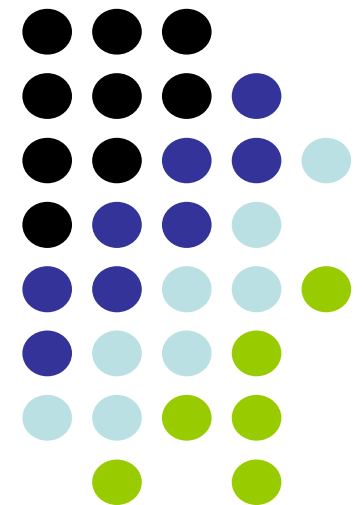


遊水部を有する長周期波対策マウンドの 消波特性に関する研究

○三井 順・渡部 未樹久・久保田 真一・松本 朗

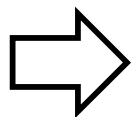
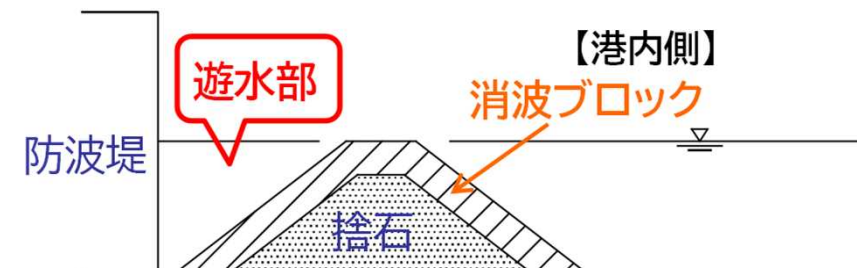
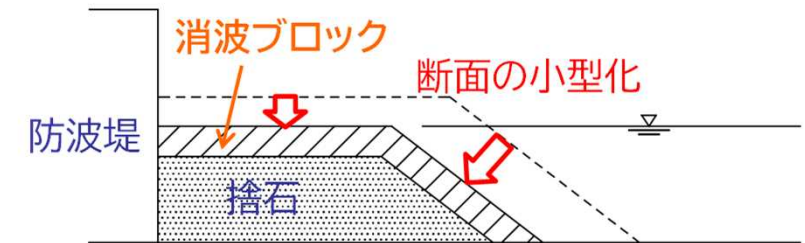


(株)不動テトラ



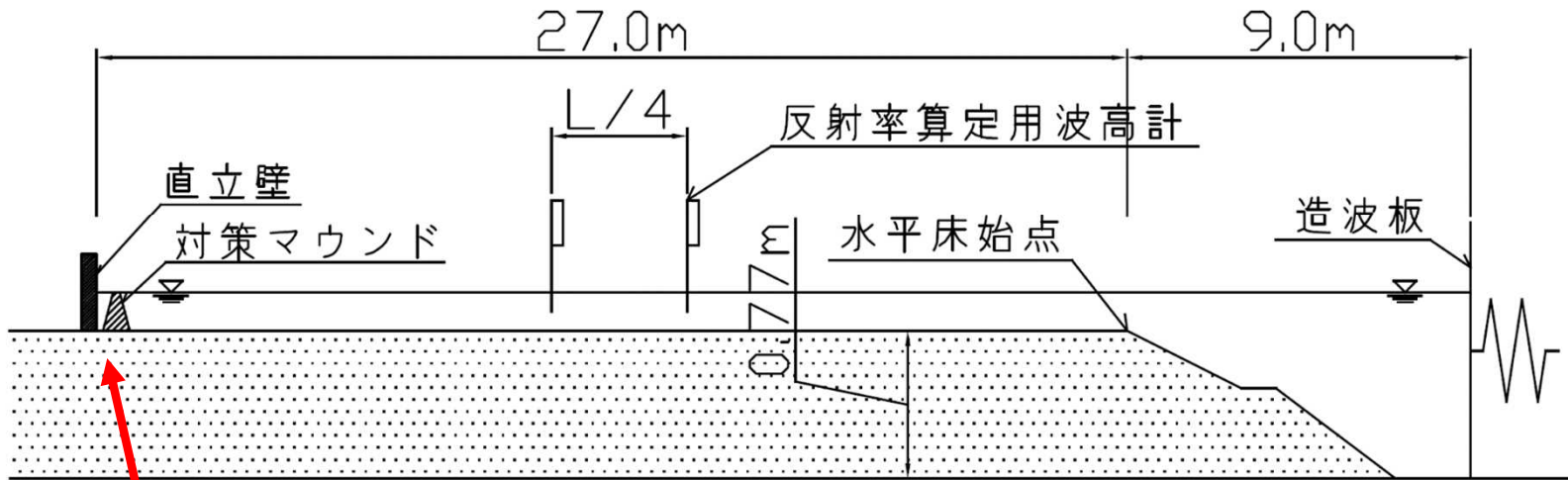
はじめに

- 多くの港湾において、港内に侵入する**長周期波に起因する荷役障害**が問題
- 対策として、防波堤背面等へのマウンド構造物の設置による反射波の抑制
- マウンドの天端高を静水面に一致させる「**没水型対策工**」（田中ら, 2012）
- 没水型対策工に**遊水部**を設けることでさらに消波性能が向上（長谷川ら, 2015）
- しかし、遊水部を有するマウンド構造物の消波特性については系統的な実験は行われていない



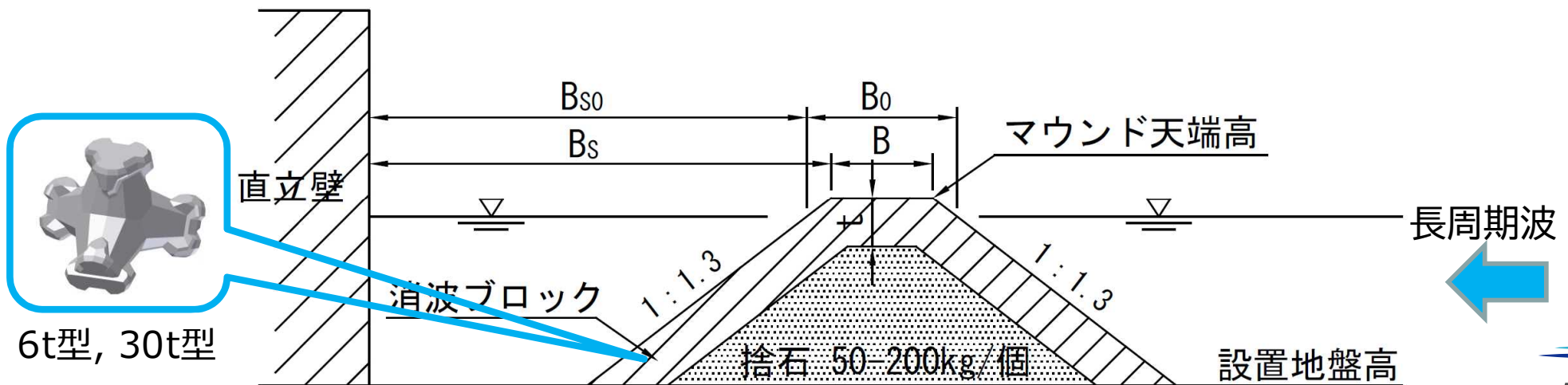
- 水理模型実験により消波特性の把握
- 数値解析による反射率予測方法の検討

水理模型実験【方法】



条件 (現地量)

- 水深 : 10mを基本
- 入射波 : 規則波 ($H=0.5m$, $T=30\sim 120s$)
- 縮尺 : 1/50



6t型, 30t型

遊水部あり・なしの比較

(堤体幅30m、波高0.5mで比較)

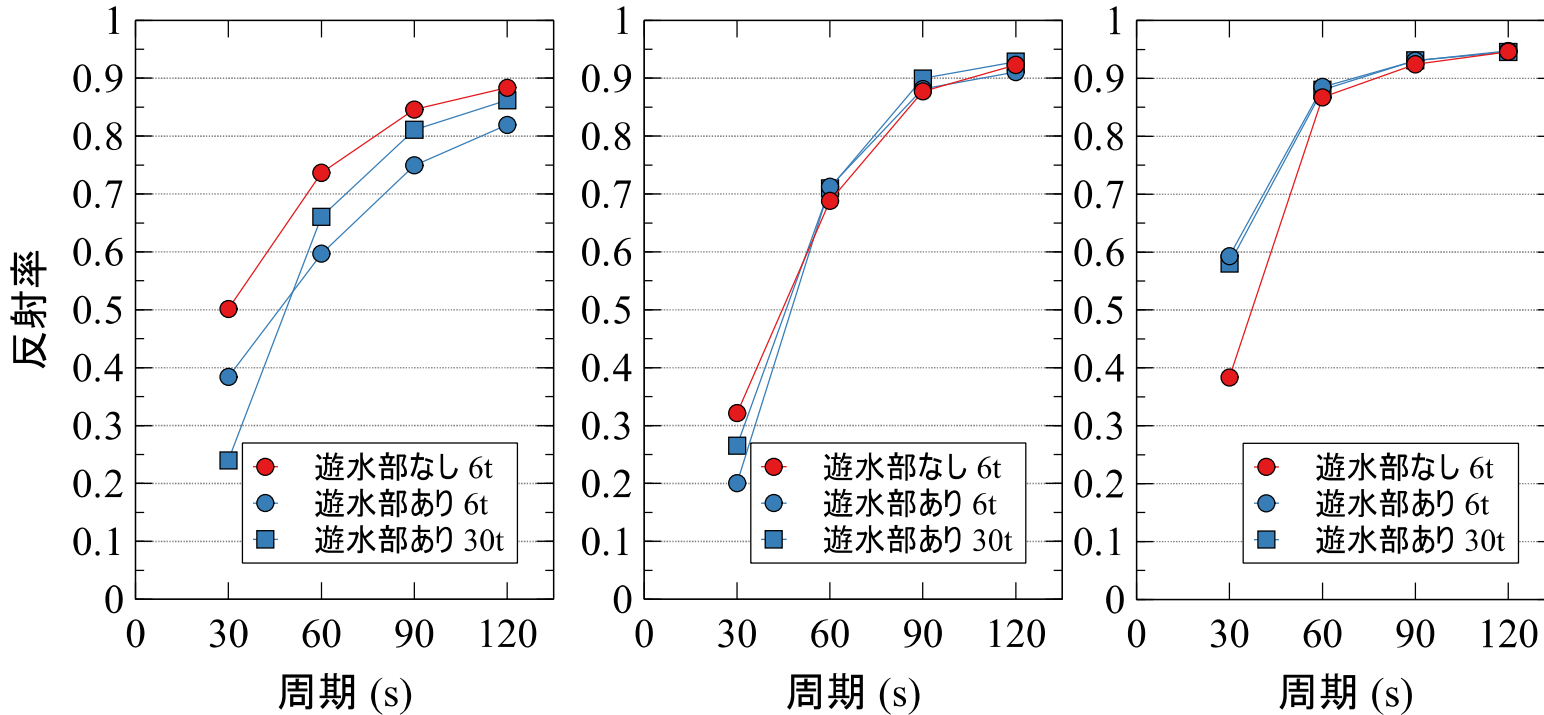
干出 ←

→ 没水

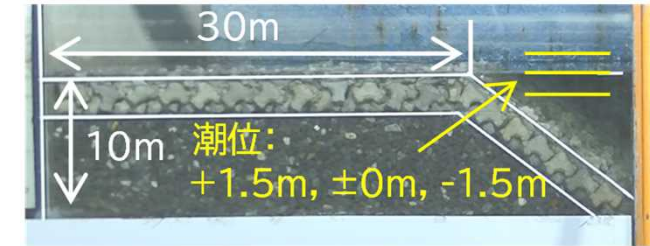
潮位 -1.5m

潮位 ±0.0m

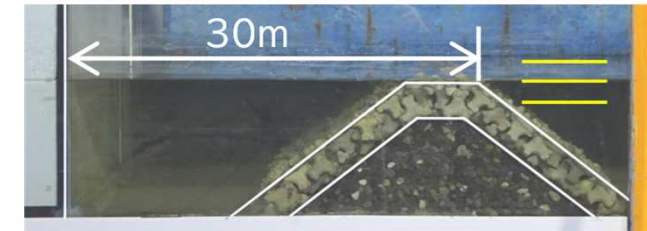
潮位 +1.5m



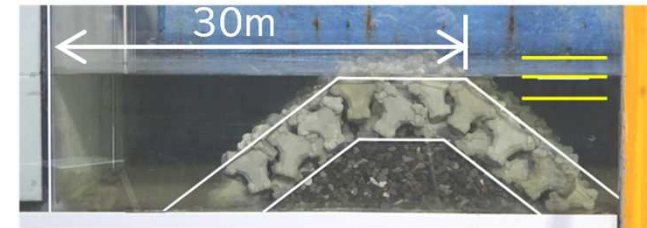
● 遊水部なし、6t型ブロック



● 遊水部あり、6t型ブロック



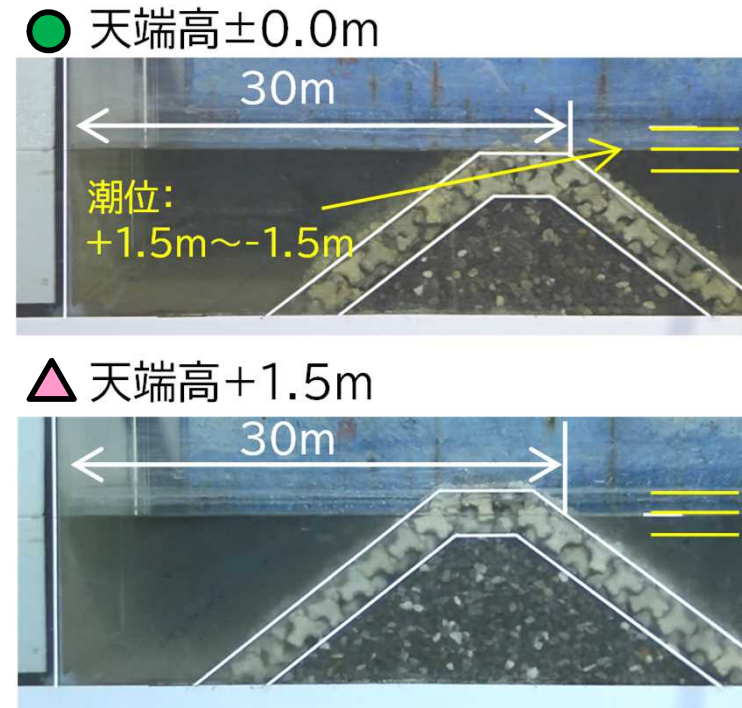
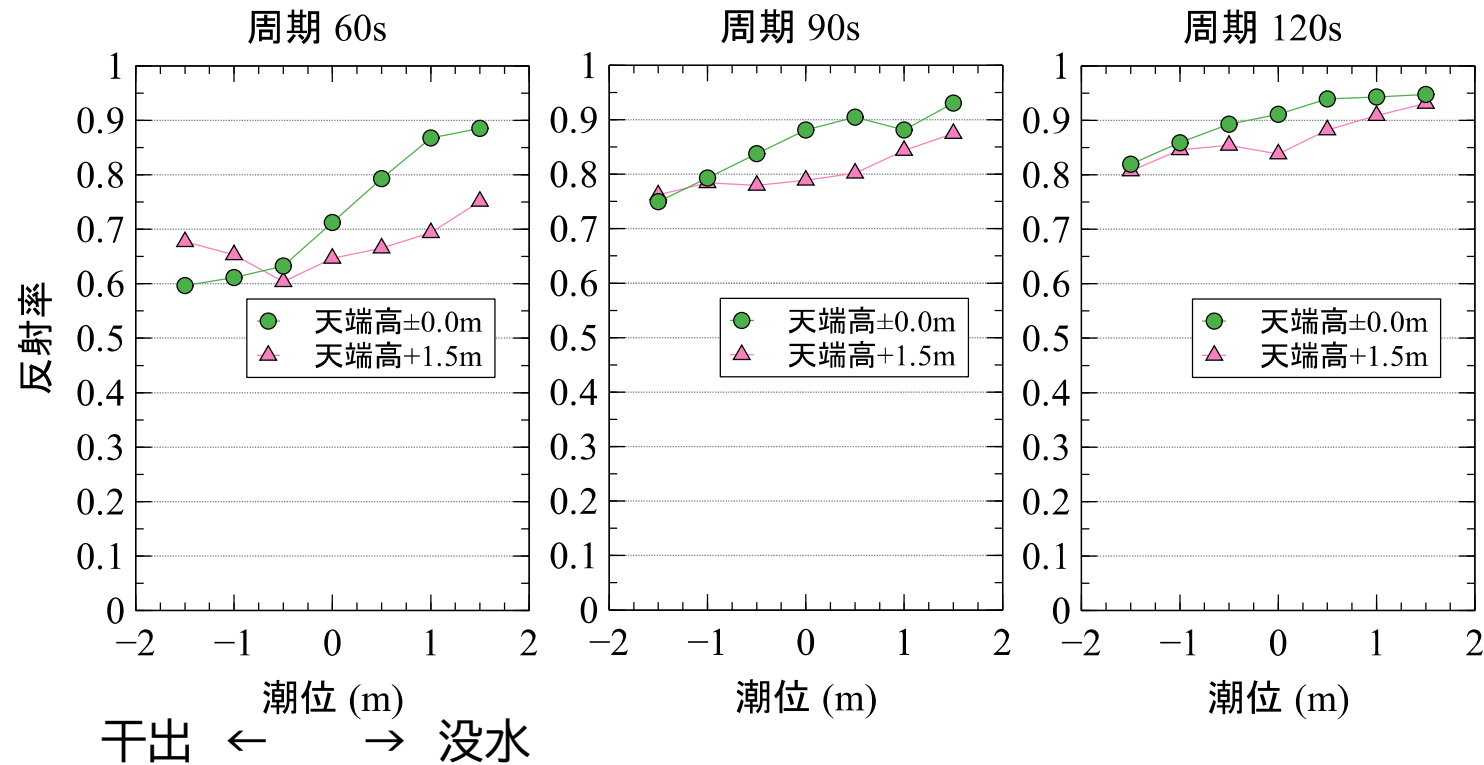
■ 遊水部あり、30t型ブロック



天端が干出する条件では 遊水部あり の方が消波効果が高い
// ブロックサイズが小さい方が消波効果が高い

天端高と潮位変化の影響

(堤体幅30m、波高0.5mで比較)

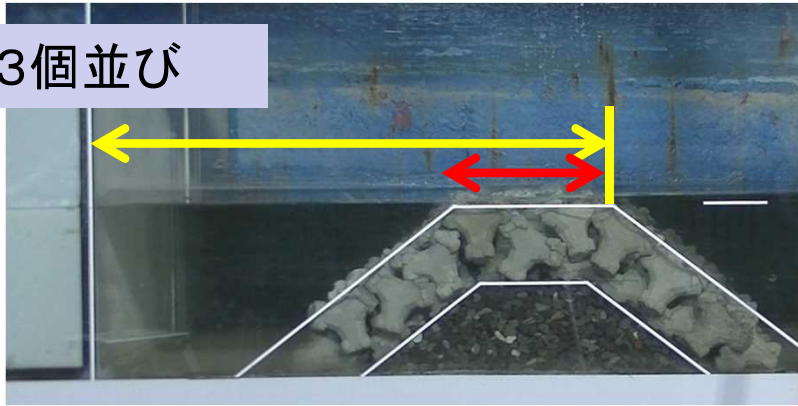


天端高を平均潮位より少し高く設定することで
消波効果がさらに向上

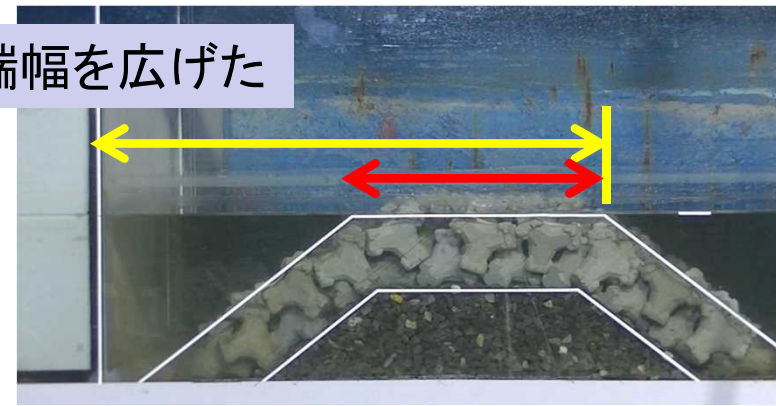
その他わかったこと

- マウンドの天端幅の影響：直立壁から遠い方の肩の位置が同じであれば、天端幅を広げても反射率には殆ど影響しない

天端3個並び



天端幅を広げた



- 全断面消波よりも**二層被覆**の方が消波性能が高い
(二層被覆の場合、流れを天端の被覆層に集める効果が得られる)

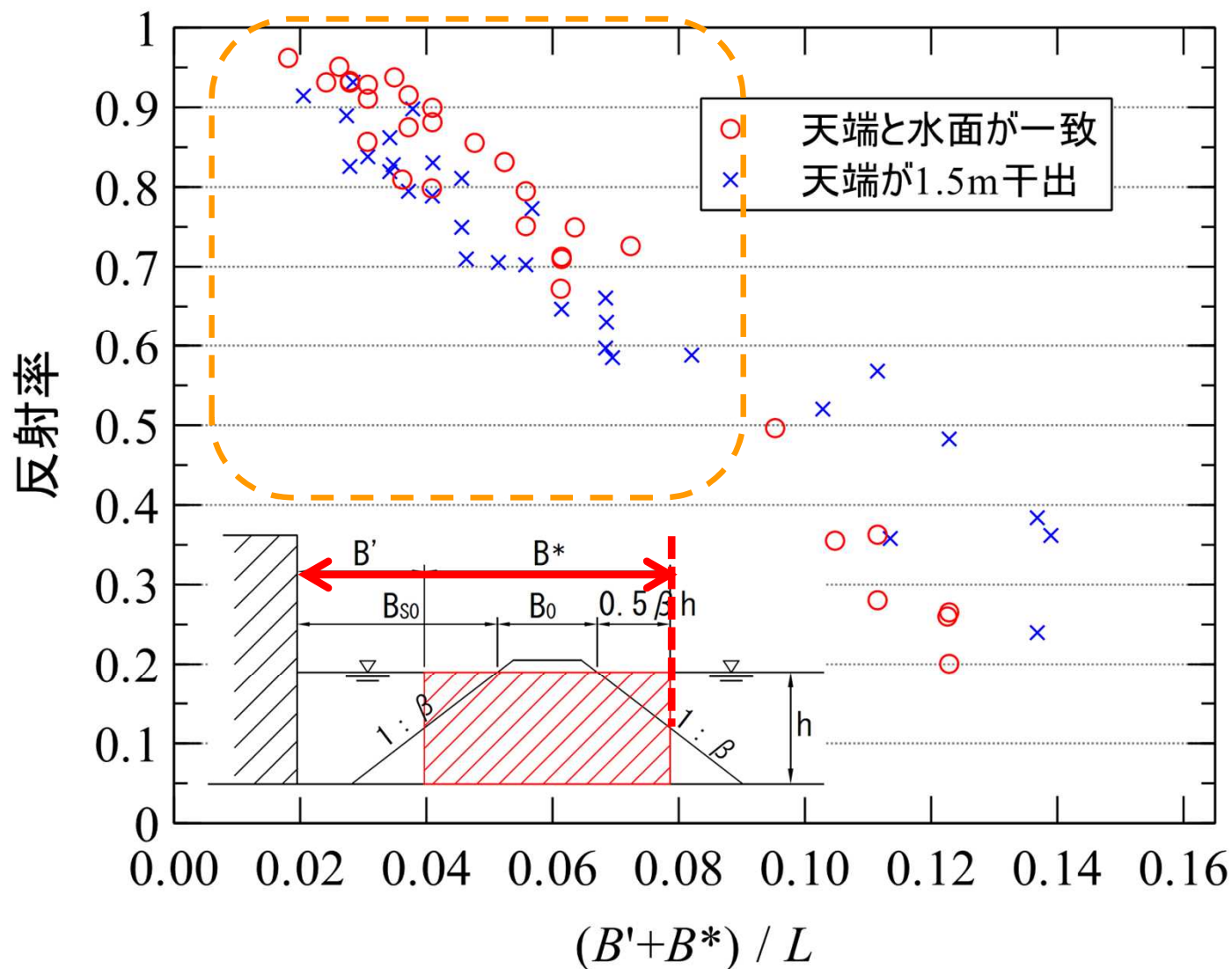
二層被覆



全断面消波



無次元化した堤体幅と反射率の関係



- マウンド天端高ごとに概ね1本の線でまとまる
- 天端が干出した条件の方が反射率が低い傾向 ($(B'+B)/L \leq 0.08$ の条件)

数値解析による再現計算

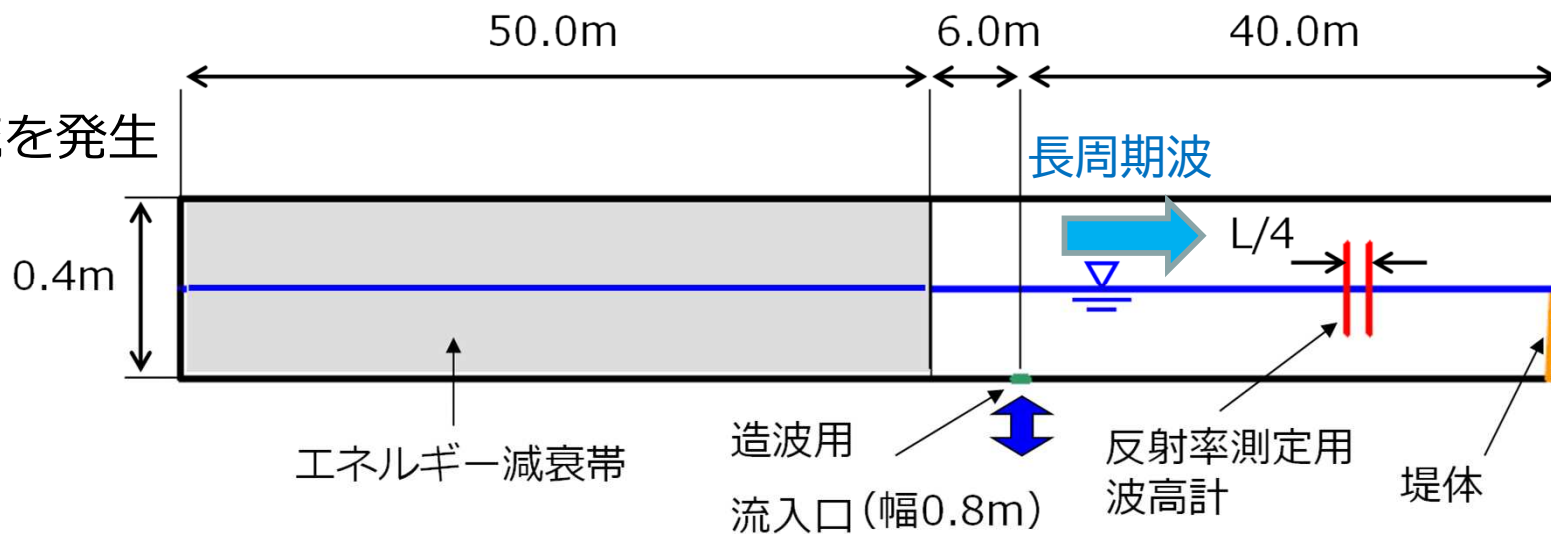
- 長周期波の反射率に関しては、これまで数値解析による精度の高い予測は困難であった
- OpenFOAMを用いて反射率の数値計算手法を検討し、実験結果との比較により計算精度を検証した

数値計算モデル	OpenFOAM-v1712
ソルバー	olaFlow
自由表面追跡手法	気液二相流の VOF 法
乱流モデル	Stabilized $k-\omega$ SST model
時間刻み	自動 (最大クーラン数 : 0.5)
ポーラスモデルに 関する係数	消波ブロック : $\alpha = 50, \beta = 1.0, C = 0.34$ 捨石 : $\alpha = 50, \beta = 1.2, C = 0.34$

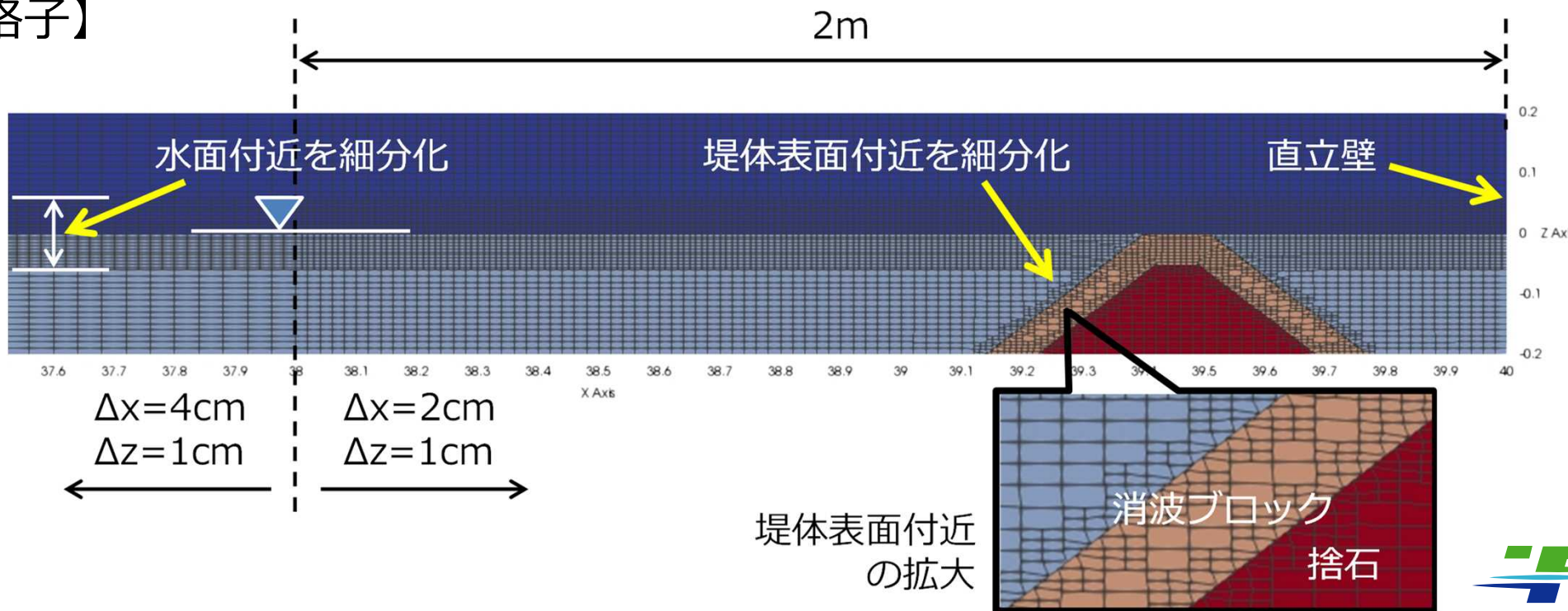
数値計算方法

【計算領域】

流入口から鉛直振動流を発生
→長周期波を造波



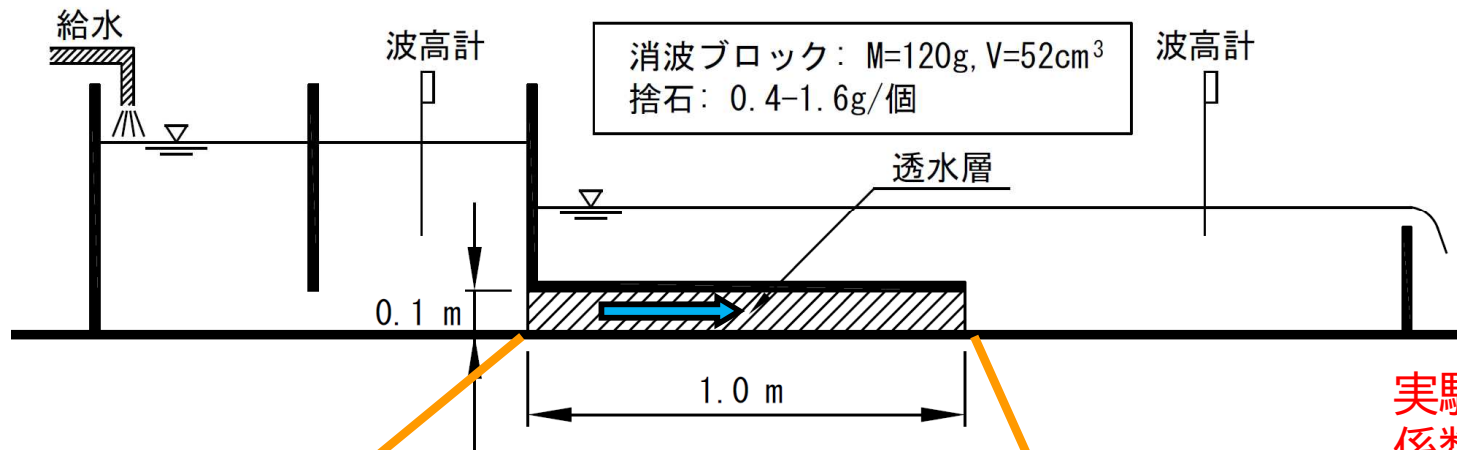
【計算格子】



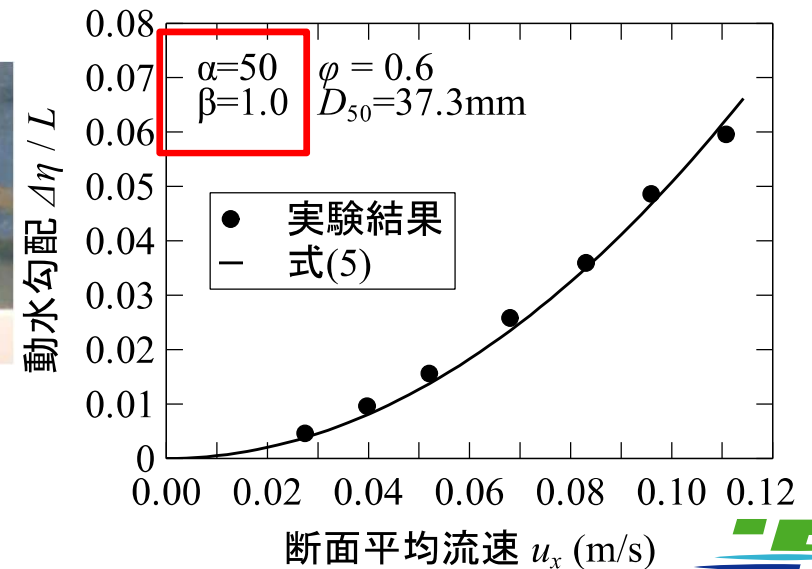
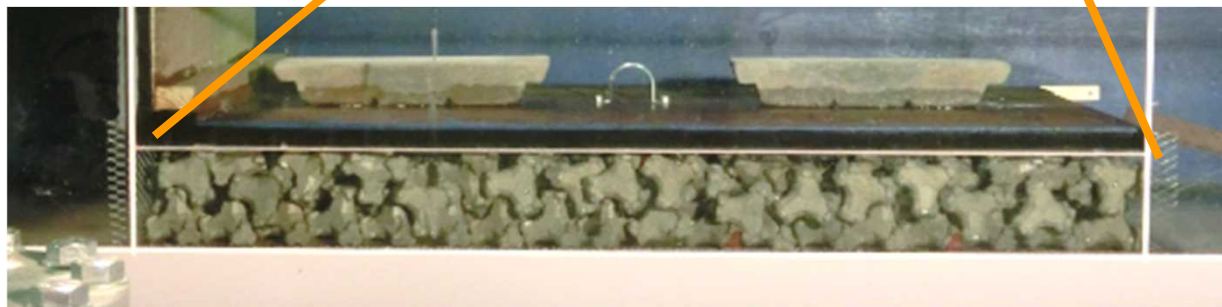
ポラスモデルにおける材料定数の決定

透水層を流れが透過する際の抵抗に関する係数を実測値に基づいて定めた

実験装置の模式図



実験結果に合うように
係数 α 、 β を定めた



KC数の影響の考慮

流体抵抗に及ぼすKC数の影響を考慮 (van Gent, 1995)

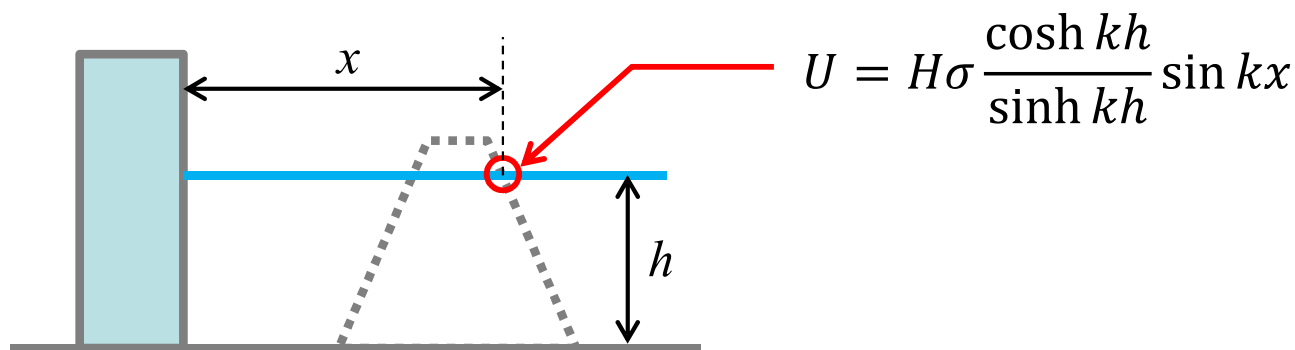
$$\frac{1 + C \partial \rho \langle u_i \rangle}{\phi} + \frac{1}{\phi} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{1}{\phi} \rho \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle \right]$$

$$= -\frac{\partial \langle p^* \rangle^f}{\partial x_i} - g_j X_j \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{1}{\phi} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_e \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right] + F_i^{ST}$$

$$-\alpha \frac{(1 - \phi)^3}{\phi^3} \frac{\mu}{D_{50}^2} \langle u_i \rangle - \beta \left(1 + \frac{7.5}{KC} \right) \frac{1 - \phi}{\phi^3} \frac{\rho}{D_{50}} \sqrt{\langle u_i \rangle \langle u_j \rangle \langle u_i \rangle}$$

多孔質体からの抵抗

微小振幅波理論により、マウンドが無い状態（完全重複波）での下図○印の位置における水平流速を用いて、KC数を見積もった



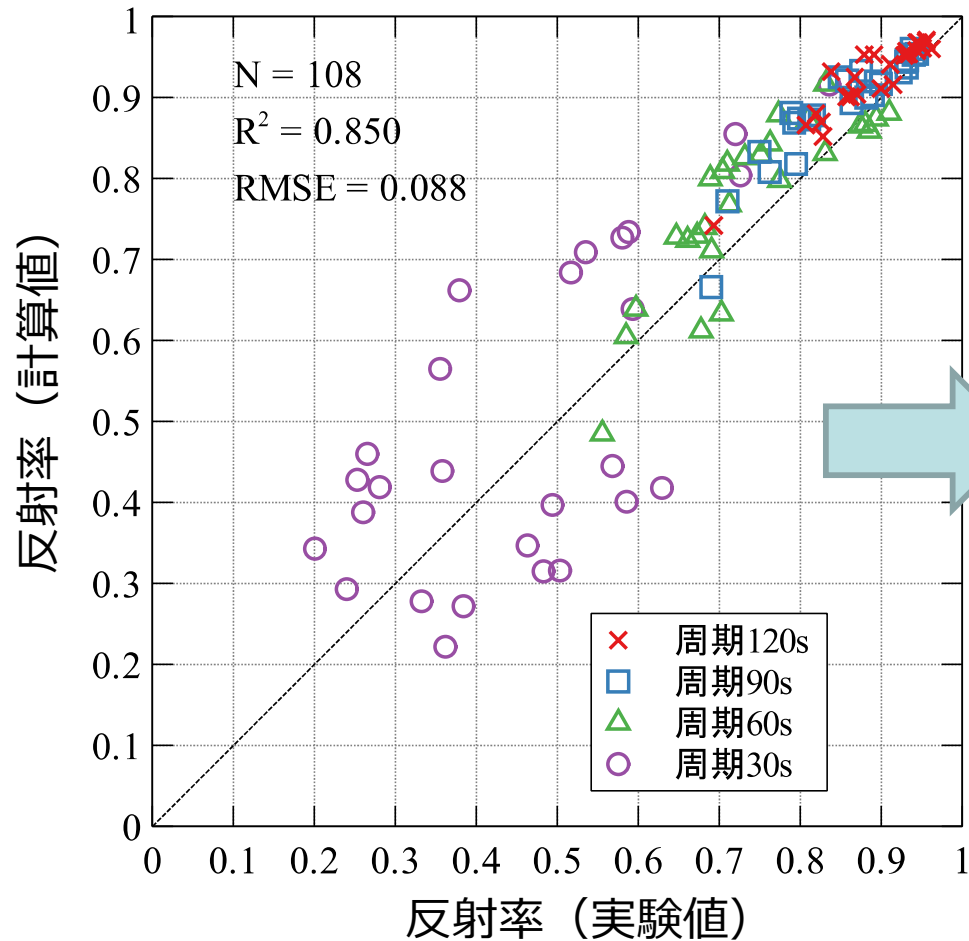
周期 T 流速 U

$$KC = \frac{TU}{D_{50}\phi}$$

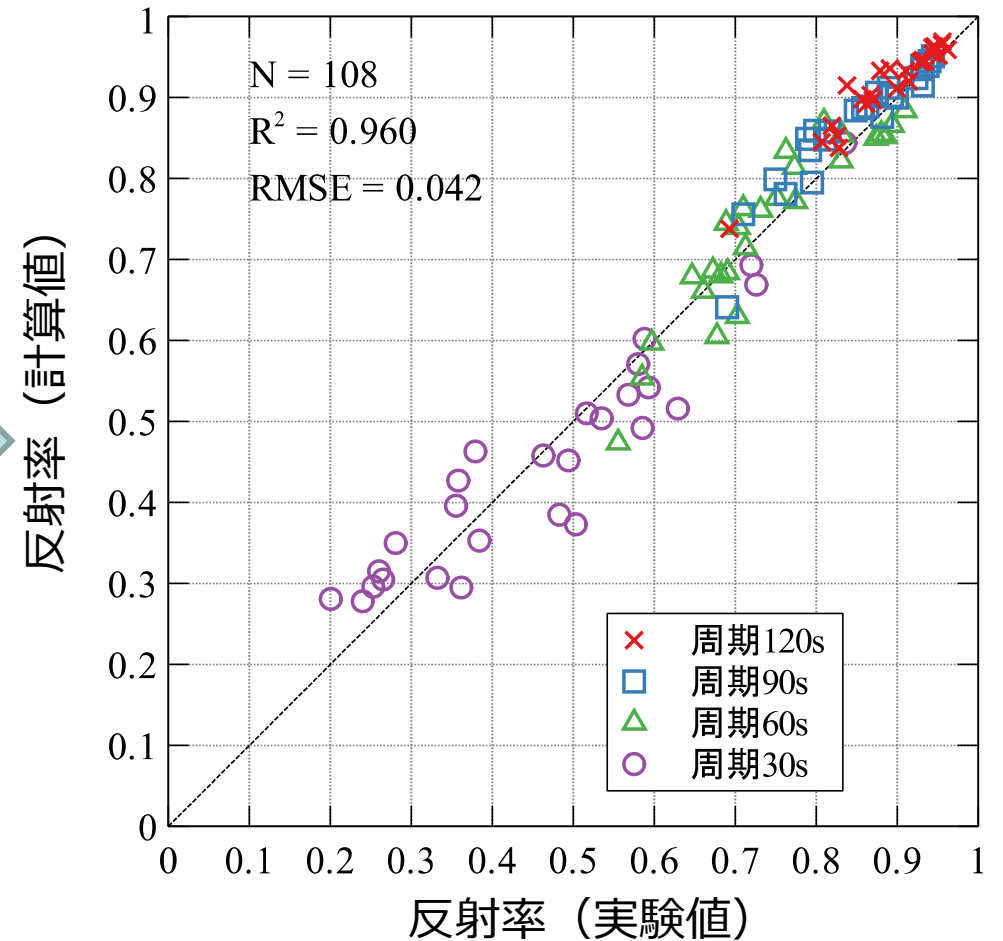
材料径 D_{50} 空隙率 ϕ

反射率の実験値と計算値の比較

(a) KC数考慮なし



(b) KC数考慮あり



実測値に基づく抵抗係数を用い、KC数の影響を考慮したことで反射率を精度良く推定

遊水部付き対策工の長周期波の消波性能の検討

- 幅広い条件での**水理模型実験**により遊水部付き対策マウンドの消波特性を把握した
 - 遊水部の影響については、特に潮位が下がり天端が干出する条件では遊水部付きの方が反射率は低くなる
 - 波長で無次元化した堤体幅 $(B'+B^*)/L$ が0.08程度以下の範囲では、マウンドの天端高を平均潮位より少し高く設定することで、消波性能がさらに向上
- OpenFOAMのVOF法を用いた**数値解析**により水理実験の再現計算を実施した
 - (1) 透水層内の抵抗力に関して、**実測値に基づく係数**を使用
 - (2) **KC数の影響**を考慮
 - することで、反射率を精度良く推定できることが示された