

地方自治体における CM方式による道路トンネルの施工

Construction of Road Tunnel by Construction Management Method In Local Government

木村正樹¹・櫻井春輔²・一幡和之³・廣瀬榮⁴・神谷信毅⁵

Masaki KIMURA, Shunsuke SAKURAI, Kazuyuki ICHIMAN, Sakae HIROSE and Nobuki KOYA

¹正会員 応用地質株式会社 神戸支店 (〒651-0083 神戸市中央区浜辺通 5-1-14)

E-mail:kimura-masaki@oyonet.oyo.co.jp

²正会員 財団法人建設工学研究所 (〒657-0011 神戸市灘区鶴甲 1-3-10)

³非会員 兵庫県豊岡市日高総合支所 (〒669-5391 豊岡市日高町祢布 920)

⁴非会員 兵庫県養父市養父地域局 (〒667-0198 養父市広谷 250-1)

⁵正会員 株式会社大林組土木技術本部トンネル技術部(〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2)

The authors constructed a road tunnel by the first time Construction Management method in Japan. There were an environmental protection and so on in the problem of this project in addition to the cost cut, the quality assurance. The person in charge of the supplier took charge of this project of 4 months in 3 and could make the inside of the period complete a project. The Construction Management method is valid with the tunnel construction project by the local government.

Key Words: Construction Management, cutting face classification, multipattern, Newtype-shotcrete

1. まえがき

兵庫県豊岡市・養父市は地方自治体では日本初となるCM(Construction Management)方式で2車線の道路トンネル(延長1,563m)を施工した。本トンネルの課題はコスト・工期の厳守, 品質の確保に加えて希少猛禽類保護, 関係者間調整, 地元貢献等が求められた(図-1)。

CM方式では発注者と共同で施工者を管理することになるが, CM業務を執行するCMR(コンストラクション・マネジャー)は5年間の事業のうちの後半の3年4ヶ月間従事し, 期間内にすべての課題を達成した。本稿ではCM方式によるトンネル施工に関する技術的課題と成果について紹介する。

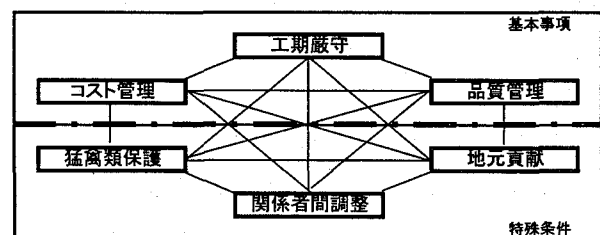


図-1 CMRの主要課題

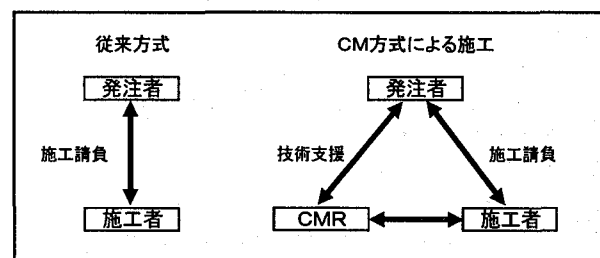


図-2 従来方式とCM方式の比較

2. トンネル地質概要

本トンネルの位置を図-3に示す。

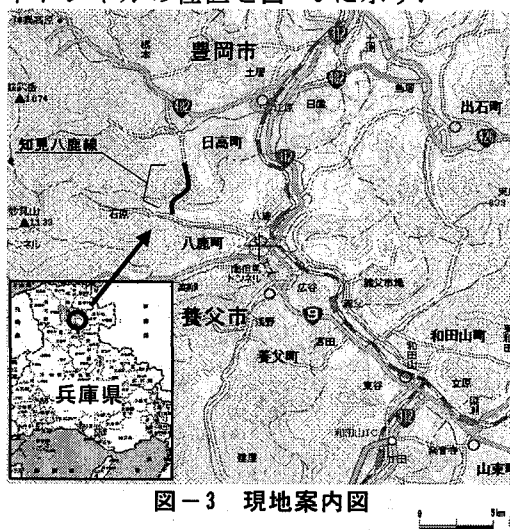


図-3 現地案内図

地質は新第三紀の火山岩が主体で八鹿累層の溶岩・凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩・凝灰岩からなる。溶岩・凝灰角礫岩は不規則に分布し、亀裂に地下水が胚胎して突発湧水が生じる可能性があり、凝灰岩はスレーキングを生じる可能性もあった。

3. CMRの業務への関わり

CMRは事業期間後半の3年4ヶ月間、事業に参与した(表-1)。メンバーは全体を管理する非常駐のチーフマネジャーと全期間常駐する工務サブマネジャー、主として工事期間から常駐するマネジャーと施工担当サブマネジャーの4名である。CMRはその専門性を活かした地質評価、積算、施工管理などに従事するほか両市や県、各種委員会などとの連絡調整、ホームページや学会活動などの情報公開、猛禽類の保全対策など専門性を活かした活動を行った。

表-1 事業執行工程表(開通までの予定を含む)

検討項目	事業年度						備考
	H14	H15	H16	H17	H18	H19	
事前調査・測量	■						
環境調査検討委員会	■	■	■	■	■	■	猛禽類対応
CMR業者選定	■						
予備設計	■	■	■	■	■	■	
詳細設計(明かりトンネル)	■	■	■	■	■	■	
明かり工事			■	■	■	■	
トンネル工事			■	■	■	■	19年度は県担当 決定解除、対策検討
CMR契約期間		■	■	■	■	■	
チーフマネジャー		■	■	■	■	■	非常駐
マネジャー		■	■	■	■	■	役所・現場事務所
施工担当サブマネジャー		■	■	■	■	■	現場事務所常駐
工務担当サブマネジャー		■	■	■	■	■	役所常駐

CM方式による事業実施体制を図-4に示す。

トンネル工事における行政の代行を主目的としたCM方式導入は国内でも初めてであるため、CMアドバイザーによる定期的なモニタリングやCMR選定に携わった外部有識者を含むCM委員会で運営の妥当性を検証した。

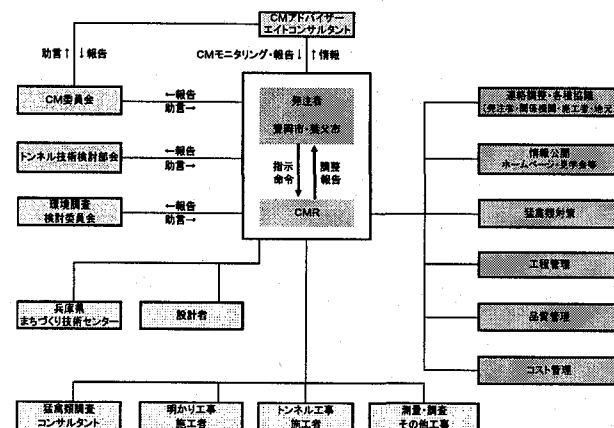


図-4 CM方式による事業体制

また、CMRの技術提案に対してはトンネル技術検討部会で評価して事業を遂行した。

代表的なCMRによる実施内容については、以下のとおりである。

- i) コスト縮減：事業予算内の事業執行
 - ii) 工期厳守：事業期間内の事業執行
 - iii) 品質確保：県の基準による品質確保
 - iv) 猛禽類対応：希少猛禽類の生育環境保全
 - v) 連絡調整：事業者、県、地元調整等
 - vi) 地元貢献：地元経済の発展、技術伝承等
- このうち、i)～iii)は土木事業遂行に当たっては基本的な事項であり、iv)～vi)は本事業の特殊性に関わる条件ある。

本トンネルは第三紀の安山岩質火山岩類(溶岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩)であり、弾性波速度のみに着目した通常の支保パターンでは施工時にかなりの支保増が発生することが予想された。そこで、地質の特徴と地質リスクを考慮した調査、設計、施工管理についてCMRが中心となって事業を推進した。なお、本事業の特殊性に関わる部分のCMRの活動については文献2)～5)で紹介しているので参考にされたい。

4. トンネル建設における CMR の活動

トンネル建設に関わる部分についても、CMR は発注者の代行として予算管理、業務発注仕様の検討および発注業務補助、調査結果の考察、設計管理、施工管理を行った。ここでは今回の CM 方式において実施した特徴的な項目について示す。

4. 1 地山評価の実施

当地に分布する第三紀の火山岩類は硬質で亀裂の多い安山岩質溶岩とスレーキングしやすい塊状～層状の凝灰角礫岩が分布する。したがって、地表地質踏査・弾性波速度のみによる地山区分に加え、2 次元比抵抗探査による比抵抗分布とボーリングコアを切羽評価点で評価する手法を用い、調査、設計、施工の段階で評価点により CMR が地山を評価した(図-5 および文献1)。

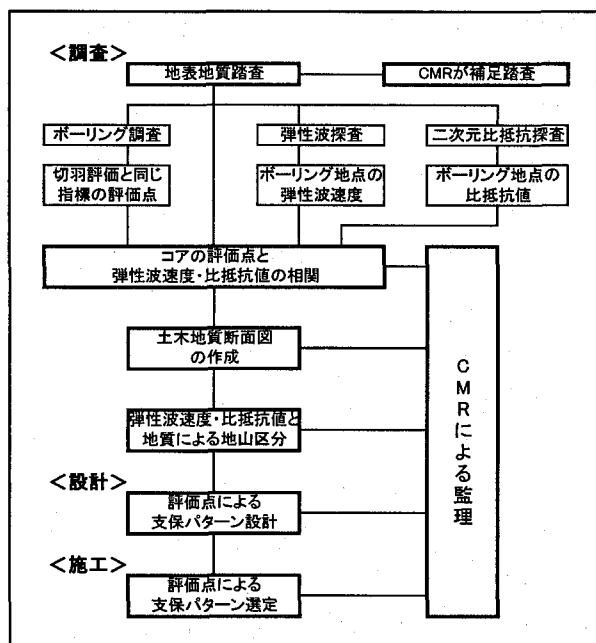


図-5 評価点による調査・設計・切羽判定

兵庫県におけるトンネルの支保パターンの選定は「岩判定委員会」として担当土木事務所の所長や副所長などの経験者が行うのが一般的である。しかし、この方式の場合は関係者間調整が困難で地質急変に伴う対応が困難なことが多い。CM 方式による今回の工事では調査、設計段階から CMR が常駐するため、CMR が発注者

の代行で常に地山評価と適切な支保選定を行い、定期的にトンネル施工技術検討委員会の承認を得る方式とした。この結果、切羽作業を止める時間を最小限にでき、工期厳守や工事費のコストダウンの一助となった。

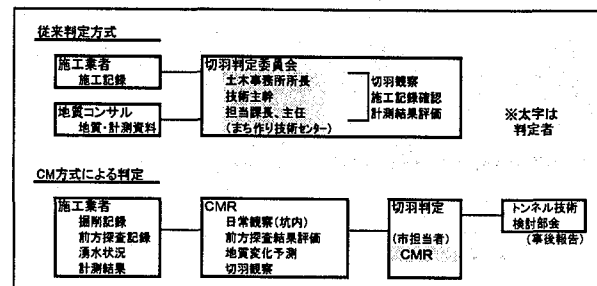


図-6 トンネル支保選定者の比較

4. 2 前方探査の導入

当地域に分布する火山岩類のうち、安山岩溶岩や貫入岩は岩片が硬質なものの亀裂が多く、突発湧水が予想された。また、スレーキングの著しい凝灰岩層を挟むことも調査段階で判明し、補助工法の区間やインバートの必要性検討を事前に行う必要があった。

このため、工事発注仕様に前方探査を盛り込み、技術提案で採用方式を検討した。

前方探査に専用機を使用した場合、

- ・ 専用機の搬出入に時間を要する
- ・ 探査中はトンネル坑夫の手待ちになる

等のデメリットがある。そのため本工事では、油圧削岩機の油圧データを計測し、その結果により地山の性状を判断するシステムを導入した。

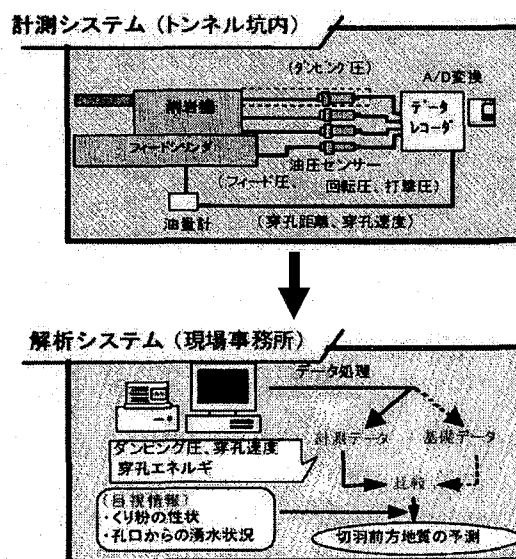


図-7 前方探査システムの概要図

この方式では打撃圧や回転圧、フィード圧等の削孔データから、穿孔速度や穿孔エネルギーといったデータが解析され、下図のような探查結果が出力される。

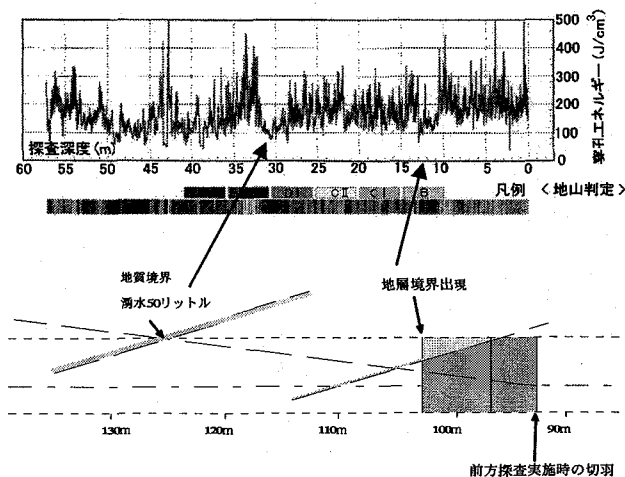


図-8 前方探查結果解釈結果図

このような解析結果と削孔時のくり粉の状態、湧水の状態、さらには事前地質調査の結果等を総合的に判断することにより、以下のようなメリットがあった。

- ・ 事前調査で推定された断層の正確な位置を把握することにより、補助工法を遅滞なく準備できた。
- ・ 毎分 800L を越える突発湧水があったが、直ちに長尺水抜きボーリングの施工に移行できた。
- ・ 地山の硬軟を予め予測することができるため、支保パターン変更を円滑に行うことができた。

4. 3 低粉塵吹付けコンクリート方式の採用

本トンネルは掘削断面積が 50m² 程度と中規模の断面であることから、厚生労働省の「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」の定める粉じん濃度目標レベルを達成することが大きな課題であった。

吹付けコンクリート作業については、吹付方式（エア式、機械式）や吹付材料（配合、混和材等）などの面で様々な検討や改善が行われているが、本事業ではトンネル施工業者選定の段階で技術提案を受け、遠心力を利用した投射

圧着方式を採用した。

i) 投射圧着方式の概要

投射部（ヘッド部）は、ベルトがインペラを配置した主プーリと走行ガイドとなる 4 つの補助プーリに巻かれている。

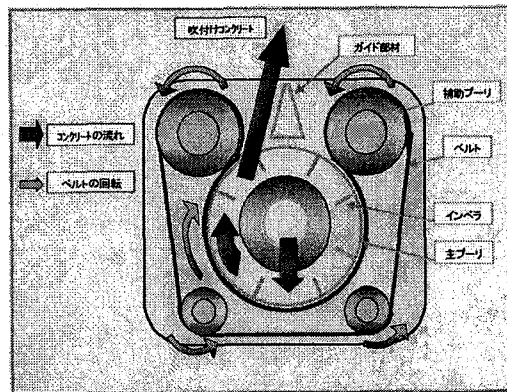


図-9 投射部（ヘッド部）の構造

この方式によるコンクリート投入から吹付までの工程を以下に記す。

- ① ホッパーに投入されたコンクリートが、圧縮空気を用いず圧送ポンプで配管内を移動する。
- ② 投射部（ヘッド部）に達する直前でコンクリートと急結剤が混合される。
- ③ ヘッド部に供給された吹付材料が、ヘッド内を高速走行するベルトに載り、その慣性力で壁面に投射圧着される。

仕様や主な特徴は以下のとおりである。

- ・ 吹付能力は最大 18m³/h である。
- ・ 急結剤には液体、粉体スラリー、粉体のどの種類の急結剤も使用可能である。
- ・ ベルトの回転速度が可変であるため、状況に応じて投射速度の変更が可能である。
- ・ リバウンド率は従来方式（圧縮空気方式）と同等またはそれ以下である。
- ・ 高強度、高品質コンクリートに対応可能である。
- ・ 発生粉じん量が従来方式に比べて大幅に減少する。

ii) 吹付実績

本工事では No.83+18～No.54+08 の計 590m 区間において本方式により約 2,500m³ の吹付コンクリートを施工した。

iii) 粉じん測定結果

本方式による粉じん低減効果を確認するため、粉じん濃度測定を実施した。測定は図-10で示す地点で路盤より1.0mの高さで、切羽より10m、30m、50m地点の計8箇所で行った。

図-11に各測線(10m、30m、50m)における、1分間ごとの粉じん濃度経時変化図を示す。

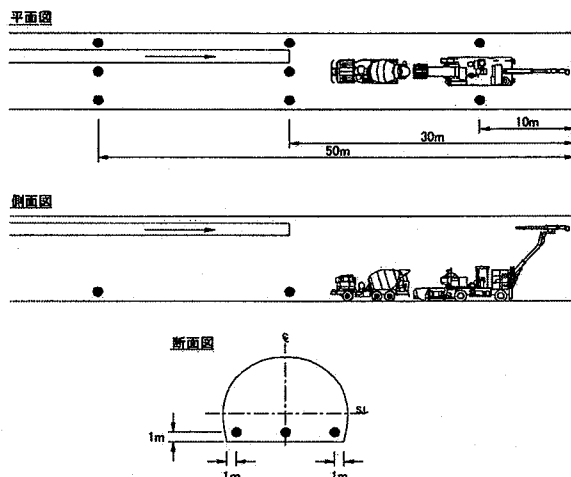


図-10 粉じん濃度測定地点

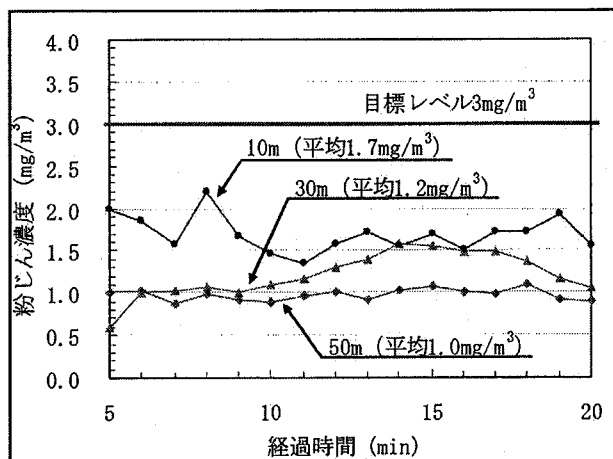


図-11 粉じん濃度経時変化図

測定値は換気の風向変化や吹付箇所の移動等により経時的にややバラつきはあるものの、切羽から50m地点で平均 $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ であり、「ずい道等建設工事における換気技術指針」に示された目標値($3\text{mg}/\text{m}^3$)を大きくクリアする結果である。

作業員が実際に作業する地点(切羽より10m、30m)においても目標値の $1/2 \sim 1/3$ 程度となっており、粉じん濃度の大幅な低減が可能であることが確認できた。

4. 4 高強度吹付けによる新支保パターン

施工の進行に伴い、当地の火山岩類の特徴がさらに明らかとなった。

- ・ 内空変位、天端沈下共に 10mm 以下である。
- ・ 切羽でキープロックの抜け落ちが発生する場合がある。
- ・ スレーキングを生じる層を挟む。

変位が少なく塊状の区間では支保パターンを軽くするべきであるが、1掘進長増加に伴う天端や側壁からの抜け落ちや吹付けコンクリートの剥離、対スレーキングに対する問題が懸念された。このため、投射圧着方式の低粉塵吹付けの特徴を生かし、高強度の吹付けコンクリートを使用した新支保パターンをCMRが検討し、トンネル技術検討部会の承認を得て導入した。新支保パターンの導入延長は表-2に示すようにトータルで250mを上回り、約0.3ヶ月の工期短縮やコストダウンにも寄与した。なお、この区間では吹付けコンクリートの強度不足による亀裂発生や剥離はなかった。

表-2 新支保パターン比較表

地山等級	支保パターン	1掘進長(m)	吹付コンクリート(cm)		ロックボルト(m)		鋼アーチ支保工		m当たり単価(%)*	サークルタイム(m/月)	サークルタイム向上(m/月)	施工延長(m)	備考
			従来	高強度	長さ	ピッチ	上半	下半					
B	B	20	5.0		3.0	1.5×2.0			-	-	-		当初設定
CI	CI _s	1.9		10.0	3.0	1.5×1.9			1.2	128	16	184.3	吹付強度 $36\text{N}/\text{mm}^2$ 以上
	CI	1.5		10.0	3.0	1.5×1.5				112			当初設定
CII	CII _{bs}	1.5		10.0	3.0	1.5×1.5	H-125		2.8	100	13	37.5	吹付強度 $36\text{N}/\text{mm}^2$ 以上
	CII _b	1.2		10.0	3.0	1.5×1.2	H-125			87			当初設定
DI	DI _{bs}	1.2		15.0	4.0	1.2×1.2	H-125	H-125	2.5	76	9	28.8	吹付強度 $36\text{N}/\text{mm}^2$ 以上
	DI _b	1.0		15.0	4.0	1.2×1.0	H-125	H-125		67			当初設定

*設計時パターンを1とした場合の削減率

この新支保パターンの基本的な考え方は、1掘進長を伸ばすかわりに高強度の吹付けコンクリートを使用し、キープロックの抜け落ちを防止するものである。高強度のコンクリートを使用するために、吹付けコンクリートのコストは増加するものの、単位延長あたりのロックボルトおよび鋼アーチ支保工が削減できるほか、サイクルタイムも向上するため工期・コストともに縮減できる。

この新支保パターンの妥当性を検証するためにCⅡbパターンの区間で従来パターンと新支保パターンの区間で計測工Bを実施した。計測地点の地質は安山岩類であるが、表-3に示すように新支保パターン(CⅡb)を実施した地点の地山は従来支保(CⅡb)を実施した地点より若干不良であった。

しかし、表-4に示すように内空変位、天端沈下とも新支保パターンを実施した断面の方が小さく、見かけの弾性係数が大きく高強度吹付の効果が確認できた。

また、計測工Bの吹付けコンクリート応力測定結果と鋼アーチ支保工応力測定結果から支保の荷重分担を分析した結果、図-12に示すように高強度吹付けコンクリートを使用した新支保

パターンでは吹付けコンクリートの荷重負担割合が大きいことが確認できた。

さらに、3次元変形解析ソフトにより、地質条件が同じだったと仮定した場合のトンネル変形量について解析した。

この結果、図-13に示すように高強度の吹付けを使用した場合には、従来パターンと比較して約2割変形を抑制できることを確認した。

図-14に本トンネルの地質分布・計測結果や支保パターンを示す総合断面図を示したが、早期の支保判定や補助工法の検討により、切羽を止めることなく作業を進め、予定より早く掘削を完了することができた。

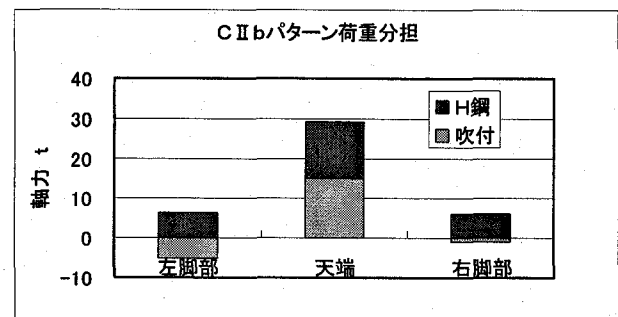
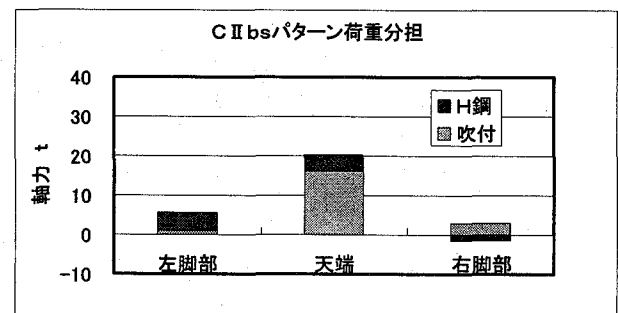


図-12 計測工Bによる支保工荷重分担図

表-3 計測工A・B実施地点一覧表

TD m	1065.8m	1091.3m
支保パターン	CⅡbs	CⅡb
土被り m	100	90
JH 切羽評価点	44.3	56.9
岩片強度 MPa	25~50(区分4)	25~50(区分4)
RQD	25~50(区分4)	50~75(区分3)
不連続面間隔	6~20cm(区分4)	20~60cm(区分3)
不連続面状態	やや粗く新鮮(区分3)	やや粗く新鮮(区分2)
地下水状態	湿潤(区分3)	湿潤(区分3)
岩石種別	安山岩	安山岩
RMR	44	46
弾性係数:E	557MPa	622MPa
逆解析による見かけ弾性係数:E	604MPa	474MPa

表-4 計測工A実施結果比較表

支保パターン	切羽評価点	計測工A(単位mm)			
		左脚部沈下	天端沈下	右脚部沈下	内空変位
CⅡbs	44.3	4.6	5.4	7.4	1.4
CⅡb	56.3	2.6	6.7	5.4	4.2

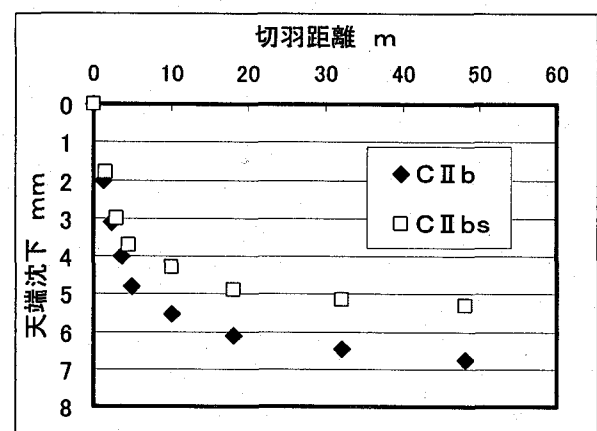


図-13 三次元解析による変形量の比較

5 CM方式導入の成果

CM業務は平成19年3月末に完了したが、トンネル工事を含めた事業の工期、品質を十分に満足するもので、図-15に示すようにコスト削減の目標も達成できた。

平成16年10月20日に台風23号が当地を来襲し、豊岡市では総雨量360mm、死者7名、家屋全壊333棟、半壊3,773棟で激甚災害指定地となった。工事現場の被災は最小限であったが、翌1月末の災害査定のために市職員は寝食を忘れる作業の連続となった。このような状況下においてもCMRが専任組織として活動できたため、明かり工事の監理やトンネル工事業者の選定などの業務を予定通りに遂行することができた。このほか、市町合併に伴う影響も最小限に抑えることができ、最終的には本事業を当初工程より早く完了させることができた。

技術的な成果は4章にまとめたとおりであるが、設計支保パターンと実施支保パターンの関係を図-16に

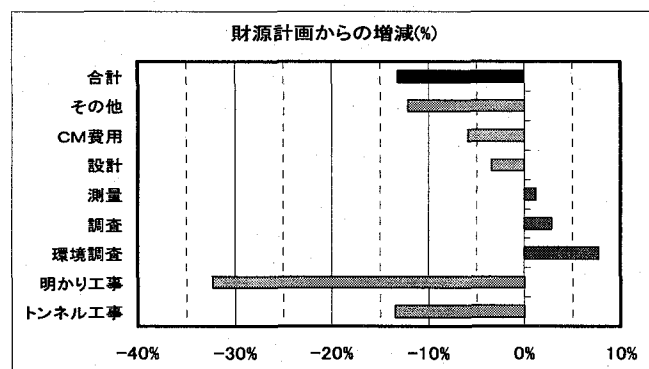


図-15 項目ごとのコスト削減結果

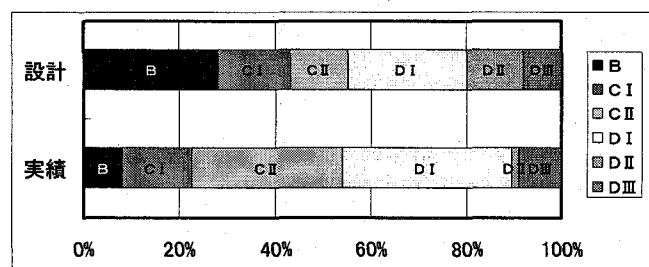


図-16 本トンネルにおける支保パターンの対比

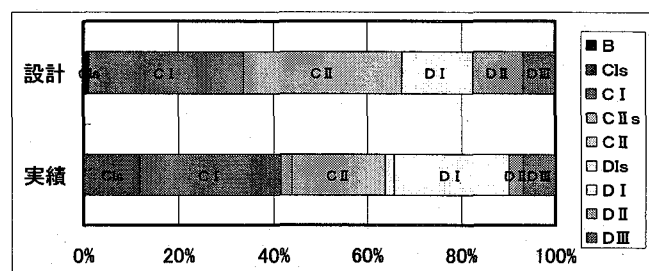


図-17 火山岩地山での支保パターン推移例⁹⁾

示す。この結果は、過去の火山岩地山での支保パターンを整理した結果(図-17)と比較しても乖離が少ないといえる。火山岩地山では溶岩類と凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩が複雑に分布して地山評価が困難な場合が多いが、CMRによる一貫した管理の下に、精度の高い支保設計が実施できることを確認できた。

6. あとがき

今回のCM方式によるトンネル事業の執行は、CM業務導入を決定した日高町・八鹿町の段階では役割分担が明確であったわけではなかった。しかし、事業の進行につれCM委員会の助言を受けながら徐々に役割分担が確立されていった。このような方式を試行錯誤しながら確立できたことが、工期・コストの厳守や、その他の困難な命題に対処できた重要な要因になっていると考える。

今回の報告が今後の地方公共団体におけるトンネル事業執行の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 木村正樹・岡部幸彦・鳥居敏・一幡和之・安田徹：火山岩地山トンネルの建設における評価点法の活用，土木学会，トンネル工学研究発表会報告集 第16巻 pp.83-90, 2006.11
- 2) 石澤伸彰・木村正樹・鳥居敏：猛禽類の生息環境保全に配慮した道路整備事業，全地連「技術 e-フォーラム 2007」札幌，2007.9
- 3) 木村正樹，岡部幸彦，宮下心：地方自治体におけるCM（コンストラクション・マネジメント）の実施例（その5），第62回土木学会年次学術講演会，2007.9
- 4) 鳥居敏，木村正樹，宮下心：地方自治体におけるCM（コンストラクション・マネジメント）の実施例（その6），第62回土木学会年次学術講演会，2007.9
- 5) 宮下心：地方自治体におけるCM方式を活用した道路整備事業，近畿地方整備局，平成19年度管内技術研究発表会，2007.7
- 6) 木村正樹・杉田理・大塚康範：評価点法を用いた事前調査による地山評価と施工，土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集 第11巻，pp.87-92 2001.11
- 7) 木村正樹・杉田理・長谷川信介・古田尚子：トンネル建設における評価点法の活用に関する考察，第13回トンネル工学研究発表会，pp.37-44, 2003.11
- 8) 中川浩二：弾性波速度分布によるトンネル岩盤の事前予測と施工時の岩盤評価との関係，日本応用地質学会，平成13年度講演会概要集 2001.6
- 9) 三宅和志：トンネル事前設計における弾性波速度評価に関する研究，山口大学大学院工学研究課修士論文，2002.2