

埋立地盤直下の軟弱層が埋立地盤の地震中・地震後変形挙動に及ぼす影響

名古屋大学 (正) 中井健太郎, 野田利弘, 中野正樹, 浅岡顕

1. はじめに

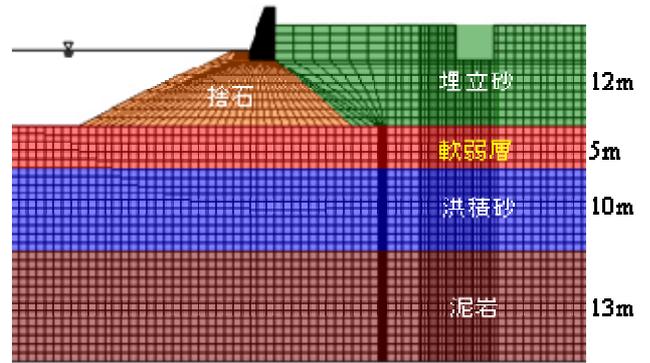
耐震設計法は仕様規定型から性能規定型へと変化しており、地震中の安定問題だけでなく、地震中に加え地震後の圧密を伴う変形挙動の予測までも視野に入れた性能照査が求められる。本報では、海上埋立人工地盤を例に<sup>1)</sup>、護岸直下の基礎地盤の軟弱層が砂の場合と粘土の場合の地震中/地震後の変形挙動の違いについて、数値解析結果を示す。解析は、土の骨格構造の働きに着目して広範な土の力学挙動を記述できる弾塑性構成式(SYSカムクレイモデル<sup>2)</sup>)を搭載した水~土連成有限変形解析<sup>3),4),5)</sup>で、静的も動的も区別なく扱うこともできる。

2. 解析条件

解析に用いた有限要素メッシュ(護岸部拡大)を図-1に示す。水平成層な自然堆積地盤は、下から強固な第三期泥岩、N値30程度の洪積砂、軟弱層となっており、その上に捨石マウンド護岸および埋立層が存在する。軟弱層は対象断面近傍から採取された砂質土; Case1 と粘性土; Case2 の2パターンを想定した。弾塑性性状(材料定数と初期値)の一覧を表-1に示す。これらはSYSカムクレイモデルを用いて、当該地域から採取した不攪乱試料の力学試験結果を再現することで決定している(軟弱層の非排水せん断挙動と再現結果を図-2に示す)。各層で比体積と構造の程度は均一と仮定し、土被り圧に応じて過圧密比を分布させた。水面より上の地表面は水圧を常にゼロ(大気圧条件)、水面より下の地表面は静水圧分の水圧が作用した排水境界とし、地盤の側面と底面は非排水境界とした。地震動は、地盤底面の全有限要素節点の水平方向に、図-3に示す地震波を入力した。地盤下端節点は底面粘性境界( $V_s=600\text{m/sec}$ )を設け、地盤両側端要素には側方境界要素単純せん断変形境界<sup>6)</sup>を設けた。

3. 解析結果

図-4にCase1における地震中の平均有効応力 $p'$ の経時変化を示す。埋立層は地震発生とともに $p'=0$ となって液状化してしまう。地震の継続時間が長いので、軟弱層(砂)と洪積砂層でも次第に $p'$ が減少していく。続いて図-5は、Case2における $p'$ の経時変化である(初期状態はCase1とほぼ等しいので省略)。Case1と同様に、埋立地震応答解析、砂、液状化、粘土、圧密沈下



80m(実際の解析領域は2040m)

図-1 有限要素メッシュ

表-1 弾塑性性状の一覧

	泥岩	洪積砂	捨石	軟弱層砂	軟弱層粘土	埋立砂
弾塑性パラメータ						
境界状態定数 M	0.60	1.10	1.7	1.10	1.60	1.10
NCLの切片 N	2.10	1.989	1.895	1.989	2.51	1.989
圧縮指数 $\bar{\epsilon}$	0.17	0.05	0.105	0.05	0.21	0.05
膨潤指数 $\bar{\kappa}$	0.003	0.0002	0.0005	0.0002	0.02	0.0002
ポアソン比 $\nu$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
発展則パラメータ						
$-D_v'$ と $ D_s' $ の割合 $c_v$	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0
構造劣化指数 a	0.01	5.0	2.0	5.0	0.6	5.0
正規圧密土化指数 m	10.0	0.12	1.20	0.12	5.0	0.12
回転硬化指数 br	0.001	3.0	1.0	3.0	0.001	3.0
回転硬化限界面 $m_b$	1.0	0.9	0.001	0.9	1.0	0.9
物性						
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.707	2.675	2.60	2.675	2.754	2.675
透水係数 k(cm/s)	$1.0 \times 10^{-7}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-7}$	$4.0 \times 10^{-3}$
初期値						
初期比体積 $v_o$	1.70	1.80	1.60	1.94	2.95	1.92
初期応力比 $\eta_o$	0.545	0.545	0.0	0.0	0.545	0.0
初期構造の程度 $1/R'_o$	50.0	1.4	1.0	1.4	9.0	1.4
初期異方性の程度 $\epsilon_o$	0.0	0.545	0.0	0.545	0.545	0.7

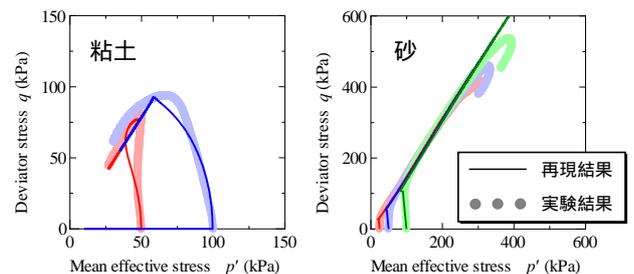


図-2 軟弱層の力学挙動

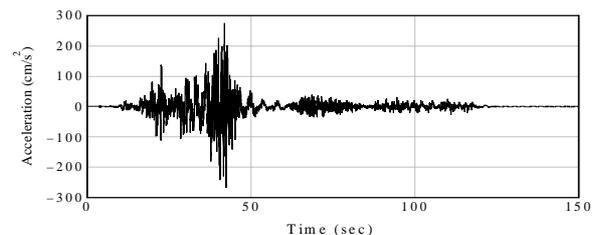


図-3 入力地震波

層はすぐに液状化してしまう。  $p' = 0$  とはならないものの、軟弱層（粘土）でも時間の経過とともに  $p'$  が減少していく。 Case1, Case2 とともに、地震中に蓄積した過剰水圧の消散（  $p'$  の回復）とともに、地震後は圧密沈下することとなる。

図-6 に、護岸から 200m離れた水平地盤上での層別沈下を示す。地震中は大きな沈下を示さないが、砂層は地震直後から数時間で、粘土層は地震発生 1 日後から約 3 年かけて沈下する。全層合計沈下量は、Case1 が 37cm, Case2 で 14cm であり、Case1 の方が 2 倍程度大きい。その差は主に軟弱層で生じており、Case2 の軟弱層（粘土）はほとんど沈下していない。なお、図中の数字は体積ひずみ量であるが、液状化した砂層は層厚の 1～3% 程度の沈下を生じている。続いて図-7 に、護岸直下での層別沈下を示す。水平地盤とは異なり、全層合計沈下量は Case2 の方が大きくなっており、軟弱層（粘土）の沈下増大が顕著である。水平地盤とは異なり、護岸直下では上載荷重によって大きなせん断力が作用し、地震中に粘土層が乱されたことが原因だと考えられる。

4. おわりに

地震時被害というと、砂質土の液状化現象ばかりが目立がちである。本報では数値解析によって、軟弱砂の液状化現象を再現するとともに、上載荷重が作用している軟弱粘土層は、地震中の乱れによって地震後に長期にわたる大沈下を生じる危険性があることを示した。

- 1) 中井他. (2009): 護岸を有する..., 第 44 回地盤工学研究発表会, 投稿中.
- 2) Asaoka, A. et al. (2002): An elasto-plastic description ..., *S & F*, 42(5): 47-57.
- 3) Asaoka, A. and Noda, T. (2007): All Soils All States All Round..., International Workshop on Constitutive Modeling..., Hong Kong, pp.11-27.
- 4) Asaoka, A et al. (1994): Soil-water coupled behavior ..., *S & F*, 34(1), 91-106.
- 5) Noda, T. et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis..., *S&F*, 48(6), 771-790.
- 6) 吉見吉昭, 福武毅芳 (2005): 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 技報堂出版.

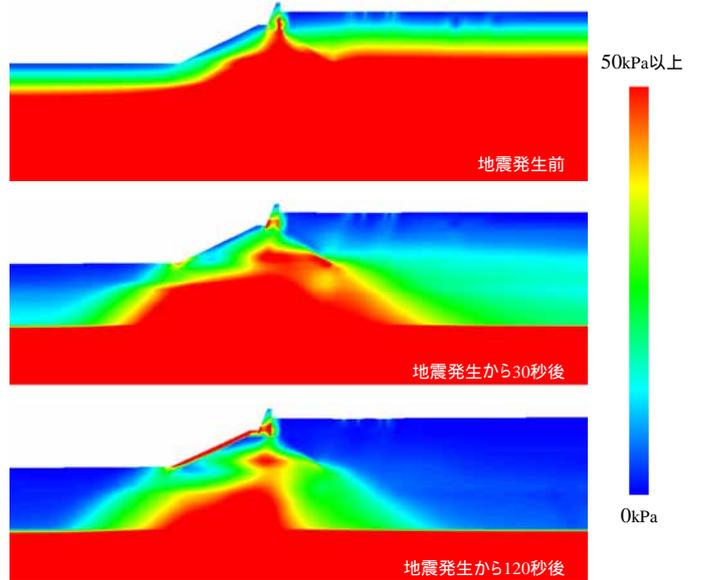


図-4  $p'$  の経時変化 (Case1)

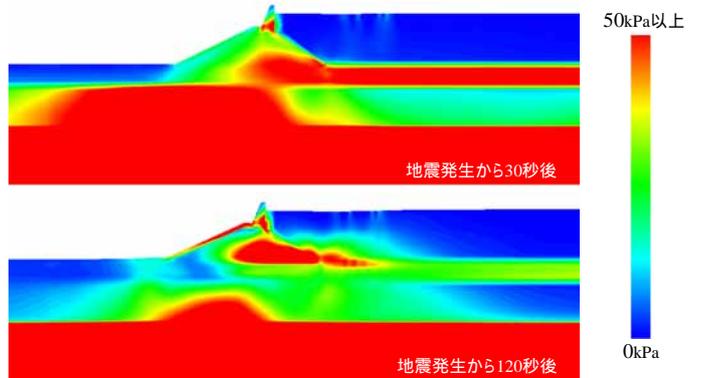


図-5  $p'$  の経時変化 (Case2)

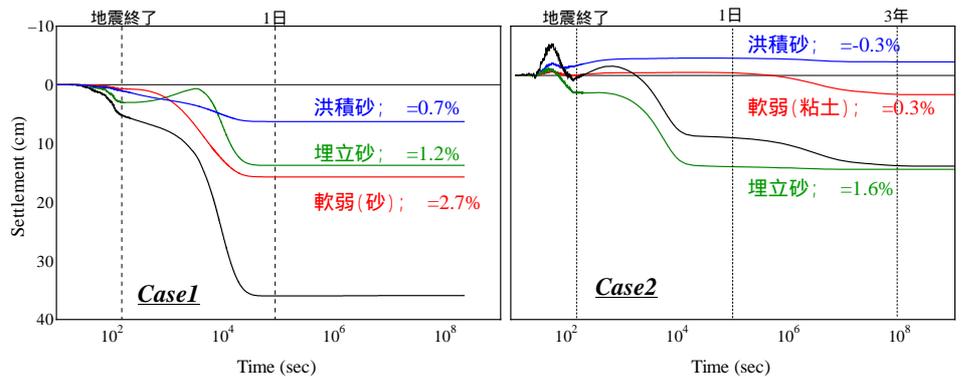


図-6 水平地盤上での層別沈下量

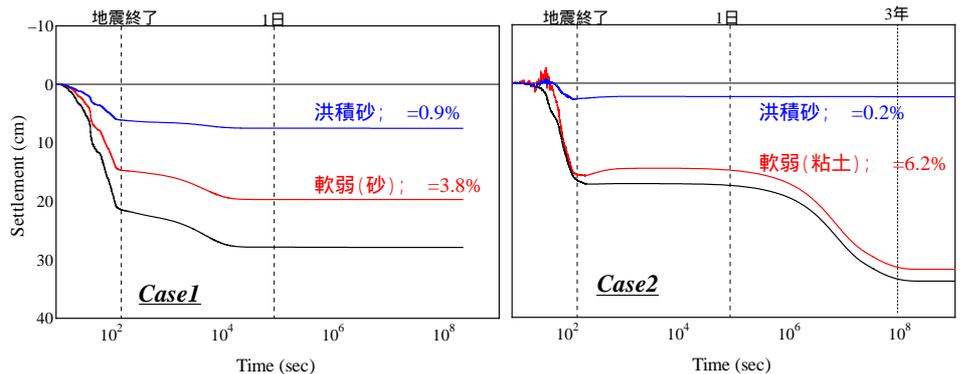


図-7 護岸直下での層別沈下量