

# 東京港埋立地盤を対象とした液状化解析

## Liquefaction Analysis on Reclaimed Landfill in Port of Tokyo

森 洋  
MORI Hiroshi

### 1. はじめに

現在、農研機構農村工学研究所を中心に、レベル2地震動に対応すべく、ため池堤体の耐震性照査の検討が進められている<sup>1)</sup>。特に、地震時での繰返し载荷による堤体材料(砂質土材料)の強度低下を考慮した変形量の推定を、動的全応力解析を用いた Newmark 法等(例えば、Newmark-D 法)で検討しており、実務設計者には比較的馴染み易い円弧すべり土塊(剛体)の変形量で表現している<sup>2)</sup>。今後は、繰返し载荷による間隙水圧挙動を伴った残留状態までも再現できる解析モデルの開発や検証が待たれるところである。

本報告では、地震時での間隙水圧上昇を、田中と谷<sup>3)</sup>が提案している比較的タフで物性パラメータの少ない Endochronic モデルで評価し、2011 年東北地方太平洋沖地震における東京港埋立地盤(新有明地震観測所)で観測された加速度記録ならびに間隙水圧記録を、非排水条件での一次元弾塑性有効応力解析(コード名: NONSOLAN)で比較・検討する。

### 2. 東京港埋立地盤(新有明地震観測所)

Fig.1 には新有明地震観測所の位置図を、Fig.2 にはボーリング調査による土質柱状図を示す。また、同図に加速度計( ; A-1, A-2, A-3, A-4)と間隙水圧計( ; P-1, P-2, P-3)の設置位置等も示しておく。N 値の小さい砂質性埋土(Hs)と沖積砂質土(As)が GL.-11m 程度まで堆積しており、それ以深では、沖積粘性土(Ac)や洪積砂質土(Ds)、洪積粘性土(Dc)による互層地盤を呈している。工学的基盤面は、N 値ならびにせん断波速度( $V_s$ )から鑑みて、GL.-45m 付近にあると推測する。また、道路橋示方書<sup>4)</sup>より求めた地盤の基本固有周期は約 0.85 秒となり、種地盤に属する。ちなみに、今回の地震による新有明地震観測所周辺での噴砂痕跡は確認されていない。

### 3. 液状化試験(繰返し非排水三軸試験)

Fig.3 には、表層部に浚渫された埋土部分(Hs)での不攪乱試料による繰返し非排水三軸試験結果と平面ひずみ条件での解析結果を示す。原地盤を対象とした Endochronic モデルの水圧発生パラメータは、田中と谷<sup>3)</sup>が行った豊浦標準砂による物性パラメータを基軸にして、試験結果( $R_{L20} = 0.26$ )に出来るだけ追従するように決定している。繰返し回数の増加に伴う繰返し応力振幅比( $\sigma_d / \sigma'_0$ )の低下率は、試験結果に比べて解析結果の方が大きくなる傾向にあった。

### 4. 一次元弾塑性有効応力解析

Fig.4 には、一次元の解析モデル(有限要素メッシュ・材料番号【Mat. No.】)を示す。要素メッシュは 1m×1m の正方形メッシュとし、材料区分を 12 とした。解析対象深度は、GL.-75m にある加速度計(A-4)設置深度までとし、A-4 での観測波形(EW 方向)を基盤面での入力波形(Fig.5 を参照)とした。

Table1 には、材料番号に応じた解析パラメータを示す。現場で



Fig.1 Site point

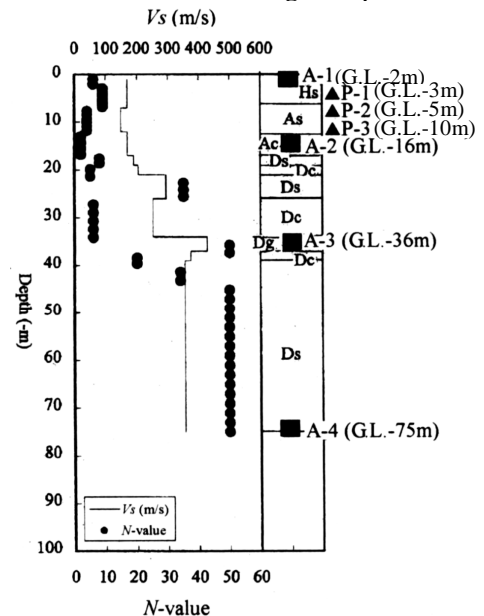


Fig.2 Soil profile

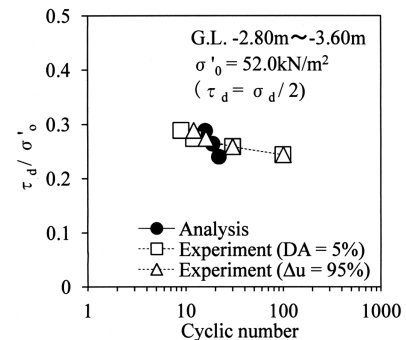


Fig.3 Cyclic undrained triaxial test

のボーリング調査より行われた物理試験結果や力学試験結果が無い場合は、参考文献5)を参考に決定した。相対密度(Dr)は、一般的によく利用されている Meyerhof の実験式より、また、初期せん断弾性係数(G<sub>0</sub>)やポアソン比(ν)は、PS 検層によるP波・S波速度より決定している。

Fig.6 には、観測された時刻歴応答加速度波形と解析結果を示す。ただし、Fig.4 に示した材料番号は、解の安定性を考慮して間隙水圧が発生しないようにしている。特に、地表面に近い埋土部分(A-1)での解析値は観測値に比べて小さかったが、応答加速度振幅形状は比較的良好一致していた。

Fig.7 には、観測された過剰間隙水圧と解析結果を示す。P-1 での観測値と解析値はよく一致していたが、P-2 では観測値の方が解析値に比べて2倍程度大きく、P-3 では逆に解析値の方が観測値に比べて2倍程度大きくなった。特に、P-3 での過剰間隙水圧の発生上昇時刻と発生量は大きくなり(過剰間隙水圧比が1に近似)せん断力が上層部へ伝播され難くなったため、前述したように表層部での応答加速度が小さくなったと考えられる。また、P-3 に当たる材料番号(Mat.No.) (Fig.4 と Table1 を参照)のDrは、Meyerhof の実験式に従えば、32%と小さな値になる傾向にあるため、水圧発生量が大きくなったが、今後は原地盤に対応すべくパラメータの検証が必要であると考え。今回は、継続時間が比較的に長いことによる間隙水圧の消散挙動までは再現していないが、本報告で用いた比較的簡便な解析モデルでも、観測値と十分比較し得る結果となった。

### 5. まとめ

弾完全塑性体モデルと Endochronic モデルを組み合わせた比較的単純で物性パラメータの少ない動的有効応力解析でも、深度方向で観測された東京港埋立地盤での応答加速度波形や間隙水圧挙動を、十分再現し得る結果となった。今後は、効率的なため池堤体の沈下量推定や埋設管の浮上問題等の検討を進めていく予定である。

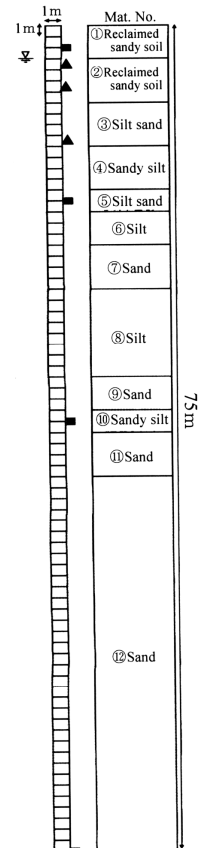


Fig.4 Model

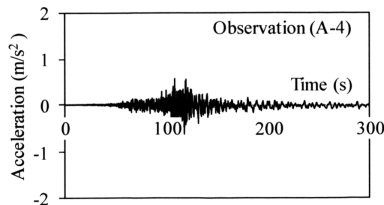


Fig.5 Input wave

Table1 Physical parameter for analysis

Mat. No.	N-value	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (degree)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	Dr (%)	$\nu$
1	6	17.4	36.2	1.5	34,800	52	0.333
2	9	19.4	36.2	1.5	57,200	53	0.484
3	4	18.0	34.9	1.2	41,300	32	0.495
4	2	19.4	33.0	20.0	57,200	20	0.493
5	8	18.0	34.9	1.2	66,300	39	0.493
6	5	15.7	32.3	28.5	67,300	29	0.490
7	35	19.6	36.2	1.5	172,900	74	0.485
8	6	16.7	32.3	28.5	108,200	28	0.487
9	50	19.0	36.2	1.5	353,500	77	0.439
10	20	17.5	33.0	20.0	251,100	48	0.475
11	34	19.4	36.2	1.5	237,000	60	0.477
12	50	19.5	45.0	0.0	250,800	61	0.477

<参考文献> 1)農研機構農村工学研究所(2014):ため池堤体の地震時安全性診断手法(第2回ため池研究会). 2)上野ら(2013):ため池堤体土の非排水繰返し載荷に伴う強度低下特性,第48回地盤工学研究発表会,1201-1202. 3)田中忠次・谷茂(1987): ENDOCHRONIC 理論に基づく砂の繰返し三軸試験の液状化解析,農土論集(132),51-61. 4)日本道路協会(2012):道路橋示方書・同解説[耐震設計編]. 5)東京都港湾局(2001):新版 東京港地盤図.

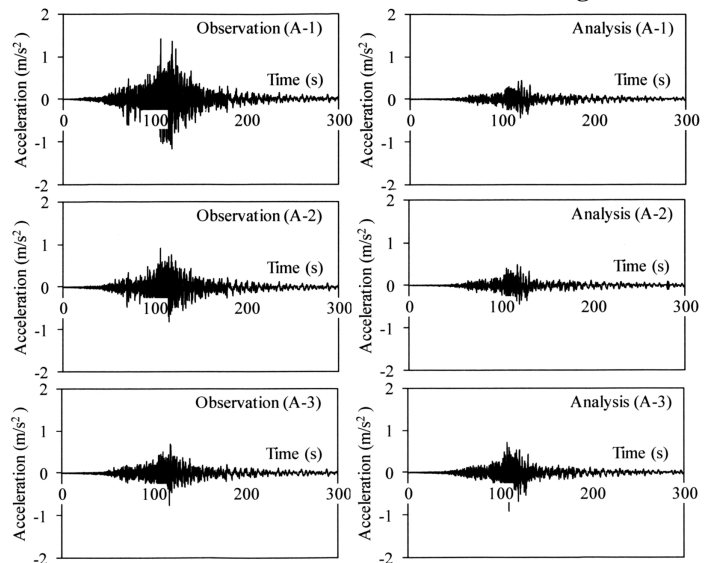


Fig.6 History of acceleration

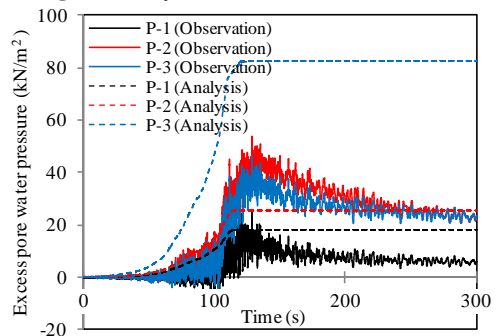


Fig.7 Excess pore water pressure