

港口部共振装置による長周期波の 制御効果に関する研究

PERFORMANCE OF WAVE RESONATORS LOCATED AT A HARBOR ENTRANCE FOR REDUCING VERY LONG WAVES

中村孝幸¹・ニエン セン ラット²・東和希³・山先達也³

Takayuki NAKAMURA, Nyein Zin LATT, Kazuki AZUMA and Tatsuya YAMASAKI

¹正会員 工博 愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

²修(工) 愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

³愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

A resonator-like breakwater facility was constructed at the entrance of Port of Long Beach (Pier J) to shelter the harbor basin from comparatively long waves having a period of about one minute or longer. Major purpose of the resonator-like breakwater is to reduce long-period ship motions during cargo handling at the pier. In order to improve the performance of the breakwater facility especially for much longer period waves, say greater than a few minutes, we have already proposed a modified resonator. It has a pair of additional walls connecting to the nearshore side jetties of the previous rectangular resonator. In this study, performance of the modified resonator for protecting the harbor basin from very long waves has been examined as compared to that of the previous rectangular resonator. As an additional examination, influence of the obliquely incident waves to the harbor on the performance was also clarified.

Key Words : Wave resonator, long period wave, modified resonator, obliquely incident wave

1. まえがき

大規模港湾において、外洋船の接岸係留時における長周期船体動揺が問題となっており¹⁾、この被害の直接的な原因の一つとして、港湾内への長周期波の侵入があげられる。アメリカのロングビーチ港では、港内に侵入する長周期波によるコンテナ船の同調現象を軽減するため、図-1に示すような一対の矩形水域で構成される矩形共振装置に酷似した防波施設が港口部に建設されている²⁾。しかし、この防波施設でも周期 $T=90s$ より長い周期条件になると、その効果は不十分になることなどが指摘されている³⁾。

既に著者ら⁴⁾は、より長周期の波の制御を目的として、従来の矩形共振装置を基本として、この港内側に図-2に示すように付加的な平行堤を設ける工法を提案し、その有効性を実験と理論により検証してきた。ただし、検討モデルとしては、一定の水路幅内に特定の開口幅を持つ矩形共振装置が設置された状況が想定されており、港口部のように独立して1ユニットの装置が配置される条件とは異なる。

本研究では、主にロングビーチ港のように港口部に1ユニットの共振装置が設置される場合を前提として、波周期が3分程度までの比較的長周期の条件



図-1 ロングビーチ港Pier Jの防波施設

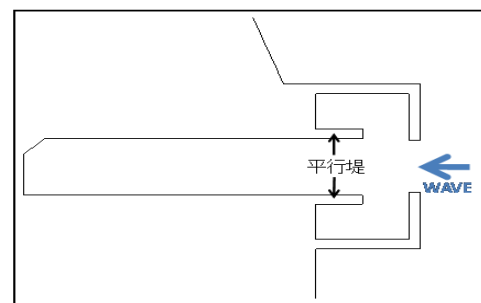
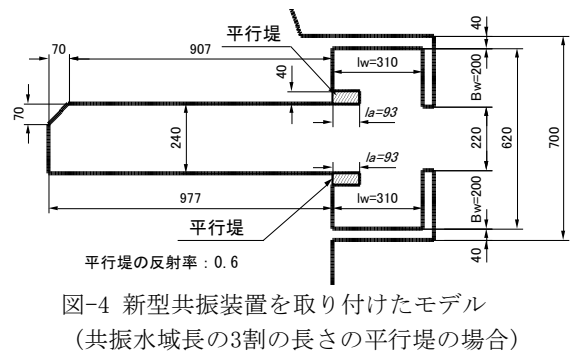
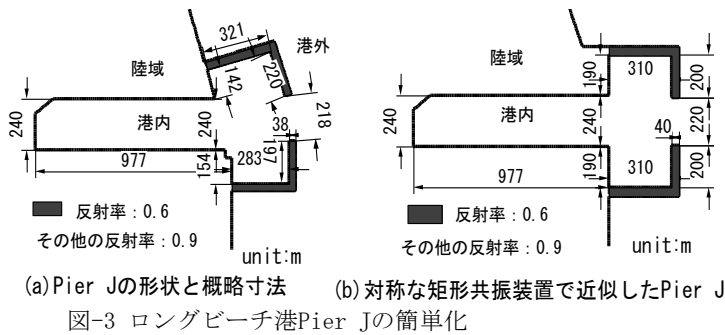


図-2 平行堤を設けた共振装置 (新型共振装置)



に対して効果的な共振装置の平面形状について明らかにする。このとき、装置の平面形状としては、図-2に示すように付加的な平行堤を設けた新型共振装置についても対象にした。

2. 港湾モデル

(1) ロングビーチ港Pier Jを基本としたモデル

ここでは、図-1に示す矩形共振装置に酷似した防波施設が港口部に建設されているロングビーチ港Pier Jを算定モデルとして設定した。ただし、現況の防波施設は、図-3(a)に見られるように正角の矩形水域ではなく変形された矩形水域であるため、図-3(b)に示すように、水域形状が正角で対称性を持つ簡単化された一対の矩形共振水域に変更したものを基本算定モデルとした。算定では、30s以上の長周期波を対象とすること、Pier Jにおける共振装置に類似した防波施設は捨石で構築されていることを考慮して、港湾内の陸域境界の反射率 Cr は、図-3中に示すように、 $Cr=0.9$ と 0.6 の2種類に設定した。原則的に $Cr=0.6$ は捨石防波堤の部分に、それ以外は $Cr=0.9$ を用いた。

付加的な平行堤は、図-4に一例を示すように、港内側で共振水域に面した直立壁に接続するように設けた。この平行堤の長さ la としては、共振水域の波向き方向長 lw の3割と5割の2種類に変化させて、その影響などを検討した。

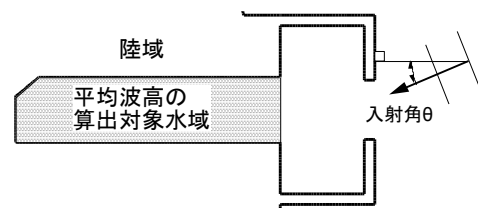
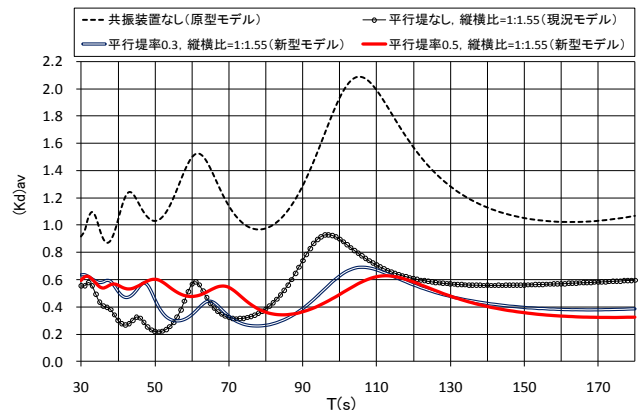
(2) 算定法の概要

上記した港湾まわりの波高分布の算定には、任意平面形状の港湾境界を対象として、境界の低反射効果などが考慮できる鉛直線グリーン関数法⁵⁾を用いた。この数値解析法は、線形理論に基づくもので、定常状態下での波高分布が効率的に求められる利点がある。

3. 算定結果

(1) 港内平均波高

図-5は、各種の防波施設を港口部に設けたときの港内平均波高比 $(Kd)_{av}$ の現地波周期 T による変化を



示す。平均波高を算出する際の対象水域と波向きの定義は図-6に示すものである。この図より、平行堤なしの矩形共振装置を港口部に設けるだけでも、原型港湾に比較して、約半分程度以下に港内波高比を低減できることが分かる。

一方、共振装置に平行堤を取り付けると、周期80s以上の長周期側で波高比が4割減と更に低下することが認められる。このとき、平行堤の長さとしては、共振水域の波向き方向長 lw の3割程度のものを設ければある程度の低減効果が期待できるものと言えよう。ただし、周期35~55sの短周期側では、平行堤を取り付けることにより、逆に平均波高比が増大する傾向にあり、いわゆる副作用と考えられる。

図-5では、各港口モデルに対応して、比較的大きな波高比のピークが見られる。例えば、防波施設のない原型モデルであれば、周期105s付近に見られる波高比の極大値である。このような波高比のピークの出現は、港内水域の波向き方向長と波長との比に関係して現れる湾内共振によるものであることが中村らの研究³⁾により明らかにされている。そして、

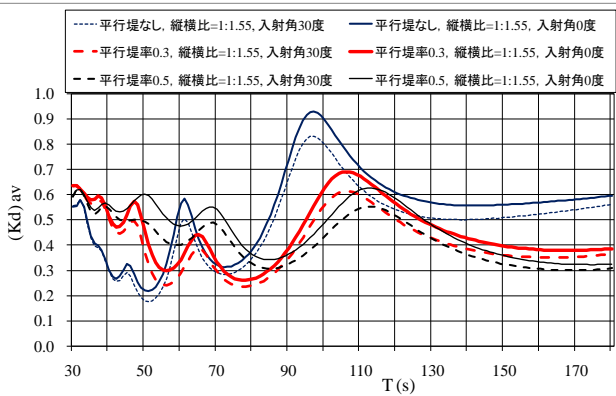


図-7 各種の防波施設における斜め入射波の影響
(入射角0, 30度, 共振水域縦横比 $l_w/B_w=1.55$)

港口部に防波施設を設けることで、この湾内共振に付随して現れる平均波高のピークは大幅に低減されることが分かる。

次に図-7は、入射角が30度のときの港内平均波高比を、入射角0度のときの結果と併せて示す。この図から、港内平均波高比は、斜め入射の条件下でも直角入射のそれと定性的な傾向がほとんど変化しないことや、斜め入射になると波高比が多少ながら減少するなど共振装置の効果に及ぼす波の入射角の影響は小さいものと判定される。

(2) 波高分布

図-8~11は、各種の港口モデルのときの波高分布を波高比のコンターで示す。波の入射角の条件は、0度に相当する。また、波周期の条件は、図-5の平均波高比で最大のピークを示す周期条件に近い $T=99s$ としてある。

原型港湾モデルの結果に相当する図-8では、ほぼ港奥から港口へ向かって、腹、節、腹、節と第2次モードの港内共振モードに近い状況にあり、結果的に港内はかなり増幅される条件に近いことが認められる。このとき、波高比は最大で2.5程度のもが見られる。

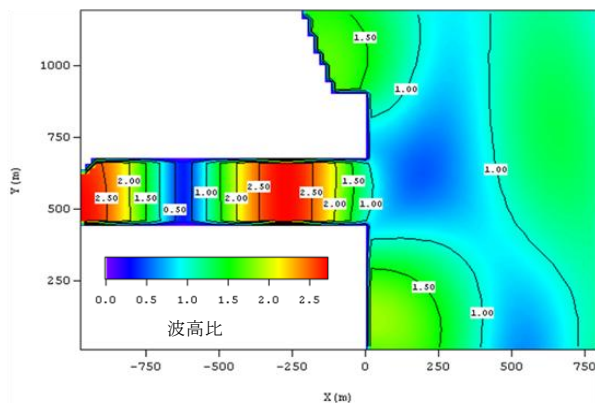


図-8 原型モデルでの波高分布; $T=99s, \theta=0$ 度

一方、図-9~11へとそれぞれ共振装置および新型共振装置を設けると、港内波高分布のモードパターンは原型港湾のそれとほとんど変わらないが、波高比の絶対値が順次に低下する傾向にあることが分かる。新型共振装置では、付加した平行堤の存在により、平行堤に面する航路部では波高比が低下する傾向にあることや、その背後の共振水域部では逆に波高増大が見られるようになることも認められる。

また、共振装置のない原型港湾モデルと共振装置を取り付けた現況モデルの結果の比較を行うと、港内水域のすぐ外側の波高比が装置を設けることで低下する傾向にあり、港内水域の波高を低減するには、この水域の波高を低くすることが重要になるものと考えられる。ただし、装置を付けた場合、副作用として共振装置の外海側開口部の沖側では高波高が現れるようになることに注意する必要がある。

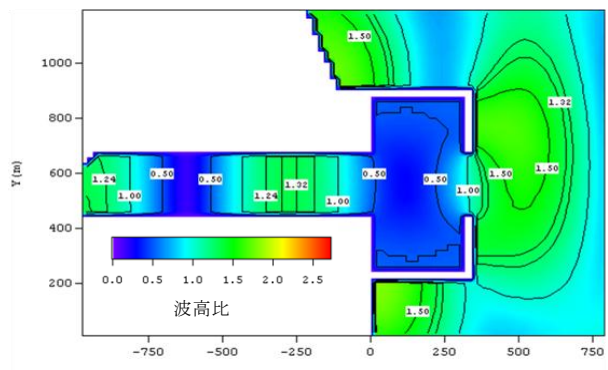


図-9 現況モデルでの波高分布; $T=99s, \theta=0$ 度

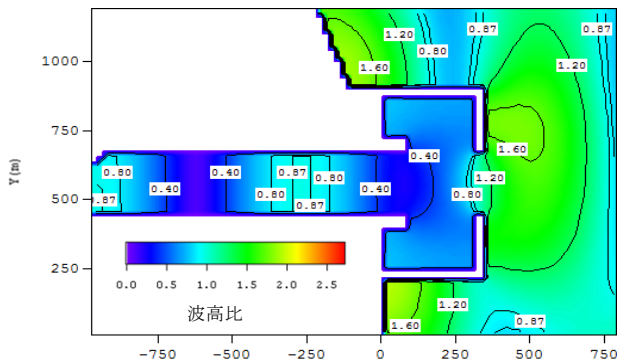


図-10 平行堤率0.3のときの波高分布; $T=99s, \theta=0$ 度

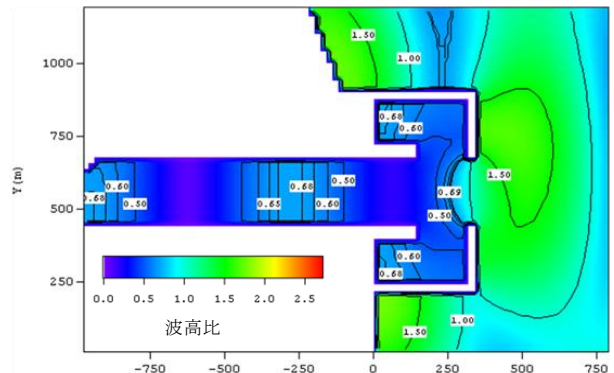


図-11 平行堤率0.5のときの波高分布; $T=99s, \theta=0$ 度

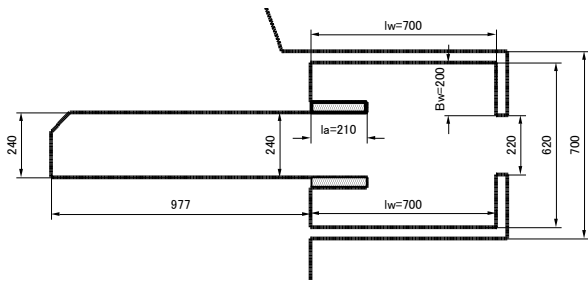


図-12 共振装置の縦横比を大きくした港口モデル：
縦横比 $l_w/B_w=3.5$ ，共振水域長の3割の長さの平行堤の例

4. 共振水域の縦横比を変えたモデル

ここでは、図-12に示すように、前出の共振水域モデルの波向き方向長のみを長くして、共振水域の縦横比を1:3.5と大きくした場合について、港内静穏化効果を検討してみた。図-13は、このときの港内平均波高比の波周期による変化を示す。図中では、平行堤の長さとして、平行堤率が3割と5割の2種類について検討してある。比較のため、平行堤のない矩形共振装置に対する結果も併せ示した。

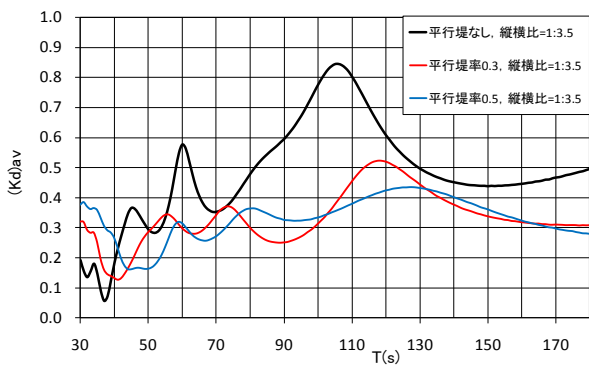


図-13 共振水域の縦横比を大きくしたときの港内平均波高比(入射角0度，共振水域縦横比 $l_w/B_w=3.5$)

この図と前出の共振水域の縦横比が小さな場合の結果を示す図-5を比較すると、縦横比を大きくすることで、波周期の全体にわたり、平均波高比は0.2程度低くなる傾向にあることが分かる。これは、やはり共振水域が広くなることによる影響と考えられる。ただし、波周期150s程度の長周期側では、共振水域の長さや平行堤の長さが増大している割には、静穏化効果はそれほど改善されておらず、図-4の新型共振装置モデルで十分と判定される。今後はさらに長周期の条件下での効果について検討していきたい。

5. 湾奥からの反射波の影響

図-5、図-7などの港内平均波高比を示す図におい

て、いくつかの顕著なピークが見られた。このような波高比のピークは、湾奥からの反射波の影響を少なからず受けて出現するものと考えられる。ここでは、このような湾奥からの反射波の影響を取り除いたときに得られる静穏化効果について検討してみる。このような検討は、図-4に示すような港湾モデルにおいて、湾奥の鉛直壁のみを取り除くことで実施できる。このときの波浪境界値問題の解析は、港内水域の側壁を流体力学的な鏡と考えれば、港湾モデルが空間的に規則的に配置された場合と酷似している。ここでは、図-4の港湾モデルにおいて、単に湾奥の鉛直壁を反射のない完全吸収壁として取り扱い、港内波高の算定を行った。

図-14は、このときの算定結果を示すもので、波の入射角は0度としてある。

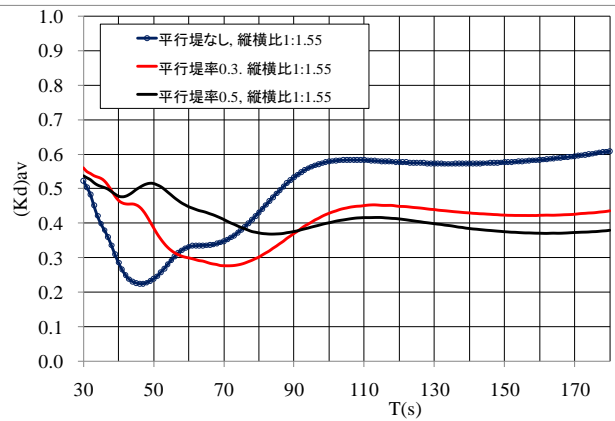


図-14 湾奥からの反射波を除去したときの港内波高比(入射角0度，共振水域縦横比 $l_w/B_w=3.5$)

この図と前出の図-5との比較から、湾奥からの反射波の影響を取り除くと、図-5で見られたような特定の波周期の条件下で現れていた極大波高比のピークは見られなくなることが分かる。このことから、港内波高を効果的に低減するには、港内の陸域境界、特に湾奥の境界における低反射化も重要と言えよう。

そして、図-14の波高比は、主に港口部に設置した防波施設の効果を直接的に表しているものと考えることができ、矩形共振装置に平行堤を付加することで、特に80s以上の長周期波の制御効果が向上できることが再確認できる。

6. 結語

以上、本研究は、新型共振装置による長周期波の制御効果を検討するため、港口部に防波施設が建設される前のロングビーチ港(原型モデル)と、矩形共振装置が港口部に設けられた現況モデル、現況モデルに平行堤を付加した(新型モデル)の3者について、港内波高分布および港内平均波高比などに着目して理論的な検討を行ってきた。このような検討結果をとりまとめると以下のようなになる。

(1) ロングビーチ港のPier Jに設けられている矩形共振装置に酷似した防波施設は、港奥からの反射波の影響が強くなる周期条件を除けば、長周期波の制御に対して効果的である。ただし、数分程度の長周期波に対しては、効果が薄れる傾向にある。

(2) 矩形共振装置に平行堤を取り付けると、周期80s以上の長周期側で波高比が4割減と更に低下することが判明した。このとき、平行堤の長さとしては、共振水域の波向き方向長の3割程度のものを設ければよい。

(3) 矩形共振装置およびこれに平行堤を付加した新型共振装置では、斜め入射波の作用に対して、直角入射波が作用するときと同程度かそれ以上の効果が期待できる。

本研究では、共振水域の形状として、縦横比を限定した条件でしか検討しておらず、今後さらに広範な条件に対して静穏化効果等に着目した詳細な検討が必要である。これについては今後続く検討課題としたい。

謝辞：本研究は、科学研究補助金・基盤研究(c)(代表者：中村孝幸，課題番号22560514)による成

果の一部である。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 菅沼 史典・神谷 昌文・渥美 洋一・小泉 信男：現地観測による長周期波の発生頻度と船体動揺発生予測の検討，海岸工学論文集，第42巻，pp.951-955, 1995.
- 2) Poon Y.K., Raichlen.F. and Walker. J.: Application of physical model in long wave studies for the Port of Long Beach, Proc.26th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.1222-1235, 1998.
- 3) 中村孝幸・森田知志・竹本剛：大型共振装置による矩形掘込み港湾での超長周期波の遮断特性について，海岸工学論文集，第48巻，pp.776-780, 2001.
- 4) 中村孝幸・Nyein Zin Latt・東和希：超長周期波の制御のための新型共振装置に関する実験的研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第66巻，pp.816-820, 2010.
- 5) 中村 孝幸・森田 知志・加藤 孝輔：鉛直線グリーン関数法による水深変化を伴う港湾域の波高分布の算定法、海岸工学論文集，第44巻，pp.16-20, 1997.