

I-B 413

複円形シールドトンネルの耐震性に関する解析的検討

神戸市交通局 正会員 佐俣千載 水口和彦
(株)フジタ 正会員 ○斉藤悦郎 和気輝幸 岸下崇裕

1. はじめに

従来地下構造物は、地上構造物に比べ地震時安全性が高いものと言われてきた。しかし、兵庫県南部地震では地下構造物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、特に動的解析による照査の必要性が指摘されている。

本報告では、神戸市交通局で計画されている複円形シールドに対し、地盤と構造物間の非線形性を考慮に入れた動的解析による耐震性検討を行った結果について報告する。なお、同時に行われた応答変位法（はり・ばねモデル）による耐震検討結果¹⁾との比較も行う。

2. 検討概要

解析モデルは、図1に示すような複円形シールドである。地盤は、表1に示す地盤構成をボーリングデータを基に道路橋示方書の式²⁾より算定した。設計基盤面は、周辺地盤のPS検層データを基にG.L-40mとした。入力波は、図2に示す「新設構造物の耐震設計について（（財）鉄道総合技術研究所）」のG0加速度波形を、入力波（2E）として用いた。解析では、側方や底面の境界には粘性境界を用いた。地盤は、一次元等価線形解析により求められた剛性および減衰定数を用いて線形とした。複円形シールドは、はり要素（ $\eta = 0.8$ をとした剛性一様リング）でモデル化を行った。複円形シールドの土被り厚は約1.6mである。解析検討は、地盤とシールドセグメント間にジョイント要素を用いた場合（case1）と用いなかった場合（case2）の2ケースで実施した。解析は、SEVEN-S-IIを用いて行った。また、はり・ばねモデルの解析結果との比較は、解析モデルの違い等があるのでここでは、参考値として用いることとした。

3. 検討結果

複円形シールドの上下の相対変位が最大となる時刻のセグメント各部に生じる断面力の最大値およびはり・ばねモデルによる解析結果を表2に、断面力の分布を図3に示す。また、図4にはシールドと周辺地盤との滑動状態を表し、図中のX印は滑動した位置を示している。各部の断面力の値は、一般部および中柱部においてはジョイント要素の有無にかかわらずほぼ同じ値を示している。それに対してカモメ部においては、正曲げおよびせん断力においてジョイント要素を用いた結果の方が大きくなっている。これは図4で示されるように、セグメント上部およびカモメ部

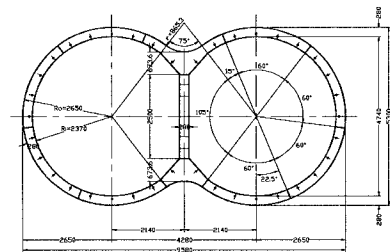


図1 複円形シールド外形図

表1 解析に用いた定数

土質区分	層厚 (m)	平均N値 $\gamma \cdot t$ (tf/m ³)	せん断流速度 V_s (m/sec)	減衰定数	等価線形地盤 せん断流速度 V_s (m/sec)	減衰定数
砂層	2.00	9	1.80	160	0.05	110
砂層	2.00	15	1.80	200	0.05	70
砂層	2.00	45	2.00	280	0.05	219
砂層	2.00	60	2.00	300	0.05	222
粗砂	2.45	55	1.90	300	0.05	195
砂層	1.38	60	2.00	300	0.05	175
中砂+砂質シルト	1.60	34	1.80	260	0.05	142
シルト質層	7.62	15	1.70	240	0.05	150
砂層	2.00	60	2.00	300	0.05	190
砂層+シルト	8.00	50	1.90	300	0.05	205
砂層+砂質シルト	7.00	50	2.00	300	0.05	193
セグメント	ジョイント要素					
単位体積重量 (tf/m ³)	2.45		せん断ばね定数 (tf/m ²)	30000		
弾性係数 (tf/m ²)	3500000		鉛直ばね定数 (tf/m ²)	100000		

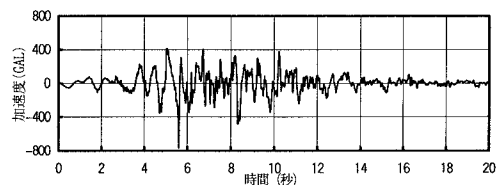


図2 入力加速度波形

表2 最大断面力

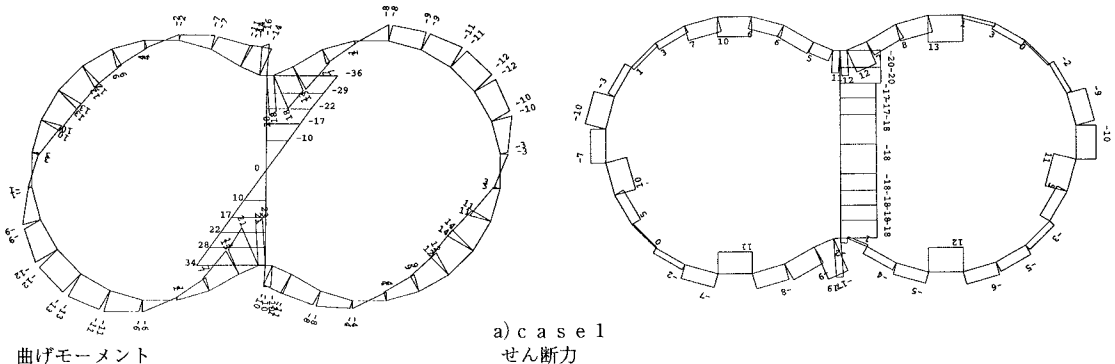
		case1	case2	はり・ばね
一般部	正曲げ (tf・m)	14.98	13.02	11.53
	負曲げ (tf・m)	13.27	13.31	9.97
	せん断力 (tf)	13.74	11.71	15.17
中柱部	正曲げ (tf・m)	22.66	22.44	18.82
	負曲げ (tf・m)	22.45	22.40	22.27
	せん断力 (tf)	18.07	18.15	15.66
カモメ部	正曲げ (tf・m)	21.15	15.86	13.38
	負曲げ (tf・m)	14.48	15.93	13.99
	せん断力 (tf)	17.92	8.89	14.25

単位 m 当り

を除きセグメント外周において地盤とシールドセグメントが滑動状態に至ったために、カモメ部が地盤に引っ張られるもしくは引っ掛かる状態になり、断面力が大きくなったものと考えられる。なお、シールドトンネル周辺地盤の最大せん断ひずみは、 10^{-3} 程度であり、地盤と構造物の滑り量（相対変位量）は最大で約2mmと小さく地盤と構造物は同一の挙動を示した。また、カモメ部上部の一部に周面せん断力を加えたはり・ばねモデルの結果と比べ、動的解析結果は比較的に一致した値となっている。複円形シールドトンネルに対する動的解析による耐震性の検討では、地盤部を等価線形とした耐震検討手法を用いても十分な結果が得られるものとする。

曲げモーメント

せん断力



曲げモーメント

せん断力

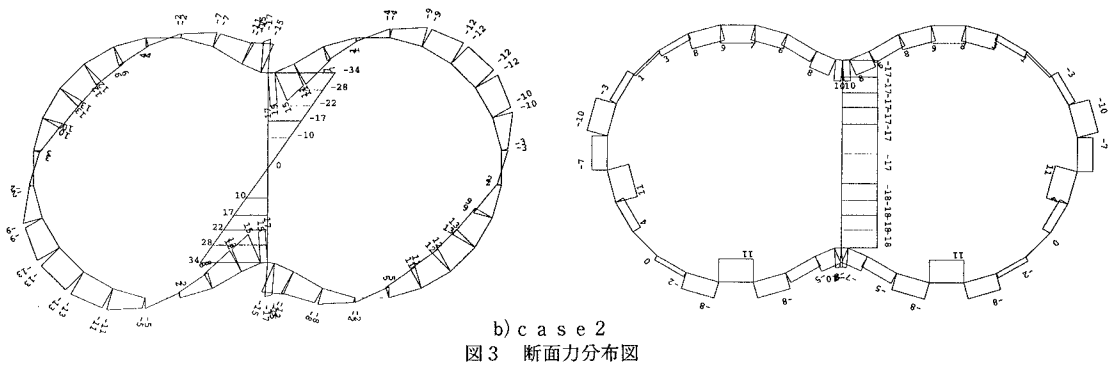


図3 断面力分布図

4. おわりに

動的解析による耐震性の評価において以下の見知が得られた。

- 1) 地盤とシールドトンネルは、同様な挙動を示す。
- 2) 一般部および中柱部においては、ジョイント要素の有無による解析結果の差違は生じなかった。
- 3) 一般部においては滑動が生じるのに対し、カモメ部では地盤と連続的な挙動を示すために、ジョイント要素を用いた解析ではカモメ部の断面力が大きくなる傾向にある。

謝辞：非線形動的解析を行うにあたりご指導頂いた山口大学工学部の三浦房紀教授に心から感謝致します。

【参考文献】1) 北嶋、佐俣、水口：複円形シールドの耐震設計について、土木学会第51回年次学術講演会、1996年9月 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、1990年5月

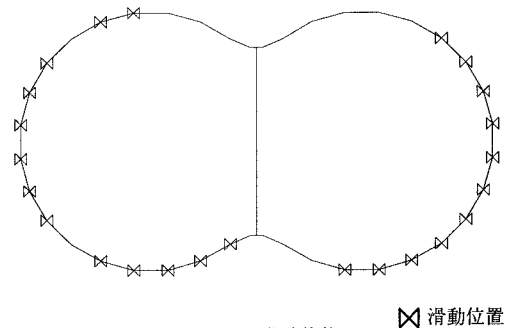


図4 滑動状態図

✕ 滑動位置