

# 開削トンネル耐震設計における等価線形化法を利用した 地盤免震効果の適合性検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ (株) 正会員 ○野村 顕  
 ジェイアール西日本コンサルタンツ (株) 正会員 森山 晃士  
 ジェイアール西日本コンサルタンツ (株) 正会員 井口 真一

## 1. 目的

「地震時ボックスカルバートと地盤の相互挙動の特徴について」<sup>1)</sup>において、ボックスカルバートを2次元非線形動的FEM解析(以後FEM解析とする)にて地盤との動的一体解析を行い、躯体側壁変形と地盤土層状況との関係について述べられている。その結果、地盤応答変位については軟弱地盤層の成層位置によっては免震効果や応答変位以上に増加される場合があることが確認されている。本研究では梅田地盤をモデルにして井口ら<sup>1)</sup>により示された軟弱地盤層における地盤免震効果や応答変位以上の増加傾向についての適合性を検討し、今後の開削トンネル耐震設計に活用させることを目的とする。

## 2. 研究概要

耐震標準<sup>2)</sup>の開削トンネルにおける設計手法として簡易応答変位法、応答変位法、動的解析法の3手法が提言されている。一般的な開削トンネルにおいては応答変位法を採用している。

また、応答変位の算定方法として耐震標準<sup>2)</sup>では等価線形化法を用いた動的次元解析プログラム(本研究ではSHAKEを使用、以後SHAKEとする)と表層地盤の固有周期から算定される地表面最大変位を用いて地盤の水平変位の鉛直方向分布を求める方法(以後耐震標準による方法)が存在し、本研究では上記の2方法により当該地盤の応答変位量を算出し、応答変位分布を作成し、比較を行った。

## 3. 開削トンネル形状及び地盤条件

検討対象とした開削トンネルは表-3.1 対象開削トンネル表に示す。また、使用材料、形状については以下に示すものとする。

コンクリート:  $f'_{ck} = 24N/mm^2$ 、鋼材: SD345、鋼管柱: SM490  
 土質定数については表-3.2 地盤定数表を用いた。

## 4. 解析

本研究では①SHAKEと耐震標準による方法の層間変位量の比較と②良質層の成層位置をパラメーターにし層間変位量の比較の2パターン検討を行う。①を解析するケースを表-4.1 解析ケース1に示すものとする。全10ケースの検討を行った。また、②を解析するケースを表-4.1 解析ケース2に示す。全体的に軟弱地盤の当該地盤にパラメーターとして良質地盤層の成層位置をBOX上部層、BOX層、BOX下部層に分類し、SHAKEを用いて全15ケースの検討を行った。

表-3.1 対象開削トンネル表

No.	箇所	土被り(m)
No.A	起点部1層2径間	6.5
No.B	起点部1層1径間	6.0
No.C	駅部1層3径間	6.5
No.D	駅部2層6径間	2.0
No.E	終点部1層1径間	5.0

表-3.2 地盤定数表

土層	Bo-No.3			Bo-No.4			Bo-No.5			Bo-H17-No.1						
	N値	単位体積重量γ (kN/m <sup>3</sup> )	圧入抵抗 (kN/m <sup>2</sup> )	N値	単位体積重量γ (kN/m <sup>3</sup> )	圧入抵抗 (kN/m <sup>2</sup> )	N値	単位体積重量γ (kN/m <sup>3</sup> )	圧入抵抗 (kN/m <sup>2</sup> )	N値	単位体積重量γ (kN/m <sup>3</sup> )	圧入抵抗 (kN/m <sup>2</sup> )				
B	4	17	-	17	15	18	-	18	4	17	-	17	4	17	-	17
Ap1	5	17	-	17	9	17	-	17	5	17	-	17	8	17	-	17
Ac1 <sup>特</sup>	5	15	-	18.0	3	15	18.18	18.0	4	15	17.88	18.0	5	15	17.62	18.0
Ac2 <sup>特</sup>	1	15	-	16.5	1	15	16.03	16.5	2	15	16.87	16.5	3	15	16.51	16.5
						16.40					16.27				16.03	17.42
						16.05					16.05				16.42	
Ac2	16	18	-	18	5	17	-	17	5	17	-	17	11	18	-	18
Ac3 <sup>特</sup>	4	15	-	18.0	7	15	18.42	18.0	11	16	17.89	18.0	-	-	-	-
Ac3	11	16	-	18	14	16	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-
Dc1	-	-	-	-	44	19	-	19	34	19	-	19	47	19	-	19
Dc1 <sup>特</sup>	8	15	-	20.5	-	-	-	-	17	16	-	20.5	13	16	20.65	20.5
Dc1	45	19	-	19	42	19	-	19	47	19	-	19	50	20	-	20
Dc2 <sup>特</sup>	8	15	-	17.5	9	15	18.89	17.5	9	15	-	17.5	10	16	16.03	17.5
						18.20									17.18	
Dc2	31	17	-	17	-	-	-	-	45	19	-	19	50	20	-	20
Dc3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表-4.1 解析ケース1

項目	内容	ケース数
解析モデル	SHAKE、耐震標準による方法	2
BOXタイプ	No.A、No.B、No.C、No.D、No.E BOX	5
全ケース		10

表-4.2 解析ケース2

項目	内容	ケース数
解析モデル	SHAKE	1
BOXタイプ	No.A、No.B、No.C、No.D、No.E BOX	5
地盤タイプ	BOX上層良質、BOX層良質、BOX下層良質	3
全ケース		15

キーワード 開削トンネル, 地盤免震, 等価線形化法, 軟弱地盤, 実務設計

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 中央ビル9F TEL06-6303-1446

耐震標準による方法は耐震標準<sup>2)</sup>の【6.4.2 地盤変位の算定】に記載されている地盤の固有周期より算出する。また、設計変位量の鉛直分布はB地盤とし各断層の変位量を算定する。

入力加速度は鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計<sup>2)</sup>の【3.6 時刻歴動的解析に用いる地震波形の算定】に示されているL2地震動の基盤地震動波形(スペクトルⅡ適合波)を用いる。図-4.2 基盤地震動波形(L2 スペクトルⅡ)にその基盤地震動波形を示す。

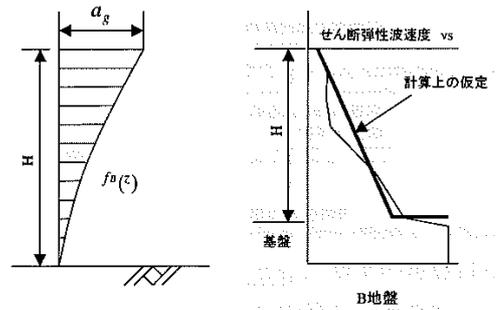


図-4.1 設計変位量の鉛直方向分布

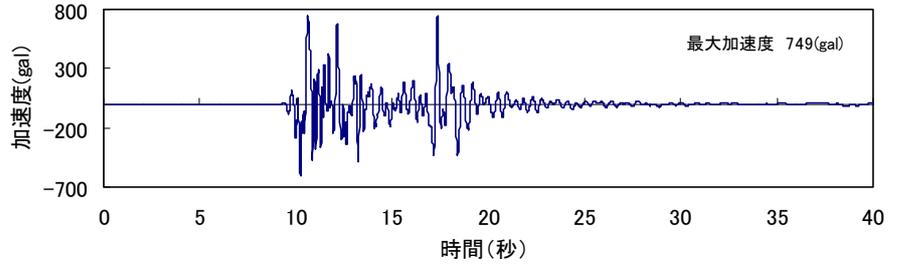


図-4.2 基盤地震動波形(L2 スペクトルⅡ)

5. 結果

SHAKE 及び耐震標準による方法で算出した層間変位量を表-5.1 層間変位比較表 1 に示した。結果は SHAKE のほうが層間変位量が小さくなる傾向がみられた。また、良質地盤層の成層位置を BOX 上部層、BOX 層、BOX 下部層に分類し、SHAKE を用いて検討を行った結果を表-5.2 層間変位比較表 2 に示した。BOX 層に良質地盤が存在することで BOX 上部層、BOX 下部層に良質地盤が存在する地盤より大きい免震効果が得られることを確認した。

表-5.1 層間変位比較表 1

BOX No.	耐震標準による水平地盤変位量 $\delta_1$ (m)	不等号	SHAKEによる水平地盤変位量 $\delta_2$ (m)
A	0.1500	>	0.0440
B	0.1202	>	0.0700
C	0.1202	>	0.0750
D	0.1562	>	0.0620
E	0.0896	>	0.0800

6. まとめ

SHAKE のほうが層間変位量を抑えられることから応答変位法の地盤変形による荷重を低減することができる。よって、当該地盤では SHAKE によって応答変位量を算定することで経済的な設計が可能であることの方性を模索できた。また、全体的に軟弱層である当該地盤において BOX 層に良質地盤が存在することで免震効果が得られることから BOX 下部層に軟弱地盤が存在することで層間変位量を小さくできる傾向が確認できた。

表-5.2 層間変位比較表 2

BOX No.	層間変位量 $\delta_1$ (BOX下部良質層)	層間変位量 $\delta_2$ (BOX層良質層)	層間変位量 $\delta_3$ (BOX上部良質層)
A	0.051	0.006	0.050
B	0.105	0.004	0.071
C	0.121	0.002	0.074
D	0.039	0.003	0.062
E	0.079	0.002	0.054

今後は、開削トンネルを応答変位法に基づいて設計する際に SHAKE を適用することを想定し、SHAKE と FEM 解析による層間変位量を比較し、実務設計に多く用いられる SHAKE による層間変位量の推定精度を向上させるための等価剛性と等価減衰定数のパラメータスタディーの検討を行い、合理的な開削トンネル耐震設計を実施する可能性を示す予定である。

参考文献

- 1) 井口真一、森山晃士、塩見成一：地震時ボックスカルバートと地盤の相互挙動の特徴について、第 63 回土木学会 I-164
- 2) 丸善株式会社：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、平成 11 年 10 月