

山岳トンネル事前設計における 複数の技術者による照査システム

A study of check system on tunnel design by two or more engineers

大久保 雅憲¹⁾・河原 幸弘²⁾・中川 浩二³⁾

Masanori OKUBO, Yukihiro KAWAHARA and Koji NAKAGAWA

It is important to understand the geological condition beforehand and to reflect the plan and the design of the mountain tunnels in construction.

However, it is difficult to understand the geological condition before the tunnel is constructed for a limit of the investigation technology and economical reasons. Therefore, the support of the tunnel might be largely different in the step of the design and construction.

Then, we considered the check system of the tunnel design by two or more engineers.

Key Words:check system,rock tunnel,designed before the excavation

1. はじめに

山岳トンネルの計画・設計は、多くの場合トンネルそのものが山地部の地中深部の線状構造物であるため、事前の計画段階に地山条件を精度良く把握し、実施工に反映させることが重要である。

しかし、トンネル施工前に精度良く地山条件を捉えることは、事前調査技術の水準や経済性などの点から困難であり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所である。

そのためこれまで著者らは、山岳トンネル事前設計合理化のための一つの試み¹⁾として複数の技術者から成る検討会を構成しアンケート形式により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結果、複数の技術者による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になる提言を行った。

そこで本報告は、山口県内の1山岳トンネルを例に、表-1に示す筆者らを含む複数の技術者からなる検討会を構成し、今後の調査・設計のあり方について1つの照査システムの有効性を試みたものである。

なお、今回の検討会メンバーは、コンサルタントを中心としている。

表-1 検討メンバーの構成

属性	人数	
	第1回	第2回
(イ) 発注者	2	4
(ロ) 地質調査技術者	1	1
(ハ) 担当コンサルタント	3	4
(ニ) 担当外コンサルタント	7	6
合計	13	15

1) 建設省中国地方建設局 山口工事事務所 工務課

2) 正会員 工学修士 山口大学 工学部 社会建設工学科

3) 正会員 工学博士 山口大学 工学部 社会建設工学科

2. 調査の概要

事前設計において重要なことは、個人差による対人依存性を少なくすることが重要な要素であり、そのためにクロスチェックによる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今後の調査・設計・施工を含めたトータルコストの縮減が可能となると考える。

表－2 アンケート調査内容

	アンケート項目	形式
第1回検討会 (13人)	①トンネルの難易度（計画トンネルの意識調査）	A～E
	②トンネルの課題点（技術的課題の抽出）	ペーパー形式
	③追加調査の提案（調査項目、数量の抽出）	ペーパー形式
第2回検討会 (15人)	①本トンネルの追加地質調査の点数評価（調査の妥当性）	50～125点
	②地山分類判定（対人依存性の評価）	ペーパー形式

ここでは、今後の設計のあり方について方向性を明確にすることを目的として複数の技術者による検討会を実施した。検討会は、主にアンケート形式で表－2に示す内容について調査を実施した。題材とした道路トンネルは、地質調査および詳細設計実施中の山岳トンネルであり検討会と並行して業務を遂行した。

3. 対象トンネルの概要

対象とするトンネルは、山口県下を通過する自動車専用道路で土被り最大約100m、延長約790mの2車線トンネルとして計画されている。地形地質は、図－2に示すように基盤の地質は白亜紀の関門層群（頁岩・砂岩・礫岩・凝灰岩の互層）が分布している。頁岩は、他の岩相に比べて亀裂が多く、風化が進行している。地層の走向は、トンネル中心線に対してほぼ直交し、傾斜は起点側に向かって約15°～30°傾斜している。また、わずかな鞍部の連続、傾斜変換点の連続は認められるが、顕著なフォトリニアメント、谷系模様はみられず、大規模な断層の存在は認められない。

4. アンケート調査結果と考察

（1）トンネルの難易度

対象とするトンネルの位置づけを明確にするため第1回検討メンバー（13人）を対象に設計段階と施工段階の2つに大別して本トンネルの計画レベル（難易度）の意識調査を実施した。難易度のランク付けは、表－3に示すようにA（易しい）～E（難しい）までの5段階評価とした。

集計した結果を表－4に整理し示す。全体としては、設計段階においてCの回答が最も多く、施工段階ではDの回答が多く得られた。このことは、地質が互層状態で分布しており施工時に風化が著しい地層（頁岩）が出現すると天端・切羽の安定が確保できず支保工の見直しや補助工法の採用などによる設計変更が生じる可能性が高いためと考えられる。

表－3 トンネルの難易度

難易度	通常実施する調査レベル	備考
A	弾性波探査＋地表踏査	易しい
B	通常のボーリング調査	↑
C	数本の追加ボーリング調査	
D	照査レベルのトンネル	↓
E	特殊性の高いトンネル（委員会）	難しい

表－４ 対象トンネルにおける難易度レベルの意識調査

		設計レベル					施工レベル					意識パターン
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
		易	←	→	難		易	←	→	難		
(イ) 発注者	1											①
	2											①
(ロ) 地質調査技術者	1											②
(ハ) 担当コンサルタント	1											③
	2											④
	3											③
(ニ) 担当外コンサルタント	1											①
	2											③
	3											③
	4											③
	5											③
	6											⑤
	7											③
計		0	1	8	4	0	0	0	4	9	0	

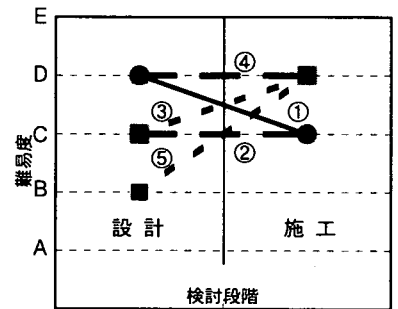
また、図－１から業務に携わる立場によって計画段階で難易度の意識の違いが生じていることが判断できる。この図から、検討段階毎の意識の変化は、大きく３つに区分される。

設計時重視型（①）：設計時に比べ施工時が計画しやすいと判断

同等比重型（②と④）：設計時も施工時も同じ難易度で判断

施工時重視型（③と⑤）：設計時に比べて施工時が難しいと判断

また、この意識の変化は、発注者においてはすべて①を示し、コンサルタントにおいては、ほとんどが③の傾向を示すという業務に従事する属性の違いにより大きく異なる傾向が見られた。



図－１ 計画段階における意識の推移

(２) 本トンネルの課題

次に本トンネル課題の抽出について

表－５に検討箇所毎に整理する。表中の数字は、回答者数を表す。この表から次のことが言える。

○発注者、地質調査技術者、担当コンサルタント技術者による業務担当者間においては、事前情報による設計思想や課題提起がほぼ集約されている。

○担当外コンサルタント技術者からは、幅広く様々な意見が抽出される。

このことから担当者間では、事前情報に拘泥された視野からの課題抽出となっているのに対して担当外コンサルタント技術者からは、このような制約に縛られることなく幅広い視野からの意見が抽出され複数の技術者による意見収集の有効性が図れたと考える。

表－５ 属性の異なる立場からみた本トンネルの課題

検討箇所	課題項目	(イ) 発注者	(ロ) 地質調査技術者	(ハ) 担当コンサルタント	(ニ) 担当外コンサルタント	備考	
		発注者	地質調査技術者	担当コンサルタント	担当外コンサルタント	担当	担当外
西坑口部	押さえ盛土の適否	1					
	坑口部の施工方法	1					
	補助工法の有無	1					
	坑口位置検討（斜交）	1					
	偏土圧対策	1	1	3	1	↑	↑
	坑口部の安定性の確認				2	↑	↑
	dt層の確認				1	↑	↑
	抱き擁壁の構造、支持力				1	↑	↑
	地滑り地形の確認	1			3	↑	↑
	坑口パターンの取り扱い				1	↑	↑
トンネル中央部	低速度帯確認	1	1	2	7	↑	↑
	沢部の施工方法	1		1		↑	↑
	5.0km/sの岩盤性状の確認		1	1	4	↑	↑
	各代表弾性波箇所地山確認				3	↑	↑
	低速度帯の方向性確認				1	↑	↑
	リニアメントとTNの関係				2	↑	↑
東坑口部	坑口部支持力確認				2		
その他	地下水・湧水の確認	2	1		4	↑	↑
	多種多様な岩種の出現		1	2		↑	↑
	担当者による調査内容の違い				1	↑	↑

表－6 アンケートによる追加調査の提案および実施追加調査項目

検討箇所	課題項目	調査提案項目	(イ) (ロ) (ハ) (ニ)				合計	評価	追加調査項目	実施
			発注者	地質調査技術者	担当 (211577)	担当外 (211577)				
西坑口部	低土被り	水平ボーリング調査		1	3	1	5	B	水平ボーリング	○
	坑口部の施工方法	水平ボーリング調査	1			1	2	C		
	掘削工法の有無	水平ボーリング調査	1				1	D		
	抱き擁壁の構造、支持力	水平ボーリング調査				1	1	D	鉛直ボーリング	○
		標準貫入試験		1			1	D		
		ボーリング調査		1		2	3	C		
	地層の確認	ボーリング調査		1		1	2	C	鉛直ボーリング	○
	地層の地形の確認	ボーリング調査				2	2	C		
	偏土圧対策	ボーリング調査				1	1	D		
トンネル中央部	沢部の施工方法	水平ボーリング調査	1				1	D	鉛直ボーリング	○
		ボーリング調査	2	1	3	4	10	A		
		湧水圧試験				1	1	D		
	低速度帯確認	電気探査、高密度探査				1	1	D	電気探査、高密度探査	×
	5.0km/sの岩盤性状の確認	ボーリング調査		1	2	3	6	B		
	沢部の施工方法	ボーリング調査	1				1	D		
	各代変弾性波箇所での地山確認	ボーリング調査				1	1	D	鉛直ボーリング	○
		岩石試験		1		1	2	C		
		TN深部での弾性波探査調査				2	2	C		
東坑口部	坑口部支持力確認	水平ボーリング調査	1		2	2	5	B	水平ボーリング	○
		ボーリング調査				1	1	D		
		ボーリング調査	1				1	D		
	地下水・湧水の確認	湧水圧試験		1			1	D	鉛直ボーリング	×
		ボーリング調査					1	D		
		ボーリング調査					1	D		
	多様な岩層の出現	地表踏査			1		1	D	地表踏査	×
		ボーリング調査					1	D		
		ボーリング調査					1	D		

(3) 追加調査の提案

a) 調査項目の抽出

次に先述した本トンネルの課題に対する必要となる調査項目のアンケート調査結果を表－6に示す。複数回答を得ている調査項目については、重要度が高いと考えられ回答数の多いものから順に次のような評価を行った。回答者数が10人以上をA、5人以上10人未満をB、2人以上5人未満をC、1人をDとした。

このうち検討箇所毎に複数回答を得ているA～Cの項目に着目し追加調査項目の参考資料とした。追加調査の実施にあたっては、調査費用などの経済的な判断および調査成果の設計業務への見込まれる反映度合いなどの配慮を行い担当者との協議により決定した。

表－7 追加調査内容の点数評価

b) 追加調査内容の点数評価

追加地質調査の提案を踏まえ実際に実施した追加調査内容について、設計を行う上で経済性を考慮してどの程度の点数付け(100点満点を目安)がなされるか、第2回検討メンバー(15人)を対象にアンケートを実施した。アンケート結果を表－7に示す。

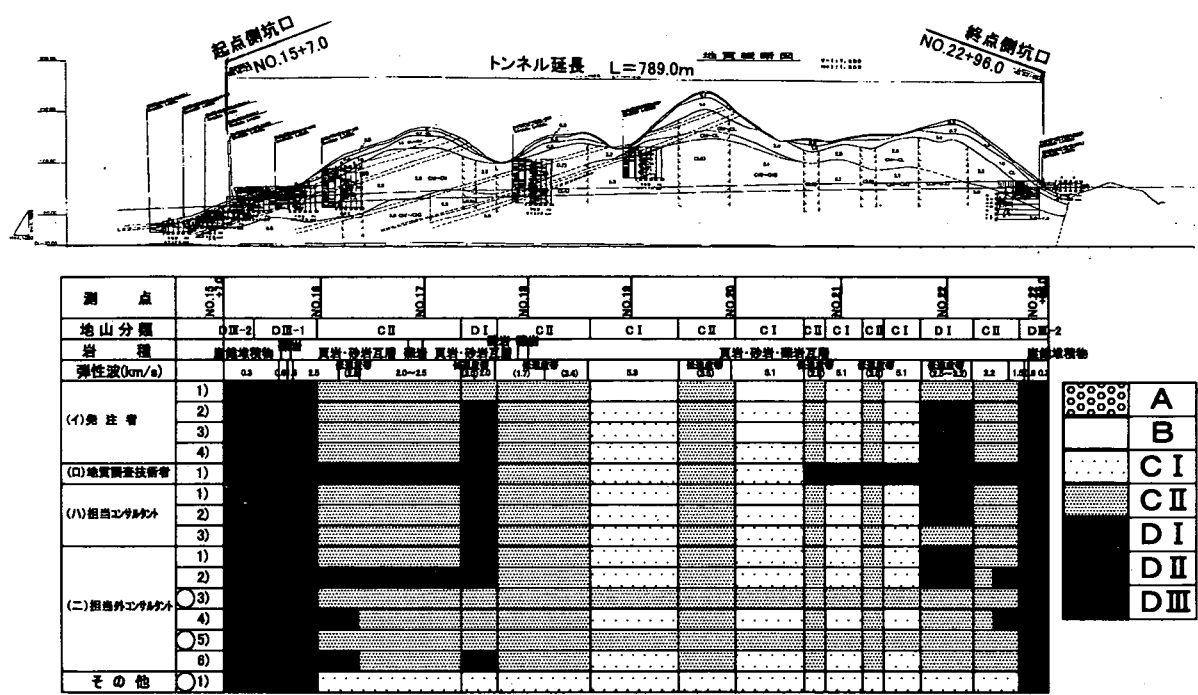
表中の●は、終点側坑口部などでの追加調査(ボーリング、電気探査、高密度弾性波探査など)を実施しなかったという意

回答者		追加地質調査の評価(点数)			追加地質調査の評価理由
		50以上 ～75	75以上 ～100	100以上 ～125	
(イ) 発注者	1			○	充分な調査内容であり、さらに施工時にカバーできるのでは
	2			○	100点以上の調査内容であり大きな問題はなく個人的には125点
	3		○		昨年の検討トンネルと比べて調査内容は満足しているが低速度帯の分布が非常に多いので
	4		○		設計の実績は少ないが色々な意見を踏襲して
(ロ) 地質調査技術者	1		●		電気探査を実施しなかった
	1			○	満足できる調査内容
	2		●		低速度帯の調査が少ない
	3		●		終点側坑口についてもう少し情報があれば良かった
(ハ) 担当コンサルタント	4		○		技術的評価は難しいが営業的な見解から評価
	1			○	当初提案通りであり地質的に大きな問題ではないと判断している
	2			○	満足できる調査内容
	3		●		設計の透明性100点、電気探査などによる低速度帯の傾きを明確にしたかった
(ニ) 担当外コンサルタント	4		●		トモグラフィ解析などによる低速度帯の傾きを検証できれば良かった
	5		●		終点側坑口のボーリングコアから弾性波速度を代表するボーリングが欲しい
	6	●			終点側坑口の水平ボーリングの打止めの根拠、2.5～3.2km/secの低速度帯の確認、電気探査の併用
合計		15	1	9	5

見であり、約半数（15 人中7人）の回答があった。また、充分満足のいく調査内容という回答は、1/3（15 人中5人）の割合であり、75 点以上～100 点未満の概ね 100 点に近いという回答は、約 2/3（15 人中9人）の割合となった。少数意見ではあるが終点側坑口調査を含めた評価で 75 点未満という意見もあった。このことから本追加調査として、全体的にほぼ 100 点に近い内容であり若干の追加調査の要望はあるものの概ね満足のいく調査内容となったと考える。

(4) 地山区分判定

追加地質調査結果を踏まえ第2回検討メンバー（15 人）を対象に地山分類判定を行った。図-2 にアンケート結果を示す。



5. まとめ

本報告では、今後の設計のあり方について方向性を明確にすることを目的としてクロスチェックによる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ことに着目して複数の技術者による検討会を実施し、アンケート形式により意見の収集を行った。

以下に本検討会で得た結論を列記する。

(1) トンネルの難易度

本トンネルの難易度は、全体的に設計段階でCランク、施工段階でDランクであった。また、業務に携わる立場によって計画段階、施工段階で難易度の意識の違いが生じていることが判断できる。

(2) トンネルの課題点

複数の技術者から意見を幅広く収集することは、事前情報による設計思想や課題提起に集約されることなく、より多くの情報を提供し設計を行う上で必要となる課題点の抽出が可能となった。このことから複数の技術者による意見収集の有効性が図れたと考える。

(3) 追加調査の提案

複数の技術者から意見を収集することによりトンネル設計を行う上で重要となる調査項目の抽出が可能となった。

(4) トンネルの追加地質調査の点数評価

本トンネルの追加地質調査の点数評価としては、概ね100点に近い内容であり若干の追加調査の要望はあるものの満足のいく調査内容となったと考える。しかしながら、事前調査における調査数量と地山の推定精度の関係や経済的な評価にいたっては、今後検証していく必要があると考える。

(5) 地山分類判定

各技術者による判断の差異は、岩層境界や低速度帯などであり地山が連続的で変化しない区間では、地山の良し悪しに関わらず、比較的揃った判断となる。互層状態での支保選定にあたっては、弾性波速度の評価が難しいことからボーリングコア調査結果などによる総合的な判断が必要と考える。

6. おわりに

本報告では、対象トンネルを例にとりあげトンネルの事前調査・設計のあり方について複数の技術者からなるクロスチェックシステムを試みたものであり複数技術者から構成されることにより幅広い意見の収集が可能となった。また、情報を交換することにより問題の解決・収束が可能になったと考えられる。

今後は、実際にトンネル施工が着手した段階で事前設計と実施工との比較を行い事前設計による地山の推定精度について検証していきたいと考える。

最後に、検討会に参加頂いた関係各位のご協力に深く感謝いたします。

【参考文献】

1) 大久保雅憲, 日根幸雄, 中川浩二: 山岳トンネル事前設計合理化のための一つの試み, トンネル工学研究論文・報告集第9巻, 1999年11月, 報告(13), pp.137~142