

VI-166 複円形シールドの耐震設計について

中央復建コンサルタンツ 正会員 北嶋 武彦
 神戸市交通局 正会員 佐俣 千載
 神戸市交通局 正会員 水口 和彦

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。

開削トンネルについては、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災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304m）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、トンネル天端付近を境にして、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のN値は20～30程度であり、トンネル土被りは16m～12m程度である。

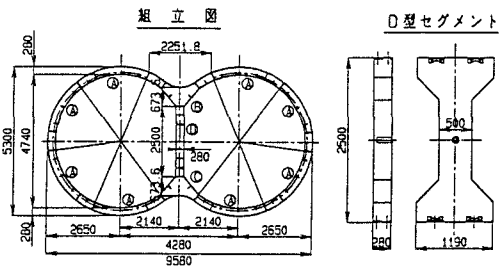


図-1 トンネル断面

3. 耐震設計方法

応答変位法による耐震設計は、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、平成8年3月）のG0波形を用いた（図-2）。

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、常時の設計¹⁾と同値とした。

なお、中柱とセグメントの接合条件は、ピン接合および剛接合の2ケースとした。

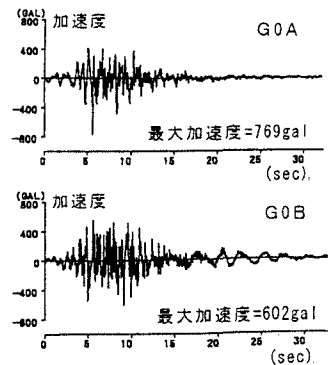


図-2 入力地震動（G0波）

4) 考慮する荷重

土水圧の他、①地盤変位による荷重、②慣性力、③周面せん断力を地震の影響として考慮した。（図-3）

4. 耐震検討結果

1) 応答変位法とFEMモデルによる動的応答解析との比較

図-4に示す2次元FEMモデルによる動的応答解析を実施し、地震による影響荷重によってトンネルに生じる断面力について、応答変位法と動的応答解析との比較を行った（表-1）。なお、2次元FEMモデルではシールドトンネルを剛性一様リング（ $\eta=0.8$ ）として入力しているため、剛性一様リングモデルを用いた応答変位法についても参考値として示した。

トンネルを剛性一様リングとした場合、一般部およびカメ部で動的応答解析より応答変位法の方が若干断面力が大きくなる傾向が見られたが、ほぼ大差ない結果が得られた。このことから、応答変位法の解析手法の妥当性が検証できたと考えられる。また、応答変位法でも、はり-ばねモデルと剛性一様リングモデルの相違により、曲げモーメントは近似するものの、一般部およびカメ部のせん断力に差が生じる結果が得られた。したがって、トンネルリングのモデル化については、十分注意することが必要となる。

2) 耐震性の検討

応答変位法による解析結果を用いて、常時の設計で決定したセグメント各部材の終局耐力に対する安全性の照査を行った（表-2）。照査結果によると、各部材とも終局耐力以下となったが、中柱およびカメセグメントについては、せん断破壊が曲げ破壊に先行する結果が得られた。

5. まとめと今後の課題

本報告では複円形シールドの耐震設計を応答変位法により行い2次元FEMモデルによる動的応答解析結果と比較した。

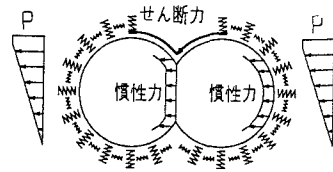
その結果、応答変位法の解析手法の妥当性が検証されたが、トンネルリングのモデル化に注意する必要があることが解った。

また、地震時の安全性については、各部材とも耐力上の安全性は確保できるが、中柱およびカメセグメントについては曲げ破壊よりせん断破壊が先行する結果が得られた。中柱については、兵庫県南部地震の際の地下構造物の被災状況を考慮すれば、靱性を増すことが必要になると考えられる。

今後、鉛直部材である中柱については、曲げ破壊先行となるような対応策を検討したいと考えている。

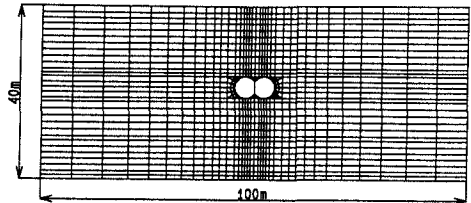
参考文献

1) 佐俣、水口、畔取；複円形シールド（DOT工法）覆工の設計について、土木学会第51回年次学術講演会、1996. 9.



$P = k \delta$ (地盤変位による荷重)

図-3 地震による影響荷重



地盤：等面線形
境界条件
構造物：線形（剛性一様リング）
側部：バネ-伝達境界
底部：粘性境界

図-4 2次元FEMモデルによる動的応答解析

表-1 応答変位法と動的応答解析(FEM)の比較
(各部材の最大断面力) (tfm, tf)

		応答変位法 はりばねモデル	応答変位法 剛性一様リング	FEM 動的応答解析
一般部	正曲げ	11.53	12.66	9.82
	負曲げ	-9.97	-12.02	-8.46
	せん断力	15.17	9.35	8.16
カメ部	正曲げ	13.38	13.20	12.73
	負曲げ	-13.99	-13.16	-11.20
	せん断力	14.25	9.22	5.99
中柱部	上端曲げ	18.82	22.28	25.41
	下端曲げ	-22.27	-24.11	-24.25
	せん断力	15.66	17.68	18.96

※断面力は地震時の影響のみ、1m当たり

表-2 地震時断面力の照査結果

	一般部 セグメント	カメ部 セグメント	中柱 セグメント
Md/Mud	0.828	0.323	0.713
Vd/Vyd	0.743	0.498	0.803
破壊形態	曲げ 破壊先行	せん断 破壊先行	せん断 破壊先行

Md/Mud: 曲げに対する安全性
Vd/Vyd: せん断に対する安全性
Md, Vd: 設計曲げモーメント, 設計せん断力
Mud, Vyd: 終局曲げ耐力, 終局せん断耐力