

◇技術紹介 Technical Report

2 段タイ材地下施工法 “Dual-Anchored Sheet Pile Wall Method” ~Method for Increasing Front Water Depth and Seismic Resistance of Existing Quay~

樋口 俊一 Shunichi Higuchi

1. はじめに

近年、船舶の大型化による岸壁の大水深化や地震被災後における物流機能確保を目的とした岸壁機能の補強等が要請されている。また、高度経済成長期に整備された民間岸壁の多くが耐用年数を迎え、老朽化が顕著になってきている。しかしながら既設岸壁は、物流・生産活動と密接に結びついており、長期に亘って岸壁を休止できない場合が多い。そこで岸壁の供用を阻害することなく、経済的に改良・補強できる新工法「2 段タイ材地下施工法」を官民共同で開発し、実用化した。^{1)・2)}

控え工増設による既存矢板壁の補強工法については、既往の実験により基礎的な有効性は確認されていたが、地震時の挙動や耐震補強効果についての実証的な検討が十分とは言えないのが現状であった。

本報告は、新工法「2 段タイ材地下施工法」を実プロジェクトへ適用する際に実施した、各種技術検討について紹介する。

2. 2 段タイ材地下施工法の概要

「2 段タイ材地下施工法」(以下、2 段タイ工法とする)は、岸壁を供用しながら、既設岸壁の増深・耐震強化などの機能増を可能にする既設岸壁補強工法であり、かつ、従来工法に比べて大幅なコストダウンを可能にする。Fig.1 に示すとおり既設岸壁のエプロン背後から、矢板壁に向けて高性能小口径推進機を用いて斜め下方に削孔した後、増設タイ材を設置して矢板壁の水中部に新たなタイ取り付け点を設け、矢板壁に生ずる曲げモーメントや既設タイ材に発生する張力が低減するものである。

2 段にタイ材を設けた岸壁は昭和 40 年頃からその有効性が指摘され、港湾空港技術研究所等で研究が行われていたが、特に施工機械の削孔精度に関する課題が多く、実用化に至らなかった。近年、小口径推進機の性能が向上したことから、当社は多少の改善・改良を加えれば高精度でかつ斜め下方削孔が可能と判断し、実証試験を行って削孔精度を確認し、本施工法を実用化した。

既設岸壁構造物を再利用しつつ経済的に増深・耐震強化等の機能向上が図れる本工法は、社会的に関心の高まっている既存ストックの有効活用や BCP(事業継続計画)に合致するものである。

3. 性能確認実験

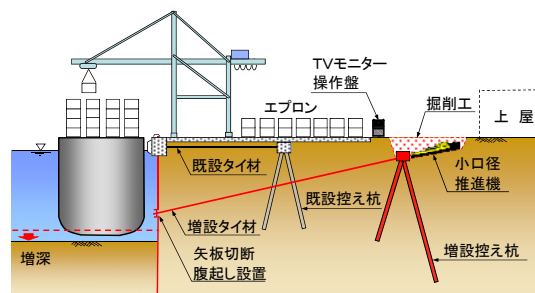


Fig.1 2 段タイ材地下施工法の概念図
Conceptual Drawing of the Dual Anchored Sheet Pile Wall Method

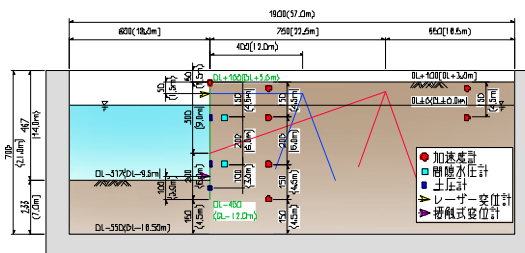


Fig.2 遠心模型実験モデル断面図
Centrifuge Model (Cross Section)

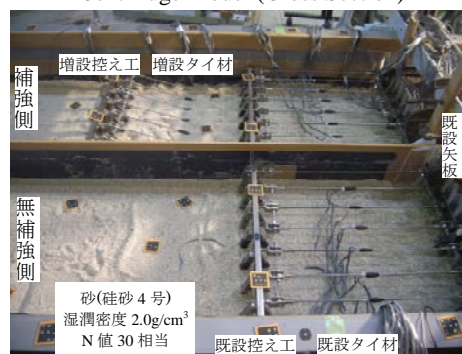


Photo 1 製作中の実験模型(控え工部)
Centrifuge Model during Preparation

3.1 実験概要

地震時の挙動や耐震補強効果を実証するために、遠心模型実験手法による性能確認実験を実施した。実験では本工法による補強岸壁と無補強の既存岸壁を並列で作製し、同時に加振した結果を比較することで本工法の耐震効果と増深対策効果を確認した。実験対象とした控え式矢板岸壁の模型概要をFig.2 およびPhoto 1に示す。

本実験は、遠心重力30Gとして模型の縮尺を1/30とした。実験は、増深時および地震時4ケース(加速度振幅100, 2

00, 300および600cm/s²)の全5ケースを行った。

3.2 実験結果

増深時および代表的な地震時ケース(加速度600 cm/s²: レベル2地震時相当)での、補強の有無による矢板の発生曲げモーメント分布比較図をFig.3に示す。何れのケースにおいても補強側曲げモーメントは増設タイロープ設置位置(DL-6.0m)付近で大きく低減されている。これは、増設控え工の構造を組杭形式にしたことにより、鋼矢板の変位拘束効果が発揮されていること、増設タイロープを無補強常時の発生曲げモーメント分布の最大値付近に取り付けることにより、効果的に曲げモーメントの発生を抑えられることがわかった。また、増設タイロープ設置位置から離れた位置においても、全体的に発生曲げモーメントの低減効果が十分発揮されていることがこの曲げモーメント分布比較図から分かる。矢板の発生曲げモーメント最大値を比較すると、本工法により補強した場合5~6割程度に低減される。増深時及び地震時の矢板水平変位量(既設タイロッド取付点と海底面の2点)をFig.4に示す。既設タイロッド取り付け点変位、海底面変位とも全体の変位量が補強側において小さくなっており、矢板壁の変位量の抑制に対して補強効果が発揮されていることがわかった。

4. 耐震設計照査手法の検討

4.1 検討の概要

港湾構造物の耐震設計においては、大規模地震(レベル2)の耐震性能照査は動的応答解析により実施される。そこで、遠心実験モデルに基づき港湾施設の設計で標準的に用いられる2次元有効応力解析プログラム「FLIP」を用いたシミュレーションを実施し、遠心実験の模擬及び本工法に対する耐震性能照査手法を検討した。

4.2 検討結果

遠心載荷実験結果とFLIPの解析結果(加速度振幅200, cm/s²のケース)の水平変位量及び部材断面力の時刻歴応答波形比較をFig.5に示す。FLIPによる解析が実験結果より、変位量・断面力とも大きな値となっているが、鋼矢板の天端応答加速度、水平変位量、最大発生曲げモーメントの再現性は良いことがわかった。これに対してタイ材張力、控え組杭軸力の最大値は整合が良くなかったが、これは動的解析モデルにおける初期応力状態が、遠心実験で観測された部材の初期応力状態を十分に再現できなかったためである。一方、本検討では初期応力状態の整合しない部材の応答は地震時においても耐力に対して十分余裕があることがわかった。したがって、地震時の振動応答に関しては、本検討で用いた解析モデルでも概ね妥当に評価できるものと考えられる。

5. 仙台塩釜港 雷神埠頭への適用事例

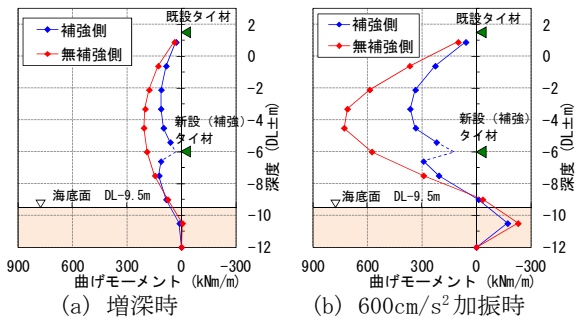


Fig.3 矢板の発生曲げモーメント分布の比較
Comparison of the Maximum Bending Moment Distributions throughout the Quay-wall

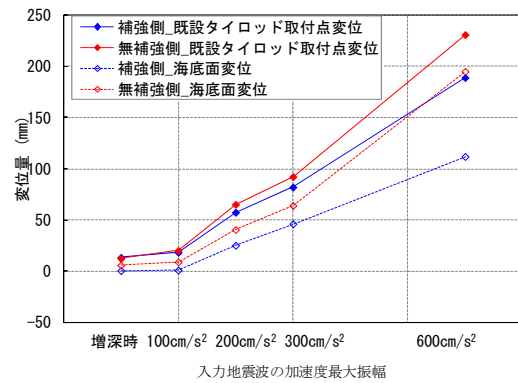


Fig.4 増深時・地震時の矢板の変位量
Maximum Horizontal Displacement of Quay-wall Top

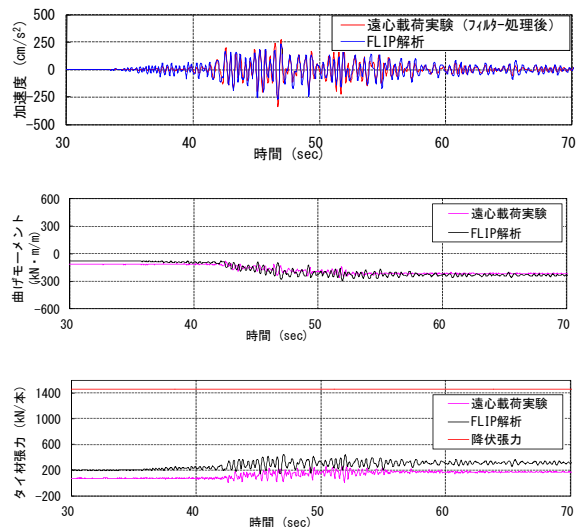


Fig.5 数値シミュレーション(CASE-A200)による代表応答時刻歴
Typical Response Time Histories from CASE-200

5.1 工事および設計の概要

仙台塩釜港仙台港区雷神埠頭は完成自動車の運搬拠点になっている。完成自動車輸送量の拡大による大型自動車運搬船(10,000DWT)に対応するために、-7.5m岸壁を2段タイ材地下施工法により1.5m増深して-9.0m岸壁とし、沖側を耐震強化岸壁として整備することとなった。雷神

埠頭は1日おきに大型自動車運搬船が入港して新車の荷降ろしや積み込み作業が行われることから、岸壁の供用を妨げることなく施工が可能な「2段タイ材地下施工法」が日本で初めて採用された。平成21年8月に改良工事が始まり、平成22年11月に完成し新バースとして供用を開始している。Photo 2に補強タイ材の施工状況を示す。

当該岸壁は一部を緊急物資輸送対応の耐震強化施設(特定)として設計し、レベル2地震動としてM6.5直下型地震、宮城県沖地震(単独・連動)および活断層型地震の4地震について工学的基盤における地震動を算定し、FLIPにより耐震性を評価した。4地震のうち、M6.5直下型地震(基盤入力最大加速度683cm/s²)が岸壁法線変位量16cmと最も大きな影響を示した。

5.2 東北地方太平洋沖地震の影響

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、仙台塩釜港雷神埠頭の周辺も震度6強の地震と約8mの巨大津波が来襲し、甚大な影響を受けた。雷神埠頭では地震によりエプロン部に10cm程度の沈下が見られたが大きな被害はなく、岸壁の供用が可能であった(Photo 3)。このため震災直後の3月18日、緊急物資運搬用の巡視船等が雷神埠頭に接岸し、震災復旧支援に寄与した。Fig.6に、東北地方太平洋沖地震で観測された近傍サイトの基盤波(K-NET塩竈、PARI-高松埠頭)と設計で考慮したレベル2地震動(基盤波)の加速度応答スペクトルを比較する。今回の東北地方太平洋沖地震の観測波は、設計で想定していた宮城県沖(連動型)に近似しており、設計通りの性能が発揮されたと言える。

6. まとめ

- 1) 遠心模型振動実験より、2段タイ工法の耐震補強効果を確認した。特に、既設矢板の変形や曲げモーメントの低減に効果的なことがわかった。
- 2) 本工法に対する耐震性能照査手法として、2次元有効応力解析「FLIP」の適用性を検討した。遠心実験のシミュレーションより構造物変位や断面力応答を概ね妥当に評価できることがわかった。
- 3) 2段タイ工法を適用した仙台塩釜港雷神埠頭について東北地方太平洋沖地震の近傍の観測地震動を分析し、設計通りの性能が発揮されたことが確認できた。

謝辞

本開発は、国土交通省 東北地方整備局、独立行政法人 港湾空港技術研究所、(株)大林組、(株)日本港湾コンサルタントの4機関による官民共同で実施したものです。ここに記し、関係各位に深謝致します。また、加速度応



Photo 2 小口径削孔機による補強タイ材施工状況
Drilling work for Retrofit Tie Members



Photo 3 東日本大震災直後の雷神埠頭の状況
(平成23年3月14日撮影)
Raijin Wharf after Earthquake and Tsunami Attack

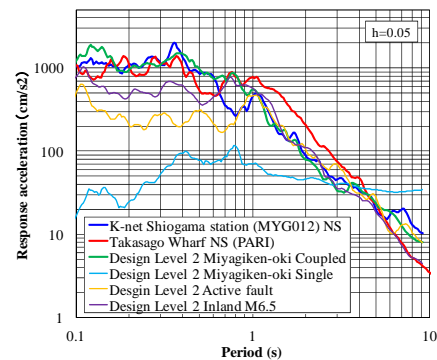


Fig. 6 設計で考慮したレベル2地震波と東北地方太平洋沖地震観測波の加速度応答スペクトル比較
Comparison of Design Spectra and Spectra of Motions Recorded during the Great East Japan Earthquake

答スペクトルの比較にはK-NETの観測記録を使用させていただきました。

参考文献

- 1) 森川他：既存矢板壁に対する控え工増設の補強効果とその評価法の開発、港湾空港技術研究所報告、Vol.50, No.4, pp.107-131, (2011)
- 2) 中村他：矢板岸壁における「2段タイ材地下施工法」の耐震・増深補強効果について、土木学会論文集A1(構造工学・地震工学)、Vol.68, No.4, (2012)