# 覆エコンクリートのせん断変形に対する追随性の確認

国立研究開発法人土木研究所 正会員 〇小出孝明・砂金伸治・日下敦・岸田展明

### 1. はじめに

道路トンネルでは過去の巨大地震において覆工コンクリートが破壊されブロック化 したコンクリート塊が落下した状態などが確認されている(写真-1).得られる情報から は動的な挙動に対して覆工コンクリートの構造としての剛性が高い可能性が考えら れると同時に、地山からの大きな外力の作用や変形を受けた場合に覆工コンクリート はそれらの挙動に対して終局状態以降を含めてどの程度の追随性を有するのかと いうことを把握する必要がある.そこで、トンネル覆工コンクリート部材におけるせん断 破壊を模擬した要素実験を行った.本稿はその実験結果を報告するものである.

#### 実験の概要

### 2-1.供試体

実験で用いた供試体は全て同じ形状寸法とした.形状は載荷装置の制約から アーチではなく直線とし、寸法は覆工模擬部の長さを 80cm とし載荷方向に対して厚 さを 35cm, 奥行きは 50cm とした.また,せん断破壊を誘導するために覆工模擬部の 両端に曲げ変形を抑制するための厚さ 70cm の固定部を設けて鋼棒で締め付けた (図-1). コンクリートは覆工に使用される無筋,鉄筋および鋼繊維補強コンクリートの 3 種類を用いて,各種 2 体ずつの供試体を作成し,鋼繊維補強コンクリートについて は混入率 0.3%の 2 体に加えて 0.5%の供試体を 1 体作成した.また,コンクリートの 配合や補強材の規格は実績を参考に決定した(表-1).

#### 2-2.載荷方法

載荷装置は 2,000kN までの載荷重と 300mm のストロークが可能なものを用いた. 載荷を鉛直下方に行い, CASE1, 3, 5 では供試体が破壊されて落下する瞬間的な 現象についてより実際に近い再現をして観察する目的から, 荷重制御で載荷装置の 動きを止めないように押し下げた.また, この方法での載荷ができなくなる場合には 変位制御に切替える方針とした.一方で CASE2, 4, 6, 7 では荷重と変位の 関係を確認するために変位制御により載荷した(表-1).

#### 2-3.測定と観察

測定項目は荷重と変位とし、荷重は載荷装置からの出力を記録した.変位は変位計を2つの観察面における覆工模擬部の両端と中心位置の計6 箇所に設置して測定した.なお、端部の変位計に破壊の影響を受けた ケースがあり、本稿では中心位置の変位量で結果をまとめた.また、破壊 時の瞬間的な動きを観察するために撮影した映像を利用して補完した.

#### 3. 実験の結果

### 3-1.無筋コンクリート

最大荷重と変位は CASE1 では 809 kN で 21mm, CASE2 では 888kN で 15mm となった. 観察結果や荷重と変位の関係は 2 つ の CASE で概ね一致していたため,本稿では CASE2(図-2)で説明する. 載荷重が 466kN の時点で載荷面の端部から斜め下方 にひび割れが発生(写真-2)すると,荷重-変位曲線の傾きが緩やかになった. その後荷重と変位が一定の傾きのまま最大荷重 に達すると,直後に右端部で鉛直方向のせん断破壊が発生した. しかしながら,ブロック化したコンクリートは左側の架台を中心 に回転して固定部との接触により支持され,この時点で落下は模擬出来なかった. 更に変位を増加させると 96mm でバランスが 崩れて抜け落ちた.

キーワード: 覆工コンクリート, せん断破壊, 鉄筋コンクリート, 鋼繊維補強コンクリート 連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ TEL: 029-879-6791



写真-1 覆エコンクリートの崩落 (国土交通省のホームページより抜粋)



#### 図-1 実験概要図(観察面)

#### 表-1 実験ケース一覧

CASE		使用材料	
		コンクリート	補強材料
1	無筋(荷重制御→変位制御)	22.5-15-40	_
2	無筋(変位制御)		
3	鉄筋(荷重制御→変位制御)		主筋:D19@200
4	鉄筋(変位制御)		配力筋:D16@300
5	鋼繊維0.3%(荷重制御)	24-18-20	スチールファイバー
6	鋼繊維0.3%(変位制御)		定_001111, φ=0.731111 混入量W=28.6kg/m <sup>3</sup>
7	鋼繊維0.5%(変位制御)		混入量W=46.5kg/m <sup>3</sup>



図-2 荷重一変位曲線図

## 3-2.鉄筋コンクリート

CASE3,4の過程は概ね一致した.CASE4(図-2)では最大荷重1,935kNで,変位4mmに達 すると荷重の減少と変位の増加が急激に進み,変位9mmで右端部に鉛直方向のせん断破 壊が生じた.続いて変位20mmで左端部にもせん断破壊が生じ,ブロック化した覆工模擬部 は水平を保った状態で押し下げられた.変位が155mmに達した時点で被りコンクリートが剥 がれて鉄筋が現れ、ブロックが吊り下げられた状態(写真-3)で荷重が260kNになった.この測 定値を実物大のスケールに単純に換算すると1スパン(L=10.5m)あたりW=(260×10.5)/0.5≒ 5,500kNとなり,覆工1スパンの全自重の概算値をWs=0.35×22×10.5×23≒1,900kNとする と約3倍に相当する.この結果からは覆工の自重に対して大きな崩落防止効果が期待できる と考えられる.更に押し下げると変位が199mmに達しても落下せず,この時点で載荷板と供 試体の固定部が接触するため終了した.ブロック化した後に変位が増加する過程では荷重 の変化が小さい20~88mm,88~155mm,155~176mmの3区間が存在した.これは鉄筋が引 き伸ばされながらも強度を保持している状態であると推定され、鉄筋の延性がせん断変形へ の追随性を高める一因であると考えられる.また,これらの区間の境界では大きな音を伴うな どをして荷重が減少したが,実験後にコンクリートを斫り確認すると,中央に配置した主筋が 右側のせん断破壊面で破断していた.

### 3-3.鋼繊維補強コンクリート

CASE5, 6 の過程は概ね一致した. CASE5 では荷重制御により破壊が完了するまで連続し て押し続けた. 最大荷重 1,171kN で,変位 3mm に達すると右端部で鉛直方向にせん断破壊 が生じて荷重の減少と変位の増加が急激に進み,続けて左端部にもせん断面が生じてブ ロック化した覆工模擬部が落下した(写真-4). この時,破壊面を観察すると破断した鋼繊維は 見つからず,ほぼ全ての繊維で付着が切れてコンクリートより抜けた状態であった. 次に CASE6,7では変位制御により荷重と変位の関係(図-2)を確認した.3 つの CASE で最大荷重 は一致し,鋼繊維量の違いは変位量の差 2mm に現れた.また,せん断破壊発生後の動きも ほぼ一致していた.これらの結果は鋼繊維がせん断破壊の発生までの変形を抑制しているこ と,コンクリートにせん断破壊が発生すると付着が切れて補強の効果が失われる可能性があ ることを示唆している.また,せん断破壊発生後の荷重は無筋コンクリートの場合と同様に固 定部との接触により発生していると推定され,荷重の大きさなどを比較すると同程度である.し かしながら,今回の実験条件で荷重が0kNになったのは100mm程度変位した時点であった.



写真-2 無筋コンクリート の破壊状況



写真-3 鉄筋コンクリート の破壊状況



写真-4 鋼繊維補強コン クリートの破壊状況

### 4. まとめ

鉄筋コンクリートは無筋・鋼繊維補強コンクリートと比べてせん断変形への追随性が高く、ブロック化したコンクリート塊の自重に よる崩落の発生確率を低減できる可能性があることが判った.これは鉄筋コンクリートでトンネル覆工を施工した区間における崩 落事例が無い事実とも整合する.今後は更に実大規模での検討や補強などが必要な場合の考え方の整理を進めていきたい.