

透過堤を含む港湾域の波高分布の 算定法に関する研究

A NUMERICAL COMPUTATION METHOD ON WAVE HEIGHT DISTRIBUTION IN A HARBOR WITH PERMEABLE BREAKWATERS

中村孝幸¹・佐伯信哉²

Takayuki NAKAMURA and Shinya SAEKI

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番)

²正会員 ㈱荒谷建設コンサルタント(〒790-0045 松山市余戸中2丁目1番2号)

An approximate method for solving wave boundary-value problems about a harbor consisting of impermeable and permeable boundaries, such as rubble mound breakwaters and vertical breakwaters, is developed. The vertical line source Green's function method was basically used for efficient computations. Extensions of the method to the permeable boundary conditions were examined precisely. It was confirmed that the approximate method developed here is very effective for estimating wave height distributions in a harbor with permeable breakwaters.

Key Words: Wave height distribution, harbor, permeable breakwater, wave transmission

1. まえがき

近年、港湾域では、その周辺海域への影響の軽減や港内の水循環の改善などを目的として、透過性防波堤が多用されるようになってきている。従来、平面波浪場での透過性防波堤の取り扱い、透水層型の透過堤を対象にした算定法¹⁾や、浮防波堤など不透透性部材で構成される透過堤を対象にした算定法²⁾などが知られている。しかしながら、これらの算定法では、透過堤の流体力学的な特性を表すための抵抗係数や慣性係数を必要としたり、浮防波堤の例のようにその具体的な外郭寸法や動的諸量などの詳細な情報が必要とされる。

一般に、港湾計画の段階では、防波堤の具体的な形式や断面等が詳細に与えられることは少なく、単にその透過・反射率等が設定されることが多い。このような状況下では、上記したような従来の方法の適用は困難で、透過・反射率を入力とするような簡易的な透過堤の取り扱い方法が望まれる。

本研究は、このような透過・反射率を入力とする透過堤の簡易的な取り扱い方法を明らかにするもので、具体的には港湾域での波高分布の算定法としてよく利用され

ている鉛直線グリーン関数法に基づく近似解析法を展開する。そして、算定法の適用性を検討するため、多孔壁で構成される透過性堤体群に対する水理実験結果や、港湾域に配置された浮防波堤列を対象にした従来の厳密解析法²⁾による算定結果との比較を行う。

2. 鉛直線グリーン関数法による近似解析法

ここでは、基本的には不透透堤に対する結果を利用して、この結果に透過堤よりの透過波の影響を線形的に重ね合わせるという近似的な取り扱いにより、透過堤を含む港湾域の波高分布の算定法を展開する。このとき、透過堤の特性は、透過率および反射率などで表されることになる。

(1) 透過波の影響の近似的な取り扱いとその算定ステップ

図-1に示すような港湾があり、その陸域境界は不透透な護岸で構成され、この海域中に透過堤がある場合を想定する。このとき、陸域の境界線を C_L 、透過堤の周辺境界線を C_p とする。

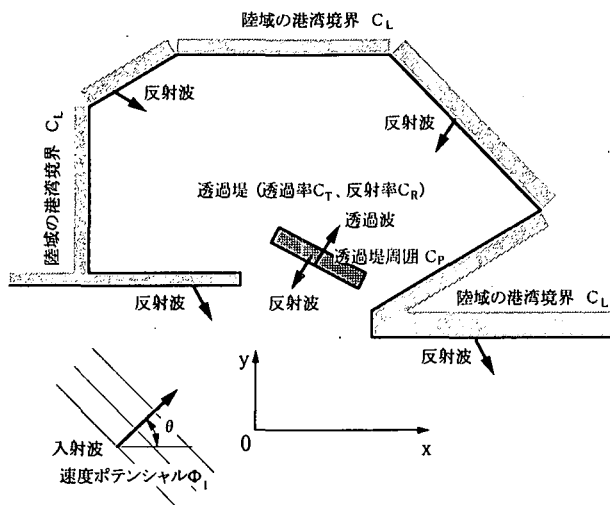


図-1 解析モデル及び座標系

この港湾に、図中に示すように波向き θ で平面波が作用すると、陸域境界からは反射波が、透過堤からは反射波と透過波の両者が現れることになる。

鉛直線グリーン関数法³⁾は、進行波型の波のポテンシャルを仮定しており、水深方向に断面が変化する構造物や捨石堤などの透水層型の構造物に対して直接的に適用することはできない。これは、水深方向に断面が変化する構造物であれば、構造物の近傍で減衰定常波の影響が重要となるのに、そのような波成分を解析の中に含んでいないことによる。

既によく知られているように、減衰定常波は構造物より波長以上離れると急激に減衰する。そして、鉛直線グリーン関数法では、この減衰定常波の影響がなくなり、構造物より離れた位置での波面形状を仮想的に想定して境界条件を設定せざるを得ない。ここでは、鉛直断面内における1次元的な取り扱いから得られる透過率および反射率という指標を用いて、上記した仮想的な波の境界条件を設定してみる。

本研究では、次に述べる算定ステップに基づき、反射波のみならず透過波の影響も考慮することを試みた。

<ステップ①> 透過堤を不透過堤とみなし、港湾域内での反射波の算定を行う。

<ステップ②> 入射波と①での反射波を併せて、透過堤に作用させ、透過波の算定を行う。このとき、透過堤自身よりの反射波の影響は考慮しない。

<ステップ③> 透過堤よりの透過波を入力として、港湾域全体よりの反射波を算定する。このとき、透過堤自身よりの再反射波の影響も考慮する。

<ステップ④> 透過堤に、③で算定された反射波を再度作用させて透過波の算定を行う。このとき、透過堤自身よりの反射波の影響は考慮しない。

<ステップ⑤> 透過堤を透過する波あるいはその反射波が十分に小さくなるまで③、④のステップを繰り返す、求められた各結果を線形的に重ね合わせることで最

終的な波高分布を求める。

なお、上記のステップ②、④で、透過堤を抜ける透過波の算定において、透過堤を除く外部よりの反射波のみの影響とする理由は、透過堤を抜ける透過波にはその堤体自身よりの反射波は影響しないことによる。

(2) 平面波浪計算における透過波の算定法

透過堤を抜ける透過波の速度ポテンシャル ϕ_T は、透過率 C_t と透過現象に伴う位相差 δ_t を用いて表せると仮定する。簡単のために図-2に示すような直線境界を有する島堤に入射波が作用し、後面に透過波が抜ける場合を考える。

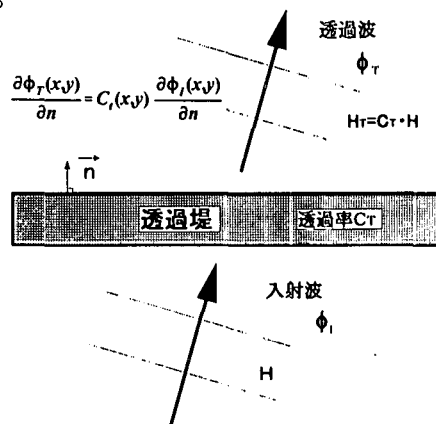


図-2 透過堤における透過波の取り扱い

このとき、透過波は、入射する波と同方向に伝播し、しかもその透過波高が入射波高に透過率を乗じた量で与えられ、入射する波に比較して設定された位相差だけ遅れが生じるとする。このとき、透過波の水面変動 η_T は、透過堤に入射する波 η_I を用いて次式で表される。

$$\eta_T(x, y; t) = C_t \eta_I(x, y; t) e^{i\delta_t} \quad (1)$$

また、透過波の伝播方向は、透過現象により変化しないと仮定していることから、その法線微分と入射する波の速度ポテンシャル ϕ_I との間には次式が成立しなくてはならない。

$$\frac{\partial \phi_T(x, y)}{\partial n} = i(k_x n_x + k_y n_y) C_t(x, y) \phi_I(x, y) e^{i\delta_t} \quad (2)$$

(x, y) on C_p

ここに、 (k_x, k_y) :波数 k の x, y 成分、 (n_x, n_y) :透過堤の断面曲線上における外向き単位法線ベクトルの x, y 成分、 $\partial/\partial n$ はその法線方向への微分を示す。

3. 規則的配列された透過堤群に対する適用性

(1) 実験装置及び実験方法

平面波浪実験で用いた模型堤体は、塩化ビニール製の有孔板で製作した。板には、図-3(a)に示すように、

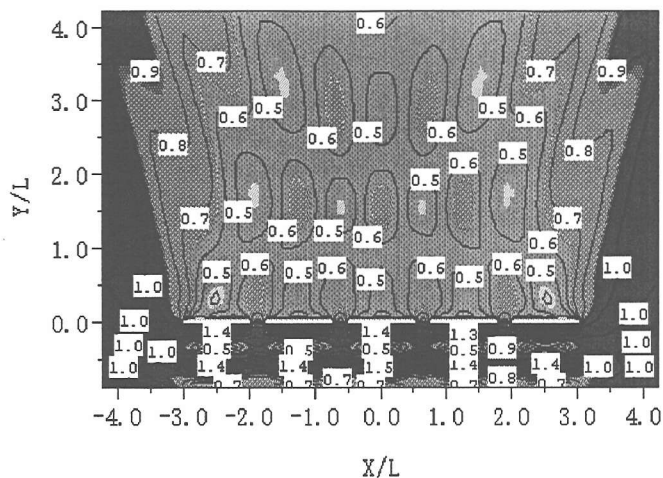


図-5 多孔壁透過堤まわりの波高比 K_d
($T=0.90s$, $\lambda/L=1.2$, $H=5.0cm$, $\lambda=150cm$)

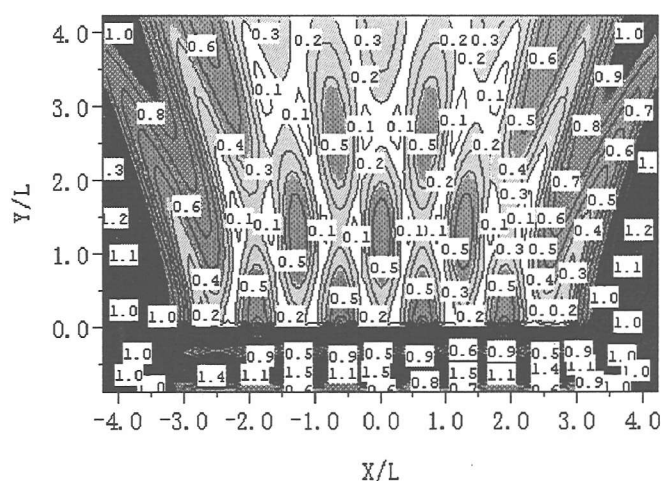


図-6 不透堤まわりの波高比 K_d
($T=0.90s$, $\lambda/L=1.20$, $H=5.0cm$, $\lambda=150cm$)

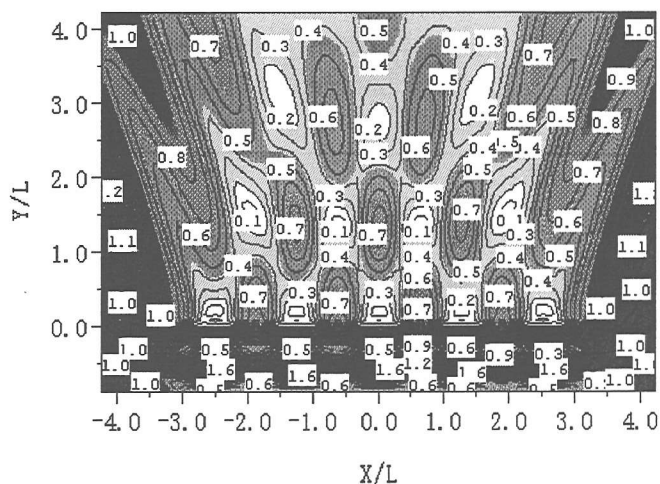
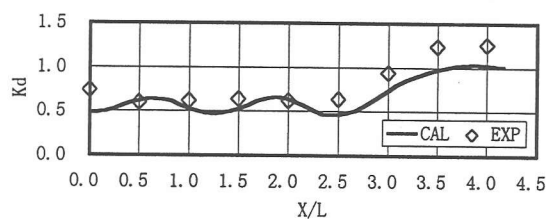
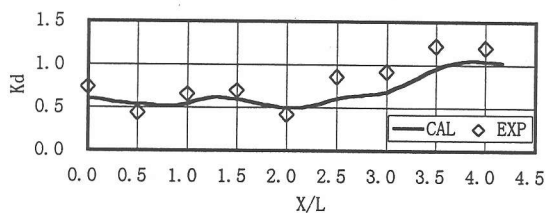


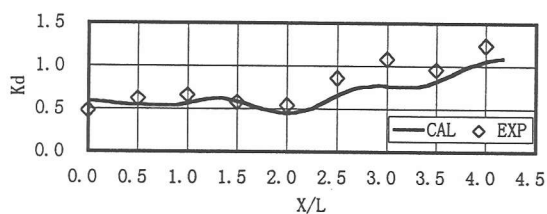
図-7 多孔壁石詰透過堤まわりの波高比 K_d
($T=0.90s$, $\lambda/L=1.20$, $H=5.0cm$, $\lambda=150cm$)



$Y/L=0.5$

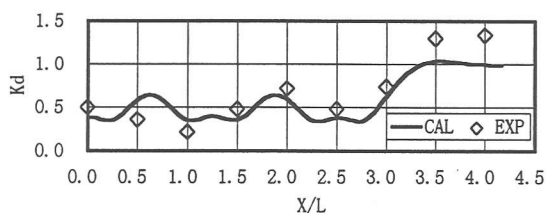


$Y/L=1.0$

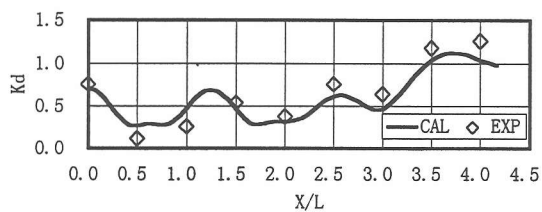


$Y/L=2.0$

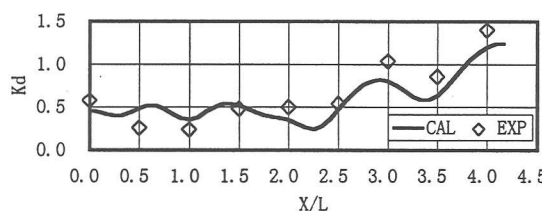
図-8 多孔壁透過堤の透過側における波高分布
($T=0.90s$, $\lambda/L=1.20$, $H=5.0cm$, $\lambda=150cm$)



$Y/L=0.5$



$Y/L=1.0$



$Y/L=2.0$

図-9 多孔壁中詰石透過堤群の透過側における波高分布
($T=0.90s$, $\lambda/L=1.20$, $H=5.0cm$, $\lambda=150cm$)

用いた。多孔壁石詰透過堤の場合、前出の多孔壁透過堤に比較すると、透過、反射率の特性から、透過側の波高は全般的に低下し、反射側では増加する。そして、不透過堤の場合の算定結果により近づく傾向が認められるが、やはり透過波の影響により、腹と節における波高比の差は低下し、より一様な波高分布になるようである。

(3) 実験結果と算定結果の比較

図-8は、多孔壁透過堤群の透過側における代表測線上での波高比 K_0 （入射波高との比）の分布を示す。図中には、算定結果および実験結果の両者が示しており、算定結果は前出の波高分布の結果で特定の測線上における波高比を再プロットしたものである。これらの結果を比較すると、両者の間に多少の差異が見られるが、堤体群の端部付近で波高比が増大し、中央部で低下するなどの定性的な特性はほぼ一致している。

次に、図-9は、多孔壁石詰透過堤の場合の実験結果と算定結果の比較を、図-8と同様にして示す。両結果は、定量的に多少の差異が見られるが、定性的にはほぼ一致している。そして、図-8の多孔壁透過堤の場合に比較すると、波高の空間的な変動が増大することなどが再確認できる。なお、実験結果と算定結果の比較において、配列堤体群の端部付近における差異が目立つが、これは平面波の実験時における波の峰線方向における波高の非一様性によると考えられる。

4. 透過堤を含む港湾域に対する検討

ここでは、浮防波堤など不透過面で構成される透過堤が港湾域に含まれる場合について近似解析法の妥当性を検討する。このとき、比較のため、浮防波堤などによる透過・反射現象や周辺港湾境界の影響が直接的に考慮できる中村・大森⁴⁾による3次元グリーン関数法と鉛直線グリーン関数法を結合した解析法による算定も行った。

(1) 算定モデルと透過堤の特性

算定モデルは、図-10に示すもので、矩形港湾の沖側開口部に複数基の浮防波堤が直線的に配列されている。ただし、浮防波堤としては、算定が容易で現象が単純となるように、水面に固定されている状態を想定した。港湾域の水深は一定で $h=10\text{m}$ とし、港湾内の陸域境界の反射率は $Cr=0.5$ に、港湾外の陸域境界の反射率は $Cr=0.4$ とした。また、近似解析法で必要となる浮防波堤の透過・反射率は、断面2次元解析による結果が適用できると仮定した。

図-11は、この固定された浮防波堤の断面2次元解析による透過率及び反射率の算定結果を示す。算定には、中村・森田⁴⁾による斜波条件を考慮できる2次元グリーン関数法に基づく算定法を用いた。図中では、浮防波堤の長辺側より波が直角に入射する場合（ $B=12\text{m}$ と略記）

及びその短辺側より直角に入射する場合（ $B=25\text{m}$ と略記）の両結果が示してある。

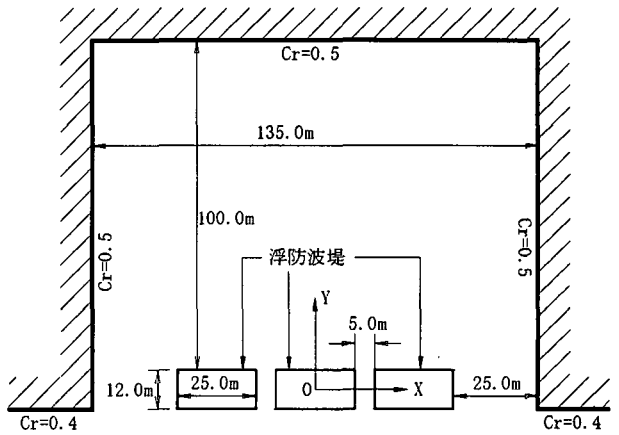


図-10 解析の対象にした港湾

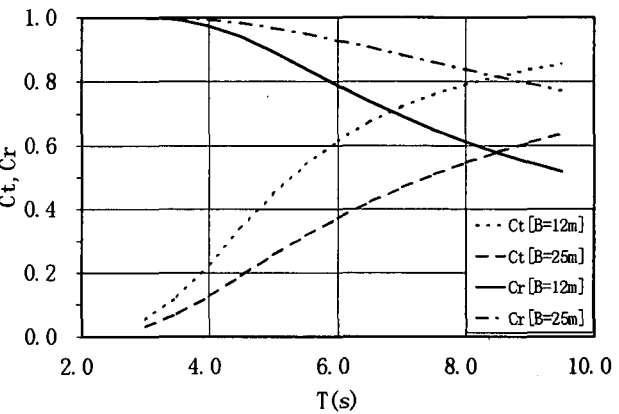


図-11 断面2次元解析による固定浮防波堤の透過・反射率の算定結果

(2) 波高分布の算定結果

図-12～14は、 $T=7.0\text{s}$ のときのモデル港湾域の波高分布の算定結果を示すもので、図-12が中村・大森⁴⁾による厳密解析による結果、図-13が3回までの繰返し演算を行った近似解析による結果、また、図-14が浮防波堤を不透過堤としたときの結果に対応する。

まず、図-12と図-13の比較から、近似解析による算定結果は、概略的に厳密解析によるそれと一致しているが、矩形港湾域の側面境界上で波高値が低く現れるなど定量的な差異のあることも認められる。これらの差異は、明確ではないが、堤体への波の入射角による透過・反射率の変化などが近似解析では考慮されていないことなどが原因として挙げられる。事実、算定の対象にした浮防波堤では、斜め入射の条件になると、直角入射の条件下よりも、反射率は増大し、透過率は減少する傾向などを確認している。

一方、不透過堤と仮定したときの算定結果は、近似解

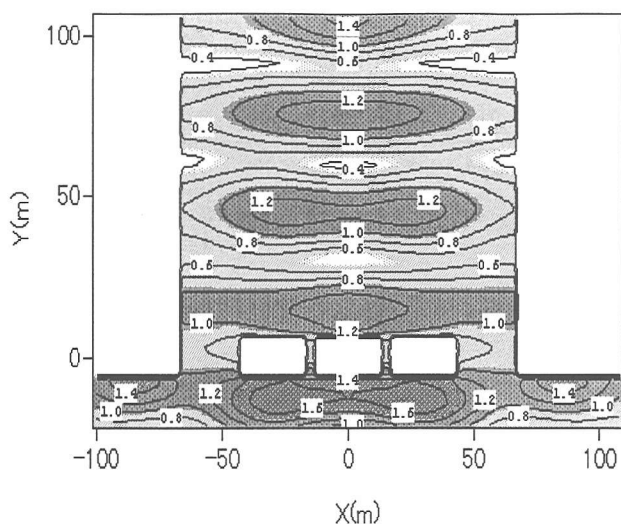


図-12 厳密解析による算定結果($T=7s$)

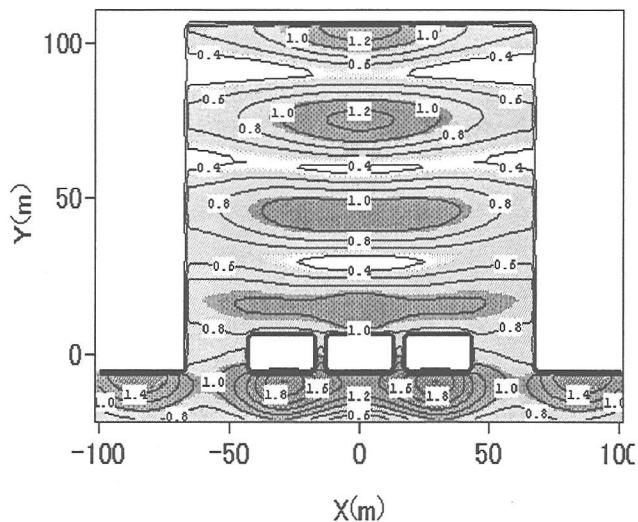


図-13 近似解析による算定結果
($T=7s$ 、繰返し演算数3)

析や厳密解析による結果に比較して、腹・節の位置など波高分布のパターンがかなり異なることがわかり、透過堤としての取り扱いが必要になることがわかる。

なお、近似解析において、透過波の影響の収束状態は、繰返し演算を各種に変化させて検討しているが、上記したように3回程度までとするとその影響はほぼ収束することを確認している。ただし、何回の繰返しで定常状態に達するかは、周辺境界の反射率や透過堤の透過率に依存することから、最終的な判断は港内波高の平均値の収束判定等によることが望ましい。

5. 結語

(1) 本研究で導いた近似解析法により、不透過境界と透過境界が混在する複雑な波浪場の算定が簡便に行える。この際、透過堤の特性は、透過・反射率で表現していることから、各種の形式の透過堤が取り扱える。

(2) 透水層型の透過堤群まわりの波高分布は、本研究で導いた近似解析法によりほぼ推定できる。ただし、透過堤の透過・反射率は、それらの周期特性を含めて、断面2次元実験等により事前に求めておく必要がある。

(3) 本研究で導いた近似解析法により、沖側境界に浮防波堤列が設置された矩形港湾域の波高分布がほぼ推定できる。このとき、透過波の影響を無視した算定を行うと、波高分布のパターンなどに大きな相違が見られ、浮防波堤よりの透過波を考慮する必要があることなどが確認された。

以上、平面波に対する透過堤の近似的な取り扱いを紹介してきたが、透過堤からの反射波や透過波は、波の入射角による変化が有意と推定され、今後このような入射角による透過率及び反射率の変化も解析に採り入れていきたい。

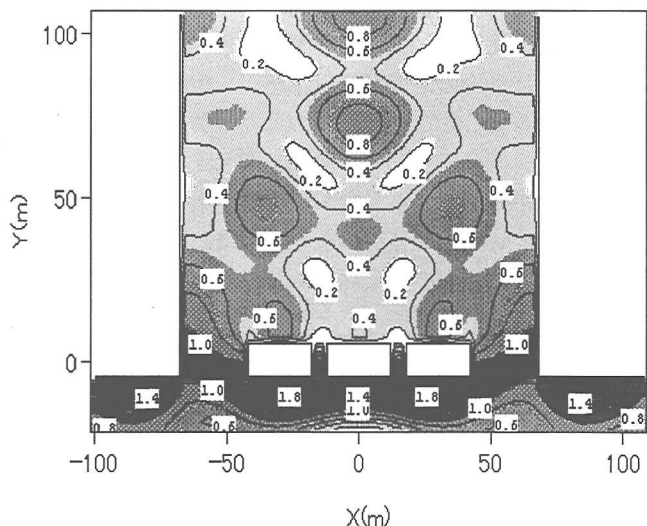


図-14 不透過堤としたときの算定結果($T=7s$)

参考文献

- 1) 井島武士：有限水深域の構造物および浮体による波の変形次元及び次元問題、1974年度水工学に関する夏期研修会講義集、pp.B3-1~B3-25。
- 2) 中村孝幸・大森禎敏：浮桟橋を含む港湾域の波高分布の算定法に関する研究、海岸工学論文集、第41巻、pp.971-975,1994。
- 3) 中村孝幸・奥吉雄：任意平面形状を有する堤体構造物まわりの波変形の解析法について、第32回海岸工学講演会論文集、pp.594-598,1985。
- 4) 中村孝幸・森田知志：斜波中における透過性防波堤の消波効果と作用波力の特性について、第35回海岸工学講演会論文集、pp.547-551,1988。

(1999.4.19受付)