

軟弱粘土層を有する地盤上に築造された岸壁の背後地盤の耐震改良効果の数値解析的検討

耐震地盤改良 有効応力解析 有限要素法

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

1. はじめに

著者らは別報¹⁾において、軟弱な粘性土層と砂質層の互層地盤上に築造された岸壁構造物のレベル2地震動に対する地震応答解析を実施した結果、当岸壁は海側に5.34m以上の水平変位が生じ、倒壊に至るような大変形の危険性があることを示した。一方で当岸壁背後には荷役設備が存在し非常に狭隘であるため、大規模な補強には操業休止などの措置が必要となってくる。そこで本報では荷役設備への操業影響が少ない耐震補強案を提案し、その効果を動的/静的水～土連成有限変形解析コードGEOASIA^{2),3)}を用いて解析した結果を述べる。

2. 補強方法の絞り込み

当岸壁が大変形が生じる主原因は、砂の液化化に加え、15m高の盛土の重量により盛土法尻直下の軟弱粘性土層のひずみが増大し、その変形が護岸矢板まで及ぶためである。よって、当岸壁の耐震強化策としては地盤改良が効果的であり、変形を抑制するためには護岸矢板背面のエプロン部直下の地盤を改良するのが望ましい。しかし、図-1に示すようにエプロン部には荷役のためのクレーンが存在し、当箇所へ地盤改良を実施する場合には荷役機能を停止せざるを得ないことから操業への影響が懸念される。そこで本稿では、改良箇所を操業に影響が少ないエプロン部と盛土部の間または盛土直下に絞ることとし、その効果を検証する。

3. 検討に用いる解析モデル

基本となる解析モデルは別報¹⁾と同一とし、(1)盛土法尻を改良したケース、(2)盛土直下を改良したケースの解析を実施し、その効果を検証する。地震波は図-2に示すレベル2地震動を用いる。

(1) 盛土法尻を改良したケース

盛土直下の地盤の大変形が護岸矢板まで及ぶのを防ぐため、盛土法尻とエプロン部の間に密度が高い砂を用い、壁状改良を実施したケースを想定している。

解析モデルの概略図を図-3に示し、改良に用いた密な砂のパラメータを表-1に示す。護岸矢板は別報¹⁾と同様に、降伏した場合は接線剛性を約1/100に低減させるようモデル化した。改良範囲は盛土法尻から海側に10.75mとし、改良深さは強固な支持層までの23mとする。

(2) 盛土直下を改良したケース

軟弱粘土層の大変形は盛土重量により生じることが判明していることから、地盤の剛性を上げるために盛土直下を密

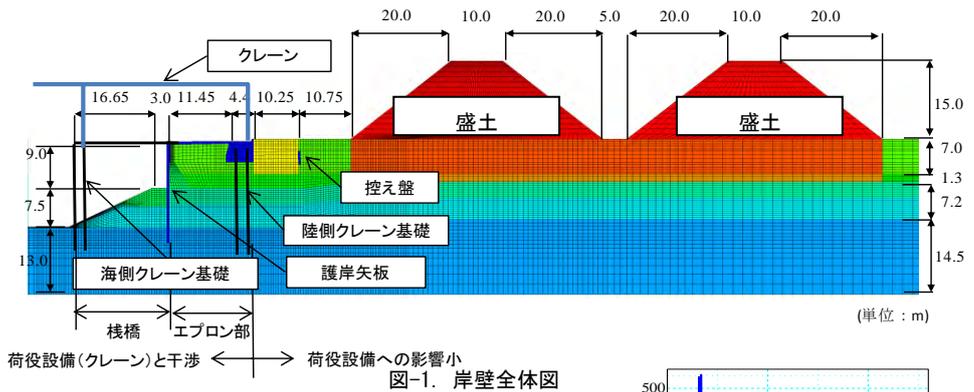


図-1. 岸壁全体図

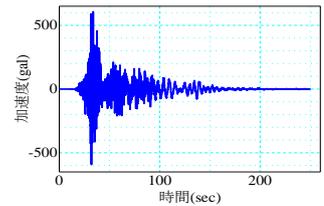


図-2. 入力地震動(基盤波)

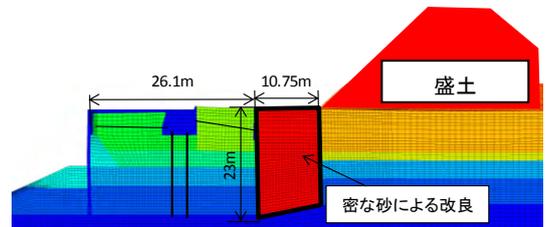


図3. 盛土法尻を改良した解析モデル

表-1. 密な砂の材料パラメータ

弾塑性パラメータ					発展則パラメータ							初期値			土の密度	透水係数	
圧縮指数	膨潤指数	限界状態定数	NCLの切片	ポアソン比	構造低位化指数				正規圧密土化指数	回転硬化指数	回転硬化限界定数	応力比	構造の程度	異方性の程度	比体積	ρ_s	k
λ	κ	M	N	ν	a	b	c	C_c	m	b_r	m_s	K_0	I/R_0^*	K_p	v_0	(ton/m^3)	(cm/sec)
0.050	0.012	1.00	1.98	0.30	2.2	1.0	1.0	1.0	0.1	3.500	0.7	0.6	1.3	0.6	1.78	2.650	1.0×10^{-3}

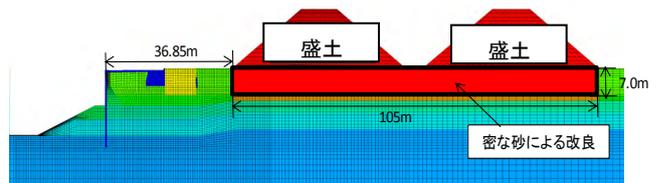


図-4. 盛土直下を密な砂で置換したケース

Numerical evaluation of anti-seismic effects of soil improvement in a quay on ground with soft clay layer: Seki, K., Ise, N.(Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.), Noda, T., Yamada, S. (Nagoya Univ.), Asaoka, A.(ADEP) and Takaine, T., Yamashita, K.(Asanuma Corp.)

な砂により改良を行う。なお本解析ケースでは、護岸の矢板を弾性体として扱い降伏しないこととした。解析モデルの概略図を図-4に示す。改良に用いる密な砂の材料パラメータは(1)盛土法尻を改良したケースにて用いた材料パラメータと同一とした。

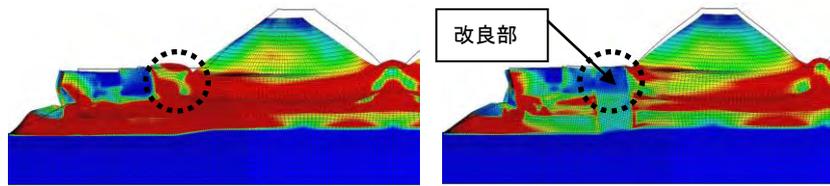
4. 解析結果

(1) 盛土法尻を改良したケース

図-6(a), (b)に地震終了後の変形形状とせん断ひずみ分布を未改良の結果と比較して示す。壁状の改良体が盛土法尻および盛土直下に生じる地盤変形のエプロン部への伝達を抑制している。また、せん断ひずみ分布より未改良の場合は盛土法尻付近の軟弱粘土には20%以上のひずみが発生しているが、改良を実施した場合は10%程度となり、大変形の主要原因となる盛土法尻直下の軟弱粘性土のひずみの増大を抑制することができている。図-5に地震終了後の矢板の曲げモーメント分布、図-6(c)に護岸矢板頂部の水平変位を示すが、改良を実施した場合においても未改良の場合と同様に矢板は降伏に至るものの水平変位は1.47mとなり、未改良の場合の水平変位量5.34mと比較すると7割程度変形を抑制することができている。

(2) 盛土直下を改良したケース

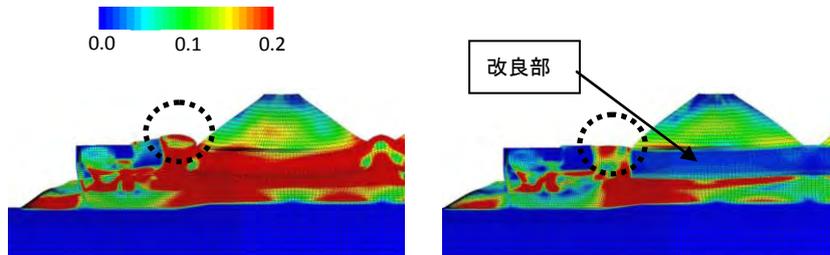
図-7(a), (b)に改良実施後の岸壁の変形形状とせん断ひずみ分布を示し、図-7(c)に護岸矢板の曲げモーメント分布を示す。盛土直下の地盤を密な砂で改良したことにより、盛土直下の地盤に生じるせん断ひずみの発生は抑制されている。しかし、改良部の下部および盛土とエプロン部の間にて20%を超えるせん断ひずみが発生する。また、矢板の降伏モーメントが1,020kNmであるのに対し、未改良の場合の最大曲げモーメントが8,550kNmで塑性率8.4であるが、改良を実施した場合においても最大曲げモーメントが6,000kNmで塑性率5.9となり、(1)のケースほどの大きな補強効果は確認できなかった。



(a) せん断ひずみ分布 (未改良)

(b) せん断ひずみ分布 (改良実施)

図-6. 解析結果 盛土法尻を改良したケース



(a) せん断ひずみ分布 (未改良)

(b) せん断ひずみ分布 (改良実施)

図-7. 解析結果 盛土直下を改良したケース

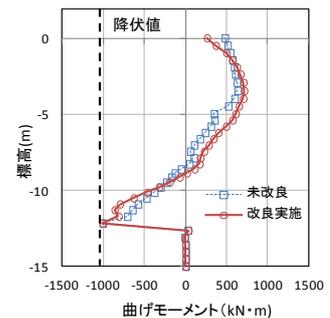
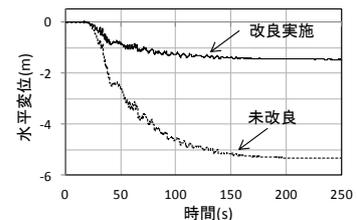
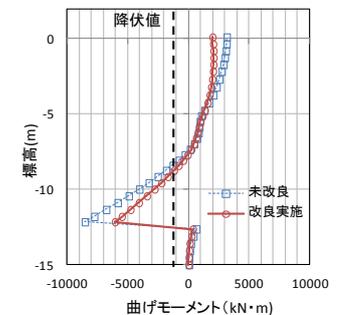


図-5. 矢板曲げモーメント分布



(c) 矢板頂部の水平変位



(c) 矢板曲げモーメント分布

5. おわりに

軟弱粘性土と砂の互層地盤上に築造された岸壁に対してクレーン等の荷役設備を有する岸壁を対象に操業影響が少ないと考えられる耐震改良方法として、本解析では、未改良地盤の地震応答解析結果を踏まえて、密な砂により(1)盛土法尻を密な砂に改良したケースと(2)盛土直下を改良したケースを想定した。解析の結果、(1)のケースでは7割程度変形を抑制できることが判明したが、(2)のケースでは矢板の塑性率は3割程度しか低下せず、大きな補強効果は確認できないことが明らかになった。

今後は詳細な現地制約や施工性なども加味した上で、改良部の剛性および範囲を変化させたパラメトリックスタディなどを行っていく予定である。

6. 参考文献

- 1)高稲ら 軟弱粘性土を有する地盤上に築造された岸壁構造物の地震応答解析, 第46回地盤工学会研究発表会, 2013.
- 2) Asaoka and Noda: All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on Constitutive Modeling..., Hong Kong, China, pp.11-27, 2007.
- 3) Noda et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model..., S&F, 48(6), 771-790, 2008.