

2024.3.7 令和5年度 漁港漁場講習会

# 津波流れに対する新たな所要質量算定式に用いる 被覆ブロック毎の係数について

(一社)漁港漁場新技術研究会

異形ブロック専門部会

三井 順 (株)不動テトラ)

# 目次

1. はじめに
2. 設計参考図書の改訂と新しい所要質量算定式
3. 各種被覆ブロックの実験結果の再整理
4. 各種被覆ブロックの安定数算定図の作成
5. 所要質量の試算
6. イスバッシュ式との関係
7. おわりに

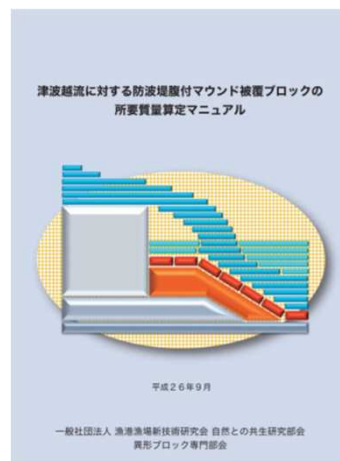
# 1. はじめに

## 背景

- 2011年の東北地方太平洋沖地震津波を契機に、津波に対する漁港施設の安定性に関する研究が進められてきた
- 防波堤の基礎マウンド等を保護する被覆ブロックについても、想定する津波に対して流出しないように、適切な質量とする必要がある

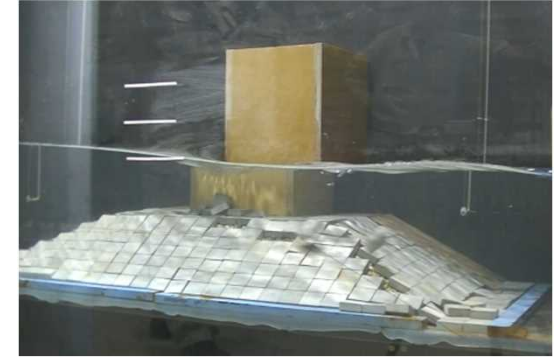
## 新技術研究会のこれまでの取り組み(1)

- 防波堤を越流する津波に対する、『被覆ブロックの所要質量算定マニュアル』を作成し、各種被覆ブロックの安定数を示した



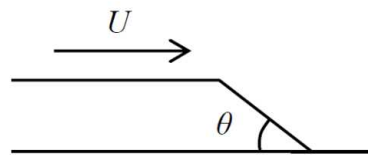
## 新技術研究会のこれまでの取り組み(2)

- **防波堤を回り込む津波の流れ**に対しては、2017年度から検討開始
- 基礎実験の実施、実験方法マニュアルの作成 (2018)
- 各種被覆ブロックでの水理模型実験の実施 (2019-)
- 各種被覆ブロックの『**イスバッシュ数の算定図**』のとりまとめ (2020)
- 堤頭部実験の実施 (2022)



イスバッシュの式

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

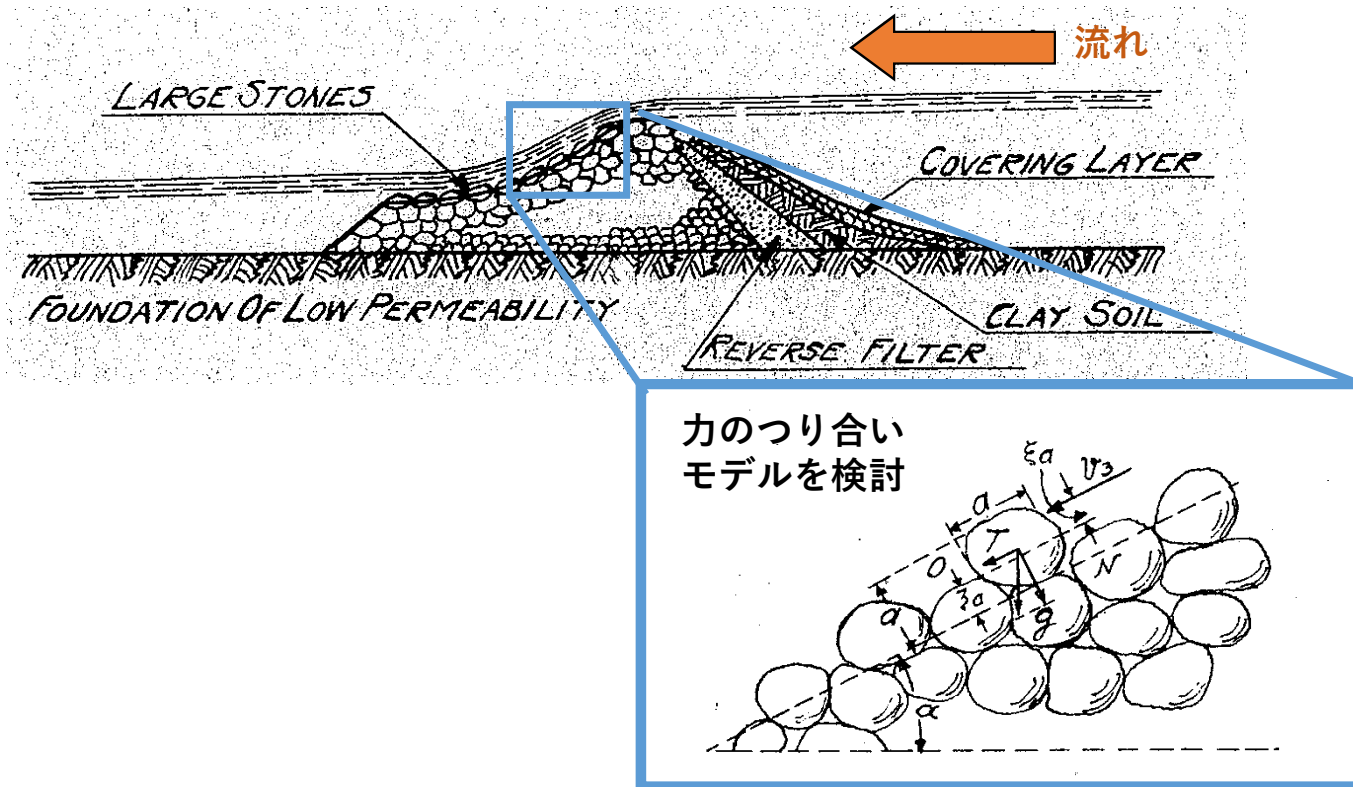


$M$ : 安定質量  
 $U$ : 捨石等の上面における水の流れの速度  
 $\rho_r$ : 捨石等の密度  
 $g$ : 重力加速度  
 $y$ : イスバッシュの定数  
 $S_r$ : 捨石等の海水に対する比重  
 $\theta$ : 流れ方向の捨石等の斜面の傾斜角

⇒ **流速  $U$**  と **イスバッシュ数  $y$**  から **ブロックの所要質量  $M$**  が算定される

## イスバッシュの式について

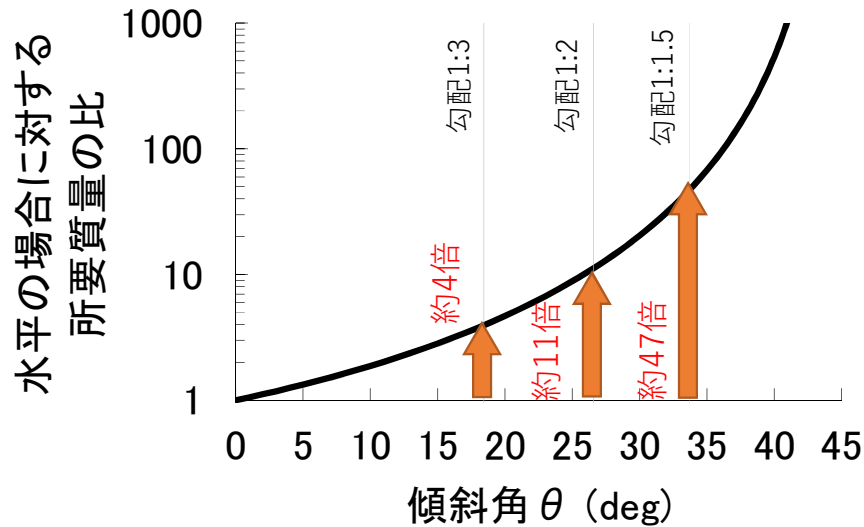
水面から石を投入して河川を締切り、ダムを建設する際の、石の質量と移動限界流速との関係について、1930年代にイスバッシュにより提案された式が基となっている



図はIsbash (1932)より引用

## イスバッシュの式の問題点

イスバッシュ式を津波の流れに対する被覆ブロックの所要質量算定に適用すると、

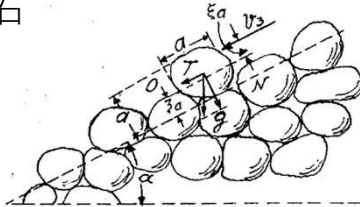


マウンドの傾斜角によって所要質量が著しく変化し、急勾配の場合は非現実的なブロック質量が算定されてしまう

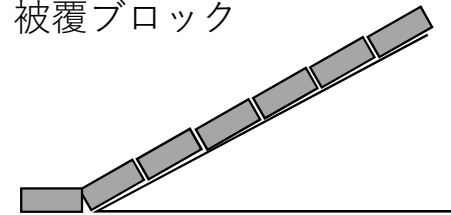
例えば、水平部での所要質量が1 tonの場合、勾配1 : 1.5の箇所での所要質量は47 tonとなる

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

石



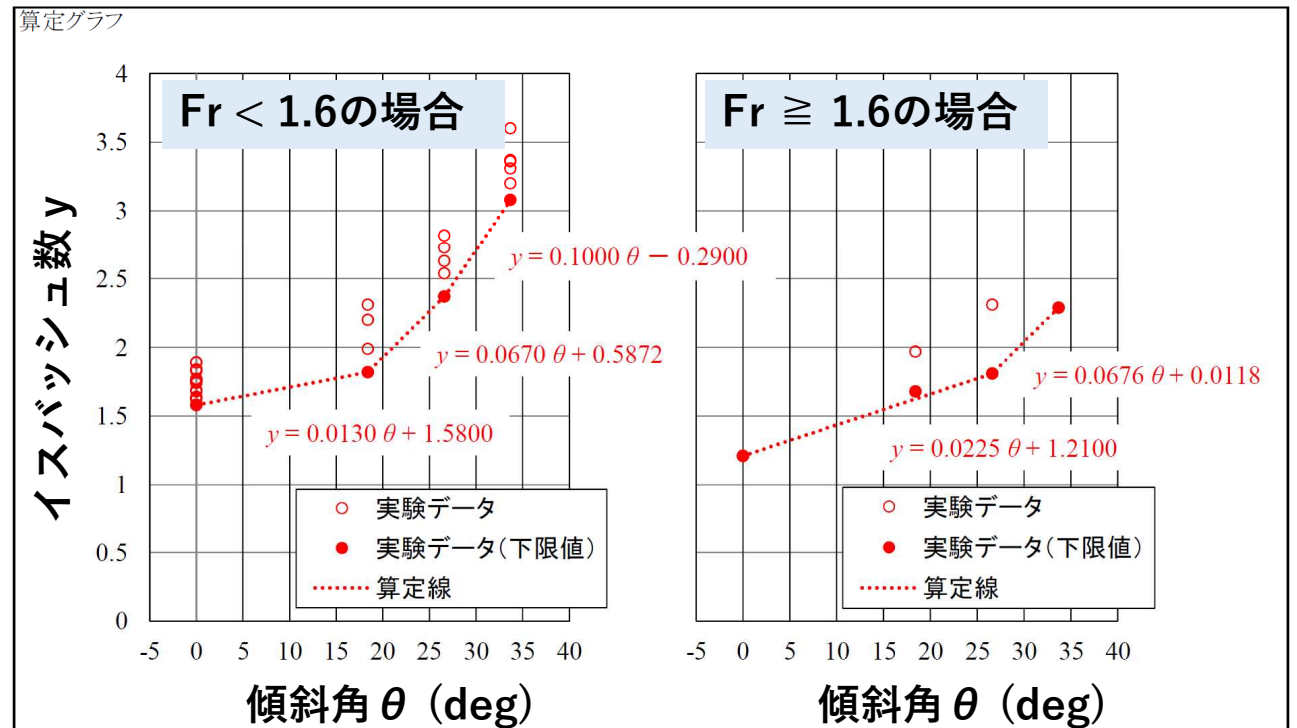
被覆ブロック



# 『イスバッシュ数の算定図』を作成することでイスバッシュ式を適用した際の問題点を解決

## イスバッシュ数の算定図（例）

1. イスバッシュ数を傾斜角  $\theta$  の関数とすることで、これまで課題であった斜面部の所要質量が非現実的に大きくなることを解決
2. イスバッシュ数の算定図をフルード数  $Fr$  ごとに場合分けすることで、水深の影響を考慮



## 2. 設計参考図書の改訂と新しい所要質量算定式

### 漁港・漁場の施設の設計参考図書の改訂

- 津波流れに対する被覆ブロックの所要質量の算定方法の見直し

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

**M**：安定質量

**U**：被覆ブロックの上面における断面平均流速

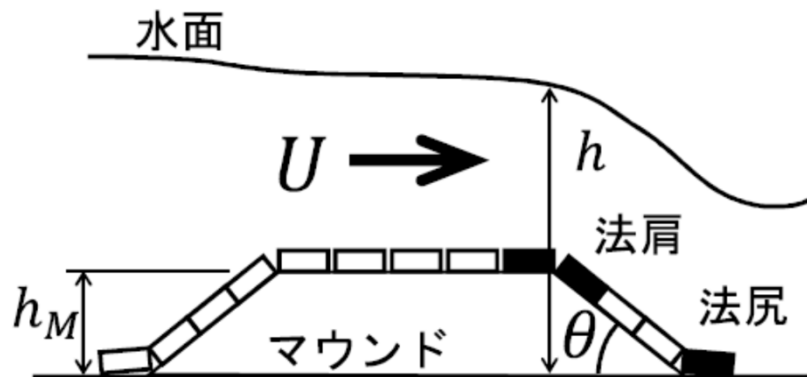
$\rho_r$ ：被覆ブロックの密度

$g$ ：重力加速度

**x**：質量算定の係数

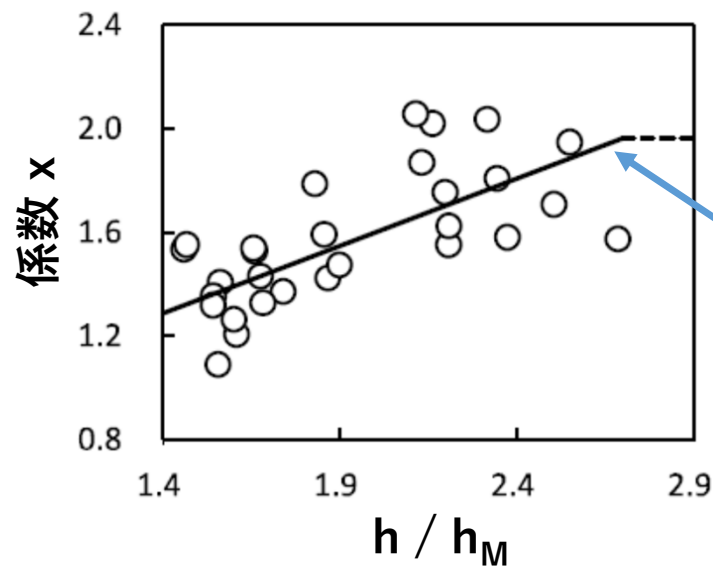
$S_r$ ：被覆ブロックの海水に対する比重

**$\theta$** ：捨石マウンド等の法面の傾斜角



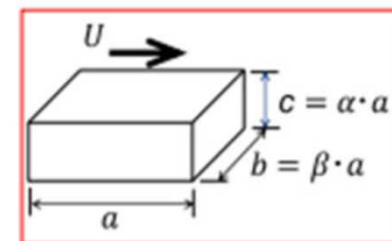


- 方塊ブロックの場合の係数 $x$ の算定図

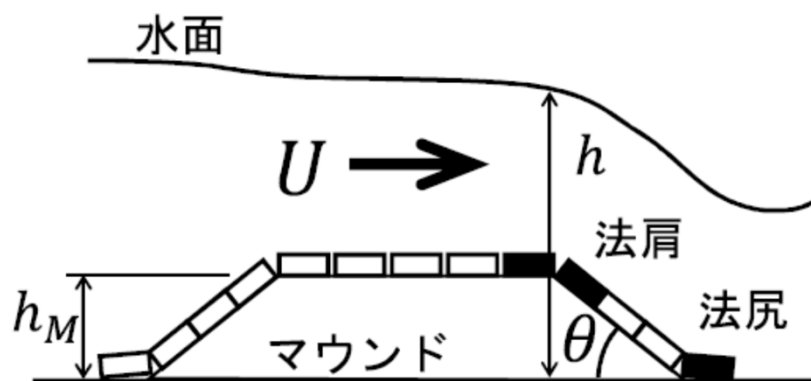


$$x = \begin{cases} 1.96 & h/h_M \geq 2.7 \\ 0.52(h/h_M) + 0.56 & 2.7 > h/h_M \geq 1.4 \end{cases}$$

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



実際の被覆ブロックで質量を算定するためには  
ブロック形状ごとの係数 $x$ が必要



当研究会の取り組み内容

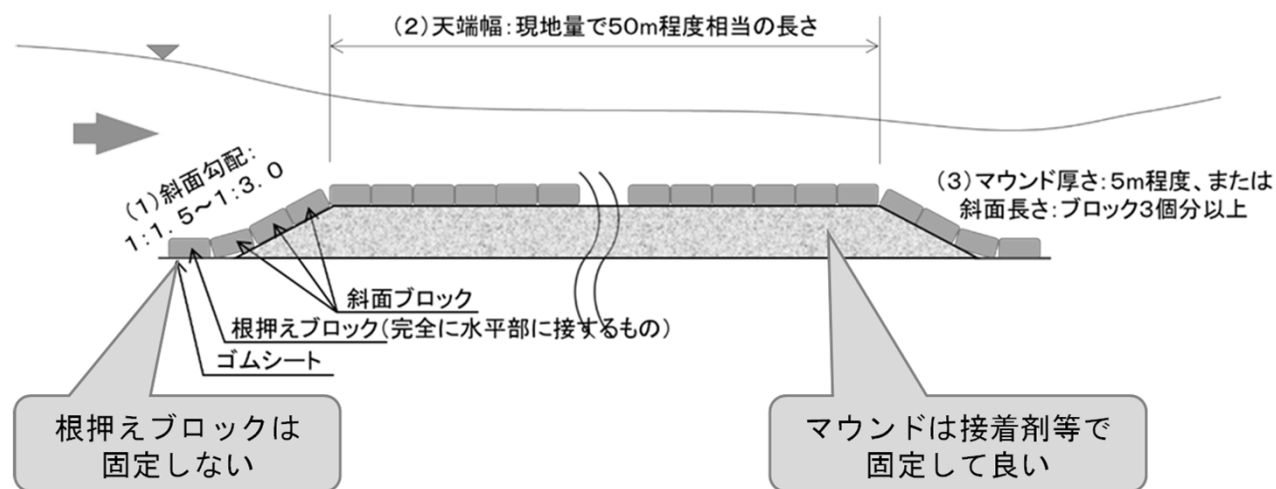
既往の実験結果を再整理し、  
ブロックごとの係数 $x$ の算定図を  
作成する

### 3. 各種被覆ブロックの実験結果の再整理

#### 実験条件

事前に作成した『被覆ブロックのイสบッシュ数評価のための水理模型実験マニュアル』に則り、各種被覆ブロックの実験を実施

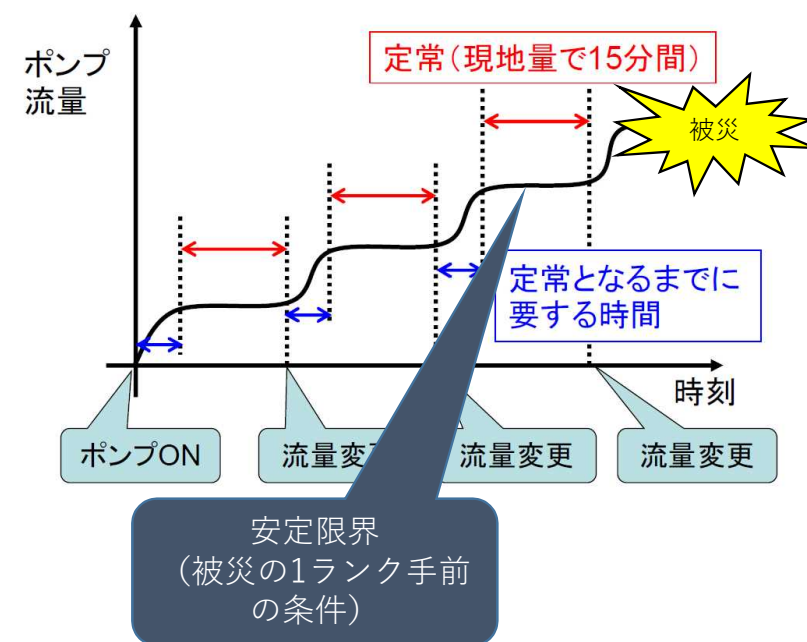
ブロック質量	大小2種類
マウンド法面勾配	3種類 (1:1.5, 1:2, 1:3)
水深条件	3種類程度 (なるべく幅広い条件で)
繰り返し	各ケース2回以上



## 実験状況 ①安定実験



- ブロックが被災するまで流量を段階的に上げていき、安定限界時の条件を調べる



## 実験状況 ②流速測定実験

- 安定限界時の条件でブロック離脱位置の流速と水位を測定

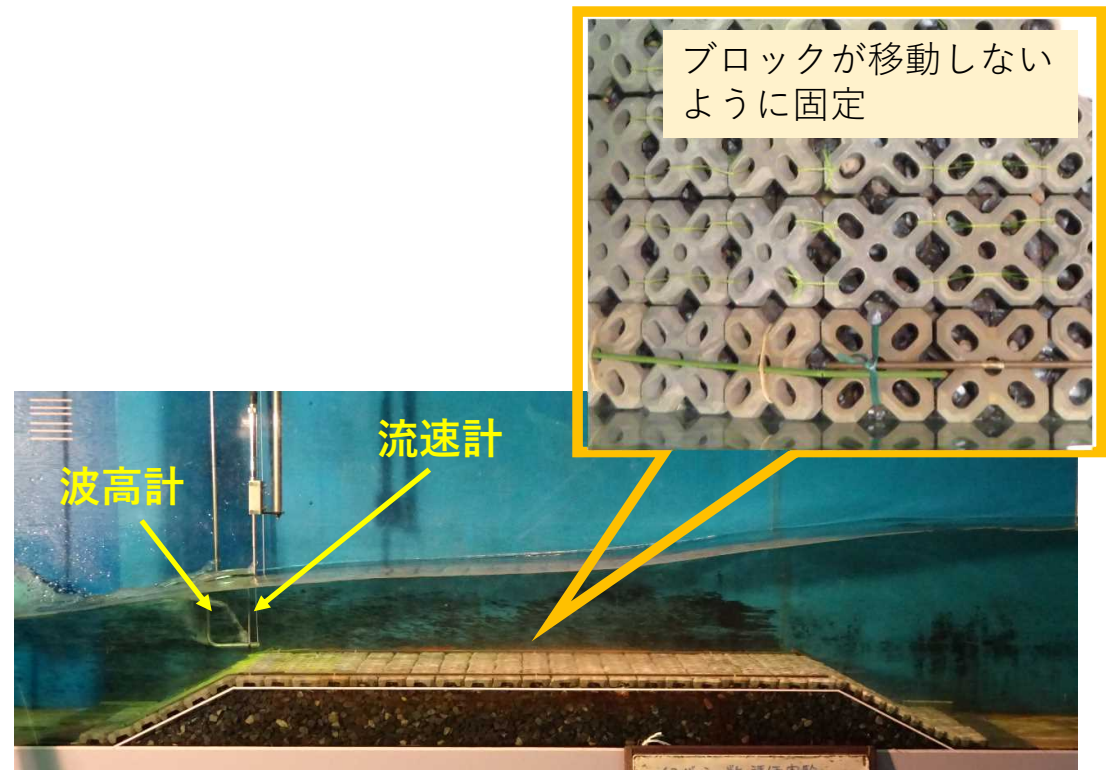


- イスバッシュ式に安定限界流速 $U$ 、ブロック質量 $M$ 、傾斜角 $\theta$ 等を代入し、**イスバッシュ数 $y$ を逆算**

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

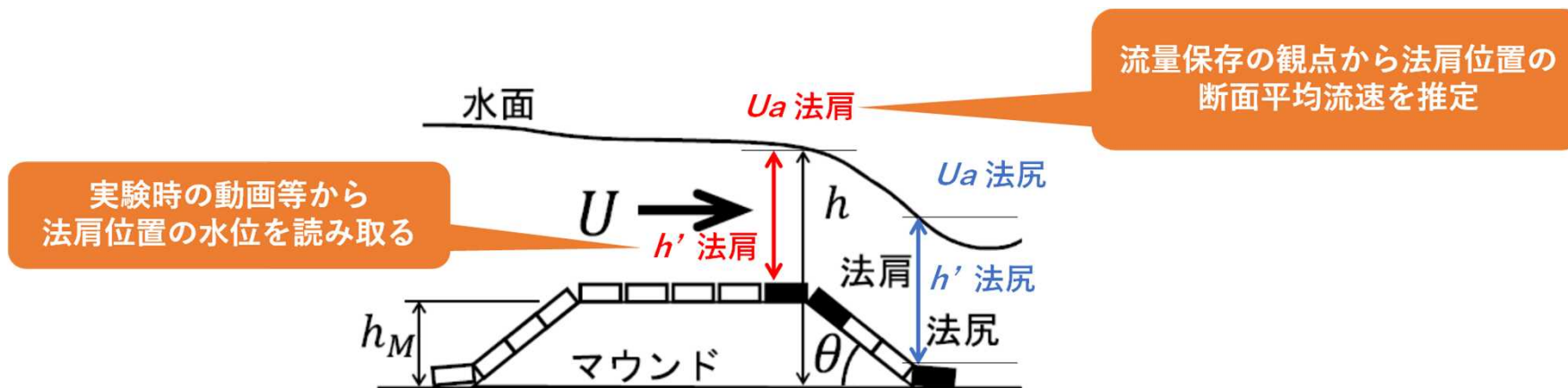
- 再整理においても同様に、新しい質量算定式に安定限界流速 $U$ 、ブロック質量 $M$ 、傾斜角 $\theta$ 等を代入し、**係数 $x$ を逆算**

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



## 係数 $x$ の算出にあたっての補足

- 係数 $x$ の算出には、**下流側マウンド法肩**における流速や水位が使用される
- 一方、『実験マニュアル』では流速・水位の計測位置は**ブロックの初期離脱箇所**としている  
→下流側法尻から被災するといった一部の実験ケースにおいては、法肩位置における流速・水位が直接計測されていない  
→流量保存の観点から法肩位置における流速を推定して使用した

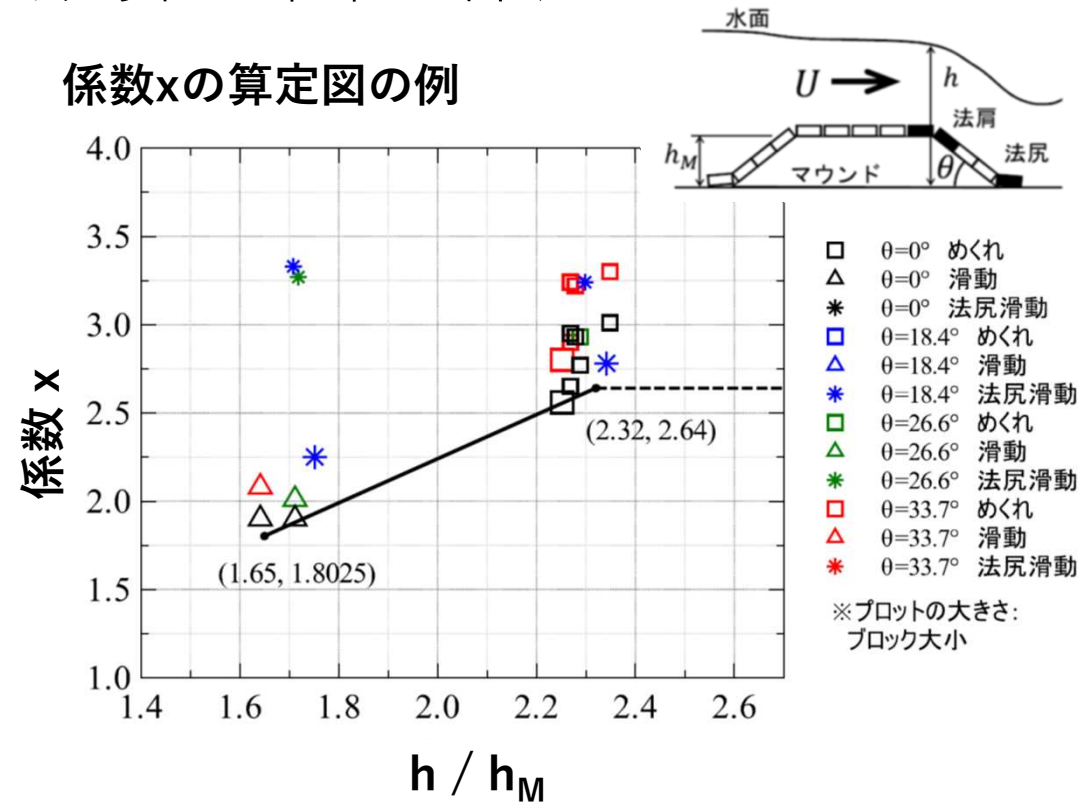


$$\begin{aligned} \text{流量 } Q &= \text{法尻位置の断面平均流速 } U_a \times \text{法尻位置のブロック天端上水深 } h' \\ &= \text{法肩位置の断面平均流速 } U_a \times \text{法肩位置のブロック天端上水深 } h' \end{aligned}$$

## 4. 各種被覆ブロックの安定数算定図の作成

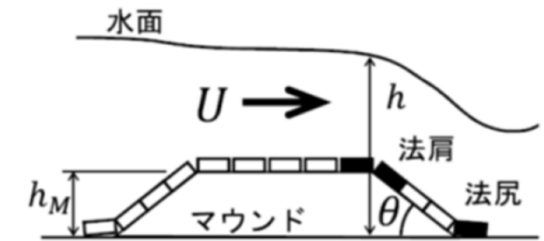
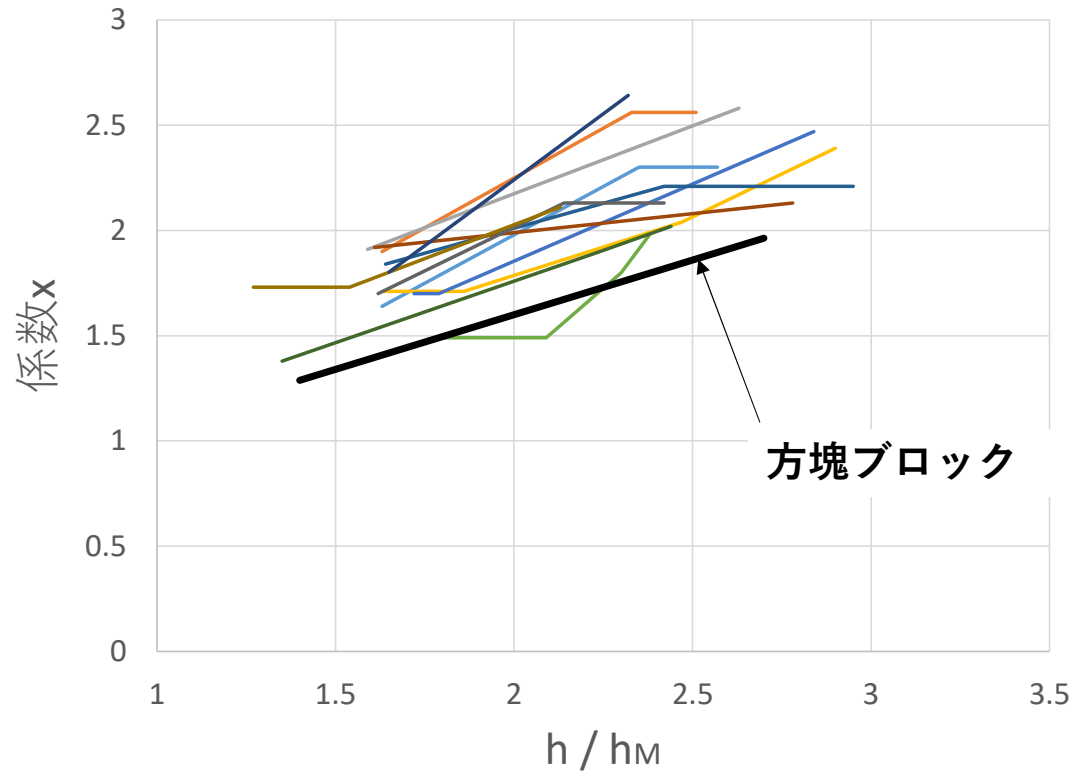
- 各種被覆ブロックの係数 $x$ の算定図は、統一した方法により作成した
- 算定線の引き方については、実験データの下限值を上回らないようにした(\*1)
- 適用範囲については、基本的には実験データの存在する水深の範囲とした。ただし実験範囲より $h/h_M$ が大きくなる方向へ算定線を水平に外挿することは可とした(\*2)

係数 $x$ の算定図の例



1. 算定線の引き方については、設計参考図書に示されている方塊ブロックの算定線は水理模型実験値の平均的な値を用いているが、各社製品の実験データを取りまとめた結果、方塊ブロックに比べ標準偏差（平均値からのばらつき）が大きいことから、被覆ブロックの算定線は実験データの下限值を上回らないように設定することとした
2. 適用範囲については、 $h/h_M$ が実験データより大きい条件については、水深が深くなり安全上の懸念は小さいと考えられるため、実験範囲より $h/h_M$ が大きくなる方向へ算定線を水平に外挿することは可とした

## 各種被覆ブロックの係数 $x$ の算定図

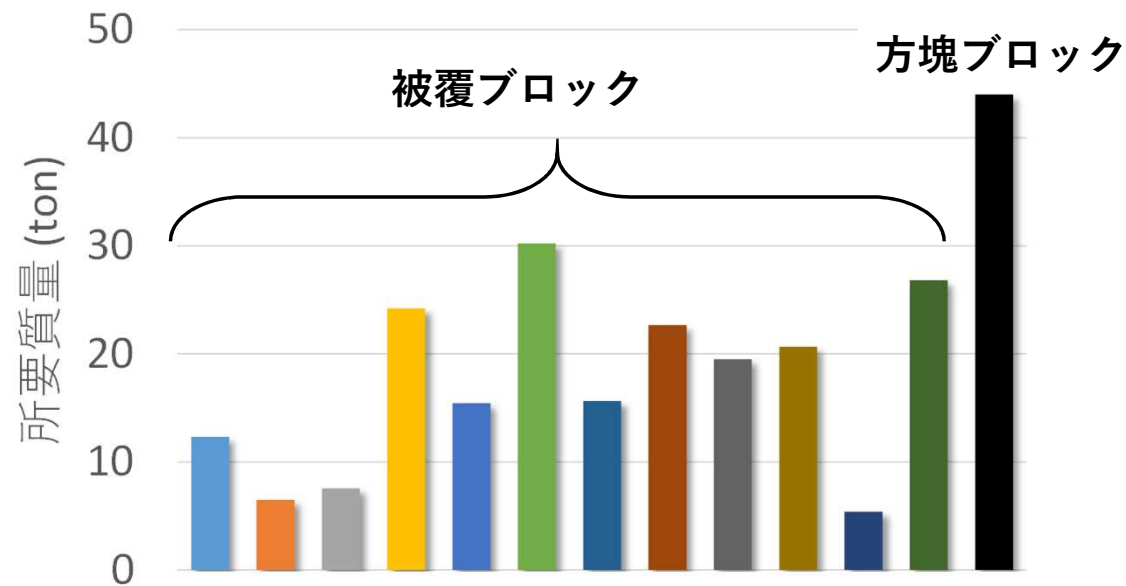


- $h/h_M$ が大きくなるにつれて係数 $x$ も大きくなる傾向  
→方塊ブロックの結果と同じ傾向
- 方塊ブロックと比較して全体的に係数は大きめ (所要質量は小さくなる)

## 5. 所要質量の試算

### 各種被覆ブロックの所要質量の試算例

(流速 $U=10\text{m/s}$ 、 $h/h_M=2.5$ の条件で試算)

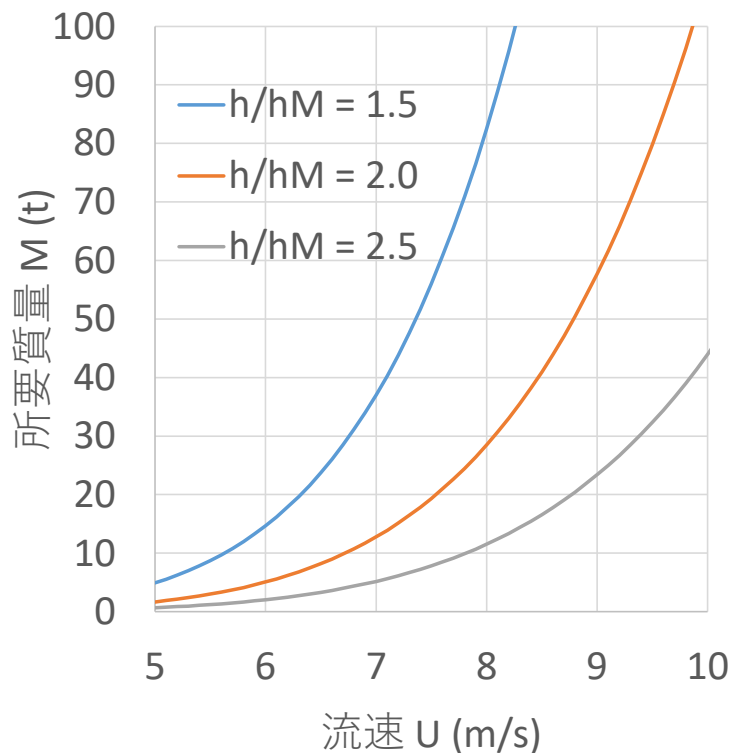


- 流速 $10\text{m/s}$ 程度の津波に対して、現実的な質量に収まる

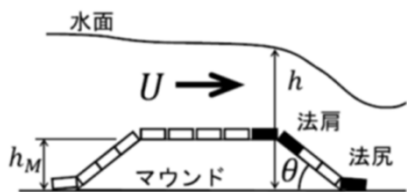
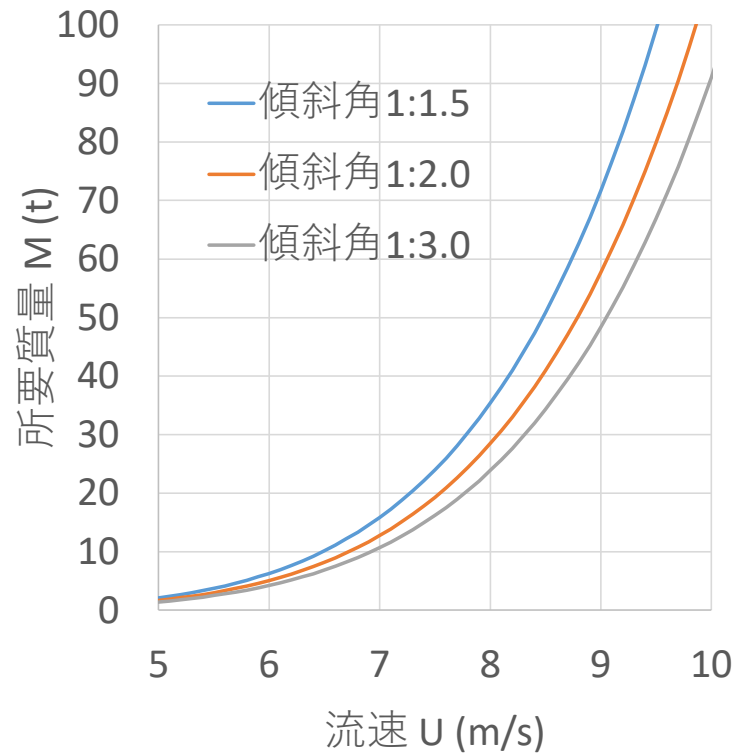


## 水深 $h/h_M$ の影響、マウンド傾斜角 $\theta$ の影響 (※方塊ブロックの係数 $x$ を使用)

(1)  $h/h_M$ を変化 (傾斜角は1:2.0で固定)



(2) 傾斜角 $\theta$ を変化 ( $h/h_M$ は2.0で固定)



- 水深が浅いほど所要質量は大きくなる
- マウンド傾斜角の影響は比較的小さい

## 6. イスバッシュ式との関係

	イスバッシュ式	新しい算定式
	$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3}$	$M = \frac{\rho_r U^6}{g^3 x^6 (S_r - 1)^3 \cos^3 \theta}$
	<p>※いずれの式も所要質量は流速の6乗に比例する形</p>	
傾斜角の影響	イスバッシュ数 $y$ を傾斜角 $\theta$ の関数とすることで傾斜角の影響を補正	傾斜角 $\theta$ の部分を変更することで、傾斜角の影響を適切に考慮
水深の影響	イスバッシュ数の算定図をフルード数 $Fr (= U/\sqrt{gh})$ より場合分けすることで、水深の影響を考慮	係数 $x$ を $h/h_M$ （水深とマウンド厚の比）の関数とすることで、水深の影響を考慮

→基本的な考え方はどちらの算定方法も同じ

## 7. おわりに

### 津波流れに対する被覆ブロックの安定数（係数 $x$ ）をとりまとめた

- ✓ 設計参考図書の改訂に伴い、新しい所要質量算定式が示された
- ✓ 過去に実施した各種被覆ブロックでの実験結果を再整理し、算定式で用いられる係数 $x$ の算定図をとりまとめた
- ✓ 被覆ブロックの係数 $x$ は方塊ブロックの結果と同様の傾向であり、方塊ブロックよりは全体的に所要質量が小さめとなった
- ✓ 係数 $x$ の算定図を新技術研究会HPへ掲載した

一般社団法人 漁港漁場新技術研究会  
Association for Innovative Technology on Fishing Ports and Grounds

各種被覆ブロックの係数 $x$ はこちら→  
(新技術研究会HP)

