

V-589

トンネル覆工の内面補強に関する実験的研究

ショーボンド建設 正会員 木田 秀人*
 鉄道総合技術研究所 正会員 朝倉 俊弘**
 鉄道総合技術研究所 正会員 小島 芳之**
 鉄道総合技術研究所 正会員 高橋 徹 **
 ショーボンド建設 正会員 佐野 正 *

1. はじめに

ひび割れや変状が生じたトンネル覆工の補強対策として、トンネル内面に鋼板あるいは炭素繊維シート（CFシート）を接着する内面補強工がある。著者らは、トンネル覆工の変状対策工設計法の確立を目的として、新幹線トンネル標準断面を想定した直接荷重方式の覆工実験装置（縮尺 1/30）を用い、鋼板あるいはCFシートで補強された覆工に対し荷重実験を行い、内面補強工の変位抑制効果などに関する知見を得ている¹⁾。しかし、覆工実験装置では寸法効果の影響が不明なため、実大トンネルのクラウン部をモデル化したアーチ状はり供試体に鋼板あるいはCFシート補強を施し曲げ荷重試験を行った。本論文では補強効果および破壊形態などについて報告するものである。

2. 実験概要

本実験では、補強方法、アーチ半径Rをパラメータとして、表-1に示すNo.1～9のケースについて荷重を行った。No.2、5、8は複線断面を、No.3、6、9は単線断面をイメージしており、No.1、4、7の直はりにはアーチ状はりとは比較のため実施した。図-1に供試体を示す。試験時のコンクリート強度は $f_c = 33.0\text{N/mm}^2$ であった。本実験は200kN試験機を用いて行い、測定は荷重を試験機のロードセル、中央変位を高感度変位計、補強材のひずみを5個所のひずみゲージにより実施し、目視によりひび割れを観察した。荷重は変位制御とし、最大荷重に達するまで $\delta = 0.05\text{mm}$ ピッチで行った。最大荷重以後ははく離あるいはせん断破壊といった最終的破壊または中央変位10mmを満たすまで、随時、ひびわれの発生・進展を記録し、荷重、中央変位、補強材ひずみを計測した。補強材は変状トンネル対策工設計マニュアル²⁾で規定されている構造細目に基づき、CFシートは高強度タイプで目付量 200g/m^2 1層、鋼板はSS400板厚 $t=4.5\text{mm}$ を使用した。

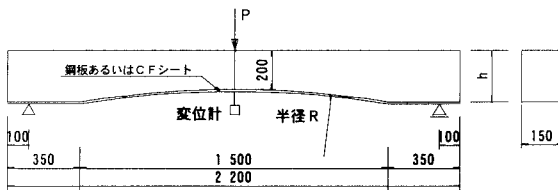


図-1 供試体（単位 mm）

表-1 実験ケース

供試体 No.	補強方法	h (mm)	R (m)
1	無補強	200	なし (∞)
2		263	4.5
3		326	2.3
4	鋼板 (4.5mm)	200	なし (∞)
5		263	4.5
6		326	2.3
7	CF シート (200g/m ² 1層)	200	なし (∞)
8		263	4.5
9		326	2.3

3. 結果および考察

図2～4に補強方法別にまとめた荷重-変位関係、表-2に各ケースのひび割れ荷重、最大荷重、最大荷重時の補強材のひずみを示す。破壊形態については、No.1～3（無補強）は荷重点付近に曲げひび割れが発生し、7～8kNで曲げ破壊した。No.4～6（鋼板補強）は荷重増加とともにひび割れが分散して発生し、最大荷重キーワード トンネル補強、覆工、鋼板、炭素繊維シート

連絡先 * 〒305-0003 つくば市桜1-17 TEL.0298-57-8101 FAX.0298-57-8120

** 〒185-8540 国分寺市光町2-8-38 TEL.0425-73-7266 FAX.0425-73-7248

表-2 実験結果

供試体 No.	ひび 割れ 荷重 (kN)	最大 荷重 (kN)	最大 荷重時の 補強材の ひずみ(μ)	破壊 形態	備 考
1	3.46	7.44	-	曲げ 破壊	無補強
2	4.07	7.62	-		
3	7.26	7.26	-		
4	27.50	72.50	1388	せん断 破壊	鋼板 補強
5	28.99	65.37	1141		
6	30.55	49.44	926		
7	8.35	8.35	193	シート はく離	CF シート 補強
8	10.95	10.95	251		
9	8.52	12.01	378		

重時に斜めひびわれからせん断破壊する脆性的な挙動を示した。No.7～9（CFシート補強）はCFシートにより曲げひび割れが抑制され、2 ケースで載荷点付近に曲げひび割れが生じたと同時に最大荷重となった。最大荷重発生後は、他のケースと異なり荷重低下が少なく、徐々にCFシートのはく離が進行する延性的な挙動を示した。

図-2 に示す No.1～3（無補強）ではアーチ半径Rの相違による最大荷重、変位に明確な差は見られず同じ挙動を示した。図-3 に示す No.4～6（鋼板補強）ではアーチ半径Rが大きくなる（2.3m→4.5m→ ∞ ）に従い、最大荷重が増加し、またせん断破壊を引き起こす斜めひび割れは、載荷点から30cm（No.6）、50cm（No.5）、20cm（No.4）の位置に発生した。図-4 に示す No.7～9（CFシート補強）ではアーチ半径Rが小さくなる（ ∞ →4.5m→2.3m）に従い、最大荷重が増加する結果を示した。

以上の結果より、No.1～3（無補強）では最大荷重は載荷点の断面で決定してしまうためこのようにアーチ半径の影響が現れないのではないかと考えられる。また、図-2、3、4 より、内面補強工を施したことにより無補強を上回る耐力が得られることが確認でき、剛性の高い鋼板の方が変位抑制効果が高いことがわかる。しかし、剛性の高い補強材を用いると変位抑制効果は高いが脆性的な挙動を示すため、内面補強工の設計においては予想される土圧、許容される変位を考慮して、補強材料を決定すべきである。

4. おわりに

本報告では、曲率および補強材の違いによる、梁の耐力および変位の違いを比較した。今後、FEMなどによるシミュレーション解析を実施し、梁に作用する応力状態を明らかにしていきたい。

参考文献 1) 朝倉、安東、小俣、若菜、松浦：欠陥を有するトンネル覆工の変形挙動と内面補強工の効果、土木学会論文集、No.493/Ⅲ-27、1994 2) 財団法人 鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル、平成10年2月

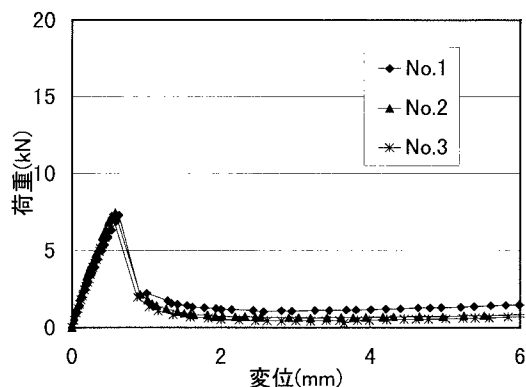


図-2 荷重－変位関係（無補強）

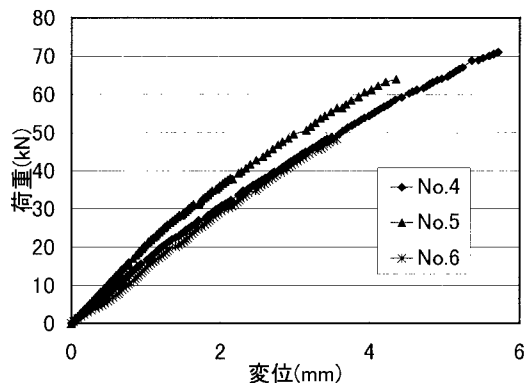


図-3 荷重－変位関係（鋼板補強）

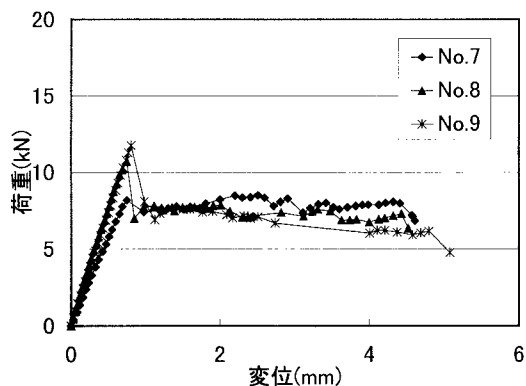


図-4 荷重－変位関係（CFシート補強）