

液状化を考慮した半地下道路の動的解析

京都大学大学院 学生会員 ○浅井 良太
 京都大学大学院 フェロー 岡 二三生
 国土交通省 正会員 小谷 優佳

1. はじめに

道路整備が交通需要に追いつかない都市部の再開発として、開削工法を用いて建設する半地下道路が注目されている。掘削道路とも呼ばれ、埋め戻しを行う場合も埋め戻しを行わない場合もある。地下に道路を建設することで騒音、振動等、環境への影響が小さく大都市の再開発に適している。しかし、液状化地盤における挙動は十分把握できているとは言えず、構造物及び周辺地盤の動的挙動の解明が課題とされている。そこで、鋼管矢板本体利用型の半地下道路について、鋼管矢板の長さ、鋼管矢板の剛性、埋め戻しの有無に着目して動的解析を行った。

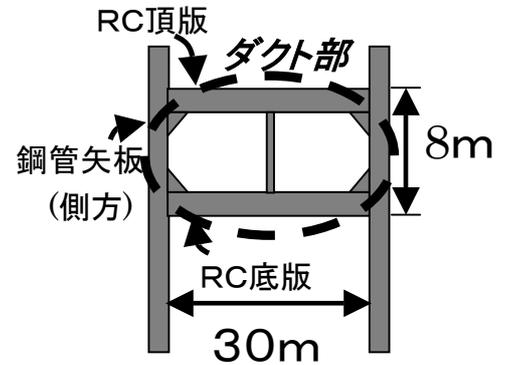


図1 半地下道路断面モデル図

表1 地盤のパラメータ

パラメータ	中密砂	粘土
初期間隙比 e_0	0.8	1.4
圧縮係数 λ	0.003	0.1
膨潤指数 κ	0.002	0.02
初期せん断係数比 G_0/σ'_{m0}	343.5	132.2
透水係数 $k(m/s)$	3.00×10^{-5}	1.00×10^{-9}
ヤング係数 $E_s(kN/m^2)$	4.669×10^4	3.564×10^4
静止土圧係数 K_0	0.5	0.5
ポアソン比 ν	0.3	0.3
内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	30	39.3
粘着力 $c(kN/m^2)$	0.0	0.0
せん断弾性波速度 $V_s(m/s)$	134	127
破壊応力比 M^*_f	1.0	1.0
変相応力比 M^*_m	0.8	1.28
硬化関数パラメータ B_0	4000	500
硬化関数パラメータ B_1	40	50
硬化関数パラメータ C_1	0.0	0
水の体積弾性係数 K_w	2.0×10^5	2.0×10^5
擬似過圧密比 OCR	1.2	1.2
異方性消失のパラメータ C_a	2000	
ダイレイタンス係数 D_0	1.0	
ダイレイタンス係数 n	2.0	
塑性基準ひずみ γ^{P*}_r	0.003	
粘塑性パラメータ $C_{01}(1/s)$		5.5×10^{-6}
粘塑性パラメータ $C_{02}(1/s)$		7.8×10^{-7}
粘塑性パラメータ m_0		14.0
ϕ_2 に対するパラメータ G_2		9139.8
湿潤密度 $\rho(g/cm^3)$	2.0	1.7

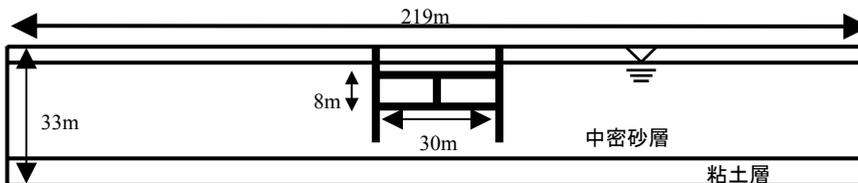


図2 解析地盤モデル

2. 解析条件

図1に示すように、対象とする半地下道路は幅30m、高さ8mであり、頂版及び底版の厚み1.4m、中壁の厚み0.8m、側壁（鋼管矢板）の厚み1.0mとした。解析地盤モデルを図2に示す。関西地域の典型的な地盤をモデル化し、中密砂層（液状化層）と粘土層（非液状化層）の2層地盤とした。地盤のパラメータを表1に示す²⁾。地盤モデルの横幅は219m、深さは33mとし、地盤の広がり表現するためモデルの左右両端を等変位境界とした。またモデル底面はx、y方向に拘束した。地下水位は地表より2mを基本とするが、埋め戻しを行わないモデルでは半地下道路本体部分下部のみ地下水位を地表より13mとした。鋼管矢板は非充填鋼管と剛性の高い充填鋼管で解析を行った。幅30m、高さ8mの矩形ダクト（以下ダクトと略す）のみのモデルに加え、矢板の長さが17m、23m、27m、29mのモデルで解析を行った。構造物のパラメータを表2に示す。入力地震動は兵庫県南部地震のポートアイランド観測波(G.L.=-83m、 $\Delta t=0.01, 20sec$)を用いた。解析コードはLIQCA2D01³⁾を用いた。

表2 構造物のパラメータ

パラメータ	非充填鋼管	充填鋼管	頂版	底版	中壁
ヤング係数 $E(kN/m)$	2.0×10^8	4.7×10^7	5.51×10^7	5.77×10^7	3.56×10^7
断面積 $A(m^2)$	0.0434	0.785	1.4	1.4	0.8
断面2次モーメント $I(m^4)$	5.27×10^{-3}	4.91×10^{-2}	2.29×10^{-1}	2.29×10^{-1}	4.27×10^{-2}
密度 $\rho(t/m^3)$	7.85	2.8	2.5	2.5	2.5
第一降伏モーメント M_{f1}	1.0×10^{99}				
第二降伏モーメント M_{f2}	1.0×10^{99}				
第一降伏後の剛性低下係数 a_1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第二降伏後の剛性低下係数 a_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
引っ張り降伏強度	1.0×10^{99}				

キーワード 液状化 半地下道路 動的解析
 連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 075-753-5086

3. 初期応力解析

掘削、半地下道路本体建設、埋め戻しという建設手順に即した初期応力解析を行う必要がある。そこで3段階に分けて初期応力の解析を行った。原地盤の応力状態を求め、その結果を基に掘削後の応力状態を求めた。さらにその結果を基に半地下道路建設、埋め戻し後の応力状態を求め、これを半地下道路建設後の初期応力とした。

4. 解析結果

半地下道路の重量はももとの地盤に比べて小さいため、液状化が起きた場合浮き上がりが発生し同時に半地下道路下部へ周辺地盤から回り込みが発生する。図3に示す矢板の長さ23mのモデルでの相対有効応力減少比 $[1 - (\text{平均有効応力}) / (\text{初期平均有効応力})]$ 分布図を見ると地震発生7秒後以降では液状化が砂層全体で発生していることが確認できる。液状化は全てのモデルで発生するが、液状化を防ぐことが難しいとすれば、たとえ液状化しても構造物の変位を最小限に食い止めることが重要となる。図4に示す変形図ではダクト部が浮き上がり、貫入した矢板の先端より下部で周辺砂の回り込みが起きたことが確認できる。また矢板が半地下道路下部側へたわんだ様子も確認できる。これは半地下道路の重量が周辺の地盤に比べて小さいため、ダクト直下での全応力は周辺より小さな値となり、応力差によりこうした変形が起きたと考えられる。各モデルの地震発生20秒後におけるダクト部浮き上りをプロットしたグラフを図5に示す。矢板が短いほどダクト部の浮き上がり量は大きく、非液状化層まで貫入した（矢板の長さ29m）場合は、どのモデルでも5cm以下のダクト部浮き上がりとなり小さな値にとどまっている。充填鋼管と非充填鋼管との差は矢板が短い17mの場合にはほとんど出ず、矢板の長さが中程度となる23mの場合にダクト部浮き上りを14cmから11cmに約3cm減らすという効果がある。剛性の高い充填鋼管の方がたわみが少なくなるためである。矢板の長さ27m、29mの場合にはほとんど差はなかった。半地下道路の横幅が20mで非充填鋼管矢板を使用するモデルと比較すると、横幅30mのモデルの方が浮き上がりが小さな値となることが確認された。非充填鋼管を使用し埋め戻しを行わない場合には、矢板の長さが23mのモデルでは20cmの浮き上がり、矢板の長さが29mのモデルは4cmの浮き上がりとなった。以上より、浮き上りを抑えるためには、非液状化層まで矢板を貫入する必要がある。

参考文献

- 1) 地下道路の研究小委員会：JSSC「半地下道路の研究小委員会」資料，2003.
- 2) Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S. : A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic strain dependency of the shear modulus, Geotechnique, Vol. 49, No. 5, pp. 661-680, 1999.
- 3) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ(代表 岡二三生)：LIQCA2D01(2001年公開版)資料，2002.

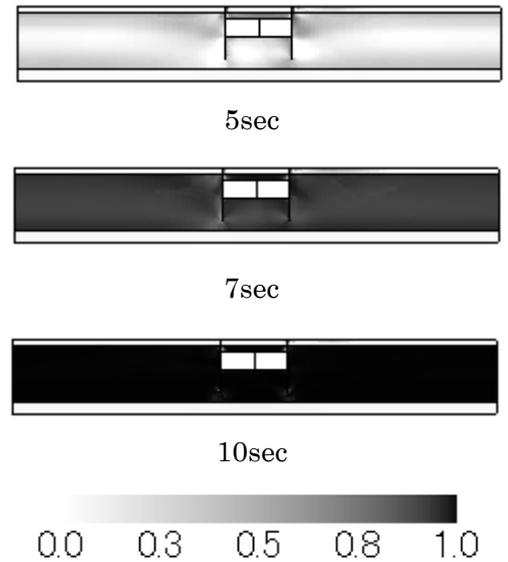


図3 非充填鋼管矢板の長さ23mのモデルでの相対有効応力減少比

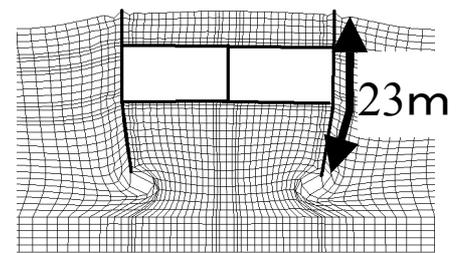


図4 非充填鋼管矢板の長さ23mモデルでの地震発生20秒後の変形図（変位10倍）

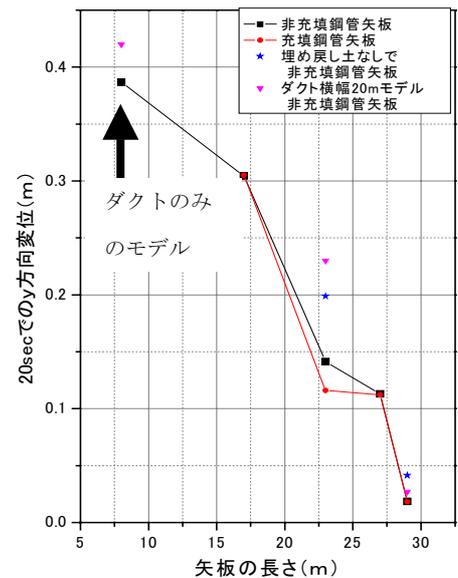


図5 各モデルでの地震発生20秒後の浮き上がり比較グラフ