FLIP 解析による透水を考慮した矢板式岸壁の耐震性評価

地震応答解析 液状化 透水

新日本製鐵(株) 正会員 ○森安 俊介 ダイヤコンサルタント(株) 正会員 森島 直樹 京都大学防災研究所 正会員 井合 進,明窓社(株) 正会員 小堤 治 (財)沿岸技術研究センター 非会員 関谷 千尋

1. はじめに

地震動の継続時間は十数秒~数分で,地盤の過剰間隙水圧の消散時間に比べて極めて短いことから,近似的に非排水条件が成立つとの考えに基づき,有効応力解析プログラム FLIP は非排水条件を前提に理論構築されていた.しかしながら,グラベルドレーンや排水機能付き鋼材など人工的に透水性を高めた地盤の解析や,護岸構造物の背面地盤や盛土などで生じる地震後の間隙水の消散に伴う沈下現象の解析ができず,排水条件を考慮できる解析機能が実務的に要求されるようになった.このような背景から,現行の FLIP に透水解析機能が実装され,井合ら¹⁾²により考案された新しい構成則(カクテルグラスモデル)に基づく要素が導入された.これにより,加振中の間隙水の移動や液状化に伴う体積収縮,地震後の間隙水の消散に伴う沈下予測など排水条件を考慮した地震応答解析が可能となった.そこで,本検討では,カクテルグラスモデルによる FLIP 解析の妥当性を検証するため,1983 年日本海中部地震における秋田港大浜 2 号岸壁の被災(図-1)の事例解析を実施した.

2. 検討内容

1983年日本海中部地震における秋田港大浜2号岸壁の被災状況は,背後地盤が液状化し,矢板頭部で最大約2mの水平変位,最大1.5mの鉛直変位が発生,鋼矢板が湾曲し水面下6m付近で広範囲にわたりクラックや折損が発生したというものであった³⁾.本検討では,この被災状況を指標とした.地盤の動的変形特性に関する解析定数を表-1に,液状化特性に関する解析定数を表-2に示す.液状化特性は,図-2のように原位置試験結果など⁴⁾の液状化強度にフィッティングさせるように設定し,このパラメータにおけるせん断歪-収縮歪関係は図-3となる.初期自重解析では施工過程を考慮した三段階の多段階解析を実施し,第一段階で原地盤の圧密,第二段階でタイロッドを拘束した状態で地表面までの埋土の圧密,第三段階ではタイロッドの反力を解放し,常時の応力場を再現している⁵⁾.なお,地震応答解析の入力地震動には地表面付近での観測波形を工学的基盤における2E波に引き戻し,護岸法線直角方向に方位変換した波を用いた.地震継続時間は80秒,地震後の過剰間隙水圧の消散過程は800秒間で解析をおこなった.





表-2	地盤定数	(液状/	化特性)	ļ
~ ~		VII/2/1/ V		

	Layer1	Layer2	Layer4
εdcm	0.1	0.1	0.1
rεdc	12.0	1.5	0.7
rε _d	0.1	0.1	0.2
q_I	1.0	1.0	0.5
q_2	3.4	2.5	0.5
r _o	0.1	0.1	0.1
r_k	0.5	0.5	0.5
γ _{co}	2.20×10^{-4}	6. 20×10^{-4}	2.22×10^{-4}

	Layer1	Layer2	Layer3	Layer4		
密度 ρ(g/cm ³)	2.0	2.0	1.5	2.0		
基準拘束圧σma'(kPa)	50	110	140	157		
せん断剛性 Gma(kPa)	33800	72200	74970	168200		
体積弾性係数 KLa, KUa(kPa)	89930	192100	199470	447530		
内部摩擦角 ϕ f (deg)	37	41	39	44		
逶水係数(cm/s)	2. 20×10^{-2}	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-3}		

表-1 地盤定数(動的変形特性)



The seismic assessment of a sheet-pile-type pier based on FLIP(Finite element analysis program for Liquefaction Process) analysis considering seepage percolation S.Moriyasu(Nippon Steel CO.,Ltd)

S.Iai(Kyoto University),O.Ozutsumi(Meisosha CO.,Ltd) C.Sekiya(Coastal Development Institute of Technology)

N.Morishima(DIA consultants CO.,Ltd)

3. 解析結果

護岸前面の矢板背後地盤の水平変位時刻歴を図-4 に, 鉛直変位時刻歴を図-5 に示す. 地震終了時点(経過時間 80 秒) にて水平変位量 0.98m, 鉛直変位量 0.64m であり, その後, 一時的に一定を保つが, 経過時間 250 秒付近から再び変形が進 行している. 実被害と比較し, 水平変位量はやや過小に, 鉛直変位量は過大に変形が生じる結果となった. なお護岸全体の変 形は図-6 に示す通り, 矢板が前出しし, 背面土が沈下する結果となった. つぎに, 地震終了時点の過剰間隙水圧比分布を図 -7 に示す. 海底面下と陸側上部では過剰間隙水圧比に違いがみられるが, これは透水係数の違いに起因すると考えられる. また, 図-6 に示す 2 点の過剰間隙水圧比時刻歴を図-8 に示す. 陸側矢板背面(地点 A)での過剰間隙水圧は地震後の早い 段階で消散している. 一方, 海底面下の矢板前面(地点 B)では, 加振開始後, 一時的に過剰間隙水圧比が上昇するが, 矢板 の倒れ込みにより, せん断応力が作用し有効応力が回復する結果, 負圧に転じていると考えられる. 地震終了後, 周囲の地盤 との水圧差により間隙水が流入し, 過剰間隙水圧比が再び上昇していると推察される. 経過時間 300 秒付近で, 地点 B の過剰 間隙水圧の消散に応じて沈下量が増加しており, 過剰間隙水圧の消散に伴う沈下が進行していると考えられる. また, 矢板曲 げモーメントを図-9 に示す. 標高-6m 付近での最大値が全塑性モーメントを超えており, 実被害と良い整合を示している.

4. まとめ

本検討では、1983年日本海中部地震における秋田港大浜2号岸壁の被災を事例に、カクテルグラスモデルによる FLIP 解析の妥当性の検証を行った.その結果、排水条件を考慮することで地震後の間隙水の消散に伴う地盤変形を予測可能になったが、変形量については実被害とのかい離が見られた.これは図-3に示す最大せん断歪-収縮歪関係のような地盤のひずみ特性の影響と考えられ、今後、特にひずみ特性に関するパラメータについて検討する必要がある.また、鋼材の損傷状況については、精度良く再現することが出来たといえる.

謝辞

本報告は, FLIP の改良と高度利用法の研究を促進する目的で設立された FLIP 研究会(事務局:(財)沿岸技術研究センター)の活動の一環として実施された研究の成果をとりまとめたものであり,関係諸氏のご尽力に感謝の意を表する.

参考文献

1) 井合進・飛田哲男・小堤治:砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンシー関係, 京大防災研年報, 2008 2) 井合進・飛田哲男・小堤治:ひずみ空間多重せん断モデル(カクテルグラスモデル系)による 粒状体の誘導ファブリックの表現, 第45回地盤工学研究発表会講演集, 2010.(投稿中) 3) 土田肇・野田節男・稲富隆昌 他:1983年日本海中部地震港湾被害報告, 港湾技研資料, No.511,1985. 4) Iai, S., Kameoka, T.: Finite element analysis of earthquake induced damage to anchored sheet pile quay walls, Soils and Foundations, Vol.33, No.1, pp71-91, 1993. 5) 岡由剛他: 鋼矢板岸壁の被災事例による有効応力解析における初期応力状態のモデル化手法の検証, 第26回地震工学研究発表会講 演論文集, pp.813-816, 2001.08

