

軟弱粘性土層を有する地盤に築造された岸壁構造物の地震応答解析

有効応力解析 軟弱地盤 有限要素法

(株)浅沼組 国際会員 ○高稲敏浩
名古屋大学 国際会員 野田利弘、山田正太郎
(財)地震予知総合振興会 国際会員 浅岡顕
新日鐵住金(株) 伊勢典央、正会員 関一優
(株)浅沼組 正会員 山下勝司

1. はじめに

図1に示すようなN値ゼロの軟弱層を持つ地盤上に設置された岸壁構造物について、地震時の安定性を水～土連成有限変形解析コード GEOASIA^{1),2)}を用いて、地震前～地震後の一連の変形挙動を検討した。入力した地震動は、L2地震動である。

2. 計算条件

計算に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を図2に示す。地盤は、図2に示すように5層からなる地盤で上層7mが緩い砂地盤(Tr-1,2層)で、その下に砂質粘土・粘土層(T-1層、1.3m)、細粒分質砂層(T-2,3層、3.0m)のN値ゼロの軟弱な層が存在している。また、岸壁背後に高さ15mの盛土が築造されていることも解析対象地盤の特徴である。解析に用いた材料定数および初期値は土質試験結果をSYSカムクレイモデル³⁾で再現することで決定した。代表的な材料定数を表1に示す。岸壁構造物のシートパイル、コンクリートは等価な剛性を持つ一相弾性体とし、タイロッド、杭については、設置間隔が9mピッチと広いため土の変形を拘束しないよう節点間の距離が不変となるような制約条件⁴⁾で表現した。地盤の初期状態は構造の程度、比体積は各層で均一として、土被り圧に応じて過圧密比を鉛直方向に分布させた。水理境界は、地表面は水位面と一致するように水圧ゼロとし、両側面はそれぞれの水位に応じた排水(静水圧)境界、下面は非排水境界とした。また、工学的基盤面にあたる地盤下端は、底面粘性境界($V_s=450\text{m/sec}$)を設定し、地盤両端要素において同じ高さにある節点に等変位条件を課した(「単純せん断境界」)。計算は、背面盛土を含む岸

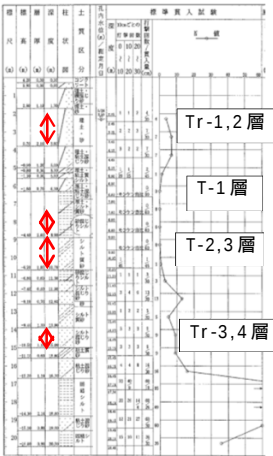
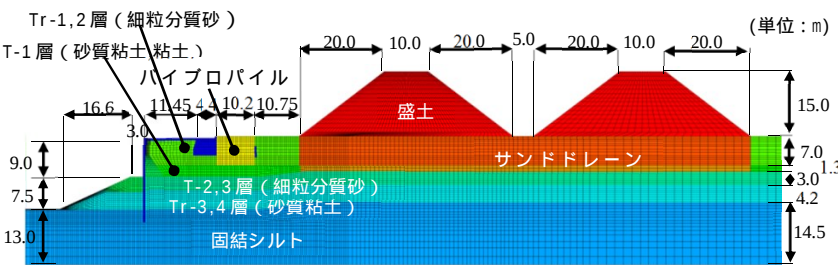
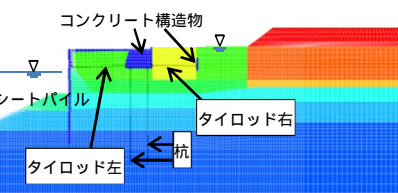


図1 柱状図

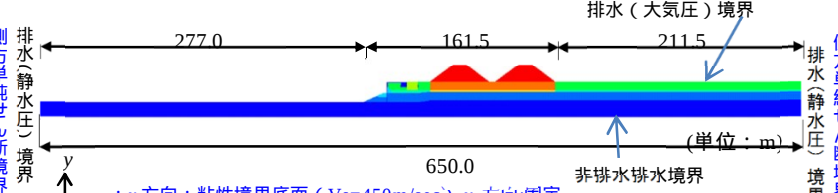
せた。水理境界は、地表面は水位面と一致するように水圧ゼロとし、両側面はそれぞれの水位に応じた排水(静水圧)境界、下面は非排水境界とした。また、工学的基盤面にあたる地盤下端は、底面粘性境界($V_s=450\text{m/sec}$)を設定し、地盤両端要素において同じ高さにある節点に等変位条件を課した(「単純せん断境界」)。計算は、背面盛土を含む岸



(a) 岸壁部拡大図



(b) 岸壁部詳細図



(c) 全体図

図2 解析に用いた有限要素メッシュおよび境界条件

表1 材料定数および初期値

層	弾塑性パラメーター					発展則パラメーター							初期値				土の密度 ρ_s (g/cm^3)	透水係数 k (cm/sec)
	圧縮指数 λ	膨潤指数 κ	境界状態 定数 M	NCL の切片 N	ポアソン 比 ν	構造低位化指数				正規圧密 土化指数 m	回転硬化 指数 b_r	回転硬化 限界定数 m_b	応力比 K_0	構造の 程度 $1/R_0^*$	異方性の 程度 K_β	比体積 v_0		
Tr-1,2	0.12	0.005	1.30	1.85	0.10	5.0	1.0	1.0	1.0	0.5	3.5	0.7	1.0	1.6	1.0	1.75	2.657	3.7×10^{-4}
T-1	0.13	0.015	1.40	1.97	0.10	0.1	1.0	1.0	0.2	0.1	0.001	1.0	1.0	25	1.0	2.38	2.666	1.8×10^{-7}
T-2,3	0.10	0.005	1.30	1.85	0.10	5.0	1.0	1.0	1.0	0.3	3.5	0.7	1.0	1.5	1.0	1.88	2.671	9.8×10^{-5}
Tr-3,4	0.20	0.007	1.80	1.75	0.10	0.1	1.0	1.0	0.1	0.8	0.001	1.0	1.0	12	1.0	1.97	2.680	9.8×10^{-5}

($N:p^*=98\text{kN/m}^2$ における繰返し土の等方正規圧密線上の比体積)

Seismic response analysis of a wharf constructed on ground with soft clay: Takaine, T., Yamashita, K. (Asanuma Corp.), Noda, T., Yamada, S. (Nagoya Univ.), Asaoka, A.(ADEP) and Ise, N., Seki, K.(Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.)

壁の築造過程を飽和二相系の弾塑性材料(密度は換算)として有限要素を追加することで再現し、圧密が終了するまで放置した。その後、地盤底面の全節点の x 軸方向に L2 地震(図 3)を入力して地震動を与えた後、さらに圧密が終了するまで解析を実施した。なお、シートパイルについては、全塑性応力を超えた時点でその部分の上側要素の弾性係数を $3.387 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ から $1.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ に低減する。

3. 解析結果

岸壁・盛土築造時は紙幅の都合上、省略し、地震入力時以降について述べる。シートパイルは、地震入力後 24.0 秒経過時に全塑性応力を超えたため $1.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ に低減した。図 4 に平均有効応力分布を示す。32 秒後には盛土下の拘束圧の高い部分で若干の有効応力は残っているものの、岸壁背面部分は概ねゼロとなっている。図 6 に示す砂質粘土・粘土層 (Tr-2,3 層)の要素 A(図 5 参照)の挙動をみると、20 秒を過ぎたころから大きく平均有効応力が減少し、構造が劣化し液状化した様子がうかがえる。

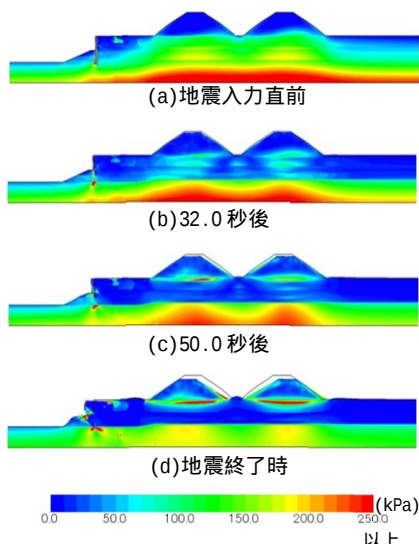


図 4 平均有効応力分布

図 7 に点 a～点 e(図 5 参照)における x 方向変位の時刻歴と図 8 に沈下量を示すが、20 秒～40 秒にかけての第 1 波で大きく変形が進んでおり、地震終了時には、岸壁頂部点 b で 5.35m、点 d において 7.22m、 $-x$ 方向に大きく変位した。沈下量は、岸壁頂部点 b で 0.41m、盛土直下の点 e では 1.97m の沈下となり、点 d では 0.44m 隆起となった。地震終了から 30000 秒経過後には、点 e では 2.1m となり過剰間隙水圧の消散とともに沈下が生じるが、地震中の沈下に比べるとその大きさは小さい。せん断ひずみ分布を図 9 に示す。軟弱な T-1 層、液状化した T-2,3 層の軟弱層部分で、まずせん断ひずみが大きくなり、さらには、パイプロ工背面と盛土との間の地盤でせん断ひずみが大きく、これらの箇所が岸壁構造物・地盤系の弱部となって、盛土が地盤を海側へ押し出すように側方変位が生じていることがわかる。

4. おわりに

N 値ゼロの砂質粘土・粘土層(T-1 層)、細粒分質砂層(T-2,3 層)の軟弱な層を持つ地盤上に設置された岸壁構造物について 2 次地震応答解析を実施した。本岸壁背面には、高さ 15m 盛土が築造されている。液状化した T-2,3 層および、T-1 層が構造物・地盤系の弱部となり、盛土法尻直下付近の T-1 層で徐々にせん断ひずみが大きくなり、岸壁を海側へ大きく押し出す地盤変状となった。地震時解析であっても粘性土の弾塑性体としての取扱いが大切である。

参考文献: 1) Asaoka and Noda: All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on..., Hong Kong, China, pp.11-27, 2007. 2) Noda et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis..., S&F, 48(6), 771-790, 2008. 3) Asaoka et al.: An elasto-plastic description of two distinct..., S&F, 42(5), pp.47-57, 2002. 4) Asaoka et al.: Displacement/Traction boundary, S&F, 38(4), pp.173-181, 1998.

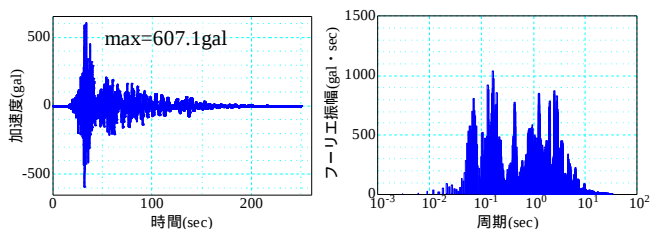


図 3 入力地震動

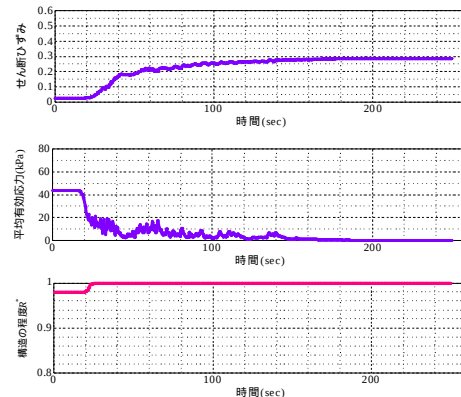


図 6 要素の挙動(要素 A)

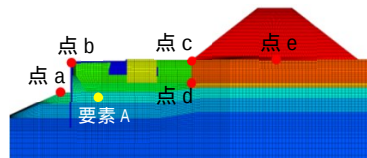


図 5 位置図

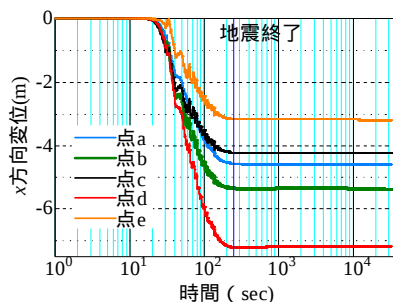


図 7 x 方向変位量時刻歴

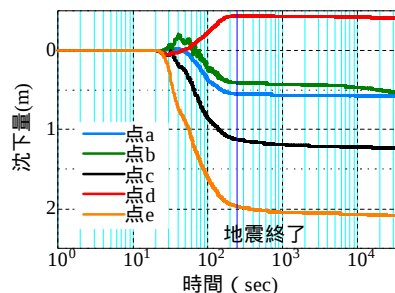


図 8 沈下量時刻歴

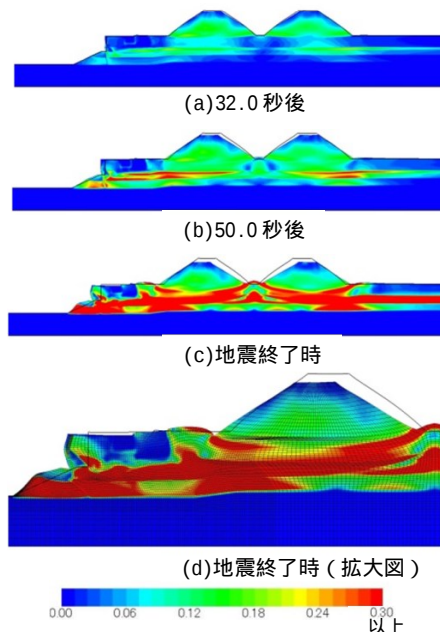


図 9 せん断ひずみ分布