

直立浮上式防波堤ラップ部の補強方法に関する研究

(独)港湾空港技術研究所
国土交通省 中部地方整備局
三菱重工鉄構エンジニアリング(株)
(株)大林組
新日鉄エンジニアリング(株)
東亜建設工業(株)

正会員 有川 太郎
正会員 坂口 章
正会員 ○木原 一禎
正会員 小林 真
山本 邦弘
永友 久信

1 はじめに

著者らは、新形式可動式防波堤「直立浮上式防波堤」の実用化に向け開発研究を行ってきた。本防波堤は、航路など平常時に開放されている場所での利用が期待されており、常時においては防波堤を海底地盤内に格納し、異常時のみ航路を封鎖し、外海からの進入波を遮蔽して港内施設を守り、災害回避後早期に航路が確保できる今までにない画期的な可動式防波堤である。

構造は、図-1に示すように下部鋼管に上部鋼管が挿入された鞘管構造であるため、上部鋼管の径は下部鋼管より小さくなっており、上下部鋼管の間に隙間が生じる。隙間部には、スタビライザー(隙間緩衝材)を取り付けている。波浪外力に対し、このスタビライザーを介して下部鋼管に力を伝達させて、耐力を保持している。

本報では、この荷重伝達部(ラップ部)の補強方法について報告する。

スタビライザーからの応力伝達を確認する目的で、3年確率の波浪荷重(水平集中荷重換算 $F=330\text{KN}$)に相当する水平力を载荷したケースについて、载荷試験結果と FEM モデルの比較を行った。

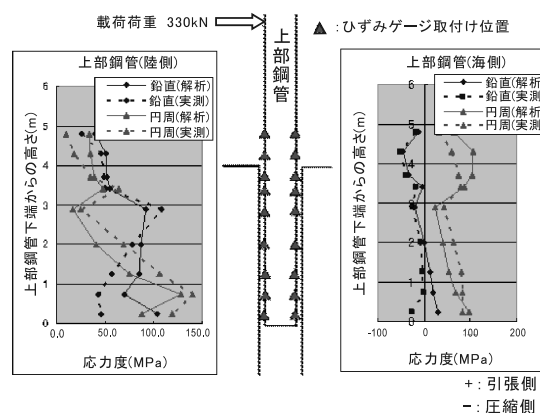


図-2 上部鋼管の応力(実験値, 計算値比較)

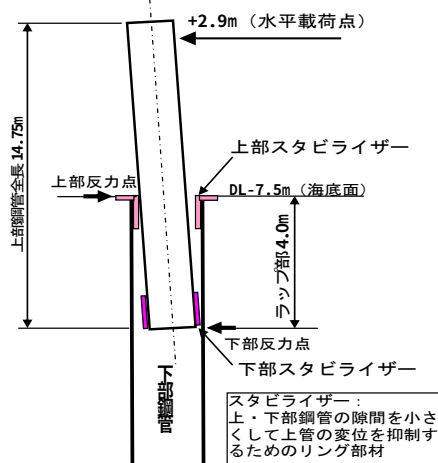


図-1 鞘管部の構造(沼津港実証実験事例)

2. FEM 解析の妥当性検討

上部鋼管に作用した波力が下部鋼管にどのように伝達されるかを沼津港における実証実験で確認した。

波浪外力は、上部鋼管よりスタビライザー、下部鋼管を介して地盤に力が伝達される。実証試験では

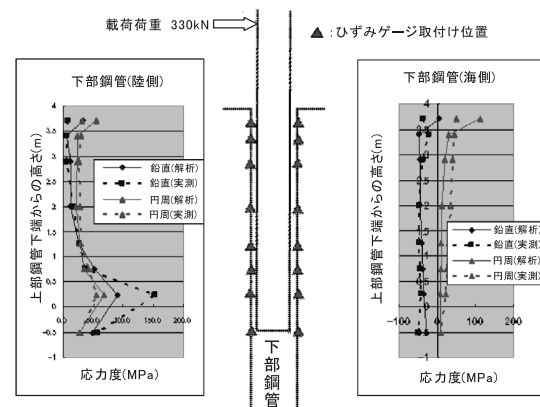


図-3 下部鋼管の応力(実験値, 計算値比較)

FEM モデルでは、接触点にコンタクトペアを設定し、ボーリングデータに基づき地盤バネを設定した。図-2、図-3 に示すようにスタビライザー接触部の応力状態が実機レベルで再現出来ることが示されるとともに、目標応力 175 N/mm^2 (SKK400 異常時) 以下となることを確認した。

キーワード 直立浮上式防波堤, FEM解析, 防波堤, 可動式防波堤

連絡先 〒108-8215 東京都港区港南2-16-5 三菱重工鉄構エンジニアリング(株)

E-mail: kazuyoshi_kihara@mbe.mhi.co.jp

3. 局部補強の検討

図-1に示すラップ部の荷重伝達点であるスタビライザーの接触面は、荷重伝達において重要な部材であるため、接触面の補強構造について検討を行った。

①鋼管の補強構造の検討

補強構造は、道路橋示方書・同解説 鋼橋編および鋼管構造設計施工指針・同解説に示す方法で部材を決定することとした。補強部材を図-4に示す。

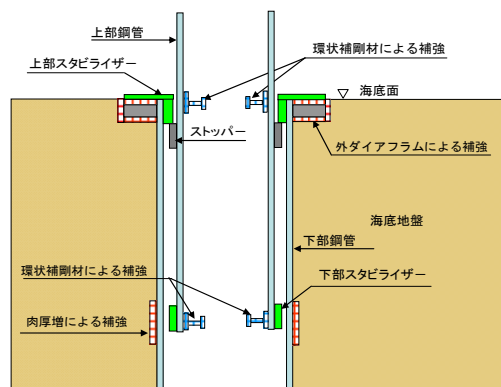


図-4 補強構造図

②補強断面の強度検証

荷重伝達メカニズムは実証実験で把握でき、上述したように全体構造解析の値とも一致していることを確認しているが、支持点における局所の応力状態（応力分布）を検証する必要がある。詳細検討における補強断面構造の妥当性検討では、局部荷重の広がり性を考慮する必要があるため、検証手段としてラップ部をソリッド要素でモデル化した FEM 計算を ABAQUS で実施した。

検証方法は、ケーススタディとして、設計外力を波浪時（設計水平外力 $H=1,540$ kN）、津波時（設計水平外力 $H=3,300$ kN）で設定した。また、鋼管構造は 2 タイプを想定し、上部鋼管は、 $\phi 2000$ mm, 3000 mm $t20 \sim 40$ mm、下部鋼管は、 $\phi 2200$ mm, 3200 mm $t22 \sim 60$ mm として構造計算を行った。

表-1 鋼管補強部の応力度 (MPa)

防波堤の用途	項目	上部鋼管補強部		下部鋼管補強部	
		上部環状補剛材	下部環状補剛材	外ダイアフラム	板厚増(補強バンド)
波浪対応の場合	CASE-1	192	134	159	186
	($\phi 2000$)	(161)	(60~80)	(80~100)	(100~10)
	CASE-2	168	154	193	167
	($\phi 3000$)	(173)	(60~80)	(100~120)	(120~140)
津波対応の場合	CASE-1	236	183	316	229
	($\phi 2000$)	(269)	(35~120)	(145~260)	(125~190)
	CASE-2	234	241	287	260
	($\phi 3000$)	(233)	(70~150)	(185~240)	(120~190)

注) 1. 使用鋼材: SKK490, SII490Y

2. 常時の許容応力度 $\sigma_{sa}=210$ MPa

3. 保証降伏応力度 $\sigma_y=355$ MPa ($16\text{mm} \leq t \leq 40\text{mm}$)

$\sigma_y=335$ MPa ($40\text{mm} \leq t$)

4. () 内は補強部周辺における鋼管母材のミゼス応力を示す。

表-1に波浪時、津波時の応力集計、図-5に上部鋼管 $\phi 3000$ の津波時の FEM 結果例を示すが応力はいずれも所定の許容応力以内に収まっている。

計算の結果、波浪時は、降伏応力の 1/1.7 (210 MPa

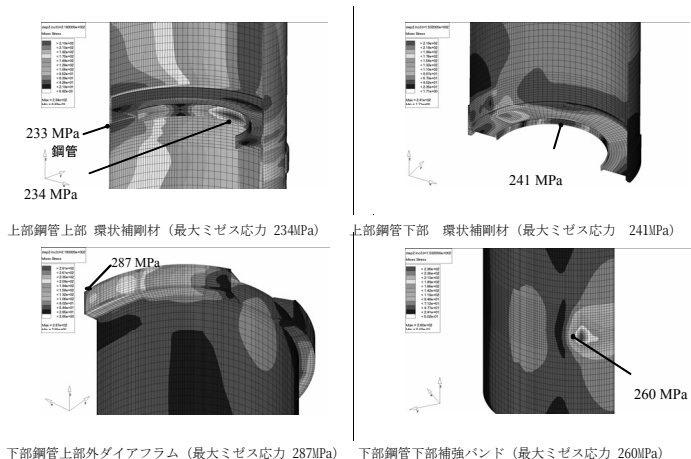


図-5 上下部鋼管ラップ部の応力解析結果(上部鋼管 $\phi 3000$ 津波時)

SKK490材) 以下で、津波時は、降伏応力以下 (355 MPa SKK490材) の許容応力に収まっており、構造上問題が無いこと、およびラップ部の補強方法の妥当性についても確認できた。

また、接触面からの荷重の広がり性については、杭の径が大きい場合、荷重の広がり性が大きく、荷重分散効率が良いことを示している。

4. まとめ

- ①非接触部材の応力伝達を FEM 解析で再現できることを確認した。
- ②ラップ部の補強構造は道示や鋼管構造指針が示される数式において決定できることを確認した。
- ③ソリッド要素を用いた FEM 解析により局所の荷重伝達のメカニズムを解明した。

謝辞: 沼津港実証試験を行うに当たり、静岡県建設部港湾局、沼津土木事務所の皆様並びに(独)港湾空港技術研究所 菊池喜昭地盤・構造部長をはじめとした皆様には多大なるご支援を頂いた。

また、FEM 解析の実施にあたっては、大阪産業大学 飯田教授、三菱重工業(株)広島研究所 井上幸一氏の多大なるご指導をいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 有川太郎, 野村逸人, 富田孝史, 小林真, 虎石龍彦, 荒井清, 木原一禎: 直立浮上式防波堤による現地津波防護効果に関する検討, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.936~940, 2007.
- 2) 有川太郎, 坂口章, 小林真, 虎石龍彦, 櫻井良宏, 木原一禎: 直立浮上式防波堤の実海域実証試験, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp.93~98, 2008.
- 3) 小林真: 直立浮上式防波堤の開発, 北陸地方建設事業推進協議会平成 20 年度建設技術報告会 10 月 29 日 2008
- 4) 有川太郎, 坂口章, 小林真, 山本邦弘, 櫻井良宏, 木原一禎: 直立浮上式防波堤の開発, 防衛施設学会 20 年度年次研究発表会 2 月 2 日 2008