

径厚比を考慮した鋼管部材の M-φモデルを用いた耐震性能評価事例

日本工営株式会社 正会員 ○森 篤史 横山 伸幸 佐藤 誠一
 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 正会員 伊藤 春樹

1. はじめに

逼迫する東南海・南海地震等による被害の軽減対策が急がれる高知港においては、地震・津波に対する防護対策が進められている。筆者らは、湾内の海岸保全施設を対象に発生頻度の高い津波に対して津波の侵入を防ぐとともに、最大クラスの津波に対しては粘り強く減災効果を発揮可能な護岸の補強対策を検討し、その過程では、鋼管部材を用いた柵式護岸が対策断面案として抽出され、当該箇所の地盤条件、外力条件等を踏まえると径厚比の大きな鋼管部材の採用や高軸力の作用が想定された。そのため、大矢らが径厚比や高軸力条件下での鋼管部材に関する種々の検討を実施し提案された径厚比を考慮した鋼管部材の M-φモデル（以降提案法）、限界曲率による耐震性能評価方法¹⁾を適用した解析検討を行い、本報告ではその成果を紹介する。

2. 検討方法・前提条件

検討対象は昭和 40 年代に完成した自立式矢板護岸であり、軟弱な低塑性シルトや粘土層が 30m 程度堆積する（図-1）。現況断面の照査結果から発生頻度の高い津波に対して、地殻変動による初期地盤変動量と地震後沈下量を合算すると現況の護岸天端高さでは津波の越流が想定され、護岸の補強対策検討が必要となった。

現地条件を踏まえて抽出された複数の対策断面案の中から選定された柵式断面について、永続、変動（L1地震）、偶発（L2地震）状態の安定性の照査を経て決定された対策断面案を図-1に示す。なお、以降に示す解析条件や地震応答解析結果は対策断面案の選定ケースとなった発生頻度の高い津波に先行して起こる東南海・南海地震（L2地震）によるものとする。また、本報告における東南海・南海地震に対する主な性能規定値は、地震後の施設天端高が津波高よりも低くならないこと、施設を構成する杭の中に限界曲率に達している杭が1本につき2箇所以上存在しないこと（図-2）としている。

3. 解析定数

津波に先行する地震に対する応答解析は有限要素法による動的有効応力解析プログラム FLIP²⁾Ver. 740 を用いて実施した。工学的基盤面の地震動を図-3に、主な地層の地盤パラメータを図-1中に示す。地盤パラメータはPS 検層や室内試験結果より設定した。

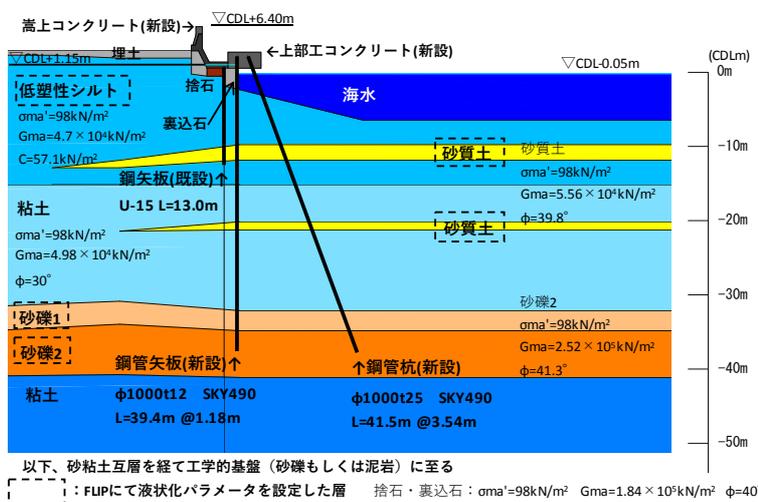


図-1 対策断面案概念図

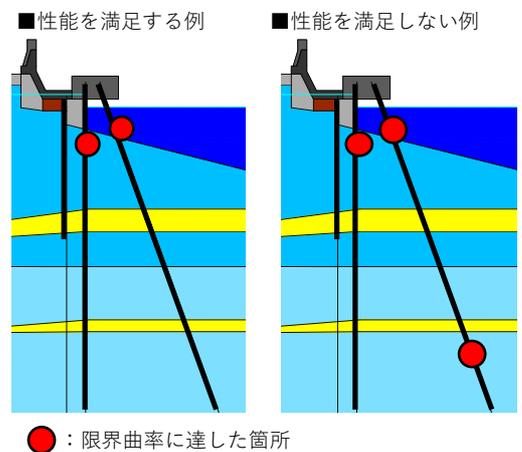


図-2 鋼管部材の性能規定値評価例

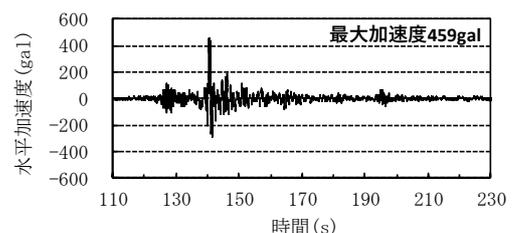


図-3 設計地震動（東南海・南海）

キーワード 柵式護岸、液状化、地震応答解析、限界曲率、津波対策、レベル2地震動

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区九段北 1-14-6 3F 地盤技術部 TEL 03-3238-8355 FAX 03-3238-8320

鋼管部材は提案法の栈橋式に準じたバイリニア型モデルとした。腐食環境毎に設定した解析定数を表-1に示す。

4. 解析結果

残留変形図を図-4に示す。棚式により変形が抑制され、地震後の施設天端高は所要の高さを満足した。鋼管部材の限界曲率比 (ϕ : 発生曲率 / ϕ_u : 限界曲率) の標高分布を図-5に示す。図中に示した鋼管矢板、鋼管杭規格にて、限界曲率比 ≥ 1 となる箇所が双方1箇所ずつの発生に留まり性能規定値を満足している。また、鋼管杭の肉厚を減少させると2箇所目の限界曲率比 ≥ 1 となる箇所が発生することを確認した。

5. 従来方法との比較解析

従来の港湾・海岸施設設計にて用いられている全塑性モーメントで折れ点となるバイリニア型 M- ϕ モデル (以降従来法) を使用し、その他の条件は前述のモデルとした地震応答解析を実施し提案法との比較を行った。図-6に同一要素の M- ϕ 曲線を従来法と提案法とを重ねて示す。出力要素は図-5に示す出力要素 A、B とし、提案法では要素 A にて限界曲率を超過し、要素 B では非線形域に至るが限界曲率は超過しない結果である。従来法では要素 A・B ともに全塑性モーメントに達している。

従来法の性能規定値を耐震強化施設 (特定(緊急物資輸送対応)) を準用し、全塑性に達する箇所が1本につき2箇所以上存在しないとした場合には、本報告で選定した鋼管部材の規格では性能を満足せず、さらに高規格の組合せを検討する必要が生じる結果となった。

6. まとめ

新たに提案された鋼管部材の M- ϕ モデルと耐震性能評価指標 (限界曲率) を用いて護岸の補強検討を行った結果、本報告の条件では従来の方法による検討と比較し規格の低減が可能となることが確認できた。

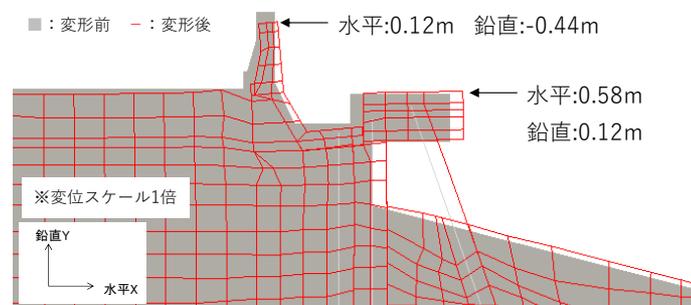


図-4 残留変形図

参考文献

- 1) 大矢陽介, 塩崎禎郎, 小濱英司, 川端雄一郎: 耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案, 港湾空港技術研究所 報告第56巻第2号(2017.6)
- 2) Iai, Matsunaga, Kameoka: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992

表-1 鋼管部材の解析定数

設定項目	鋼管矢板 防食部	鋼管矢板 土中部	鋼管杭 防食部	鋼管杭 土中部
外径 D(mm)腐食前	1000	1000	1000	1000
板厚 t(mm)腐食前	12	12	25	25
腐食(mm)	0	1.5	0	1.5
径厚比 D/t	83.3	95.2	40	42.4
降伏応力 σ_{yc} (N/mm^2)※1	291	289	313	311
全塑性モーメント $M_{p0}(kN\cdot m)$	2892	2500	2104	1957
有効部材長 L ※2	8.5	8.5	10.5	10.5
細長比 L/r	24.3	24.4	30.5	30.5
軸力依存係数 n	1.23	1.15	1.4	1.21
塑性率 μ	2.87	1.61	4.64	4.92
保持条件 ※3	円形保持	円形非保持	円形保持	円形非保持
降伏強度の低減係数	0.925	0.917	0.995	0.987

※1: 低減後 ※2: 上部工下端から-仮想地表面-1/β(m)
※3: 海面を保持条件の設定境界とした。

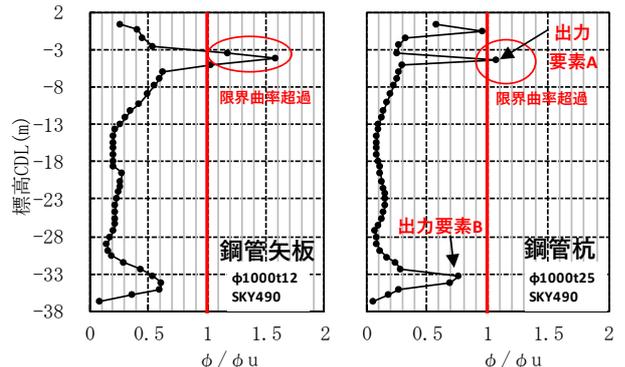


図-5 鋼管部材の限界曲率比

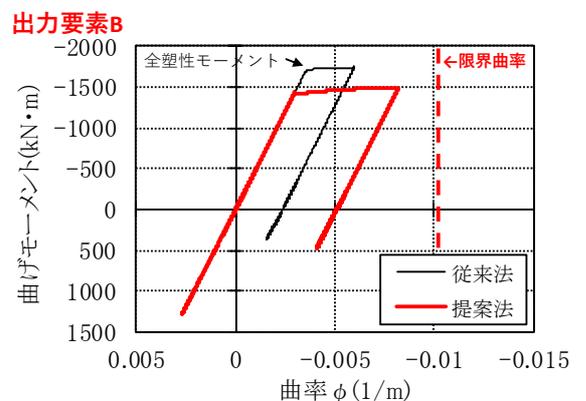
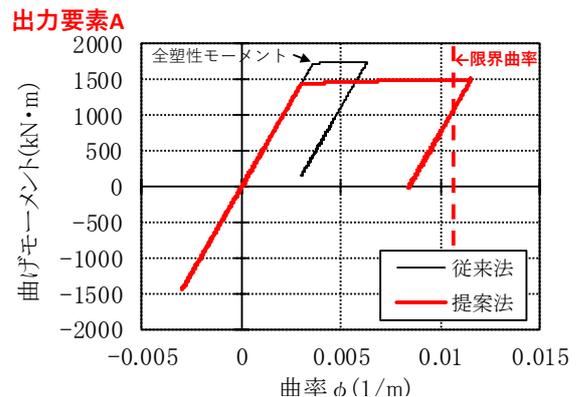


図-6 M- ϕ 曲線の比較 (上: 要素 A 下: 要素 B)