

スラブ開口を有する鉄道開削トンネルの応答性状に関する一考察 および CIM 分野への活用を目的とした 3 次元モデルの構築

ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 正会員 ○永坂 亮介, 非会員 後藤 幸司, 非会員 加藤 久也
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 仲山 貴司, 正会員 牛田 貴士

1. はじめに

鉄道地下駅における開削トンネル（以下、Box）は、**図 1**に示すような、側壁・スラブを主部材として、外力に抵抗する。地下駅では、エスカレーター等の昇降設備を設置するため、**図 2**に示すような、大規模なスラブ開口を設ける必要がある。この場合、外力に抵抗する主部材の耐力を削ることとなり、Box 全体系の応答性状に影響を与える。そのため、開口により切断される鉄筋を両脇に配置する「開口補強」を実施することが、鉄道標準 **1**に記載されている（**図 3**）。しかし、開口が大規模となる場合、**図 3**の「開口補強」では、対応できない可能性が懸念される。

一方、実務において、鉄道地下駅の開口位置を決定するためには、多系統（土木、建築、設備等）間での協議調整が必須となり、各系統の検討進捗に伴い、開口位置が施工直前まで変更となるケースが多い。現状では、開口位置が変更となる度に、Box の設計変更が必要となっており、開口調整の合理化が望まれている。

そこで、本研究では、スラブ開口が Box の応答値に与える影響を定量化することを目的とし、開口の規模や形状をパラメータとした 3 次元 FEM 解析

を実施し、開口補強の適用範囲を推定した。また、実務における、開口調整を合理化・シームレス化するため、CIM の観点を取り入れた 3 次元モデルを構築し、その有用性を考察した。

2. 開口補強の適用範囲の推定

(1) 検討条件

本検討では、開口の大規模化を念頭に置き、従来の開口補強 **1**では対応できない開口寸法・形状を把握し、適用範囲を推定した。検討モデルの概要を**図 4**に、解析のパラメータを**表 1**示す。検討モデルは、Box のスラブ部分を取り出した局所的なモデルとした。解析パラメータは、開口欠損率、開口形状、スラブ厚とした。荷重条件は、鉛直荷重（自重・設備荷重）および水平荷重（土圧、水圧）とし、全てのケースで同一荷重を与えた。拘束条件は、側壁と中柱で支持された状態を模擬し、2 辺固定とした。RC スラブの材料特性値を**表 2**に示す。

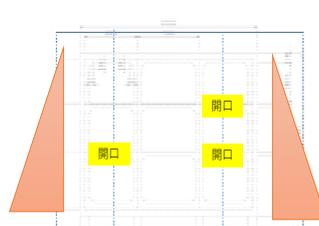


図 1 開削トンネルの構造

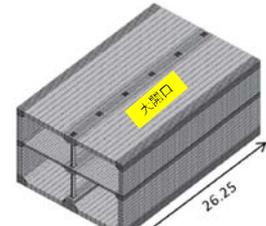


図 2 スラブの開口

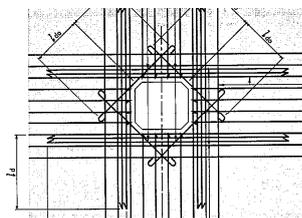


図 3 開口補強

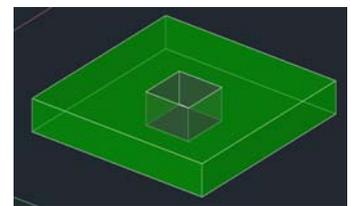


図 4 局所モデル

表 1 検討パラメータ

開口規模 欠損率(%)	開口形状(m)		床版厚(m)
	長辺	短辺	
0%	1.0	1.0	0.40
10%	2.5	2.5	0.67
25%	5.0	5.0	1.00
50%	-	-	-

表 2 RC の材料特性値

設計基準強度	24N/mm ²
ヤング係数	25kN/mm ²
せん断弾性係数	10.4kN/mm ²
単位体積重量	24.5kN/mm ²
ポアソン比	0.2

(2) 検討結果

検討結果を図5に示す。開口欠損率が大きい程、たわみは増加する傾向がみられた。開口形状は、主鉄筋を多く欠損する辺が長辺となる方が、正方形に比べ、たわみが増加する。スラブ厚に関しては、薄い場合と厚い場合とでは、大きなたわみの違いは見られなかった。開口補強の適用範囲は、開口欠損率が〇%以上となる場合は、開口なし比べ、たわみが〇%増加し、従来の開口補強では、対応できない可能性がある。この結果より、開口寸法が、欠損率〇%以上となる場合は、別途適切な補強が必要となり、Box 全体系の応答性状に与える影響が大きくなると推定できる。

3. Revit を用いた CIM 分野での活用を目的とした 3次元モデルの構築

(1) 鉄道地下駅の開口調整における実務の現状

開口調整の実務では、図6の通り、土木の開削トンネルとして概略設計を実施し、Box のプロポーショナル（形状、部材厚等）を決定する。次に、建築が駅設備のレイアウトを配置し、必要な開口位置を仮確定する。その結果を受けて、土木が開口を考慮した詳細設計を実施する。しかし、建築や設備系統の検討が深度化すると、開口の位置、形状が変更となるケースがほとんどである。その場合、Box 全体系の応答性状が変化するため、設計変更の対象となり、配筋図の修正や開口補強の再検討が必要となり、時間と費用を要する。

(2) Revit を用いた 3次元モデルの構築

本研究では、Revit (AutoDesk 社が開発した BIM/CIM ソフトウェア) を用いた 3次元モデル(図7)を構築した。これにより、開口位置をドラッグ&ドロップで変更できる他、鉄筋が開口に追従するため、配筋図の修正作業が大幅に効率化される。さらに、3次元モデルを直接 FEM 解析ソフトに読み込むことで、開口位置が変更となった場合でも、

比較的短時間で、FEM 解析結果(図8)を得ることができる。特に、スラブの開口は、Box 全体系に及ぼす影響が大きいことから、FEM によりその影響を確認しながら、開口計画を進めることが可能となる。これらのことから、計画⇔設計⇔開口検討(FEM 解析)の各フェーズ間をシームレス化することが可能となり、初期段階で 3次元モデルを作成すれば、設計変更に対応でき、修正作業や開口検討作業を合理化できることを確認した。

4. まとめ

本研究では、開削トンネルのスラブに開口が設けられた場合、応答性状の変化の傾向を 3次元 FEM 解析により把握し、開口補強における開口寸法の適用範囲を推定した。さらに、CIM 分野での活用を目的とした 3次元モデルを構築し、活用方を具体的に示したうえで、FEM 解析とのシームレス化を実現し、その有用性を確認した。

5. 参考文献

1)財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（コンクリート構造物）

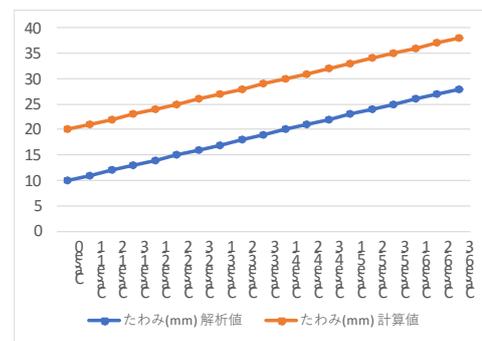


図5 解析結果

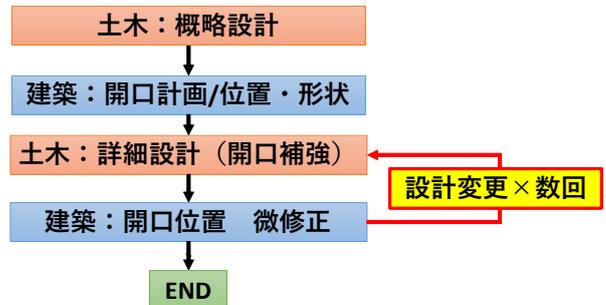


図6 実務における開口の設計フロー

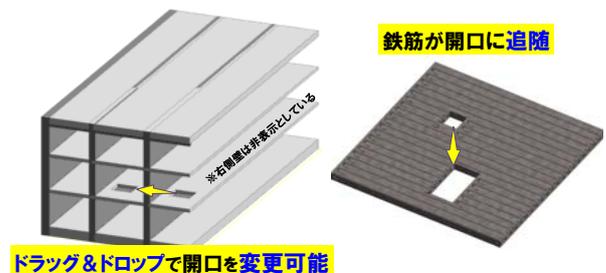


図7 Revitで作成した3次元モデル

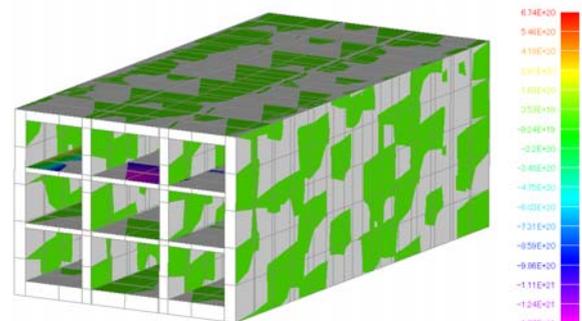


図8 FEM 解析結果