

地盤条件急変部における免震層，柔構造と滑り免震を併用した地震対策

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 鈴木 猛康

1. はじめに

レベル2地震動を対象とした耐震設計が，地下構造物においても実務で行われるようになってきたが，レベル2地震動に正面から取組んで耐震検討を行った結果，レベル1仕様の従来対策技術の延長では耐震性能を満足できず，膨大な対策費用を要するとの結論に至り，困惑することがある．とくに硬軟地盤境界を跨いでトンネルが建設される地盤条件急変部に対しては，経済的にも妥当な地震対策が見当たらないのが実情である．

本稿では，地盤条件急変部のシールドトンネルに対するレベル2地震動に対応した地震対策として，免震層，柔構造，および滑り免震構造を併用して適用した際の地震時断面力低減効果について検討したので報告する．

2. 構造と解析条件

地下免震技術は，レベル2地震動を対象とした地震対策技術として開発され，シールドトンネルの立坑接合部で既に実用化されている¹⁾．しかし，地盤条件急変部では，十分な免震効果を得るための免震区間長が100m程度となり，現状レベルの免震材単価ではあまり現実的な対策とは言えない．そこで，免震層の適用を必要最低限に抑え，従来対策技術である柔構造や滑り型免震構造を併用した効果的な対策の可能性を検討した．

図-1に解析条件および解析モデルの概要を示す．対象とするシールドトンネルは，外径5050mm，桁高250mmのRCセグメント製とした．表層地盤は硬質地盤が $V_s=500\text{m/s}$ ， $\gamma t=1.9\text{tf/m}^3$ ．軟質地盤は $V_s=50\text{m/sec}$ ， $\gamma t=1.6\text{tf/m}^3$ とし，両者のインピーダンス比のコントラストを10倍以上に設定した．硬軟地盤境界は，2:1の急勾配で形成されているとし，シールドトンネルは中心が地表面下15m，土被り約17.5mと設定した．

この表層地盤でひずみが集中するのは，地盤条件急変部の軟質地盤側である．したがって，この集中した地盤ひずみのトンネルへの伝達を抑制すべく，硬軟境界面より硬質地盤側に10m，軟質地盤側に20mにわたってシリコン系免震材を用いた免震層を，7cmの厚みで形成するものとした．

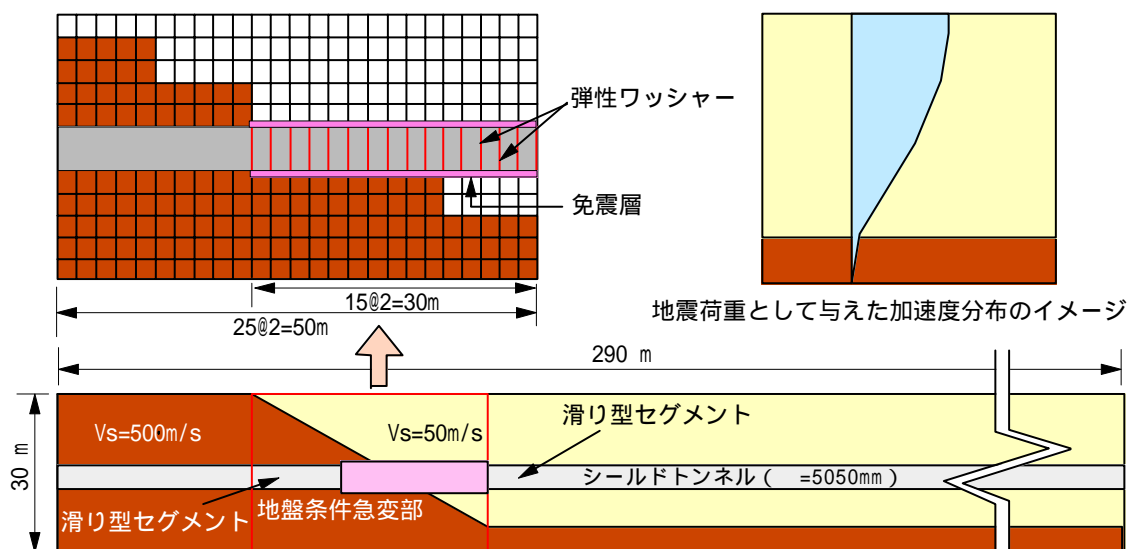


図-1 解析条件と解析モデル概要

キーワード：免震設計，地盤急変部，シールドトンネル，数値解析

〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-11 イワサキ第2ビル Tel:03-3669-1618, e-mail:suzuki_ta@cfk.co.jp

解析ケースとしては(1)無対策，(2)免震層 30m に加え，(3)免震層設置区間では 2m に 1 リングの間隔で通常より多少軟らかな弾性ワッシャーを用いたケース，(4) さらに(3)に加えて免震層の前後のセグメントを滑り型セグメントとしたケースの 4 ケースとした。

なお，解析には軸対称 FEM によるトンネル縦断方向用の免震設計プログラム EASIT²⁾を用い，地盤急変部のモデル化では図 - 1 右上のように物性を段階的に変化させた。地震荷重は全断面で応答加速度を 500gal とし，各断面の 1 次せん断振動に基づく加速度分布を算定して用いた。

3. 解析結果

図 - 2 に解析結果を示す。もともと地盤ひずみが集中し，トンネルに大きな軸力の発生するのは硬軟境界における軟質地盤側であり，無対策のケースでは軸力にシャープなピークが認められる。これに対して，免震層を 30m に亘って適用した場合には，硬質地盤側へと軸力が分散されて 20%弱最大発生軸力が低減している。また，免震層適用区間に弾性ワッシャーを上記の配置で併用すれば，トンネルの相対変位が効率的に吸収されて軸力は半減し，さらに免震層の前後に滑り型セグメントを適用すれば，無対策に対して 50%を超える大きな軸力低減が可能となる。

図 - 3 にはトンネルと地盤の相対変位(免震層のせん断変位あるいは滑り量)の分布を示す。免震層の適用によって，硬質地盤側での相対変位が大きくなり，これが軸力低減に貢献していることがわかる。さらに弾性ワッシャーを適用すると，リング継手の相対変位に 10mm 前後の変位吸収が発生しており，これが軸力低減の主因となっていることがわかる。またさらに免震層を滑り可能とすれば，硬質地盤側ではほとんど滑りは発生しないが，軟質地盤側で約 15m の区間で滑りが発生し，これが軸力のピークをさらに低減させていることがわかる。

4. まとめ

免震層，弾性ワッシャー，ならびに滑り免震を併用することで，50%を超える地震時断面力低減が可能であることがわかった。本免震構造は免震層の適用を最低限に抑えており，低コストで実現可能である。

参考文献：1) 運上茂樹，他：シールドトンネル立坑接合部に対する免震構造，トンネルと地下，Vol.30, No.12, pp.43-53, 1999.12.，2) Suzuki, T.: The axisymmetric finite element model developed as a measure to evaluate earthquake responses of seismically isolated tunnels, Proc. 12WCEE, Auckland, New Zealand, 2000.

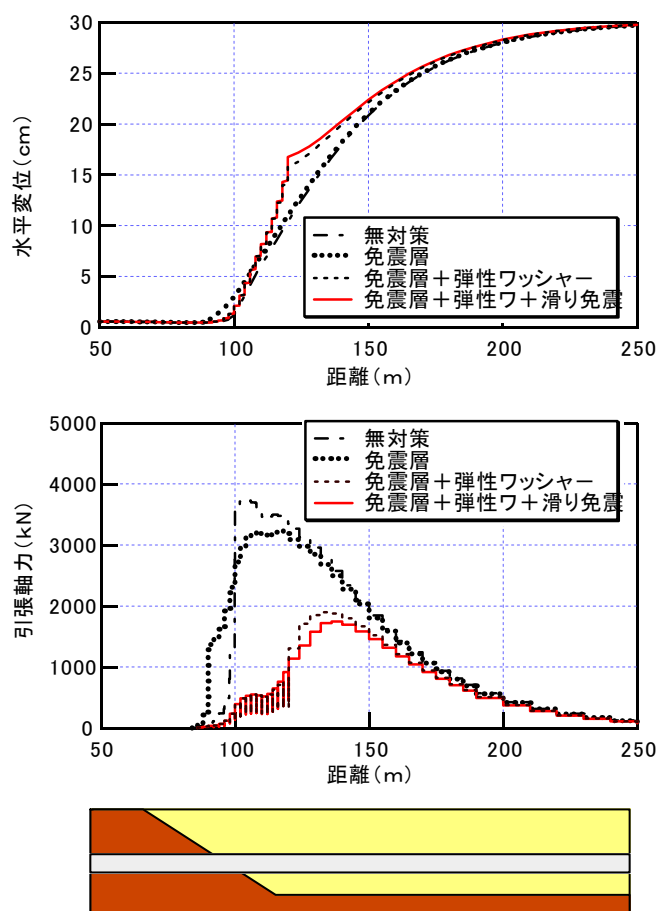


図 - 2 トンネル水平変位と引張軸力の解析結果

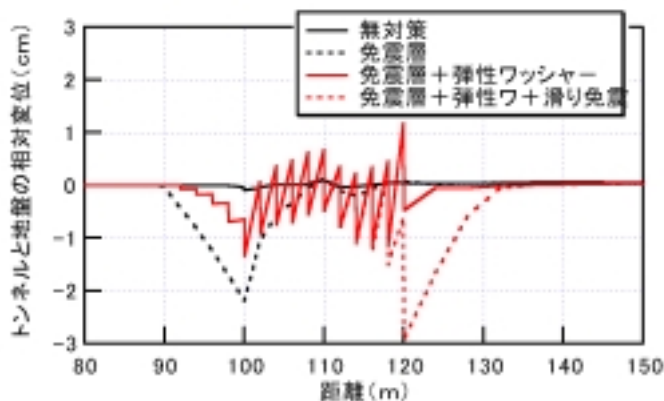


図 - 3 トンネルと地盤の相対変位