

鹿島技術研究所 正会員 ○秋山真吾
 鹿島技術研究所 正会員 池谷 毅
 鹿島技術研究所 正会員 高橋俊彦

1. はじめに

近年、大水深海域だけでなく、浅海域に建設する構造物に対しても多方向不規則波を用いた実験の重要性が認識されるようになってきた。それとともに、造波理論、装置の開発・改良が進み、各方面で平面水槽を用いた高精度な3次元実験が行われている。

平面水槽内の任意の地点で、目標とする波高・周期を有する波を造波する理論は、Dalrymple によって確立されてきた¹⁾。彼の理論は、斜面上における波の浅水変形、屈折等も考慮しており、一様水深の場合だけでなく水深が変化する場合にも適用できる。当社技術研究所でも、平面水槽に Dalrymple の造波理論を採用し、有限長の造波装置を用いて水槽内の任意の地点で目標とする不規則波を造波する実験を行ってきた²⁾。これまでは、一様水深部を対象とすることが多く、平面水槽内に斜面を設置して水深が変化する状態で波を再現することはなかった。しかし、より広い有効領域を確保するためには、斜面上の波の変形を考慮した造波理論の導入が必要となってきた。

本論文は、平面水槽内に設置した斜面上の任意の地点で、目標とする斜め不規則波を造波した場合の波の特性について検証を行った。

2. Dalrymple の造波理論

流体は非粘性、非圧縮の完全流体、流体の運動は非回転、水面の運動、造波板の運動は微小、造波板は不透過、側壁は完全反射、消波壁は完全消波、の6点を仮定すると、水槽内に設置した斜面上で造波板からの距離 d における流体の速度ポテンシャルは式(1)で表される。実験では、式(1)と造波板変位との関係を求め、目標とする波を造波するための造波パネルの制御を行った。

$$\Phi(x, y, z; t) = \left[\sum_{m=0}^{ma} A_{0m} K_{sr}(x, \lambda_m) e^{i \int_0^x \sqrt{k^2 - \lambda_m^2} dx} \cos \lambda_m y + \sum_{m=0}^{mb} B_{0m} K_{sr}(x, \gamma_m) e^{i \int_0^x \sqrt{k^2 - \gamma_m^2} dx} \sin \gamma_m y \right] \times \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \Big] e^{-i\omega t} \quad (1)$$

$$A_{0m} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{Hg}{i\omega} \times \frac{1}{K_{sr}(d, 0)} \quad (m=0, \Lambda=0) \\ \frac{Hg}{i\omega b} \times \frac{e^{i \int_0^d \sqrt{k^2 - \Lambda^2} dx}}{K_{sr}(d, 0) e^{i \int_0^d k dx}} \times \frac{\sin \Lambda b}{\Lambda} \quad (m=0, \Lambda \neq 0) \\ \frac{2Hg}{i\omega b} \times \frac{e^{i \int_0^d \sqrt{k^2 - \Lambda^2} dx}}{K_{sr}(d, \lambda_m) e^{i \int_0^d \sqrt{k^2 - \lambda_m^2} dx}} \times \frac{(-1)^m \Lambda \sin \Lambda b}{\Lambda^2 - \lambda_m^2} \quad (m \neq 0, \Lambda \neq 0) \end{array} \right\}$$

$$B_{0m} = \left\{ -\frac{2Hg}{i\omega b} \times \frac{e^{i \int_0^d \sqrt{k^2 - \Lambda^2} dx}}{K_{sr}(d, \gamma_m) e^{i \int_0^d \sqrt{k^2 - \gamma_m^2} dx}} \times \frac{(-1)^m \Lambda \cos \Lambda b}{\Lambda^2 - \gamma_m^2} \right\}$$

$$K_{sr} = \left\{ \frac{(CCg \sqrt{k^2 - \alpha^2})_0}{CCg \sqrt{k^2 - \alpha^2}} \right\}^{1/2} \quad (\alpha = \lambda_m, \text{ or } \gamma_m)$$

$$C = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh}, \quad Cg = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$$

t : 時間

g : 重力加速度

b : 水槽半幅

h : 水深

ω : 角周波数

k : 波数

$\Lambda = k \sin \theta$

$\lambda_m = \frac{m\pi}{b}$

$\gamma_m = \frac{(m+1/2)\pi}{b}$

$(m=0, 1, 2, \dots)$

$ma: k > \lambda_m$ なる最大

$mb: k > \gamma_m$ なる最大

平面水槽，不規則波，浅水変形，屈折

〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島技術研究所 TEL 0424-89-7085 FAX 0424-89-7087

3．実験方法

実験は当社技術研究所の平面水槽を用いて行った．水槽には 1/100 勾配斜面とそれに続く 1/10 勾配斜面を設置し，水深 0.19m 地点を対象に目標とする波を造波して水位変動を計測した．水位変動計測地点，実験波条件を図-1，及び表-1 に示す．なお，不規則波の周波数スペクトルはブレッドシュナイダー・光易型とした．

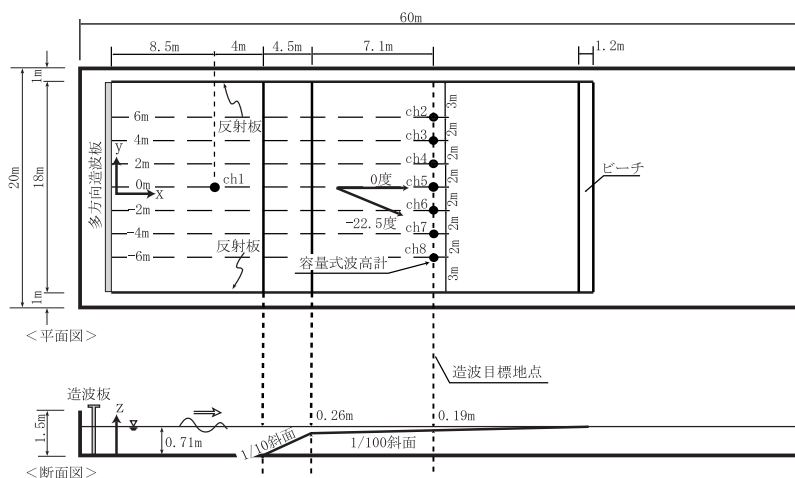


図-1 水位変動計測地点

表-1 実験波条件（目標値）

項 目	諸 元
有義波高	8.5cm
有義周期	1.3sec
波向き	-22.5 度
波の種類	一方向不規則波
目標水深	0.19m

4．実験結果

図-2 は，図-1 に示した水位変動計測地点のうち，造波目標の中央 5 点における水位変動時系列を示したものである．図中の破線は，横断方向に進んで行く同一の波の様子を示している．また，図-4 は，有義波高と波向きの横断分布を目標値で無次元化したものである．ただし，波向きについては，図-3 に示すように各計測地点を同じ波の波峰線が通過する時間差を用いて算定した．

その場合の波速は，目標とする波の周期と水深の関係から求めた．これらの結果を見ると，側壁近傍の ch2 や ch8 では有義波高，波向きとも目標値と若干ずれているが，平面水槽の中央付近では目標とする斜め方向の波がほぼ一様に発生していることがわかる．

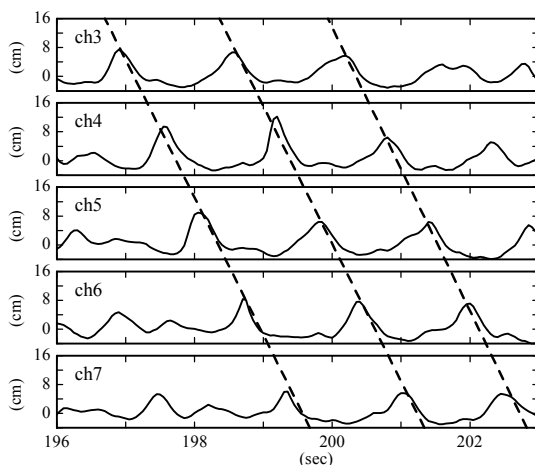


図-2 水位変動時系列

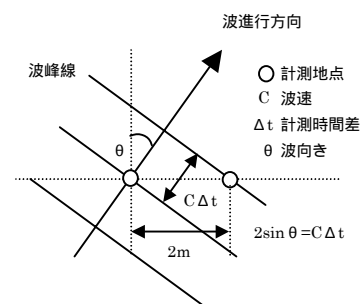


図-3 波向きの定義

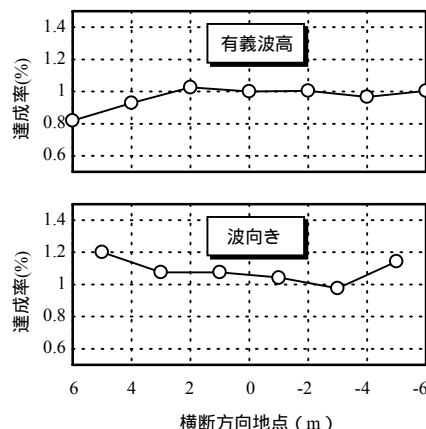


図-4 波高・波向き横断分布

5．おわりに

波の浅水変形，屈折等の変形を考慮した造波理論の導入により，斜面上の任意の地点において目標とする斜め方向の不規則波を造波できることが確認できた．今後は，多方向不規則波の実験についても検証を行う予定である．

参考文献

- 1) R.A.Dalrymple: Directional wavemaker theory with sidewall reflection, Journal of Hydraulic Research, Vol.27, 1989, No.1
- 2) 今井ら：側壁反射を利用した斜め規則波の造波方法，第 38 巻海岸工学論文集，1991