

Ⅲ-A162 液状化時の矢板の非線形挙動を考慮した護岸構造物の動的解析

岐阜大学大学院 学 山本哲也 岐阜大学工学部 正 八嶋 厚
理研EDM研究センター 正 渦岡良介 C R C 総研 正 稲本昌也

1. はじめに

本報文においては、1983年日本海中部地震の際に被災した秋田港大浜第2埠頭護岸の液状化解析結果を紹介する。すでに井合らによって詳細な解析結果が紹介されているが¹⁾、今回は特に主要護岸構造物である矢板の非線形性を考慮した解析を実施した。線形梁と非線形梁でモデル化された矢板の挙動について、背面埋立土の液状化過程との関連に注目して考察した。その結果、矢板は実被害とほぼ同じ位置で降伏した、背面埋立土がほぼ全厚に渡って液状化に至った後に矢板が降伏した、等が明らかとなった。なお、実際の被害として、矢板は地表（標高 2.0m）と海底地盤（標高 -10.2m）の中間付近でクラックを生じて降伏した。

2. 解析手法

解析では図-1に示すように地盤と構造物をモデル化している。メッシュサイズは横幅3200m、標高-10.2mから-9.0mまでの海底地盤に高さ12.2mの盛土層を考えている。メッシュは503要素、519節点で構成している。盛土と海域との間には矢板を設けており、梁要素としている。また護岸から20m離れた地点には控え杭が設けられており梁要素でモデル化されている。さらにこれらの間にはTie Rodが設けられており、これもビーム要素としている。矢板と控え杭と土要素の間にはジョイント要素を設けている。

解析に使用した材料定数を表-1に示す。地盤の初期せん断弾性定数はPS検層より得られたせん断波速度より設定した。内部摩擦角は三軸試験結果より求めた。埋土層の液状化強度は、密度再調整試験を用いた液状化試験より決定した。埋土層以外の砂質土層はN値が20以上であり、非液状化層とした。

地盤の初期応力状態は、弾完全塑性モデルを用いた逐次自重解析より求めた。自重解析における土の内部摩擦角は動的解析時のそれと同じ値を用いた。梁要素と土要素の間のジョイント要素は、常にすべるという条件で初期応力解析を行った。境界条件として、両端の要素にある2列の節点を水平方向と鉛直方向に等変位境界としている。また排水境界を海底面と標高0.0mに設定している。秋田港で観測された日本海中部地震の加速度時刻歴を等価線形手法で標高-23.0mに戻し、護岸法線方向の上昇波成分を求めている²⁾。メッシュ底面には粘性境界を配し、求めた加速度時刻歴を入力地震動として用いている。入力地震動の時刻歴を図-2に示す。解析ケースとして、護岸矢板を線形梁としてモデル化したケース1、および矢板の曲げ降伏応力を 300 MN/m^2 として非線形梁としてモデル化したケース2の2つについて検討した。梁要素を降伏した後は、剛性を1/100に低下させた。

3. 解析結果と考察

まず、矢板の非線形性を考慮したケース2の解析結果について紹介する。図-1に示した節点A~Dの加速度時刻歴を図-3に示す。海底地盤の砂層は液状化しないことから、節点Aの加速度はほとんど減衰していないことがわかる。矢板直上および控え杭直上の節点B,Cについてもさほど減衰しておらず、矢板および杭の存在によってスパイク状の大きな加速度が時折発生している。一方、埋土層直上の節点Dでは、液状化の影響によって加速度は大きく減衰していることが分かる。埋土層の液状化の様子を、相対有効応力比 $(1 - \sigma'_m / \sigma'_{m0})$ ：初期時に0で液状化すると1となる指標の分布として図-4に与えている。この図は、護岸矢板背面要素について出力されている。強震動5秒後に、標高-6mまでの埋土層が液状化に至っており、さらに10秒後には海面下埋土層全体が液状化に至っていることが理解できる。

矢板の曲げ応力分布の変化について図-5に示す。埋土層の標高-6mまでが液状化に至る5秒後までに、根入部の部分で曲げ応力が降伏応力に近づいていることがわかる。その後、埋土層全体が液状化に至ると、矢板突出部のほぼ中央（標高-5m付近）で矢板が降伏に至る。この位置は実際の降伏箇所と一致している。一方、矢板を線形梁としてモデル化したケース1については、その発生応力の最大値をプロットしてみると図-6のようである。図にはケース2についてもやはり最大曲げ応力をプロットしている。この図から分かるように、矢板を線形梁でモデル化した場合には、根入部で過大な曲げ応力が発生し、矢板突出部では応力が降伏値に達していないことがわかる。この違いを護岸の地震終了時の変位分布として検討する。それぞれの解析ケースについて護岸部のみの最終変位分布を図-7に示す。矢板を線形的にモデル化したケース1においては、護岸の変位は海側に下部より線形的に増加するのみである。一方、矢板の非線形性を考慮した場合には、突出部中央部での降伏のため、その位置で折れ曲がった変位分布を示している。この分布はまさに実被害において見られた変形形態である。

キーワード：液状化、有効応力、有限要素解析、非線形梁、矢板、護岸

〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部 土木工学科 電話&FAX:058-293-2419

4. おわりに

1983年日本海中部地震の際に被災した秋田港大浜第2埠頭護岸の液状化解析を実施した。護岸矢板の非線形性を考慮することによって、矢板の降伏位置および矢板の変形状がある程度再現できた。また、矢板の降伏は、背面埋立土の液状化過程に密接に関連していることがわかった。

参考文献: 1) Iai, S. and Kameoka, T., S&F, 33-1, pp.71-91, 1993. 2) 野津 厚ら, 港研資料 NO.0893, 1997.

表-1 解析に用いたパラメータ

地盤定数									
土層	材料番号	各材料下層厚高 (m)	圧縮係数 λ	膨張係数 ν	ポアソン比 ν	透水係数 k (m/sec)	密度 γ (t/m ³)	摩擦角 ϕ (°)	粘聚力 c (kN/m ²)
埋立土	1	0.33	0.025	0.0025	-0.0922	—	1.8	0.9	1.23
埋立土	2	-9.0	0.025	0.0025	0.1091	2.2×10^{-4}	2.0	0.9	1.23
砂層	3	-16.0	0.025	0.0025	-0.1090	1.7×10^{-4}	2.0	0.9	1.37
粘土層	4	-20.5	0.5	0.05	-0.7011	3.8×10^{-7}	1.7	1.30	1.30
砂層	5	-23.0	0.025	0.0025	-0.2910	1.7×10^{-4}	2.0	0.9	1.48

矢板および控え杭(梁要素)									
材料番号	ヤング係数 (kN/m ²)	断面面積 (m ²)	密度 (t/m ³)	断面2次モーメント (m ⁴)	第1降伏モーメント (kN+m)	第2降伏モーメント (kN+m)	降伏後の塑性低下係数	引張降伏強度 (kN/m ²)	引張降伏後の塑性低下係数
5	2.1×10^4	0.0306	7.5	0.00088	35.4	100000.0	0.01	1	1000000
7	2.1×10^4	0.0058	7.5	0.00038	190000.0	100000.0	1	1	1000000
8	2.1×10^4	0.0058	7.5	0.00038	100000.0	100000.0	1	1	1000000
9	2.1×10^4	0.0016	7.5	0	100000.0	100000.0	1	1	1000000

Tie Rod(梁要素)									
材料番号	ヤング係数 (kN/m ²)	断面2次モーメント (m ⁴)	第1降伏モーメント (kN+m)	第2降伏モーメント (kN+m)	降伏後の塑性低下係数	引張降伏強度 (kN/m ²)	引張降伏後の塑性低下係数	引張降伏強度 (kN/m ²)	引張降伏後の塑性低下係数
10	2.5×10^4	0.0833	100000.0	100000.0	1	1	1000000	1	1

ジョイント要素				
材料番号	せん断剛性 (kN/m ²)	重量 (kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	tan ϕ の内摩擦角 (度)
11-12	1	1.0×10^4	0.0	0.824

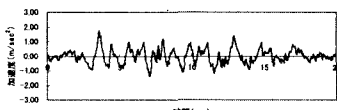


図-2 入力加速度時刻歴

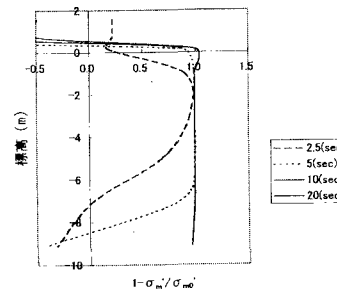


図-4 相対有効応力比の深度分布(ケース2)

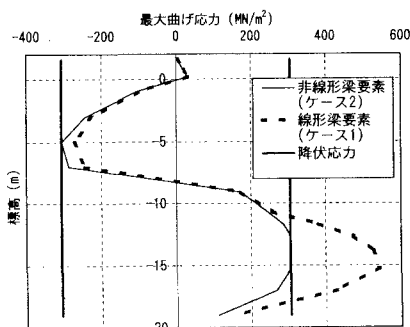


図-6 最大曲げ応力分布

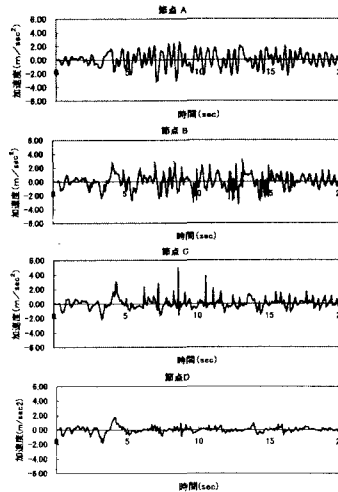


図-3 加速度時刻歴(ケース2)

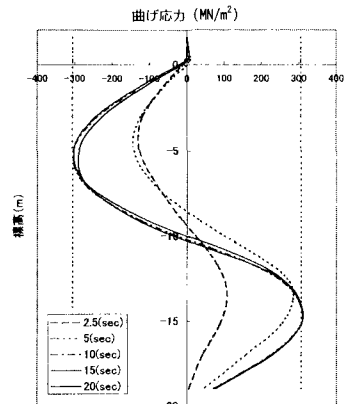


図-5 曲げ応力の深度分布(ケース2)

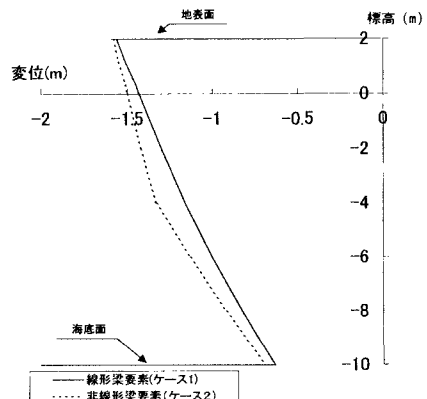


図-7 矢板の最終変位分布