

覆工とインバートの打継ぎ目の力学特性に関する要素実験

首都大学東京大学院 学生会員 ○宮石 雅子
 首都大学東京大学院 正会員 砂金 伸治, 西村 和夫
 (国研) 土木研究所 正会員 小出 孝明, 日下 敦

1. はじめに

山岳トンネルにおいて覆工設計を行う場合、覆工とインバートの接続部分を剛結として扱うことが多いが、実際は、それぞれ先行または後行で打ち込んだコンクリートにより打継ぎ目が存在する。したがって、覆工の力学的挙動を検討する場合、安全性、合理性を確保する観点から、覆工とインバートの打継ぎ目に生じうる不連続面がトンネルの挙動に及ぼす影響を把握し、必要に応じてそれらの力学特性を考慮することが重要だと考えられる。しかし、現時点ではその特性が明らかになっていないとともに、これらを検証するための手法もまだ確立されていない。

そこで本研究では、覆工とインバートの打継ぎ目の力学特性を考慮したトンネル挙動の検討を行う手法を確立することを目標とし、要素実験および数値解析を通じて、打継ぎ目特性を表現しうる解析要素とその特性パラメータを検討することで、打継ぎ目を含むトンネルの挙動を考慮することが可能な解析モデルを提案した。

2. 覆工とインバートの打継ぎ目に関する要素実験

2.1 実験方法

図-1 に実験装置の全景を示す。実験装置は(国研)土木研究所が所有する二次元載荷試験装置を使用した。本研究では2方向に載荷用のジャッキを設置し、二面せん断試験を実施した。図-2 に実験模型を示す。実験模型は先打ちコンクリート打設後、それぞれの先打ちコンクリートに異なる打継ぎ目の処理を施し、1週間後に中央に後打ちコンクリートを打設したものとした。実験手順は、一定軸力の下、模型がせん断破壊するまで後打ちコンクリートの左側壁全面から、先打ちと後打ちのコンクリート打継ぎ面に対するせん断方向に載荷した。載荷の制御方法は軸力載荷を荷重制御、せん断力方向の載荷を変位制御(1mm/min)とした。また、後打ちコンクリートに2点せん断変位計を設置した。

2.2 実験ケース

打継ぎ目処理の方法は、実務上の違いを考慮し、目粗し処理をした模型(以下、目粗し)とコテ均し処理をした模型(以下、コテ均し)とした。図-3 に示すように、コテ均しは金鋺で均し、目粗しはレイタンス処理後に高圧洗浄機による洗浄を粗骨材が見えるまで行った。実験ケースは目粗し6体(A1~A6)、コテ均し3体(K1~K3)、また比較のケースとして一体打設1体(N)を加えた計10体で行った。作用させた軸力は覆工の自重と、土被り1D分の緩み荷重を想定した。

2.3 実験結果

打継ぎ目処理の違いによる破断面の特徴を図-4 に示す。目粗しでは後打ちコンクリートの母材で破断し、コテ

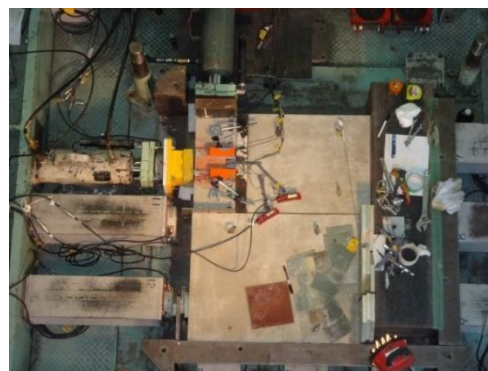


図-1 実験装置の全景

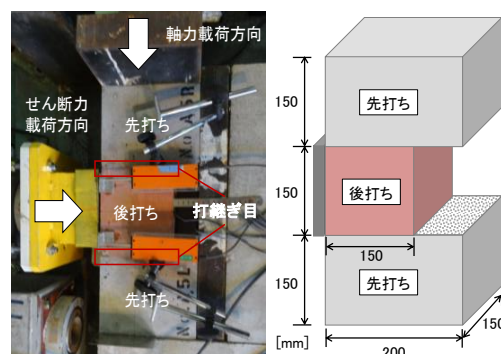


図-2 実験模型

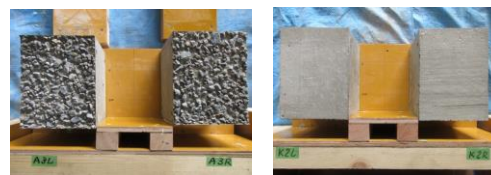


図-3 打継ぎ目処理
(左：目粗し，右：コテ均し)

連絡先：首都大学東京 住所〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-1111 (代表)

均しでは打継ぎ目で破断したことから、目粗しの場合は一体打設とほぼ同等の付着力を有することが分かった。また、打継ぎ目における面の境界特性として、モール・クーロンの破壊規準に帰着できると仮定した場合の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を、破断した際の軸応力とせん断応力の結果から算出した。各実験ケースの σ と τ を表-1 に示す。また、それらをプロットした結果を図-5 に示す。これらの線形近似曲線からモール・クーロンの破壊規準線を求め、それぞれの c と ϕ を算出した結果を表-2 に示す。コテ均しと目粗しで内部摩擦角はほぼ変わらなかったが、粘着力は目粗しがコテ均しの 10 倍程度となり、粘着力に関して明らかな差異が生じることが分かった。

3. 有限要素法による要素実験の再現解析

3.1 解析概要

本研究では、打継ぎ目特性を表現しうる解析要素として、インターフェイス要素を仮定した。再現解析では、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートの接続面にインターフェイス要素を配置し、荷重と変位の関係が実験結果と解析結果で概ね等しくなるようなインターフェイス要素物性値をトライアルで設定した。今回は、せん断挙動に影響する主たるパラメータであるせん断剛性 K_t 、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ の中から、 K_t で初期勾配を合わせ、 c で最大せん断荷重を合わせ、 ϕ は実験で得られた値で固定した。実験における荷重と変位の関係の初期勾配と最大せん断荷重は、各実験ケースの平均とした。

3.2 解析結果

設定したインターフェイス要素物性値を表-3 に示す。またその際の荷重と変位の関係を図-6 に示す。目粗しとコテ均しともに、初期勾配と最大せん断荷重が実験値と解析値で概ね一致していることから、表-3 に設定したインターフェイス要素物性値を用いることで、打継ぎ目の力学特性を概ね再現できることが分かった。また、目粗しとコテ均しで、粘着力だけでなくせん断剛性に関しても明らかな差異が生じることが分かった。

4. まとめと今後の課題

要素実験から、打継ぎ目処理の違いによるせん断力に対する抵抗力の差異を確認することができたとともに、せん断力の影響が顕著に表れる条件下では打継ぎ目周辺に発生する変形や応力の状態が打継ぎ目処理によって異なる可能性が示唆された。また、打継ぎ目における面の境界特性として粘着力と内部摩擦角を算出した結果、コテ均しと目粗しで内部摩擦角はほぼ変わらなかったが、粘着力に関して明らかな差異が生じることが分かった。また、再現解析では、インターフェイス要素を用いることで、打継ぎ面の力学的挙動を概ね再現できることが分かった。その際、目粗しとコテ均しで、粘着力だけでなくせん断剛性に関しても明らかな差異が生じることが分かった。今後は現場計測やさらなる解析的検討を行い、より実際に近い覆工とインバートの打継ぎ目の力学特性を把握する必要がある。



図-4 破断面の様子
(左：目粗し，右：コテ均し)

表-1 各ケースの σ と τ

CASE	軸力 (kN)	最大せん断荷重 (kN)	σ (MPa)	τ (MPa)
A1	3.5	296.4	0.156	6.587
A2	17	344	0.756	7.644
A3	3.5	210.8	0.156	4.684
A4	17	359.2	0.756	7.982
A5	3.5	288.7	0.156	6.416
A6	17	279.8	0.756	6.218
K1	3.5	27.2	0.156	0.604
K2	17	61.5	0.756	1.367
K3	10.25	51.2	0.456	1.138
N	17	277.4	0.756	6.164

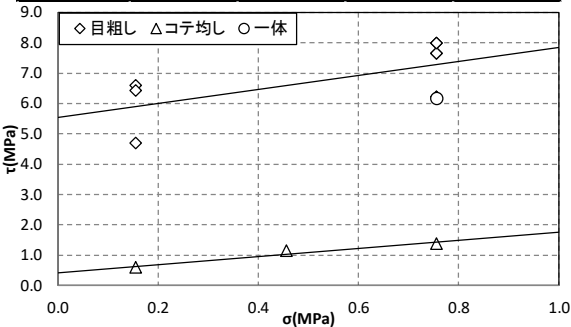


図-5 σ と τ の関係

表-2 コテ均しと目粗しの c 、 ϕ

	目粗し	コテ均し
粘着力 (MPa)	$5 < c < 6$	0.415
内部摩擦角 (deg)	$50 < \phi < 70$	54

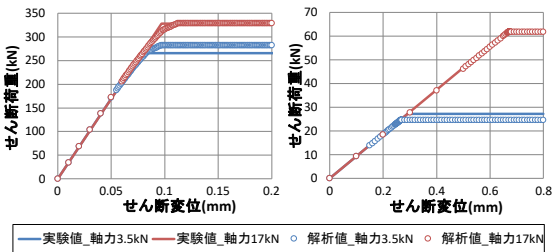


図-6 打継ぎ目処理
(左：目粗し，右：コテ均し)

表-3 インターフェイス要素物性値

	法線剛性 (GN/m ³)	せん断剛性 (GN/m ³)	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (deg)
	K_n	K_t	c	ϕ
目粗し	2200	15	0.9	60
コテ均し	2200	0.31	0.05	54