



越波実験による 消波ブロック粗度係数の算定 —EurOtopによる設計—

いのちをつくるコンクリート



日建工学株式会社

松下紘資

発表の内容

1. 海外の防波堤の設計

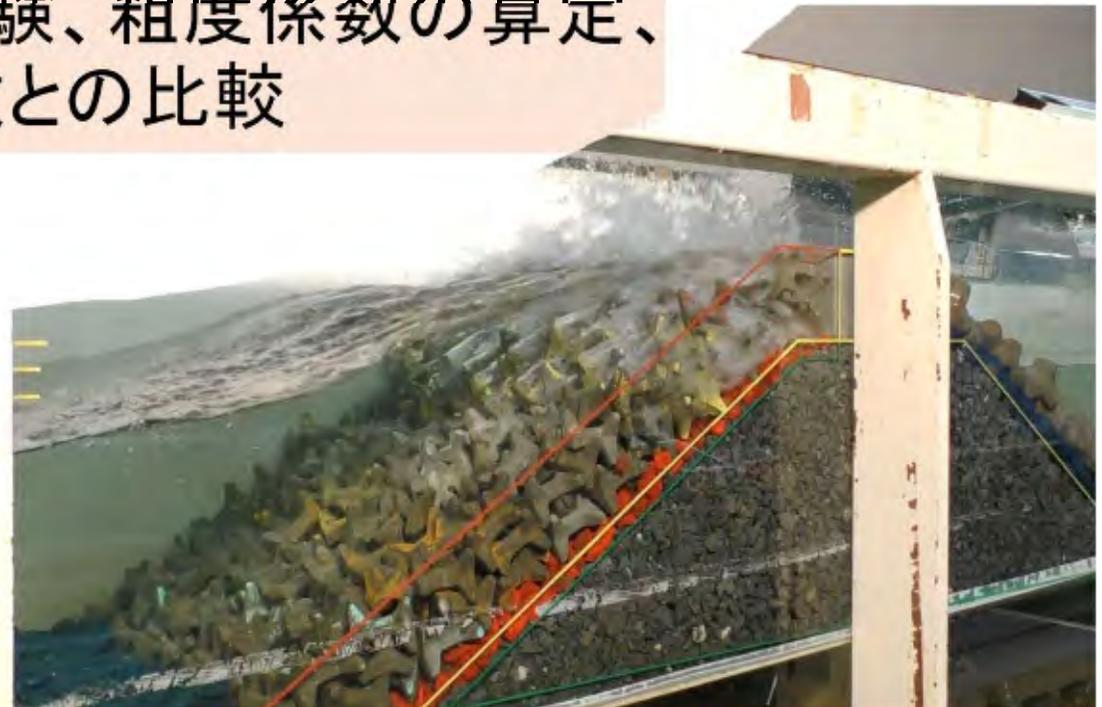
国内・国外の防波堤、EurOtop(ユーロトップ)を紹介

2. 消波ブロック粗度係数の算定

消波ブロック、越波実験、粗度係数の算定、
既存ブロック粗度係数との比較

3. 国内・国外の 消波ブロック実績

4. おわりに



1. 海外の防波堤の設計

国内の防波堤



ケーソン式
混成堤

天端高 = 設計波高に対する割合で決定

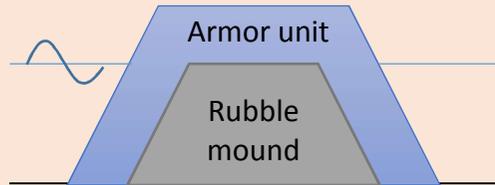
港湾の施設の技術上の基準・同解説
漁港・漁場の施設の設計参考図書

$R_c = 0.6H_{1/3}$ 等々



1. 海外の防波堤の設計

海外の防波堤



マウンド式
傾斜堤

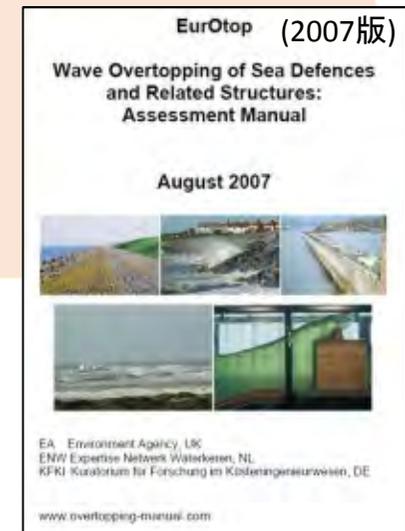
天端高 =
許容越波量で決定

EurOtop

1層or2層の消波ブロックで被覆



国内も護岸の天端高は越波量で決めるが、
防波堤の設計には使用していない



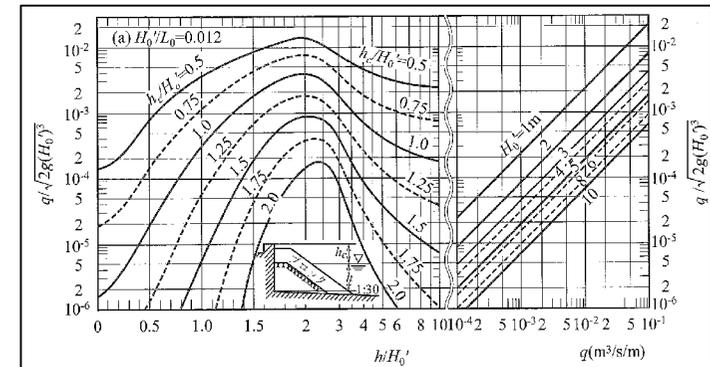
1. 海外の防波堤の設計

越波に関する既往の研究の一部・・・

合田先生の越波流量算定図(1975)

高山先生の換算天端高係数を用いた算定式(1982)

間瀬先生の打ち上げ・越波統合算定モデルIFORM(2013)



ブロックの違いは反映されない
 (何を使っても同等の性能として取り扱う)

ブロック積み護岸 ¹¹⁷⁾	$\beta=0.9\sim0.7$
ト型消波護岸 ¹¹⁷⁾	$\beta=0.6$
ト後退型護岸 ¹¹⁶⁾	$\beta=1.0\sim0.5$
階段護岸 ¹¹⁶⁾	$\beta=1.7\sim1.0$
波が斜めから入射する場合 ^{118) 119)}	$\beta = \begin{cases} 1 - \sin^2 \theta & \theta \leq 30^\circ \\ 1 - \sin^2 30^\circ = 0.75 & \theta > 30^\circ \end{cases}$
(θは波の入射角で、護岸に直角入射する場合を0°とする。)	

Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes:TAW (2002)

CLASH project (2004)

EurOtop (2007)

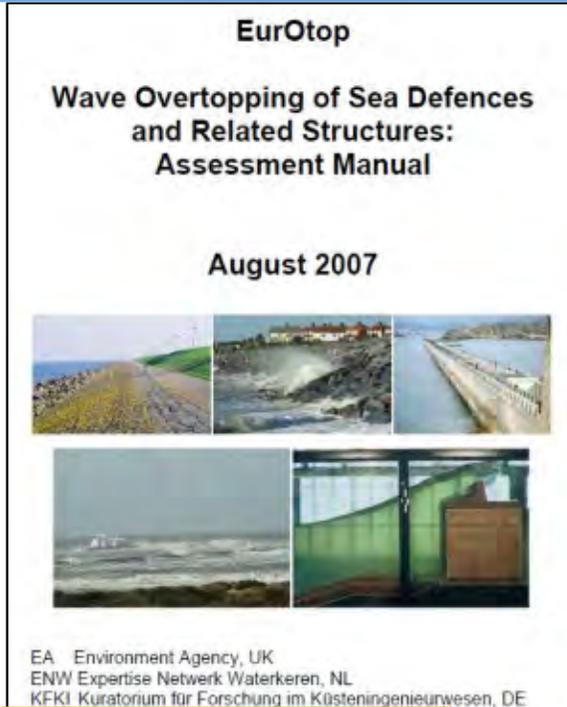
EurOtop (2016)

ブロックごとの粗度
 係数で検討

$$\frac{q}{\sqrt{gH_0^{1.5}}} = \begin{cases} C \left[0.018 \left(\frac{R_{\max}}{H_0'} \right)^{1.5} \left\{ 1 - \left(\frac{R_c}{H_0'} \right) / \left(\frac{R_{\max}}{H_0'} \right) \right\}^{6.240} \right] & \text{for } 0 \leq R_c \leq R_{\max} \\ 0 & \text{for } R_{\max} \leq R_c \end{cases}$$

1. 海外の防波堤の設計

(2007版)



越波量算定式

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f}\right)$$

- q : (許容)越波量
- H_{m0} : 有義波高
- R_c : 天端高
- γ_f : 粗度係数

(2016版)
 Pre-release



越波量算定式

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \exp\left[-\left(1.35 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f}\right)^{1.3}\right]$$

粗度係数
 (被覆材固有の数値)

1. 海外の防波堤の設計

Deltares
 Enabling Delta Life

Areas of expertise Software Academy Facilities About us Contact

← Back to software

Features

Contact

Alex Capel
 Coastal and river structures
 +31(0)88335 8034
 alex.capel@deltares.nl

Links

- BREAKWAT
- Coastal structures
- Experimental facilities
- CLASH project

Introduction Calculator Report Help and Download Import Export Disclaimer

β [deg] angle of wave attack
 h [m] water depth in front of structure
 H_{swl} [m] significant wave height at the toe of the structure
 $T_{p,1.0}$ [s] spectral wave period at toe of the structure
 R_c [m] water depth at toe of the structure
 B [m] width of the toe
 γ_f roughness coefficient
 $\cot(\alpha_u)$ angle of the down slope
 $\cot(\alpha_s)$ angle of the upper slope
 R_c [m] crest freeboard relative to SWL
 B [m] berm width
 h_b [m] water depth on the berm
 $\tan(\alpha_b)$ berm slope
 A_c [m] armour freeboard relative to SWL
 G_c [m] armour width

Scenarios

Scenario Name	β [deg]	h [m]	H_{swl} [m]	$T_{p,1.0}$ [s]	R_c [m]	B [m]	γ_f	$\cot(\alpha_u)$	$\cot(\alpha_s)$	R_c [m]	B [m]	h_b [m]	$\tan(\alpha_b)$	A_c [m]	G_c [m]
scen	0	2	0.5	5	2	0	0.9	0	0	0.5	0	0	0	0	0

Add scenario
 Remove selected scenario(s)
 Calculate all scenarios
 Help

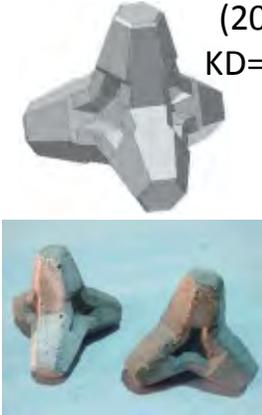
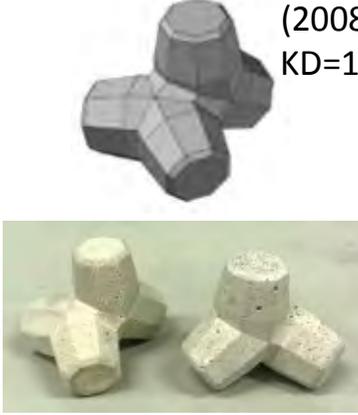
EurOtop(2016)では、ニューラルネットワーク(NN)で設計することを推奨

越波量算定式で天端高を計算する場合もNNで求める場合も、使用する被覆材(消波ブロック)の粗度係数 γ_f が必要



水理模型実験！

2. 消波ブロック粗度係数の算定

名称		ラクナ・IV	グラスプ	シーロックVIII
形状		(2007) KD=9.44 	(2009) KD=20.6 	(2008) KD=13 
	乱積み空隙率	56.5%	63.5%	53.0%
模型実験	施設	ベトナム水資源大学 	関西大学 	関西大学 
	縮尺	(20t型の) 1/50	(40t型の) 1/75.4	(100t型の) 1/70

2. 消波ブロック粗度係数の算定

テストケース一覧(グラスプの例)



Test No.	ξ	Rc/H
1	3.30	1.26
2	3.30	1.26
3	3.21	1.18
4	3.21	1.17
5	3.72	1.37
6	3.52	1.23
7	3.52	1.23
8	3.41	1.15
9	3.40	1.15
10	3.30	1.08
11	3.30	1.08

Test No.	ξ	Rc/H
12	3.87	1.11
13	3.87	1.10
14	3.67	1.03
15	3.66	1.03
16	3.40	1.12
17	3.33	1.07
18	3.27	1.02
19	3.27	1.02
20	3.87	1.26
21	3.69	1.14
22	3.66	1.13

Test No.	ξ	Rc/H
23	3.79	1.01
24	3.61	0.90
25	3.64	0.92
26	3.52	0.89
27	3.47	0.86
28	3.26	0.75
29	3.26	0.75
30	3.83	0.78
31	3.83	0.78
32	3.68	0.71
33	3.73	0.74

Test No.	ξ	Rc/H
34	3.50	1.05
35	3.51	1.05
36	3.26	0.90
37	3.26	0.90
38	3.86	0.94
39	3.86	0.94
40	3.64	0.87
41	3.65	0.87
42	3.14	0.82
43	3.15	0.82
44	3.78	1.01

過去の実験(Bruceら2009)は15前後

2. 消波ブロック粗度係数の算定



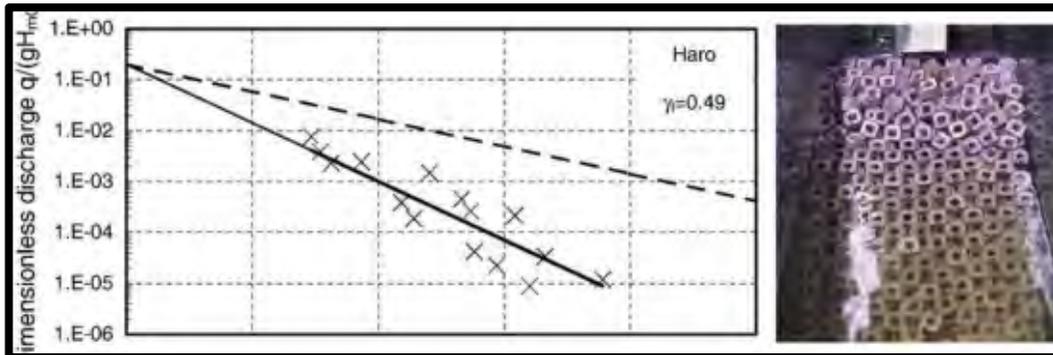
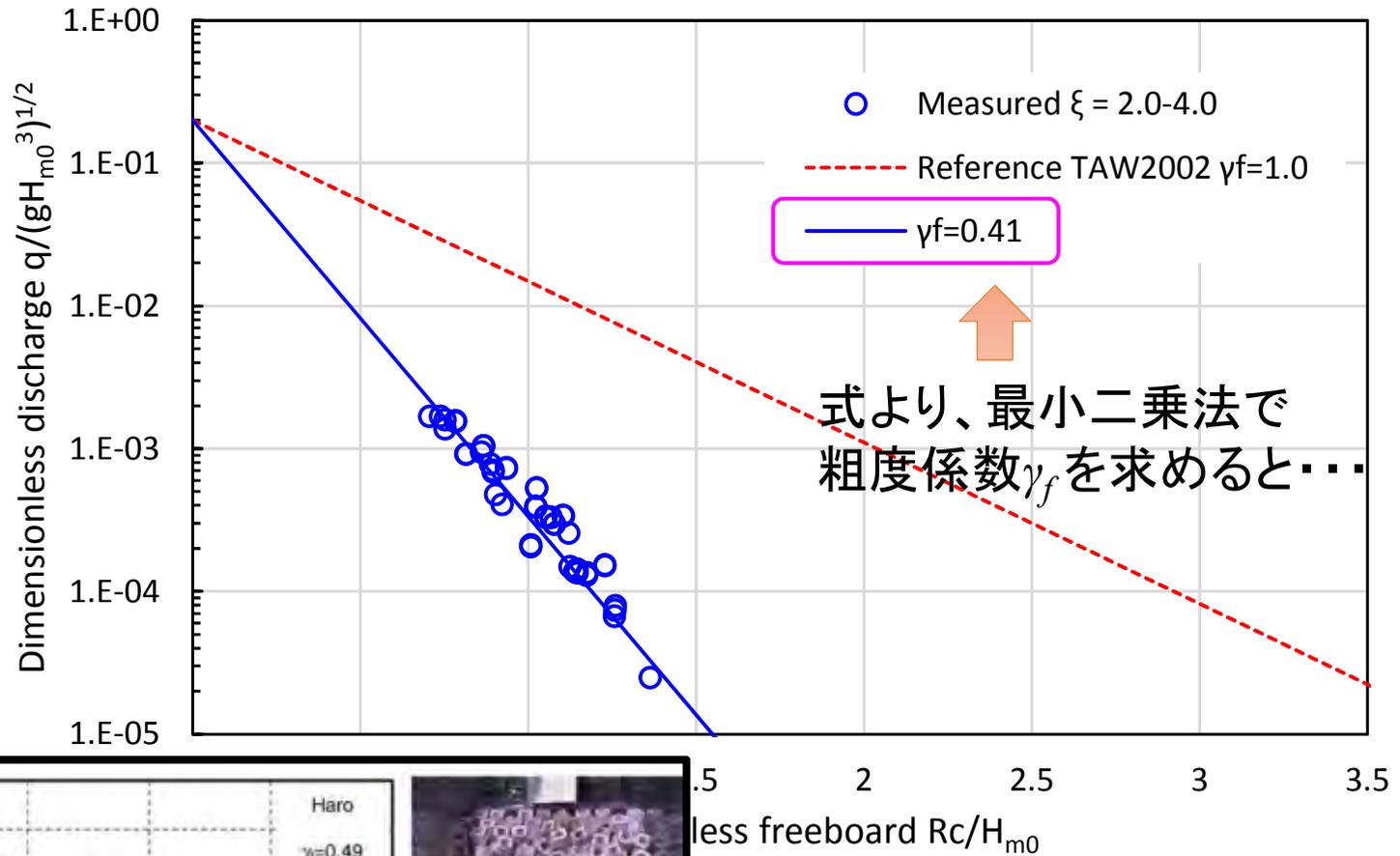
実験の状況：グラスプ



不規則波：JONSWAPスペクトル($\gamma=3.3$) \Rightarrow ピークが大きい

2. 消波ブロック粗度係数の算定

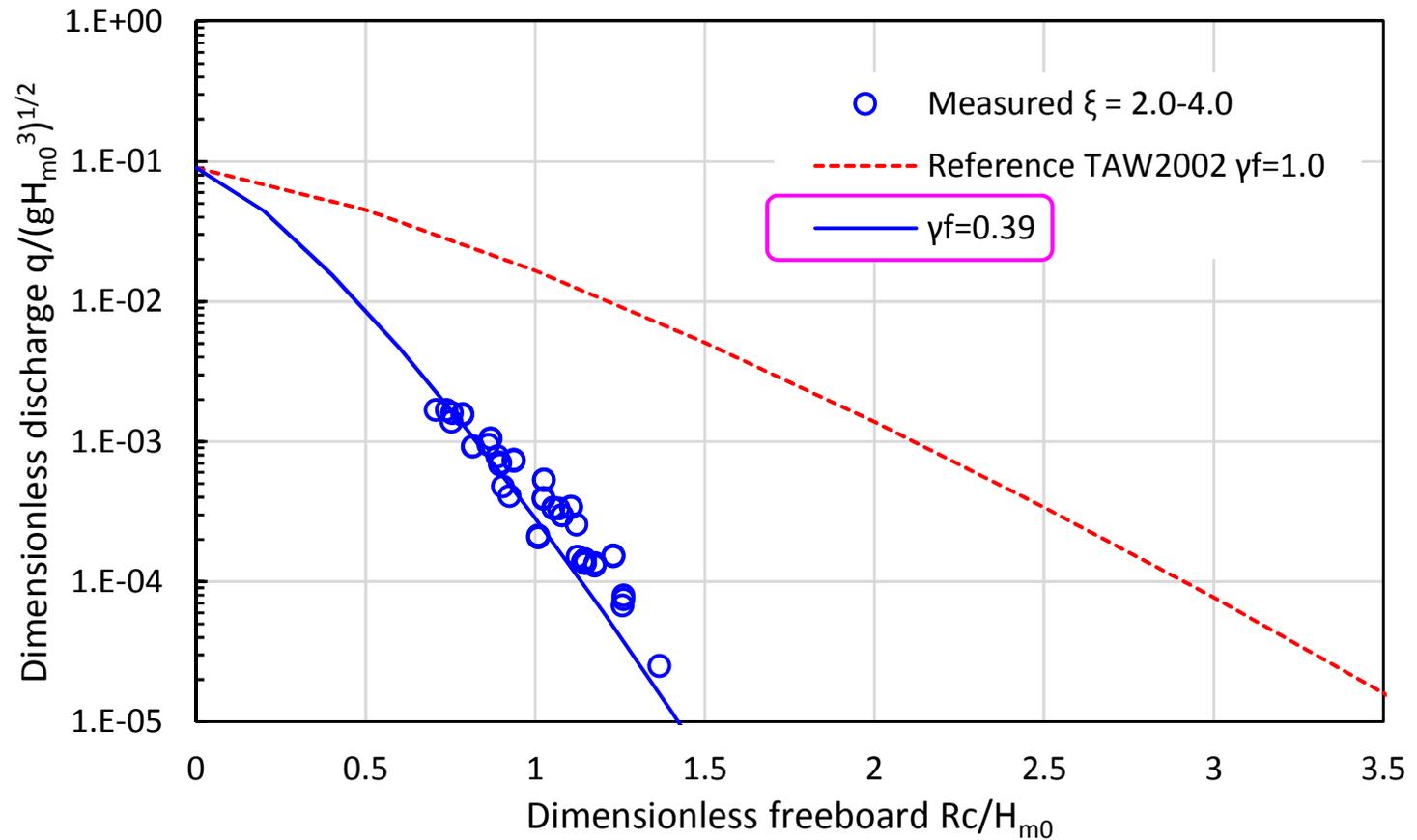
EurOtop
 (2007)
 の式



ワシミラリティパラメータ
 $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H_{m0}/T_{m-1,0}}$ の境界: 4.0
 Topでは、4.0以下の値を採用

2. 消波ブロック粗度係数の算定

EurOtop
 (2016)
 の式



$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.35 \frac{R_c}{H_{m0}} \gamma_f \right)^{1.3} \right]$$

縦軸: $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$
 横軸: $\frac{R_c}{H_{m0}} \gamma_f$

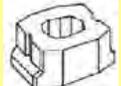
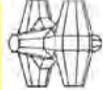
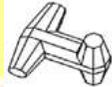
γ_f 採用値に関しては・・・

2007式: $\gamma_f = 0.41$
 2016式: $\gamma_f = 0.39$ → 値が大きい方が安全側

2. 消波ブロック粗度係数の算定

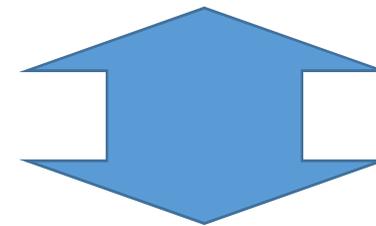
粗度係数 γ_f 一覧

Block	Conditions	粗度係数 γ_f ($\zeta_{m-1,0}=2.0-4.0$)	
		2007式	
 ラクナ・IV	天端幅:3Dn、層厚:2層	0.39	
 グラスプ	天端幅:3Dn、層厚:標準	0.41	
 グラスプ	天端幅:3Dn、層厚:2層	0.45	
 グラスプ	天端幅:3個並び、層厚:2層	0.36	
 シーロックVIII	天端幅:3Dn、層厚:2層	0.39	

Type of armour layer	γ_f
不透過の凹凸のない面	1.00
不透過マウンド上の石(1層積み)	0.60
不透過マウンド上の石(2層積み)	0.55
立方体ブロック(1層乱積み) 	0.50
立方体ブロック(2層乱積み)	0.47
 Antifers	0.47
HARO's 	0.47
 Accropode™,	0.46
Xbloc® 	0.45
捨石マウンド上の石(1層積み)	0.45
グラスプ(2層,3Dn)	0.45
 CORE-LOC®	0.44
Dolosse 	0.43
グラスプ(標準層厚,3Dn)	0.41
捨石マウンド上の石(2層積み)	0.40
ラクナ・IV(2層,3Dn)	0.39
シーロックVIII(2層,3Dn)	0.39
 Tetrapods	0.38
グラスプ(標準層厚,3ヶ並び)	0.36

EurOtopに掲載されている各種被覆材の粗度係数一覧表に、今回の実験結果を入れた表

粗度係数が大きいほど
 所要天端高が高くなる



粗度係数が小さいほど
 所要天端高を低くできる



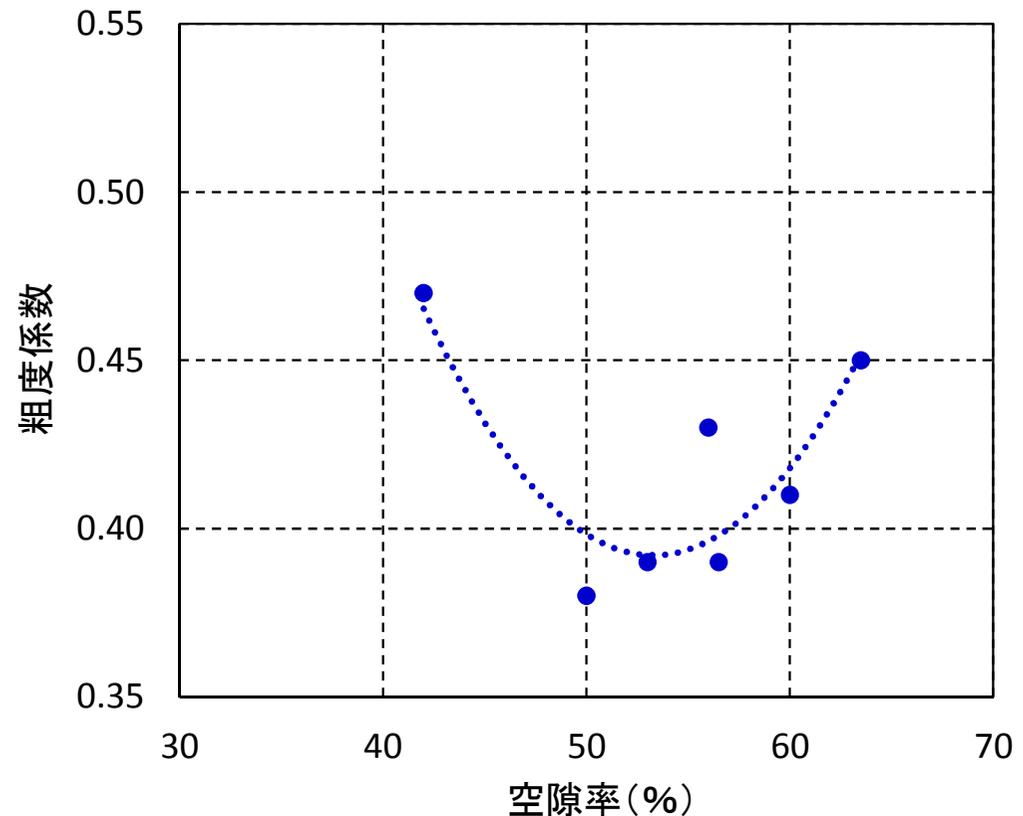
断面を小さく&
 コストも低減

2. 消波ブロック粗度係数の算定

粗度係数とブロック空隙率の関係 (2層被覆、天端3Dn幅)

※形状特性も影響しているため、
 四角型は除いて立体型に限定

空隙率	粗度係数
42	0.47
50	0.38
53	0.39
56	0.43
56.5	0.39
60	0.41
63.5	0.45



2. 消波ブロック粗度係数の算定

設計例(ラクナ・IV: $\gamma_f = 0.39$)

条件: 許容越波量: $0.01 \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$

設計波高 $H_{m0} = 5.0 \text{m}$ 、斜面勾配 1:1.5

EurOtop2016の越波量計算式を使用



$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.35 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f} \right)^{1.3} \right]$$

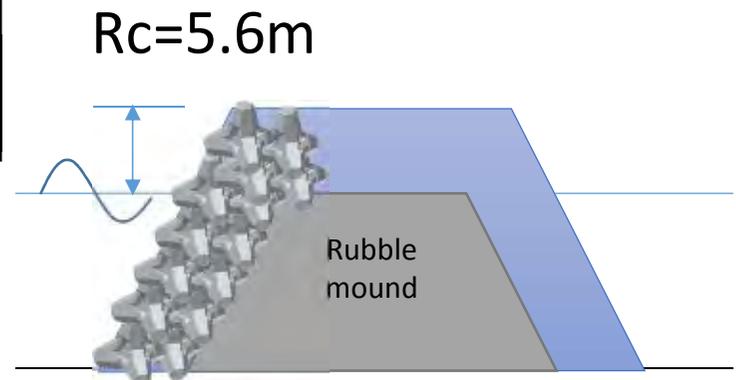
$$\frac{0.01}{\sqrt{9.8 \times 5.0^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.35 \frac{R_c}{5.0 \times 0.39} \right)^{1.3} \right]$$

$$R_c = 5.6 \text{m}$$



Cube2層 ($\gamma_f = 0.47$)だと、
 $R_c = 6.7 \text{m}$ になる

0.6Hだと、
 $0.6 \times 5.0 = 3.0 \text{m}$



3. 国内・国外の消波ブロックの実績

ラクナ・IV: 輪島港 (20t)



PIANC Working-with-Nature “CERTIFICATE OF RECOGNITION” Project
Project name : Environmental Concrete at Breakwater (March,2018)

3. 国内・国外の消波ブロックの実績

ラクナ・IV: ベトナム (8t、12t)

EurOtopで設計



3. 国内・国外の消波ブロックの実績

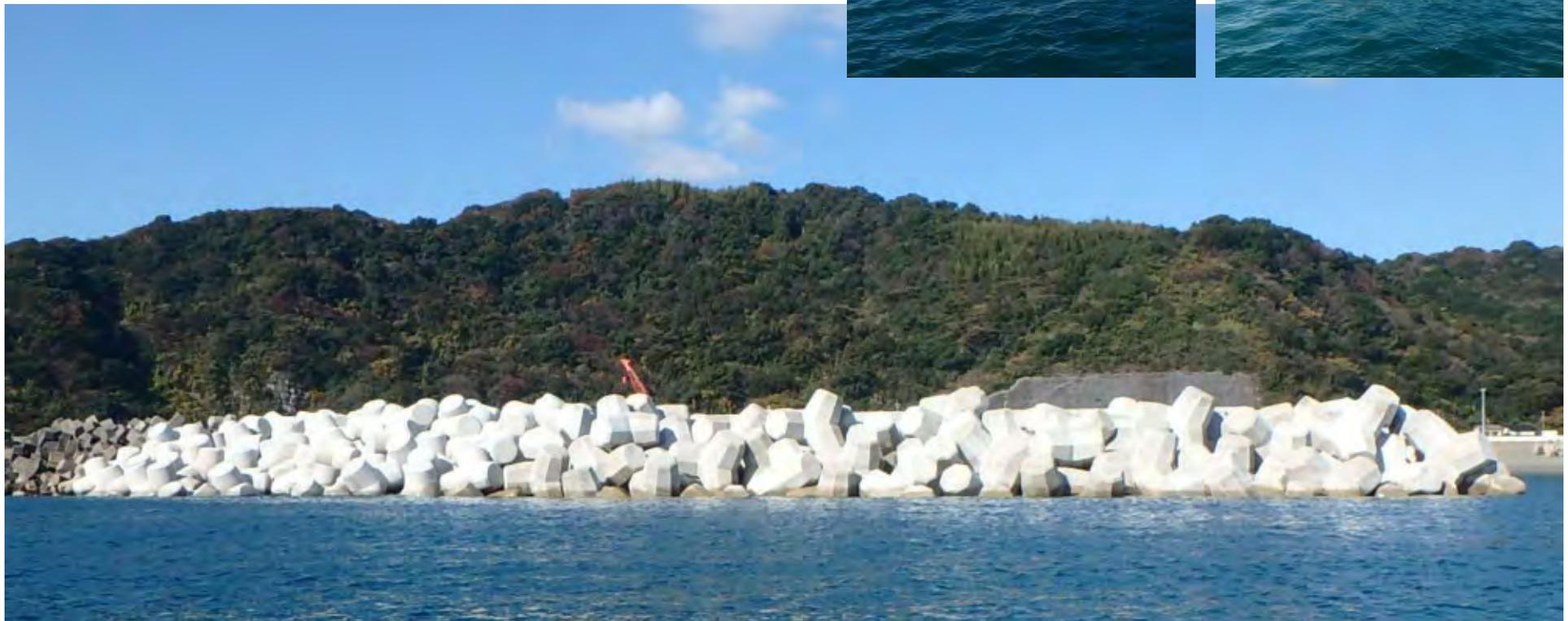
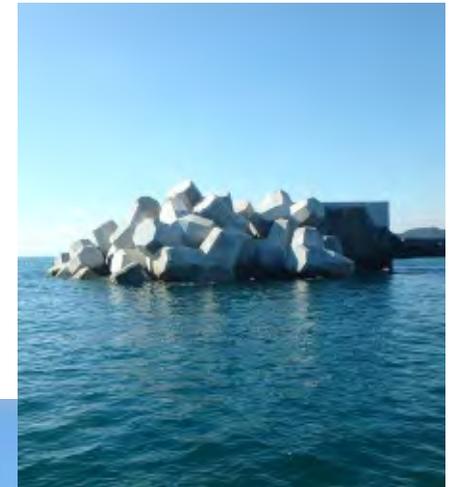
グラスプ：富山県下新川海岸（40t）

KD20.6のグラスプで40t、放射型だと100t



3. 国内・国外の消波ブロックの実績

シーロックVIII: 高知県春野漁港(100t)



4. おわりに

日本には、

たくさんの種類の消波ブロックがあります。

安定性(KD値など)については、個々の値を使って設計(所要質量を計算)されます。

しかしながら、“消波性能”に関しては、画一的な設計・・・
(現状はどんなブロックを使っても消波性能は同じとされている。
形状特性や空隙率が違えば、消波性能は違う！)

港・漁港の防波堤の設計

↑
EurOtop

設計の高度化



