

軟弱地盤上の橋台の側方移動に及ぼす中間砂層の影響

日本道路公団試験研究所 正会員 ○稲垣 太浩 福島 勇治
大成建設 技術研究所 正会員 石井 裕泰 堀越 研一

はじめに

軟弱地盤上の橋台は、背面盛土荷重による地盤の変形により橋軸方向に変状（いわゆる側方移動）することがある。日本道路公団では、この橋台の側方移動の判定にF値（ $=c_u / (\gamma HD)$ ）、ただしD:軟弱地盤層厚(m)、H:盛土高さ(m)、 γ :盛土単位重量(tf/m^3)、 c_u :軟弱地盤の平均非排水せん断強さ(tf/m^2)を用いて、 4×10^{-2} 未満の場合には要対策となる。

この判定式において、粘土層と砂層が互層の場合①上部に砂層がある場合流動層とはみなさず軟弱地盤層に含めない。厚い上部砂層は荷重分散効果を考慮してよい。②中間に砂層がある場合地盤の強さ、厚さにより流動層に含めるか否か判断する。③軟弱地盤の平均非排水せん断強さには砂層の影響を無視して取り扱うこととしている。よって、軟弱地盤内に中間砂層がある場合のF値は、一般に砂層を評価しないこととなり、中間砂層がない場合とほとんど変わらないF値となる。このため安全側の判定となり、余分な対策をする傾向にある。そこで砂層が橋台の側方移動に及ぼす影響の解明を目的として二次元断面FEM解析を行ったのでその結果を報告する。

図-1に、本解析の対象とした解析断面図を示す。解析は、軟弱粘土地盤を関口・太田モデル²⁾、支持層・盛土層・構造物を線形弾性体とし、一般的な橋台形式(逆T式橋台、ビーム要素として基礎は場所打コンクリート杭、支持層への根入れ長さ1.2m[杭径相当]の支持杭)を設定した。表-1、2に、各入力パラメータの値を示す。軟弱地盤の物性は、塑性指数PI=40、せん断抵抗角 $\phi' = 28^\circ$ に対して、表-1に示した各種経験式・理論式を用いて算定した値を用いた。地盤は正規圧密状態の軟弱層厚を30mとし、橋台背面の軟弱地盤上に1.0m/15dayのペースで盛土を構築した。なお、中間砂層の物性は、表-3に示すとおりで、弾性体としてN値=10を想定した。

解析モデル 図-1に、本解析の対象とした解析断面図を示す。解析は、軟弱粘土地盤を関口・太田モデル²⁾、支持層・盛土層・構造物を線形弾性体とし、一般的な橋台形式(逆T式橋台、ビーム要素として基礎は場所打コンクリート杭、支持層への根入れ長さ1.2m[杭径相当]の支持杭)を設定した。表-1、2に、各入力パラメータの値を示す。軟弱地盤の物性は、塑性指数PI=40、せん断抵抗角 $\phi' = 28^\circ$ に対して、表-1に示した各種経験式・理論式を用いて算定した値を用いた。地盤は正規圧密状態の軟弱層厚を30mとし、橋台背面の軟弱地盤上に1.0m/15dayのペースで盛土を構築した。なお、中間砂層の物性は、表-3に示すとおりで、弾性体としてN値=10を想定した。

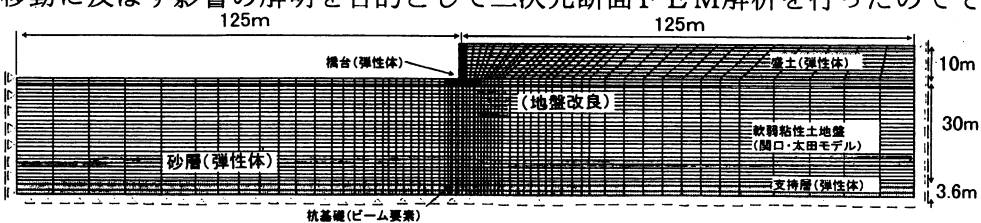


図-1 解析断面一般図

解析ケースは、表-4に示すように軟弱地盤内の砂層の位置とその厚さによる影響を把握するため、砂層中心が地表面から深さ5mの位置(GL-5)の上部にあるものをSU、同じくGL-15の中部にあるものをSM、GL-25の下部にあるものをSLとした。また砂層厚1mのものをT1とし、5mのものをT5とし、砂層の位置を変えたケースにそれぞれ層厚を2種類変えた6ケースとした。なお、砂層ない場合と比較するため、軟弱地盤全て粘土地盤のケース(Case3)も併せて解析を行なっている。ここで中間砂層のF値は、砂層を除いた粘性土のみから平均 c_u を求め、砂層を軟弱地盤層厚に含めてD=30mとして算定を行なっている。次に中間砂層の影響と橋台キーワード：橋台、軟弱地盤、盛土、側方移動、有限要素法、

キーワード：橋台、軟弱地盤、盛土、側方移動、有限要素法、

表-1 入力物性値(弾粘塑性体)

	M	λ	κ	ν'	K_0	$K(\text{cm/sec})$	$\dot{V}_0(1/\text{sec})$
軟弱地盤	1.11	0.23	0.03	0.35	0.531	1.00×10^{-7}	$5.1 \sim 5.6 \times 10^{-9}$
代表的な算定式	$\kappa = \lambda / 8$, $\nu' = K_0 / (1 + K_0)$, $K_0 = 1 - \sin \phi'$, $M = 6 \sin \phi' / (3 - \sin \phi')$, $\lambda = 0.434 C_c = 0.434 (0.025 \text{PI} - 0.5)$						

表-2 入力物性値(弾性体)

	E(kN/m^2)	ν'
支持層	8.40×10^4	0.33
杭	9.80×10^5	0.16
橋台	2.35×10^7	0.16

表-3 入力物性値

ケース	E(kN/m^2)	ν'	γ (kN/m^3)	透水係数 (cm/sec)
砂層	$2.80 \text{E}+03$	0.33	18	1.0×10^{-3}
盛土	$2.67 \text{E}+04$	0.33	18	1.0×10^{-3}

表-4 解析条件

ケース	砂層		地盤の c_u (kN/m^2)	F値 $\times 10^{-2}$ (m^{-1})
	中心位置 (m)	厚さ (m)		
Case3	—	—	32.7	0.61
Case3SU-T1	GL-5	1	33.5	0.62
Case3SU-T5	GL-5	5	37.1	0.69
Case3SM-T1	GL-15	1	32.7	0.61
Case3SM-T5	GL-15	5	32.7	0.61
Case3SL-T1	GL-25	1	32	0.59
Case3SL-T5	GL-25	5	28.4	0.52

表-5 改良体の入力物性値

ケース	E(kN/m^2)	ν'	C_u (kN/m^2)	F値 $\times 10^{-2}$ (m^{-1})
方法A改良深さ10m	$4.32 \text{E}+03$	0.2	101.1	1.87
方法A改良深さ20m	$4.32 \text{E}+03$	0.2	162.2	3
方法A改良深さ30m	$4.32 \text{E}+03$	0.2	216	4
方法B改良深さ10m	$1.12 \text{E}+04$	0.2	216	4
方法B改良深さ20m	$5.94 \text{E}+03$	0.2	216	4
方法B改良深さ30m	$4.35 \text{E}+03$	0.2	216	4

裏込め部の地盤を改良した場合とを比較するため表-5 に示すケースで解析を行なった。方法Aは改良体の剛性を同じとした場合、方法Bは改良してF値 $=4\times 10^{-2}$ を満足するように剛性を変えたものである。

解析結果 図-2 は盛土構築時から盛土完成後50年間の経過日数と橋台上部の水平変位の関係を示す。全てのケースで盛土完成後50年後の水平変位の約6割は盛土構築時に生じている。盛土構築時初期の水平変位はほぼ同じ曲線上を推移するが、盛土完成後50年後では砂層のないケースに比べ砂層があるケースの方が水平変位は小さくなっている。同じ砂層位置では、砂層厚の違ったケースを比較すると厚いケースほど水平変位は小さく、変位抑制に砂層の効果が認められる。次に、上部の砂層厚1mの Case-3SU-T1 は、下部の砂層厚5mの Case3SL-T5 に比べ水平変位は小さく砂層の厚さの効果より砂層の位置による効果が大きく表れている。そこで同じ砂層厚で比べると、砂層が上部に位置する全てのケースで橋台の水平変位は小さな結果となっており、上部に位置するものほど砂層の効果が表れている。上部に砂層があることは、橋台背面の盛土荷重を地盤内に分散し杭に作用する流動圧を軽減し、橋台前面においても層状の広がりをもって橋台の水平移動の抵抗として働くことによって、杭が流動圧により支持層を支点として回転する動きを抑制する働きが大きいためと思われる。

図-3 に示す杭の水平変位図からも砂層の部分で杭が全体の変位方向と逆側に変曲しているところから砂層が水平変位を抑制している作用が確認できる。図-4 の盛土完成時のF値と杭の水平変位量の関係から、中間に砂層があるケースのF値はほとんど同じ値であることがわかる。しかし図-2 に示したように砂層が上部にあるケースは橋台の水平変位量は小さい値となった。また、砂層が上部に5mある Case3SU-T5 は、F値が 0.69×10^{-2} であるが、地盤改良方法A($E=4320\text{kN/m}^2$)の改良幅 30m改良深さ20mのF値が 3×10^{-2} のケースや、同じく方法Aの改良幅 20m改良深さ 30mのF値が 4×10^{-2} のケースと橋台の水平変位がほぼ同じ値となった。砂層が上部にあるケースは、大きなF値の改良地盤と同じ橋台側方移動の抑止効果があることが認められる。

まとめ 現況のF値では中間に砂層がある場合のほとんど評価がされていないが、今回の解析より中間の砂層の位置や厚さによって橋台の水平変位に与える抑制効果が大きく十分に評価できる結果となった。解析に用いた砂層は、地盤改良と比べると、変形係数は小さく、透水性を有し層状であるのに対して、地盤改良の変形係数は大きく、難透水でブロック状の改良形状である。このような相違点から橋台の水平移動を抑止する効果のメカニズムも違っていることが想定される。これらの点に関して今後、解明していきたい。【参考文献】1)飯塚 敦:「軟弱地盤の変形・安定解析に関する基礎的研究」、1988、京都大学博士論文、2) Ohta, H. and Nishihara, A. (1985): Anisotropy of undrained shear strength of clays under axi-symmetric loading conditions, Soils and Foundations, Vol.25, No.2, pp.73-86

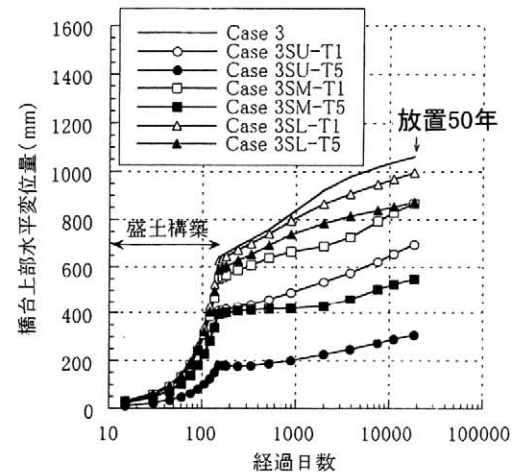


図-2 橋台上部の水平変位図

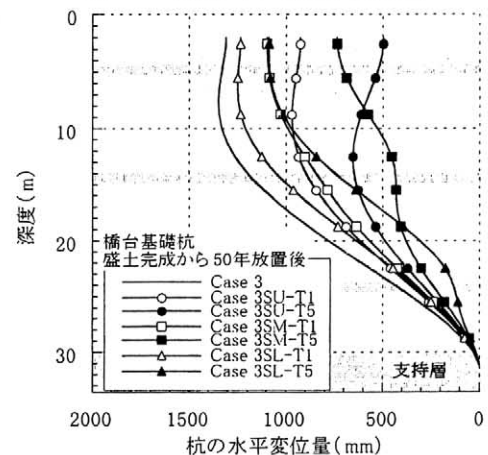


図-3 杭の水平変位図

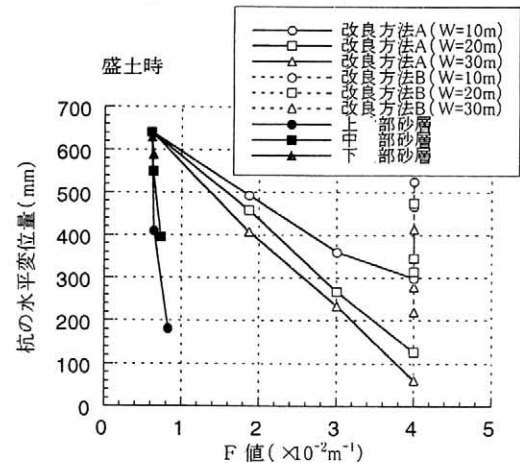


図-4 中間砂層と地盤改良の水平変位