

地下構造物のせん断耐力の評価に関する一考察

北武コンサルタント株式会社 正会員 ○竹内 侑揮
 北武コンサルタント株式会社 正会員 坂口 淳一
 株式会社コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史
 北武コンサルタント株式会社 正会員 渡辺 忠朋

1. はじめに

2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編]¹⁾ (以後、示方書と呼ぶ)において、両端の固定支持にモデル化される棒部材は、作用の載荷状態に応じて両端の支持条件における耐荷機構を考慮して、せん断耐力を算定することが原則となった。これは、作用の載荷状態、軸方向力やせん断スパン比によって耐荷機構が単純支持・片持ち支持と異なることを考慮したためである。これにより耐荷力の算定は、以下 2 点のいずれかを用いることになった。

- i) 実験的検討に基づいたせん断耐力算定法
 - ii) 非線形有限要素解析を用いたせん断耐力
- また、上記の特別な検討を行わない場合は、安全側の評価になるため、単純支持および片持ち支持にモデル化される棒部材による設計せん断耐力 V_{yd} を用いてよいとされている。

本検討の対象である開削トンネルの部材は、両端固定支持の部材で構成され、複数の分布荷重が同時に作用するため、i), ii) のいずれかの検討により、損傷過程・せん断耐力を把握する必要がある。そこで本検討では、開削トンネルを対象に、特別な検討を行わない場合として①骨組み解析、特別な検討として②非線形有限要素解析(以後、FEM 解析と呼ぶ)、2つの解析手法により、応答変位法による応答値の算定を行い、せん断破壊に対する評価を実施し、その結果を比較した。

① 骨組み解析 (特別な検討を行わない場合)

→せん断耐力として、棒部材の設計せん断耐力 V_{yd} ¹⁾を用いる。

② FEM 解析 (特別な検討を行う場合)

→せん断耐力は、境界条件や作用の載荷状態

に応じて得られる。

2. 解析概要

対象構造物は、1 層 2 径間(RC 中柱構造)開削トンネル(図 2: 土被り約 5m)とし、応答変位法により解析を実施した。

荷重は、示方書に準じ、永久荷重(初期荷重)と地震時荷重(地盤変位、周面せん断力、慣性力)を考慮した。なお、対象構造物の設計水平震度時の荷重を荷重倍率 1.0 として、これを基準に地震時荷重を増分載荷した。解析手法の概要は次の通りである。

① 骨組み解析

解析ソフトは、JR-BOX および JRSNAP を用いた。鉄道構造物等設計標準²⁾に準じてモデル化し、地盤バネで支持した分離型モデルとした(図 1)。

② FEM 解析

解析ソフトは、WCOMD を用いた。示方書¹⁾の記載に準じた材料モデルに基づく解析ツール³⁾を用いて 2 次元解析により実施した。境界条件と荷重条件は骨組み解析を踏襲し、同じ剛性の線形地盤ばねで函体周面を支持し荷重を載荷した。また、示方書¹⁾9 編の平均化した偏差ひずみ第 2 不変量 $\sqrt{J_2}$ を照査指標として損傷を評価した。

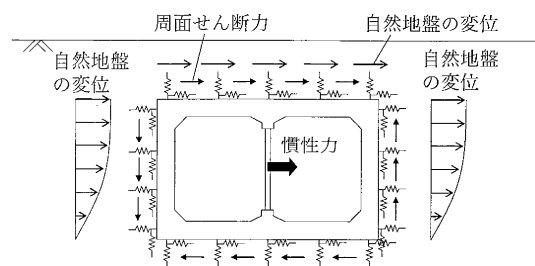


図 1 応答変位法概念図

3. 解析結果

解析の結果を図 2～図 5 に示す。せん断破壊した部位は 2 つの解析手法でいずれも、右側壁上端部お

キーワード せん断耐力、応答変位法、耐震設計

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7-4-7 北武コンサルタント株式会社 TEL 011-851-3181

よび下床版左端部であった。(図2, 図3)

図3に示したひび割れの開口を示す損傷指標である $\sqrt{J_2}$ のコンター図より、右側壁上端部および下床版左端部で、断面を横断して損傷指標が増加しており、斜めひび割れが進展しているものと推察される。図4に示した荷重倍率－層間変位関係に示した損傷過程の比較より、曲げ降伏後にせん断耐力に至っている。また、曲げ降伏に関しては同程度の荷重倍率で降伏しているが、せん断耐力時に関して、FEM解析の方が倍の荷重倍率で至っており、大きな差があることがわかる。しかし、骨組み解析に関しては、せん断力がせん断耐力に達した後もせん断力を伝達し続けるため、この後の構造物全体系の挙動は把握することができない。

せん断耐力の比較を図5に示す。破線が骨組み解析時の V_{yd} 、実線がFEM解析時のせん断力の推移を示す。骨組み解析結果のせん断耐力 V_{yd} とFEM解析のせん断力の最大値を比較すると、矢印で示すように、骨組み解析結果に比べ、FEM解析結果のせん断耐力の方が大きいことが確認できる。しかし、図示した部位で同じ比率ではないため、 V_{yd} との差異は部位により変わることが考えられる。

4. まとめ・今後の課題

両解析の結果より、骨組み解析のせん断耐力 V_{yd} は安全側となったため、示方書¹⁾の適用性を確認することができた。しかし、耐力差に関しては、構造物、部位、载荷状態・耐荷機構によって変わるため、必ずしも安全側にならないことも考えられる。また、構造物全体系の損傷過程も把握することができるため、合理的な設計を考慮すると、FEM解析の有用性が高いと考える。

今後も引き続き異なる構造形式を検証し、本検討との相関性を確認することに取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2013.3
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.9
- 3) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, London, 2003.

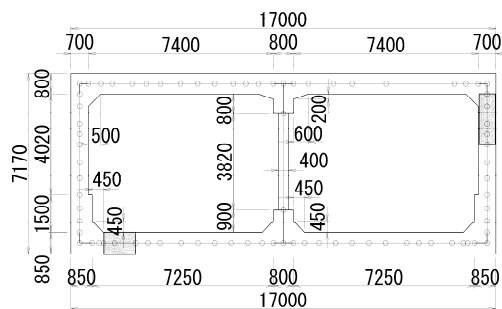


図2 対象構造物概要と骨組み解析結果
(ハッチング箇所：せん断破壊箇所)

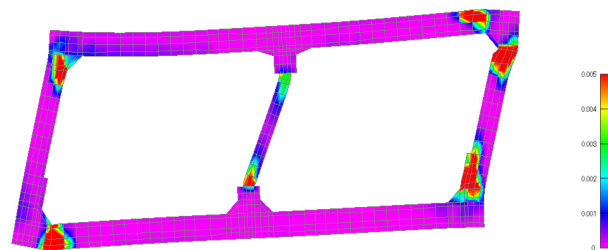


図3 FEM解析結果(荷重倍率150%時)
偏差ひずみ第2不変量 $\sqrt{J_2}$ コンター図

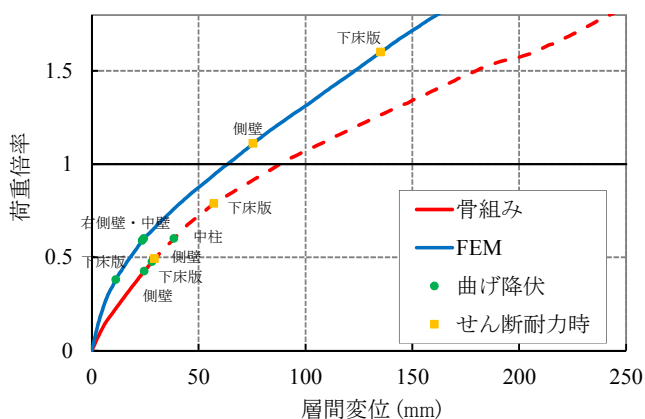


図4 荷重倍率-層間変位および
せん断損傷箇所の比較

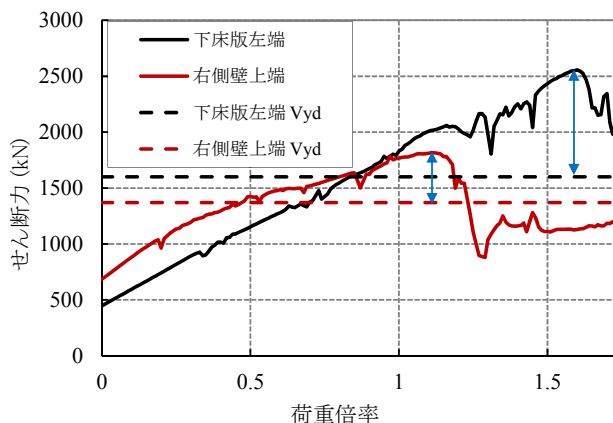


図5 せん断損傷箇所のせん断耐力比較