

○神戸市交通局計画課 水口 和彦
 神戸市交通局計画課 新見 達彦
 中央復建コンサルツ(株) 北嶋 武彦

1. はじめに

従来地下構造物は、地上の構造物に比較して地震時の安全性が高いと言われてきた。しかし、兵庫県南部地震では地下構造物の中にも大きな被害を受けたものもあり、改めて地下構造物の耐震設計の必要性が指摘されている。被害を受けた地下構造物は主に開削トンネルであり、中でもRC中柱に大きな被害が集中して見られた。単円シールドでは大きな被害が報告されていないが、複円形シールドは中柱を有する構造であり、開削トンネルに類似した挙動を示すものと推測できる。

開削トンネルの被害分析では、地盤の変位を骨組に静的に与える(応答変位法)ことによって構造物の被害状況をシミュレートしており、複円形シールドについても、これらの検討結果を参考に耐震設計を行うものとした。

2. トンネル概要

耐震設計を行った複円形シールドは、神戸市高速鉄道海岸線新長田駅～駒ヶ林駅間のシールドトンネル(延長303m)である。トンネル断面を図-1に示す。セグメントは桁高28cm、幅120cmのRC構造であり、ダクタイル製の継手金物を有している。当該地の地盤は図-2に示すようにトンネル縦断方向にほぼ一様な地盤条件であり、トンネル先端付近を境にして、上位の沖積層と下位の洪積層に区分される。トンネル付近の地盤はN値が高く(20~30)、締まった状態にあり、トンネル土被りは16m~12m程度である。

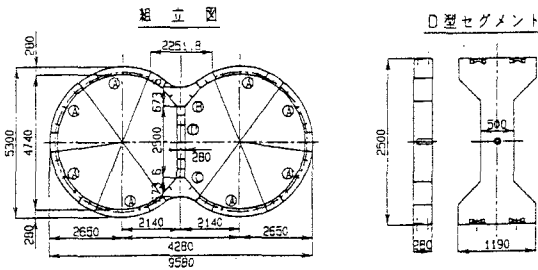


図-1 トンネル断面

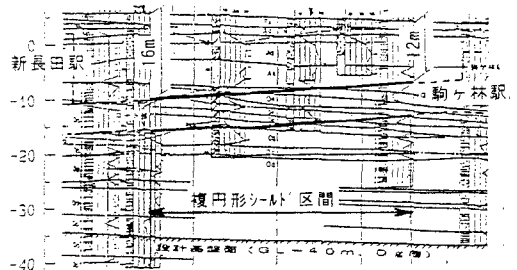


図-2 地盤概要

3. 耐震設計方法

耐震設計は、まず1次元モデルによる地盤の応答解析を行い、得られた構造物上下端の相対変位の最大値をはりばねモデルに地盤ばねを介して入力する。地盤変位を求める際の地盤の非線形性は等価線形化法により考慮するものとした。

設計条件を以下に示す。

1) 入力地震動

入力地震動は、「新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料」((財) 鉄道総合技術研究所) のG0波形を用いた(図-3)。これは、兵庫県南部地震で観測された実地震波を基に図-4に示す速度応答スペクトルに適合させたものである。

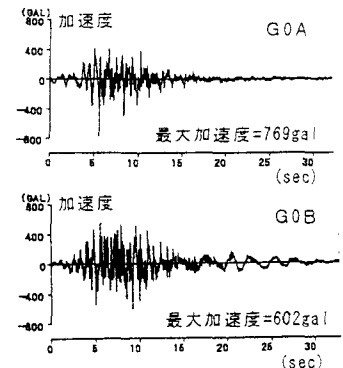


図-3 入力地震動(G0波)

Kazuhiko MIZUGUCHI, Tatsuhiko SHINMI, Takehiko KITAJIMA

2) 設計基盤面

耐震設計上の基盤面は、GL-40m以深のDg層とした。この層はN値50以上の良く締まった砂礫層であり、近傍のPS検層結果によるとVs=400m/sec程度であると判断される。

3) 解析モデル

応答変位法に用いる骨組モデルは、継ぎ手を回転ばねおよびせん断ばねで評価するはり-ばねモデルによるものとした。回転ばねおよびせん断ばねの値は、図-5に示すばね定数の感度分析結果を基にして、安全サイドとなるように(断面力が大きく算出されるように)設定した。(せん断ばね=10⁵tf/m, 回転ばね=3700tfm/rad(正), 1290tfm/rad(負))

なお、中柱とハモセメントの接合条件は、ピン接合および剛接合の2ケースを考慮した。

4) 考慮する荷重

土水圧の他、以下に示す荷重を地震の影響として考慮した。

- ①地盤変位による荷重：地震時の構造物の相対変位を地盤ばねを介して構造物に載荷する。
- ②慣性力：地盤の応答解析で、構造物の相対変位が最大となる時刻の加速度による慣性力を考慮する。
- ③周面せん断力：②と同時刻の地盤のせん断力を考慮する。載荷位置は、開削トポリのシミュレーション結果を参考にしてソルト上面とした。

4. 耐震性の検討結果

セメント各部材の非線形性を考慮したM-φ曲線と線形弾性体としての応答変位法による解析結果を図-6に示す。同図に示すように曲げに対してはいずれも終局曲げモーメント以下となっている。また、せん断についても各部材とも終局せん断耐力以下となったが、中柱およびハモセメントについては、せん断破壊が曲げ破壊に先行する破壊形態を示すことがわかった。

5. まとめと今後の課題

本報告では複円形ソルトの耐震設計をはり-ばねモデルを用いた応答変位法により行った。はり-ばねモデルの骨組およびばねを、線形弾性体として扱ったが、発生断面力はいずれも終局耐力以下となった。今後、①地盤と構造物の相互作用を考慮した解析による耐震検討結果との比較、②せん断破壊先行型となった中柱、ハモセメントの対応、③ハモセメントの剛域等骨組のモデル化の方法、等について検討を行いたいと考えている。

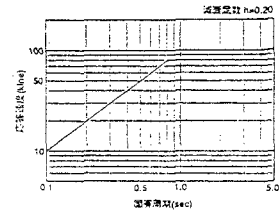


図-4 基盤面における速度
応答スペクトル

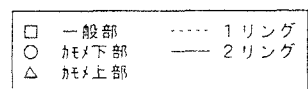
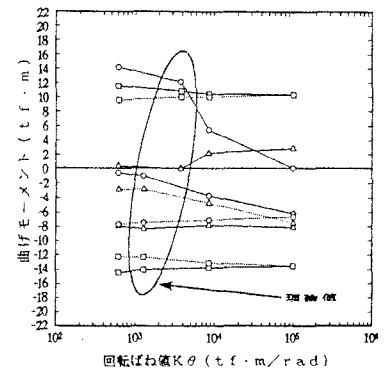
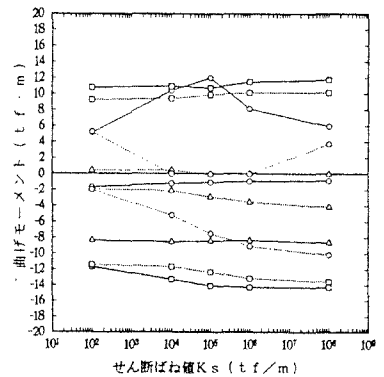


図-5 ばね値の感度分析

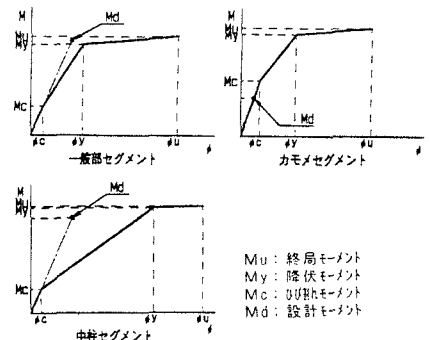


図-6 M-φ曲線と発生断面力