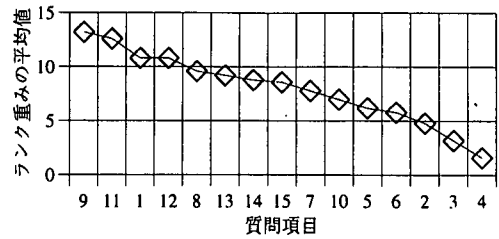


図-10 関心の高い施工項目のランクの平均値

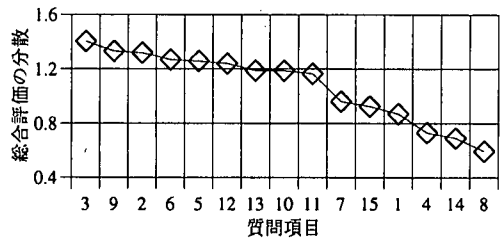


図-11 各質問項目の総合に対する回答結果の分散

表-3 抽出項目の一覧

	評価の対象とした施工項目
抽出項目 A	[1],[8],[9],[11],[12],[13],[14]
抽出項目 B	[2],[3],[5],[6],[9],[12],[13]

項目のそれぞれの現象に対して、安全面、経済面などを総合した技術的判断がどの程度必要かという観点から関心の高い順に施工項目のランク付けをしてもらい、ランクの高いものから順に15, 14, ..., 1の重みを与え、ランクの重みの平均値を用いて施工項目の抽出を行ったものである。アンケートは、表-2に示す施工の一覧表を回答者に示し、空白部にランクを記してもらった。図-10にランクの平均値を示す。図-10の結果の中で、ランクの高いもの7項目を対象として分析を行った。このようにして求められた抽出項目を抽出項目 A と呼ぶ。

他方は回答者個人の意見が大きくばらついている質問項目を対象とすることを目的とし、各質問項目の総合に対する回答結果の分散を求め(図-11)、分散の大きいもの7項目を抽出した。このようにして求められた抽出項目を抽出項目 B と呼ぶ。

表-3に抽出項目 A および B の施工項目の一覧表を示す。

##### (3) 抽出項目 A に対する分析

###### a) 評価パターンの分析

抽出項目 A に対して行ったクラスター分析の結果、評価パターンを5種類に分類した。図-12に各評価パターンの平均値を樹形図とあわせて示す。図

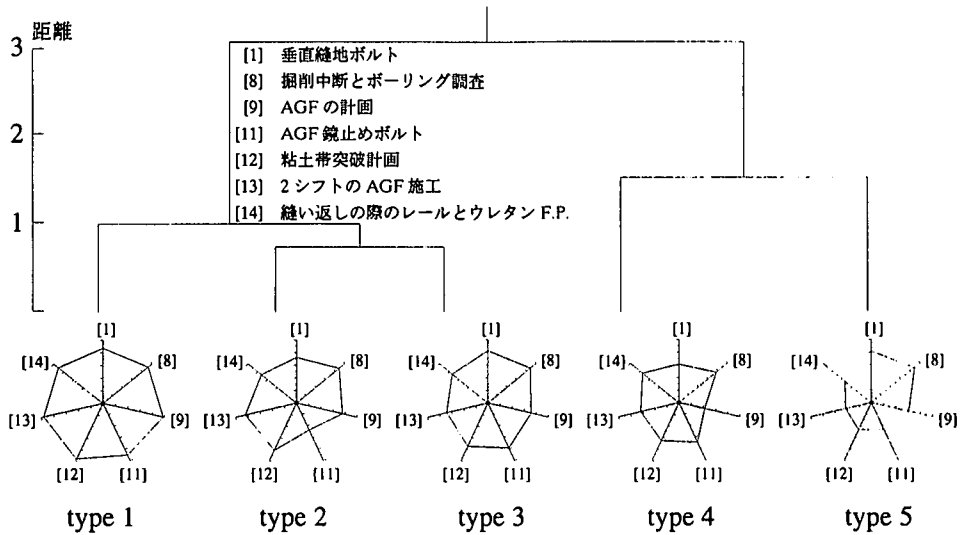


図-12 抽出項目 A に対する樹形図と各評価パターンの平均値

表-4 抽出項目 A の評価パターンの特徴

評価パターン	評価の低い項目	特徴
type 1	なし	全体的に評価の高いパターン
type 2	AGF 鏡止めボルト	経済性および施工性を重視するパターン
type 3	なし	type 1 の相似形で type 1 に比べやや評価の低いパターン
type 4	AGF 工法の選定	対策工の効果や信頼性を重視するパターン
type 5	AGF 沈下後の施工	応急処置的な対策よりも計画的な対策を重視するパターン

図-12 に示す樹形図は縦軸が各評価パターン間の距離を表しており、距離が長い（縦軸の値が大きい）ほど評価パターンの類似度は小さいことを表す。

それぞれの評価パターンを見ると、type 1 と type 3 は全項目ともほぼ同様の評価がなされているパターンで、type 1 はいずれの項目も高い評価、type 3 は type 1 に比べやや低い評価を示している評価パターンである。その他のパターンはいずれも評価の低い項目を含んだ評価パターンである。

type 2 は [11] の“AGF 鏡止めボルト”の評価が低いパターンである。鏡止めボルトは通常のロックボルトに比べ高い効果が期待できるが、経済性にやや難があり、掘削に伴って切断が必要となり施工性に欠ける。したがって type 2 は経済性および施工性を重視するパターンと考えられる。

type 4 は [9] の“AGF 工法の選定”の評価が低いパターンである。回答に添えられたコメントを参考に

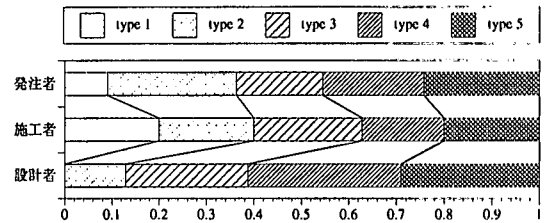


図-13 抽出項目 A に対する各評価パターンの個人属性別の構成率

すると AGF 工法に否定的な意見として、AGF には地すべり抑制の効果は期待できないというものが多かった。したがって type 4 は対策工の信頼性を重視する評価パターンと考えられる。

type 5 は、[11] から [14] までの項目の評価が低いパターンで、これらはいずれも AGF 鋼管沈下後の施工に関する項目である。対象トンネルでは AGF 鋼管沈下後は、応急処置的な対策工が採用されている。したがって type 5 は応急的な処置にやや批判的な評価パターンであると考えられる。

抽出項目 A のそれぞれの評価パターンの特徴をとりまとめて表-4 に示す。

#### b) 個人属性と評価パターンの関係

図-13 は、抽出項目 A における各評価パターンの構成率を、個人属性別に示したものである。

図を見ると、発注者では type 2 と type 5 の構成率が比較的高い。type 2 と type 5 は共通して、[11] の評価が低い。[11] は切羽の押し出しに対する AGF 鏡ボルトの施工である。AGF 鋼管は他の鋼管と比べてやや高価であり、したがって経済性を追求する発注者

の評価パターンの構成率において、これらのパターンの構成率が高く表れたと考えられる。

施工者は、それぞれの評価パターンがほぼ同等の構成率を示している。回答に添えられたコメントにおいても、施工者は工事の評価に是認的なものと否認的なものがあった。常日頃より現場に接する機会が最も多い施工者にとって、突発的なトラブルに対する施工は大きな課題の一つであり、対策工の選定においては経験を重要視しているものと思われる。その評価パターンがばらついているということは、施工者の評価基準の個人差が大きいことが考えられる。

設計者では type 1 の評価パターンがなく、type 4 と type 5 の構成率が高い。これらの評価パターンはいずれも全項目とも比較的评价の低いパターンである。特に[9]（地すべり帯に対する AGF 工法の選定）に関しては両者とも低い評価となっており、施工計画に関して低い評価がなされているものと考えられる。表一4にもあるように type 4、type 5 は施工の信頼性と計画性を重視するパターンと考えられ、設計者の個人属性による影響が強く表れているものと考えられる。実際、回答に添えられたコメントにおいても設計者は施工の計画性などを言及しているものが多かった。

#### (4) 抽出項目 B に対する分析

##### a) 個人の評価パターンの分類

抽出項目 B に対して行ったクラスター分析の結果、評価パターンを抽出項目 A と同様に 5 種類に分類した。図一14 に各評価パターンの平均値を樹形図とあわせて示す。

それぞれの評価パターンを見ると、type 1 は全体的にはほぼ適当とするパターンで、その他はいずれかの項目の評価が低いパターンである。

type 2 では[12]、[13]の項目の評価が低い。これらの項目は地すべり地帯の施工に関する項目である。

type 3 は[3]の“増しボルトの施工”の低い評価パターンである。回答に添えられたコメントによると、増しボルトは粘性土に対する効果が不明瞭であるとの意見が多かった。したがって type 3 は、理論的裏付けを重視するパターンであると考えられる。

type 4 は[5]と[6]が低い評価パターンであり、これらの項目はいずれも鏡の押し出しに対する処置的な施工である。したがって type 4 は、応急処置的な対策に批判的なパターンと考えられる。

type 5 は、[5]と[6]の評価は type 4 ほどではないが、[9]、[12]、[13]に対しては他と比べて評価の低いパターンである。したがって、このパターンは AGF の採用を含めたトンネル掘削の計画性を重視するパター

ンと言えよう。

抽出項目 B のそれぞれの評価パターンの特徴をとりまとめて表一5に示す。

##### b) 個人属性と評価パターンの関係

図一15 は、抽出項目 B における各評価パターンの構成率を、個人属性別に示したものである。

発注者は type 1 から 3 まですべて 8 割以上の構成率を示しており、type 4 と type 5 の構成率が低い。type 4、type 5 の評価パターンは、全体的に低い評価がなされているパターンであり、したがって抽出項目 B を対象とした場合、発注者は施工の評価に対して比較的是認しているものと考えられる。しかしながら type 3 の構成率が高いことから、増しボルトの採用に対してやや否定的であると考えられ、新たな材料を必要とする施工に対して否定的であると考えられる。

施工者は抽出項目 A の分析結果と同様に、各評価パターンの構成率がほぼ同等である。この結果からも、施工者における評価パターンは個人差が大きいものと考えられる。

設計者は発注者とは対照的に、type 1 がなく type 5 が最大となり、低い評価パターンの構成率が高い。したがって抽出項目 B を対象とした評価では、設計者の評価は低いものと考えられる。

#### (5) まとめ

ここでは各施工における技術者の評価に対してクラスター分析を行い、各抽出項目に対して評価パターンを求め、発注者、施工者、設計者の個人属性別に評価パターンの構成率を求めた。以下に得られた結果をとりまとめて考察を加える。

クラスター分析はトンネル技術者の関心の高い項目を対象としたもの（抽出項目 A）と、各施工項目の評価結果の分散が大きい項目を対象としたもの（抽出項目 B）の二種類の分析を行った。その結果、抽出項目 A と B の両者とも評価パターンの構成率は分析の対象とした項目が異なるにもかかわらず、発注者と施工者は比較的類似の構成率を示し、設計者はかなり異なった構成率を示すという共通の傾向が見られる。

発注者では、AGF 鏡止めボルトや増しボルトなどの特殊な材料を必要とする施工に対して否定的であり、経済性および施工性を重視しているものと考えられる。施工者は、評価パターンの構成率の偏りが少なく、いずれの評価パターンもほぼ同等な構成率を示していることから、それぞれの施工に対する評価は各個人の経験に基づく個人差が大きく影響しているものと考えられる。設計者は抽出項目 A と B のそれぞれの分析の結果、両者とも全体的に評価の

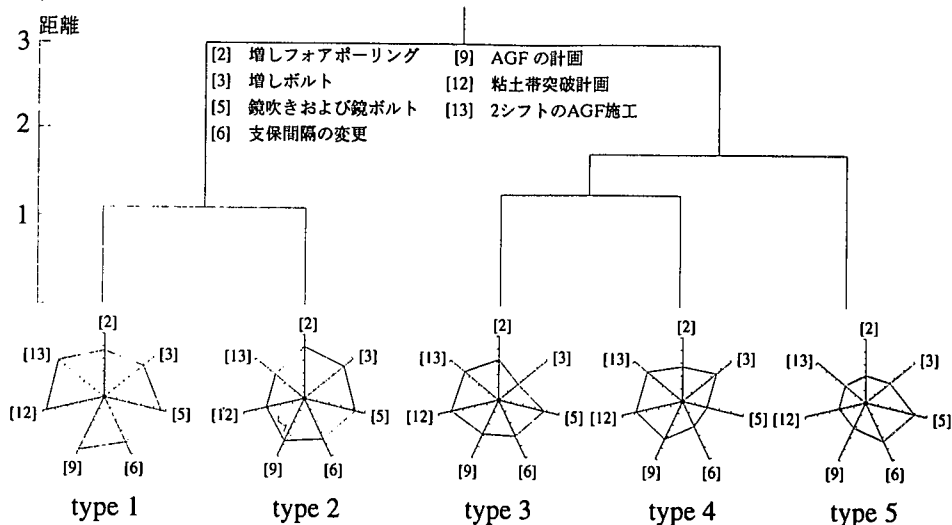


図-14 抽出項目 B に対する樹形図と各評価パターンの平均値

表-5 抽出項目 B の評価パターンの特徴

評価パターン	評価の低い項目	特徴
type 1	なし	全体的に評価の高いパターン
type 2	AGF 沈下部の施工	合理的な施工を重視するパターン
type 3	増しボルトの施工	理論的裏付けを重視するパターン
type 4	切羽の鏡処理と支保間隔の変更	応急処置的な対策よりも計画的な対策を重視するパターン
type 5	切羽の鏡処理と支保間隔の変更を除く項目	計画性を重視するパターン

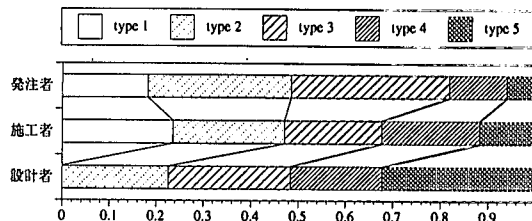


図-15 抽出項目 B に対する各評価パターンの個人属性別の構成率

高い type 1 のパターンが存在せず、したがって設計者は各施工について厳しい意見を多く含んでいるものと考えられる。

本アンケートの対象者は、大別すると発注者と民間会社の技術者（施工者と設計者）となる。しかしながら施工者と設計者の評価は大きく異なっており、同様の職種でも立場が異なれば評価も異なることが示されている。

一般に設計者は多種多様なトンネルに携わることが多く、トンネル技術の幅広い情報に接することが多い。また設計者が取り扱う問題は頻繁に生ずるものではなく、トンネル施工において比較的重要度の高いものが多い。このことから設計者は施工の全体の流れを論理的にとらえ、その裏付けによって結

論を出すという方法を取ることが多い。

一方施工者は、担当する特定のトンネルについては深い知識が要求されるが、新しい技術に接する機会が設計者に比べ少ない。施工者は日々状態が変化する切羽で適宜対処していかなければならず、切羽の状態が急変すれば論理的な裏付けはなくとも迅速な対処が要求される。

こうした設計者と施工者の環境の違いがアンケート調査の違いになっていると考える。一方、発注者と施工者は対象トンネルのように地山状態の変化が激しい場合、頻繁に協議する機会が多く、したがって発注者と施工者の評価結果は比較的似たものとなったようである。

## 5. おわりに

本報告ではトンネル施工の例として、種々の補助工法が採用されたトンネル施工を取り上げて、その工事についてのアンケート調査をトンネル技術者に対して行い、その結果より対象トンネルの施工の評

価と、各技術者の補助工法の選定に対する意識について考察を行った。

考察は、適切度およびコメントによる基礎的な分析結果と、回答結果のクラスター分析による分析結果のそれぞれについて行った。

基礎分析の結果によると

1. 発注者は、事前調査や追加調査に対して多くのコメントをしており、事前設計を重視しているようである。
  2. 施工者は他者に比べて対象トンネルの施工に対して比較的評価が高い。またコメントによるとトンネル工事全体の評価よりも、各要所での施工に対して意見を述べており、これは日々のトンネル管理を重視しているためと考えられる。
  3. 設計者は全体的に評価が低く、特に信頼性に対して評価が低い。
- という結果が得られた。

またクラスター分析の結果より

1. 発注者は AGF 鏡止めボルトやウレタンの使用に対してやや否定的であり、特殊な材料を要する施工に対して低い評価を示している。
  2. 施工者の評価傾向は比較的個人差が大きく、これは施工者が個人の経験を重視しているためだと思われる。
  3. 設計者の評価傾向は、評価の低い評価パターンが大部分を占めており、各施工に対して否定的な意見を多く含んでいるものと思われる。
  4. 発注者と施工者の評価傾向は類似の傾向を示しており、これは発注者と施工者の接点が設計者に比較して多いためと思われる。
- という結果が得られた。

本アンケートでは、特に技術者の個人属性に注目し、それぞれの個人属性における評価傾向の違いについて分析と考察を行った。アンケートのコメントから察するとトンネル技術者の技術的判断は、各技

術者の経験に大きく依存しているということがうかがわれた。しかし解析結果に見られるように、個人属性によってもかなり明確な傾向が得られた。本報告で得られた個人属性の相違点を各技術者が認識し、発注者、施工者、設計者のそれぞれの判断基準を統一化することによって、より合理的な補助工法の選定が行えるものと考えられる。

謝辞：本報告のアンケート調査に協力いただいた中央官庁、公団および民間の建設会社の方々に謝意を表す。また、本報告の作成にあたり貴重な助言をいただいた山口大学助教授 清水則一博士および(株)大本組技術本部 鈴木昌次博士に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 鈴木昌次, 古川浩平, 井上洋司, 中川浩二: NATM 施工実績に基づく事前設計の評価に関する一考察, 土木学会論文集, No.427/VI-14, pp.261~270, 1991.3.
- 2) 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.
- 3) 鈴木昌次, 古川浩平, 日永田雅司, 中川浩二: NATM における施工時の経験的設計手法の合理化に関する一考察, 土木学会論文集, No.468/VI-19, pp.47~56, 1993.6.
- 4) 中田雅博, 鈴木昌次, 古川浩平, 中川浩二: NATM 蓄積データに基づく施工時の地山挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.567/VI-35, pp.127~140, 1997.6.
- 5) 日本道路公団: 設計要領 第三集 第9編 トンネル, p.79, 1986.
- 6) 菅民郎: 多変量解析の実践(下巻), 現代数学社, pp.179~194, 1993.
- 7) 庄野豊, 井上義之, 中園真人, 中川浩二: 高速道路の景観設計評価における評価主体依存性, 土木学会論文集, No.553/VI-33, pp.93~102, 1996.12.

(1997. 10. 31 受付)

## QUESTIONNAIRE INVESTIGATION ON ENGINEERS EVALUATION AND DECISION OF SELECTION OF AUXILIARY METHOD IN TUNNEL CONSTRUCTION

Koji NAKAGAWA, Yoshio MITARASHI, Hidekazu TERATO and Nobuo KIMURA

This report concerns on the various criticisms on the auxiliary methods which applied in an actual weak rock tunnel construction. A series of questionnaire was given on a series of the selection and application of auxiliary methods in a tunnel construction. It asked answers on each selection or application from the safety, economical, easiness, reliability, and overall point of views. 101 people from clients, site and design engineers filled out the questionnaire. The statistically analyzed results showed a tendency of the criticisms which slightly depends on the occupation of an individual.