

津波に対する
防波堤港内側マウンドの保護工法
(被覆材の安定性照査方法の提案)

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. はじめに
2. 水理模型実験
3. 所要質量算定方法の検討
4. 設計計算例

防波堤の津波対策(粘り強い構造)

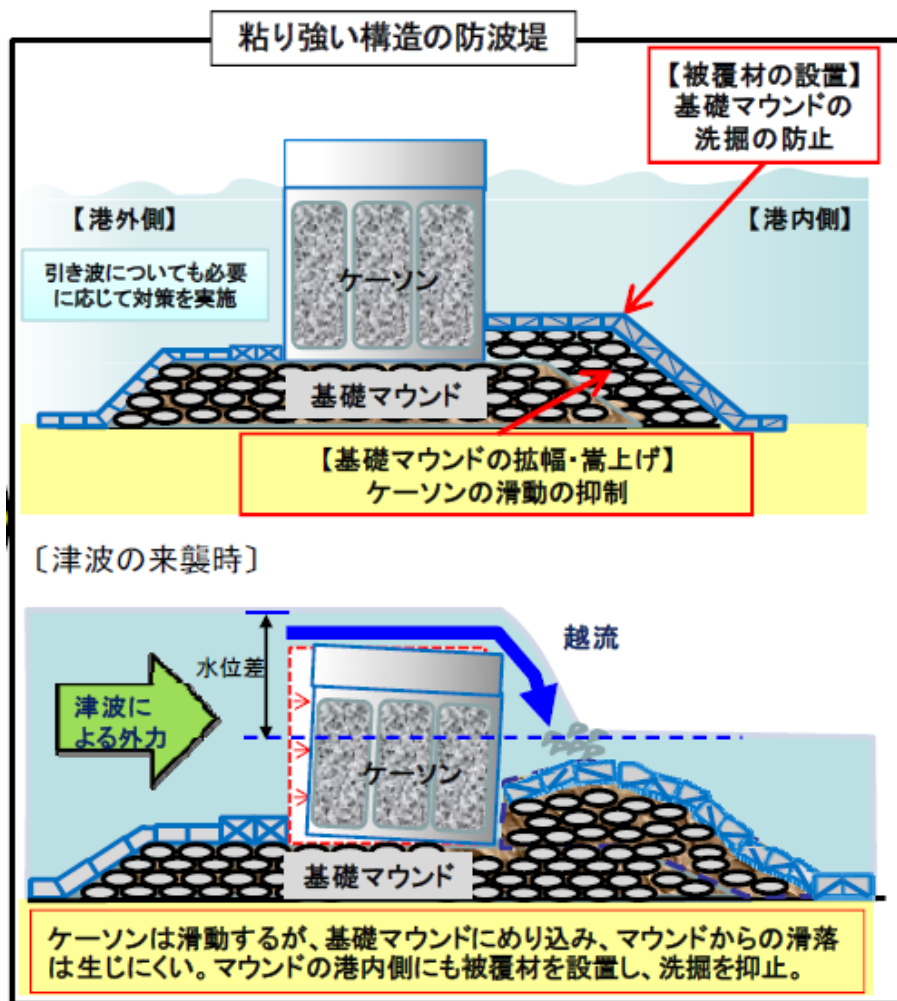
- 腹付け工の設置により
ケーソンの滑動を防ぐ
- 被覆材の設置により
基礎マウンドの洗掘を防ぐ

～課題～

- 被覆材の津波越流に対する
安定性が不明

～目的～

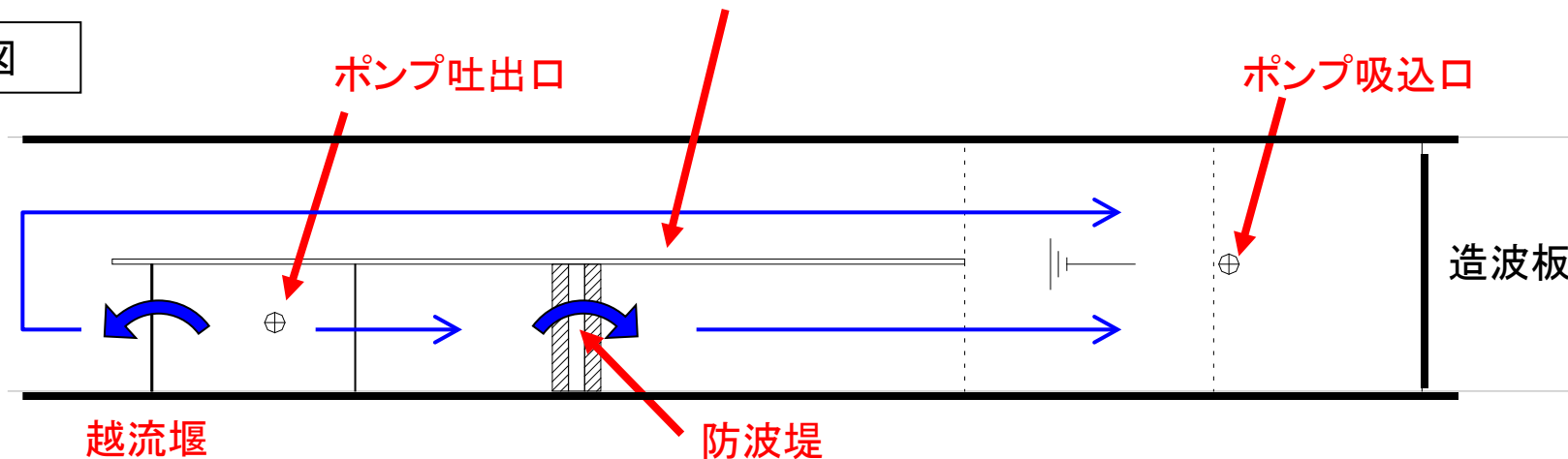
- 被覆材の津波越流に対する
安定性を明らかにする
- 簡便で精度の高い被覆材の
安定性照査方法を提案する



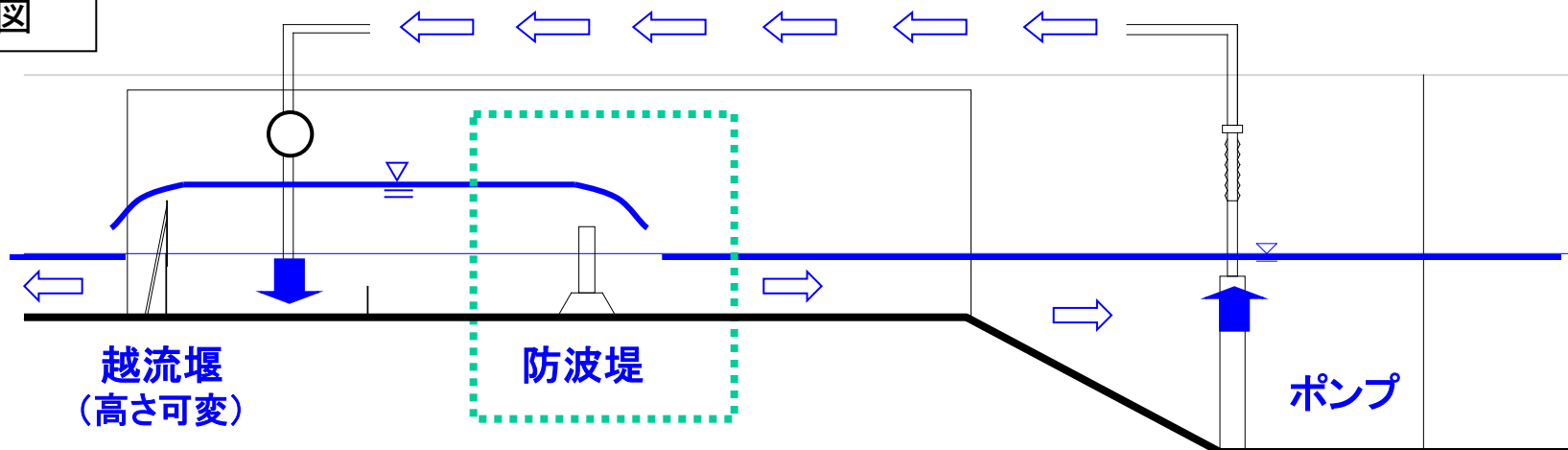
水理模型実験

断面水路(幅1m)を縦に2つに仕切る

平面図



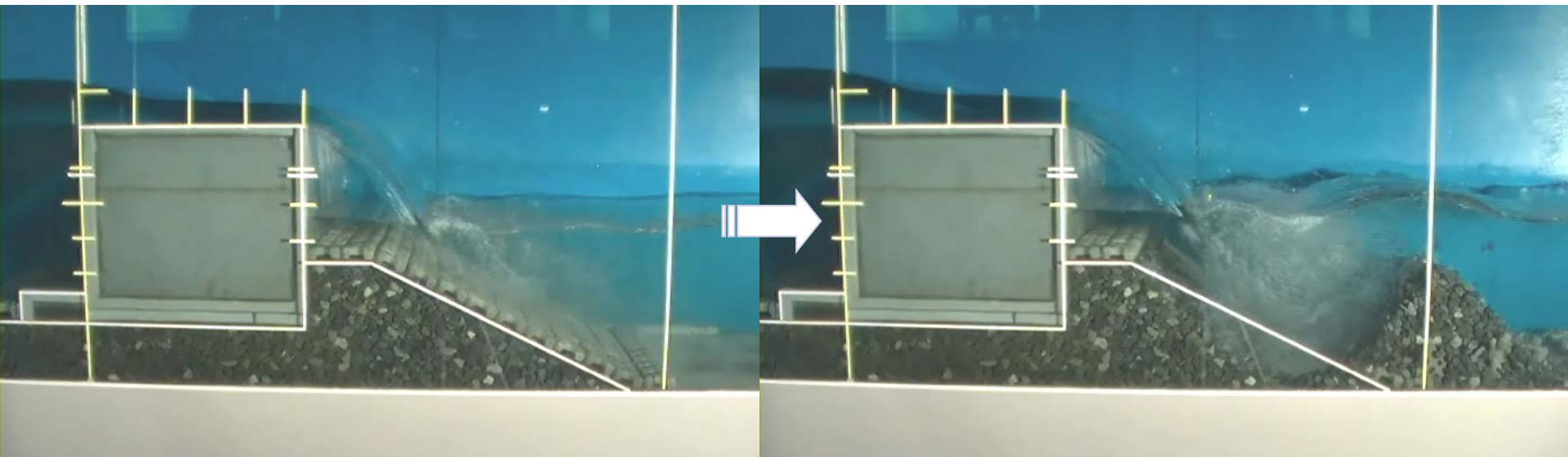
断面図



- ・定常状態の越流水深と港内側水位が所定の値となるように、事前に越流堰高さ、初期水位との関係を検定した

実験状況（ペルメックス4t型、越流水深4.0m）

- 越流水深：1.0m～8.5m
- 越流の継続時間：15分
- 被覆材が被災すると急激に被災が進行
⇒マウンド全体が大きく洗掘される



ペルメックス4t型、越流水深4.0mのケース

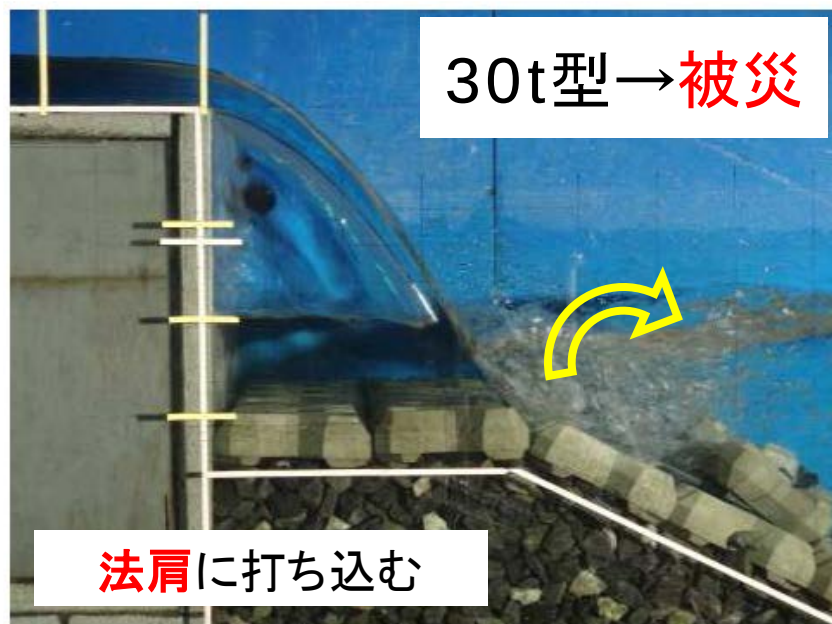
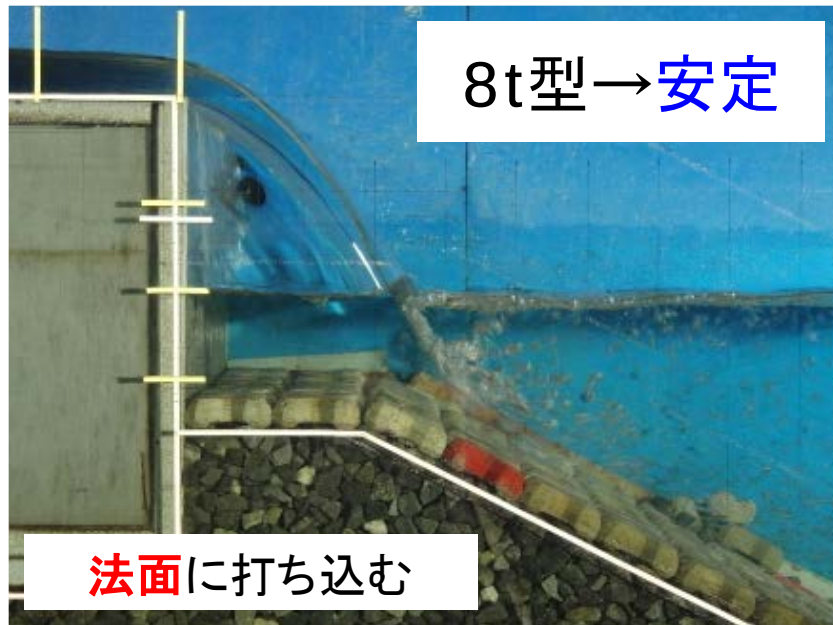
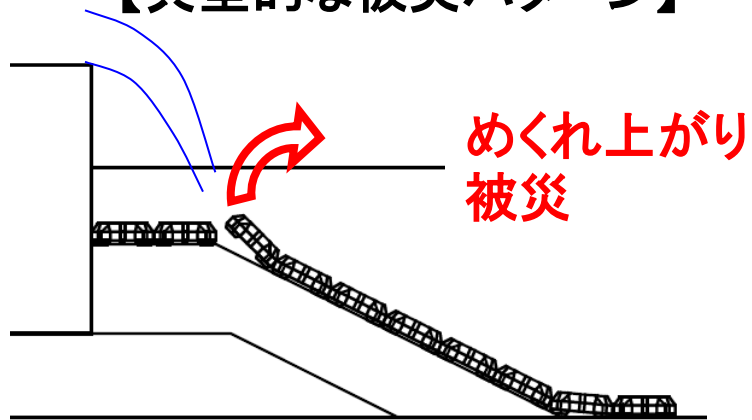
エックスブロックの特徴



■ **法肩が弱点となる**

越流水深2.5m

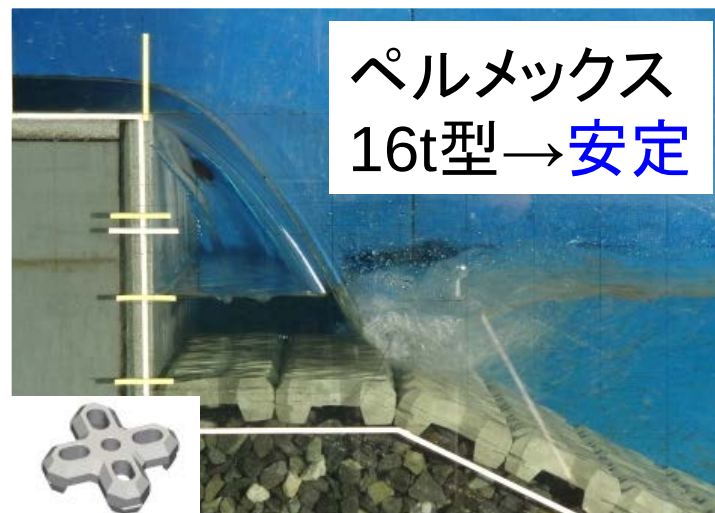
【典型的な被災パターン】





- 開口部による揚圧力の軽減により高い安定性
- 特に法肩の安定性が向上

越流水深2.5m

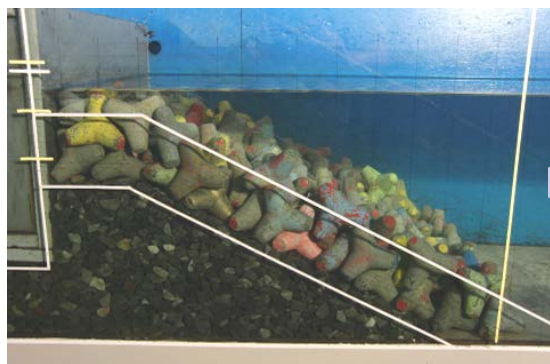




■ブロックが多数被災した後もマウンド洗掘されにくく、粘り強い

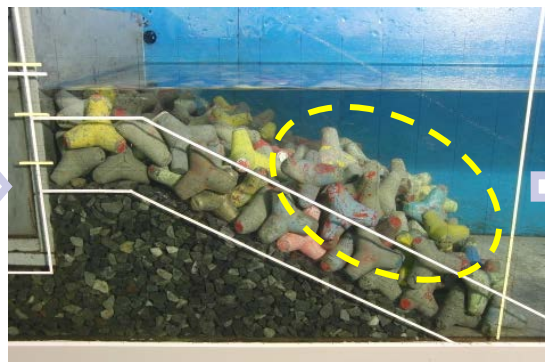
越流水深3.0m

テトラポッド16t型



被害1個

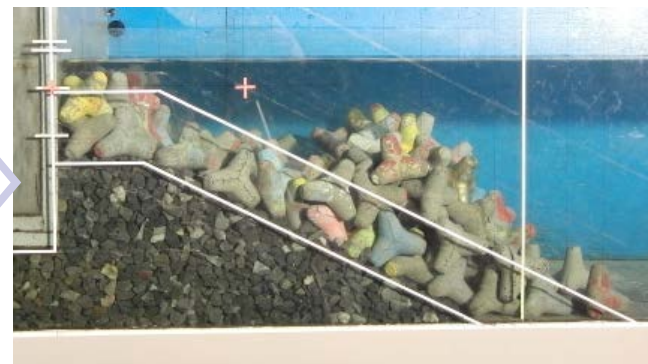
越流水深3.5m



ブロック被害多数

※マウンドの変形は無い

越流水深4.0m



ブロック被害多数

※マウンドの洗掘はわずか



被覆材の種類による特徴

□被覆ブロック

- ・開口部による揚圧力の軽減が有効

□消波ブロック

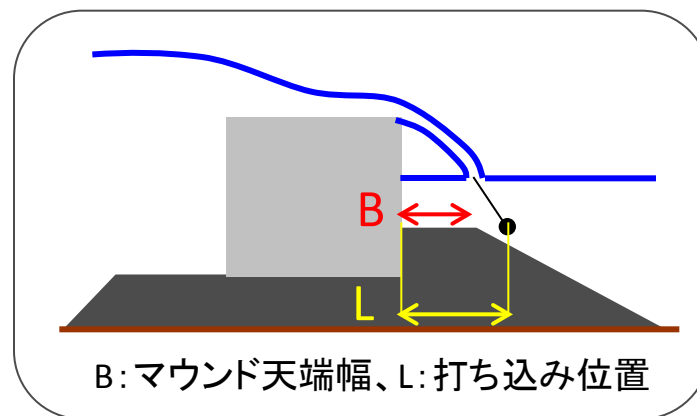
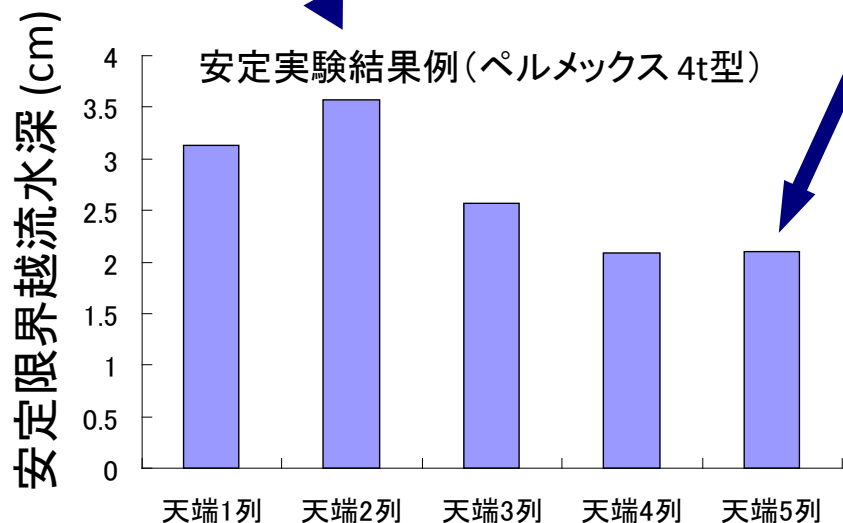
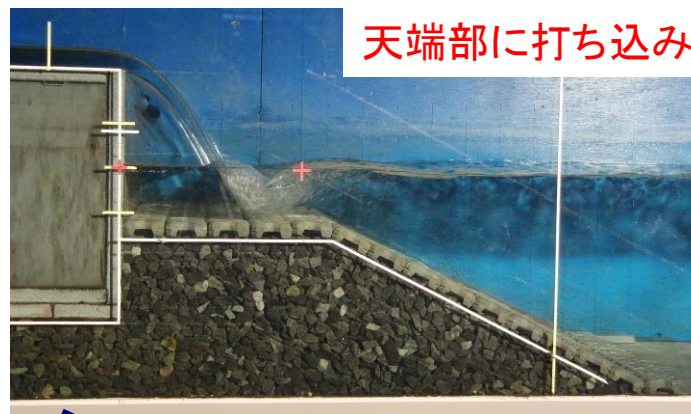
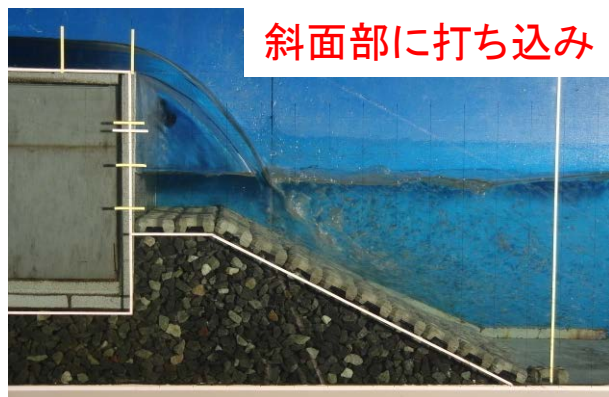
- ・ブロックが多数被災した後もマウンド洗掘されにくく、粘り強い

□袋型根固め材

- ・連結や積み方の工夫により安定性・粘り強さが向上する

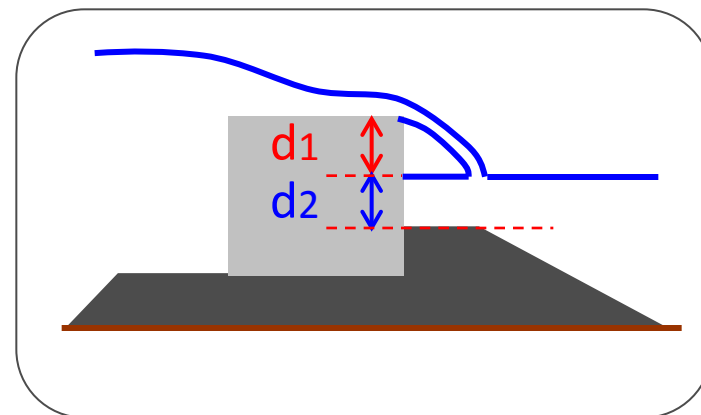
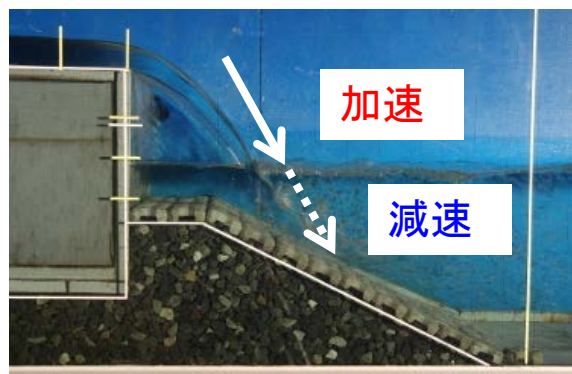
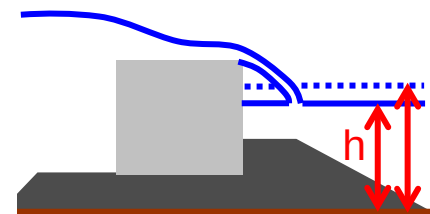
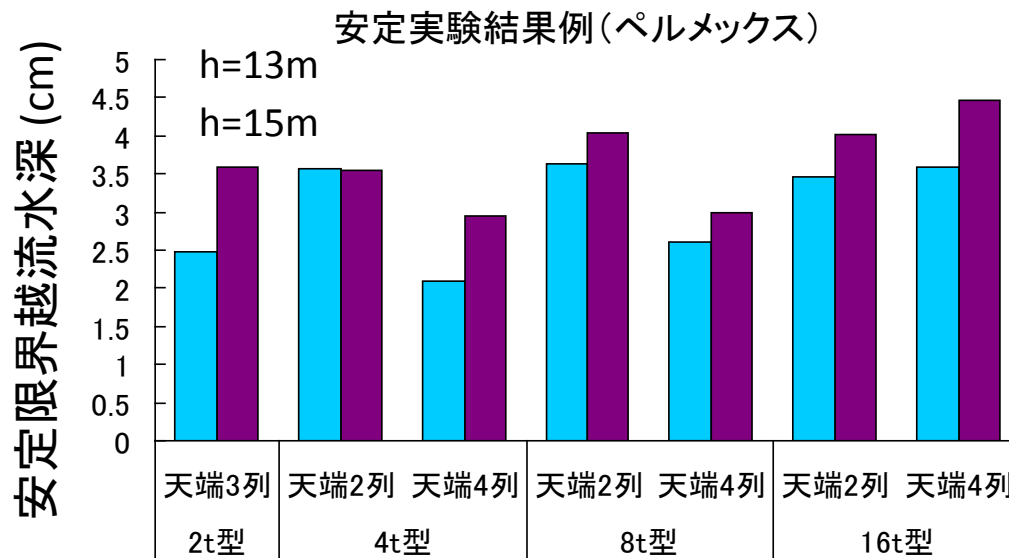
所要質量算定方法の検討

実験結果① 越流水の打ち込み位置の影響



- 安定性は越流水の打ち込み位置によって大きく変わる
⇒ パラメータ B/L で整理する (Lは堰の越流公式等で求める)

実験結果② 港内側水位の影響

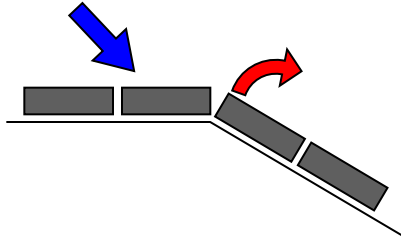


■ 港内側水位が高い方が安定性が高い
⇒ パラメータ d_2/d_1 で整理する

実験結果③ 被覆ブロックの2種類の被災パターン

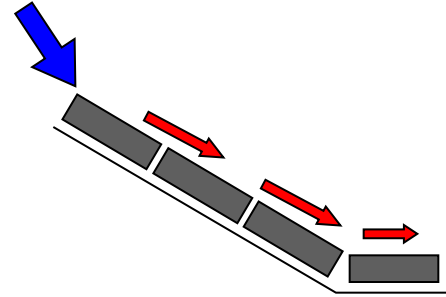
FUDO TETRA

① 打ち込み位置付近が
めくれ上がり被災

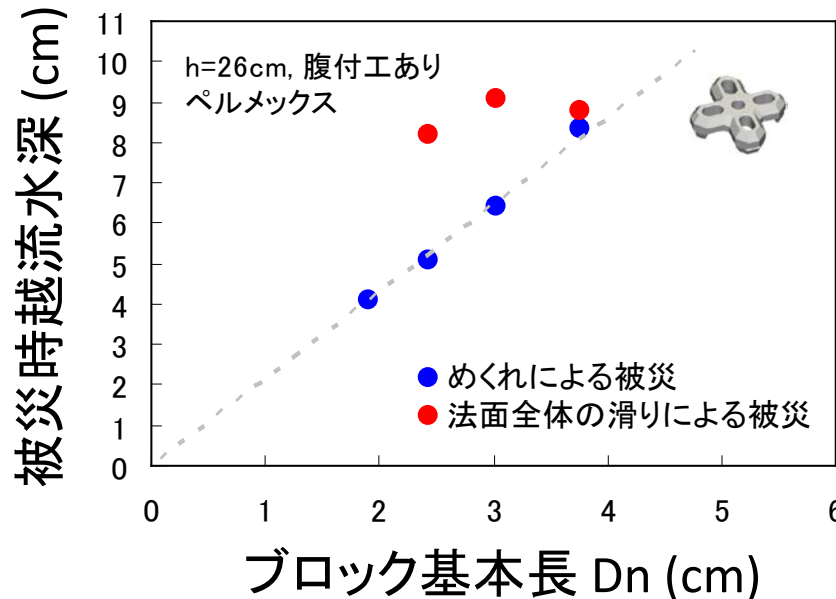


→ 被災時越流水深は
ブロック基本長に比例

② 法面全体が滑り被災



→ 被災時越流水深は
ブロック質量によらない

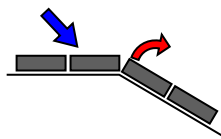


- ✓ イスバッシュ式のような**流速ベース**ではなく、**越流水深ベース**で**算定**できる方法とする。
- ✓ 被災パターンごとに**2つの安定性照査式**を用いる。
一つは**めくれに対する式**、もう一つは**滑りに対する式**であり、両方で検討を行い厳しい方で安定性が決まることとする。
- ✓ **打ち込み位置の影響**と**水深の影響**をそれぞれB/L、 d_2/d_1 の**2つのパラメータ**により取り込む。
- ✓ **滑りの検討は法面に打ち込む条件の場合のみ**行う。
- ✓ **消波ブロック**の場合は滑りによる被害がほとんど見られなかったため、**滑りについては検討しない**こととする。

安定性照査式の組み立て

被災のパターン別の安定性照査式

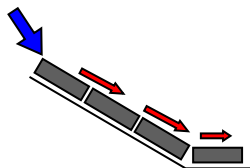
1. めくれに対する安定性



$$\frac{h_1}{(\rho_r/\rho_w - 1)D_n} = N_{S1} = f\left(\frac{B}{L}, \frac{d_2}{d_1}\right)$$

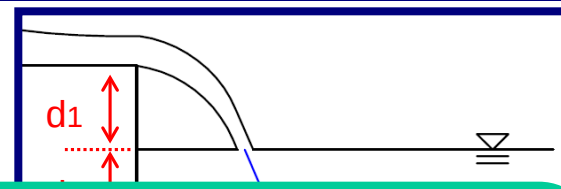
→安定限界越流水深はブロック基本長に比例

2. 滑りに対する安定性



$$\frac{h_1}{(\rho_r/\rho_w - 1)S} = N_{S2} = f\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

→安定限界越流水深はブロック基本長によらず、
斜面長 S に比例



cf. ハドソン式

$$\frac{H}{(\rho_r/\rho_w - 1)D_n} = N_S$$

h_1 : 安定限界越流水深

ρ_r : コンクリートの密度

ρ_w : 水の密度

D_n : ブロック基本長

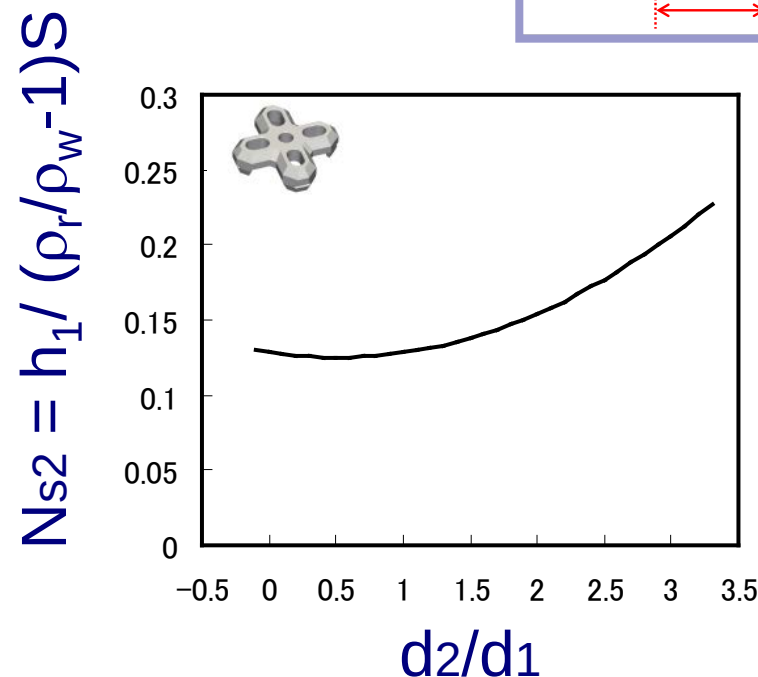
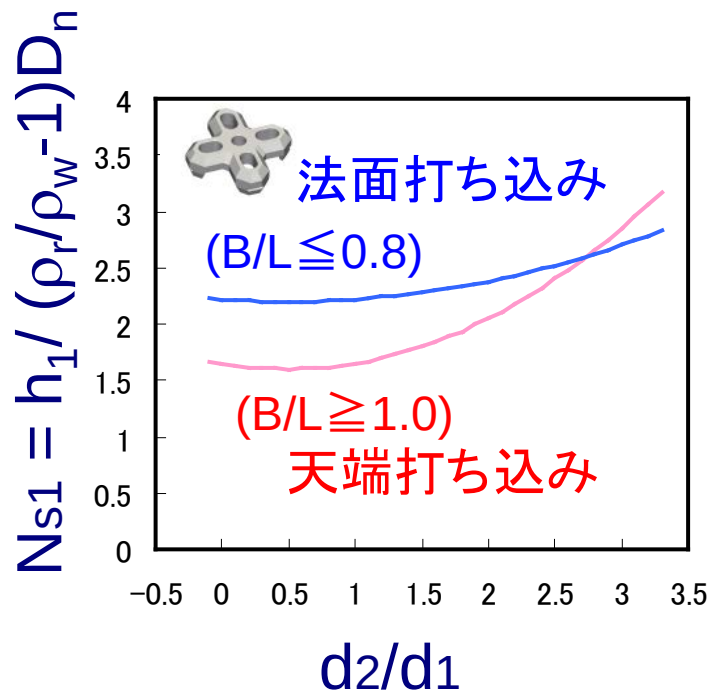
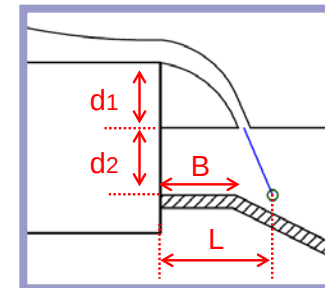
S : 斜面長

N_{S1}, N_{S2} : 安定数
(ブロック固有の値)

→ B/L と d_2/d_1 の関数

安定数の算定図(ペルメックス)

安定実験結果よりペルメックスの安定数 N_{s1} および N_{s2} を求めた



■ 設計条件から B/L , d_2/d_1 がわかればブロックの安定数が算定できる

※ 打ち込み位置 L は越流水深から算出できる 23

設計計算例

安定性の検討に必要な諸量 (B, L, d₁, d₂, S) の算出

越流水深 h ₁ (m)	3.68			
港内側水面からケーソン天端までの高さ d ₁ (m)	4.01			
港内側マウンド天端から水面までの高さ d ₂ (m)	6.02	5.85	5.63	5.36
マウンド斜面長 S (m)	22.29	22.68	23.16	23.77
マウンド天端幅 B (m)	3.77	4.73	5.93	7.45
越流流量 q (m ³ /s・m)	10.94			
ケーソン港内側端での水深 h ₂ (m)	1.66			
ケーソン港内側端での水平流速 u ₂ (m)	6.61			
水面打ち込み距離 x ₃ (m)	6.56			
水面打ち込み水平流速 u _{3x} (m/s)	6.61			
水面打ち込み鉛直流速 u _{3z} (m/s)	9.74			
打ち込み位置 L (m)	10.65	10.53	10.38	10.20

$$q = 0.35h_1\sqrt{2gh_1}$$

$$h_2 = 0.45h_1$$

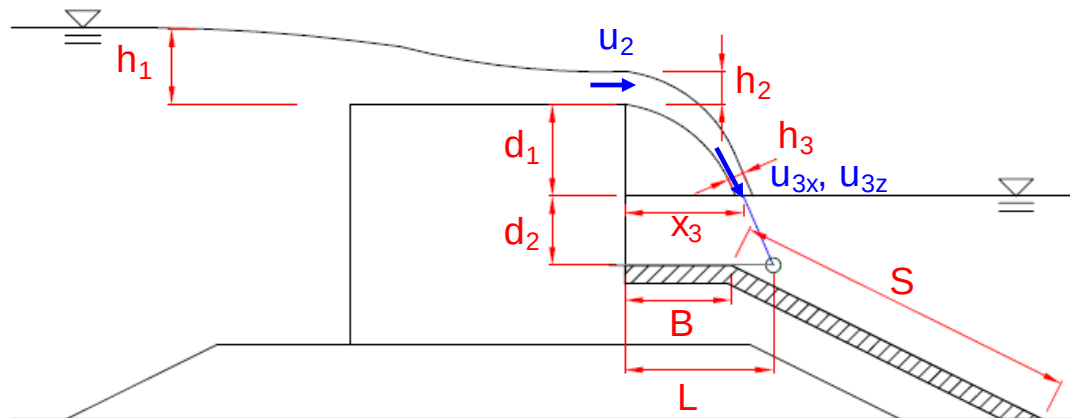
$$u_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$x_3 = u_2 \sqrt{\frac{2(d_1 + h_2/2)}{g}}$$

$$u_{3x} = u_2$$

$$u_{3z} = \sqrt{2g(d_1 + h_2/2)}$$

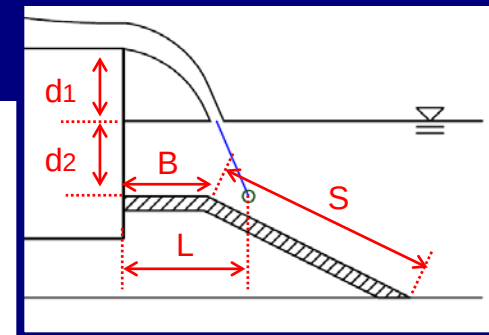
$$L = x_3 + \frac{u_{3x}}{u_{3z}} d_2$$



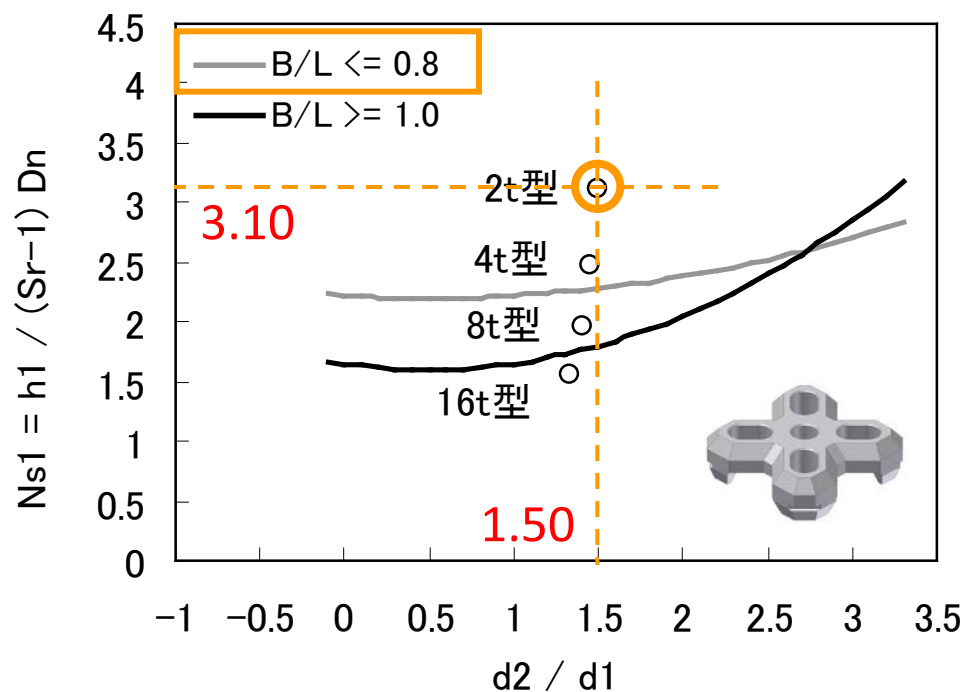
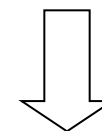
安定性の照査

(1) めくれに対する安定性

トン型	2t型	4t型	8t型	16t型
B/L	0.35	0.45	0.57	0.73
d2/d1	1.50	1.46	1.40	1.34
$h_1/(S_r-1)D_n$	3.10	2.47	1.96	1.56
判定(めくれ)	×	×	○	○



下図に設計条件から決まる値をプロット



設計条件から決まる

$h_1/(S_r-1)D_n$ が

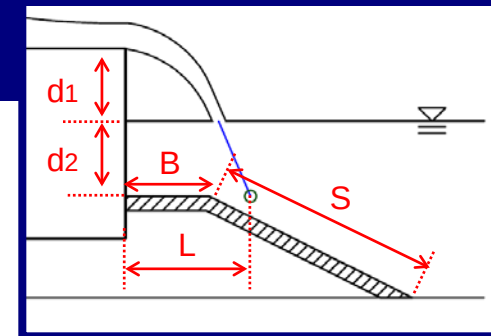
照査曲線の下であればOK、

照査曲線の上であればNG

安定性の照査

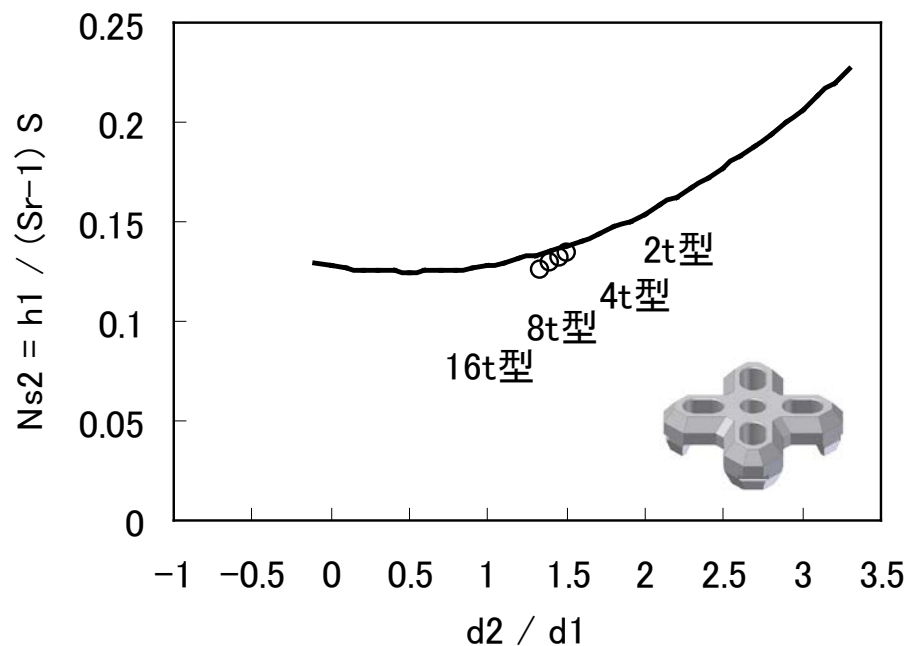
(2) 滑りに対する安定性

トン型	2t型	4t型	8t型	16t型
B/L	0.35	0.45	0.57	0.73
d2/d1	1.50	1.46	1.40	1.34
$h_1/(S_r-1)S$	0.13	0.13	0.13	0.13
判定(めくれ)	×	×	○	○
判定(滑り)	○	○	○	○
判定(総合)	×	×	○	○



$B/L \leq 1.1$ (斜面に打ち込む条件)
 の場合は滑りに対する検討を行う

⇒8t型以上であれば安定



設計条件から決まる

$h_1/(S_r-1)S$ が

照査曲線の下であればOK、

照査曲線の上であればNG



ご清聴ありがとうございました