

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に関する研究

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

愛媛大学大学院 学生員 ○加藤孝輔

1. はじめに：本研究では、水深変化を伴う港湾域での波浪特性の推定を目的に、水深変化の影響を近似的に考慮した港内波浪の実用的な算定法について明らかにする。原理的には、効率的な計算が可能なヘルムホルツ方程式に基づく方法を採用することとし、この中でも最も効率的な鉛直線グリーン関数法による算定法について展開する。そして、従来の研究で不明確なままとなっていた水深変化部の取り扱い方法を、厳密解析が可能な断面2次元理論による結果との比較から検討する。また、このような取り扱い方法の妥当性を検証するため、港湾模型を用いた水理実験を行う。

2. 鉛直線グリーン関数法での接続条件：ここでは、従来の研究を参照して以下の異なる2種類の接続条件を対象にした。

a) 流量の連続と圧力積分の釣り合い条件を用いた場合

この接続条件は、本研究と類似した手法であるグリーンの公式に基づく解析法を用いた目下¹⁾により使用されている。この接続条件では、結果的に次のような仮定に基づく。①水深変化部の前後では、水平流速の水深方向における積分量、すなわち流量は連続する。ただし、流量としては各異なる水深の全体にわたる量とする。②水深変化部の前後では、圧力の合力は等しい。ただし、圧力の合力は、深い水深領域においては、浅い水域での水深を対象にした積分量とする。仮定1)に基づく流量の連続条件は速度ポテンシャル ϕ を用いると、次のように表せる。

$$\frac{\partial \{(\phi_s)_I + \phi_0\}}{\partial n_1} \frac{\tanh(k_1 h_1)}{k_1} = -\frac{\partial (\phi_s)_{II}}{\partial n_2} \frac{\tanh(k_2 h_2)}{k_2} \quad (x, y): \text{ on } M_1 \quad (1)$$

ここで k :各領域の進行波の波数($=2\pi/L$, L :波長)、 h :各領域の水深、 $\partial/\partial n$:各領域での内向き法線微分である。

また、仮定2)に基づく境界面前後での力の釣り合い条件は、次のようである。

$$\{(\phi_s)_I + \phi_0\} \frac{\sinh k_1 h_1 - \sinh k_1 (h_1 - h_2)}{k_1 \cosh k_1 h_1} = (\phi_s)_{II} \frac{\tanh(k_2 h_2)}{k_2} \quad (x, y): \text{ on } M_1 \quad (2)$$

b) 流量の連続と水位の連続条件を用いた場合

この場合の条件は、Lamb²⁾により導かれている長波を想定した場合と同じである。すなわち、流量の連続は上記の式(1)と同一であり、水位の連続条件は次式で示される。

$$\{(\phi_s)_I + \phi_0\} = (\phi_s)_{II} \quad (x, y): \text{ on } M_1 \quad (3)$$

以下では説明の簡略化のため、これらの条件をそれぞれ圧力連続、水位連続と略称することにする。

3. 厳密解析と近似解析：断面2次元理論解析³⁾によって、ステップ状の水深変化並びにそれを一様勾配斜面で接合したときの両者に対する波変形の算定を行う。

この解析法では、水深変化部の存在による減衰定常波の影響や浅水変形の影響の両者が考慮されており、厳密解析に相当している。続いて、鉛直線グリーン関数法に基づき、疑似2次元水路を想定し、水深変化を1段以上の複数の階段状変化で近似し、2つの接続条件に対して波

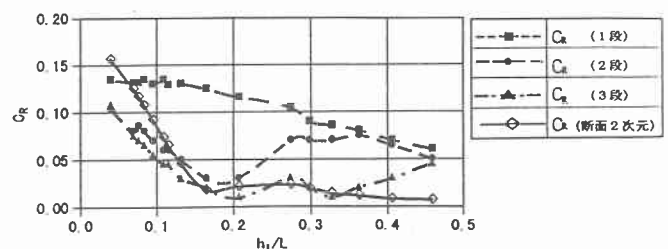


図1 1/5勾配における厳密解と近似解の比較
(圧力連続) $h_1=40\text{cm}$ $h_2=20\text{cm}$ $L:h_1$ における波長

変形の算定を同様に行った。図1、図2に反射率 C_R の算定結果を示す。上記の厳密解析による算定結果と鉛直線グリーン関数法に基づく近似解析による結果との比較から、近似解析での水深変化部の取り扱い方法については少数段で近似した場合には水位連続条件を用いた方が、厳密解析による結果に近いことが分かる。

4. 港湾模型実験と算定結果の比較：港湾模型は図3に示すものを用いた。実験結果（図4）と水位の連続条件による算定結果（図5）を比較すると波高分布での節、腹が、開口部付近をはじめ比較的同じ位置に存在していることがわかる。波高比に関しては節、腹の位置では実験結果の方が、若干ではあるが全体的に高い値を示している。しかし港内左下方では、ほぼ同一の値を示す。次に、港湾内の水深変化を無視して、一定水深の条件で波高分布を求めたときの算定結果と比較してみる。この際、一定水深としては、沖側の水深（ $h=40\text{cm}$ ）を用いた。この結果を示すのが、図6である。この結果と水深変化を考慮した前出の結果を比較すると、水深変化の影響によって、特に港内左側上方では節、腹の出現位置や数などが異なり水深変化を考慮した算定が是非必要であることが分かる。

5. 結語：(1) 鉛直線グリーン関数法と領域分割法を結合した解析法では、水深変化部の接続条件として、流量と水位の連続条件を用いる方が、流量と圧力積分量の連続条件を用いるより精度の良い算定が行える。(2) 本研究で開発した解析法により、棚型の水深変化を有する港湾域での平面的な波高分布のパターンやその絶対値などを含めて、ほぼ予測できる。そして、このような港湾域での波高分布の予測では、水深変化の影響を無視することができない。

参考文献

- 1) 日下理・辰本正弘・岩崎晃(1983)：任意反射率境界と水深変化を考慮した港内波高分布の解析、第30回海岸工学講演会論文集、pp.128-132。
- 2) Lamb, H. (1964)：Hydrodynamics, 6th Edition, Cambridge Univ. Press.
- 3) 中村孝幸・石丸満久(1996)：ブロック堤体内でのエネルギー逸散機構を考慮した波変形の解析法、海岸工学論文集、第43巻、pp.106-110。

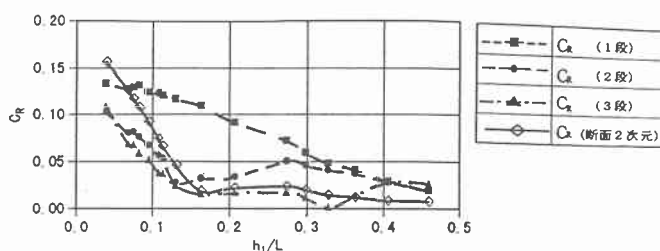


図2 1/5勾配における厳密解と近似解の比較
(水位連続) $h_1=40\text{cm}$ $h_2=20\text{cm}$ $L:h_1$ における波長

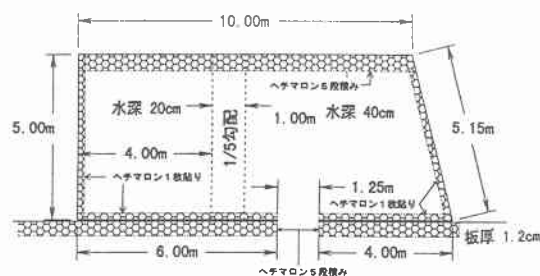


図3 港湾模型

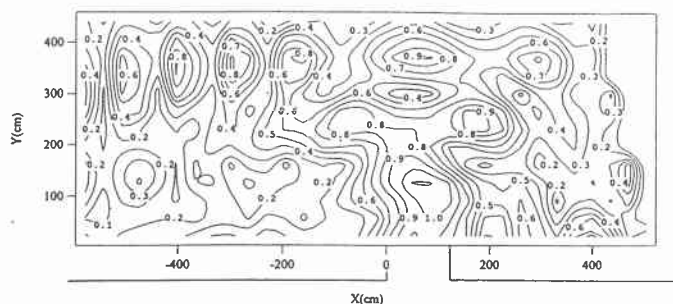


図4 港内波高比の測定結果
($T=1.42\text{sec}$, $H=4\text{cm}$)

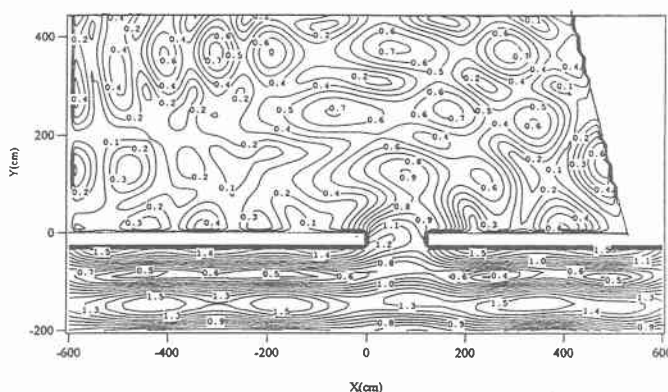


図5 港内波高比の算定結果
 $T=1.42\text{sec}$, 水深変化部2段近似
水位の連続条件

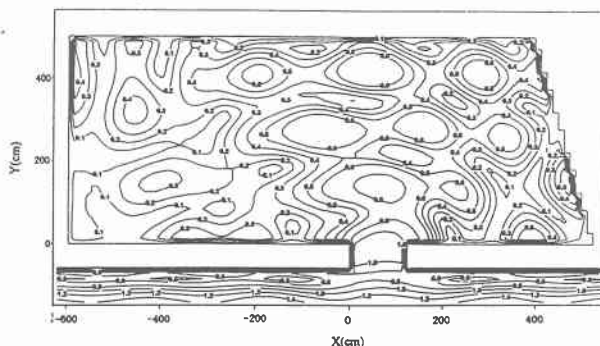


図6 港内波高比の算定結果
 $T=1.42\text{sec}$ 水深一定40cm