

アンケートによる補助工法の選定に対する技術者の意識評価

EVALUATION ON ENGINEERS DECISION OF SELECTION OF AUXILIARY METHOD BASED ON QUESTIONNAIRE INVESTIGATION

中川 浩二¹⁾・御手洗 良夫²⁾・寺戸 秀和³⁾・木村 恒雄⁴⁾
Koji NAKAGAWA, Yoshio MITARASHI, Hidekazu TERATO, Nobuo KIMURA

A questionnaire investigation was executed to make difference by occupation on selection of auxiliary methods clear in this report. The questionnaire investigation used an actual weak rock tunnel construction as questions. And it asked validity of auxiliary method as answers from each point of view of safety, economical, easiness, reliability, and whole construction. 101 people from clients, site and design engineers filled out the questionnaire. That result were analyzed statistically and showed tendency of engineers decision.

Key Words : questionnaire, auxiliary method, engineers decision, difference by occupation

1. はじめに

近年の山岳トンネル施工においては、補助工法の選択や採否の決定が合理的なトンネル施工を進めるための重要な因子となっている。したがって、合理的な補助工法の選択方法や採否の決定基準の開発が望まれる。

一般に補助工法の選定は、当該トンネルを担当する技術者によって決定される。補助工法の選定にあたって技術者は、各々の経験や工学的あるいは技術的な判断に基づいた総合的な判断を行い、最適と考えられる補助工法を選択する。その後、当該トンネルを担当する他の技術者の意見と比較し、最終的な補助工法が選択される。このとき、それぞれの技術者の意見が食い違うことがしばしばある。それは、個々の技術者がそれまでに経験したトンネル施工が異なることや、技術者の職種あるいは立場が異なるためである。より合理的な補助工法を選択し、安全で経済的なトンネル施工を行うためには、それぞれの技術者の補助工法の選定基準や補助工法に対する意識を把握し、技術者間の意見の食い違いや補助工法に対する意識の相違点を小さくすることが重要であると考えられる。

そこで本報告では、その解決策の第一歩として補助工法の採用に対する技術者の意識を明らかにするために、アンケート調査を実施した^{1)・2)}。アンケートは、トンネル施工の中で採用された補助工法の適切さを問うこととした。アンケートに用いたトンネル施工は、仮想のものを想定することが困難なため、実際のトンネル（以下、対象トンネルという）の施工を参考にした。対象トンネルの施工は、本アンケートで対象とした補助工法以外にも種々の補助工法が採用され無事掘削が終了しているが、それら全ての補助工法をアンケートの対象とすることは困難であるため、本報告では対象トンネルで行われた代表的な補助工法あるいは意思決定のみを対象とした。

2. 対象トンネルの施工概要

対象トンネルは、付近一帯に地すべり性の粘土が分布する地山に施工された延長270mの2車線道路トンネルである。図-1に対象トンネルの施工の概略図を示す。以下に対象トンネルの施工の流れを図-1に沿って述べる。

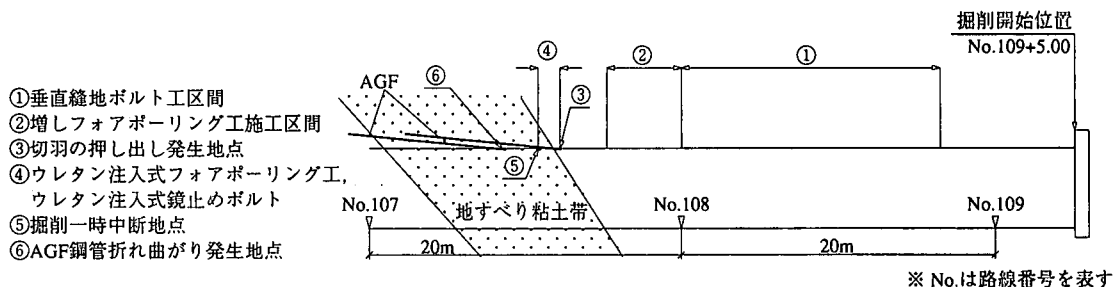
対象トンネルでは、掘削に先立ち①の区間において垂直縫地ボルトが施工された。この区間では、天端および切羽とも安定した施工が行われた。しかしながら、垂直縫地ボルト施工区間を過ぎた②区間では、天端の崩落が頻繁になり、増しフォアポーリングの施工が行われた。その後、③の地点において軟弱な粘土に遭遇し、天端が切羽の3~4m奥からすべりを生じ崩落した。その対策として、③の地点では鏡吹付けコンクリートと鏡止めボルト工が

1) 正会員 工学博士 山口大学 工学部 社会建設工学科

2) 正会員 工学修士 (株)熊谷組 土木本部

3) 正会員 修士(工学) 山口大学 工学部 社会建設工学科

4) 正会員 工学修士 山口県

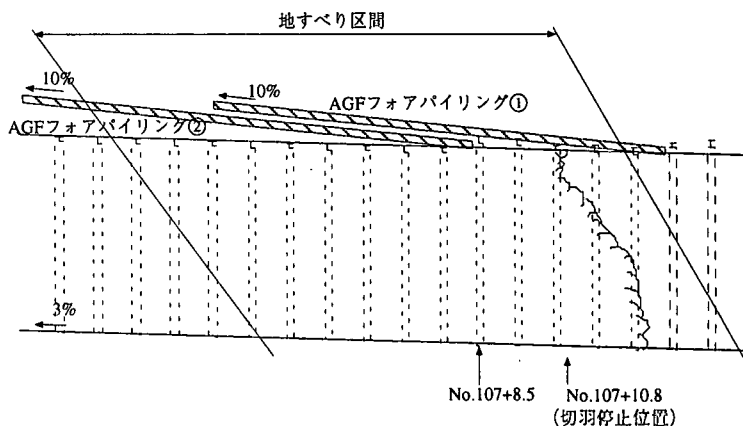


図一 対象トンネルの施工の概略

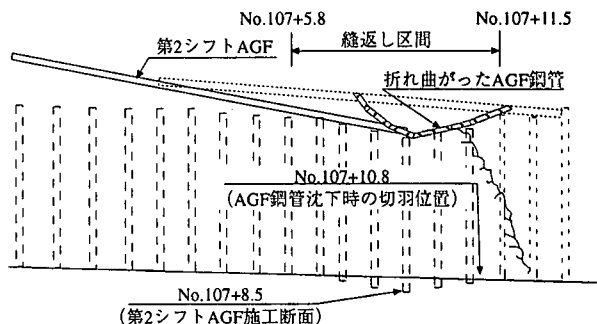
施工された。その後、④区間(約2.4m)では支保工の間隔を1.0mから0.7mに変更し、同時にウレタン注入式フォアボーリングとウレタン注入式鏡止めボルトが施工された。④区間の終点(⑤地点)まで掘削したところで、以後のトンネル掘削について検討するため一旦掘削を中断した。

検討に先立ち⑤地点から水平ボーリング調査(40.0m)が行われ、更に切羽から30m奥付近の断面において鉛直ボーリング調査(35.0m)が行われた。その結果、図一に示すような地すべり粘土帯の存在が予想された。そこで地すべり帯を突破するために、鋼管長尺先受け工法の一つであるAGF(All Ground Fasten)工法が採用された。AGF鋼管の打設長は12.5mとし、地すべり粘土帯を完全に横断するため図二に示すように7.5mのラップ長を持つ2シフトのAGFが計画された。また、AGFの基地確保のための断面拡幅においては、ウレタン注入式フォアボーリングが施工された。

第1シフトのAGF施工後、第2シフトAGF施工の基地確保ため⑥地点まで掘削を進めたところ、AGF上部の地すべり粘土がすべりを生じ、そのため切羽の押し出しと第1シフトのAGF鋼管の折れ曲がりが生じた(図三)。その対策として、⑥の地点において鋼管長12.5mのAGF鋼管が鏡面に27本打設された。ここで鋼管沈下部の施工を検討した結果、沈下した天端部へ第2シフトのAGFを施工し(図三)、その後縫返しによって内空を確保することとした。縫返しにあたっては、第1シフトの施工断面から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ボーリングが施工された。この方法によって地すべり粘土帯における施工は無事完了した。その後の施工は順調に行われた。



図二 AGF 施工計画断面図



図三 AGF 鋼管の折れ曲がりと第2シフトAGFの施工状況

3. アンケート調査の概要

アンケート調査は、前章で示した施工概要を詳しく述べた上で、対象トンネルの施工を15の施工ポイントに分

表-1 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

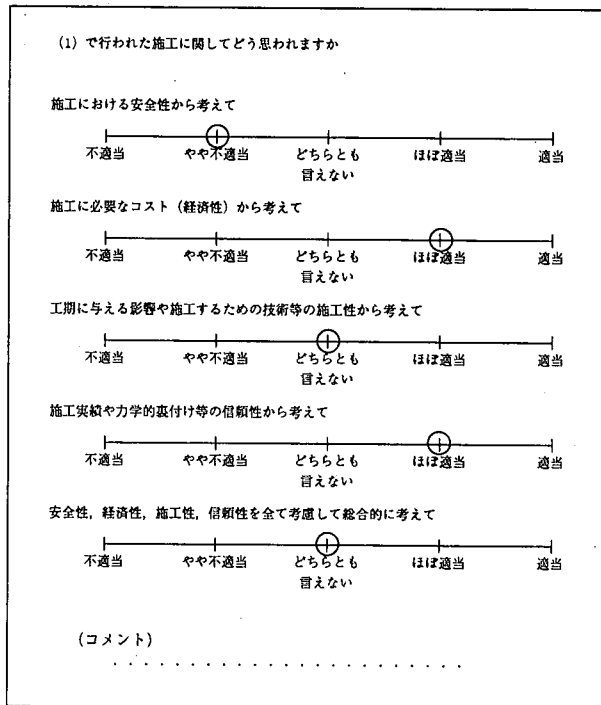


図-4 アンケートの回答例

割し(表-1)，それぞれの施工ポイントで行われた補助工法あるいは意思決定がどの程度適当であるかを問う形式とした。以下，[]で囲まれた数字は表-1の各施工項目に対応する。回答は，それぞれの補助工法あるいは意思決定の適切さを安全性，経済性，施工性，信頼性，総合的観点の5項目について問うこととした。また，任意にコメントを付け加えてもらった。アンケートの回答例を図-4に示す。

アンケートの回答者は、対象トンネルの施工担当者以外のトンネル技術者を対象とした。回答者総数は101名であり、その内発注者が34名、民間建設会社の現場担当者（以下、施工者という）が35名、民間建設会社の設計・工務・技術支援担当者（以下、設計者という）が32名である。

4. アンケートの結果と考察

(1) 回答結果の平均値

アンケートの回答結果のとりまとめにあたっては、“適切度”という指標を設定した。これは、アンケートの回答結果を数値で表したものであり、不適当から適当までをそれぞれ1から5の数値で置き換えたものである。

図一5は、回答結果の平均値を発注者、施工者、設計者ごとに表したものである。図によると、技術者はいずれの施工に対しても比較的似通った評価を示しているが、いくつかの項目において大きく評価が分かれる施工項目が見られる。

評価の大きく分かれる項目としては、[9]あるいは[13]の施工があげられる。これらの項目は、いずれも AGF の施工に関する項目であり、設計者の適切度が低い。これらの回答に添えられたコメントには、AGF で突破できる保証がない（設計者）とするものや早急に悪い箇所を抜けることが必要なため妥当な施工である（施工者）というものがあつた。これらの意見の相違は、データに基づき確実な対応を試みる設計者と、現場における日々の管理を行う施工者の立場の違いによって生じたものと思われる。

全体的に適切度の高い項目としては[4]や[8]などがある。[4]は、緊急時の対策として最良であるとする意見が多く見られたが、発注者の経済性の適切度が比較的低い。これは、吹付けコンクリートを大量に使用することへの抵抗感のためと考える。このことから発注者は経済性を重視していることが伺える。[8]に対しては妥当とする意見

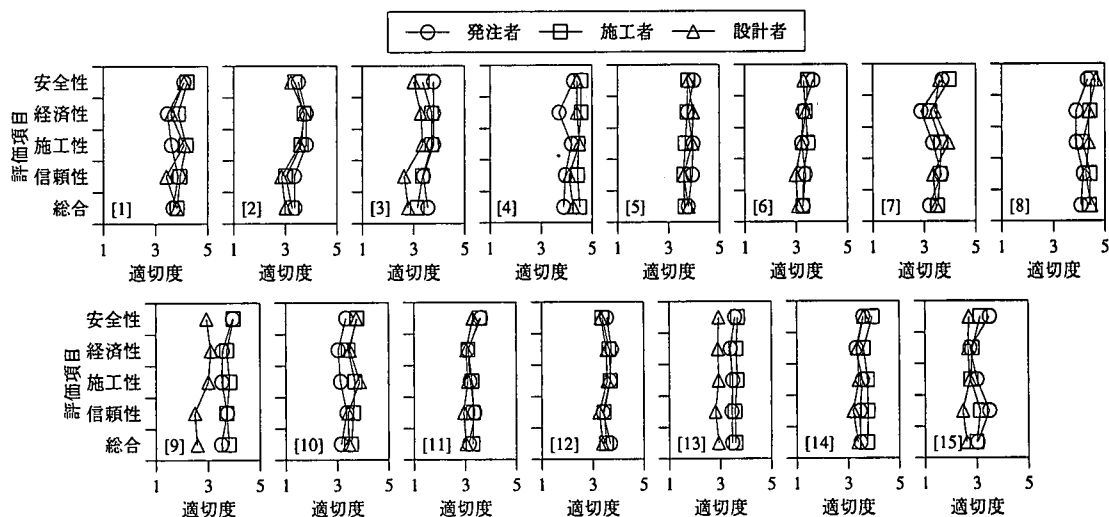


図-5 回答結果の平均値

が多く見られたが、設計者の中には時期がやや遅いという意見や、さらに1~2本は追加ボーリングが必要とするものがあつた。

全体的に評価の低い項目としては、[11]あるいは[15]などがある。[11]に関しては、三者とも経済性および施工性に問題があることを指摘している。工事全体の評価である[15]に関しては、特に設計者の適切度が低い。この回答に添えられたコメントには、施工に対する計画性が低い(設計者)とするものや、ウレタンの多用による経済性の悪化(発注者)を述べたものがあつた。施工者は、[1]~[14]の適切度は比較的高いものの、総合的に評価をする[15]に関しては低い適切度を示しており、各施工ポイントにおける対処はやむを得ないものの、総合的にはやや不適切な施工を含んでいると考えているようである。

(2) 技術者の属性による回答の相違

ここでは、回答結果の類似度を検討することによって、技術者のグループ分けを行い、各グループの評価の傾向とそのグループの技術者の構成率を求める。グループ化の手法には、クラスター分析³⁾を用いる。クラスター分析とは、2つ以上のサンプルをいくつかの変数の類似性に基づいてサンプルのグループ化を行うものである³⁾。本報告では、回答者がサンプルとなり、変数はアンケートの回答結果の内、各施工項目の総合的観点に回答された適切度を用いることとした。なお、クラスター分析には、実用度が高いとされるワード法³⁾を用いた。

クラスター分析にあたっては、変数として2種類の施工項目を用いた。すなわち、a) 技術者の関心が高い7項目、b) 技術者の評価のばらつきが大きい7項目、の2種類である。a) に関しては、まず6名のトンネル技術者に対して表-1の15項目のそれぞれの現象に対して、安全面、経済面を総合した技術的判断がどの程度必要であるかという観点からランク付けをしてもらった。次にランクの高い方から順に15~1までの重みを与え、その重みの平均値を求め(図-6)、平均値が高いものから順に7項目を抽出した(抽出項目A)。b) に関しては、施工項目ごとの総合的観点に対する回答結果の分散を求め(図-7)、分散

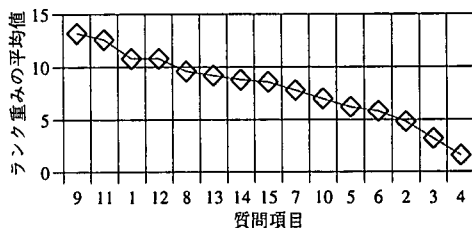


図-6 関心の高い施工項目のランクの平均値

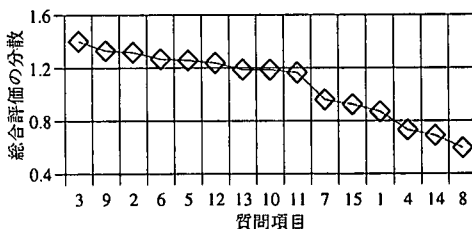


図-7 各質問項目の総合に対する回答結果の分散

表-2 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]

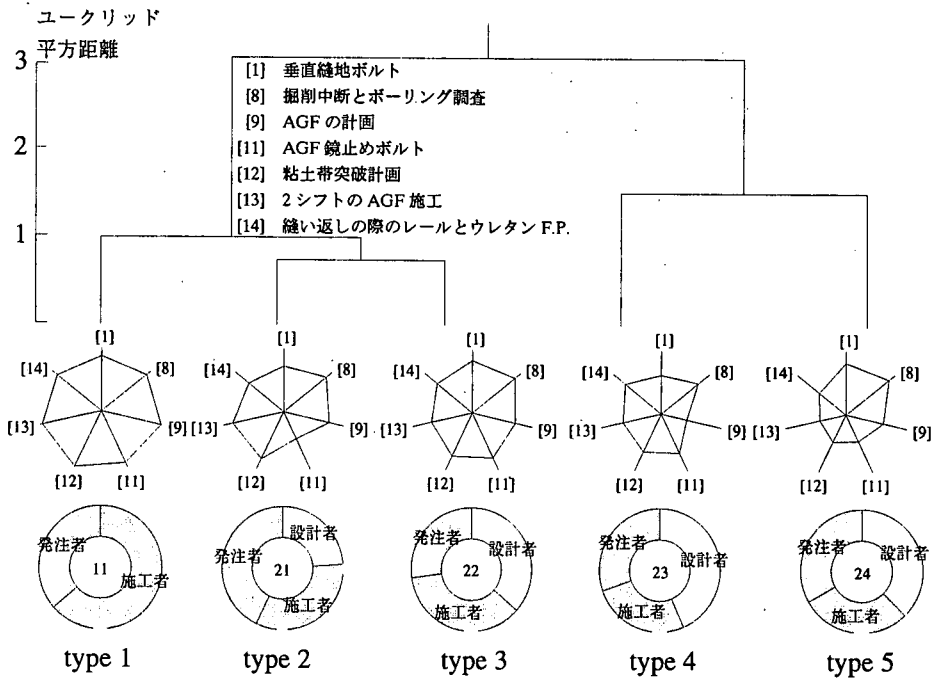


図-8 抽出項目 A に対する分析結果

が大きいものから順に項目を抽出した（抽出項目 B）。表-2 に各抽出項目の施工項目の一覧を示す。表から、技術者の関心の高い項目である抽出項目 A は、垂直縫地ボルト、ボーリング調査、AGF の計画、粘土帯の突破計画など、施工計画を含めた掘削前に行われる施工を中心としたものである。一方、技術者の意見がばらついた抽出項目 B は、増しフォアボーリング、増しボルト、鏡吹付けなどの施工中の事象が中心となっているようである。

a) 抽出項目 A に対する分析結果

抽出項目 A を対象としたクラスター分析の結果、回答者（サンプル）を 5 つのグループに分類した。図-6 は、クラスター分析から得られた樹形図である。樹形図は、縦軸が各サンプル間の距離を表しており、縦軸の値が大きいほど類似度が小さいことを表す。また、樹形図の根の部分に示された 2 種類の図は、上段が各グループにおける適切度（変数）の平均値（各軸の最大値はいずれも 5）、下段が各グループの技術者の構成率（中心の数字はグループ内の回答者の総数）を表したものである。本報告では、それぞれのグループを type 1～5 と称す。type 1 は、全体的に評価の高い項目で、その他の type はいずれかの施工項目あるいは全体的に適切度の低い施工項目を有する type である。また、それぞれの type における技術者の構成率を見ると、type 1 では設計者が存在せず、type 4 や 5 などの比較的评价の低い type に設計者が多い。このことから設計者は、対象トンネルの施工に対する評価が低いことが分かる。一方、発注者と施工者は type 1 を除くと、それぞれの type における構成率はほぼ同様であることが分かる。これは、発注者と施工者はトンネル施工において一般に協議する機会が多く、そのため両者の意識が比較的似通っているためだと考える。

b) 抽出項目 B に対する分析結果

抽出項目 B に対するクラスター分析の結果、抽出項目 A と同様に回答者を 5 種類のグループに分類した。抽出項目 B に対する樹形図を図-9 に示す。図によると抽出項目 A の場合と同様に、type 1 がいずれの施工項目もほぼ適当とするグループで、その他のグループはいずれかの施工項目に対して低い評価がされているグループと考えられる。また、各 type における技術者の構成率を見ると、全体的に評価の高い type 1 では設計者が存在せず、施工者と発注者がほぼ同等な構成率を示している。この結果は、抽出項目 A に対する分析結果（図-8）に対するものと同様の結果である。type 2～4 までの技術者の構成率は三者ともほぼ同一である。これらの type は、図によるといずれかの施工項目の適切度が低いとする type と考えられる。また、回答者の大半が type 2～4 のいずれかに所属していることから、多くの技術者は対象トンネルの一部の施工に対して低い評価を示していると思われる。type 5 は、全体的に評価の低いグループで、設計者の構成率が高い。これらの結果からも、発注者と施工者は比較的同等な適切

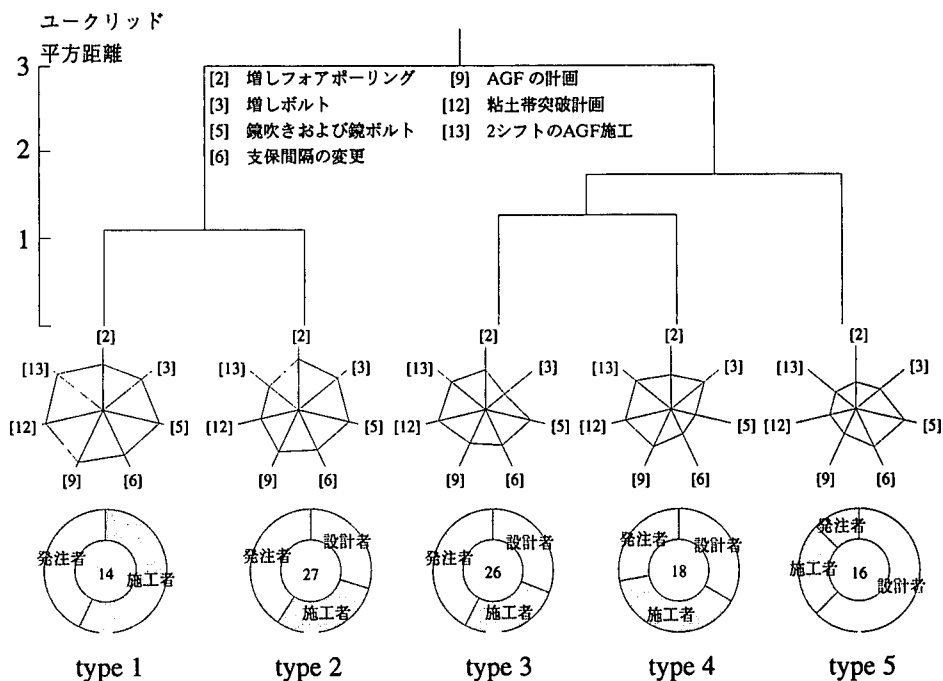


図-9 抽出項目 B に対する分析結果

度を示している反面、設計者は全体的に低い評価が目立ち、立場の違いによる回答傾向の違いが明確に示された。

5. おわりに

本報告では、補助工法の選定に対する技術者の意識評価を行い、その結果に基づき技術者の意識の相違点や施工に対する評価を、技術者の個人属性に基づいて行った。本報告で得られた結果を列記すると以下のようである。

- 1) 技術者によって評価が分かれる項目は、AGFに関する施工項目であり、これらの項目は設計者の評価が低い。
- 2) 各施工ポイントの評価は意見が分かれるが、工事全体の評価はいずれの技術者も低い適切度を示している。
- 3) 技術者の関心の高い項目は、施工計画を含めた掘削前に行われる施工が中心となっている。
- 4) 技術者によって評価のばらつく施工項目は、施工中の事象が中心となっている。
- 5) 技術者の評価の類似性は、対象項目の違いに関わらず同様の傾向を示している。
- 6) 技術者の評価傾向は、発注者と施工者は比較的似通っているが、設計者は大きく異なる。

本報告では、一種類のトンネル施工に対して限られた情報のみを示すという限定された条件下での評価であるため、一般性にはやや欠ける面があるが、ある種の傾向は得られたものと考ええる。また、アンケートのコメントからも、補助工法の選定にあたって技術者が重視する因子は大きく異なることが分かった。今後のトンネル施工における補助工法の選定にあたっては、本報告で得られた個人属性の違いによる意識の違いを各々の技術者が認識し、統一的な意思決定を行うことによって、より合理的な補助工法の選定が行えるものと考ええる。

謝辞：本報告のアンケート調査にご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。

参考文献

- 1) 中川浩二，御手洗良夫，寺戸秀和，木村恒雄：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，土木学会論文集（印刷中）。
- 2) 寺戸秀和，御手洗良夫，木村恒雄，中川浩二：トンネル施工における補助工法の選定に対する技術者の意識評価，第50回土木学会中国支部 研究発表会発表概要集，pp.669～670，1998.6。
- 3) 菅民郎：多変量解析の実践（下巻），現代数学社，pp.179～194，1993。