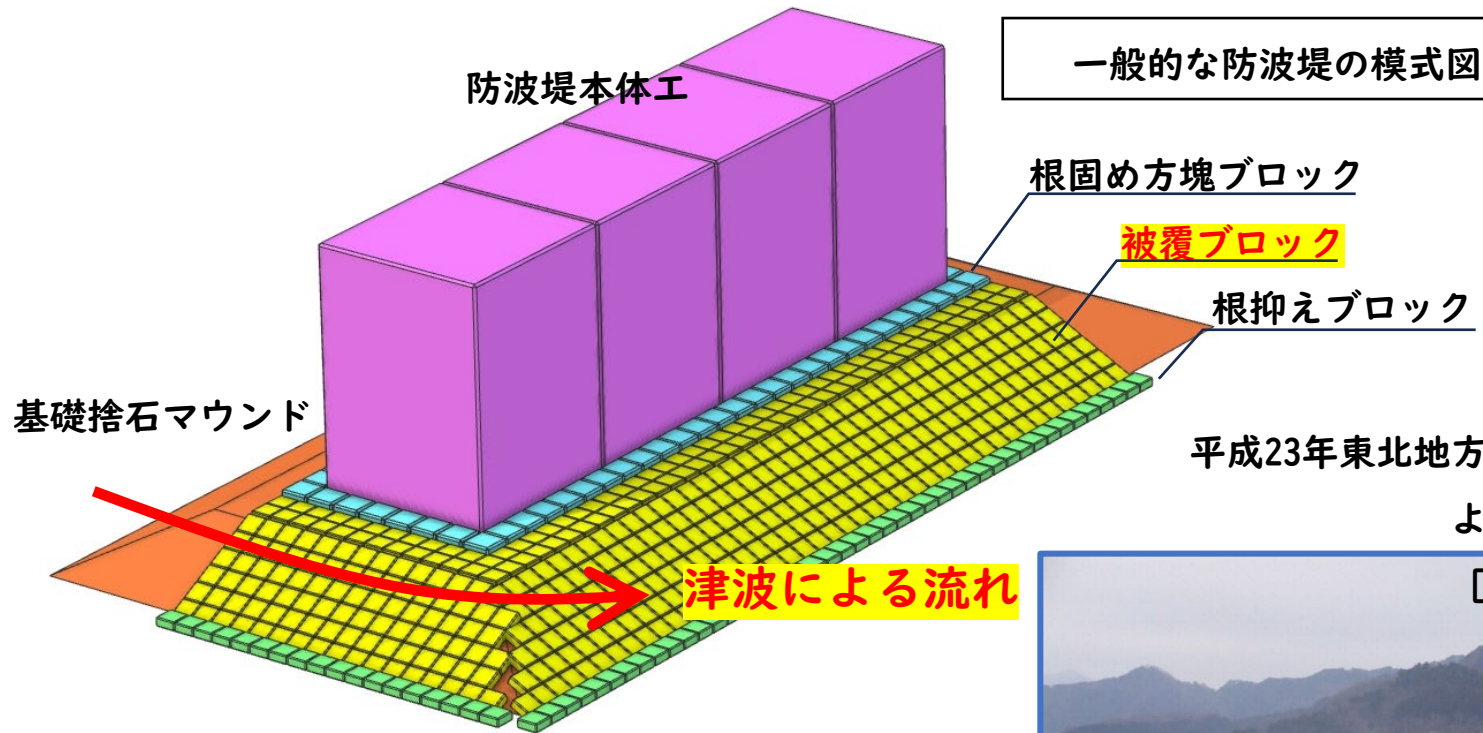


防波堤の堤頭部における マウンド上被覆ブロックの津波流れに 対する設計法

(国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所 ○大井 邦昭
古市 尚基
大村 智宏
国際気象海洋株式会社 小林 学
株式会社アルファ水エコンサルタンツ 遠藤 次郎



一般的な防波堤の模式図

防波堤本体工

根固め方塊ブロック

被覆ブロック

根抑えブロック

基礎捨石マウンド

津波による流れ

平成23年東北地方太平洋沖地震津波に
よって倒壊した防波堤

〔日経新聞2012.3.2〕

流れに対するマウンド被覆ブロックの
安定性照査に必要な知見がない

イスバッシュ式

(漁港・漁場の施設の設計参考図書〔2015年版〕)

⇒非現実的な所要質量が算定されてしまう



本日の発表内容

- 令和3年度までの成果（堤幹部を対象としたイスバッシュ式の修正と方塊ブロックの係数）
- 令和4年度の成果（堤頭部への適用）
- 設計上の留意点

イスバッシュ式の修正について

イスバッシュ式、および安定係数 y [設計参考図書2015に記載]

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3}$$

$$y = 1.08 \quad \text{[被覆ブロック]}$$



ここに、

M : 安定質量 (t)

ρ_r : 捨石等の密度 (t/m³)

U : 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s²)

y : イスバッシュの定数

S_r : 捨石等の海水に対する比重

θ : 流れ方向の捨石等の斜面の傾斜角 (°)

イスバッシュ式の修正 (安定係数 x については次頁)

[設計参考図書の改訂 (令和5年4月) に掲載]

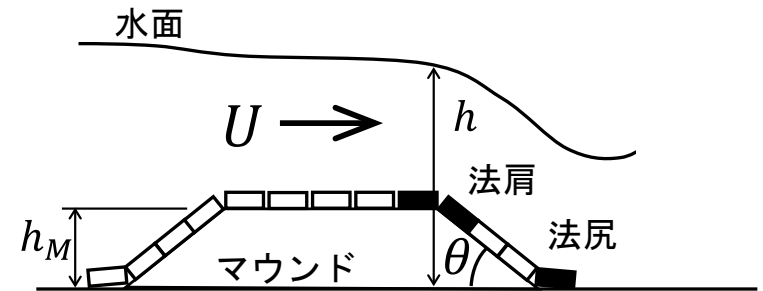
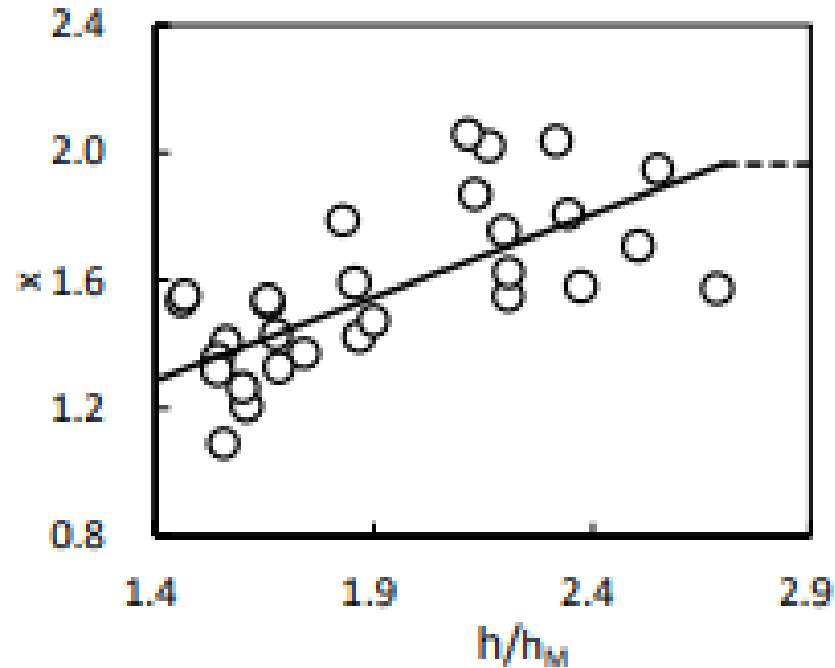
$$M = \frac{\rho_r U^6}{g^3 x^6 (S_r - 1)^3 \cos^3 \theta}$$

U : 被覆ブロック上面における断面平均流速
 x : 質量算定の係数

POINT

- 物理モデルを適正にした
- ブロック離脱の実態を反映
- 方塊を対象に安定数 x を評価した

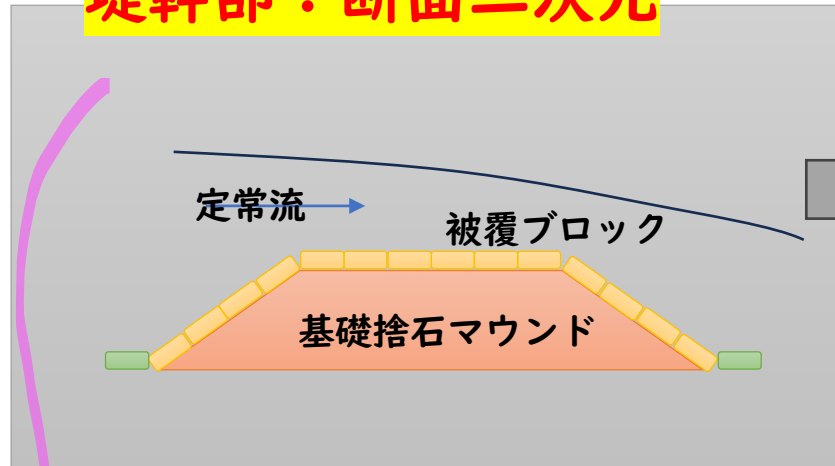
方塊ブロックの質量算定の係数



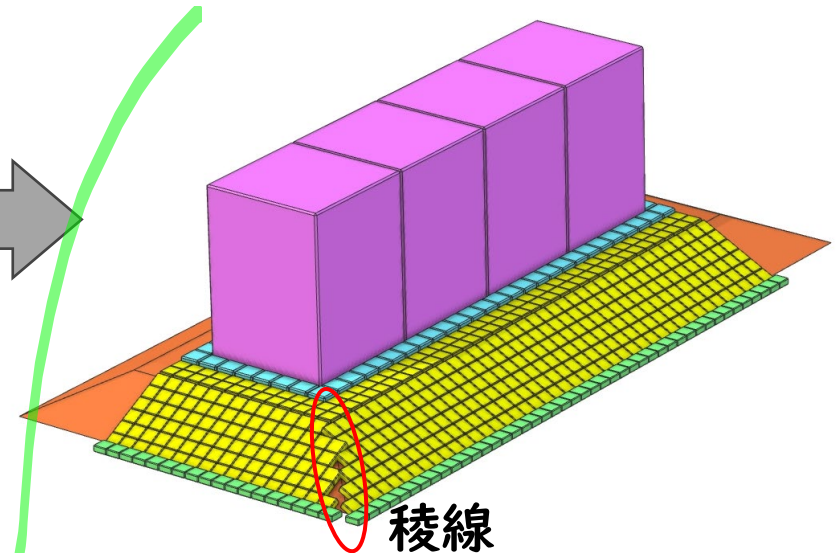
$$x = \begin{cases} 1.96 & h/h_M \geq 2.7 \\ 0.52(h/h_M) + 0.56 & 2.7 > h/h_M \geq 1.4 \end{cases}$$

修正したイスバッシュ式の堤頭部での適用

堤幹部：断面二次元



堤頭部：平面三次元



〔二次元的な条件〕

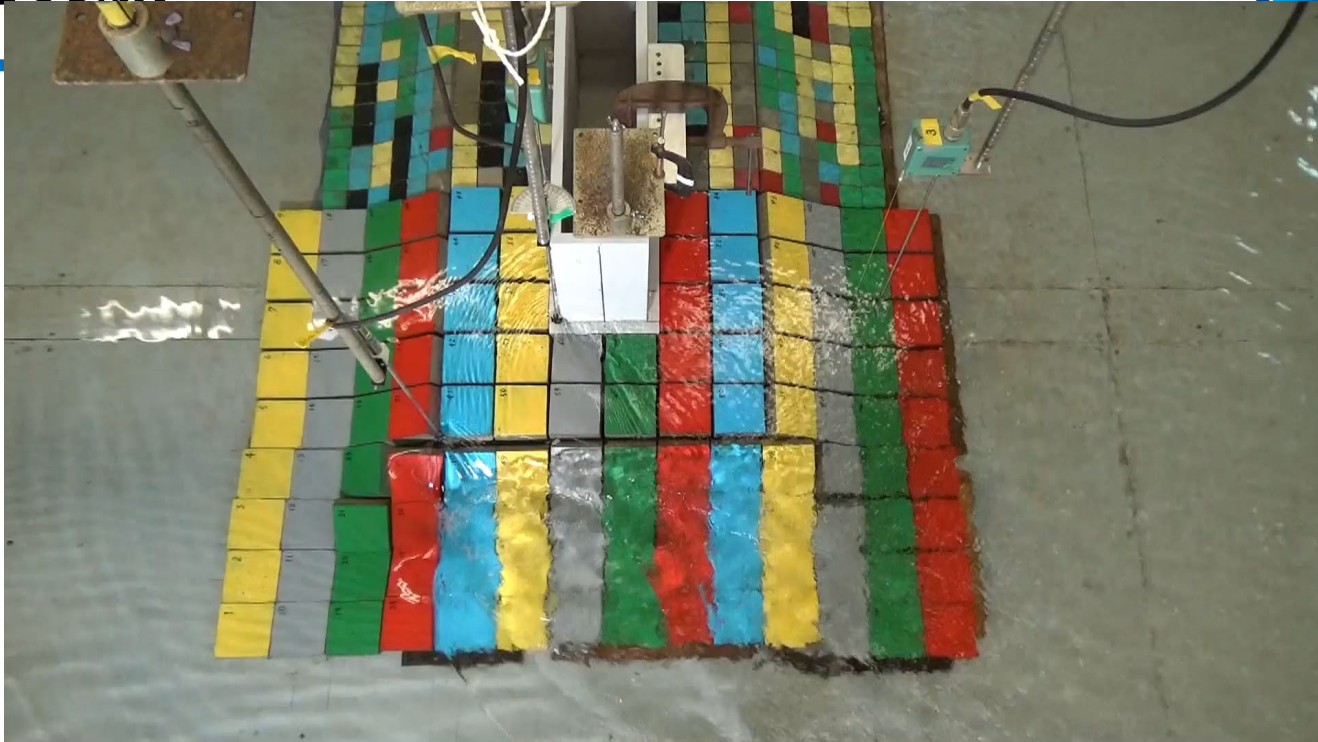
- 斜面があること
- 天端があること

〔三次元的な条件〕

- 流れの湾曲
- ブロックの斜め方向から流れが作用すること
- 稜線の不陸（凸凹）

水理模型実験

国立研究開発法人
水産研究・教育機構



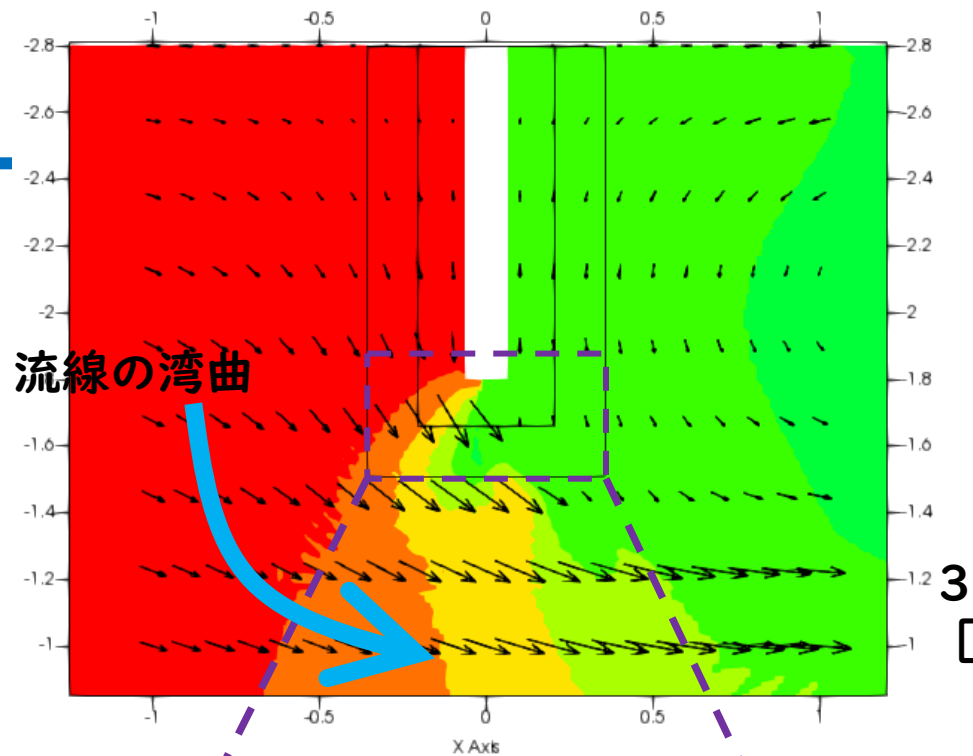
被災ブロック位置図



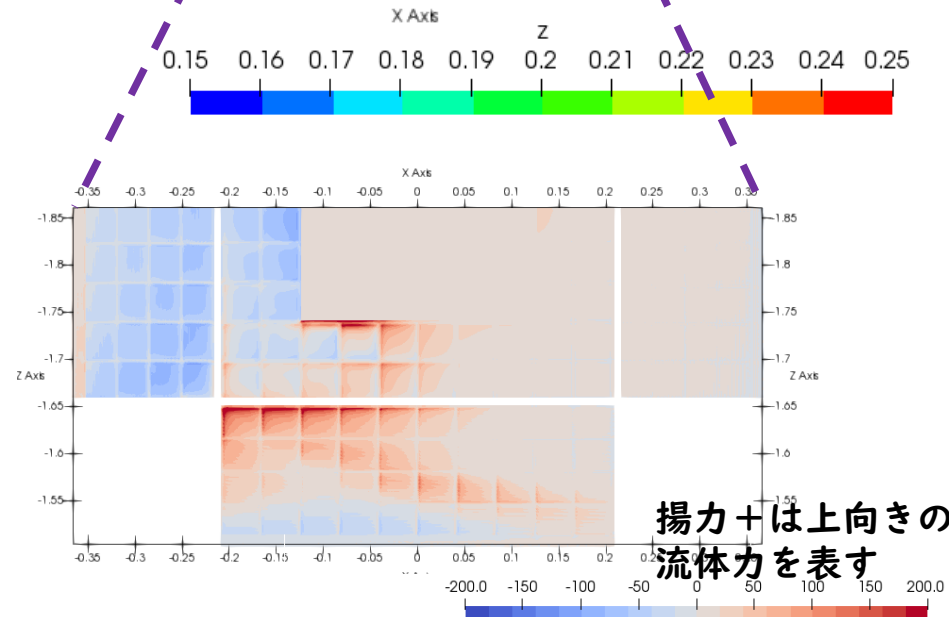
圧力の測定結果も堤幹部検討結果を支持

堤頭部では堤幹部より係数 α が5～10%低下

⇒ 所要質量としては「1.5倍以上」が必要と整理した



3次元流体解析ツール
[OpenFOAM] 使用



揚力+は上向きの
流体力を表す

堤頭部に関する検討のまとめ

- 修正したイスバッシュ式は堤頭部でも適用可能
- ただし、式中の係数 x を断面二次元実験で評価した場合は安定質量の割り増しが必要（1.5倍以上）
- 稜線部の不陸に留意する

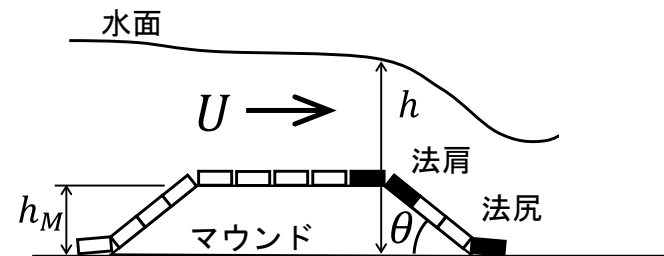
研究成果を踏まえた新たな設計法の概略

修正したイスバッシュ式（改訂版黒本に掲載）※被覆ブロックのみ

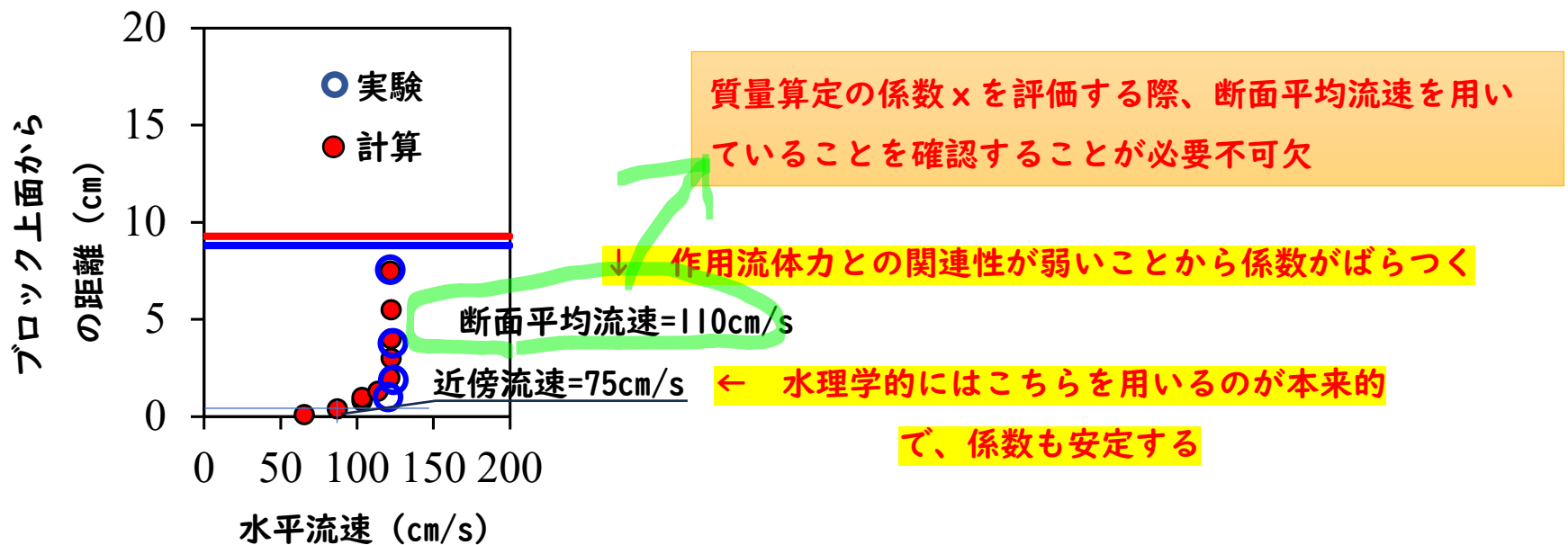
$$M = \frac{\rho_r U^6}{g^3 x^6 (S_r - 1)^3 \cos^3 \theta}$$

- M : 安定質量 (t)
 ρ_r : 被覆ブロックの密度 (t/m³)
 U : 被覆ブロック上面における断面平均流速 (m/s)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 x : 質量算定の係数
 h : 下流側マウンド法肩での水位 (m)
 h_M : マウンド厚 (m)
 S_r : 被覆ブロックの海水に対する比重
 θ : 捨石マウンド等の法面の傾斜角 (°)

$$x = \begin{cases} 1.96 & h/h_M \geq 2.7 \\ 0.52(h/h_M) + 0.56 & 2.7 > h/h_M \geq 1.4 \end{cases}$$



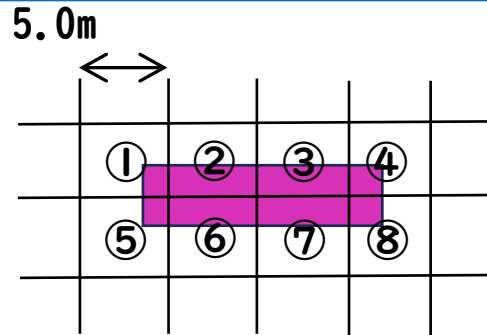
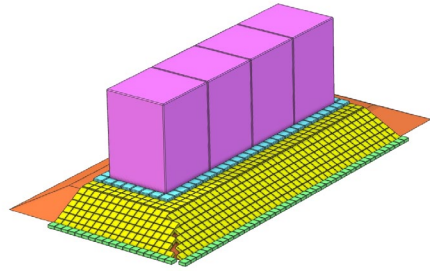
新たな設計法の留意点 [流速の設定]



ブロック上の流速分布の例

流速は断面平均流速（津波伝播シミュレーションの結果）を用いる！

新たな設計法の留意点 [計算例]



断面平均流速

POINT

- 津波伝播simは解像度が低いが、現状ではそれを使用するしかない
- 使用するブロック形状ごとの質量係数を使用すること

津波伝播シミュレーションより

方塊型の場合

計算結果

	最大流速	最大流速時水深 h	係数 x	ブロック質量 ton () は堤頭部割増	ブロック規格 ton型
①	10.5	5.2	1.96	25.5 (38.25)	40
②	8.6	4.9	1.85	20.5	25
③	8.2	4.8	1.83	19.6	20
④	9.5	5.0	1.96	24.9 (37.35)	40
⑤	11.1	5.1	1.96	26.5 (39.75)	40
⑥	9.2	4.9	1.85	21.1	25
⑦	7.5	4.7	1.80	18.6	20
⑧	9.8	4.9	1.85	22.5 (33.75)	35

被覆ブロックの場合はカタログ値から

堤幹部→25ton型、堤頭部→40ton型

新たな設計法の留意点 [その他]

- 本手法は方塊ブロックまたは被覆ブロックでのみ適用性を確認しているため、**被覆石・消波ブロックは対象外とする（従来のイスバッシュ式を継続使用）**
- 捨石マウンド等の法面の**傾斜角 θ** は流向を考慮した合成角をとる必要はなく、**単にマウンド傾斜角としてよい**
- 津波伝播シミュレーション結果に各セルの流速・水位の時刻歴がある場合、**ブロック所要質量の時間変化を算定することで、より安全な施設設計が可能となる（係数 x が水位によって変化しない場合は不要）**
- 防波堤を越える流れ（越流）に対しては違う照査手法（設計参考図書に記載）となり、**本手法と併用した照査が必要となる。**
- **今後の技術開発情報に留意**

ご清聴ありがとうございました

Thank you for your attention.

本研究は、

水産基盤整備調査委託事業のうち、

H30～R02：漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査

R03：津波の流れの作用に対するブロック等の安定質量検討調査

R04：漁港施設の整備手法における気候変動適応策等の実装検討調査

および、これらの成果を踏まえた、加藤ら（2019）、古市ら（2020、2021、2022、2023）を元
に行政担当者や設計実務者向けに加筆修正したものです。関係者に感謝申し上げます。