

覆工背面空洞調査手法の適用性に関する検討

- PVM(Percussive-drilled Void Measuring)システムの実証試験結果 -

日本道路公団試験研究所 正会員 ○大嶋健二
 日本道路公団試験研究所 正会員 伊藤哲男
 清水建設株式会社 正会員 西村晋一
 清水建設株式会社 フォロー 河野重行

1. はじめに

覆工背面空洞の注入工事に先だって行う空洞調査は、現状では、覆工コンクリートをコアドリルで削孔し、その孔に計測棒を挿入して計測する方法が一般的である。しかし、1箇所あたりの削孔に多くの時間を要し、規制日数が多くなることから工期や費用面で課題を残している。そこで、高速度で効率的な調査が可能なシステム開発を目的とし、平成13年度より、覆工コンクリートを高速削孔しながら、覆工や覆工背面の状況を高速、高精度で調査できるシステムの検討を行ってきた。当システムは、現在までに、工場での基礎試験や実トンネルにおける確認試験を重ね、先頃、2箇所のトンネルで実証試験を行ったところであり、その結果、当システムが今後の新しい空洞調査手法として適用が可能と考えられるため報告するものである。

2. システムの概要

図1にシステムの概要を示す。当システムは、打撃と回転の併用による削孔方式で覆工および地山を高速で削孔し、削孔中の種々の機械データをリアルタイムに計測し、制御装置へ自動的に送信、図化・解析することで判定を行なうものである。削孔径は、可能な限り打撃圧を抑えることおよび削孔の速度向上も考慮して極力小さく（φ33mm）している。また、調査の結果、空洞が判明した場合、削孔した孔を注入用に拡張（φ65mm）する機能も兼ね備えたものである。



図1 システム概要図

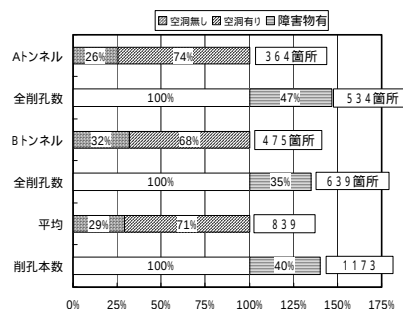


図2 調査結果の概要

3. 実証試験

(1) 調査結果の概要

調査結果の概要を図2に示す。調査削孔を行ったうちの約7割で空洞が存在した。また、削孔途中で鋼アーチ支保工等が障害になり削孔不能となった割合は、削孔対象箇所数に対して約4割となった。

(2) 施工時間の分析

施工時間の分析結果を図3に示す。図中の所要時間とは、規制完了後の準備作業と規制解除前の跡片付けに要する時間を除いた1箇所当たりの作業時間である。平均所要時間は、空洞が無かった場合が15分、空洞が有り削孔した孔を注入用に拡張（φ65mm）した場合が23分であった。図中、多くの時間を費やしたものは、湧水対策や他工事との調整による作業待ちに要した時間等が含まれている。

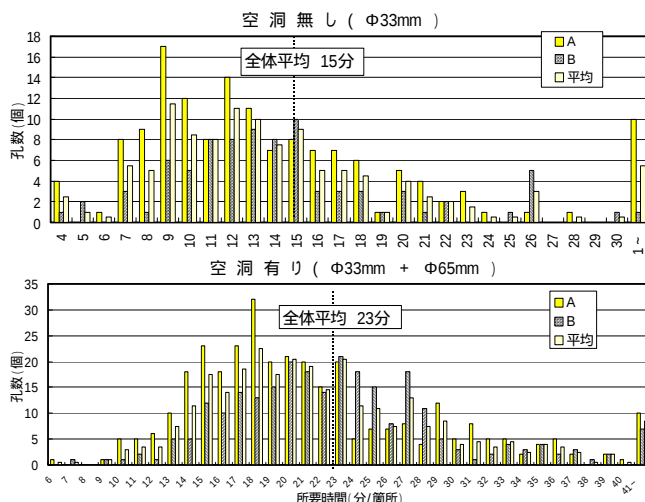


図3 施工時間の実績

キーワード：トンネル覆工，維持管理，空洞調査，回転打撃式削孔，機械データ

〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1 Tel: 042-791-1621 Fax: 042-791-2380

(3) 削孔能力と調査費用の比較

調査能力の比較を表1に、調査費用の比較を表2に示す。調査能力は、空洞有り無しともに、コアドリルに対してPVMのほうが高い結果となった。1箇所当たりの調査費用の比較では、空洞が無い場合はPVMが安価、空洞が有る場合はPVMが高価、障害物に干渉した場合はPVMが安価となる。しかし、空洞の分布状況や障害物の干渉箇所の割合により、単に1箇所当たりの単価比較では優位性が把握できない。今回の2トンネルの調査結果の実績で費用を比較した結果、全体調査費用としてはPVMが安価となることがわかった。なお、調査費用の内、多くを占めるのは機械損料であり、ビットの損耗費も約2割を占める。

表1 調査能力の比較表

コアドリル[箇所/日(7hr)]	PVM[箇所/日(7hr)]	
	空洞無し	空洞有り
0.77h/m[2セット] ↓ 9.1m/日(7hr) ↓ 16.5本/日[平均覆工厚さ:0.55m]	15分/箇所 ↓	23分/箇所 ↓
17	28	18

表2 調査費用の比較表

項目	コアドリル		PVM	
	数量(箇所)	金額(百万円)	数量(箇所)	金額(百万円)
比較1 (箇所当たり)	空洞無し * 1	18.8	15.3	千円
	空洞有り * 2	21.7	23.4	千円
	障害物有り * 1	15.6	10.4	千円
比較2 (全体当たり)	空洞無し * 1	245	245	3.7
	空洞有り * 2	594	594	13.9
	障害物有り * 1	334	334	3.5
	合計	22.7		21.1
	* 1: 削孔費と閉塞工費		* 2: 削孔費と注入管設置費	

(4) 機械データの判読

PVMシステムは、計測データから空洞の高さを正確に把握することが主たる目的であるが、覆工の背面には崩落して緩く堆積した地山、木製矢板、裏込め材などの存在が考えられる。図4に空洞が存在した場合の計測データの例を、表3に調査対象物と機械データの傾向・特性を示す。これより、削孔速度、回転圧等の機械データの傾向・特性を知り得ることで判読が可能である。

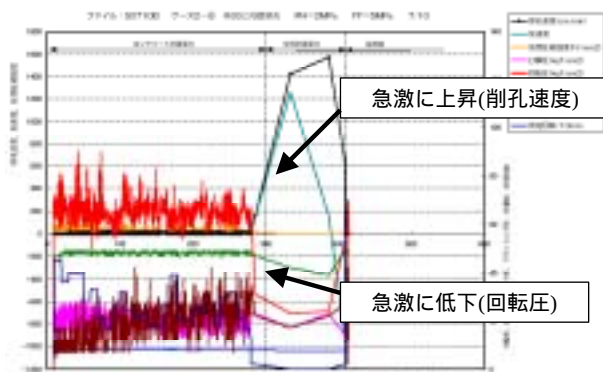


図4 計測データ例（空洞有）

4. PVMに求められる施工能力

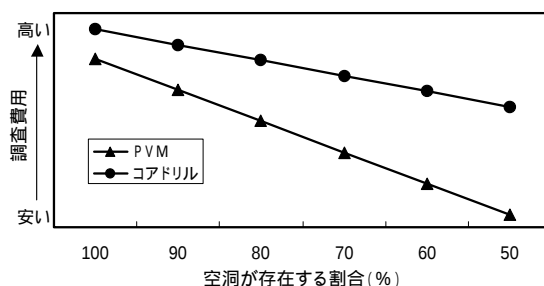
調査費用は表2に示したとおり、空洞が有りの場合はPVMの方が高価となっている。空洞有りの場合の1箇所当たりの平均所要時間は、図3に示しているが、これは湧水対策や他工事との調整による作業待ちに要した時間等が含まれる特異値も対象としている。よって、それらを除いた安定した作業時間群の割合は非常に多いことから能力は向上できると推察される。コアドリルより安価となる場合のPVMの削孔能力は、試算では21箇所/日である。なお、PVMの優位性を探るために、空洞がなかった場合のコアドリルとPVMの比較を図5に示すが、空洞が存在する割合が少なくなるほど調査費用の差は大きくなることわかる。

5. まとめと課題

実証試験結果から当システムは、高速度、高精度で調査が可能で、従来のコアドリルの調査手法に対して経済的である。よってPVMシステムは、今後の新しい空洞調査手法として位置付けられると考える。今後は、ビット損耗の抑制に関する検討や調査結果判定の自動化およびコンクリート強度等の劣化度判定の可能性を明確にすることにより当該システムがさらに発展すると考えられる。

表3 機械データの傾向・特性

調査対象	削孔速度	回転圧	エアフラッシング圧
覆工コンクリート	非常に小さい値で安定する	一定幅で安定する（変動はする）	一定値で安定
空洞	急激に上昇する。空洞が大きい場合は空打ちデータと同等の値を示す。	急激に低下し、安定する	変化なし
緩い地山	緩やかに上昇する。空洞に比べ急激ではない。終局値は密度による。	緩やかに低下する。空洞に比べ低下は急激ではない。終局値は密度による。	変化なし
木製支保工	非常に小さい。覆工と同等	覆工より小さい値で安定	上昇する
裏込め	覆工に比べやや増加し安定する	木製支保工より小さい値で安定	上昇する
地山(岩)	基本的に覆工と同傾向の計測データが得られるが、岩石強度により程度は異なる。		



調査費用内訳
 空洞有りの場合は削孔費と注入管設置費、空洞無しの場合は削孔費と閉塞工費である。PVMの費用は、空洞有りの場合は21箇所/日、空洞無しの場合は28箇所/日の能力で算定

図5 空洞が存在する割合と工費の関係