

山岳トンネル事前設計合理化 のための一つの試み

A study of human dependence on tunnel design.

大久保 雅憲¹⁾・日根 幸雄²⁾・中川 浩二³⁾
Masanori OKUBO, Yukio HINE and Koji NAKAGAWA

The tunnel support designed before the excavation often differs from the actual support. In this study the trends of the tunnel design of engineers (owners, geologists, consultants and construction engineers) were studied. At the first step, engineers picked up their concerning points in the design following to a geological survey reports. With the field observation, they modified their concerning points and gave the support design along the tunnel. After the circulating all available mutual data, members gave their final support design.

The results were discussed from the point of human dependence on tunnel design.

Key Words : rock tunnel, designed before the excavation

1. はじめに

山岳トンネル詳細設計の精度が必ずしも高くないことは、良く知られているところである。その理由としては

- 7) 詳細設計段階での地質調査の技術的限界
- 1) 経済的理由などによる地質調査数量の不足
- 9) 地質調査技術者の個人力量への依存
- 1) 地質、設計、施工各技術者のトンネル建設に関する地質評価の相違

などが挙げられる。

このため、設計コンサルタントが行う詳細設計は事前設計として扱われ、施工業者が現場にて地山に応じた施工のための設計を行うことがしばしばである。

今日の公共工事に対する透明性の要請を考えれば、山岳トンネル詳細設計（以後事前設計と呼ぶ）を仮設計的に考えるには限界があり、事前設計の位置づけを見直さなければならない時に来ているといえる。

そこで著者らは、上記問題点のうち「1)地質、設計、施工各技術者のトンネル建設に関する地質評価の相違」に着目して検討を行った。

具体的には、山口県内の1山岳トンネルについて、著者らを含む学識経験者1名、発注者4名、地質調査者4名、設計者4名、施工者4名の計17名からなる検討委員会を構成し、技術者が事前設計段階で検討しなければならない項目は何か、地山分類をどのように設定しているか、に対する4回のアンケートを検討委員に回答させ、その結果を考察することで、山岳トンネル事前設計の問題点とその解決の方向性を探った。

1)建設省中国地方建設局 山口工事事務所 調査設計課
2)㈱オリエンタルコンサルタンツ 九州支社 総合技術部
3)正会員、工学博士 山口大学 工学部 社会建設工学科

2. 調査の方法

題材とした道路トンネルは地質調査が完了し、詳細設計実施前の山岳トンネルである。

表 2-1 に示すアンケート調査を 4 回実施した。アンケート調査時期は次の通りである。

- 7) 地質調査報告書を配布後、第 1 回アンケート調査を実施。
- 8) 現場見学会及びその後の意見交換会を実施後、第 2 回アンケート調査を実施。
- 9) 約一ヶ月の期間を経過後、第 3 回アンケート調査を実施。
- 10) 全員の第 1 回～第 3 回アンケート調査を公表後、第 4 回アンケート調査を実施。

表 2-1 アンケート調査内容

	アンケート設問内容
第 1 回アンケート	・地質調査報告書を読んだ時点で、検討すべき項目を 10～20 程度列挙して下さい。
第 2 回アンケート	・現場見学会を終え、各々の意見交換した現時点で、検討すべき項目を列挙して下さい。(第 1 回アンケートの補充、修正の位置付け)
第 3 回アンケート	・地質縦断図を基に各々が考えになる地山等級とその設定理由を記入下さい。
第 4 回アンケート	・第 1・2 回アンケート結果で抽出された項目について、特に重要だと思われる項目を 3 つ選出して◎印を、その他に重要だと思われる項目 3 つに○印を記入下さい。 ・第 3 回アンケート結果を踏まえた上で、再度地山等級とその設定理由を記入下さい。

アンケート調査の狙いは以下の 4 点である。

- ・事前設計の検討内容として、必要と考えている項目は何か？
- ・地山区分判定は何に着目して行っているか？
- ・回答者の属性による違い又は個人差（対人依存性）がどの程度あるか？
- ・時間経過あるいは情報増加によって各々の回答内容は収束に向かうか？

今回の調査は以上の観点から、山岳トンネルの事前設計のあり方あるいは合理化の方向性を探ろうとする試みである。

3. 題材としたトンネルの概要

題材としたトンネルは山口県下の自動車専用道路で、延長約 630m の 2 車線トンネルである。

地形地質は図 4-3 に示すとおりで、標高 140～180m の丘陵地を最大土被り約 100m で通過する。地形は起点側では 45° 前後の急傾斜面、終点側は 35° 以下の緩斜面をなす。地質は中生代白亜紀の関門層群を基礎岩とし、起点側は硬質・塊状の安山岩であり、Na 8～Na 9 より終点側は頁岩、礫岩、砂岩、凝灰岩の互層よりなる。Na 5 付近にヒン岩の貫入、Na 6～Na 8 に凝灰岩の層を挟む。

4. アンケート調査結果と分析

4.1 事前設計において検討すべき項目

a) 調査結果

第 1・2 回アンケート結果を表 4-1 に、第 4 回アンケート結果を表 4-2 に示す。

b) 調査結果の分析

表 4-1、表 4-2 を図化したものが図 4-1 である。事前設計において検討すべき項目と考えているのは、第 1・2 回アンケート結果と第 4 回アンケート結果では大きく変わらず、

- ⑥地下水の湧水圧、湧水量の予測
- ⑦地山分類の考え方

⑪坑口位置の検討

⑬偏土圧対策、切羽安定対策、坑口部の補助工法

等が上位を占めている。

対人依存性のうち所属による属性については、表4-1、表4-2を見る限りでは、発注者、地質調査技術者、コンサルタント技術者、建設技術者とも同じ傾向を示しており、属性による違いは少ない。

個人による対人依存性については、例えば表4-1について見れば、上記の上位を占めた⑥⑦⑪⑬の項目について、16名中12名以上が項目として抽出していることから全員が比較的似通った判断をしており、対人依存性は少ないと言える。

図4-2は第1回アンケートと第4回アンケートでの回答者数を多い順番で並べ、%表示したものである。第4回アンケートの方が検討項目のバラツキが少なく、若干ではあるが、回答者の意見が収束していく様子が見られる。

表4-1 第1・2回アンケート結果

【 Key Word 】	発注者				地質調査技術者				コンサルタント技術者				建設技術者				合計 16名
	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	
① 斜面の安定性評価		○	○	○	○	○	○	○						○	○	○	10
② 堆積岩互層部の評価					○	○								○	○	○	5
③ 岩域区分			○														1
④ 安山岩の評価		○		○	○	○	○		○					○	○	○	9
⑤ 地質構造（走行、傾斜、断層、破砕帯）	○				○	○							○				4
⑥ 地下水の湧水圧、湧水量の予測	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	16
⑦ 地山分類の考え方	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12
⑧ 追加調査の必要性に関する検討	○		○		○	○	○		○	○	○	○					8
⑨ 断面形状、偏平化	○	○															2
⑩ 地山分類に対する支保パターンの選定		○			○									○	○		4
⑪ 坑口位置の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12
⑫ 坑口範囲の考え方	○				○	○			○	○			○	○			5
⑬ 偏土圧対策、切羽安定対策、坑口部の補助工法	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	12
⑭ 施工中の調査項目	○				○												4
⑮ 掘削方式、掘削工法	○	○															3
⑯ 周辺環境対策													○	○	○		4
⑰ 切羽評価方法について																	1
⑱ 計測管理基準の設定（内空変位・天端沈下）					○			○		○							4
⑲ 坑口部挙動計測の計画（表層崩壊）																	1

表4-2 第4回アンケート結果

【 Key Word 】	発注者				地質調査技術者				コンサルタント技術者				建設技術者				合計 13名
	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	
① 斜面の安定性評価	◎	○			◎	2			○	1	○	◎		◎			9
② 堆積岩互層部の評価		○			◎	2						◎		○			6
③ 岩域区分					○	1											1
④ 安山岩の評価		◎	2		○	1			○	○	2	◎	○	○	○		9
⑤ 地質構造（走行、傾斜、断層、破砕帯）					◎				◎	2	○	○	○	○	○		5
⑥ 地下水の湧水圧、湧水量の予測	◎	◎	◎	◎	◎	7	◎	3	◎	◎	4	◎	◎	◎	◎	◎	19
⑦ 地山分類の考え方	◎	◎	○	○	◎	6		1	◎	◎	4	◎	◎	◎	◎	◎	14
⑧ 追加調査の必要性に関する検討	○	○	2	◎	◎	2	◎		○	3	◎		◎				9
⑨ 断面形状、偏平化																	0
⑩ 地山分類に対する支保パターンの選定																	0
⑪ 坑口位置の検討	◎	◎	◎	◎	◎	7	◎	4	○	◎	3	◎	○	◎	◎	◎	19
⑫ 坑口範囲の考え方	○		○	2					○		1	○					4
⑬ 偏土圧対策、切羽安定対策、坑口部の補助工法	◎	◎	◎	5	○	1	◎	◎	◎	4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	17
⑭ 施工中の調査項目																	0
⑮ 掘削方式、掘削工法	○			1													1
⑯ 周辺環境対策																	0
⑰ 切羽評価方法について						○	1	◎			2						3
⑱ 計測管理基準の設定（内空変位・天端沈下）																	0
⑲ 坑口部挙動計測の計画（表層崩壊）									○	1							1

◎：特に重要、点数は2 ○：重要、点数は1点

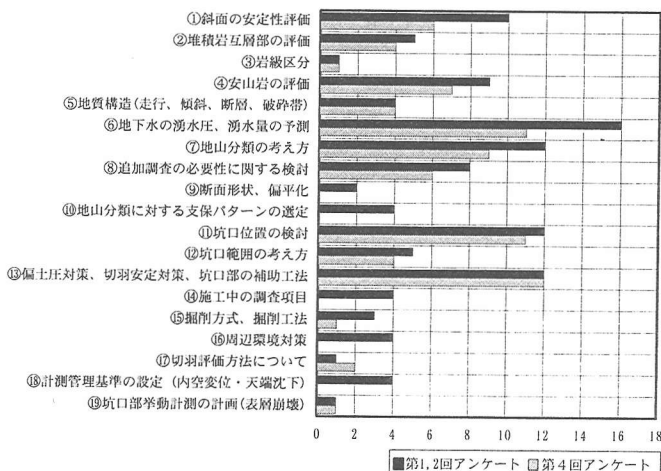


図4-1 検討すべき項目の抽出図

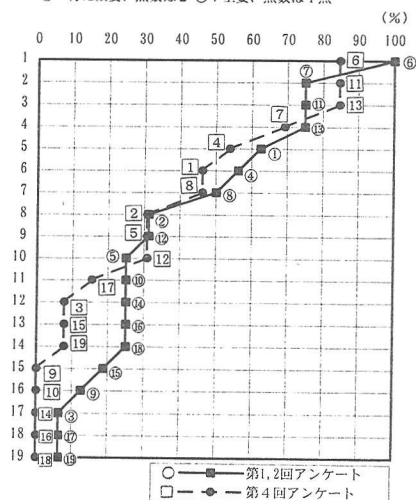


図4-2 検討すべき項目の推移

注) 図中番号は表中番号と対応する。

4.2地山区分判定

a) 調査結果

各技術者によって行われた第3回と第4回アンケートの地山分類の結果を図4-3に示す。

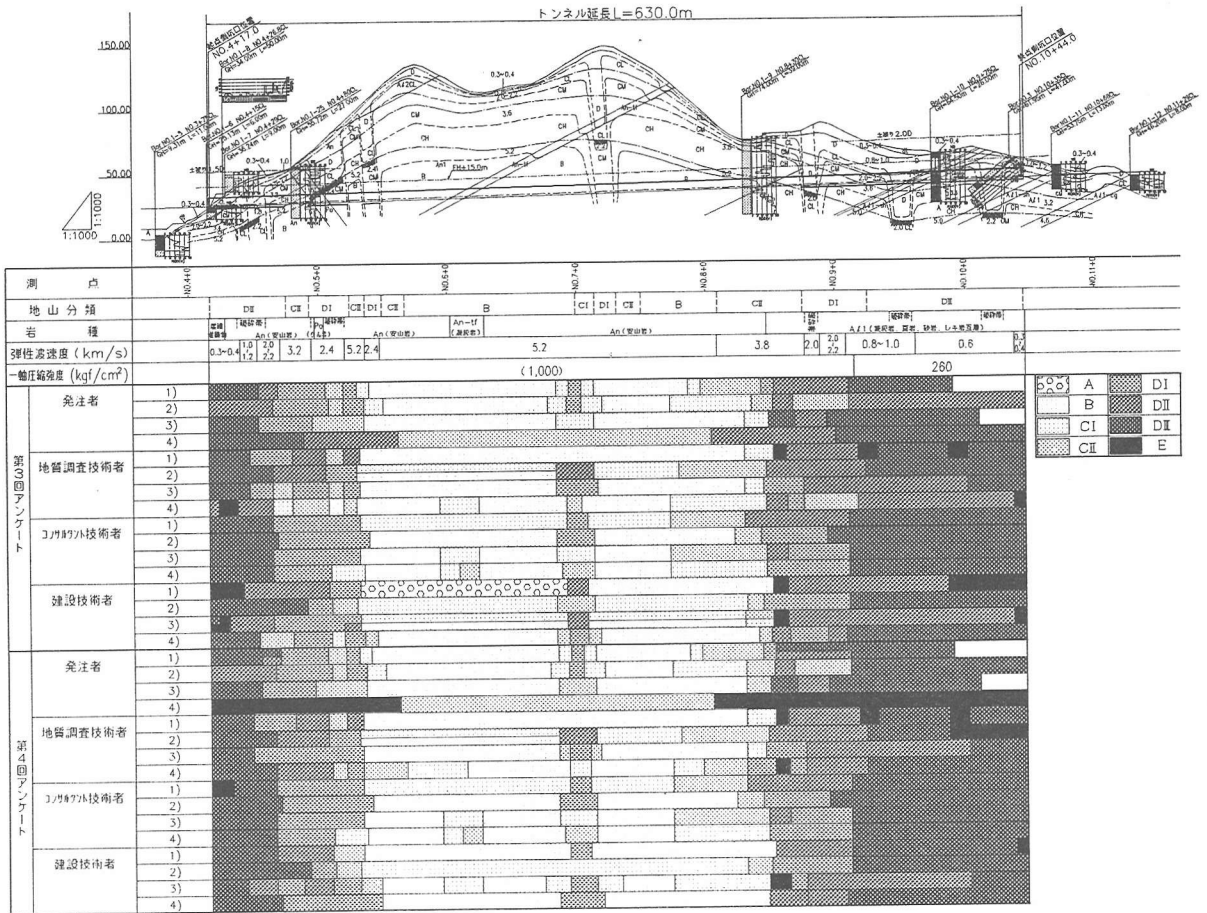


図 4 - 3 各技術者による地山分類

b) 調査結果の分析

2回のアンケートの変化について見ると、両者において若干の区分および等級の割り当てに変化が見られる。変化があった場合、ランクダウンとなっていることが多い。

等級の割り当てについて着目すると、おおまかには弾性波速度に対応した分類となっているが、各技術者によってばらつきが見られる。例えば、弾性波速度が約5.0km/sの測点5+60～7+00の区間では、多くの技術者はBと判定しているがCⅡからBまで3ランクのばらつきがある。測点4+60～5+40の区間の低速度帯、ヒン岩貫入部ではさらにばらつきが大きくなり、決定ランクで4～5の差が認められる。測点8+20～9+20の安山岩・堆積岩互層部境界でも同様にばらつきが大きくなり、4～5の決定ランクの差が認められる。

このことは、地質(地山)条件が複雑なところで技術者の個人差が出やすいことを暗示している。

表4-3は第4回アンケートの地山分類について、代表的な測点付近の分類決定根拠をまとめたものである。測点5+00付近では、多くの技術者が弾性波探査で推定されている低速度帯を根拠に分類を決定していることが読み取れる。また、ヒン岩接触部での湧水を懸念して分類を決定している技術者もいる。

測点6+00付近では、多くの技術者が弾性波速度から良好な岩盤と判断している。しかし、同じ分類であっても③と④では、岩盤の善し悪しの判断に微妙な差があること、また⑩の判断は、実績や技術者の経験に基づくところが多いことが推定される。

測点8+80付近では、多くの技術者が悪い地山と判断しているが分類決定根拠は様々である。例えば、①は安山岩と堆積岩の境界を不整合と判断し、破碎は少ないと評価しているが、⑨は岩種境界を断層と判断し、悪い分類に決定している。ここでは、多くの技術者が低速度帯および既往地質踏査から岩種境界は断層と判定している。

測点9+20付近では、多くの技術者が悪い地山と判定しているが、土被りの厚さと低速度帯で技術者の判断が異なっている。例えば、②は低速度帯を断層でない判断しているが、③は断層と判断し両者で決定ランクが異なっている。④⑤⑦⑧は土被りが浅いことを懸念した判断と読み取れるが、①②③⑥では土被りが主要な判断要因となっていない可能性がある。

以上を総合的に考察すると、多くの技術者が弾性波探査結果を基本に地山分類を行っており、その値の評価とボーリング調査結果や地質踏査結果など他の情報の利用方法により判断の差が表れているものと推定される。また、各技術者の判断の差が大きく表れる個所としては、岩層境界や低速度帯など過度的な地山状況にある部分であり、地山状況が連続的で変化しない区間では、地山の良・不良に関わらず、比較的揃った判断となることが推定される。

表 4 - 3 地山区分の判定理由の例

測 点	Na 5 + 0 0	Na 6 + 0 0	Na 8 + 8 0	Na 9 + 2 0
地 質	安山岩・ヒン岩岩脈	安山岩	安山岩／堆積岩(互層)境界	堆積岩(互層)
弾性波速度	2.4km/s (低速度帯)	5.2km/s	2.0km/s (低速度帯)	2.0km/s
地 山 区 分 の 判 定 理 由	B	① 亀裂少ない良好な岩盤。 Vp=4.0km/s程度と推定。 ② Vp=5.0km/sの安山岩。 ROD=60-90。 ③ 亀裂も少なく硬質で安定した地山。 ④ Vp=5.2km/sと速いが、地質は悪いと考えB。 ⑤ 硬質で安定。 ⑥ 安山岩は溶岩流で自破碎部を層状に挟む可能性あり。速度値をそのまま評価できない。		
	C I	⑦ 所々劣化部、亀裂密集部挟む。 ⑧ 速度値が少し遅い。 ⑨ B～C IIが不連続出現区間。平均的にC I。		
	C II	⑩ 既往調査結果は過大評価。岩堅固にして山脆弱の例。		
	D I	① Vp=2.0-2.5km/s。安山岩風化、亀裂発達部。 ② 破碎帯連続区間。ヒン岩と安山岩の状態は同じ。 ③ ヒン岩の破碎帯通過区間。ROD=50以上であるが、Vp=2.4km/sと低い。 ④ 低速度帯。硬質であるが、亀裂多い地山。 ⑤ 破碎帯。 ⑥ 破碎帯、湧水。 ⑦ 亀裂、特に湧水。	① 境界は不整合。安山岩(溶岩)の基底は角礫状(破碎帯) ② Vp=2.0km/sの破碎帯を通過する区間。	① Vp=2.0km/sの破碎帯を通過する区間。 ② 断層でないためD I。
	D II	⑧ 破碎帯で切羽、天端が不安定。 ⑨ 亀裂発達。ヒン岩接触部で多量の湧水。		③ 断層。一部切羽自立困難。 ④ 土被り30m以下。低速度帯。偏土圧の可能性。 ⑤ 土被り15-30m。切羽、天端不安定化しやすい。 ⑥ Vp=2.0-2.2km/s。亀裂発達。所々硬質であるが全体的に悪い。白亜紀の堆積岩で押し出しは少ない。 ⑦ 亀裂が発達。地下水は天端付近。土被りは10-15m程度。偏土圧発生の可能性。
	D III		⑤ 破碎帯。	
	E	⑩ 断層破碎帯区間。水と粘土の介在および長期安定性を考慮。	⑨ 断層破碎帯。凝灰岩であれば膨張性地山の可能性。 ⑩ 地下水位次第では下半部の支持力確保が懸念。	⑧ 支持力、偏土圧。

5. まとめ

5.1 調査結果の概要

7) 事前設計において検討すべき項目で上位を占めるのは、地山分類、坑口位置、地下水、補助工法等であった。

1) 事前設計において検討すべき項目では属性や個人差による対人依存性は少なかった。

時間経過や情報増加によって、項目の収束がみられた。

9) 地山区分判定において、技術者は弾性波探査結果を基本に、地山分類を行っている。また、それに個人の経験も含めた他の情報を加味して最終判断をしているが、その情報の内容や利用方法に個人の差が表れているものと推定される。

1) 対人依存性の表れる箇所としては、岩層境界や低速度帯などの過度的な部分であり、地山状況が連続的で変化しない区間では、対人依存性はあまり表れない。

5.2. 対人依存性緩和への一提案

対人依存性が全くなく、設計変更を生じない調査設計システムが理想であるが、地中深く、しかも長い線状構造物である山岳トンネル設計において、現在の技術では全く不可能なのが実状である。

しかし、この理想に近づけるためには、今回の調査結果から以下のことがいえそうである。

7) 情報増加、多面的な判断が必要

事前設計において検討すべき項目のアンケート結果で見られたように、時間経過と情報増加によって意見が収束されていくことに着目すると、施工時に大幅な設計変更が予想される難しいトンネルについては、検討期間を長くしたり、クロスチェックや照査システムを完備することが一つの有効な方策となる。その結果、より正確な事前設計に近づき、それが調査・設計・施工を含めたトータルコスト縮減につながる。

1) 地質調査報告書の仕様が必要

地質調査結果とは地質調査技術者の解釈の産物であり、調査データだけではなく、技術者個人の過去の体験等全てを加味した結果である。従って、地質調査報告書には、判定をした根拠やその確実度、不確実度を明記しなければならない。例えば、弾性波探査のはぎ取り法においては、断層（低速度帯）は鉛直のみを仮定という技術的限界も存在するため、それを踏まえた評価や説明を必ず記載すべきである。ところが、それらを明記した報告書は少なく、形式も全くバラバラなのが実状である。地質調査業務での報告書の記述の仕方に関する仕様等が是非とも必要である。

6. おわりに

通常、山岳トンネルの事前設計は、管理（主任）技術者の力量を基に実施される。そこに、17名という複数の技術者の目が入るとどう設計が変化するかを、アンケート調査を通して試みた。意見交換の場では、地質調査技術の限界の明確化、地質技術者と土木技術者の連帯が重要、複数の技術者の目で設計を、との指摘もあった。

山岳トンネルは掘ってみなければわからない点も否めないではないが、費用対効果を含めたより合理的な設計に向けて、今後は、本文で提案の照査システムの有効性について、事例研究を実施していく予定である。