

I-B 412

非線形動的解析による複円形シールドトンネルの動的挙動

神戸市交通局 正会員 佐保千載 水口和彦
(株)フジタ 正会員 ○岸下崇裕 斉藤悦郎 和氣輝幸

1. はじめに

従来矩形断面や単円シールドトンネル等の地中構造物に対する横断方向の耐震性検討には、地盤の変位および地中構造物周辺に周面せん断力を作用させる応答変位法が用いられている。この応答変位法の基本は、地盤と地中構造物が一体となって挙動することを原則としている。

本報告では、単円形シールドトンネルに比べ複雑な構造をしている複円形シールドトンネルに対して地盤材料の非線形性や地盤と構造物間の非線形性を考慮に入れた非線形動的解析を行い、地盤と複円形シールドトンネルの非線形動的挙動について検討した結果について述べる。

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、土被り厚が約16mである。地盤は、表1に示すような地盤構成とし、設計基盤面はG.L-40mとした。入力波は、「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加速度波形を用いた。FEM解析は、側方や底面の境界には粘性境界とし、SEVENS-IIを用いた。シールド部は、はり要素でモデル化を行った。図2にメッシュ図を示す。解析は、自由地盤部を一次元線形解析、FEM部を二次元非線形解析として解析した結果が、FEM部の側方境界要素において塑性化する要素が存在したために、自由地盤部を一次元等価線形解析とし、FEM部は一次元等価線形解析結果を初期値とした二次元非線形解析の二つの解析手法により実施した。解析ケースは、表2に示すように上記の解析手法を用い、ジョイント要素を用いた場合と用いなかった場合の計4ケース行った。なお、材料定数や入力波形等については参考文献1に示す。

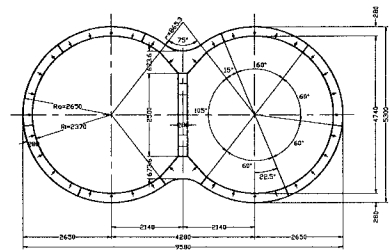


図1 複円形シールド外形図

表1 解析に用いた定数

土質区分	層厚 (m)	初期地盤			等価線形地盤	
		平均N値 γ t (t/m ³)	せん断波速度 Vs (m/sec)	減衰定数	せん断波速度 Vs (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
細砂	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(t/m ³)		2.45	せん断バネ定数(t/f/m ²)			30000
弾性係数(t/f/m ²)		3500000	鉛直バネ定数(t/f/m ²)			100000

表2 解析ケース

	自由地盤	FEM部	ジョイント要素
case1	線形	初期剛性	○
case2	等価線形	等価剛性	○
case3	線形	初期剛性	×
case4	等価線形	等価剛性	×

図3に側方境界断面(A-A)、中央断面(C-C)およびその中間断面(B-B)における最大加速度応答値を示す。自由地盤部を一次元等価線形による解析結果を用いた case2 においては、シールド周辺を除く各断面の応答値は良く一致している。それに対して一次元線形解析とした case1 では、シールド周辺および地表に近づくにつれて側方境界の応答に比べ中央断面に近づくにつれて応答が小さくなる傾向にある。これは、地盤の一部に非線形性が強い層が存在するために側方境界層との応答に差異が生じ、側方境界から中央段目にかけて比例的に応答の現象が生じたものと考えられる。地盤の非線形性が強かったり大きな入力地震動を用いて解

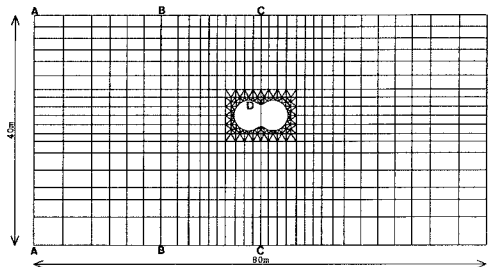


図2 解析に用いたメッシュ図

析する場合には、自由地盤部の応答および境界周辺地盤の応答に注意し非線形の動的解析を行う必要があるものと考えられる。図4にD地点における地盤およびセグメントの相対変位量（滑り量、剥離量）を示す。滑り量は最大で約1.0mm、剥離量は最大で0.2mmとかなり小さく、地盤と複円形シールドトンネルとはほぼ一体の挙動を示しているものと考えられる。図5に複円形シールド周辺地盤のせん断応力を、図6にセグメント周辺地盤とセグメントとの相対変位量を示す。図は、構造物の相対変位量が最大になる時点で値を用いた。図中の矢印は、構造物の変形方向を示す。ジョインと要素を用いたcase3,4の結果が、シールド周囲にほぼ一定のせん断応力になっているのに対し、case1,2の結果では、X・Y軸と平行な要素をピークに外周に沿って減少する傾向にある。これは、図6に示されるように軸に平行なセグメントほど周辺地盤との相対変位が大きくなっているために、周辺地盤のせん断応力も同種の傾向になるものと考えられる。この様な大きな入力地震時において地中構造物が周辺地盤と全周もしくは一部において滑動現象が生じる場合には、周面せん断力のかけ方の検討が必要となるものと思われる。

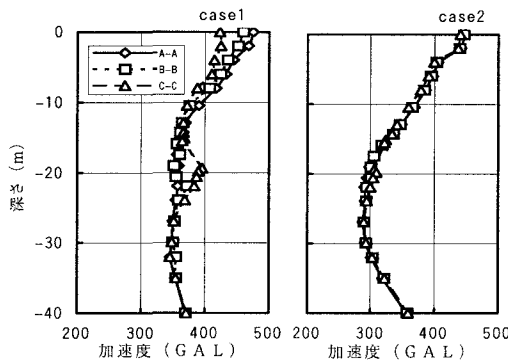


図3 最大加速度応答値

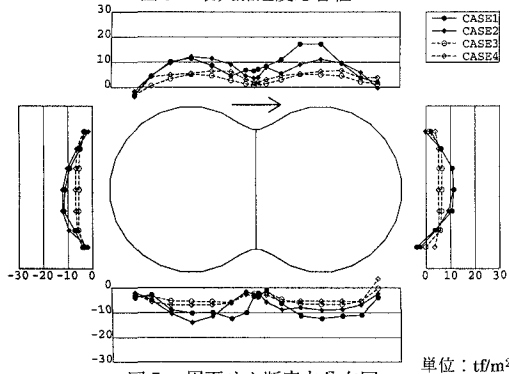


図5 周面せん断応力分布図

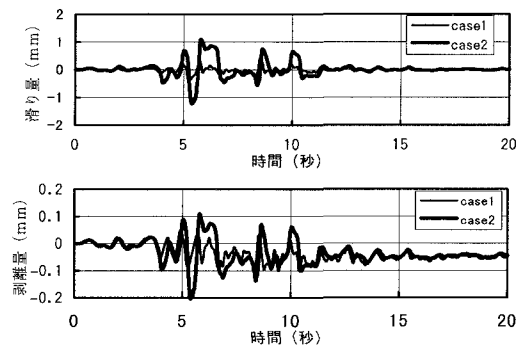


図4 D地点での相対変位量

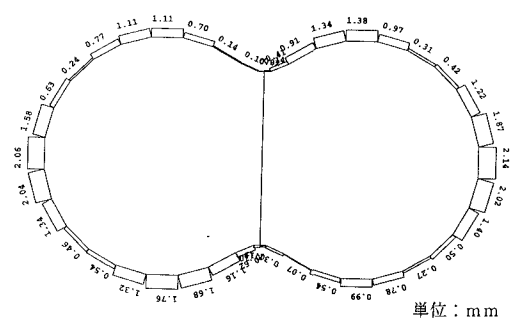


図6 地盤と構造物の相対変位量(case2)

4. おわりに

- 1) ジョイント要素を用いて解析した結果、滑り量は2.0mmと小さく、複円形シールドトンネルは地盤と同一の挙動を示す。
- 2) 地盤と構造物間を連続体とした場合では、周面地盤のせん断応力が一定であるのに対して、ジョイント要素を用いた場合には、滑り量に比例して大きくなる。
- 3) 複円形シールドトンネルのように部分的に滑動が生じる地中構造物では、周面せん断力のかけ方の検討を行う必要がある。

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) 佐俣、水口、斉藤、和気、岸下：複円形シールドトンネルの耐震性に関する解析的検討、土木学会第51回年次学術講演会、1996年9月