

異高型複断面トンネルの結合位置が耐震性能へ与える影響の検討

東京地下鉄(株) 正会員 ○辻 貴大 東京地下鉄(株) 正会員 小西 真治
 東京大学 学生会員 西垣 祐弥 東京地下鉄(株) 非会員 尾上 豊弘
 東京大学 正会員 前川 宏一 東京地下鉄(株) 正会員 今村 俊毅

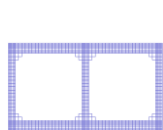
1. 背景および目的

地下鉄には左右のトンネルの高さが異なる異高型複断面が存在する。このような特殊な断面には、通常の箱型トンネルにおける耐震検討手法を適応できないため、新たな検討手法の確立が求められている。著者らはこれまで、一部の実断面において、地盤との相互作用を考慮した非線形応答解析を用いた検討を実施してきた¹⁾。一方で、左右トンネルの結合位置の相違が複断面の耐震性能に与える影響を検討した事例は少ない。

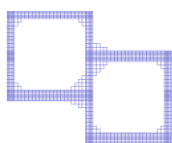
本検討では、断面の結合状態が地震時の損傷や破壊モードに与える影響について、同様に非線形応答変位法を用いて解析的な検討を加えた。

2. 解析概要

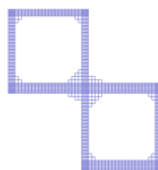
実構造物を参考に設定した検討断面の要素分割図を図—1から図—4に示す。解析には3次元熱力学連成解析モデル「DuCOM-COM3」²⁾を用いた。入力物性値および温湿度条件をそれぞれ表—1、表—2に示す。トンネル躯体は、配力筋を一律に鉄筋比0.5%と仮定し、主鉄筋はφ22mm、肋筋はφ9mmを約500mm間隔で使用した。トンネルの中心から地上部までの距離を8m一定とし、構造物の左右両端から1.05mの部分に土要素、その外側に弾性要素を配置した。建設から5年が経過した段階で、左右両端の接点に平均3%のせん断変形を強制入力した。変形は右方向に傾けた後、左方向に強制変形を与え、その後、元の位置に戻した。



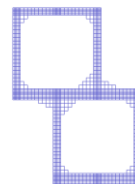
図—1 断面 A



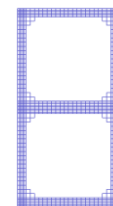
図—2 断面 B



図—3 断面 C



図—4 断面 D



図—5 断面 E

表—1 入力物性値

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 370(N/mm²)
 地盤の内部摩擦角 45°
 地盤の粘着力 0(N/mm²)
 地盤の初期剛性 43(N/mm²)

表—2 トンネルの環境条件

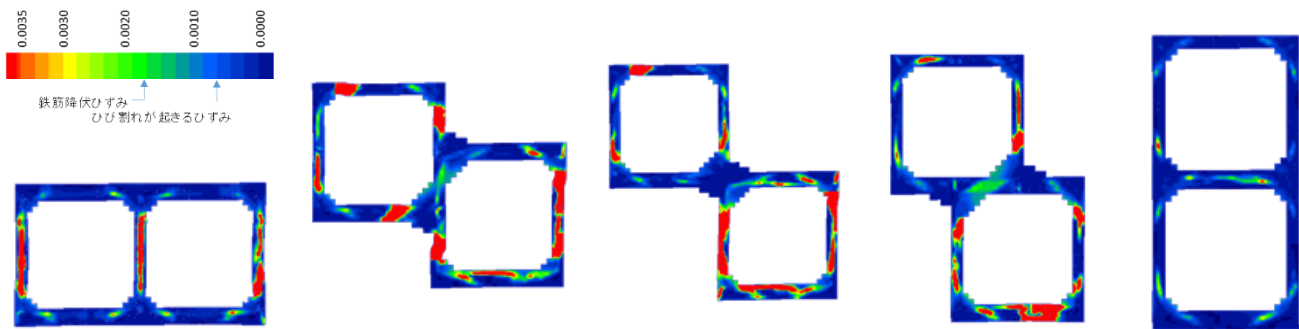
		28日目まで	28日以降
トンネルの内側	RH	99.99%	40%
	気温	20度	25度
トンネルの外側	RH	99.99%	99%
	気温	20度	20度

RH: コンクリート中の相対湿度%

3. 解析結果

(1) 通常の箱型断面の損傷状態と破壊モード

キーワード 異高型トンネル, 耐震, 結合位置, 破壊モード, 変形特性
 連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 Tel.03-3837-7264



図—6 断面 A
解析結果

図—7 断面 B
解析結果

図—8 断面 C
解析結果

図—9 断面 D
解析結果

図—10 断面 E
解析結果

図—6によれば、断面 A は中壁及び側壁にコンクリートが圧縮破壊するような大きな主ひずみが表れているが、いずれも曲げモードと推察され、断面保持の機能は確保されると考えられる。また、図—10の断面 E は、強制変位を入力した後もひずみは小さく、大きな損傷は見られない。これら通常の箱型トンネルの変形特性として、水平部材の床板には大きな損傷が発生していない傾向が見られる。強制変位に伴い床板に発生する軸力は、同じ軸力部材である床板が受け持つためと推察される。

(2) 異高型断面の損傷状態と破壊モード

図—8によれば、断面 C は右下のトンネル側壁にコンクリートが圧縮破壊に至る程度のひずみが発生するが、曲げモード破壊であり、空間は確保されている。図—9の断面 E も同様に、床板部にひずみの大きい箇所が存在するが、曲げ破壊モードと推察され、内空間は安定して保持されると考えられる。一方、図—7の結果を見ると、断面 B の右トンネル中壁に大きなズレを伴う変形が発生しており、せん断破壊の兆候が見られることから、空間維持性能が低下する可能性が示唆される。

図—7から図—9の解析結果より、異高型断面のトンネルの変形特性は変形が一部に集中し、損傷の局所化する傾向が見られる。これは通常の箱型トンネルと異なり、強制変位に伴い、床版に発生する軸力を壁等の水平部材あるいは隅角部を介してから床版で受け持つなど、力の伝達や部材の相互作用が複雑になるためと推察される。特に断面 B のような、中壁の短いせん断スパンにせん断力が作用する断面において、せん断破壊の兆候が見られる傾向は異高型の特徴と考えられ、過去の検討とも一致している。

(3) 箱型トンネルと異高型トンネルの関係

本稿で照査した5断面は、実際には長手方向に連続している。これは比較的、強固な断面に劣弱な断面が挟まれている状態を意味する。断面として見ればせん断破壊の兆候のある箇所が一部存在しても、より損傷の少ない前後の断面に支持されることで構造全体系へのメカニズムへの移行が阻止され、空間維持性能が保たれることも期待できる。この影響を考慮した照査については、構造全体系を3次元解析で代表することが必須である。実現象に則った入力地震波と併せて今後の課題とする。

4. まとめ

本検討により得られた知見を以下に示す。

- ・ 通常の箱型トンネルと異高型断面トンネルでは、地震時の変形特性が異なることが判明した。
- ・ 片方の断面の床板が他方の側壁に結合している断面には、せん断破壊の兆候が見られたものの、その他の結合状態においては、曲げモード破壊であり空間維持を確保することが可能であると推察される。
- ・ 今後は、実務に即した地震波の入力や長手方向の影響を考慮した検討の必要性を認めた。

参考文献

1) 西垣祐弥, 前川宏一, 大石敬司, 小西真治, 辻貴大: 地下鉄複断面トンネルの耐震性能に関する考察, 土木学会第 69 回年次学術講演概要集, pp.429-430(in CD-ROM), 2014.9

2) Maekawa, K., Ishida, T. and Kishi, T. (2008): Multi-scale Modeling of Structural Concrete, Taylor & Francis