

トンネルの事前設計における個人依存性に関する研究

東亜建設工業（株） 正会員 ○渡辺晋平
 日新製鋼（株） 正会員 坂本寿夫
 山口大学大学院 正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネルの事前設計は、それぞれのトンネルの発注者が定めた示方書に従って、経験を有した設計者が地質調査により得られた地質状況、岩石強度、風化、変質、破碎帯の有無などを総合的に判断し行うものである。¹⁾しかし、施工時に大幅なコスト増になる場合が多々見られる。その原因のひとつは、示方書で示されている岩盤区分の判定方法にはある程度の許容幅を有しているため、技術者個々の設計思想の相違が原因の一つと推定される。

そこで、本研究では、発注者、コンサル、施工業者それぞれの組織に所属するトンネルに関わる技術者に、トンネル設計に関する技術者の設計思想の許容幅に関するアンケートを実施し、個人の設計思想の相違によるトンネル事前設計への影響について分析した。そして、分析結果に基づき、施工段階で大幅なコスト増を引き起こさないトンネル設計のあり方について検討した。

2. アンケート調査の概要

7名のトンネルに関わる技術者（技術者a, b, c, d, e, f, g, ここでa, bは発注者, c, dはコンサル, e, f, gは施工会社それぞれに所属するトンネル技術者である）に実際に最近施工されたトンネル3本の地質縦断面図を提示し、各トンネルに対し、経済性を重視したパターン①、合理的と考えられるパターン②、安全性を重視したパターン③の3パターンの支保設計をお願いした。その際に支保選定の理由も、予め提示した項目から選択してもらった。対象トンネルのデータを表-1に示す。表-2に選定理由の一部を示す。

表-1 対象トンネルデータ

	岩種	延長	最大土被り
Sトンネル	花崗岩	717m	130m
Tトンネル	花崗岩	983m	113m
Yトンネル	花崗岩	1706m	213m

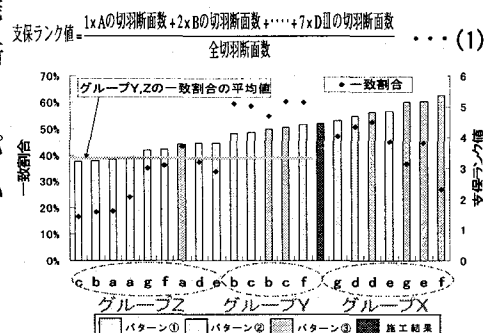


図-1 Yトンネル支保ランク値と一致割合

3. アンケート結果の比較

(1) アンケート結果の支保ランク値と実施工結果に対する一致割合の比較

技術者の許容幅を分析する手法として支保ランク値²⁾による比較を行った。支保ランク値とは、支保パターンをA, B, C I, C II, D I, D II, D IIIの7段階に分類し、軽い方から支保パターンにそれぞれ1～7点を配点した上で式(1)に示すように、トンネル全体における支保パターンの平均値を求めたものである。

また、それぞれの設計案がどれくらい実施工結果に近いかを判断するために一致割合を定義した。一致割合とはトンネル毎に、設計案と実施工結果が一致する距離を全長で除した割合である。図-1は、Yトンネルについて、設計案を左から支保ランク値の小さい順に並べたものである。またそれぞれの案の一致割合もあわせて示す。なお、図中の濃い棒は実施工結果の支保ランク値で一致割合は100%である。これを見ると、支保ランク値が小さい方から実施工結果に近づくにつれて一致割合も増加する。しかし、支保ランク値が実施工結果より大きくなると一致割合も低下する。この傾向は別のSトンネルについても同様である。支保ランク値が実施工結果より大きくなるということは、実施工時よりも、より重い設計の部分が多いことを意味し、設計段階の予算が実施工より高くなる。逆に、支保ランク値が実施工結果より若干小さい設計案は、その一致割合もよいものがある。これらの設計案は支保ランク値が結果よりも小さく、かつ一致割合も高いので、施工時に若干のコスト増は考慮しても、経済性を考慮した適切な支保選定といえる。本研究ではこのような事前設計を理想と考える。

(2) 選定理由の比較

どのような要素を重視すれば理想的な事前設計に近づけることができるのかという点について検討するため、それぞれの設計案をグループにわけて分析した。すなわち、図に示すように支保ランク値が施工結果以上となった設計案をグループX、支保ランク値が施工結果以下の設計案の中で、一致割合の平均値を基準に、平均値より大きい

設計案をグループY, 平均値以下の設計案をグループZの3グループに分けて理由を分析した。その結果を図-2に示す。本研究で理想とする設計案はYグループである。グループXについては理由として力が多い。グループYについては理由としてアの割合が比較的多いが、力やオなどの理由も見られる。グループZについては理由としてアが半数以上の割合を占めている。つまり、表-2より、弾性波速度のみを重視するだけでは軽い設計になる。逆に弾性波速度を重視しないで不連続面や地下水などを意識した設計では安全性に極端に偏った重い設計になると考えられる。これに各グループの技術者の所属と合わせて考察すると、グループXには施工業者の技術者の設計が多く、施工業者の技術者は不連続面や地下水の状態から考えた、経験による最悪のシナリオを想定した設計をしていると推定される。グループY, Zには、発注者、コンサルの技術者の設計案が多くあり、発注者、コンサルの技術者は弾性波速度という示方書の判定方法を中心に設計を組み立てていることが推定される。ここで、本研究で目指すグループYについて見ると、パターン②, ③, の合理的な設計, 安全性を重視した設計が多い。これは表-2より、弾性波速度をベースに若干重めの設計を軸に、不連続面, 地下水などの経験による要素を取り入れた設計となっている。従って、このような設計を具体的かつ簡易に行う手法を次に提案する。

4. 弾性波速度と施工実績を用いた簡易事前設計の提案及び検証

提案手法では、弾性波速度分布と岩種別の過去の施工実績データを用いる。図-3は花崗岩トンネルの過去の施工実績データから、土被り20m毎の施工支保採用割合を示したものである。この図を用いると、どの土被り区分で、どの程度の支保が何%採用されているかが分かる。言い換えると、対象とした支保より軽い支保の区間は、問題なく施工できるはずであるため、図-3を基に各土被り区分ごとに軽い支保から順に採用割合を累積することで、その割合を「安全度」と定義する。表-3に、その一覧を示す。この表を用いて、Sトンネルを例に挙げ提案手法を説明する。

Sトンネルの地質縦断面図から、弾性波速度を基に示方書の技術基準で最も重い支保をまず選定する。ここで土被り0~20mの区間はすべてDⅢ、低速度帯または破碎帯が予想される区間は全てDⅠとする。この支保パターンを表-3に基づきそれぞれの支保の安全度を評価する。その結果が図-4の濃色のラインである。次に、安全度が10%以下のものは施工できる可能性が低いいため、支保を1ランク重くする。そして安全度が50%以上の部分では支保を1ランク上げると安全度が80%を超えるため、この部分の支保はそのままとする。安全度が10~50%の部分については、Sトンネルでは土被り40~60mの区分でCⅠが全体の46%の区間に設計されていたが、表-3より、この土被りでのCⅠの安全度は27.3%であるので、この土被り区分でCⅠの採用割合を27.3%に近づけるために、この土被り区分の中でも比較的土被りの小さい区間と弾性波速度が比較的小さい区間についてはCⅡとした。その結果得られた事前設計が図-5の淡色のラインである。この提案手法の支保ランク値は3.52で、実施工結果との一致割合は59.6%となりほぼ理想のグループYの設計となった。

5. まとめ

技術者の所属による設計思想の相違によるトンネル事前設計の影響を分析し、理想的な事前設計を提案した。また、設計思想の相違は発注方式が影響しているとも考えられる。よって、今後発注方式の改善も望まれる。

参考文献 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（技術編）・同解説，pp. 78～79，2003。

2) 中山智裕ほか：土被り圧に基づく簡易トンネル事前設計手法の提案，土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp. 513～514，2005。

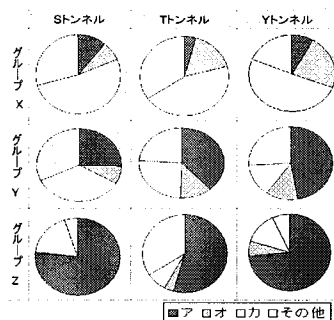


図-2 理由の比較

表-2 理由項目の一部

トンネル一般部		
パターン①経済性	パターン②合理的	パターン③安全性
弾性波速度を基に、技術基準の最も軽い等級とした。	弾性波速度を基に、技術基準の中間の等級とした。	弾性波速度を基に、技術基準の最も重い等級とした。
地下水の影響が大きいと考え、弾性波速度から求める最も軽い等級よりも重くした。	地下水の影響を重視し、パターン③よりとした。	地下水の影響が大きいと考え、弾性波速度から求める最も重い等級よりも重くした。
不連続面の影響が大きいと考え、弾性波速度から求める最も軽い等級よりも重くした。	不連続面の影響を重視し、パターン③よりとした。	不連続面の影響が大きいと考え、弾性波速度から求める最も重い等級よりも重くした。

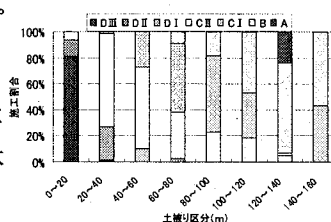


図-3 施工支保採用割合

表-3 安全性の値(%)

土被り区分(m)	DⅢ	DⅡ	DⅠ	CⅢ	CⅡ	CⅠ	B	A
0~20	100.00	19.16	19.16	8.18	0.00	0.00	0.00	0.00
20~40	100.00	19.70	19.70	7.49	1.17	0.00	0.00	0.00
40~60	100.00	100.00	100.00	96.14	27.29	0.00	0.00	0.00
60~80	100.00	100.00	100.00	97.53	61.97	8.74	0.00	0.00
80~100	100.00	100.00	100.00	100.00	72.28	18.62	0.00	0.00
100~120	100.00	100.00	100.00	100.00	81.94	46.94	0.00	0.00
120~140	100.00	100.00	100.00	100.00	94.78	53.14	24.20	0.00
140~160	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	57.14	0.00	0.00

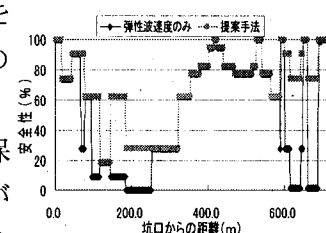


図-4 安全性評価

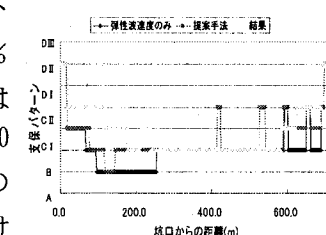


図-5 支保パターン比較