

ブロック積み覆工トンネルにおける押抜き破壊に対する対策工の検討

長岡技術科学大学 学生会員 ○西屋敷 岳
 鉄道総合技術研究所 正会員 岡野 法之 平田 亮

1. はじめに

地中構造物であるトンネルは、一般に、地震に強い構造物とされているが、ブロック積み覆工トンネルは、過去に発生した地震により甚大な被害を受けた事例もある¹⁾。

これまで、写真-1¹⁾に示すブロック積み覆工トンネルの典型的な被害パターンの1つである天端部の押抜き破壊について、模型載荷実験により地震被害の再現、破壊メカニズムおよび力学的性能の把握がなされている²⁾。しかし、このような被害に対する合理的かつ効果的な耐震対策工については、未だ確立されていないのが現状である。そこで本稿では、ブロック積み覆工トンネルの耐震対策として、内面補強工の一つである帯板接着工法³⁾に着目し、模型載荷実験によりその補強効果の検討を行った。

2. 実験概要

(1) 実験装置

実験には図-1に示す新幹線標準断面を想定した縮尺 1/30 の小型トンネル覆工模型載荷実験装置を用いた。本装置は、載荷用ボルト、載荷板 (55×55mm)、反力板(55×55mm)、トンネル周辺地山を模擬した地盤ばね材、反力フレームからなっている。これらはトンネル縦断方向にも配置されており、延長方向に長いトンネル覆工模型（以下、模型と呼ぶ）を用いて三次元挙動を模擬した実験が可能である。

(2) 実験条件

実験ケースは表-1に示す2ケースとした。本実験において作製した模型は、図-2示すれんが単体の 15mm×30mm の平面が、模型内側に向くように全周長手積みにより積み上げた（図-3）。れんがの層数は、2層巻きの巻厚 25mm とした。

れんが間の目地材は、穀物由来(でんぷん質)の接着剤を使用した。表-2にれんがおよび目地材の物性値を示す。

実験では、模型上部 90° の範囲の地盤ばね材を模型背面に設置しないことで背面空洞を模擬し、模型の中央部分を鉛直下向きに載荷することで、背面空洞が存在する場合の押抜き状況を再現した（写真-2）。

Case2 の対策工である帯板接着工法は、アル

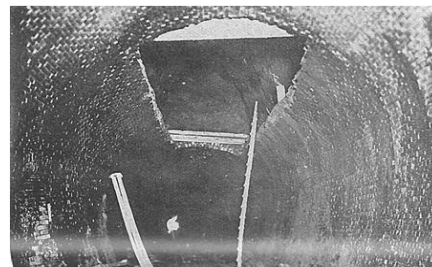
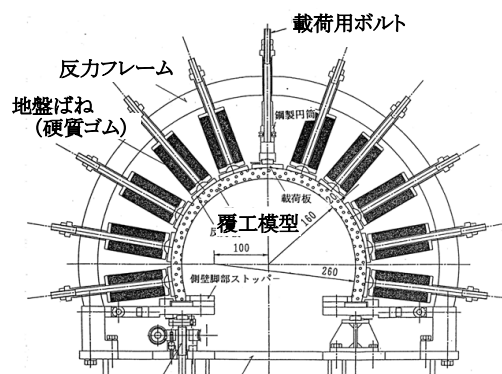
写真-1 天端部の押抜き破壊¹⁾

図-1 模型載荷実験装置

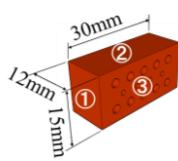


図-2 れんが単

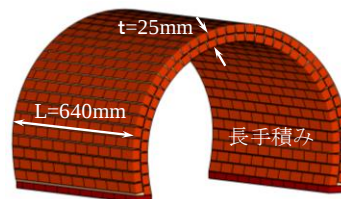


図-3 トンネル覆工模型

表-1 実験ケース

Case	材質	欠陥	対策工	模型延長
1	れんが	背面空洞	—	640mm
2	れんが	背面空洞	帯板接着工法	640mm

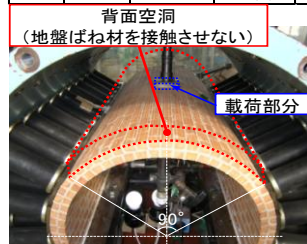


写真-2 背面空洞の模擬

表-2 模型材料物性値

材料	圧縮強さ	記事
れんが	9.65 N/mm ²	載荷面:①面
	14.18 N/mm ²	載荷面:②面
	42.07 N/mm ²	載荷面:③面
目地材	4.46 N/mm ²	20×20×40(mm)

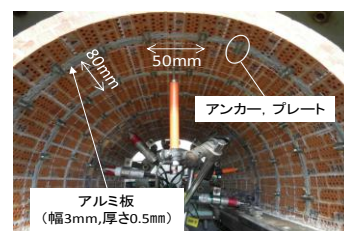


写真-3 対策工の模擬

キーワード : ブロック積み覆工トンネル, 地震被害メカニズム, 耐震対策, 押抜き実験
 連絡先 : 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL : 042-573-7266

ミ板（幅 3mm，厚さ 0.5mm）を接着剤で模型内面に 80mm 間隔で張り付け，さらに周方向に 50mm 間隔でアンカーとプレートを用いて固定することで模擬した（写真-3）.

載荷ステップは、1 ステップ 2 分で行い、載荷板の押込み量(0.05mm/ステップ)に基づく変位制御による段階載荷を行った。また、1 ステップの間に載荷、計測、観察を実施し、載荷が継続できなくなるまで繰り返し行った。実験時の計測項目は、載荷板および反力板の荷重、模型内面の変位（内空・天端鉛直変位）、模型の目視観察等である。

3. 実験結果

(1) ひび割れの進展状況

図-4 に実験終了時の模型内面のひび割れ進展状況を示す。Case1 では、天端部および肩部にトンネル縦断方向の曲げひび割れが発生し、その後、載荷位置を中心に放射状ひび割れが発生し、放射状ひび割れのほぼ中心で押抜き破壊が発生している（写真-4）。

帯板接着工法を施した **Case2** は、**Case1** 同様、天端部にトンネル縦断方向の曲げひび割れが発生した後、放射状ひび割れが発生し、押抜き破壊に至っている。しかし、アーチ肩部の曲げひび割れは発生せず、また、押抜き破壊の範囲も狭くなっている。

(2) 荷重-変位関係

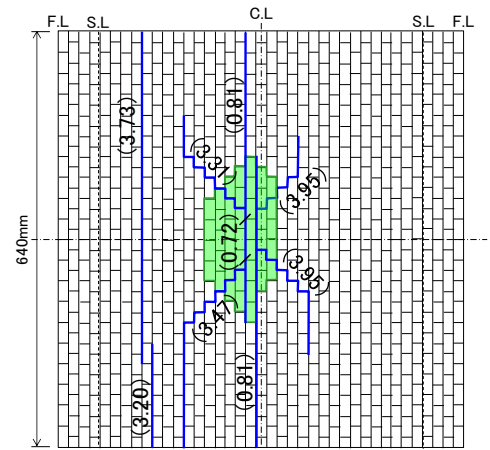
図-5 に載荷荷重と天端沈下量の関係を示す。両ケースとも、最大荷重までの曲線勾配やその値に大差は無い。しかしながら、Case2 は Case1 と比較して、天端部の曲げひび割れがトンネル縦断方向に貫通する時期やトンネル背面側にひび割れが発生する時期を遅らせる傾向となった。また、最大荷重後の変化において、Case1 は急激に荷重が減少し、破壊に至るのに対し、Case2 は徐々に荷重が減少している。このように、帯板接着工法を用いることで、トンネルに作用する荷重を分散させ、変状の発生を抑制する効果があることを確認できた。

4. おわりに

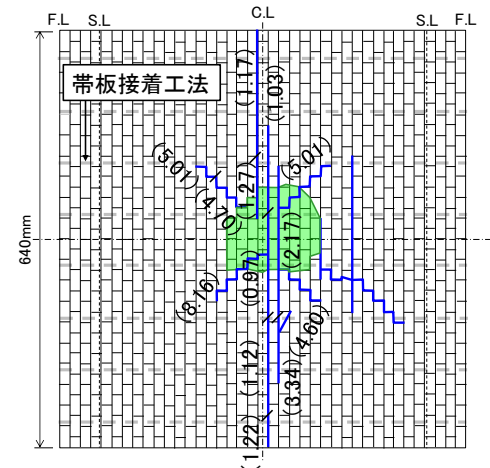
本実験により、ブロック積み覆工トンネルの典型的な震災被害パターンの 1 つである、天端部の押抜き破壊を再現することができた。また、帯板接着工法による内面補強は、最大荷重の向上は確認できなかったが、変状の発生を抑制する効果があることを把握した。

参考文献

- 1) 鉄道省：大正 12 年鉄道震害調査書，1927.
- 2) 岡野法之，舟橋孝仁，小島芳之，朝倉俊弘：ブロック積み覆工トンネルの押し抜きに対する模型載荷実験，トンネル工学研究論文集，第 20 巻，pp.231-237，2010.
- 3) 岡野法之，植村義幸，小島芳之：FRP 帯板を用いたトンネル覆工の内面補強工法の開発，鉄道総研報告，Vol.23，No.12，pp.41-46，2009.



(a) Case1 (背面空洞)



(b) Case2 (背面空洞+帯板接着工法)

— : ひび割れ (目地切れ) : 押抜き範囲
() 内の数値は、発生時の天端沈下量

図-4 ひび割れ発生状況展開図



写真-4 Case1の破壊状況(実験終了時)

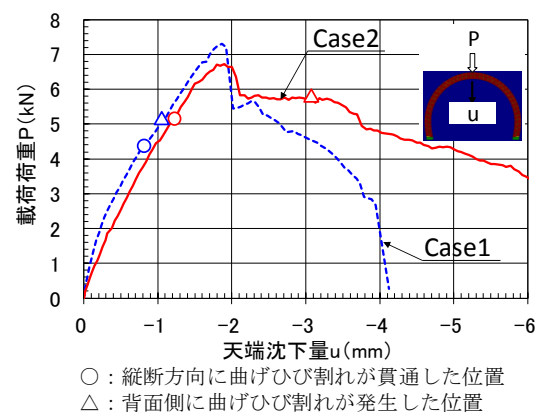


図-5 載荷荷重と天端沈下量の関係