

傾斜版列を有する海水交換防波堤の水理機能に 及ぼす通水部高さの影響について

INFLUENCE OF CLEARANCE HEIGHT BELOW A WATER CHAMBER OF INCLINED PLATE ARRAY AS A FRONT WALL ON THE BREAKWATER FUNCTIONS

中村 孝幸¹・中村 英輔²・楨本 一徳³

Takayuki NAKAMURA, Eisuke NAKAMURA and Kazunori MAKIMOTO

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学正会員 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正会員 博士(工) 復建調査設計(株) 水工技術部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町2丁目11-31)

In the previous study, we have developed a water chamber type breakwater with a dissipative front wall comprised of inclined plate array and a horizontal plate at the bottom. It was intended as an improved water chamber type breakwater comprised of impermeable walls. Especially for the use in the sea area where the tidal difference is comparatively large, say larger than 3m difference. In this study, supposing that the clearance height between the bottom plate of a water chamber and a sea floor is comparatively large because of supporting piles in deep sea, influence of the clearance height on the performance of the breakwater has been examined extensively. For instance, wave transmissions and reflections, and also mean currents about the breakwater. It has become known that the clearance height is not so critical for the breakwater performance.

Key Words: *Water chamber, inclined-plate-array, water exchange, wave energy dissipation, pile supported breakwater*

1. はじめに

港湾施設の外郭に設置されている防波堤や護岸は、港内水域の静穏度を維持し、また高波や津波を低減して陸上の港湾施設を守るための施設である。しかしながら、従来の防波施設は不透過性構造のものが多用されており、港湾内が閉鎖性水域になりやすく、港湾域の水質汚染の原因の一つと考えられている。

これまでに著者ら^{1),2)}は、没水平版を設けた前面壁を傾斜版列とする二重式カーテン防波堤（以下、傾斜版列防波堤）を提案し、潮位差の大きい海域に対してもその影響をほとんど受けることなく波浪制御効果および海水交換機能が発揮できることなどを示した。また、港湾を想定した場合の港内静穏化効果や海水交換機能についても平面実験により検討してきた。この際、断面構造において、海水交換用の通水部高さが比較的狭いものを検討の対象にしてき

た。しかしながら、実際場では杭式構造を想定しているため、大水深域となる場合もあり、このとき必然的に海底までの通水部高さも増大することになる。

本研究は、このように構造体下部の通水部高さが大きくなる大水深海域を想定して、波浪制御効果および海水交換機能に及ぼす傾斜版列遊水室型防波堤の通水部高さの影響について明らかにする。この際、通水部高さが低い場合についても、同様に検討を行い、比較検討に用いた。

2. 実験条件および実験方法

(1) 実験装置

実験には、愛媛大学工学部の2次元造波水槽（長さ30m×幅1.0m×高さ1.25m）を使用した。その諸元を図-1に示す。水路内には、1/30勾配のスロープが設けてあり、それに接続するように水平床を設けた。水平床上には、水路を2分するように隔壁を設け、一方では入射波を、もう一方では堤体を設置し、反射・透過波などを同時に測定できるようにし

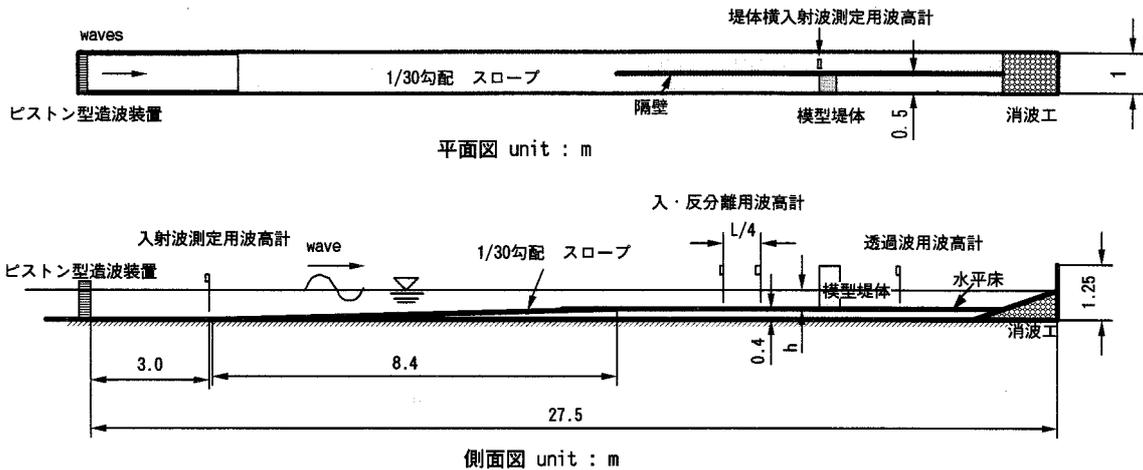


図-1 実験水路および波高計の設置位置

た。水槽の一端には、造波装置があり、他端には透過型の消波工を設置した。消波工部分の隔壁は、一部を開放しており、平均流発生による堤体前後の水位差がなるべく生じないように工夫してある。

(2) 模型堤体

実験では、図-2 に示す2種類の傾斜版列防波堤を用いた。図-2 (a) に示す堤体は、著者らが従来において効果的な断面（以下、基本形状）として推奨したものに相当する。これに対して図-2 (b) に示す堤体は、基本形状の構造において没水平版下部の通水部高さ dt を大きくした構造（以下、通水部高さ大）に相当する。なお、両者で前面吃水深 d が多少異なる（18cm と 19cm）が、通水部高さの相違に比べれば十分に小さく、あまり影響はないと考えられる。このとき、想定した模型縮尺は 1/25 であり、設置水深 h はそれぞれ実際場に換算すると 10m と 17m になる。

(3) 実験方法および実験条件

実験では装置として、容量式波高計とドップラー流速計を用いた。

容量式波高計は、波変形の測定のために用い、計5台設置した。図-1 に示すように入射波測定用に沖側と堤体横に2台、入反射波測定用に2台、透過波測定用に1台設置した。なお、反射波の推定には、入・反射波の分離推定法³⁾を用いた。

ドップラー流速計は、通水部での平均流速の測定のために用い、図-2 に示すように基本形状の模型では1台、通水部高さ大の模型では3台用いた。このとき、通水部全体の海水交換量は、各位置で測定された平均流速に各代表長を乗じて近似的に求めた。

実験で用いた水深 h は、基本形状では $h=40$ cm (HWL) とした。また、通水部高さ大では $h=62$ cm を平均水位 (MSL) として、潮位による影響を検討するときに高潮位の水位として $h=67$ cm (HWL) とした。このとき実際場での潮位差は 2.5m 程度を想定して

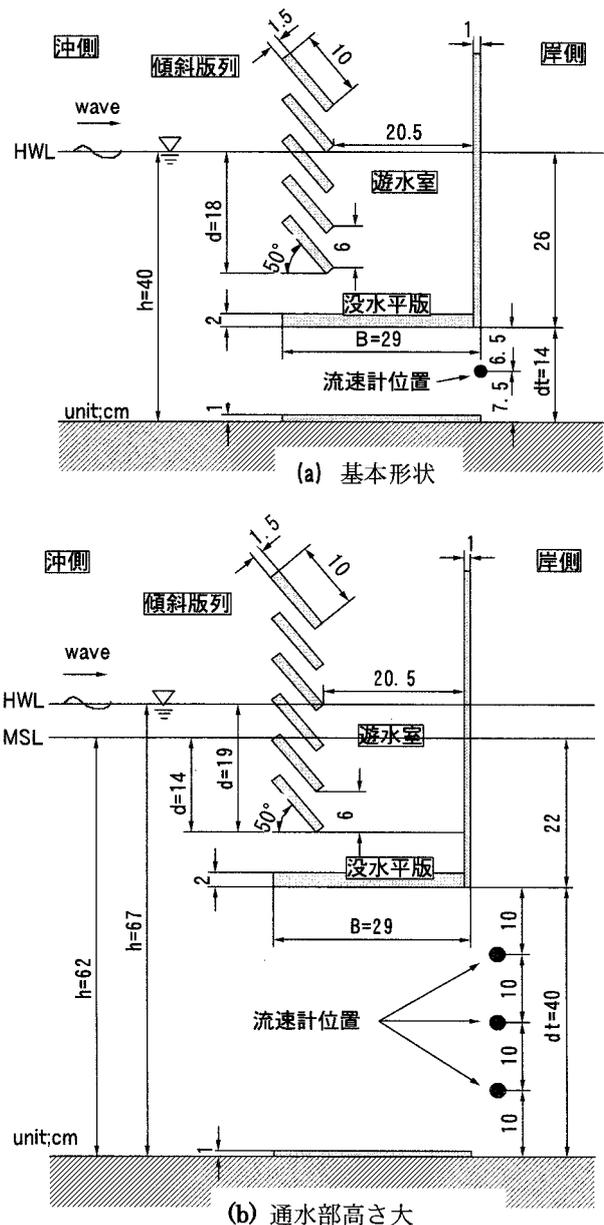


図-2 傾斜版列防波堤の模型と流速計の設置位置

いる。入射波は、入射波高 H が 5cm, 10cm (現地換算で 1.25m, 2.5m) の 2 種類を用いた。なお、通水部高さ大の HWL では入射波高 H は 5cm のみを用いた。周期 T は 0.8~2.2s の範囲内で複数の条件を採用した。

3. 基本形状との比較

(1) 波浪制御効果

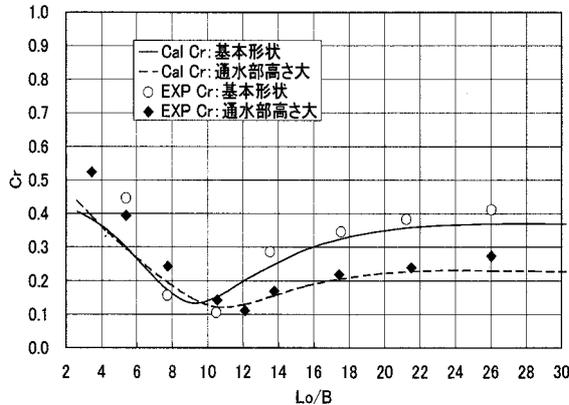


図-3 基本形状 ($d/h=0.45$) と通水部高さ大 ($d/h=0.25$) の反射率 Cr (HWL, $H=5\text{cm}$, $fc=0.35$)

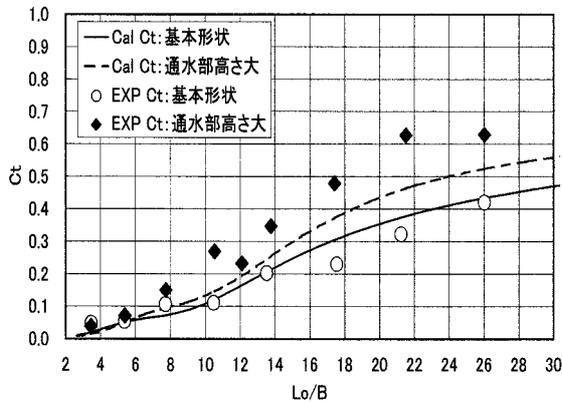


図-4 基本形状 ($d/h=0.45$) と通水部高さ大 ($d/h=0.25$) の透過率 Ct (HWL, $H=5\text{cm}$, $fc=0.35$)

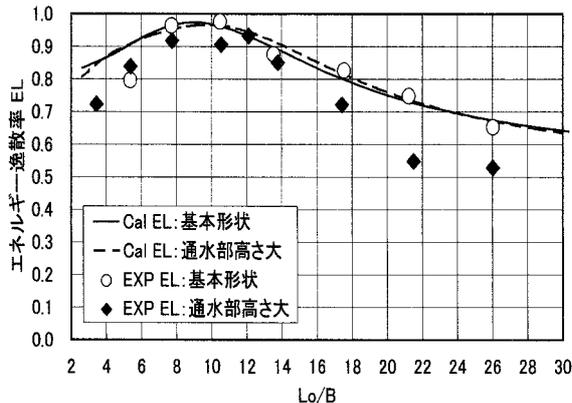


図-5 基本形状 ($d/h=0.45$) と通水部高さ大 ($d/h=0.25$) のエネルギー逸散率 EL (HWL, $H=5\text{cm}$, $fc=0.35$)

図-3, 4 は、基本形状と通水部高さ大におけるそれぞれ反射率 Cr , 透過率 Ct の実験結果と算定結果を、周期を表すパラメータとして Lo/B (沖波波長堤体幅比) による変化で示す。このとき、理論算定には、渦流れ等に起因するエネルギー逸散を近似的に考慮する減衰波理論に基づく数値解析法⁴⁾を用いた。算定では、等価線形抵抗係数 fc が必要とされるが、ここでは実験結果と比較して定量的に妥当であった抵抗係数 $fc=0.35$ を用いた。この抵抗係数値は、従来の傾斜版列防波堤の理論的な検討¹⁾でも用いられている。

反射率 Cr は、実験結果および算定結果ともに通水部高さ大の方が基本形状よりも小さくなり、通水部高さ大では、 Cr の極小値が基本形状より長周期側に移行することなどが認められる。一方、透過率 Ct は実験結果と算定結果ともに通水部高さ大の方が基本形状より $Lo/B=14$ 付近から大きくなることが確認できる。

以上のことより、没水平板下部の通水部が大きくなることにより透過波が増大し、その分反射波が減少するようになることが確認された。これら二つの堤体では、 d/h (吃水・水深比) が 0.45 と 0.23 と大きく異なるが、反射・透過率の周期特性はそれほど大きな差異が見られない。

図-5 は、基本形状と通水部高さ大におけるエネルギー逸散率 EL の実験結果と算定結果を、 Lo/B による変化で示す。エネルギー逸散率 EL は、実験結果および算定結果ともに堤体にかかわらず極大値が $Lo/B=9\sim11$ 付近となり、長周期側に移行するにつれて両堤体の実験値との間に若干の差が出るということが認められる。

(2) 海水交換機能

図-6 は、基本形状と通水部高さ大における海水交換量 Q^* の実験結果を Lo/B (沖波波長堤体幅比) による変化で示す。海水交換量 Q^* は、波一周期当たりの単位幅輸送流量 Q として算出し、進行波半周期間の移動水塊量 $HL/2\pi$ で除したものである。ここでは、冲向きの流量を負として定義した。基本形状は $Q^*=-$

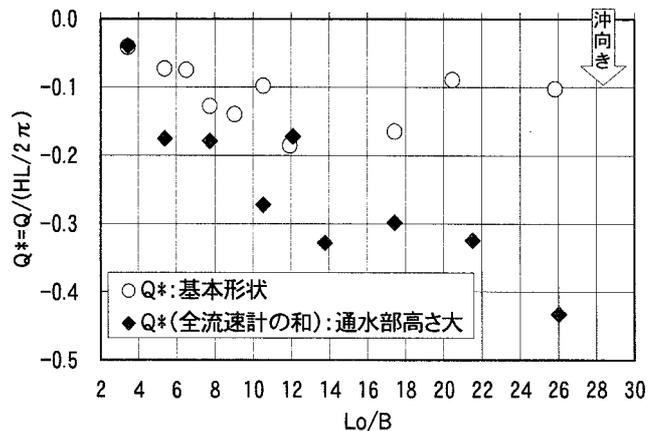


図-6 基本形状 ($d/h=0.45$) と通水部高さ大 ($d/h=0.25$) の海水交換量 Q^* (HWL, $H=5\text{cm}$)

0.1~0.2程度であるのに対し、通水部高さ大では $Q^* = -0.15 \sim -0.4$ 程度の値となり、通水部高さ大は基本形状より海水交換量が増大することが確認できる。以上のことより、通水部の高さが大きくなれば流水断面積の増加により海水交換量が増大することが分かる。

4. 潮位による影響

(1) 波浪制御効果

図-7, 8 は、通水部高さ大の MSL と HWL におけるそれぞれ反射率 Cr 、透過率 Ct の実験結果と算定結果を Lo/B による変化で示す。このとき、理論算定では、やはり等価線形抵抗係数 fc を 0.35 とした。反射率 Cr は、算定結果はほぼ同様の値であるが、実験結果は長周期側で HWL が MSL よりも大きくなり、 Cr の極小値が HWL では MSL より短周期側に移行することなどが認められる。一方、透過率 Ct は実験結果と算定結果ともに潮位による影響は小さくほぼ同程度の値を示す。以上のことより、潮位が高くなることにより吃水深が深くなり、反射波が多少大きくなるものの、透過率についてはほとんど差異のないことなどが判明した。

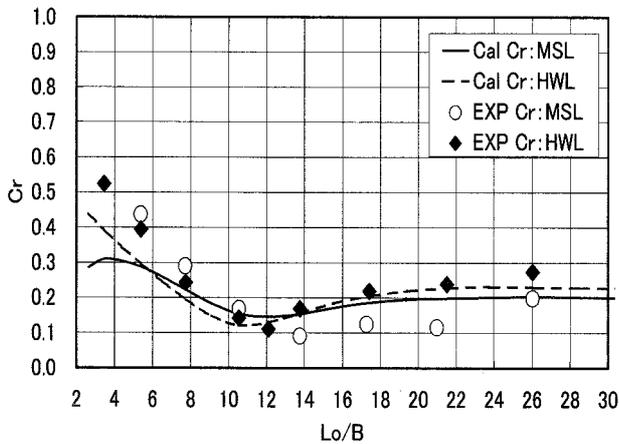


図-7 MSLとHWLの反射率 Cr ($H=5\text{cm}$, $fc=0.35$)

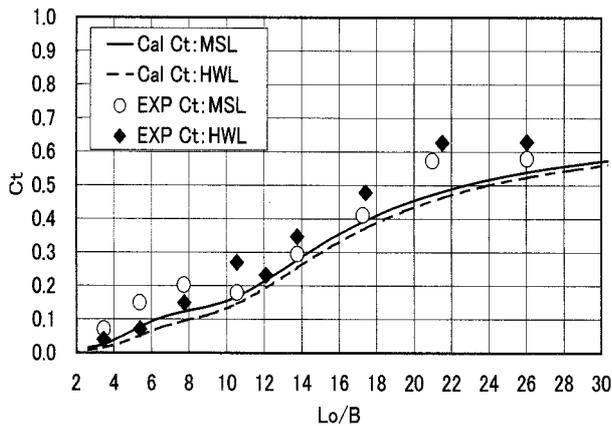


図-8 MSLとHWLの透過率 Ct ($H=5\text{cm}$, $fc=0.35$)

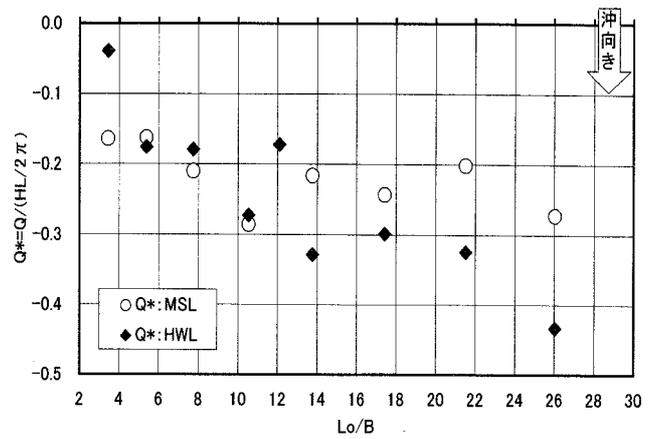


図-9 MSLとHWLの海水交換量 Q^* ($H=5\text{cm}$)

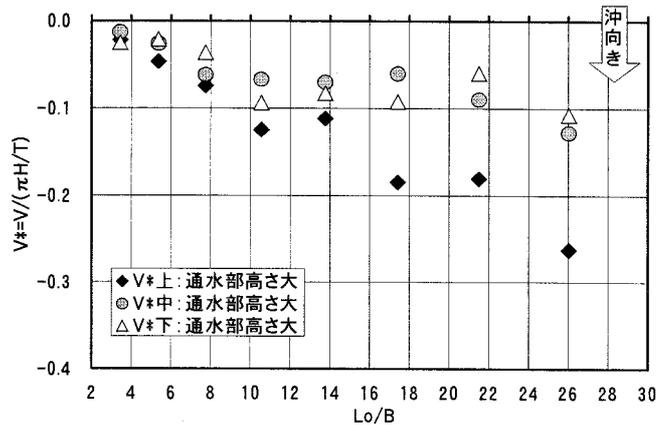


図-10 通水部高さ大の平均流速 V^* (MSL, $H=5\text{cm}$)

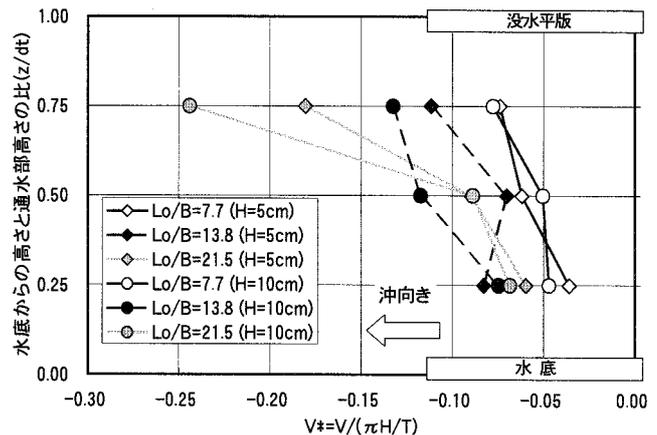


図-11 通水部高さ大の平均流速分布 V^* (MSL)

(2) 海水交換機能

図-9 は、通水部高さ大の MSL と HWL における海水交換量 Q^* の実験結果を Lo/B (沖波波长堤体幅比) による変化で示す。ここでは、沖向きの流量を負として定義した。海水交換量 Q^* は、長周期側に移行するにつれて HWL が MSL より大きくなることを確認できる。以上のことより、通水部高さ大は潮位に関係なく沖向きへの平均流を生成することが認められる。

図-10 は、通水部高さ大の MSL における平均流速 V^* の実験結果を Lo/B による変化で示す。このとき、

3 台の流速計による実測結果を示す。進行波の流速振幅で無次元化した平均流速 V^* はどの周期においても冲向きの流れを示すことが確認できる。周期による差異に着目すると、周期に関係なく中央・下側の流速計はよく似た値を示しているのに対し、上側の流速計は長周期側に移行するほど増大する傾向が認められる。これは、水平版の直下では他の位置に比べて、傾斜版列下部にできる渦の影響が大きいと考えられる。

図-11 は、通水部高さ大のMSLにおける平均流速 V^* の実験結果を波高 $H=5, 10\text{cm}$ に対し、 $L_0/B=7.7, 13.8, 21.5$ の周期条件で z/h (底からの高さを通水部高さの比) による変化で示す。平均流速は鉛直位置により異なり、没水平版に近くなるほど増加する傾向が認められる。そして、長周期に移行するにつれて平均流の鉛直分布に差が出ることも確認できる。また、水底付近でも冲向きの平均流が発生していることがわかる。波高の大きさにより多少値に差が生じているが、鉛直分布の傾向はほぼ類似しているといえる。

5. 結論

(1) 傾斜版列防波堤では通水部高さを大きくした場合、それが狭い基本形状のものと比較して、反射波の低減効果は維持できるのに対し、透過波は長周期側になるほど増大する傾向にある。これは通水部を介しての透過エネルギーが増大するためである。

(2) 通水部高さを大きくした傾斜版列防波堤は、その狭い基本形状のものに比較して、流水断面積の増加により、海水交換量は増加する傾向にある。このとき、平均流はやはり沖側へ向かうように現れ、港内水を港外へ引き出す方式の海水交換が可能となる。なお、平均流の流速は、遊水室の底版に近い位置で沖側方向に最大となり、水底に向かうにつれて低下する傾向にある。

(3) 傾斜版列防波堤で通水部高さが大きい構造では、潮位が高くなると、構造体の吃水深が深くなるため反射波は大きくなるが、透過波についてはあまり変化がみられない。また、潮位に関係なく冲向きへの平均流が発生することから、海水交換に有意な構造断面であると考えられる。

参考文献

- 1) 楨本一徳, 中村孝幸: 傾斜版列を有する遊水室型海水交換防波堤の効果について, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.696~700, 2006.
- 2) 楨本一徳, 中村孝幸: 没水平版有する傾斜版列型杭式防波堤の港湾域における効果について, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp., 2007.
- 3) 合田良美, 鈴木康正・岸良安治・菊池治: 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料, No. 278, pp. 3-24, 1974.
- 4) 中村孝幸・井手善彦: 波の逸散現象を利用した隅角物体まわりの波変形と作用波力の算定法: 海洋開発論文集, 第 13 巻, pp177-182, 1997.