

鋼管杭を活用した津波防波堤における粘り強い構造の検討

誌名	水産工学
ISSN	09167617
著者名	田中,隆太 森安,俊介 及川,森 岡田,克寛 有川,太郎 水谷,崇亮 菊池,喜昭 八尋,明彦 下迫,健一郎
発行元	日本水産工学会
巻/号	52巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 119-122
発行年月	2015年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



【報 文】

鋼管杭を活用した津波防波堤における粘り強い構造の検討

田 中 隆 太^{1*}・森 安 俊 介²・及 川 森³・
岡 田 克 寛⁴・有 川 太 郎⁵・水 谷 崇 亮⁶・
菊 池 喜 昭⁷・八 尋 明 彦⁸・下 迫 健 一 郎⁹

Study of Stable Structure of the Breakwater for Tsunami with Steel Pipe Piles

Ryuta TANAKA^{1*}, Shunsuke MORIYASU², Shin OIKAWA³,
Katsuhiro OKADA⁴, Taro ARIKAWA⁵, Takaaki MIZUTANI⁶,
Yoshiaki KIKUCHI⁷, Akihiko YAHIRO⁸ and Kenichiro SHIMOSAKO⁹

Abstract

The structure of a "tenacious" breakwater is required from the Great East Japan Earthquake in 2011. The widening work is one of existing reinforcement methods of tenacious breakwaters. However, it also has large cross section in port inside area. Furthermore, scouring due to the overflow decreases the bearing capacity of the rubble mound and it makes the breakwater easy to fall down.

In "Tsunami-Resistant Design Guideline for breakwaters", by Ministry of Land, Infrastructure and Transport, the widening work is described, on the other hand, the reinforcing method to resist tsunami with steel pipe piles is proposed too. Therefore, we developed the reinforced method of a tenacious breakwater with steel pipe piles. The breakwater has filling stones between the caisson and the steel pipe piles, and it can resist a tsunami tenaciously. We call the method "Steel Pipe method".

2015年1月21日受付, 2015年4月10日受理

キーワード: 津波, 防波堤, 鋼管杭, 粘り強い

Key words: Tsunami, breakwater, steel pipe, tenacious

¹ Former: Construction Products Development Division, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, Marunouchi 2-6-1, Chiyoda, Tokyo, 100-8071 Japan (新日鐵住金株式会社建材開発技術部 〒100-8071 東京都千代田区丸の内2-6-1)

Present: Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles, Nihonbashi-kayabatyo 3-2-10, Chuo, Tokyo, 103-0025 Japan (一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10鉄鋼会館6階)

² Technical Research & Development Bureau, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, Shintomi 20-1, Futtsu, Chiba, 293-8511 Japan (新日鐵住金株式会社技術開発本部 〒293-8511 千葉県富津市新富20-1)

³ Construction Products Development Division, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, Marunouchi 2-6-1, Chiyoda, Tokyo, 100-8071 Japan (新日鐵住金株式会社建材開発技術部 〒100-8071 東京都千代田区丸の内2-6-1)

⁴ Maritime Structures Group, Coastal and Ocean Engineering Field, Port and Airport Research Institute, Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826 Japan (国立研究開発法人港湾空港技術研究所海洋研究領域耐波研究チーム 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁵ Coastal Engineering Laboratory, Civil and Environmental Engineering, Faculty of Science and Engineering, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8551 Japan (中央大学理工学部都市環境学科 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

Marine Information and Tsunami Engineering Field, Port and Airport Research Institute, Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826 Japan (国立研究開発法人港湾空港技術研究所海洋情報・津波研究領域 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁶ Foundations Group, Geotechnical Engineering Field, Port and Airport Research Institute, Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826 Japan (国立研究開発法人港湾空港技術研究所地盤研究領域基礎工研究チーム 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁷ Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, Yamazaki 2641, Noda, Chiba, 278-8510 Japan (東京理科大学理工学部土木工学科 〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

⁸ Coastal Development Institute of Technology, Nishishinbashi 1-14-2, Minato, Tokyo, 105-0003 Japan (一般財団法人沿岸技術研究センター 〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2)

⁹ Coastal and Ocean Engineering Field, Port and Airport Research Institute, Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826 Japan (国立研究開発法人港湾空港技術研究所特別研究官(海洋・水工研究担当) 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

* Tel: 03-3669-2437, Fax: 03-3669-1685, tanaka.r@jaspp.com

本論は, 平成26年度日本水産工学会秋季シンポジウム「東日本大震災から学ぶ漁港・漁場の整備と課題」(平成26年11月)において, 講演された内容を取り纏めたものである。

1. 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, 国交省港湾局。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 (Fig. 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 (Fig. 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。本工法の開発は, (独)港湾空港技術研究所, 東京理科大学, 新日鐵住金(株), (一財)沿岸技

術研究センターの4者共同研究で実施した。

2. 気中土槽実験による補強効果の実証

Fig. 3に土槽実験の実験装置の概要を示す。実験模型は1/60スケールで作成した。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) について実験を実施した。検討ケースの概要をTable 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Fig. 4に示す。

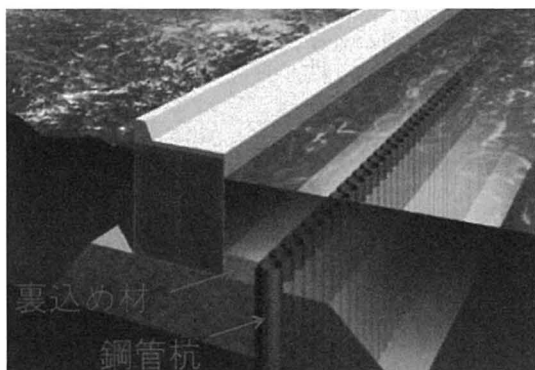


Fig. 1 Image of Steel Pipe Method. (Aikawa et al. 2015)

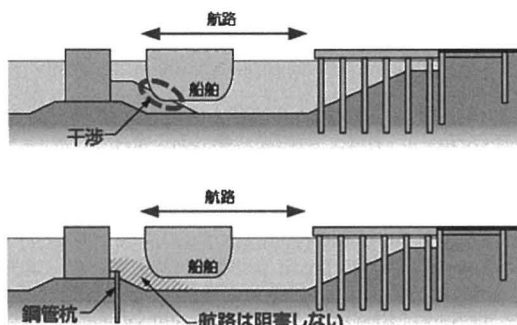


Fig. 2 Application of Steel Pipe Method in small area.

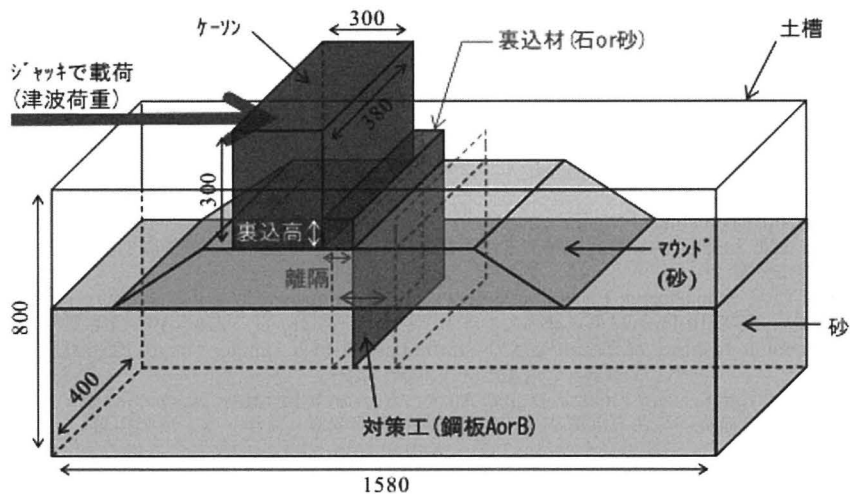


Fig. 3 Model caisson of the loading test. (Oikawa, Kikuchi et al. 2014)

Table 1 Cases of the loading test. (Oikawa, Kikuchi et al. 2014)

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)

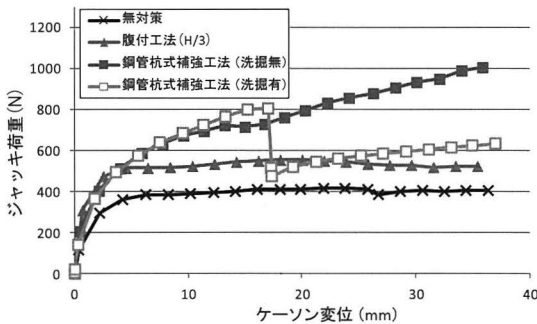


Fig. 4 Relationship between the load and the displacement. (Oikawa, Kikuchi et al. 2014)

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の時点で一旦除荷した後、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。

3. 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」が一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、(独法)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(Photo 1(a))。一方、腹付工法(腹付け高さ=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たが、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(Photo 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発揮し、天端高を保っていた(Photo

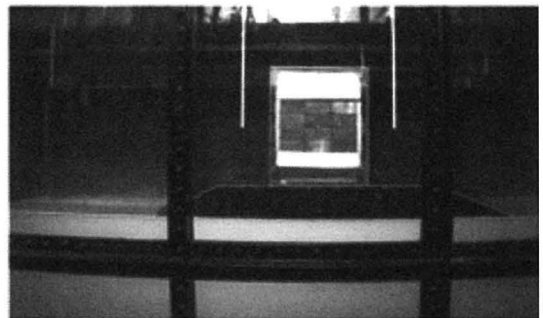


Photo 1(a) The hydraulic model tests. /No measure, water level difference; 20cm. (Arikawa et al. 2015)

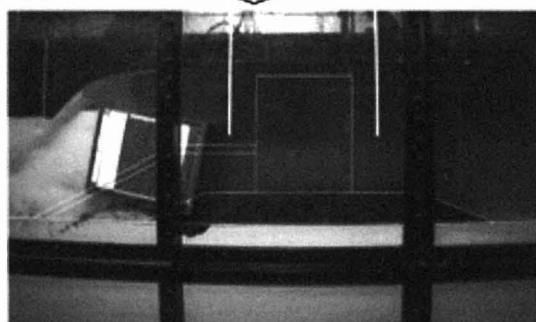


Photo 1(b) The hydraulic model tests. /The widening work, water level difference; 30cm.(Arikawa et al. 2015)

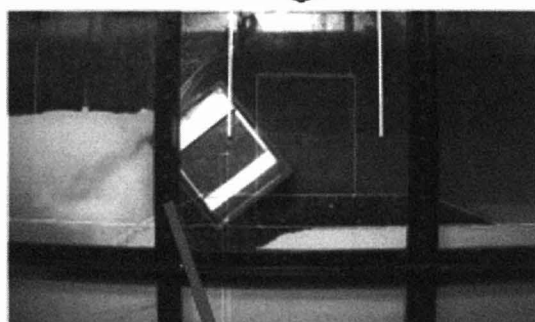
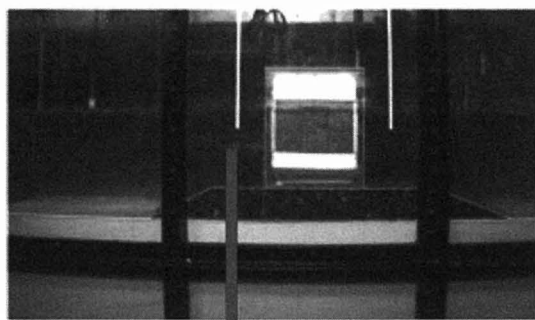


Photo 1(c) The hydraulic model tests. /The steel pipe method, water level difference; 30cm.(Arikawa et al. 2015)

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。

4. まとめ

今回は気中載荷模型実験および水理模型実験の結果から、鋼管杭式補強工法のもつ粘り強さの検討を行った。気中載荷模型実験からは、ケーソンの変位に伴い津波に対する防波堤全体の抵抗力がしだいに増加する傾向が確認でき、水理模型実験からは、越流によりマウンドが洗掘されることで杭の支持力が減少すると防波堤が大変形するが、完全には倒壊しないことがわかった。今後は、より多くの条件で検証し、設計法の整備、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上で、腹付工法との比較の上で適材適所として工法を採用することが重要であると考ええる。

質疑応答

中山（水工研）：①鋼管杭岸側が洗掘された場合の耐力を検討していますか。

②鋼管で止水することによる浸透流の集中が逆効

果になるのではないのでしょうか。

回答：①想定断面ではあるが、気中の土槽実験で、洗掘を想定し、壁体の背面を60mm掘削した断面でも載荷試験を実施している。この場合、鋼材の粘り強い傾向を確認することができている。

②鋼管杭はある程度（実大スケールで100～200mm程度）のピッチを空けて並べるので、完全に浸透流の流れを阻害するものではない。ピッチ間の流れの集中は少なからず起きるため注意が必要と考える。

真野（センク21）：鋼管の防食対策はどのように考えていますか。

回答：鋼管は全て水中に没しているの、重防食のような被覆防食までは必要ないと考えている。可能であれば電気防食を実施するのがよい。

綿貫（アルファ水工）：捨石マウンドに鋼管杭を打ち込む建設機械は容易に手配できるのでしょうか。漁港は数が多いので、この工法が採用されたら対応できるのでしょうか。

回答：今回は、施工可能な工法のひとつとして「ジャイロプレス工法」を紹介したが、この工法は10年程前に開発されたもので、実績も相当数積み上がっており、施工機械も全国的に広く普及している。現時点では機械が不足する状況はほとんどないと考えている。（※備考：捨石層打抜の実績あり）