



技術

沿岸レポート

杭を活用した 既存防波堤の安全性増加 工法に関する検討 粘り強い構造の実現に向けて

独立行政法人港湾空港技術研究所
東京理科大学
新日鐵住金株式会社
一般財団法人沿岸技術研究センター



図1 鋼管杭式補強工法の概要

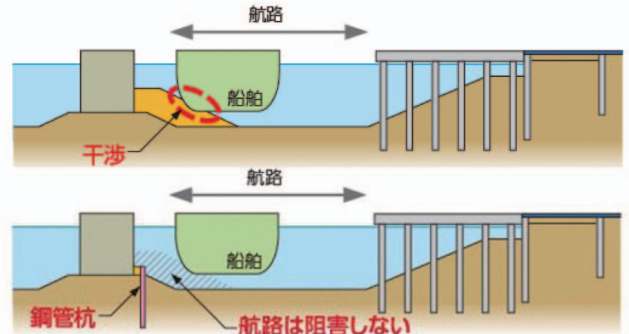


図2 狭隘地での防波堤の補強

はじめに

東日本大震災を契機に「粘り強い」防波堤の構造が求められている。「防波堤の耐津波設計ガイドライン」(2013年9月、国土交通省港湾局。以下、ガイドラインと呼ぶ)によれば、既存のケーソン式防波堤の安定性を向上させる補強方法の例として、ケーソン背面に捨石を積む腹付工法が示されているが、その他に「鋼管杭等により構造的な補強を施した」工法に関する記述もある。

そこで、ケーソン式防波堤の背面に鋼管杭などの鋼壁を根入れし、ケーソンと鋼壁の間に中詰をする「鋼管杭による防波堤補強工法」(以下、本稿では鋼管杭式補強工法と呼ぶ)を考案した(図1)。本工法は、鋼壁による抵抗力を期待するものであり、背後断面を小さくできる可能性を有すると考えられる。防波堤背後が狭隘な場所においては航路を阻害しないメリットもある(図2)。本工法の津波外力に対する抵抗機構を解明するために模型実験を実施した。

気中土槽実験による補強効果の実証

図3に土槽実験の実験装置の概要を示す。実験模型は1/60スケールで作製した。

検討ケースとして、無対策、腹付工法、鋼管杭式補強工法(背面洗掘を想定しない断面)、鋼管杭式補強工法(背面洗掘を想定した断面)について実験を行った。検討ケースの概要を表1に示す。

腹付工法については、腹付高をケーソン側面から離隔50mmま

無対策	腹付工法	鋼管杭式補強工法	鋼管杭式補強工法(洗掘有)

表1 検討ケース

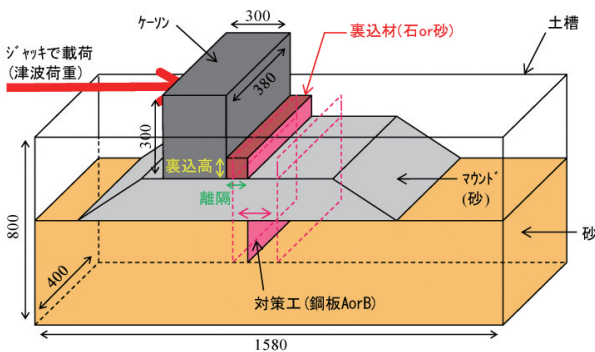


図3 実験装置の概要

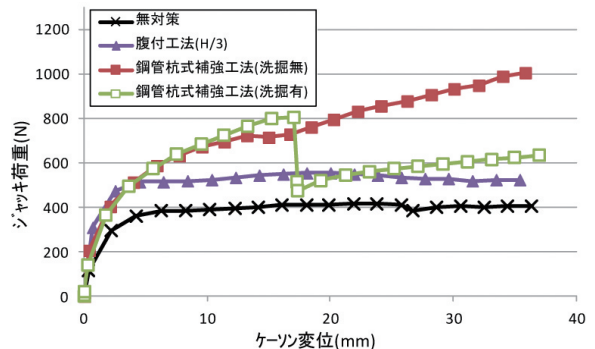


図4 気中土槽実験各ケースの荷重変位関係

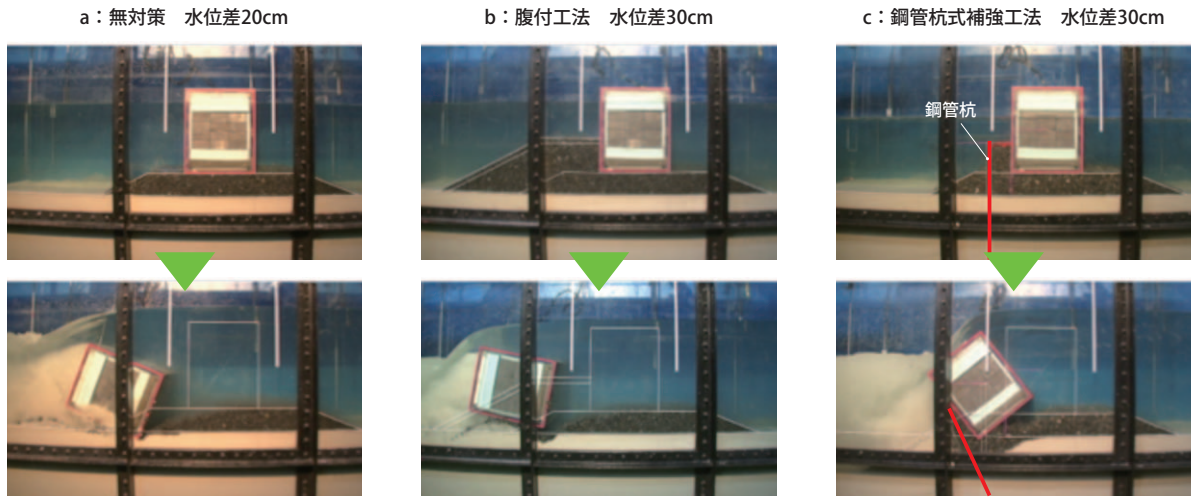


写真1 水理模式実験各ケースの最終破壊形態

で裏込高を一定(100mm)とし、それよりも背面側では1:1.5勾配にて裏込高を減じた。鋼管杭式補強工法では、ケーソン側面から離隔50mmの位置に鋼管矢板壁(鋼管径1000mm板厚12mm相当)を模擬した鋼板(380mm×380mm×t3.2mm)を設置した。背面洗掘想定断面では、鋼板背面を事前に60mm掘削した。変位制御(0.6mm/min)した油圧ジャッキで静的に載荷し、ジャッキ荷重とケーソン中心位置変位を計測した。それぞれのケースの荷重変位関係を図4に示す。

無対策では400N付近から荷重の上昇が見られず、それ以降は変位のみが増加した。腹付工法では無対策に対して最大荷重(抵抗力)の増加が確認された。一方、鋼管杭式補強工法では、ケーソン変位増加に伴って抵抗力も漸増する挙動を示した。ここで得られた挙動はまさに鋼材特有の「粘り強さ」であると考えられる。

津波越流時の杭背面の洗掘を想定した実験については、ジャッキ変位が20mmの時点でいったん除荷した後、鋼材背後の地盤を60mm掘削し、再度載荷した。掘削時は荷重の低下が確認されたが、再度抵抗が上昇し、ケーソン変位増加に伴って抵抗力も漸増する「粘り強い」挙動が確認できた。

水理実験による越流時の対策効果確認

ガイドラインでは、最大クラスのレベル2津波に対しては、人命を守り被害を最小限に留める「減災」が1つの防護目標で示され、倒壊は許容するものの、より粘り強く耐える防波堤が求められている。今回、鋼管杭式補強工法の津波越流時に対する粘り強さの実証を主眼として、(独)港湾空港技術研究所の施設にて水理実験を行った。実在する水深約12mの地点に設置されている混成防波堤をモデルとして、1/25スケールの模型を作製し、ケーソン前背面に水位差を与えることで越流現象を再現した。気中土槽実験と同様、無対策、腹付工法、鋼管杭式補強工法について実験を実施した。

まず、無対策の断面について、目標水位差20cmで越流させたと

ころ、ケーソン背面のマウンドの洗掘が進み、支持力が不足したところで崩壊に至った(写真1-a)。一方、腹付工法(腹付高さ=ケーソン高さの1/3)の対策工を実施した断面で同じ水位差20cmで越流させたところ、最初は腹付工部が洗掘されるも、約10分(実現象で50分相当)経過後に洗掘の進行が止まり、基礎マウンド部までは洗掘が進行せず、約18分越流を続けたが破壊には至らなかった。そのままの断面形状を保持し、次に水位差を30cmとしたところ、基礎マウンド部まで洗掘が進み、越流開始から約2分後に倒壊した(写真1-b)。今回提案する鋼管杭式補強工法では、水位差20cmでは杭背面が洗掘されるもケーソンはほとんど変位しなかった。同じく水位差30cmとしたところ、杭背面の洗掘が進み、徐々にケーソンが港内側に傾斜したが、杭が粘り強く抵抗を發揮し、天端高を保っていた(写真1-c)。

これらの結果より、腹付工法、鋼管杭式補強工法、どちらも対策の効果はあるものの、最終破壊形態が異なることが分かった。また、背面の洗掘が破壊に大きく影響を及ぼすことも確認できた。

まとめ

限られたケースではあるが、気中での土槽実験から、鋼管杭式補強工法では変位に伴い抵抗力が粘り強く増える傾向が確認でき、水理実験からは、越流時の背面マウンドの洗掘により杭の支持力が減少することで、防波堤の倒壊につながるものの、完全に転倒するのを粘り強く抑えることがわかった。今後は、より多くの条件で検証し、設計法の確立、FEM解析による変形予測手法の構築にも注力する。

以上、防波堤の粘り強い構造を実現させる方法として、鋼管杭式補強工法について述べたが、防波堤背後の洗掘予測、現場の利用状況、施工性、経済性などを考慮のうえで、腹付工法と比較し適材適所で工法を採用することが重要であると考えられる。