

没水型港内長周期波対策構造物

2013年8月6日



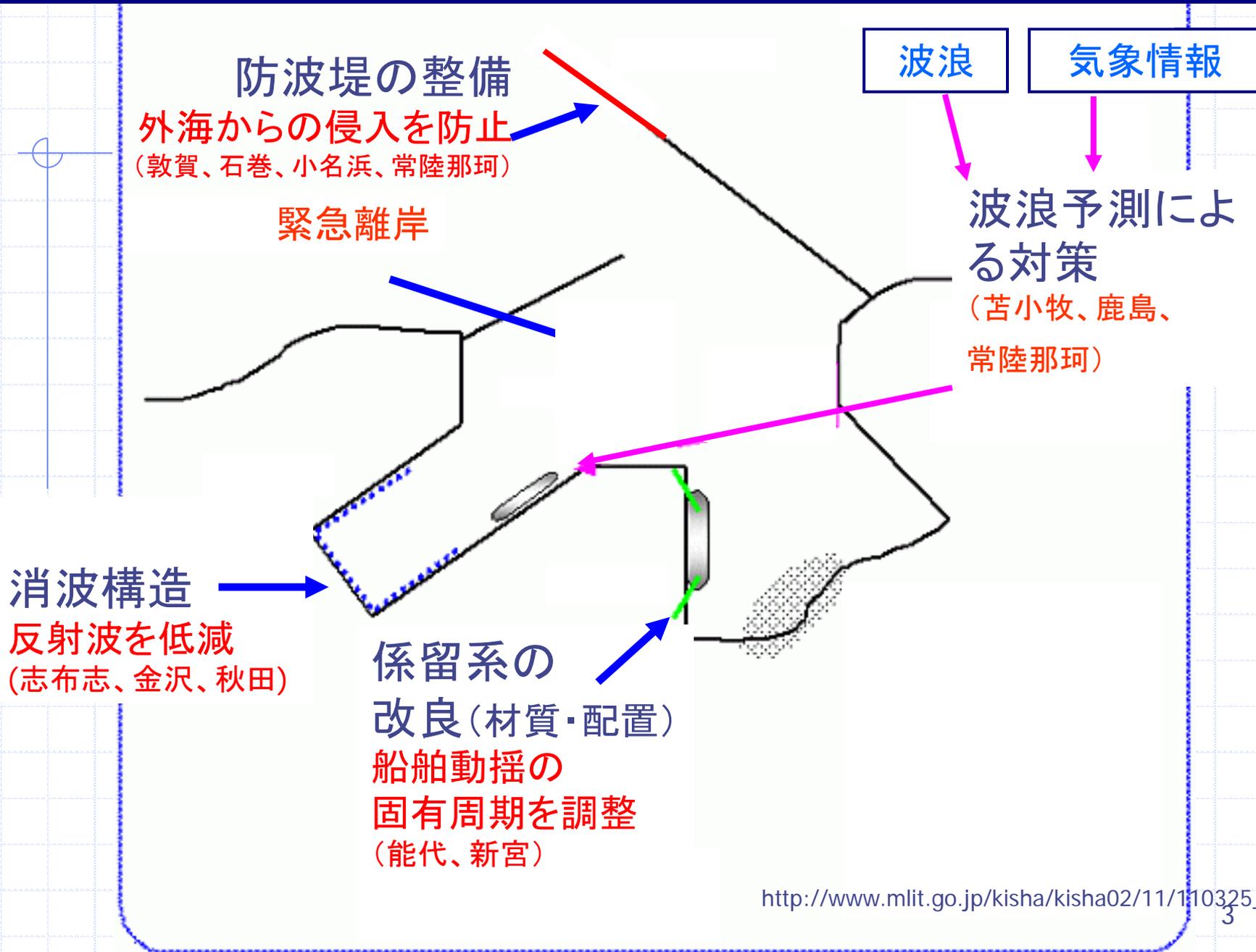
株式会社不動テトラ
ブロック環境事業本部 総合技術研究所

(連絡先)水理研究室 松本朗
akira.matsumoto@fudotetra.co.jp

内 容

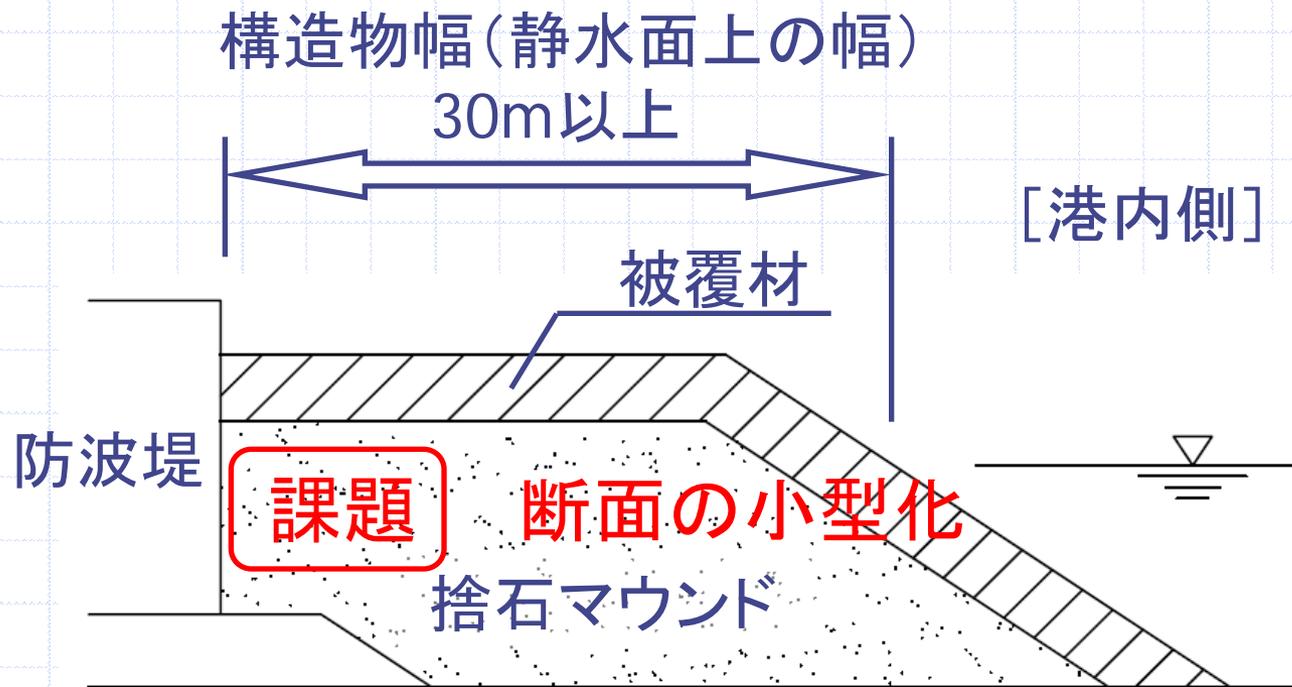
1. 港内長周期波対策の種類
2. 開発の目的
3. 消波特性
4. 越波に対する安定性
5. 設計計算例
6. まとめ

港内長周期波対策の種類 (実用化+検討段階)

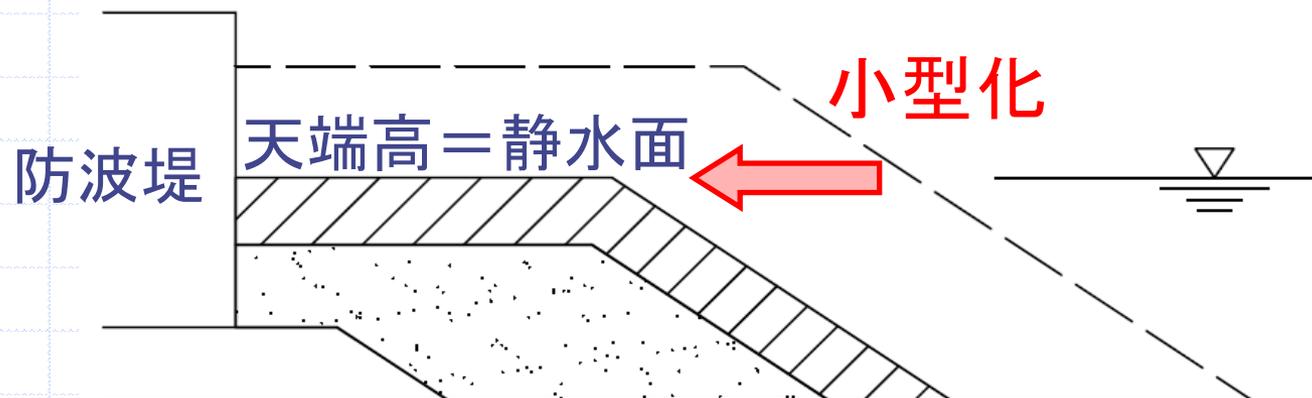


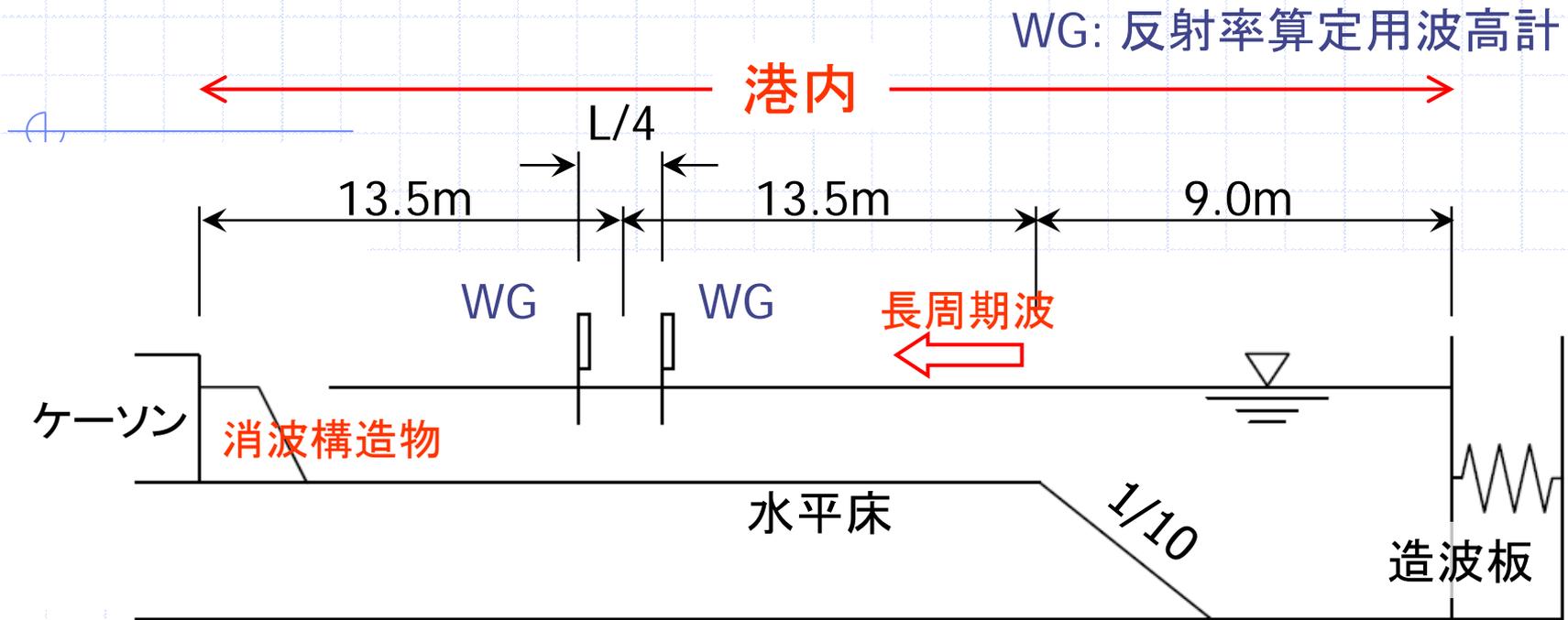
干出型

(従来断面)



没水型





造波水槽模式図 (港内から港外へ向かって造波)

条件(現地量)

○ 水深 : 10m

○ 入射波 : 規則波

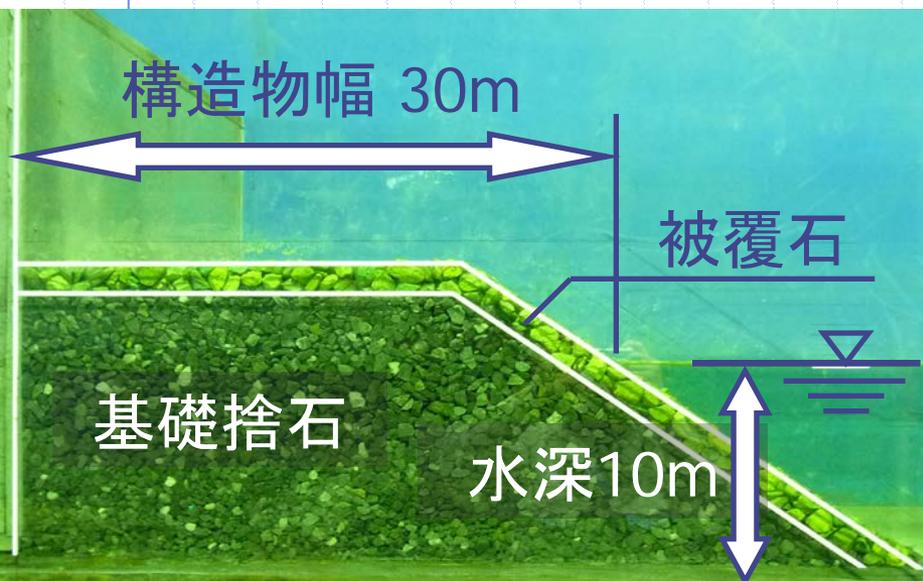
○ 縮尺 : 1/50

$\left\{ \begin{array}{l} H=0.25\sim 1.5\text{m} \\ T=30\sim 120\text{s} \end{array} \right.$

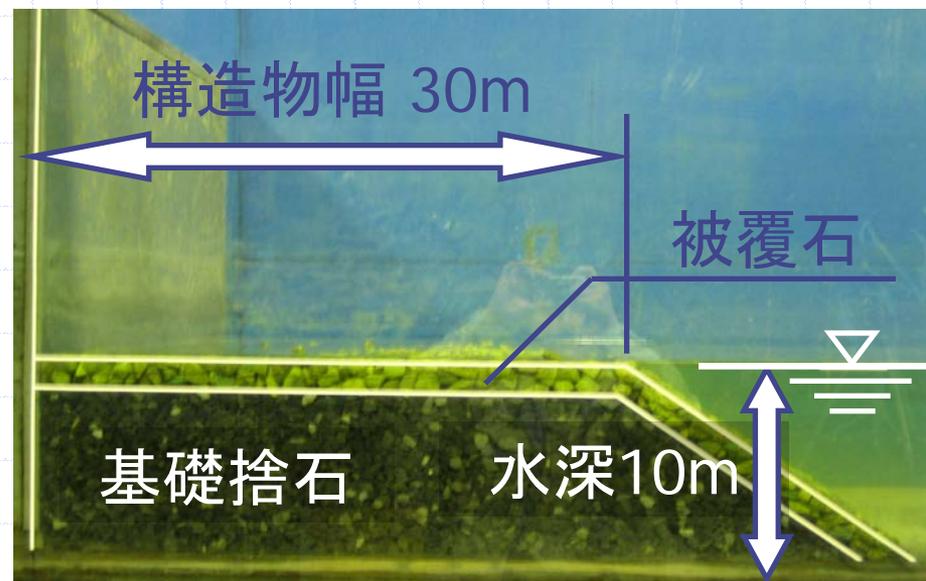
■ 没水型にすると反射率はどうなるか

干出型

(従来断面)

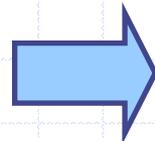


没水型

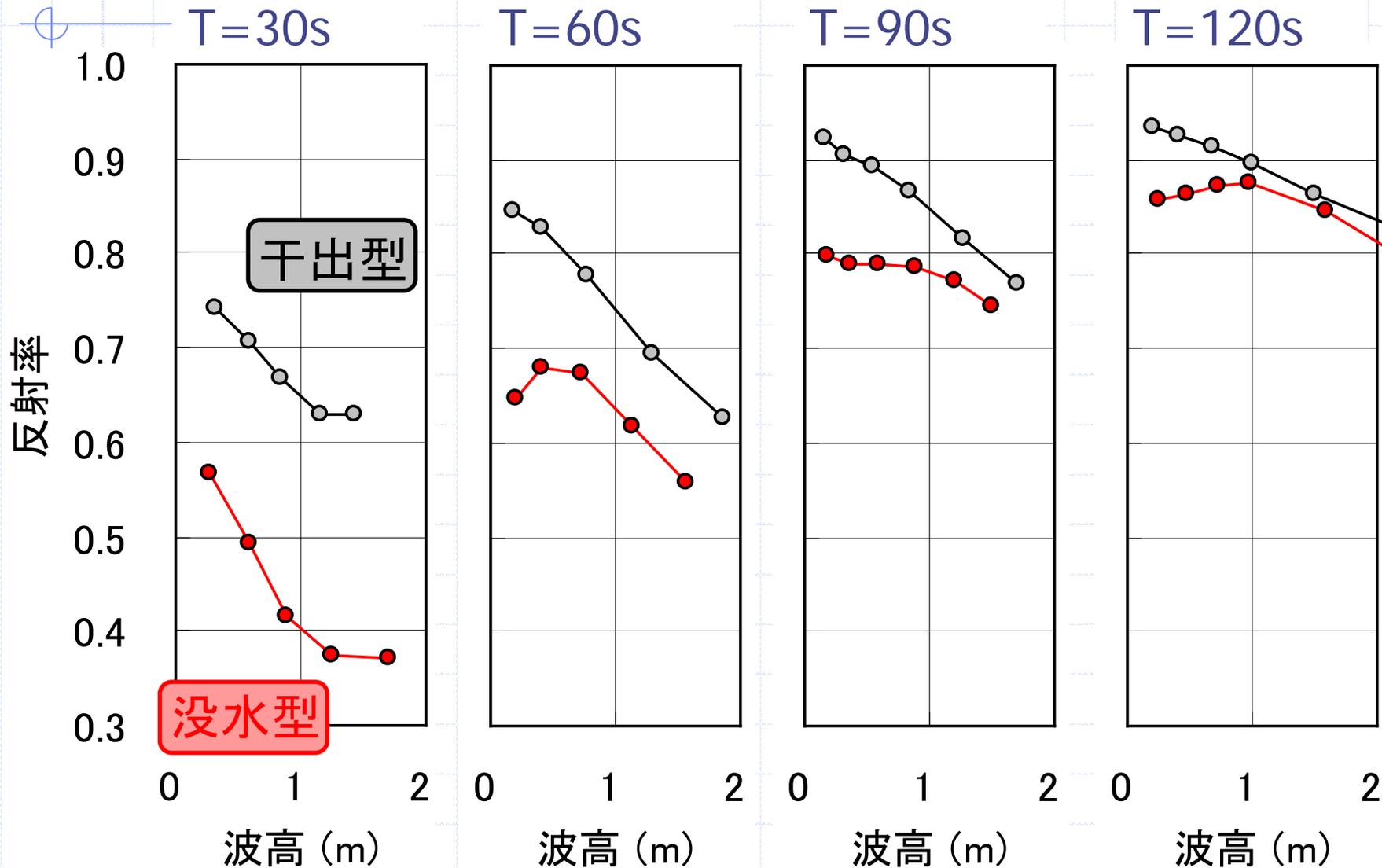


実験断面 (現地量)

■ 没水型にすると反射率はどうなるか



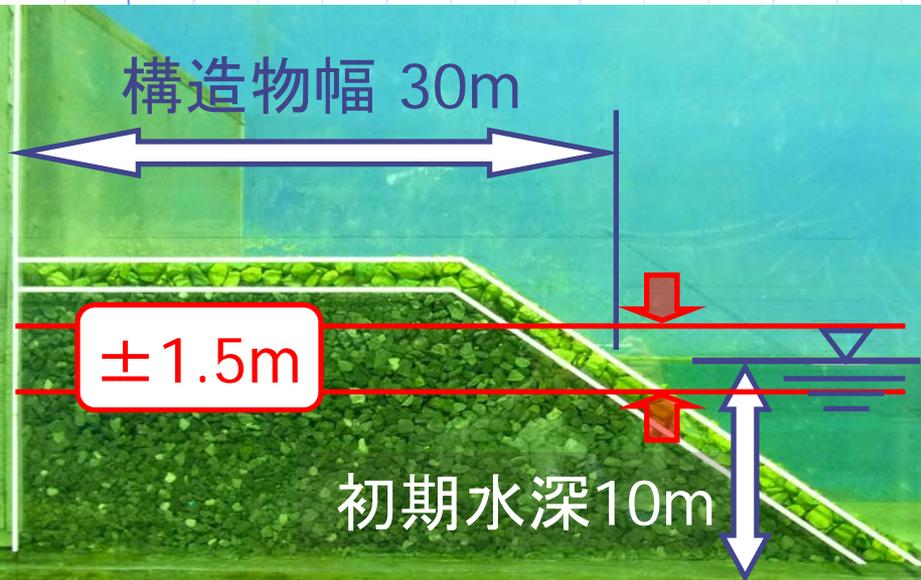
反射率は没水型 < 干出型



■ 潮位変化があるとどうなるか

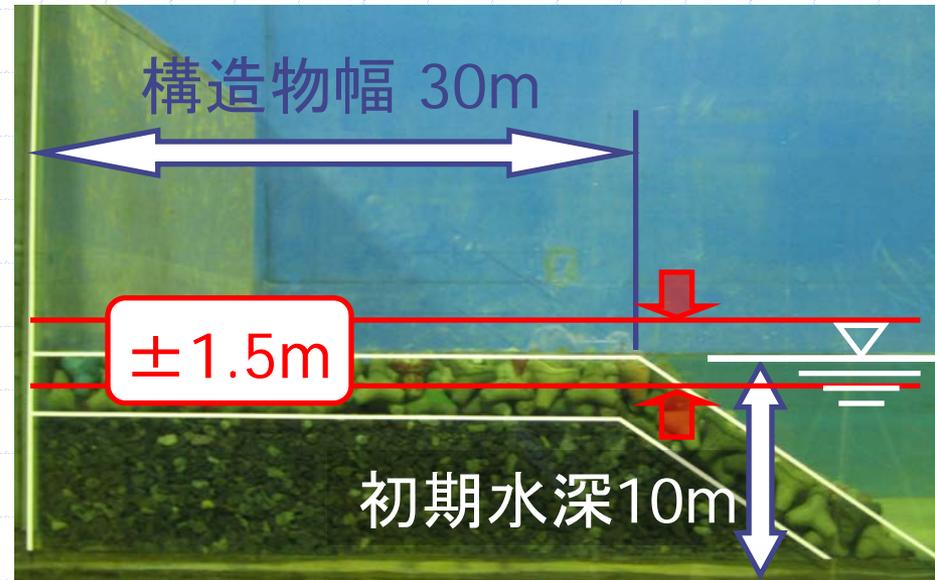
干出型

(被覆石 1t/個)



没水型

(テトラポッド 8t型)

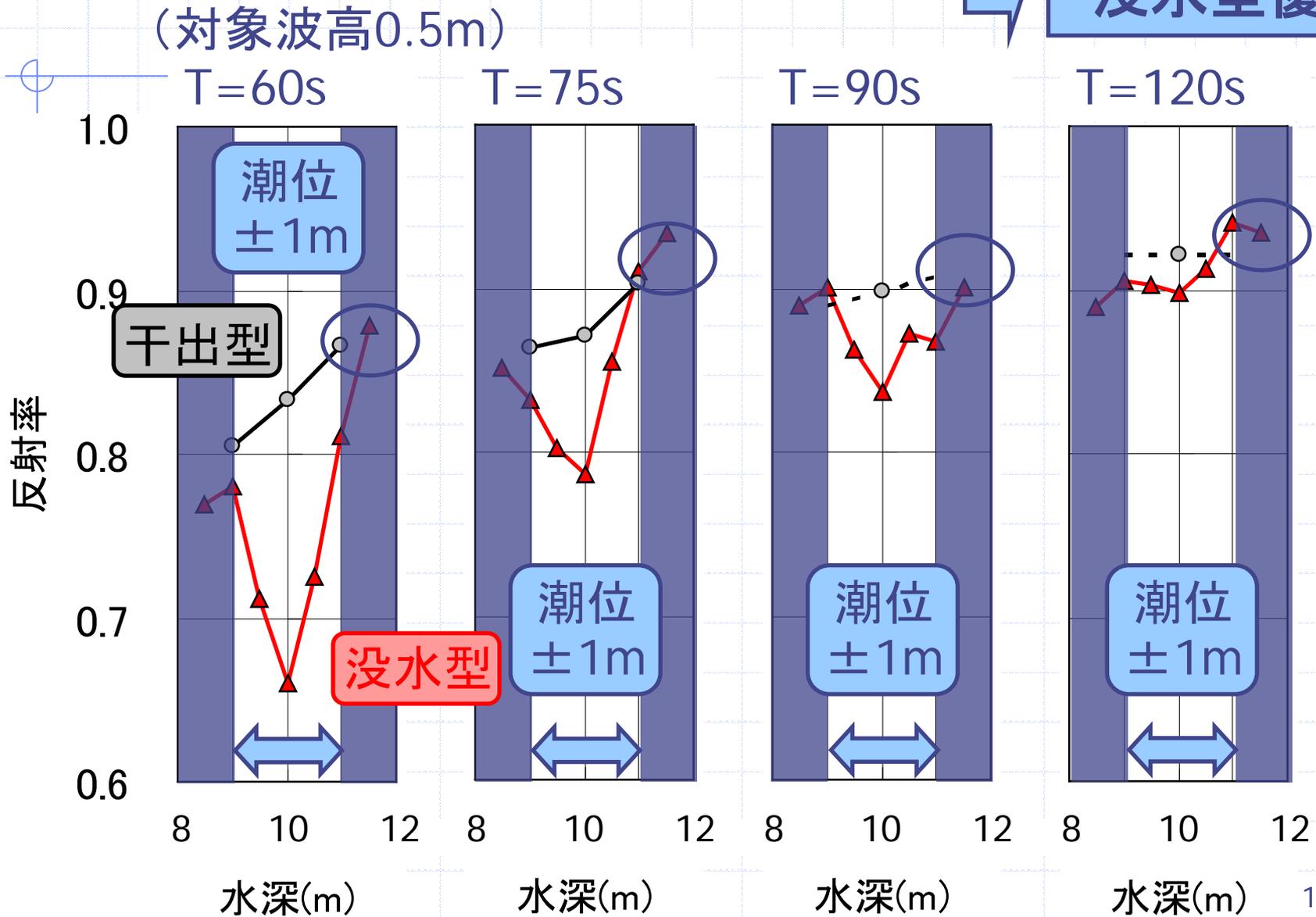


実験断面 (現地量)

■ 潮位変化があるとどうなるか

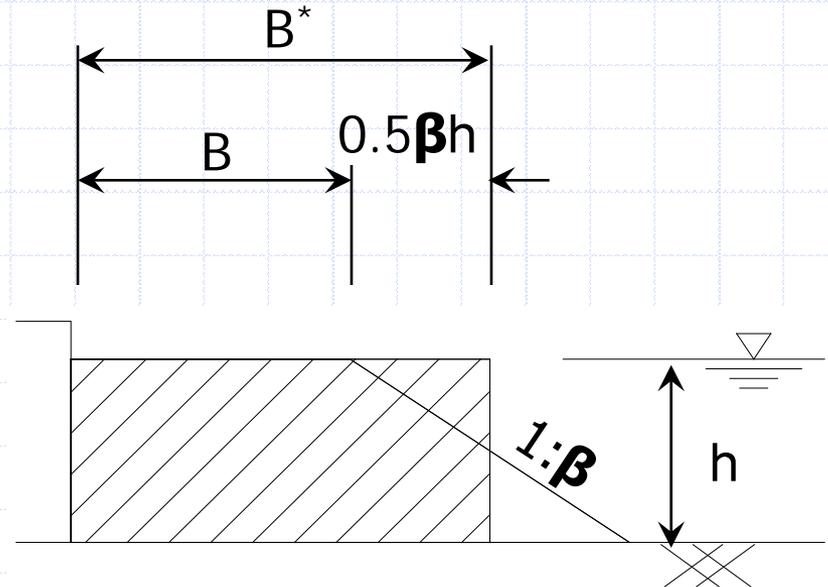
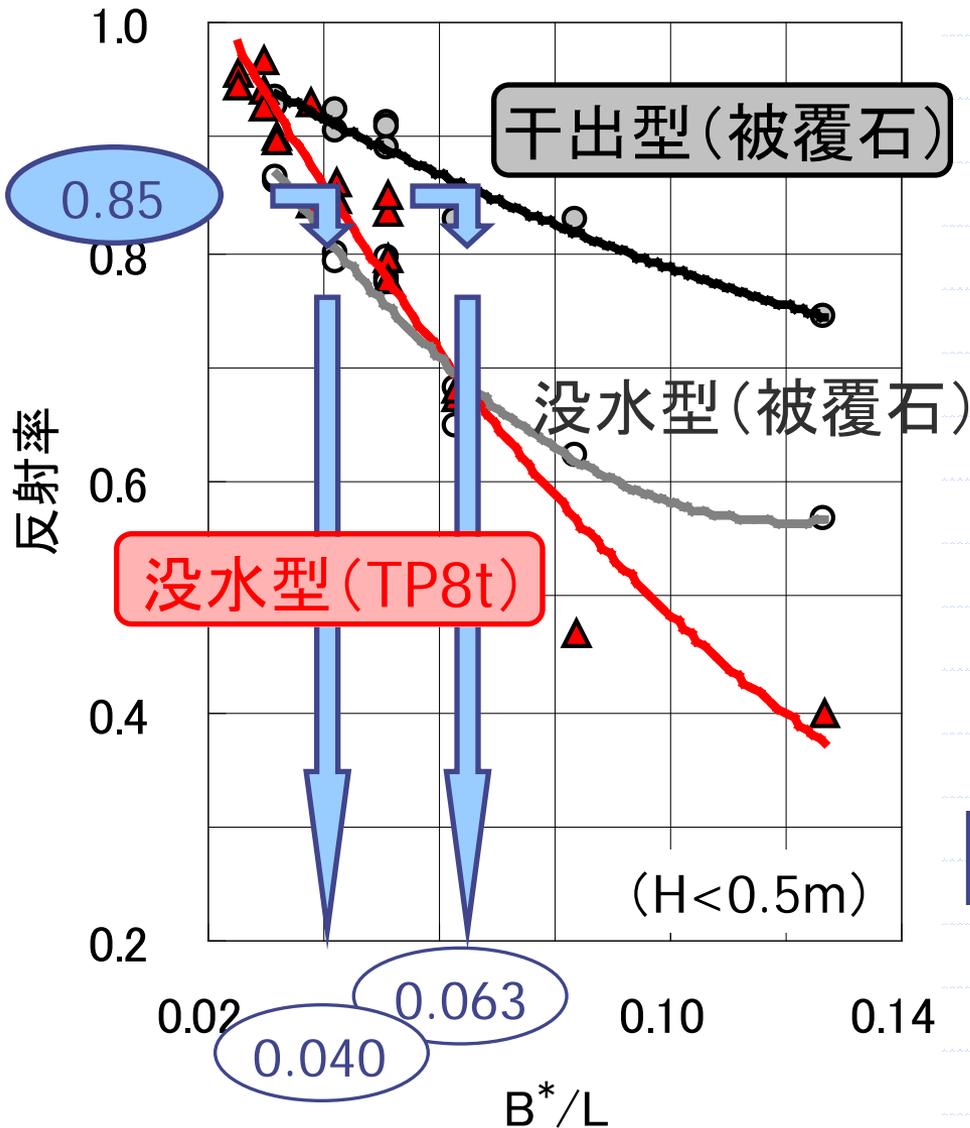


没水型優位



■ 構造物幅はどれだけ縮小できるか

断面諸元と反射率(テトラ8t型)



$T=60s, h=10m, \beta=1.5$ のとき

構造物幅 B

- { 干出型 約30m
- { 没水型 約16m

消波効率が高い理由

消波のメカニズム

- (1) 構造物**内部**で**流れが空隙を通過**するときのエネルギー減衰
- (2) 構造物**表面(天端)**でのエネルギー減衰
- (3) 構造物近傍の**渦構造**によるエネルギー減衰

干出型：**(1)の効果**に期待

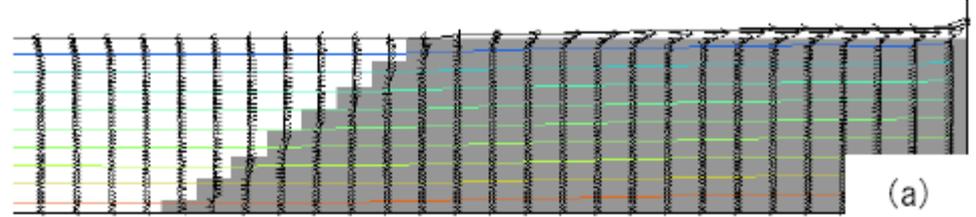
- 水面上にもボリュームを有する大きな構造物
- 天端はエネルギー減衰には寄与しない

没水型：**(2)、(3)の効果**に期待

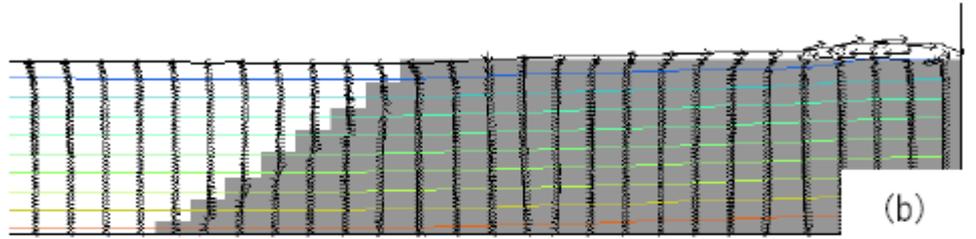
- ボリュームは小さい
- 天端のエネルギー減衰と渦構造を積極的に利用

数値解析結果(没水型マウンド周辺の流れの様子)

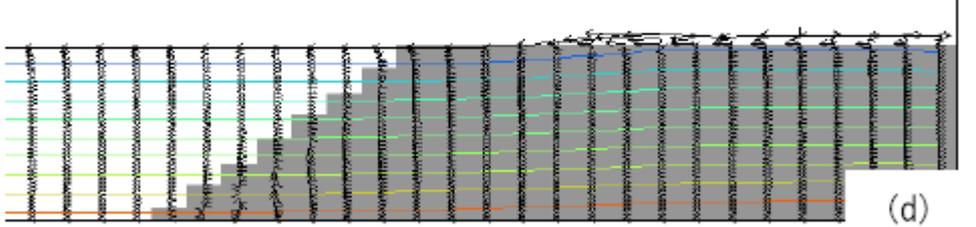
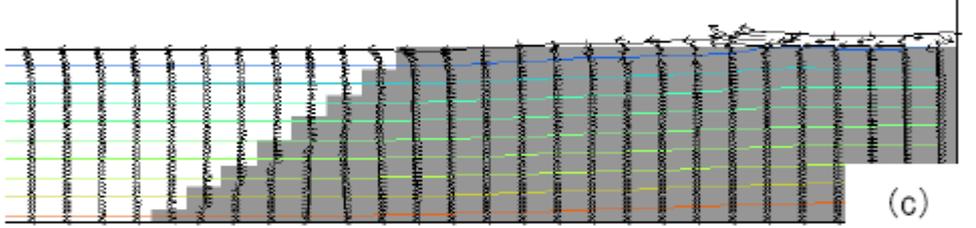
(a): 長周期波がケーソン壁面へ衝突した瞬間. 天端上の薄い水の層内で, 鉛直方向に**大きな速度勾配**を持つ流れになっている.



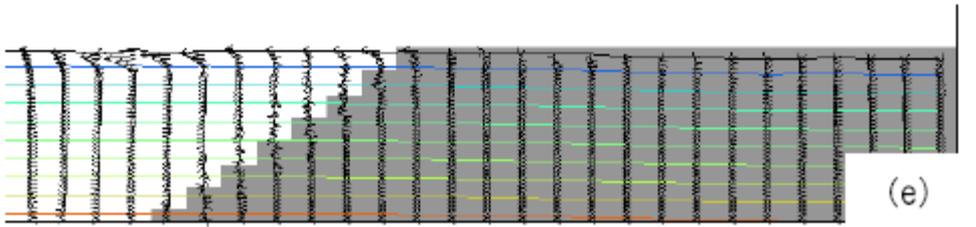
(b): ケーソンからの反射波が港内側へ戻り始める瞬間. 流れは右回りの渦を伴いながら左側へ進んでおり, この**渦構造**により流れのエネルギーが消費される.



(c), (d): 天端上の流れは**乱れ**を伴いながら港内側へ進む.



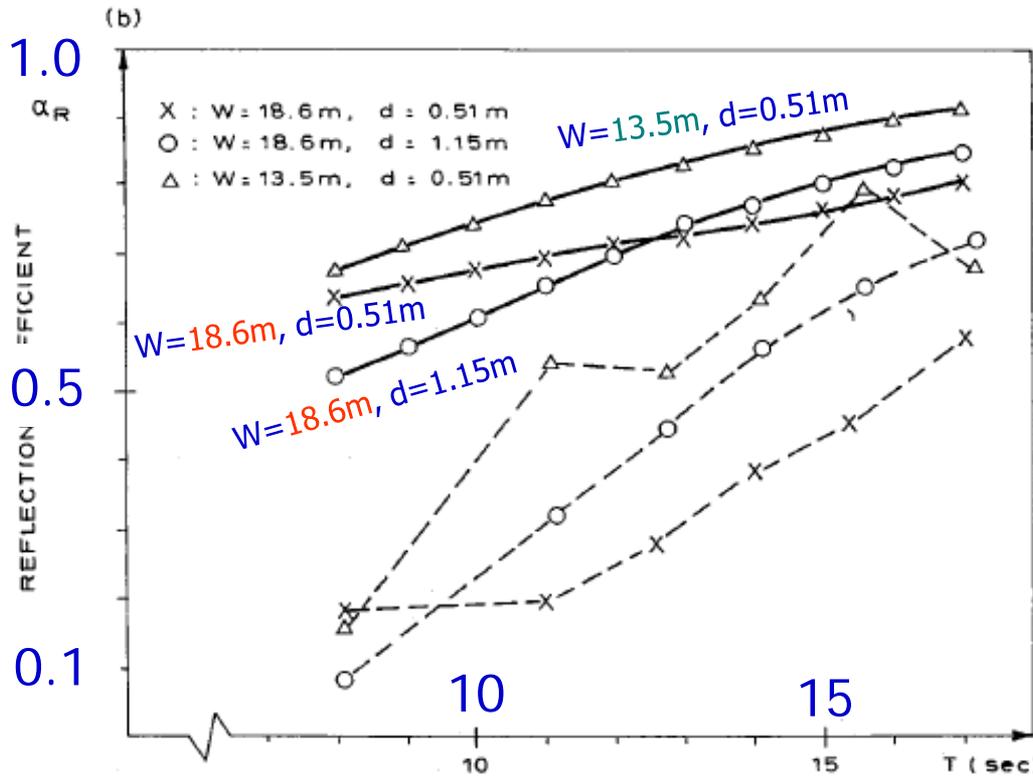
(e): 流れは港内側の水域へ放出される. このとき, 斜面上で左周りの**渦構造**が形成されている. この渦構造もエネルギーの消費に寄与する.



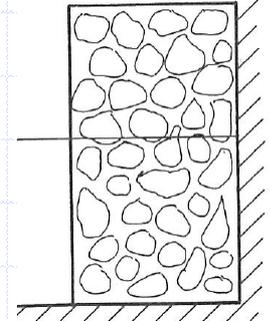
既往の研究例

(直立透過性消波材からの波の反射)

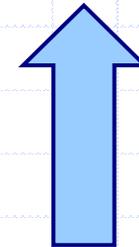
反射率



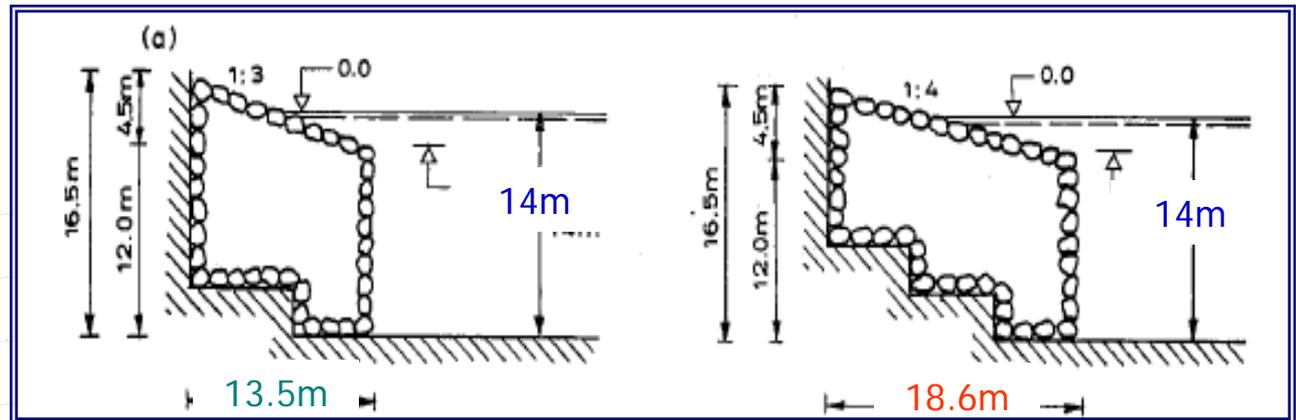
干出型
(理論値)

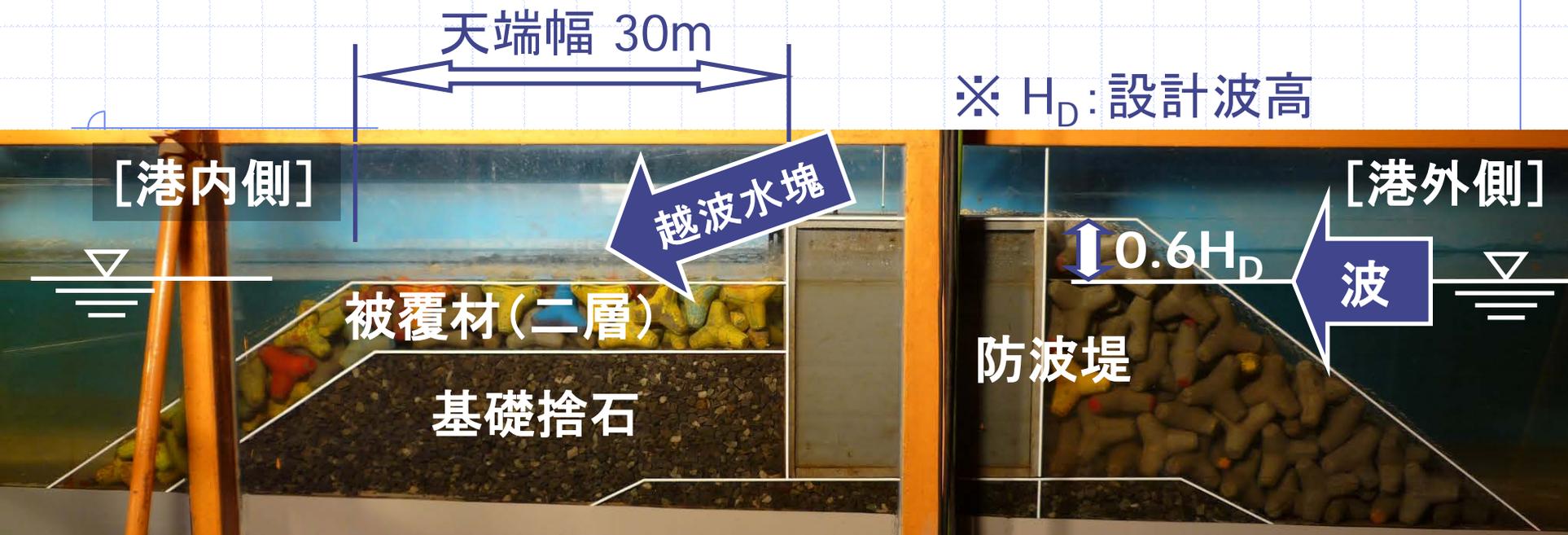


没水型
(実験値)



周期, T (s)





実験断面(現地量)

実験条件

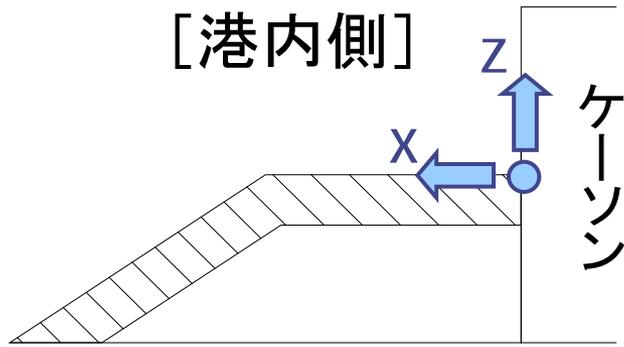
- 入射波：不規則波 $\begin{cases} H_{1/3} = 0.4H_D \sim 1.2H_D (H_D = 7.5\text{m}) \\ T_{1/3} = 14\text{s} \end{cases}$
- 縮尺：1/50

動画

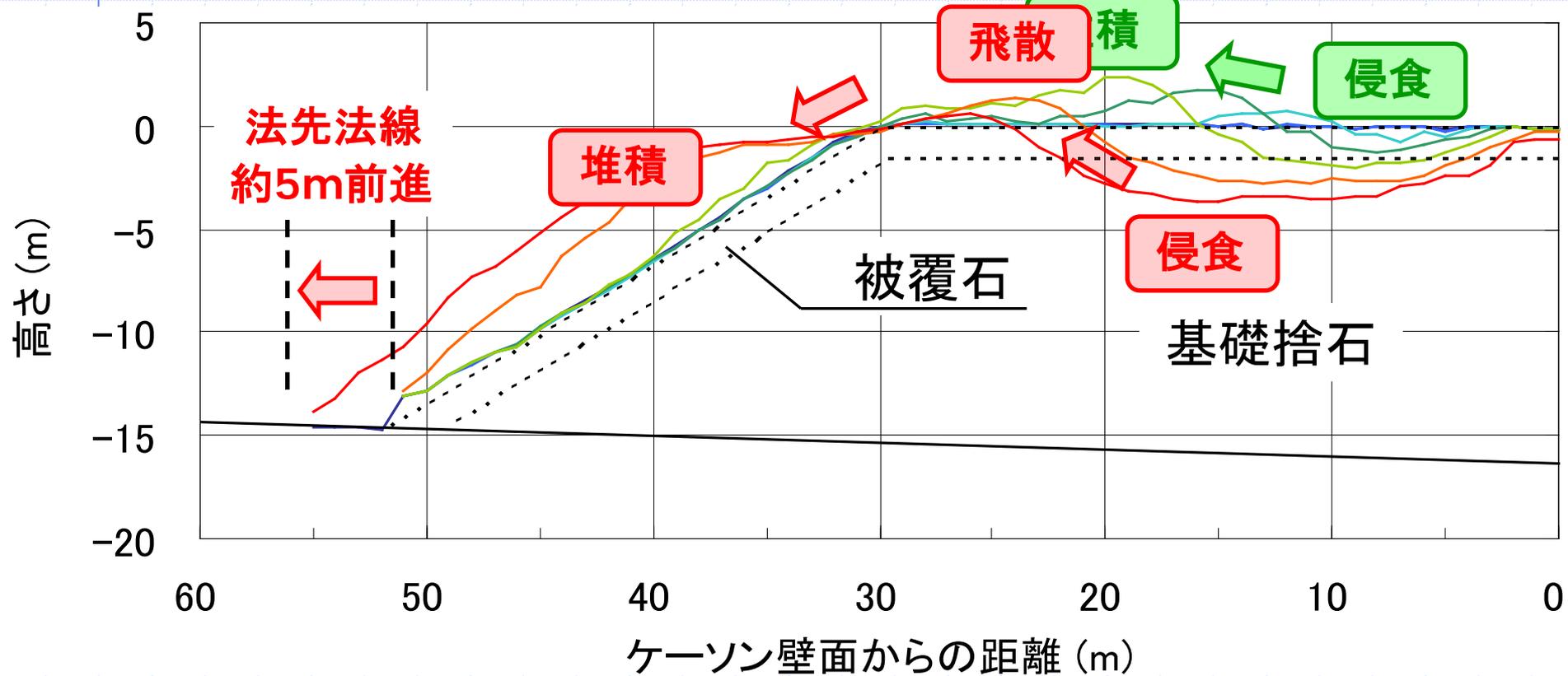


■被害はどのように進行するか

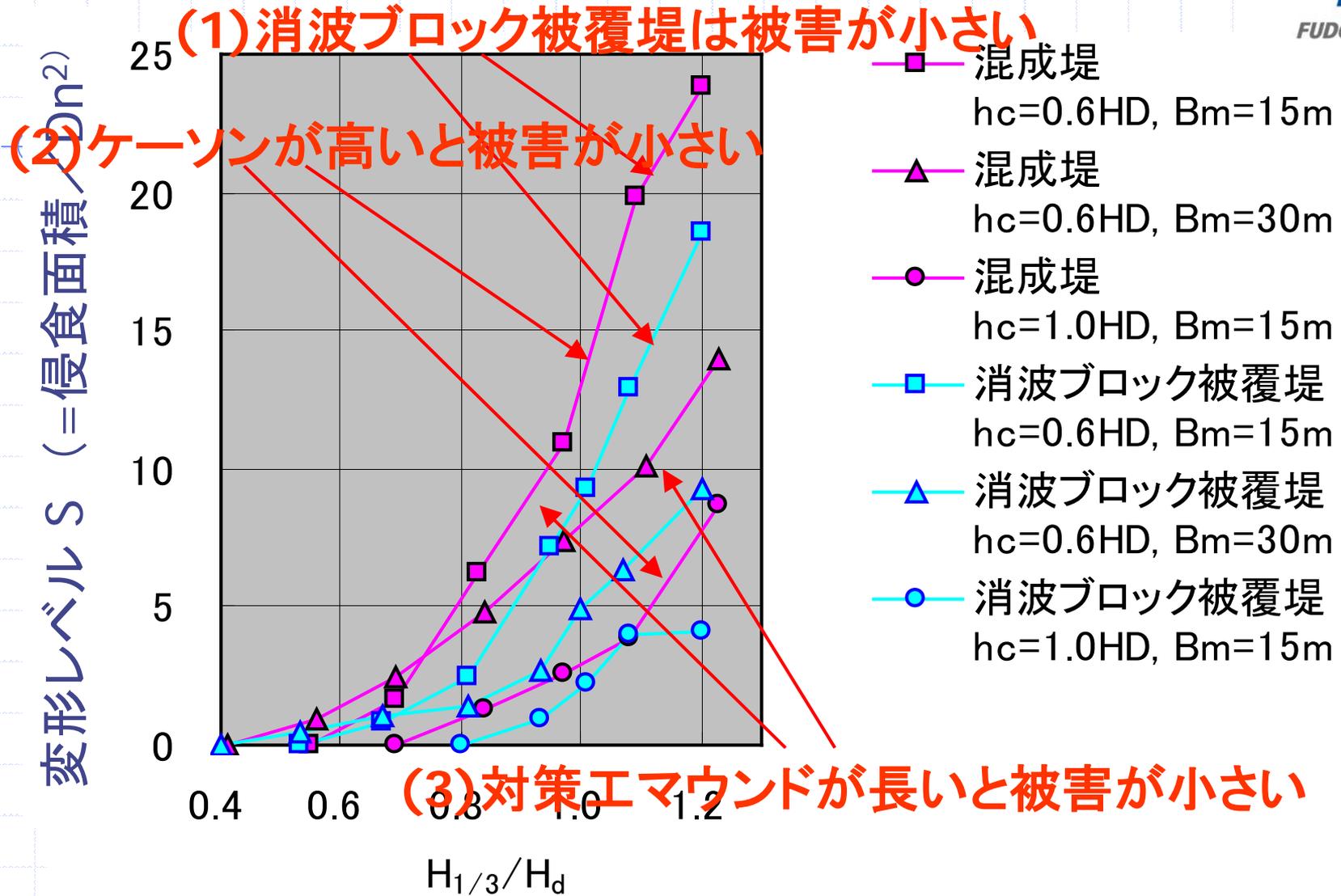
[港内側]



- 波当て前
- $H1/3/Hd = 0.4$
- $H1/3/Hd = 0.5$
- $H1/3/Hd = 0.7$
- $H1/3/Hd = 0.8$
- $H1/3/Hd = 0.9$
- $H1/3/Hd = 1.0$
- ⋯ 当初の被覆層



■テトラポッドの所要質量の計算方法は



断面諸元別の被害の程度の違い(変形レベル, テトラ16t型)

Ns算定式(式形)

Nsを用いたハドソン式を準用

$$M = \frac{\rho_r \cdot H^3}{N_s^3 \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1 \right)^3}$$

M: テトラポッドの所要質量(t)
H: 設計波高(m)
 ρ_r : コンクリートの密度(2.3t/m³)
 ρ_w : 海水の密度(1.03t/m³)

$$N_s = C_H \left\{ 2.32 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.2} + 1.33 \right\} \quad \begin{array}{l} \text{混成堤前面} \\ \text{(高橋らの評価式)} \end{array}$$

$$N_s = C_H \left\{ 2.32 k_a \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.2 k_c} + 1.33 k_b \right\} \quad \text{混成堤背面}$$

断面諸元ごとのNs算定式

■ 混成堤

■ $h_c = 0.6H_D, B_M = 15m$

$$N_S = C_H \left\{ 3.82 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 1.79 \right\}$$

■ 消波ブロック被覆堤

$$N_S = C_H \left\{ 2.48 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 2.19 \right\}$$

■ $h_c = 1.0H_D, B_M = 15m$

$$N_S = C_H \left\{ 6.32 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 2.08 \right\}$$

$$N_S = C_H \left\{ 4.37 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 2.62 \right\}$$

■ $h_c = 0.6H_D, B_M = 30m$

$$N_S = C_H \left\{ 3.15 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 2.06 \right\}$$

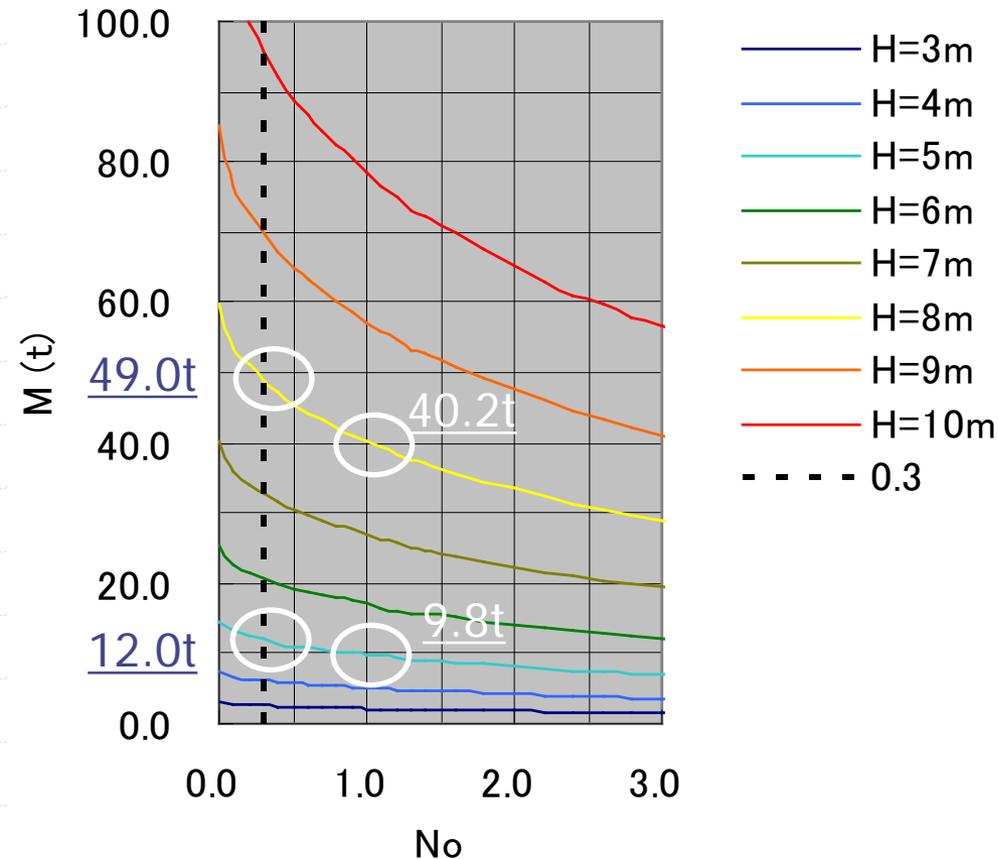
$$N_S = C_H \left\{ 3.44 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 2.38 \right\}$$

所要質量の算定例

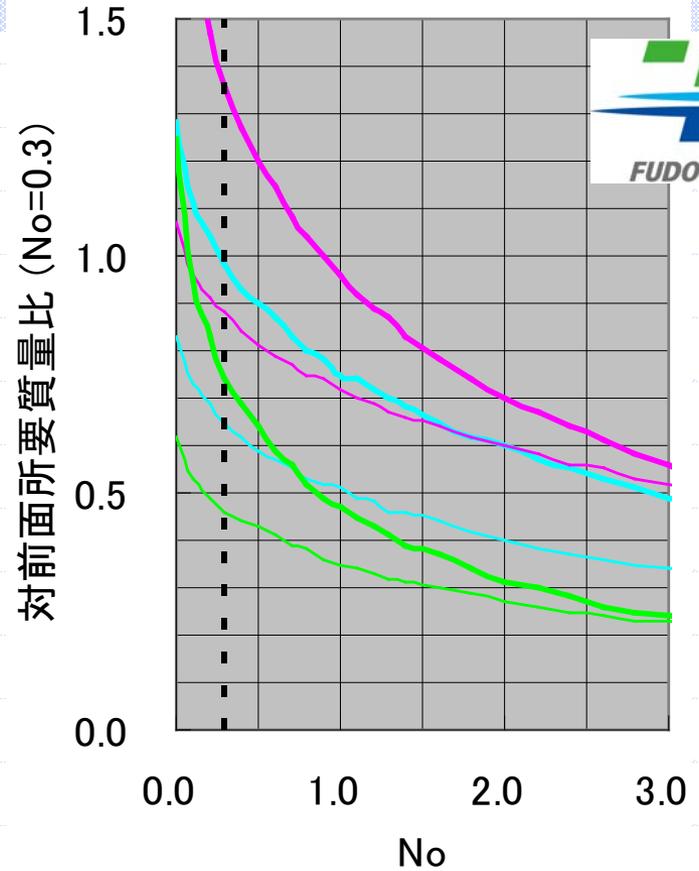
■ $h_c = 0.6H_D$, $B_M = 15m$

消波ブロック被覆堤

$$N_S = C_H \left\{ 2.48 \left(\frac{N_0}{N^{0.5}} \right)^{0.6} + 2.19 \right\}$$



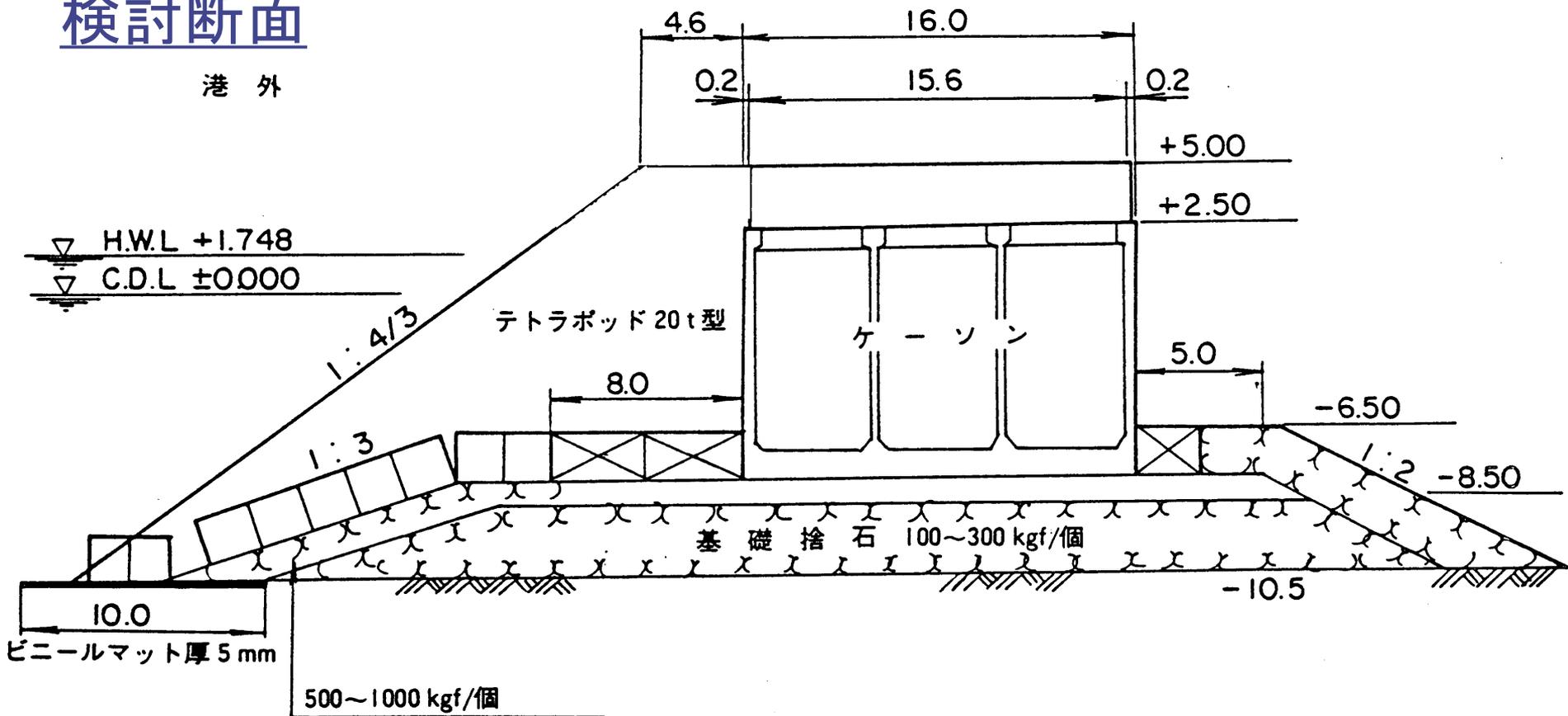
N_0 と所要質量の関係



N_0 と前面所要質量比の関係

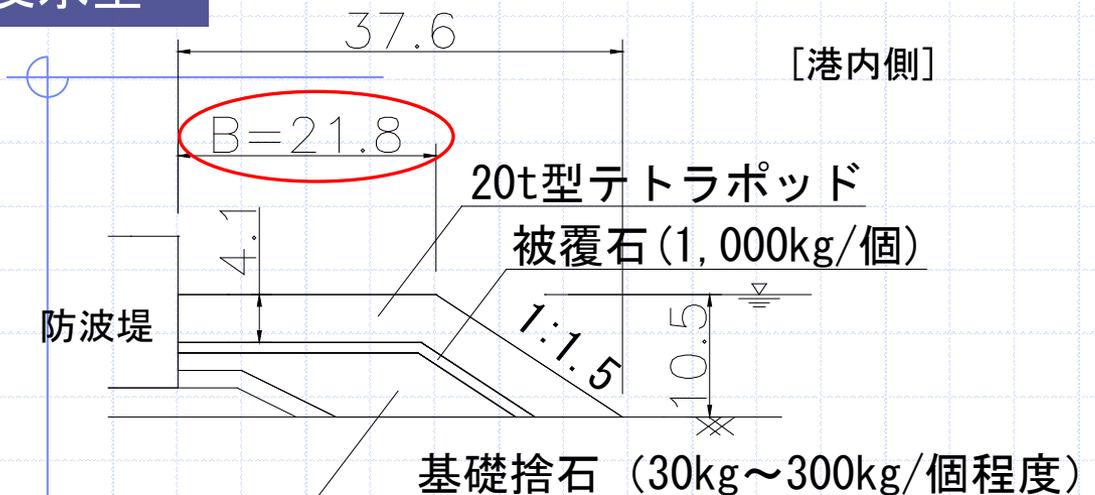
検討断面

港外



モデル防波堤断面図

没水型



m当たり概算数量

基礎捨石投入	96.84 (m ³)
同上均し (±50cm)	30.21 (m ²)
被覆石投入	28.03 (m ³)
同上均し (±50cm)	32.10 (m ²)
消波ブロック製作	9.33 (個)
同上据付	9.33 (個)

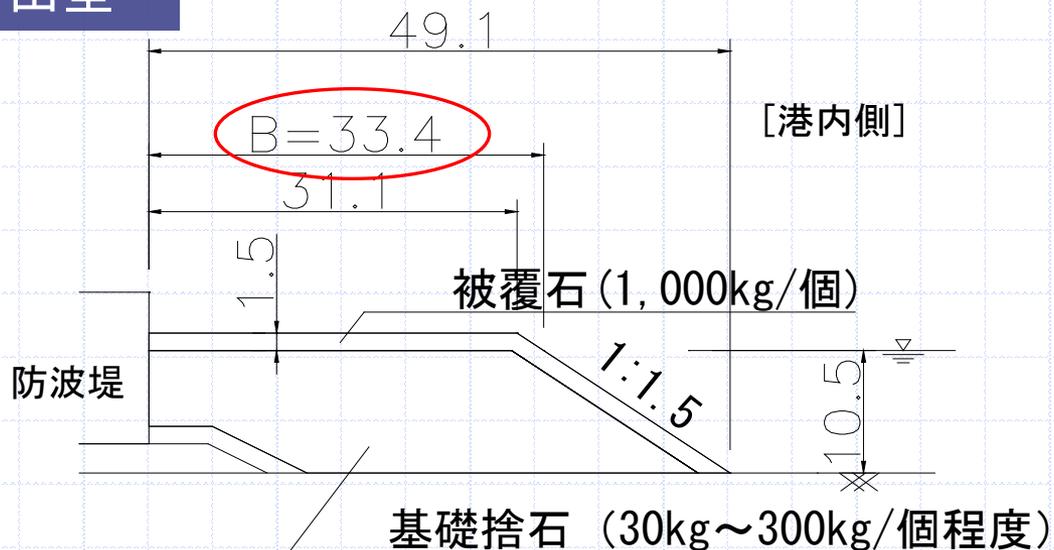


概算直接工事費

¥2,960,000/m

(対干出型比: 0.76)

干出型



m当たり概算数量

基礎捨石投入	367.05 (m ³)
同上均し (±50cm)	49.58 (m ²)
被覆石投入	76.73 (m ³)



同 ¥3,880,000/m

(1.00)

- (1) 天端が静水面に位置する没水型は、従来の干出型より長周期波の反射率を低減できる。
- (2) 没水型の場合、テトラポッド二層被覆形式を用いると、広い周期範囲で反射率を小さくできる。
- (3) 港外からの越波に対して、被覆石では構造物の被害が甚大であった。テトラポッド8t型は侵食は基礎捨石マウンドに至らなかった。
- (4) 没水型長周期波対策工により、コスト縮減と狭隘な海域での適用性の向上が実現する。
- (5) 没水型長周期波対策工は津波に対するケーソンの滑動抵抗増大の機能を有する。