

港口部付近の波高低減を目的とする低反射型 防波堤の設置長の影響について

INFLUENCE OF INSTALATION JENGTH OF LOW-REFLECTIVE
BREAKWATERS ON THE HARBOR ENTRANCE TRANQUILITY

中村孝幸¹・高木伸雄²・中山哲巖²・宮地健司²・菊地一郎³
Takayuki NAKAMURA, Nobuo TAKAKI, Akiyoshi NAKAYAMA, Kenji MIYAJI and
Ichiro KIKUCHI

¹正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

²正会員 (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部
(〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

³日立造船㈱ プラント事業部 (〒559-8559 大阪府住之江区南港北)

For safer passage of comparatively small ships, such as fish boats, through a harbor entrance, low-reflective type breakwaters are usually adopted at the harbor entrance. However, construction cost of the low-reflective type breakwater is comparatively high as compared to a conventional vertical breakwater. In order to know the minimum and necessary length of the low-reflective type breakwaters at the harbor entrance, tranquility in the sea area near and at the entrance is examined from both the experimental and theoretical points of view. A double-walled breakwater supported by piles was used as a low-reflective type breakwater. Changing the installation length of a double-walled breakwater from the harbor mouth, wave height distributions around the harbor entrance were precisely examined.

Key Words : harbor entrance tranquility, low-reflective breakwater, economical breakwater instalation

1. 序論

外郭施設の配置等に当たっては、航路付近を中心として港外に対しても、防波施設よりの反射波の影響を最小化することや港内の水循環を維持することが求められるようになってきている。

港湾に設置される防波堤を想定するとき、既に提案されているブロック被覆堤や透過性傾斜版型防波堤¹⁾に代表される低反射型防波堤がある。しかし、建設コストの面から、港湾境界すべてにこのような形式の防波堤を適用することは困難で、直立堤や単一カーテン防波堤に代表される反射率の高い防波堤との組み合わせが必要と考えられる。

本研究では、港口部まわりを想定して低反射型防波堤の設置長を各種に変化させて、主に港外側の波高分布について検討する。そして、反射波低減領域に及ぼす設置長の影響などを明らかにする。このとき、低反射型防波堤としては、透過性防波堤でかつ低反射型の傾斜版列型2重式防波堤を対象にした。また、理論的な予測法の確立を目的として、平面透過堤に対する近似解析法²⁾による算定も行い、実験結果との比較より、設置長の影響などが推定できるかについても検討する。

2. 実験装置と実験方法

(1) 実験装置

本研究では、図-1に示す水産工学研究所の3次元造波平面水槽を用いて実験を行った。堤体は造波機から約15mの位置に、中央部に約110cm(約1波長)の港口部を有するよう配置した。また、配置した堤体は低反射機能を有する現地構造物を想定した図-2の傾斜版列型の防波堤と図-3の高反射型の単一カーテン防波堤を用いた。模型スケールは現地の約1/18である。

実験で用いた低反射型防波堤の設置長は以下の3種類とした。

- ①低反射型の設置長は、港口部から約4波長(すべて低反射型防波堤)
 - ②港口部から約1波長(110cm)が低反射型防波堤で残りが反射率の高い防波堤
 - ③港口部から約2波長(220cm)が低反射型防波堤で残りが反射率の高い防波堤
- ここで用いた波長は、傾斜版列型2重式防波堤で最も反射波の低減効果が確認されている周期 $T=0.83$

参考文献1)を参照されたい。

また、2重式防波堤のように遊水室をもつ構造体では、波の透過・反射現象に伴う位相差を知る必要がある。これは、特に平面計算において防波堤の前後面を境界に設定するとき、実在波動場での反射源は、遊水室の前壁か後壁かなど不確定なことによる。ここでは、特に反射波の位相差について試行錯誤的に検討した後に得られた位相差 72° を用いた。

一方、実際場では、各種の周期の混在する不規則波であることから、上記のような単一の規則波に対する結果が適用できるかどうか疑問である。そこで、理論的な検討のみに限定されるが、有義波周期 $T_{1/3} = 0.83$ sの1方向不規則波に対する算定も行い、規則波の結果との比較対象とした。

(2) 算定結果

(a) 反射波側

図-6~8は、低反射型堤体の各設置長に対する波高比のコンターを示す。図-9には、比較のため反射率の高い単一カーテン防波堤の設置長が全域のときの算定結果についても示す。なお、これらの図では、高波高領域が容易に判定できるように波高比が1.2より大きい海域は白抜きにしてある。すなわち、白抜き領域の大小に着目することで高波高領域の広さが判定できる。

これらの図に着目して設置長による港外側での反射波の影響領域を検討してみる。高波高領域である白抜きの面積が最も狭いのが、低反射型堤体の設置長が全域の場合で、その設置長を短くすると当然のことながら高波高領域は順次拡大することは明白である。そして、全域が反射率の高い単一カーテン防波堤のときには、航路に相当する港口部沖側の前面海域において高波高領域が比較的広く分布している。

このような航路部の高波高域は、低反射型堤体の設置長を約1波長(110 cm)、約2波長(220 cm)と拡大することで、静穏化されることが認められる。しかしながら、低反射堤体の設置の影響は、概略的に堤体前面より約5波長(550 cm)の距離までに限定され、それより以遠では順次静穏化域は狭くなる傾向が認められる。これは、波の回折効果によるものと考えられる。

(b) 透過側

次に透過側(港内側)に着目すると、各設置長において波高比の分布にほとんど差異が見られない。これは、低反射型と高反射型堤体で透過率に有意な差がないことが要因として挙げられる。

透過波の波高比は、全ケースで開口部の延長線上で0.6~0.8と高くなるが、それ以外の場所においては0.1~0.3と低くなる。これは、この周期条件($T = 0.83$ s)の透過率 C_t が0.15程度であることから透過堤の背後では波高比が低く、開口部から侵入してくる波の回折現象によって波高分布が決定されると考えられる。

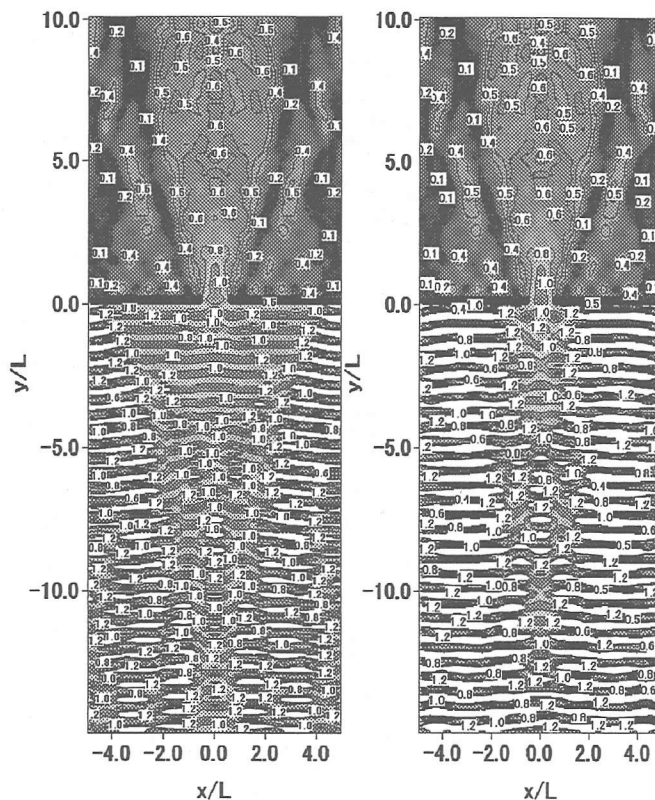


図-6 低反射型堤体の設置長が全域のときの算定結果 ($T=0.83$ s) 図-7 低反射型堤体の設置長が約1波長(110cm)のときの算定結果($T=0.83$ s)

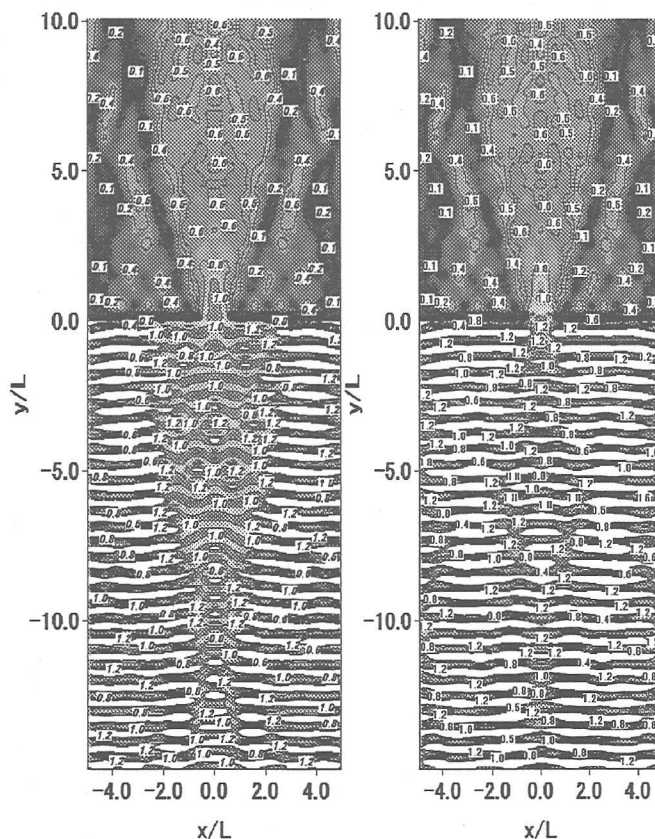


図-8 低反射型堤体の設置長が約2波長(220cm)のときの算定結果($T=0.83$ s) 図-9 高反射型堤体の設置長が全域のときの算定結果($T=0.83$ s)

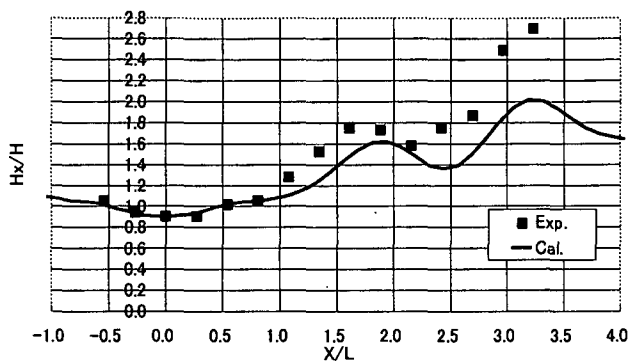


図-10 離岸距離 $3L$ 低反射型堤体の設置長 L (110 cm)
(反射側312 cm、波高 $H=5.4$ cm、波長 $L=104$ cm)

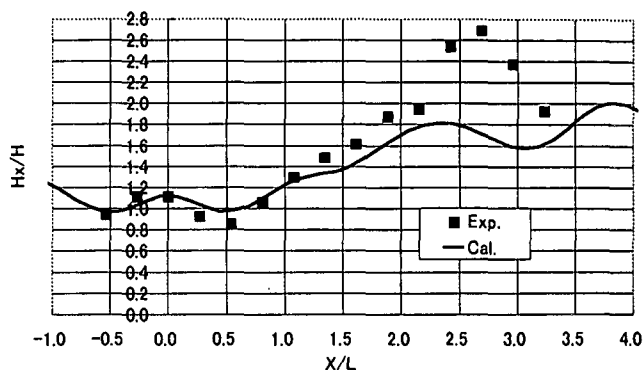


図-11 離岸距離 L 低反射型堤体の設置長 L (110 cm)
(反射側104 cm、波高 $H=5.4$ cm、波長 $L=104$ cm)

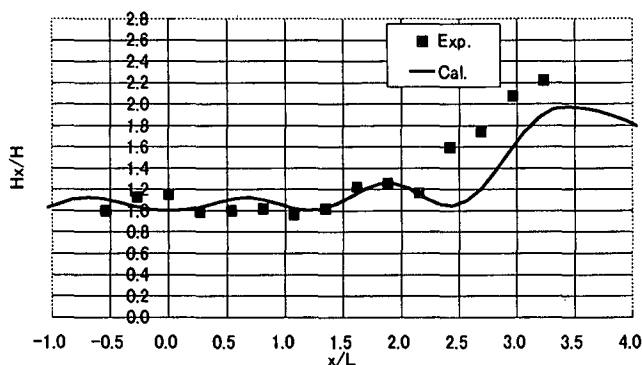


図-12 離岸距離 $3L$ 低反射型堤体の設置長 $2L$ (220 cm)
(反射側312 cm、波高 $H=5.4$ cm、波長 $L=104$ cm)

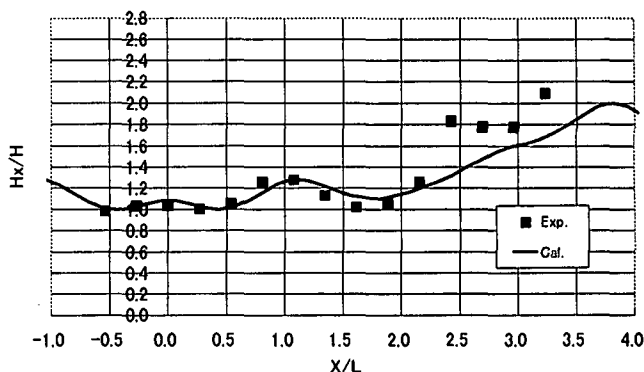


図-13 離岸距離 L 低反射型堤体の設置長 $2L$ (220 cm)
(反射側204 cm、波高 $H=5.4$ cm、波長 $L=104$ cm)

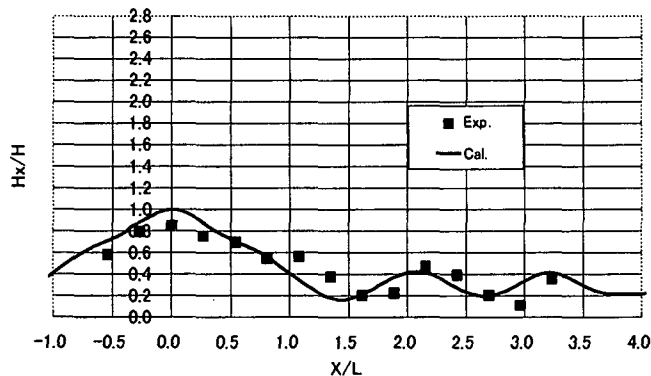


図-14 離岸距離 $-0.5L$ 低反射型堤体の設置長 L (110 cm)
(透過側52 cm、波高 $H=5.4$ cm、波長 $L=104$ cm)

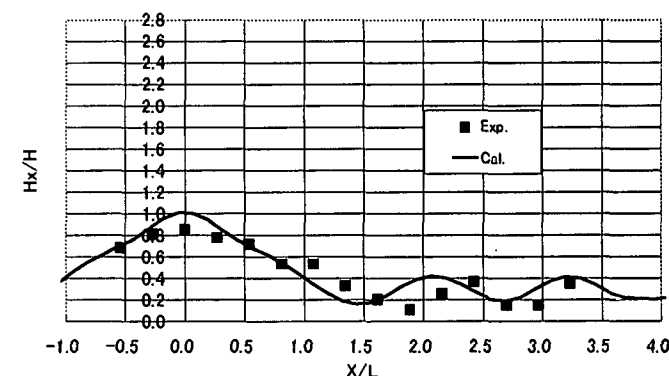


図-15 離岸距離 $-L$ 低反射型堤体の設置長 $2L$ (220 cm)
(透過側104 cm、波高 $H=5.4$ cm、波長 $L=104$ cm)

(3) 算定結果と実験結果の比較

ここでは、測線ごとの実験結果と算定結果の比較を行う。まず、反射側の結果を示す図-10、11、12、13に着目してみる。これらは、前半の2図が低反射型堤体の設置長が L (110 cm)のときに、後半の2図が $2L$ (220 cm)のときに相当する。

図中では、各測線における波高比 H_x/H (H_x :各測点の波高)の分布を示し、比較のため算定結果も併せ示す。なお、 x 軸の原点は開口部の中心に、 y 軸の原点は反射・透過側ともにそれぞれ堤体の前後壁としてある。

これらの図から実験結果と算定結果は各設置長において波高分布および絶対値ともにほぼ一致してい

る。しかし、平面的な重複波の腹となる場所では、実験結果において波高比が2以上と算定結果を上回る場合も見られる。これは平面水槽の側壁の影響によるものと推測されるが定かでない。

これら波高分布の実験結果においても、上記の算定結果の所で述べたように、低反射型堤体の設置長に比例して低反射領域が存在することが再確認できる。

図-14、15は、低反射型堤体の設置長が L および $2L$ のときの港内側における測線上の波高分布を同様にして示す。いずれの設置長の場合も実験結果と算定結果はよく一致している。また、設置長による透過波高への影響はほとんどみられない。

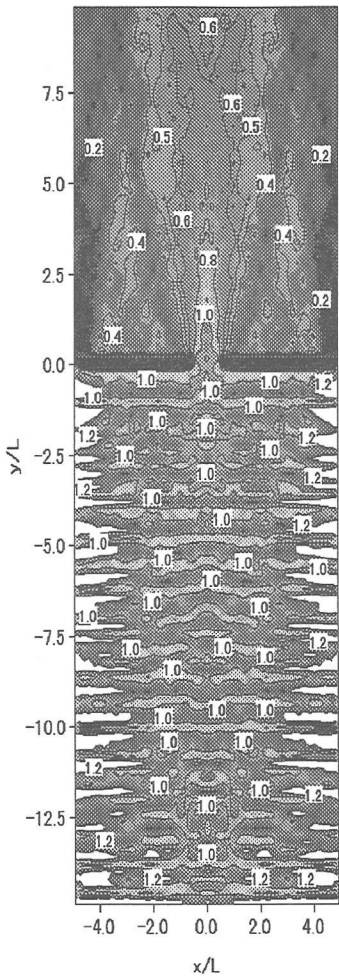


図-16 低反射型堤体の設置長が全域のときの算定結果 (T1/3=0.83s)

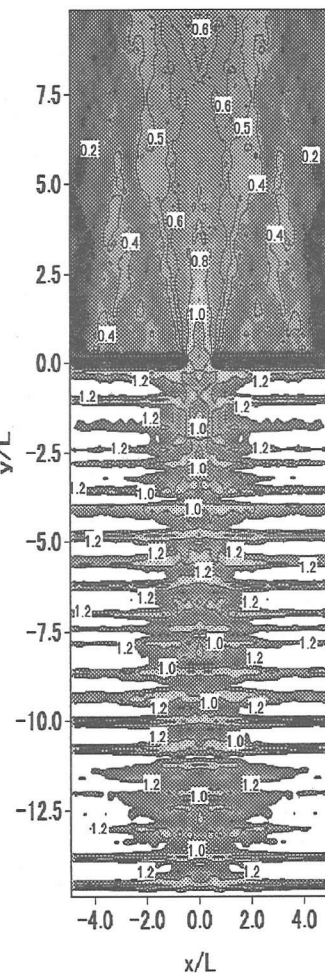


図-17 低反射型堤体の設置長が約1波長(110cm)のときの算定結果(T1/3=0.83s)

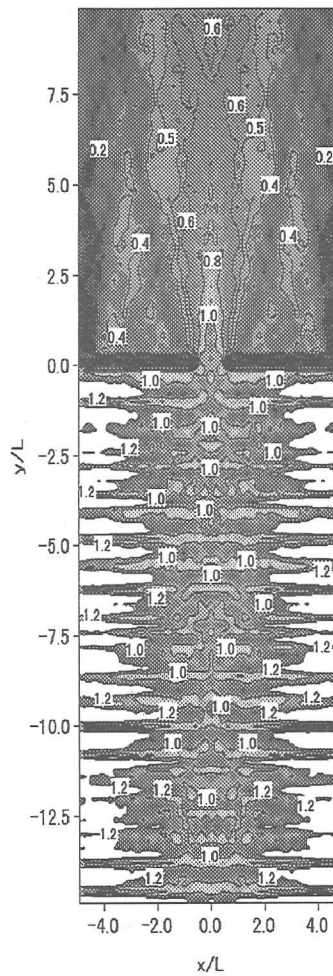


図-18 低反射型堤体の設置長が約2波長(220cm)のときの算定結果(T1/3=0.83s)

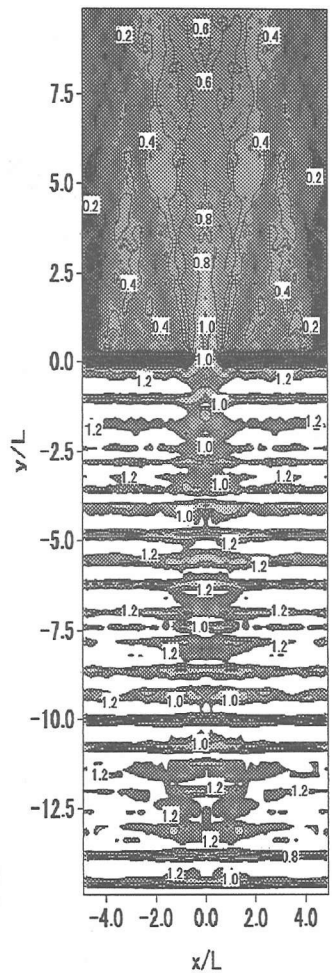


図-19 高反射型堤体の設置長が全域のときの算定結果 (T1/3=0.83s)

(3) 不規則波の算定結果

不規則波の理論算定で用いた透過・反射率は、図-4, 5に示した断面2次元実験の透過・反射率の結果をエネルギー平均したものを用いた。具体的には、低反射型堤体の場合、反射率 $C_r=0.25$ 、透過率 $C_t=0.22$ を、反射率の高い単一カーテン防波堤の場合、反射率 $C_r=0.75$ 、透過率 $C_t=0.33$ を用いた。

図-16~18は、低反射型堤体の各設置長での不規則波に対する算定結果を、図-19は反射率の高い単一カーテン防波堤の設置長が全域のときの算定結果を示す。

透過側に着目すると、規則波の時と同様に低反射型堤体の設置長による影響はほとんど見られない。これは、規則波と同様に堤体構造による透過率に有意な差がないことによる。

次に反射側について検討する。図中の白い領域は波高比1.2以上の高波高領域である。図-19の反射率の高い単一カーテン防波堤の設置長が全域の場合、堤体前面のみならず港外側全域に高波高領域が分布する。一方、図-16の低反射型堤体の設置長が全域

の場合、高波高領域はあまりみられず、全体的に反射側は静穏化されている。

設置長による影響を検討すると、規則波の場合に類似して低反射型堤体の設置長が長くなると、それに比例して堤体前面の静穏化領域は拡大する。また、規則波では堤体前面より5波長以上離れると、低反射領域は狭くなる傾向にあったが、不規則波の場合には、低反射領域は狭まることなく沖合まで広がっている。

4. 結語

- (1) 低反射型堤体の設置による港外側の低反射領域は、規則波の場合、堤体からの離岸距離が5波長程度までは、設置長にほぼ比例して現れる。しかし、それ以上離れると低反射領域は狭まる傾向にある。一方、不規則波の場合、その低反射領域は狭まることなく沖合まで広がるなどの特性が認められる。
- (2) 港口部防波堤背後の港内側では、低反射型防

参考文献

波堤および反射率の高い防波堤にかかわらず波高分布はほぼ等しく、これは、採用した両防波堤による透過波の制御効果がほぼ等しいことによる。

(3) 平面透過堤の効果を近似的に取り扱う解析法を用いて、透過性構造の港口部防波堤まわりの波高分布をほぼ推定することができる。

- 1) 中村孝幸, 高木伸雄, 中山巖哲, 河野徹, 森田嘉満, 菊地一郎: 傾斜版列型杭式防波堤の波浪制御効果に及ぼす上部工の影響について, 海洋開発論文集, 第17巻, pp.327-331, 2001.
- 2) 中村孝幸, 佐伯信哉: 透過堤を含む港湾域の波高分布の算定法に関する研究, 海洋開発論文集, 第15巻, pp.339-344, 1999.