

I - B 400 シールドトンネルの立坑接合部における免震区間長と免震効果について

熊谷組技術研究所 正会員 鈴木 猛康 建設省土木研究所 正会員 運上 茂樹
建設省土木研究所 正会員 星隈 順一 建設省土木研究所 正会員 村井 和彦
オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田中 努

1. はじめに

筆者等は、地震時に地盤ひずみが集中する箇所のトンネル外周に免震層を形成させ、局所的に地盤とトンネルの絶縁を図る地下構造物の免震構造について、設計法や材料開発ならびに施工法の開発を行ってきた。とくに立坑接合部では、トンネルを立坑躯体と絶縁するとともに、立坑から比較的短い区間のトンネル外周に免震層を形成することにより、効果的に地震時発生トンネル断面力の低減が図れることがわかっている。本稿では、立坑接合部におけるシールドトンネルの免震構造を対象として、免震区間長と免震効果について、軸対称FEMモデル^{1),2)}を用いたパラメトリックスタディーを実施し、効果的な免震区間の設計について考察したので報告する。

2. モデル化と解析条件

ここでは周囲を基盤まで根入れされた壁厚1 mの連続地中壁で囲まれた壁厚1.4 mの立坑を想定しており、連続地中壁と立坑が基盤まで根入れされているとして壁厚を2.4 mに固定した上で、せん断剛性が立坑と等価な壁³⁾にモデル化した。解析対象地盤、立坑およびトンネルの配置を図-1に示す。地盤は表層厚30.4 mであり、上層26.4 mが軟質地盤、下層4 mが硬質地盤である。なお、表層地盤のトンネル縦断方向の延長は150 mとし、モデルの境界においては水平ロー

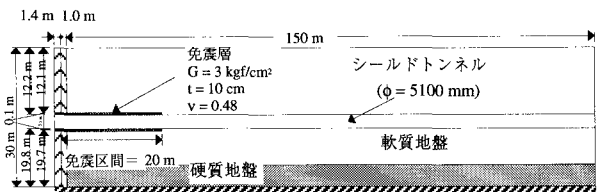


図-1 解析対象地盤およびシールドトンネルの配置

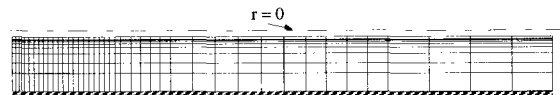


図-2 軸対称モデルによるメッシュ分割

ラー支持の条件として鉛直方向の変位は拘束した。トンネルは外径5.1 m、セグメント厚25 cmのRCセグメント製のシールドトンネルを想定しており、土被り厚は約12 mである。トンネル要素の物性は、シールドトンネルの等価引張剛性に相当するヤング率として $E = 19600 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.167とした。免震層は層厚 $t = 10 \text{ cm}$ で、材料物性としてはシリコン系免震材を想定してせん断弾性係数 $G = 3 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.48とした。

トンネル縦断方向のメッシュを図-2に示す。メッシュ分割では、立坑ならびに連続地中壁をそれぞれ2分割としている他、免震層が適用される立坑より20 mの区間は1 m間隔で分割している。

地震荷重としては、解析モデル全体にわたって右方向へ一様な水平震度0.6Gを与えた際、モデルに発生する地盤慣性力を、節点外力として作用させた。

立坑接合部に免震構造を適用した場合に必要なとされる免震区間を把握するため、免震区間長をパラメータとして、軸対称モデルによるパラメトリックスタディーを実施した。解析ケースは、立坑とトンネル間のみを免震層で絶縁したケースから、立坑外壁より1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 mの区間で免震層を形成させた8ケース、ならびに可撓セグメントを適用したケースの合計10ケースとした。なお、ここでいう免震区間長とは、立坑外壁から測った免震区間の延長距離を意味している。

キーワード：シールドトンネル、免震構造、立坑接合部、数値解析、軸対称FEM

連絡先：〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043 熊谷組技術研究所 TEL:0298-47-7508, FAX:0298-47-7480

3. 解析結果と考察

最大トンネル軸ひずみと免震区間長 L_i の関係を図-3に示す。図中免震区間長 $L_i=0$ m は、立坑壁とトンネル間のみが免震層で絶縁された構造を意味しており、図に示すように立坑との絶縁だけでは、顕著な免震効果は得られない。また図中には、可撓セグメントを適用したケースとして、立坑外壁に隣り合う1リングのセグメントの物性としてヤング率 $E=1$ kgf/cm²を与えた解析ケースの最大トンネル軸ひずみを併せて示したが、立坑とトンネル間をみの免震効果は、可撓セグメント適用の効果とほぼ同等であることがわかる。免震区間が5 mまでは、免震区間長の増加とともにトンネル軸ひずみの最大値が直線的に低減するが、免震区間が10 mを超えると、免震区間長の増加に伴う最大トンネル軸ひずみの減少はあまり顕著とならない。したがって、費用対効果の観点から、10 m以上むやみに免震区間長を増大させることは得策とは言えず、効果的な免震区間長は、このケースでは10 m程度とすることが望ましいと考えられる。

図-4には、すべての解析ケースについてトンネル軸ひずみ分布の結果を重ね合わせて示した。図のように、免震区間長 $L_i=10$ mを超えた15 m, 20 m, 30 mの3ケースの最大トンネル軸ひずみの値はほとんど変わらず、また免震区間長 $L_i=30$ mでは最大値発生箇所が平坦なひずみ分布となっており、免震区間長を増加しても、最大トンネル軸ひずみ値は頭打ちとなってこれ以上大きなひずみの低減は期待できないことがわかる。

4. まとめ

本解析で取り上げた立坑ならびに地盤のケースでは、立坑接合部において効果的な免震区間長は10 m程度と結論づけられた。本解析では基盤に根入れされ比較的剛な立坑を取り扱ったが、立坑が基盤まで根入れされておらず全体として立坑の見かけのせん断剛性が小さい場合や、地盤条件によっては、立坑接合部における効果的な免震区間長は10 mより長くなることがある。したがって、効果的な免震区間長の目安としては10 m程度以上とし、立坑ならびに地盤条件に応じて、解析に基づいて必要とされる免震区間長を設計することが望ましい。

なお、本研究は、建設省土木研究所、（財）土木研究センターならびに民間17社による建設省官民共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1) 鈴木猛康, 金聲漢, 植村靖美: シールドトンネルの免震構造の地震応答評価のための解析法の提案, 土木学会第1回免震制震コロキウム論文集, pp.125-132, 1996.
- 2) 鈴木猛康: 軸対称モデルによるトンネル縦断方向耐震解析法の提案とその免震シールドトンネルへの適用例, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.349-352, 1997.
- 3) 建設省土木研究所耐震研究室, (財)土木研究センター, 民間17社: 免震材を用いた地下構造物の免震設計法マニュアル(案), 1998.

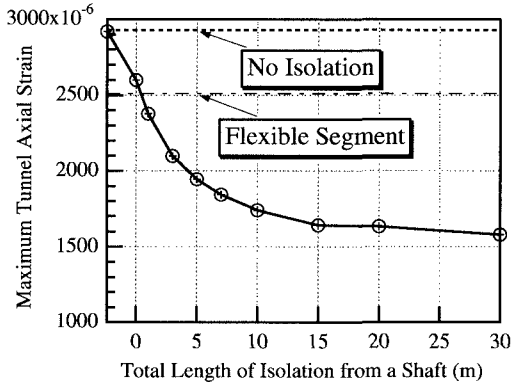


図-3 免震区間長と最大トンネル軸ひずみの関係

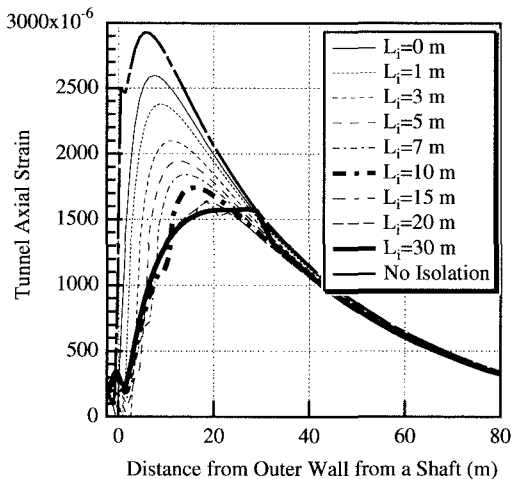


図-4 免震区間長によるトンネル軸ひずみ分布の比較