

地上・地下近接構造物の地震時相互作用に関する解析的研究 —トンネルの径の違いによる応答特性—

首都大学東京 フェロー会員 ○岩橋 敏広、小田急電鉄(株) 岡本 浩資
前田建設(株) 正会員 大嶋 義隆、八千代エンジニアリング(株)正会員 石川 義樹

1. 背景・目的

近年、特に大都市圏において、地下鉄、地下道路、地下河川等、様々な地下空間利用が進んでいる。巨大地震時には、地下構造物と地上構造物は動的に相互の影響を及ぼす可能性があり、耐震性を評価することが重要である。このため本研究は、異なる大きさのトンネルが橋脚の杭基礎近傍に構築された場合を想定し、二次元動的解析により地震時の相互影響を検討したものである。

2. 二次元動的応答解析

2.1 解析モデル 解析対象の2次元 FEM モデルを図-1、検討ケース(4 ケース)を表-1 に示す。

①地盤は平面ひずみ要素でモデル化し、せん断応力とせん断ひずみの関係に非線形性を考慮した。復元力特性は Ramberg-Osgood 型とした。地盤条件を表-2 に示す。

②既設構造物の橋脚は、橋脚躯体および杭基礎を非線形はり要素、塑性ヒンジ部には弾塑性回転バネを設けた多質点系モデル(図-2)を用いた。部材の曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係に非線形性を考慮し、骨格曲線はトリリニア型、履歴法則は武田型とした。③新設構造物は、RC セグメントのシールドトンネル(下水管、地下鉄、道路トンネル)を想定し、線形はり要素でモデル化した。④境界条件は、地盤側方及び下方を粘性境界とし、構造物と地盤との境界では、すべり・剥離は考慮しない。

2.2 解析条件および入力地震動

①解析条件は、積分手法が Newmark β 法 ($\beta = 1/4$)、積分時間間隔 0.002 秒、収束判定誤差 0.5% である。解析コードは TDAPIII を用いた。

②入力地震波(図-3)は、レベル 2 地震動(749.6gal)で基盤に入力した。

表-2 地盤条件

No.	層厚 (m)	土質	単位重量 γ (tf/m ³)	ポアソン比	V_s (m/s)	せん断剛性 G (tf/m ²)
1	3.00	砂質土	1.70	0.450	172	5140
2	4.00	粘性土	1.60	0.495	126	2593
3	4.00	粘性土	1.60	0.495	144	3386
4	10.50	粘性土	1.70	0.495	215	8030
5	4.50	砂質土	2.00	0.495	274	15306
6	4.00	砂質土	2.00	0.495	285	16560
基盤(剛)	-	-	2.04	0.495	-	-

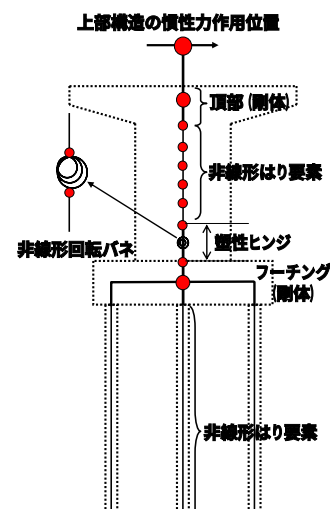


図-2 橋脚モデル図

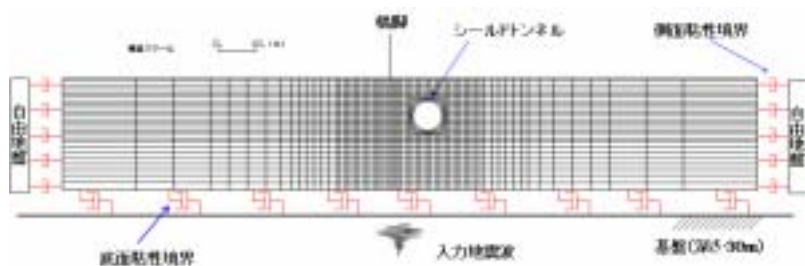


表-1 検討ケース

ケース	検討モデル	シールドの径	橋脚とトンネルの離隔
Case-1	橋脚(基本ケース)	-	-
Case-1A	橋脚+シールド	4m(下水管)	3.0m
Case-1B	橋脚+シールド	8m(地下鉄)	3.0m
Case-1C	橋脚+シールド	12m(道路)	3.0m

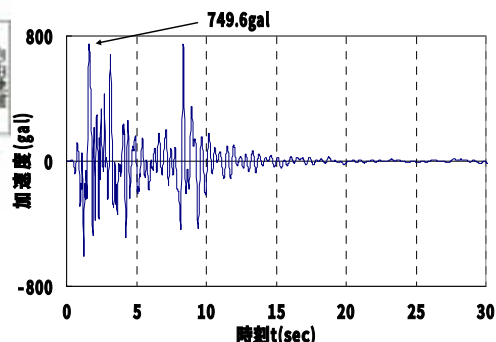


図-3 入力地震波(L2 地震動基盤波)

キーワード 動的相互作用、地上・地下近接構造物、動的応答解析

連絡先: 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1 首都大学東京都市環境学部 TEL0426-77-2946, Fax:0426-77-2772

3. 解析結果

①橋脚は全てのケースで、構造物－地盤連成系の1次モード(1.86Hz)が卓越して揺れている。その時の橋脚の最大応答値を、比較して表-3に示す。上部構造の加速度応答は、トンネルの有無・径の大きさによって若干の差異(最大約7%)が確認された。また、変位に関してはトンネルの有無・径の大きさに関わらず、全てのケースにおいて大きな変化は見られなかった。これらの結果から、橋脚の挙動が周辺地盤の動きに支配され、トンネルの影響をほとんど受けていないことが判った。

②橋脚の水平変位最大時刻での、トンネル側杭基礎の曲げモーメント及びせん断力を比較して図-4～5に示す。基本ケースと比べトンネルが入ったいずれのケースにおいても、地盤物性が急激に変化する第3層と第4層の境目(深さ-11m)付近で、杭基礎の曲げモーメントが約20%、せん断力が約50%低減し、トンネルの存在による影響が大きいことが確認できた。一方、トンネルと反対側の杭では、トンネルによる影響はほとんど表れていなかった。

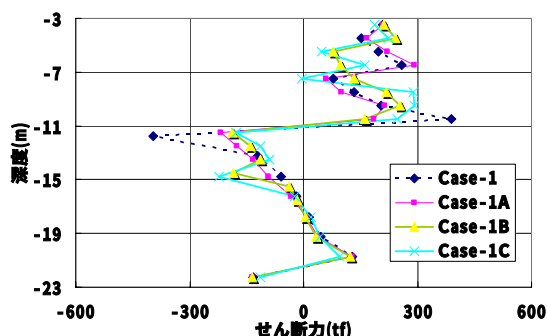


図-4 せん断力比較図

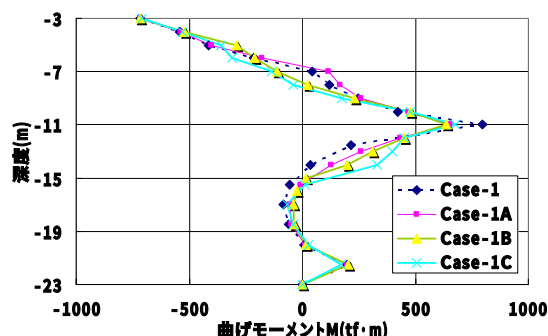


図-5 曲げモーメント比較図

③トンネル側杭基礎に作用する直土圧(σ_x)を比較したものを図-6に、地盤全体の応力(σ_x)の分布を図-7に示す。図-6から杭に作用する直土圧は、トンネルが入ることにより、②と同様に地盤物性が急激に変化する深さ-11m付近で、大きく減少していることが判った。このため、杭基礎の曲げモーメント及びせん断力を減少させたと考えられる。また図-7から、トンネルには上下左右の各45°付近で大きな圧縮・引張りの応力が作用することが判った。

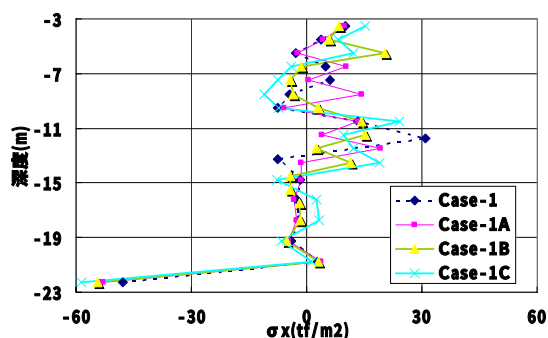


図-6 直土圧(σ_x)比較図

4. 結論

本研究の結果、近設構造物が構築された場合、既設構造物の杭基礎に与える影響は大きく、橋脚の応答に与える影響は小さいことが明らかになった。今後、さらに多くの事例に対し検討を進めたい。

5. 参考文献

- ・岩楯敏広(1985),地中構造物の耐震性に関する研究
- ・土木学会(2003),橋の動的耐震設計
- ・車愛蘭(2003),地下鉄構造物の大地震時挙動に関する実験及び解析的研究

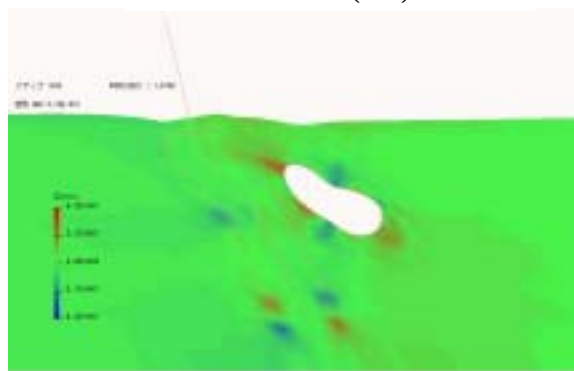


図-7 応力(σ_x)分布図

表-3 最大応答値の比較

モデル		Case-1	Case-1A	Case-1B	Case-1C
最大応答加速度 (cm/s ²)	上部構造	908	912	952	975
	支承部	844	849	885	906
	フーチング底面	619	628	647	661
	地表	632	640	650	657
	基礎面	726	726	726	727
最大変位量 (cm)	上部構造	32.6(3.0)	32.7(3.0)	32.6(3.2)	32.9(3.3)
	支承部	31.5(2.5)	31.7(2.5)	31.6(2.6)	31.8(2.7)
	フーチング底面	27.0(0.0)	27.0(0.0)	26.7(0.0)	26.7(0.0)
	地表	27.9	27.9	27.7	27.7
	基礎面	0.0	0.0	0.0	0.0
回転角(rad)	橋脚基部	5.41E-04	5.46E-04	5.82E-04	6.04E-04

※()内はフーチング下面からの相対変位