

大成建設(株)

竹葉 憲

京都大学大学院 学生員 〇沖 慎一郎

京都大学工学部 正会員 間瀬 肇

### 1. はじめに

正弦的に変化する海底地形において、表面波の波長が海底起伏の波長の2倍となる場合に生じる共鳴 Bragg 散乱反射についての研究は、Davies and Heathershaw (1984), Mei (1985) によってそのメカニズムが解明され、Kirby (1986) によって一般的な波動方程式が導かれた。しかし、透水性を有する海底地盤や透過性潜堤が設置された場では、これらの理論をそのまま適用することはできない。そこで、間瀬ら (1994) は起伏を有する透水層上での線形波動方程式を導き、Bragg 散乱における地盤の透水性の影響を数値計算によって調べた。本研究では、造波水槽を用いた波浪実験によって Bragg 散乱の特性を調べるとともに、間瀬ら (1994) によって導かれた線形波動方程式の有用性について検討する。

### 2. 波動方程式

ここで用いる線形波動方程式は次のようである (間瀬ら, 1994)。

$$\nabla_h \cdot \left( \alpha \nabla_h \hat{\phi} \right) + \alpha \hat{\phi} - \frac{\cosh^2 kh_s}{D^2} (1 - \gamma) \nabla_h \cdot \left( \delta \nabla_h \hat{\phi} \right) = 0 \quad (1)$$

$$p = \frac{1}{4kD^2} \left\{ \cosh^2 kh_s \sinh 2kh \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) + \gamma \sinh 2kh_s (\cosh 2kh - 1) + \gamma^2 \sinh^2 kh_s \sinh 2kh \left( 1 - \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \right\} \quad (2)$$

$$q = \frac{1}{4kD^2} \left\{ \gamma^2 \sinh 2kh_s \sinh 2kh \left( 1 + \frac{2kh_s}{\sinh 2kh_s} \right) \right\} \quad (3)$$

$$\alpha = p + \frac{\gamma}{q} \quad (4)$$

$$D = \cosh kh_s \cosh kh (1 + \gamma \tanh kh_s \tanh kh) \quad (5)$$

$$\gamma = n / (\tau + if) \quad (6)$$

ここで、 $\hat{\phi}$ : 複素速度ポテンシャル振幅,  $h$ : 水深,  $h_s$ : 透水層厚,  $\delta$ : 起伏変動,  $f$ : 線形抵抗係数,  $\tau$ : 慣性係数,  $n$ : 間隙率である。なお、詳細は省略する。

### 3. 水理模型実験

Bragg 散乱の特性を調べるととも

に、上に示した線形波動方程式の有用性について検討するため、二次元造波水槽を用いて実験を行った。実験は図-1のように鉄枠で作製した潜堤 (高さ  $D=15$  cm) を設置し、周期  $0.8 \sim 2.5$  s の規則波を発生させ、9 台の波高計により水位変動を計測した。沖側から3台の波高計および岸側の2台の波高計は、入・反射波成分を分離するためのものである。透過性潜堤は潜堤の鉄枠内にコンクリート製のテトラポット模型 (高さ 4.5 cm) を詰め込み (潜堤の間隙率は約 0.55), 不透水性潜堤の場合は、この鉄枠に薄い鉄板をかぶせ、潜堤内と外部との水の出入りがないように

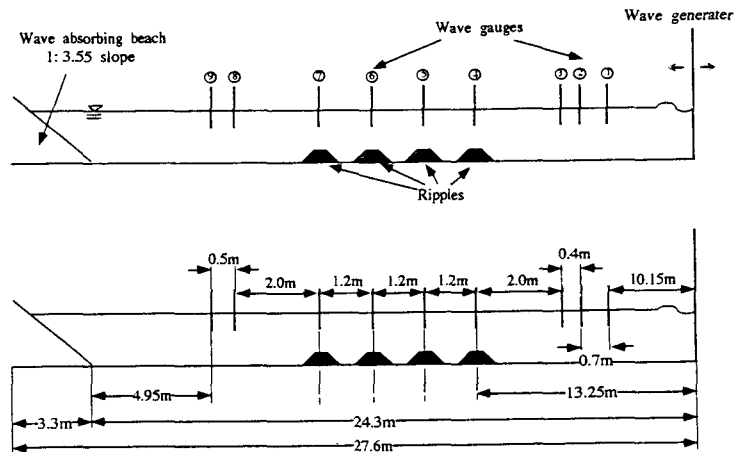


図-1 実験装置概形およびその寸法

した。

#### 4. 実験結果および考察

図-2 は異なる水深の場合に、無次元波長  $2k/\lambda$  に対する反射率の変化を示したものである。ここで、 $k$  は表面波の波数、 $\lambda$  は潜堤の波数 ( $2k/L$ ;  $L$  は間隔) である。水深が同じであれば、透過性潜堤の方が不透透性のそれよりも反射率が小さく、また潜堤が透過性・不透透性にかかわらず、水深が浅い方が反射率が大きいことがわかる。

図-3 は  $h=0.3$  m での反射率の実験結果と線形理論による数値計算結果を比較したものである。計算結果は実験結果とかなりよく一致する。

図-4 は波の振幅の空間変化に関する実験結果と計算結果との比較を示しており、(a) は透過性潜堤の場合、(b) は不透透性潜堤の場合、(c) は潜堤の配置図である。潜堤が透過性・不透透性の両方の場合とも、計算結果は実験結果とかなりよく一致する。

非線形性が卓越してくる条件のもとでは線形理論は合わなくなるが、それについては以下のように非線形理論を誘導した。

$$\zeta_t + \nabla_h \cdot \{(\zeta + h - \delta)\bar{u}\} + \nabla_h \cdot \{h_t + \delta\bar{u}_p\} = 0 \quad (7)$$

$$\bar{u}_t + (\nabla_h \cdot \bar{u})\bar{u} + g\nabla_h \zeta - \frac{1}{3}h^2\nabla_h(\nabla_h \cdot \bar{u}_t) - \frac{1}{2}hh_t\nabla_h(\nabla_h \cdot \bar{u}_{pt}) = 0 \quad (8)$$

また、 $\bar{u}$  (領域 (I) での平均流速) と  $\bar{u}_p$  (領域 (II) での平均流速) の関係は次式で与えられる。

$$\bar{u}_t + \frac{1}{2}hh_t\nabla_h(\nabla_h \cdot \bar{u}_{pt}) + \frac{1}{6}h^3\nabla_h(\nabla_h \cdot \bar{u}_t) + \bar{u}\nabla_h \cdot \bar{u} = \frac{\tau}{n}\left\{\bar{u}_{pt} - \frac{1}{3}h^2\nabla_h(\nabla_h \cdot \bar{u}_{pt})\right\} + f\frac{\omega}{n}\left\{\bar{u}_p - \frac{1}{3}h^2\nabla_h(\nabla_h \cdot \bar{u}_p)\right\} + \frac{\tau}{n^2}\bar{u}_p\nabla_h \cdot \bar{u}_p \quad (9)$$

これは、Boussinesq 方程式を拡張したものとなっている。これらの式の差分計算は今後の課題である。

#### 5. おわりに

今回行った実験により、Bragg 散乱に及ぼす透水性の影響が確かに見られ、さらに間瀬ら (1994) による波状透水層上の線形波動方程式の有用性を検討することができた。Bragg 共鳴反射を利用した波浪制御を試みる場合、捨石群あるいは人工漁礁群などの透水性を有する構造物を用いることで、透過波および反射波の両者を低減できる可能性がある。なお、Bragg 共鳴反射が生じる領域幅を大きくするための平面的な海底起伏の配置について検討する必要がある。

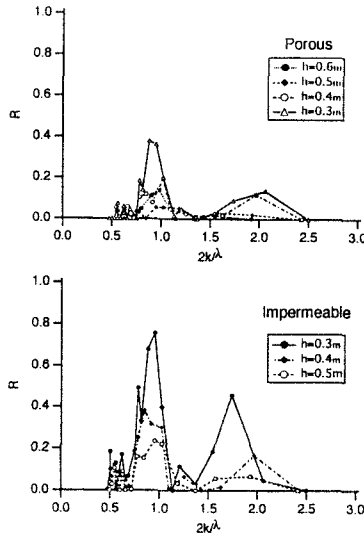


図-2 反射率に及ぼす水深の影響

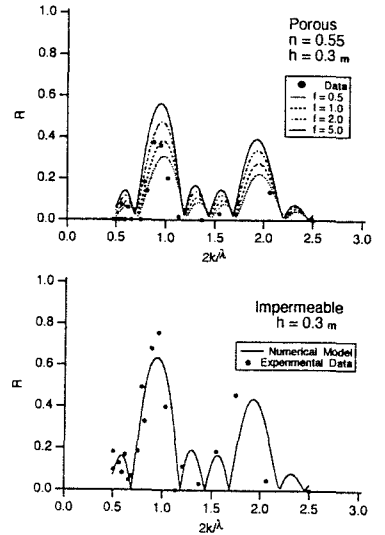


図-3 反射率の実験結果と計算結果との比較

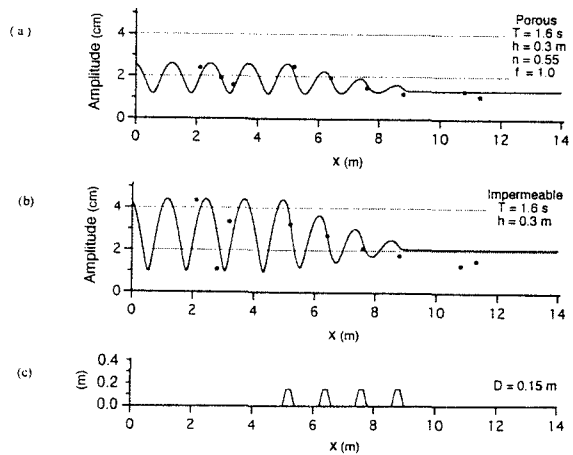


図-4 振幅の空間変化