

地下鉄複断面トンネルの耐震性能に関する考察

東京大学	学生会員	○西垣	祐弥	東京地下鉄 (株)	正会員	大石	敬司
東京大学	正会員	前川	宏一	東京地下鉄 (株)	正会員	小西	真治
				東京地下鉄 (株)	正会員	辻	貴大

1. 目的

地下鉄の箱型トンネルの耐震性能の照査について、図-1に示すような断面は鉄道構造物等耐震標準¹⁾に考え方や方法が示されている。しかし、図-2に示すような特殊な形状(ここでは複断面と呼ぶ)については、記載されていない。この様なトンネルに地震荷重が作用すると複雑な変形モードとなり、損傷の局所化や修復の困難な破壊形態が発生する可能性がある。一方で、複断面のような特殊な形状のトンネルの耐震性能に関する検討は、地盤との相互作用の観点から十分でないのが実情である。以上の背景を踏まえ、本稿は破壊モードの検証と補強の可能性について検討したものである。

2. 解析の概要

耐震性能の検討には地盤との相互作用を考慮して、非線形応答変位法を用いた。図-2 にメッシュ図を示す。解析には 3 次元熱力学連成解析応答モデル「DuCOM-COM3」²⁾を用いた。入力物性値を表-1 に示す。構造物の左右両端から 1.05m の部分に土要素、その外側に弾性要素を配置した (図-3)。土被りは、実際の地下鉄と同程度の 3.0m とした。コンクリート打設後 20 年経過した状態から、左右両端の節点に平均 3%のせん断変形を強制入力した。右方向に傾けた後、左方向に強制変形を作用し、最終的に元の位置に戻した。

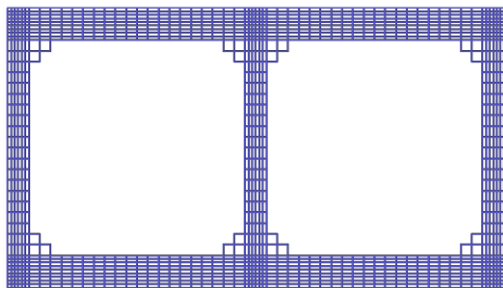


図-1 通常の箱型トンネルの断面

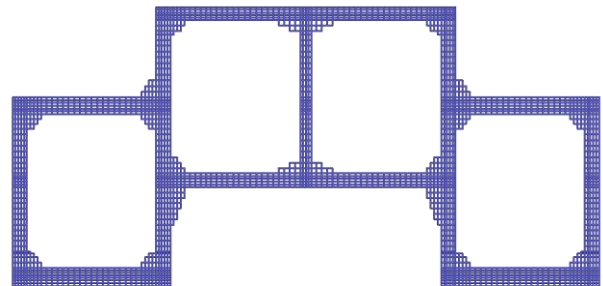


図-2 特殊な形状の箱型トンネルの断面（複断面）

表-1 コンクリート示方配合 (単位: kg/m³)

W/C	W	C	S	G
60%	145	241	832	977

鉄筋の降伏強度 f_t	370(N/mm ²)
---------------	-------------------------

地盤の内部摩擦角 45°

地盤の粘着力 $0(\text{N/mm}^2)$

地盤の初期剛性 $43(\text{N}/\text{mm}^2)$

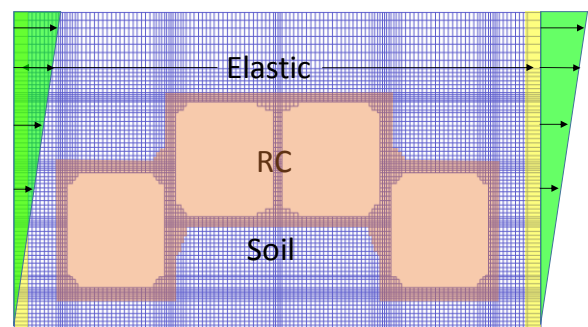


図-3 解析モデル

3. 解析結果

図-4 に強制変位入力後の変位・ひずみ図を示す。この条件では、トンネル結合部にコンクリートが圧縮軟化域に至る程度の 3500μ 以上のひずみが見られる。特に、右端のトンネルと中央右のトンネル結合部の下方に位置する壁部分は、高ひずみ領域が壁幅全体に拡がり、せん断破壊の徴候が見られた。写真-1 に対応する複断面部の状態を示す。右下の実トンネルの左上ハンチ部では全体的にひび割れは少ない(写真-2)。しか

キーワード 箱型トンネル, 特殊断面トンネル, 耐震, 破壊モード

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 1 号館 329 室 電話番号 03-5841-6146

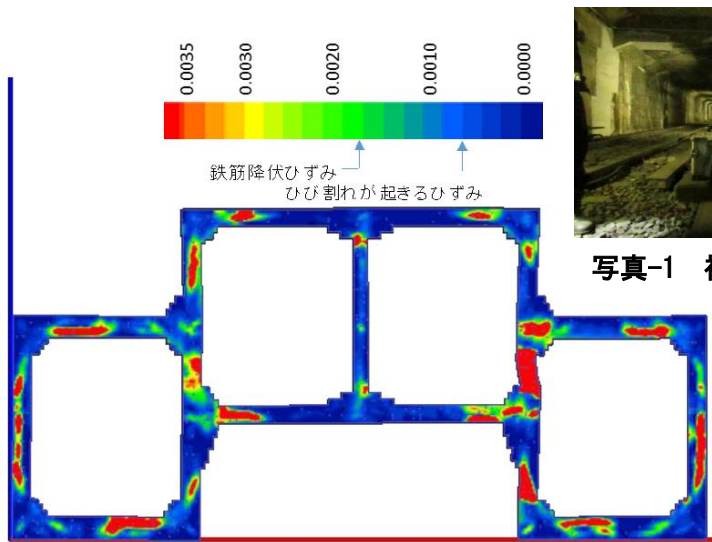


図-4 強制変位入力後の変位とひずみ（解析結果）



写真-1 複断面部（右側）



写真-2 右下トンネル上部



写真-3 断面の結合部のひび割れ

し、断面の結合部では、トンネル縦断方向に連続したひび割れが見られる（写真-3）。このトンネルは、今回、解析したような大きな地震によるひずみは受けていないが、解析結果とひび割れの状態から見て、この部分が相対的に影響を受けやすいことが示唆されている。

4. 補強方法の検討

せん破壊の可能性が疑われるため、影響を受けやすい部位に対する可能な補強方法を検討した。図-5の斜線部分に補強鉄筋を打ち込むことを想定し、この部分の鉄筋比を+1.0%として解析した。解析結果を図-6に示す。右下と中央部右のトンネルの結合部に出ていたせん断破壊の徴候がなくなり、曲げ破壊モードとなっており、この補強方法は検討に値するものと考えられる。

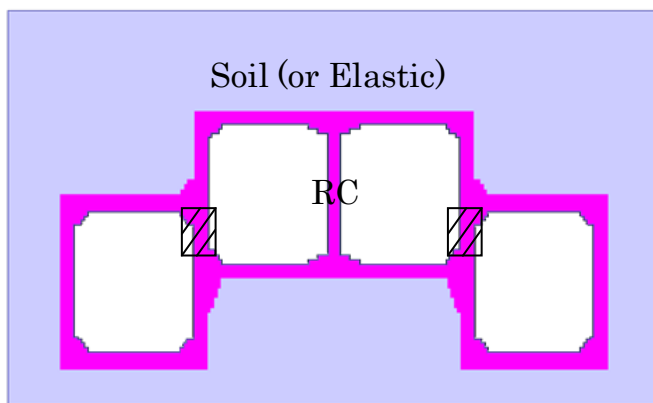


図-5 補強位置

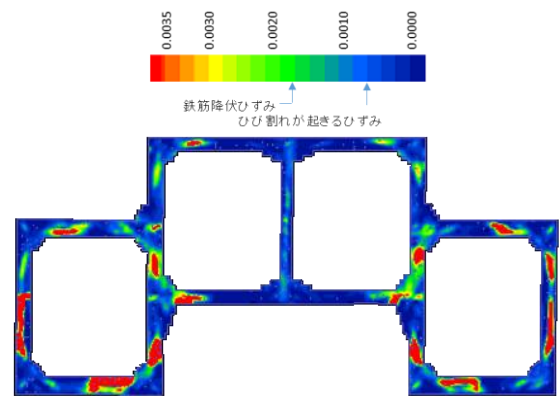


図-6 補強後の変位とひずみ（解析結果）

5. まとめ

特殊な断面形状の箱型トンネルに過剰な強制変位を作用させて破壊モードを調べた結果、トンネルの側壁に隣のトンネルの上床版や下床版が結合する部分に変形が局所化する可能性があることが示された。但し、当該部分にせん断補強筋を打設することで、構造部材を補強出来ることがわかった。特殊な断面は縦断方向で形状が変化する場合が多いため今後、3次元的な効果も取り入れて補強の必要性や、必要な場合の補強方法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，2012.9.
- 2) Maekawa, K., Ishida, T. and Kishi, T.: Multiscale Modeling of Structural Concrete, Taylor & Francis, London, 2008.