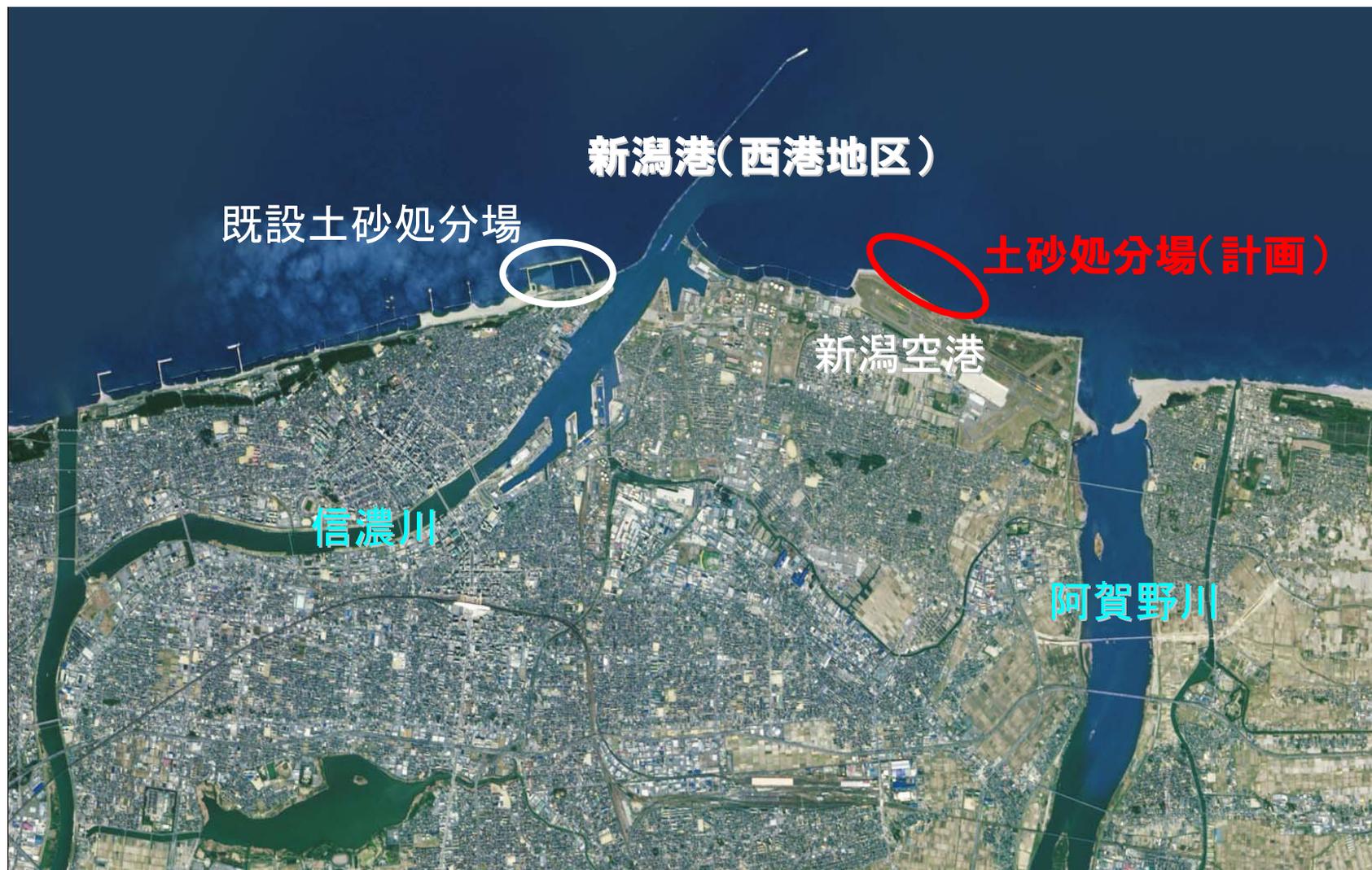
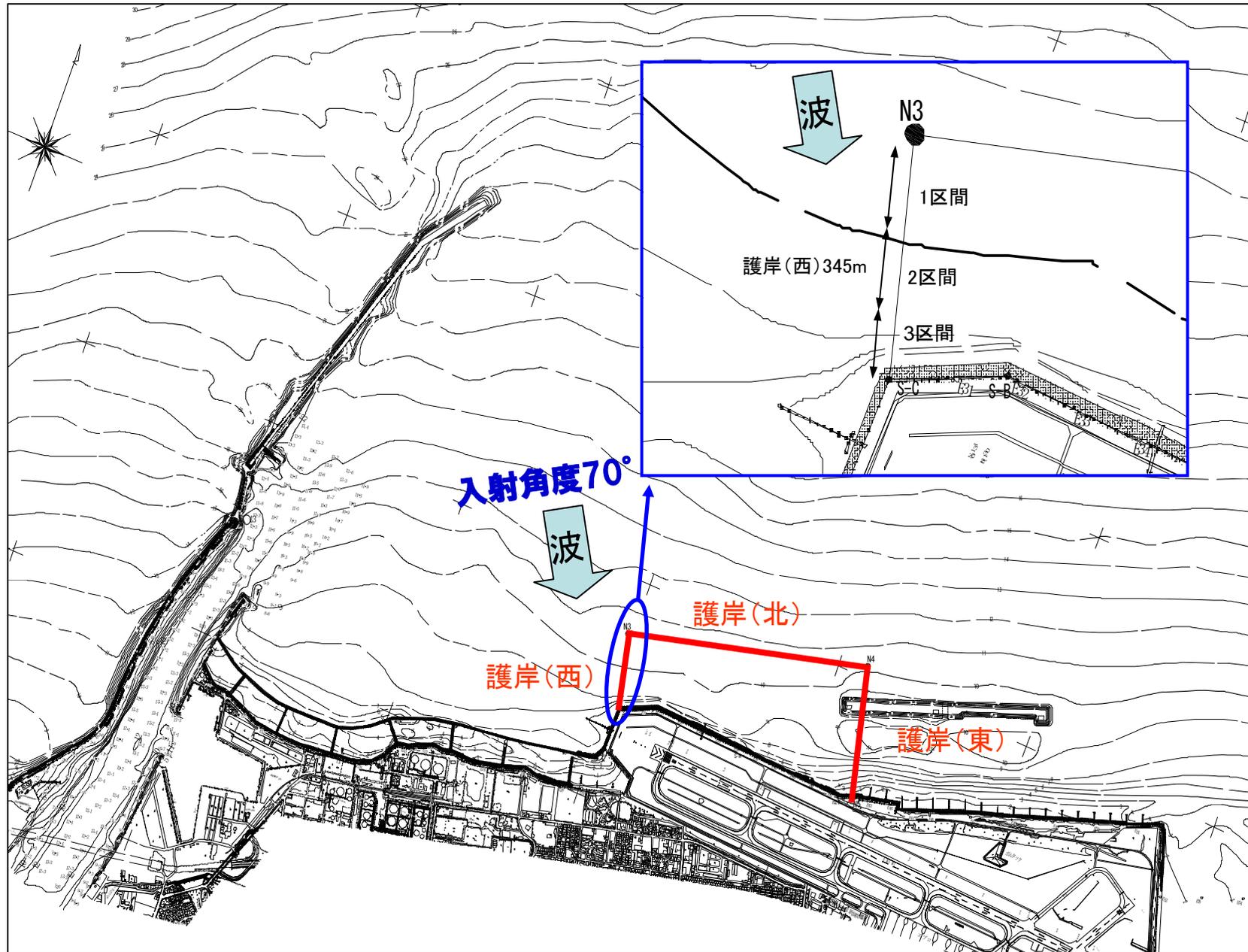


# 斜め入射波による 護岸越波実験について

— 第14回 新潟技調講演会 —

平成25年 9月26日  
新潟港湾空港技術調査事務所  
設計室 田中 純壺



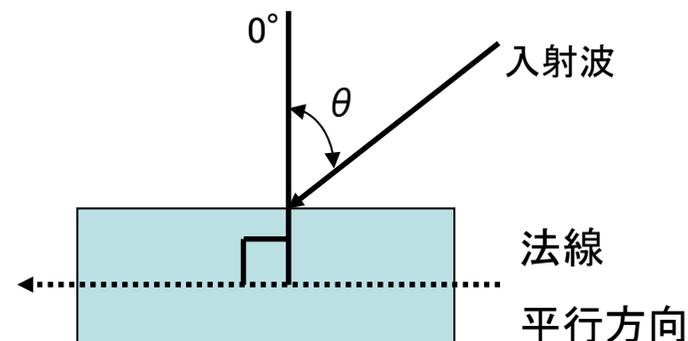


# 護岸天端高の設計法と課題

- 現在の設計法

現在の技術基準では、「波が斜めから入射する場合」の $\beta$ （換算天端高係数）は下記の様に定められている。

$$\beta = \begin{cases} 1 - \sin^2 \theta & |\theta| \leq 30^\circ \\ 1 - \sin^2 30^\circ = 0.75 & |\theta| > 30^\circ \end{cases}$$



【換算天端高係数 $\beta$ とは・・・】

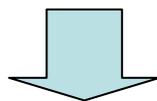
同一の波と海底形状の条件において、直立護岸を設置した場合を仮定して、同一の越波流量となるときの「対象護岸高さ」と「直立護岸高さ」の比

→  $\beta < 1$

・・・直立護岸に比較して低い護岸天端であっても、同一の越波量となることを表し、その護岸高さ(護岸形状)が越波量低減に有効である事を示す。

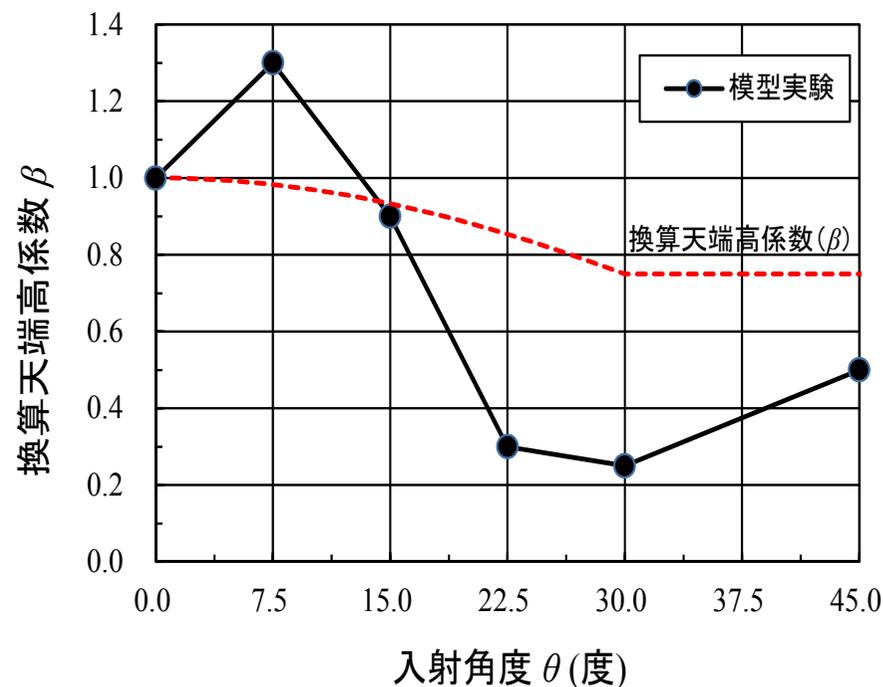
# 護岸天端高の設計法と課題

現在の技術基準では



入射角度 $30^\circ$  を超えると、 $\beta = 0.75$ と一律になる

入射角度 $45^\circ$  以上の場合の $\beta$ は、明らかとなっていない



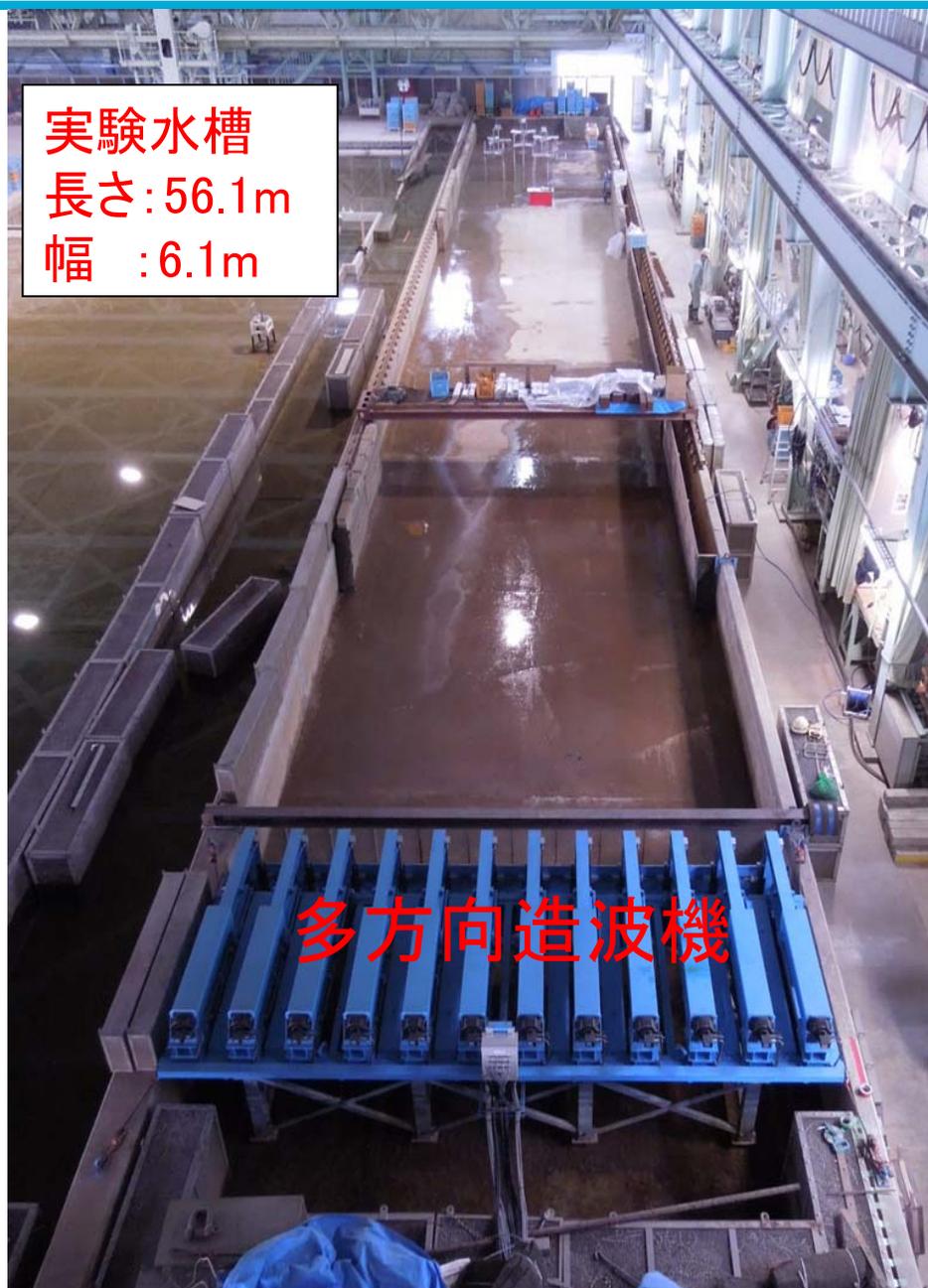
(実験目的)

- 入射角度 $70^\circ$  で進入する場合の、対象施設に定められた許容越波流量を満足する換算天端高係数 $\beta$ を求め、最適な護岸天端高さを算定する。
- 波の入射角度を $50^\circ$  と $60^\circ$  に変化させた場合の越波実験も行い、入射角度と換算天端高係数の関係を明らかにする。



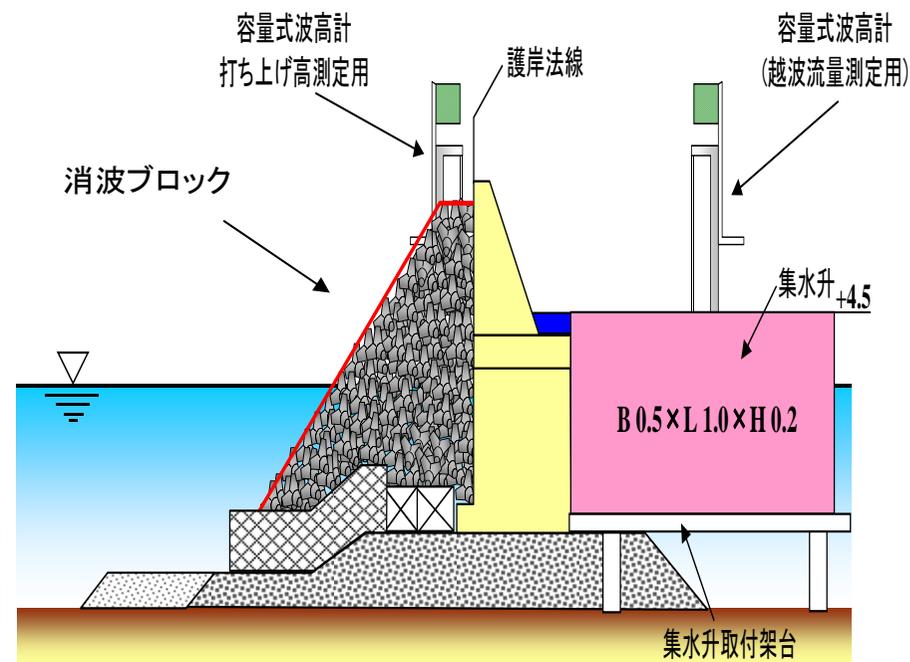


# 実験方法



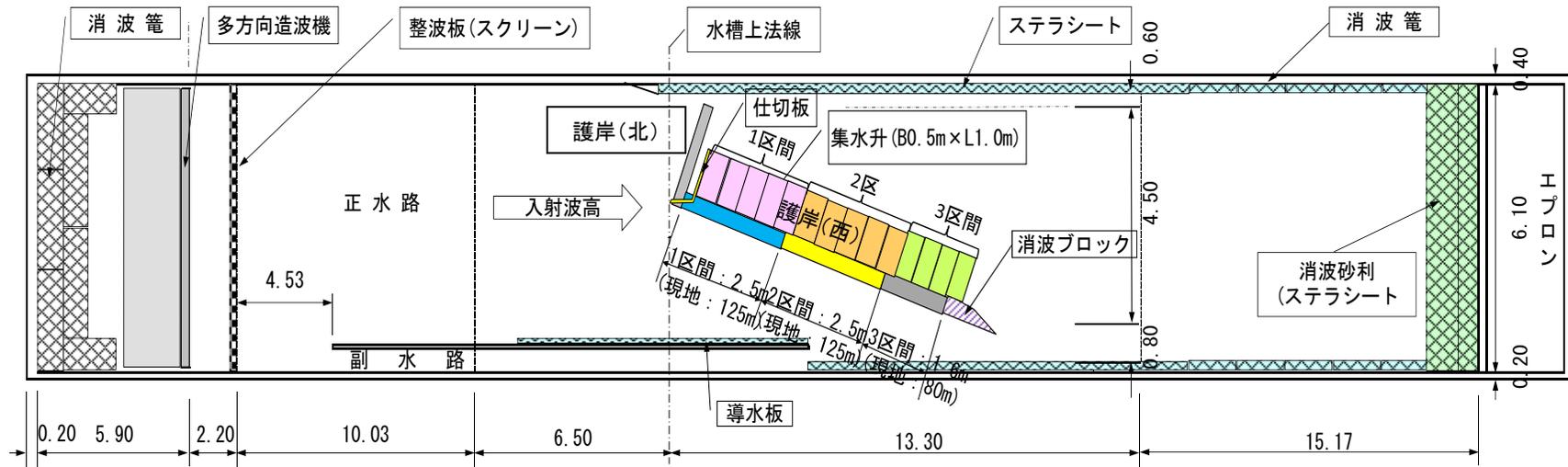
実験水槽  
長さ: 56.1m  
幅 : 6.1m

多方向造波機

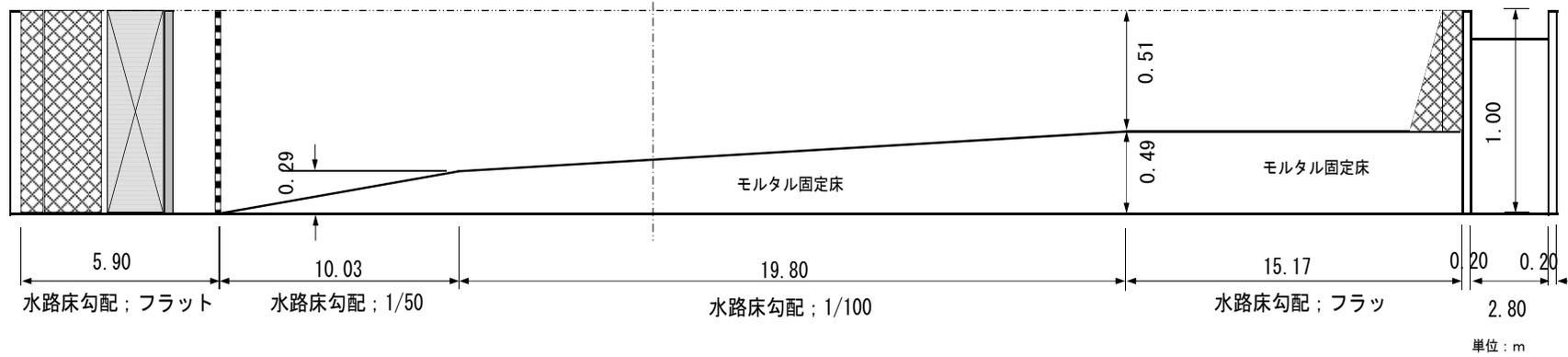


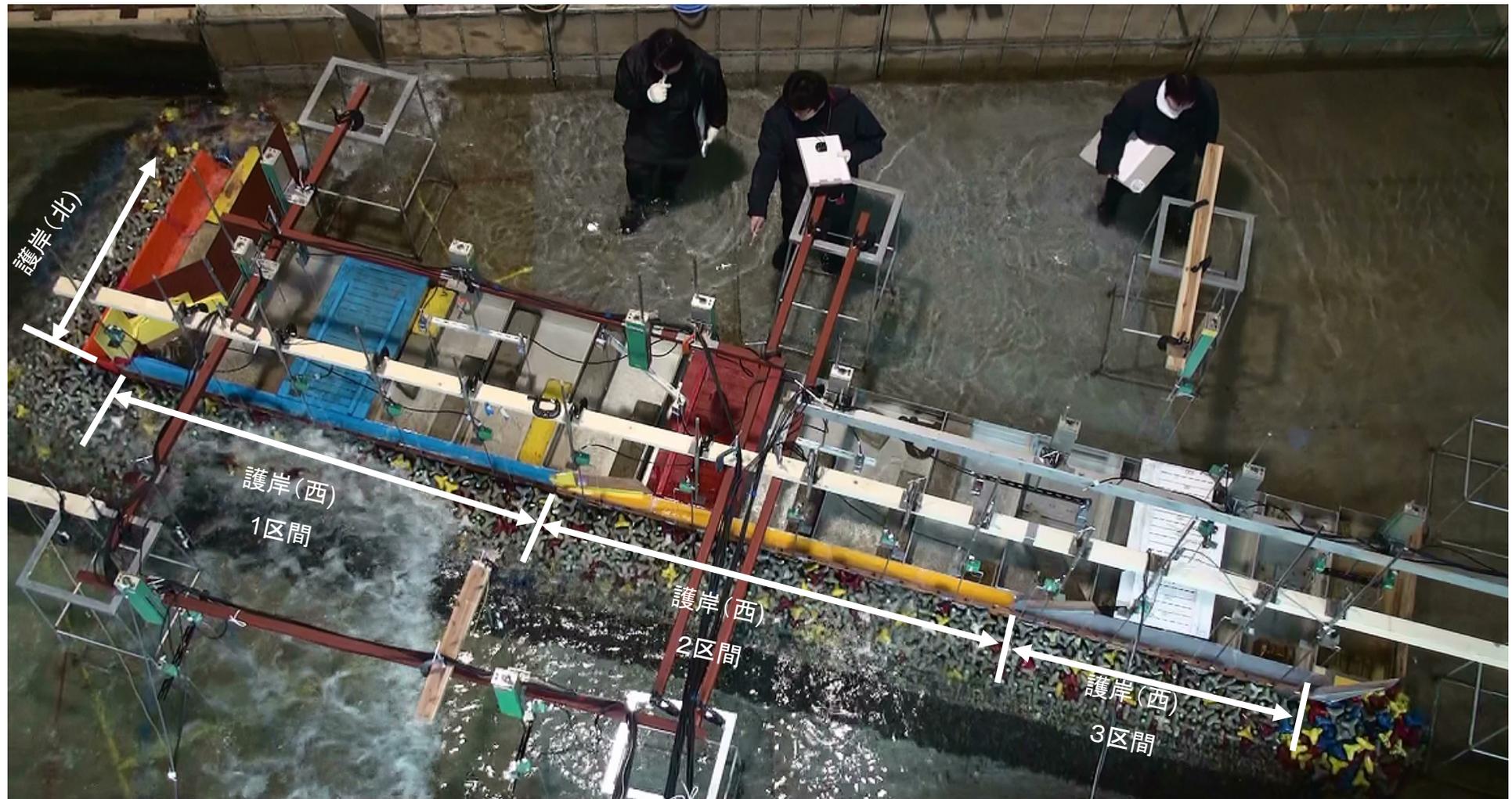
実験模型図  
(消波ブロック被覆堤)

【平面図】



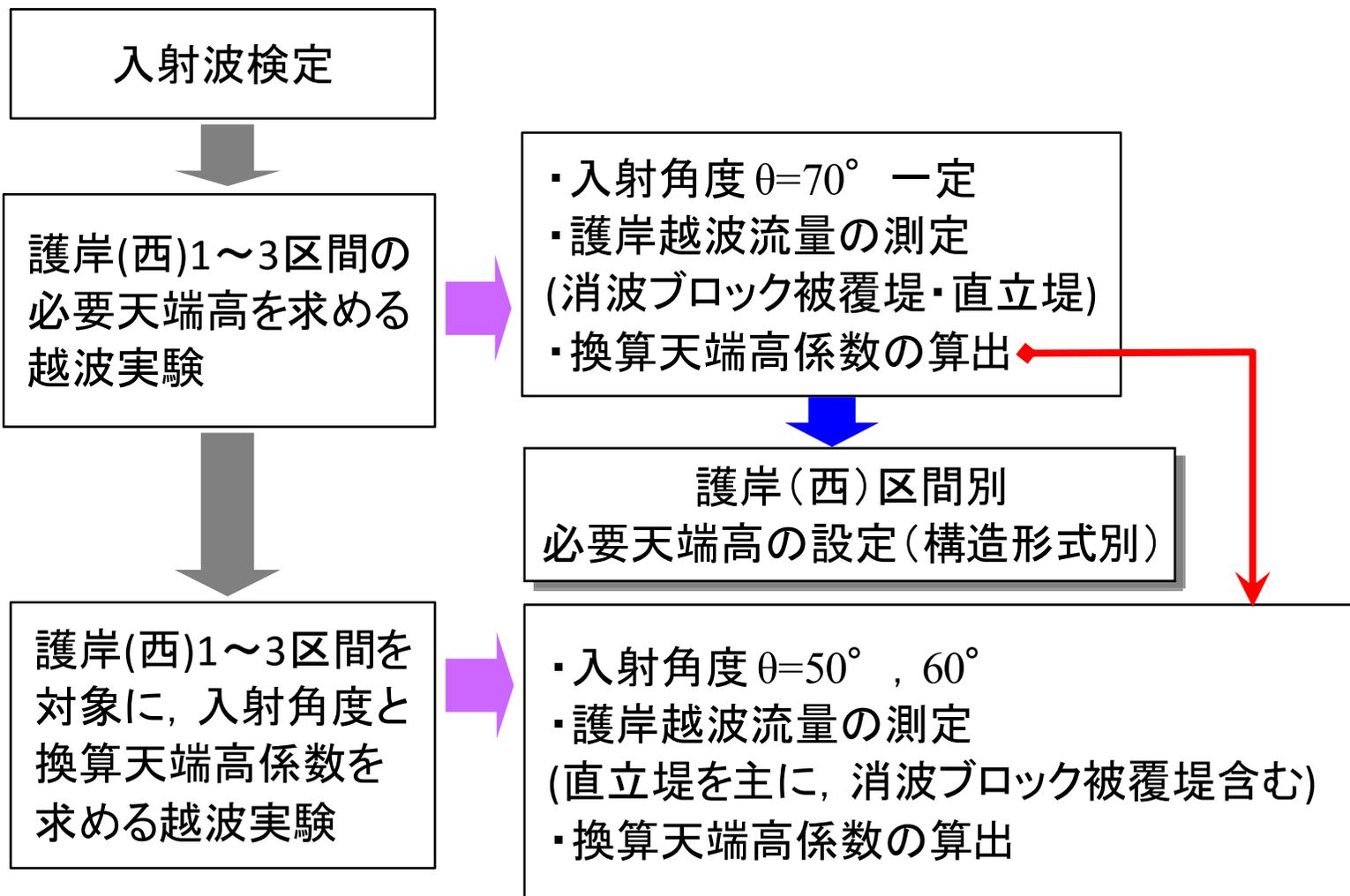
【断面図】



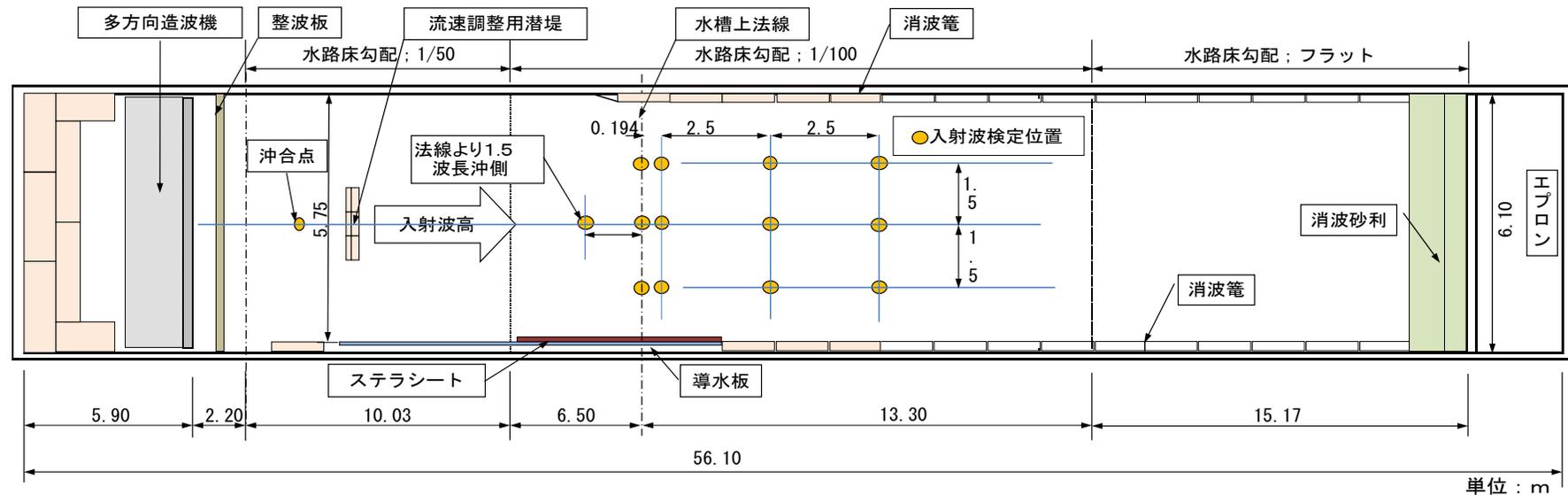




## ● 実験フロー



# 入射波浪の検定



実験で使用する、入射波の波高検定を実施

→入射波高  $H_{in}$

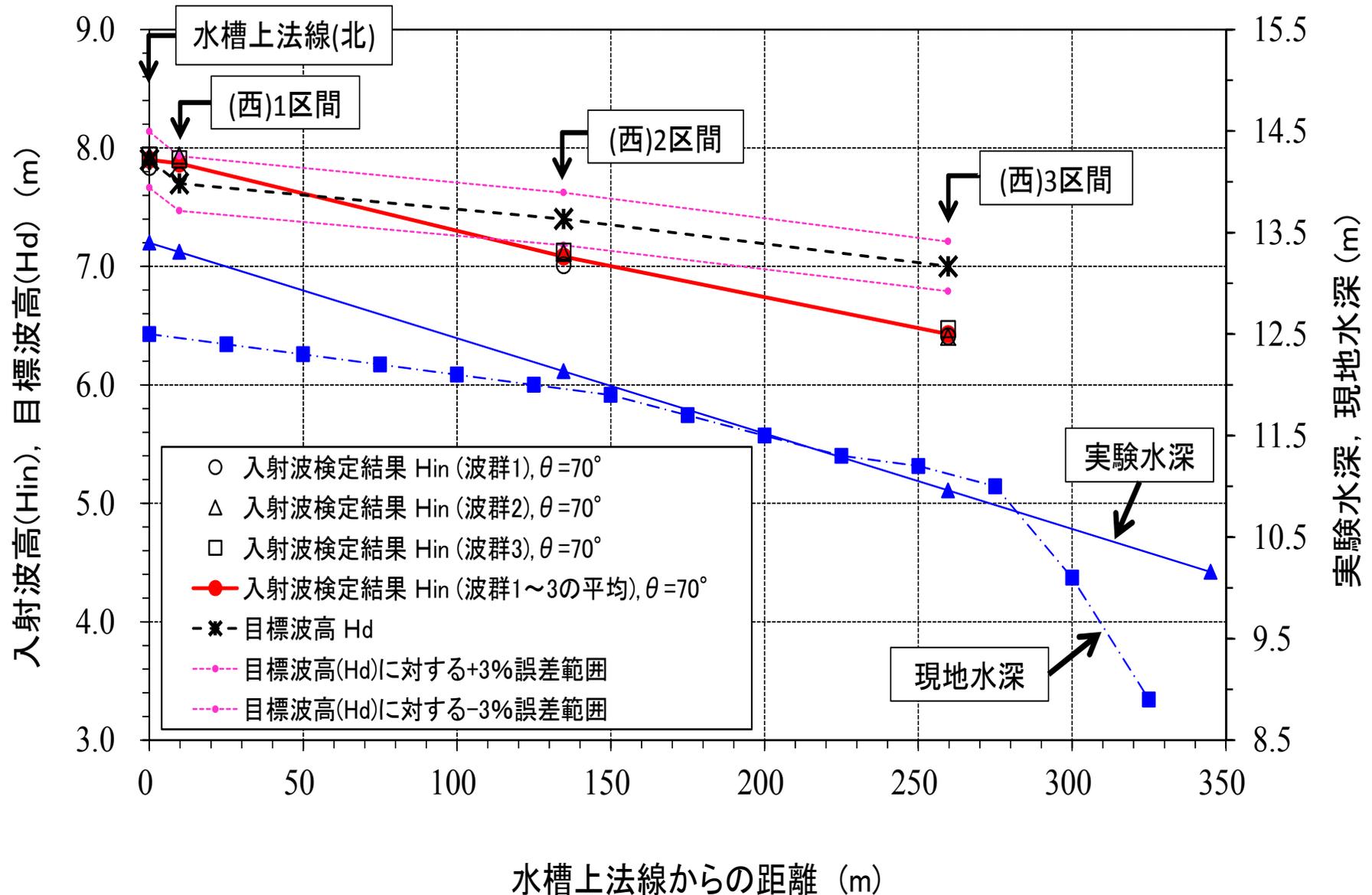
目標波高 ( $H_d$ ) は、所定波浪条件 (目標波浪) の波高としている。

波の種類	再現確率	目標波浪		潮位	入射角度 $\theta$ (度)	作用波数 ・波群
		有義波高(m)	有義周期(s)			
不規則波	50年 確率波	護岸(北) 1区間: 7.9m	14.2s	H.H.W.L. (+0.9m)	70°	200波 3波群
		護岸(西) 1区間: 7.8m 2区間: 7.4m 3区間: 7.0m			60° 50°	

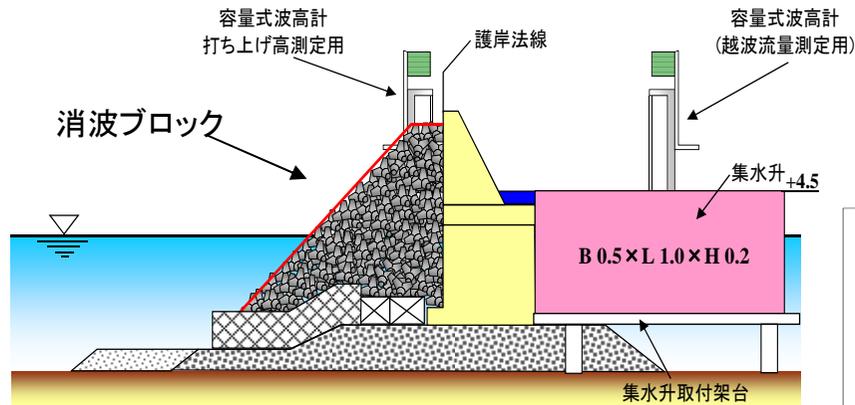
# 入射波浪の検定



# 入射波浪の検定結果

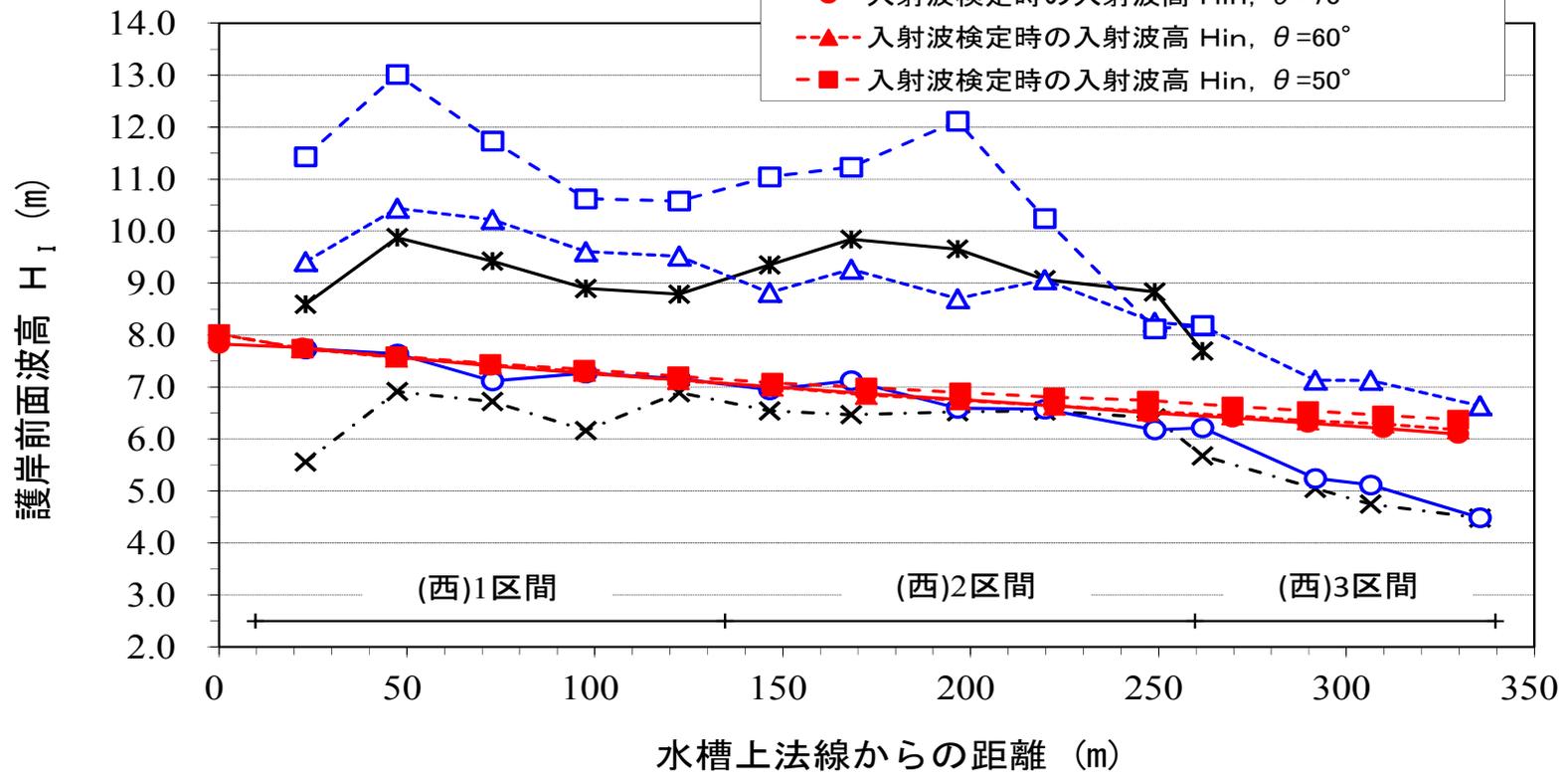


# 護岸前面波高分布

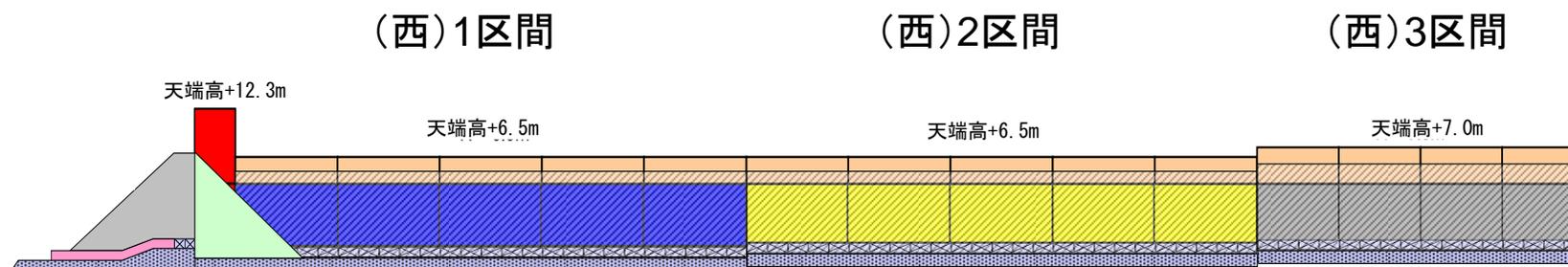
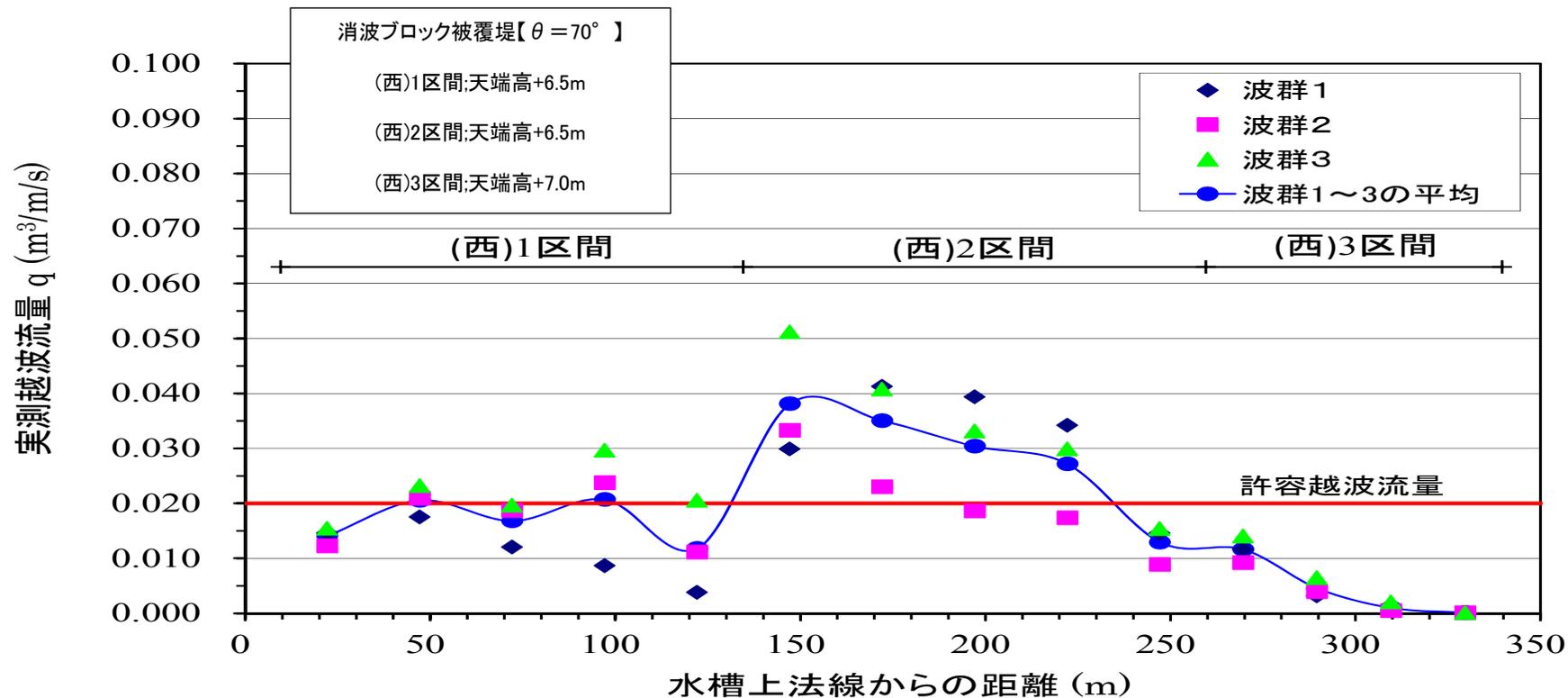


$$HI = \frac{1}{(1 + K_R^2)^{1/2}} H_s$$

- × - 消波堤(1区+7.5m,2区+7.0m,3区+5.5m),  $\theta = 70^\circ$
- \* - 消波堤(1区+8.0m,2区+7.5m,3区+7.0m),  $\theta = 50^\circ$
- ○ - 直立堤(1区+10.5m,2区+10.0m,3区+9.5m),  $\theta = 70^\circ$
- △ - 直立堤(1区+10.5m,2区+10.0m,3区+9.5m),  $\theta = 60^\circ$
- □ - 直立堤(1区+10.5m,2区+10.0m,3区+9.5m),  $\theta = 50^\circ$
- ● - 入射波検定時の入射波高  $H_{in}$ ,  $\theta = 70^\circ$
- ▲ - 入射波検定時の入射波高  $H_{in}$ ,  $\theta = 60^\circ$
- ■ - 入射波検定時の入射波高  $H_{in}$ ,  $\theta = 50^\circ$



# 実測越波流量(q)結果



消波ブロック被覆堤

# 実測越波流量( $q$ )の補正方法

実測越波流量( $q$ )

反射波による波高増大に伴う実測越波流量の補正( $q_{d1}$ )  
(実験中の前面波高( $H_1$ )と波高検定結果の入射波高( $H_{in}$ )の違いによる補正)  
対象範囲: 全測定箇

以下の式(4.1~4.2)より、 $q_{d1}$ を求める。

$q_{d1}$ : 無次元越波流量  $q_{d1} = q / \sqrt{2g(H_1)^3}$  .....(4.1)

$H_1$ : 実験中の各測定箇前面の入射波高(反射率( $K_r$ )より、入射波高成分を算出した結果)(m)

$q_H = q_{d1} \times \sqrt{2g(H_m)^3}$  (m<sup>3</sup>/m/s) .....(4.2)

$H_m$ : 波高検定時の各測定箇位置の入射波高(m)

実測波高( $H_{in}$ )と目標波高( $H_d$ )の違いによる越波流量の補正( $q'$ )  
(波高検定結果の入射波高( $H_{in}$ )と計算による目標波高( $H_d$ )の違いによる補正)  
対象範囲:  $0.97 > H_{in}/H_d$  及び  $H_{in}/H_d > 1.03$

以下の式(4.3~4.4)より、換算越波流量( $q'$ )を求める。

$q_{d2}$ : 無次元越波流量  $q_{d2} = q_H / \sqrt{2g(H_m)^3}$  .....(4.3)

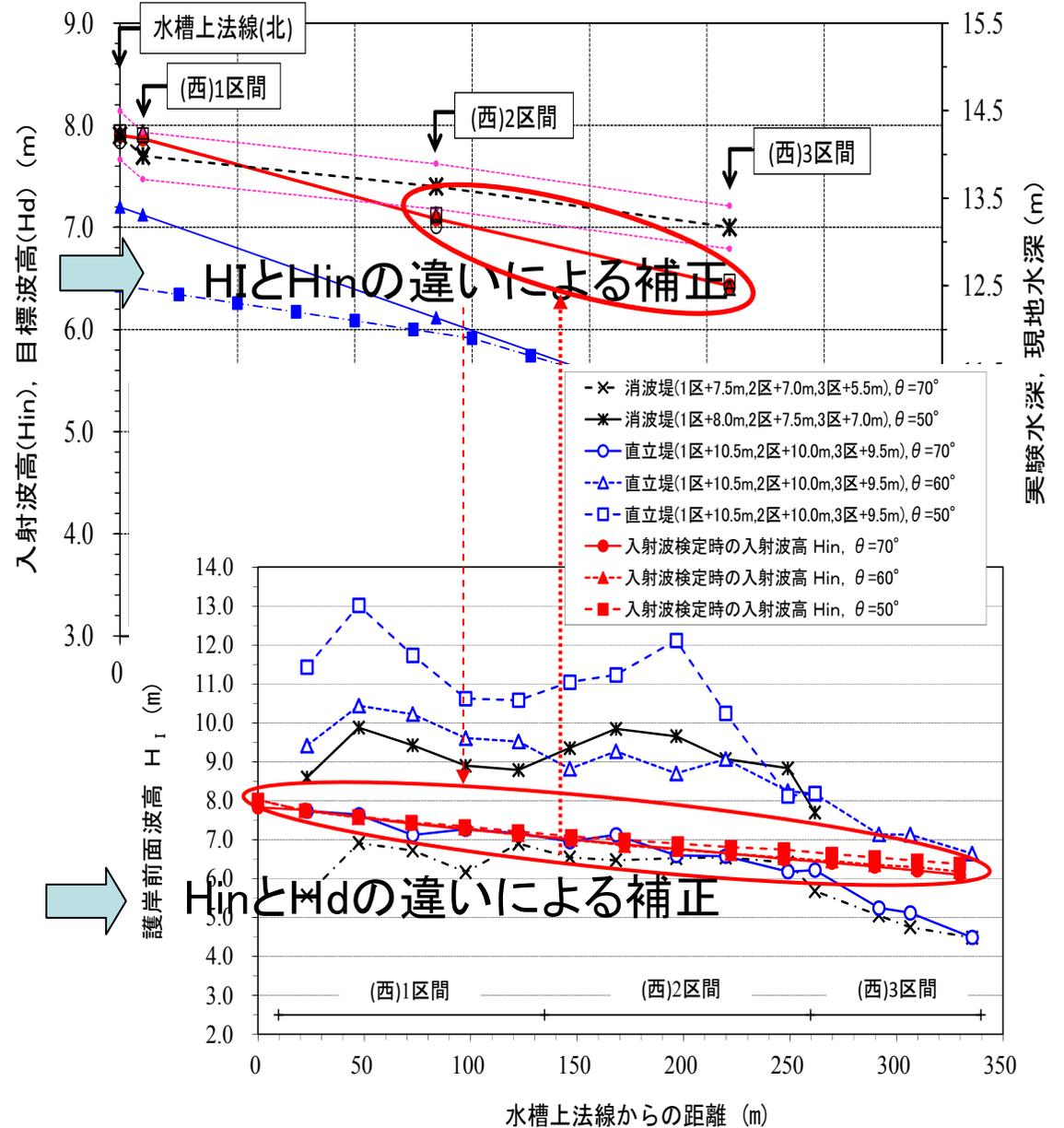
$q_H$ : 反射波による波高増大に伴う実測越波流量の補正

$H_m$ : 波高検定時の各測定箇位置の入射波高(m)

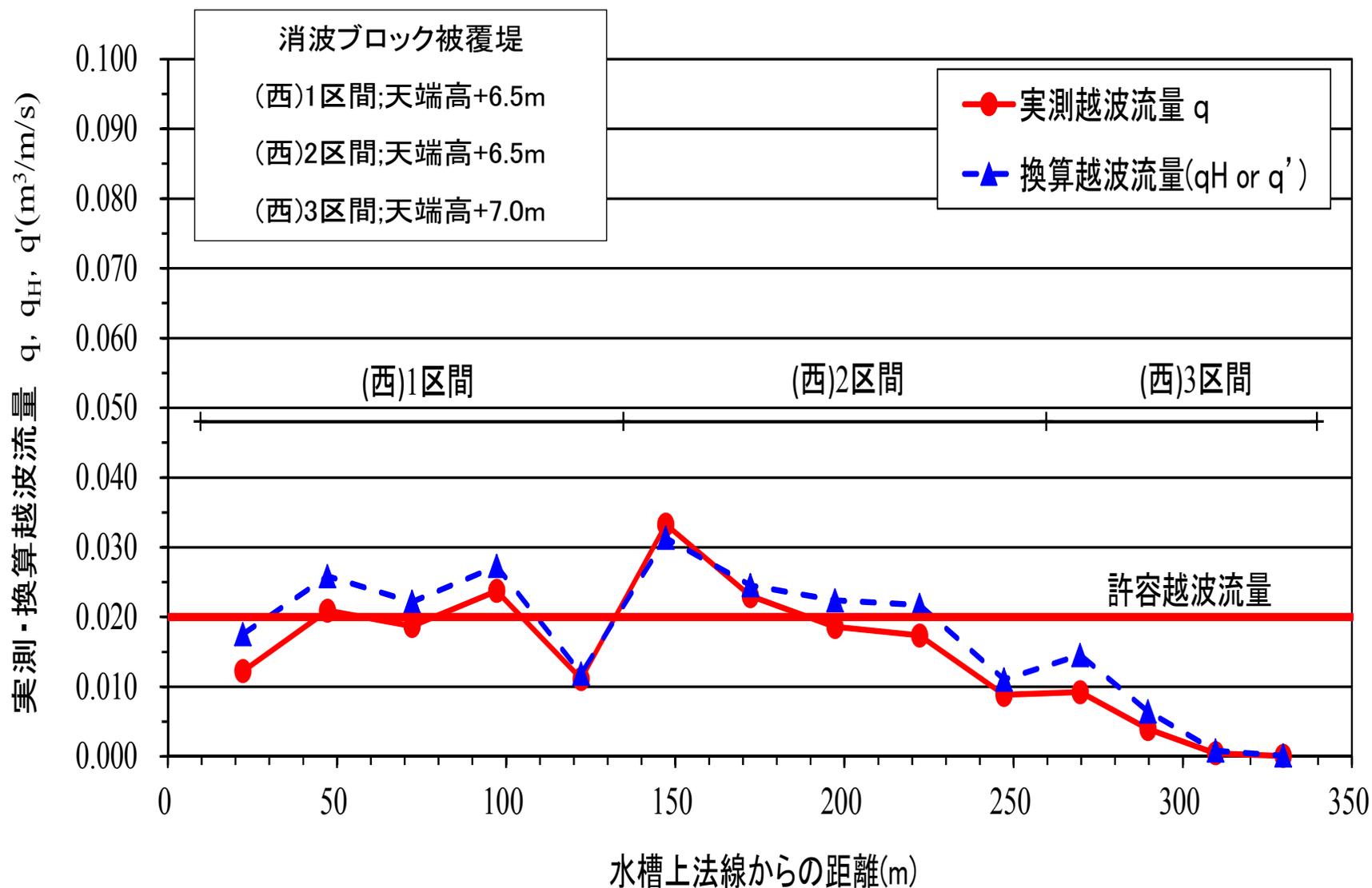
$q' = q_{d2} \times \sqrt{2g(H_d)^3}$  (m<sup>3</sup>/m/s) .....(4.4)

$H_d$ : 計算による各測定箇位置の目標波高(m)

換算越波流量( $q'$  又は  $q_{d1}$ )を採用

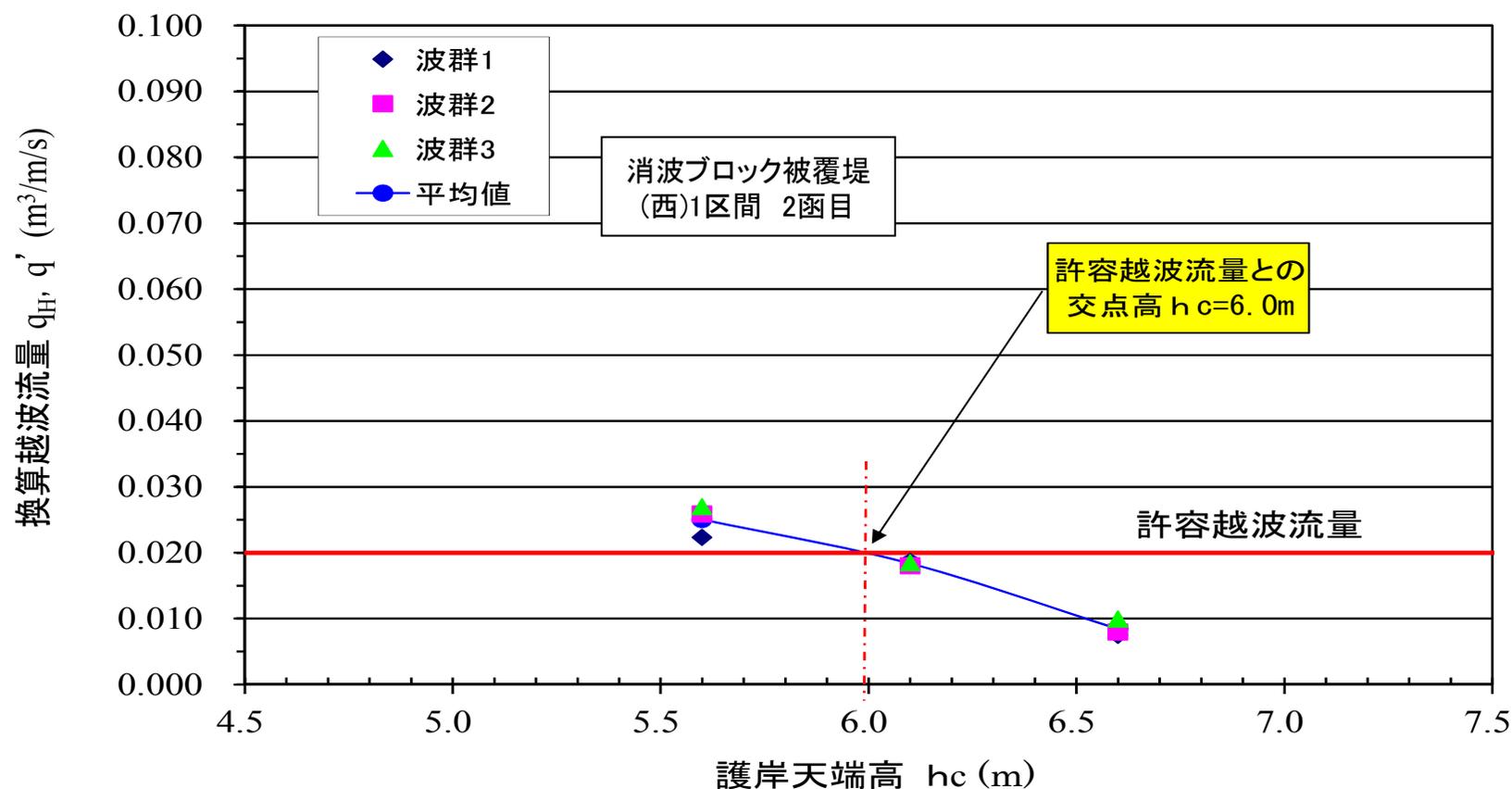


# 実測越波流量( $q$ )の補正結果



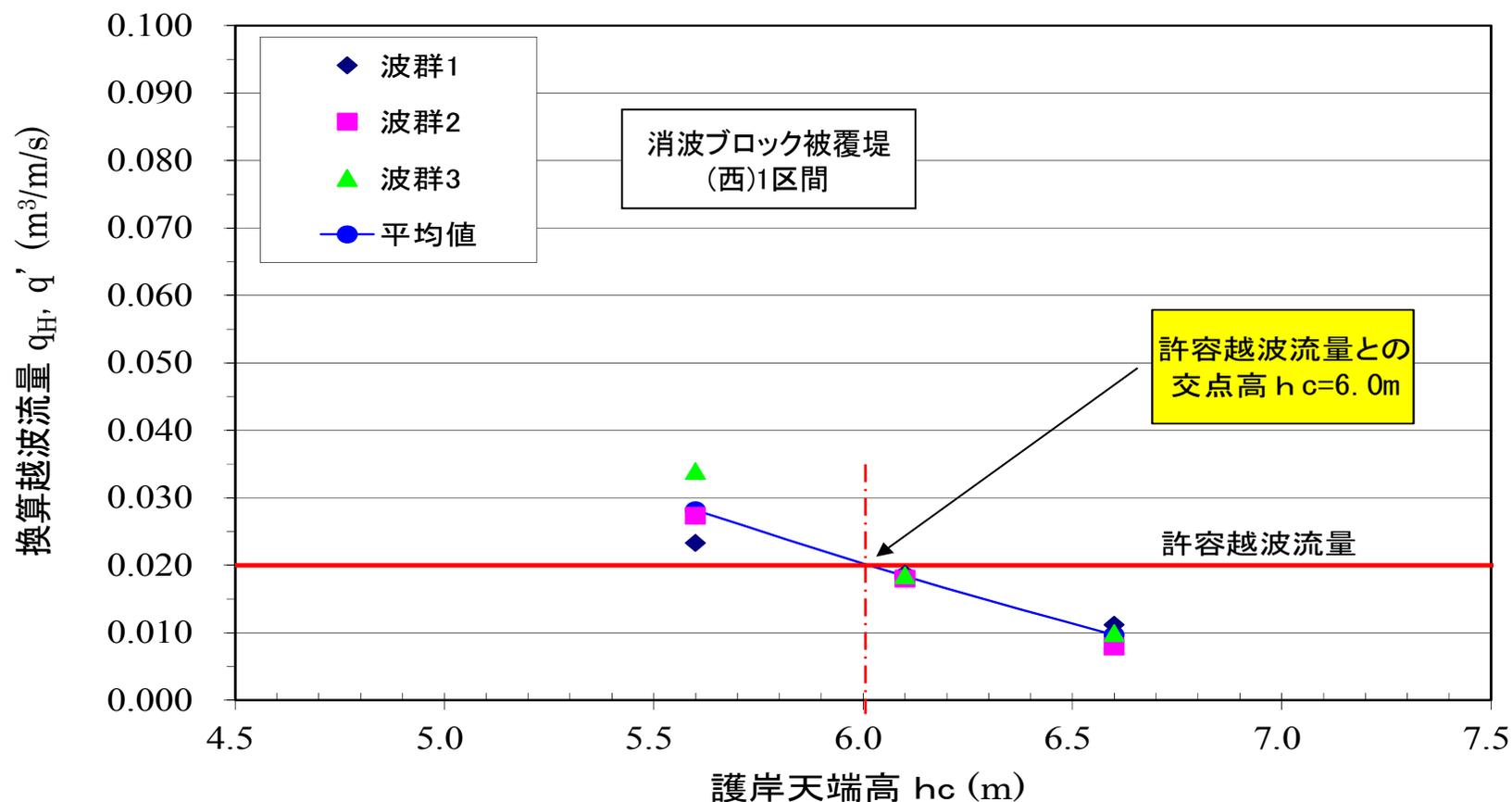
## 【方法1】測定函別許容越波流量を満足する各区間護岸天端高

測定函1函別に、護岸天端高( $h_c$ )と換算越波流量( $q_H, q'$ )の関係を波群別にプロットし、3波群の平均値より測定函毎の必要天端高を求めた。



## 【方法2】区間別許容越波流量を満足する各区間護岸天端高

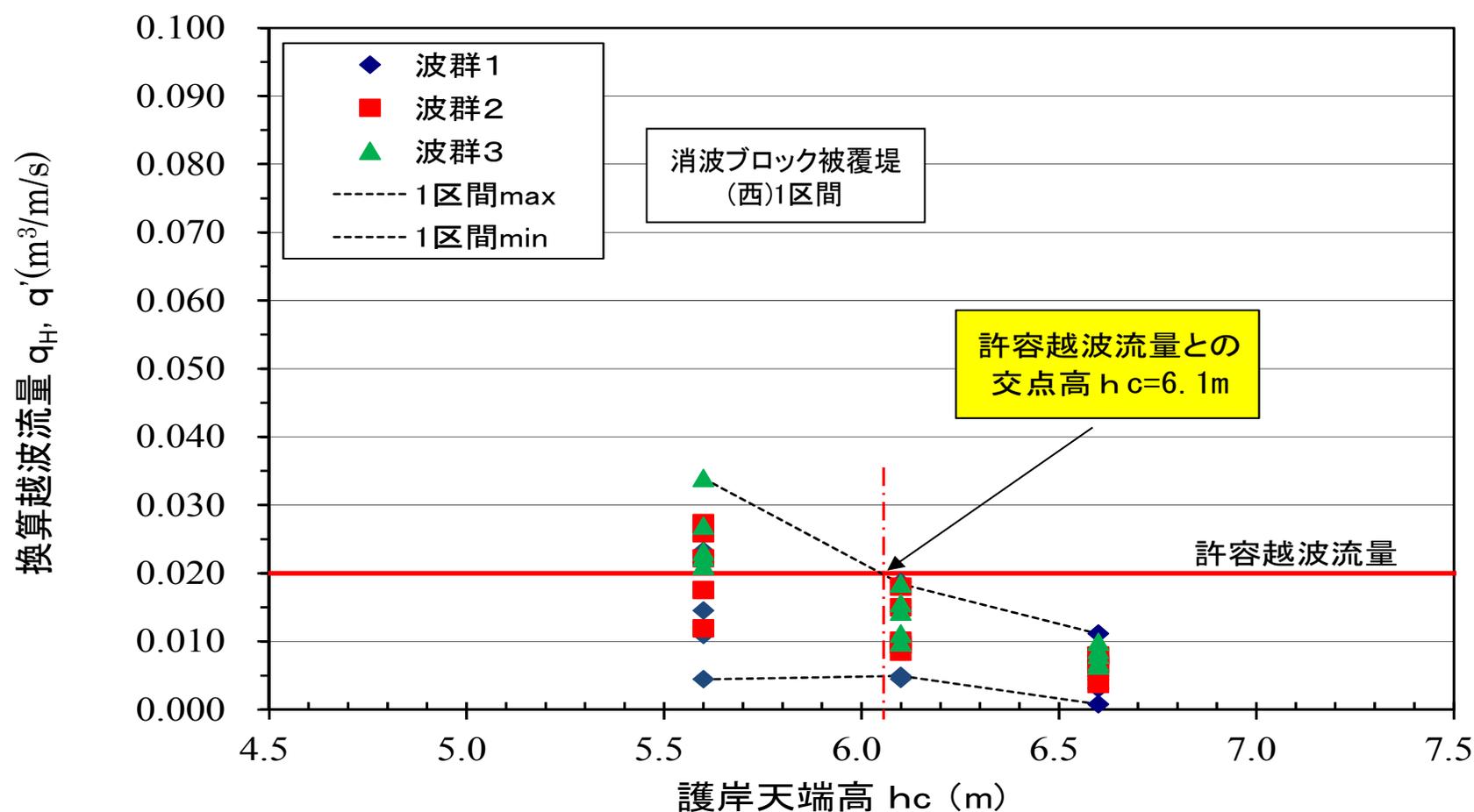
区間毎に最も多い換算越波流量を波群別にプロットし、3波群の平均値より必要天端高を求めた。



# 最適天端高の検討

## 【方法3】波群別許容越波流量を満足する各区間護岸天端高

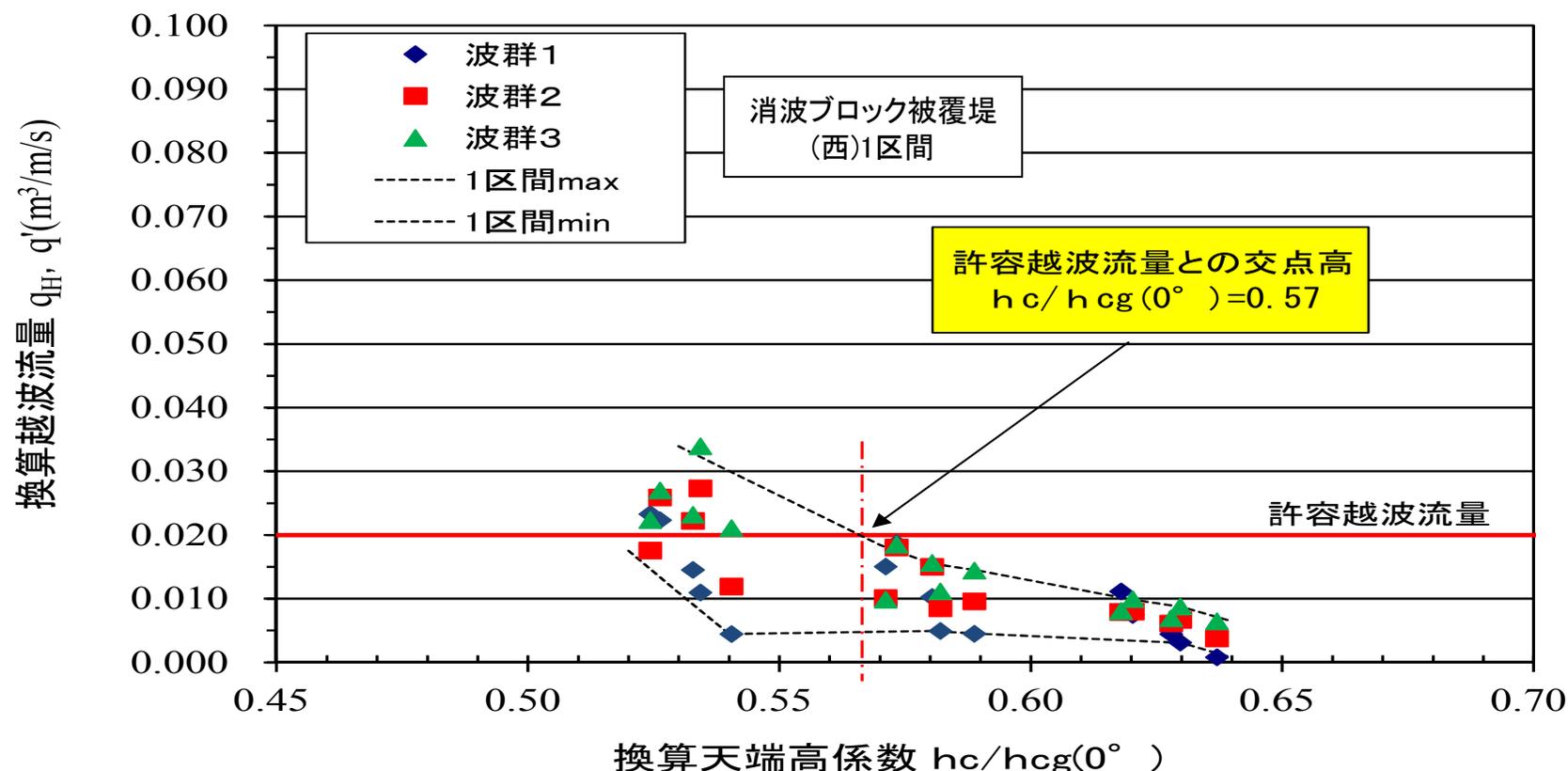
区間毎に、該当する測定函の全ての護岸天端高と換算越波流量の関係を波群別にプロットし、包絡線の上限ラインより必要天端高を求めた。



# 最適天端高の検討

## 【方法4】許容越波流量を満足する各区間換算天端高係数

合田の越波流量推定図から、直角入射時の許容越波流量を満足する護岸天端高 ( $hc_g(0^\circ)$ ) をベースに、実験ケースの護岸天端高 ( $hc$ ) との比として、換算天端高係数 ( $hc/hc_g(0^\circ)$ ) を求めた。区間毎に、該当する測定函の全ての換算天端高係数と換算越波流量の関係性を波群別にプロットし、包絡線の上限ラインより必要天端高を求めた。



「換算天端高係数  $\beta$ 」は、【方法1】～【方法4】より得られた値の最大値を採用し、消波ブロック被覆堤 ( $\theta = 70^\circ$ ) の場合は、【方法4】の  $\beta = 0.64$  が最大値となった。

消波ブロック被覆堤の換算天端高係数 ( $hc/hcg(0^\circ)$ ) ;  $\theta = 70^\circ$  T1/3=14.2s

構造形式	護岸(西)		区間の目標波高		推定図より 求まる $\theta = 0^\circ$ 時 の必要天端高 $hcg(0^\circ)$ (m)	許容越波流量を満足する天端高 ( $hc$ ) 及び換算天端高係数 ( $hc/hcg(0^\circ)$ ) ; 実験結果より								【方法1~4】の 換算天端高係数 の最大値 (決定係数)
	区間	函目	実験水深 $h$ (m)	換算沖波波高 $Ho'$ (m)		【方法1】		【方法2】		【方法3】		【方法4】		
						hc (m)	$hc/hcg(0^\circ)$	hc (m)	$hc/hcg(0^\circ)$	hc (m)	$hc/hcg(0^\circ)$	$hc/hcg(0^\circ)$	hc (m)	
						妥当性の検証としての評価								
消波 ブロック 被覆堤	1	1	13.19	8.68	10.68	5.7	0.53	6.0	0.56	6.1	0.57	0.57	6.1	0.64 ↓ (0.65)
		2	12.96	8.87	10.64	6.0	0.56							
		3	12.72	8.98	10.51	5.6	0.53							
		4	12.49	9.11	10.48	5.7	0.54							
		5	12.25	9.25	10.36	5.2	0.50							
	2	1	12.02	9.49	10.25	6.2	0.60	6.3	0.61	6.5	0.63	0.64	6.6	
		2	11.78	9.39	10.05	6.0	0.60							
		3	11.55	9.25	9.90	6.0	0.61							
		4	11.31	9.07	9.70	6.1	0.63							
		5	11.08	9.45	9.64	5.3	0.55							
	3	1	10.87	9.95	9.65	5.9	0.61	5.9	0.61	6.1	0.63	0.63	6.1	

注1) 表中の  は、護岸(西) 1~3区間の内で最も高い換算天端高係数を示す。

本実験で得られた消波ブロック被覆堤の換算天端高係数は、**0.65**とした。  
また直立堤についても、同様の検討を行い、換算天端高係数は、**0.40**を得た。

# 最適天端高の検討

- ・本実験の海底勾配は1/100の一様斜面で実験水深を設定しているため、現地水深と異なる。
- ・現地水深における、護岸天端高さ $hc_g(0^\circ)$ と、実験で決定した護岸必要天端高さ $hc$ より、換算天端高係数 $\beta$ を求める。

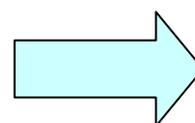
設計時の換算天端高係数( $hc/hc_g(0^\circ)$ );  $\theta = 70^\circ$

構造形式	護岸(西)	実験結果から求まる天端高			現地水深から求まる天端高				
		換算天端高係数	越波流量推定図より算定した護岸天端高 $hc_g(0^\circ)$ (m)	① 護岸必要天端高 $hc$ (m)	② 越波流量推定図より算定した護岸天端高 $hc_g(0^\circ)$ (m)	③ 換算天端高係数 $hc/hc_g(0^\circ)$	④ 提案 換算天端高係数 $hc/hc_g(0^\circ)$	護岸必要天端高	
								$hc$ (m)	D.L.±0.0mより (m)
消波ブロック被覆堤	1区間	0.65	10.68	7.0	10.53	0.67	0.70	7.4	+ 8.3
	2区間		10.25	6.7	9.80	0.68		6.9	+ 7.8
	3区間		9.65	6.3	9.07	0.69		6.4	+ 7.3
直立堤	1区間	0.40	17.01	6.9	17.01	0.41	0.45	7.7	+ 8.6
	2区間		16.70	6.7	15.71	0.43		7.1	+ 8.0
	3区間		16.12	6.5	14.40	0.45		6.5	+ 7.4

注1) 表中の「0.69」は1~3区間の内で最大値を示す。

○現地水深から求めた換算天端高係数 $\beta$

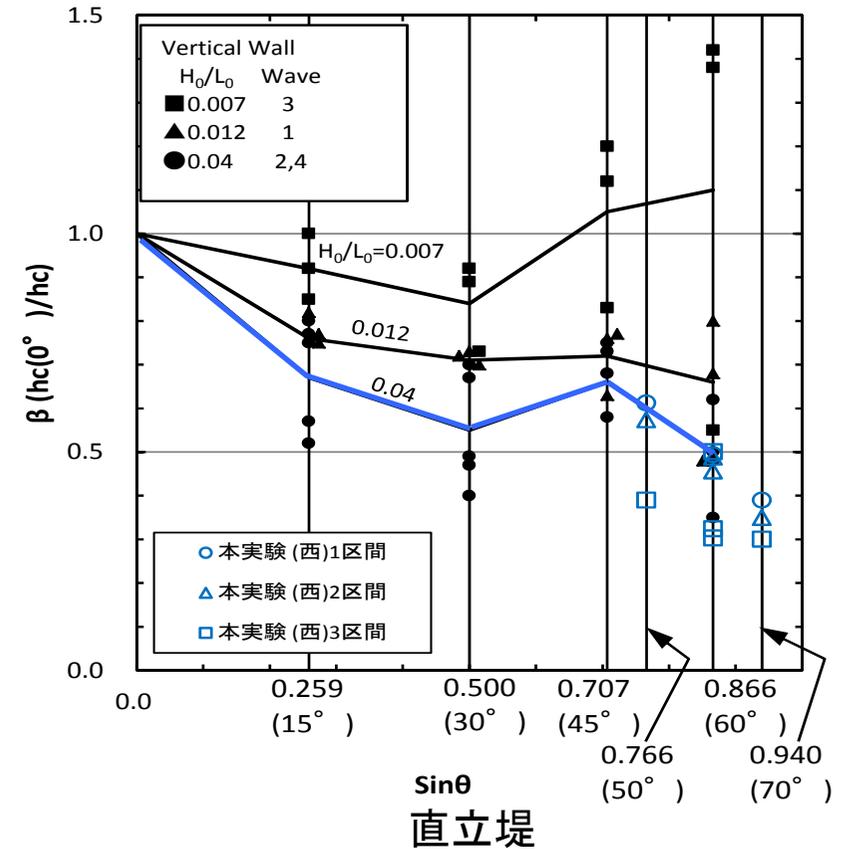
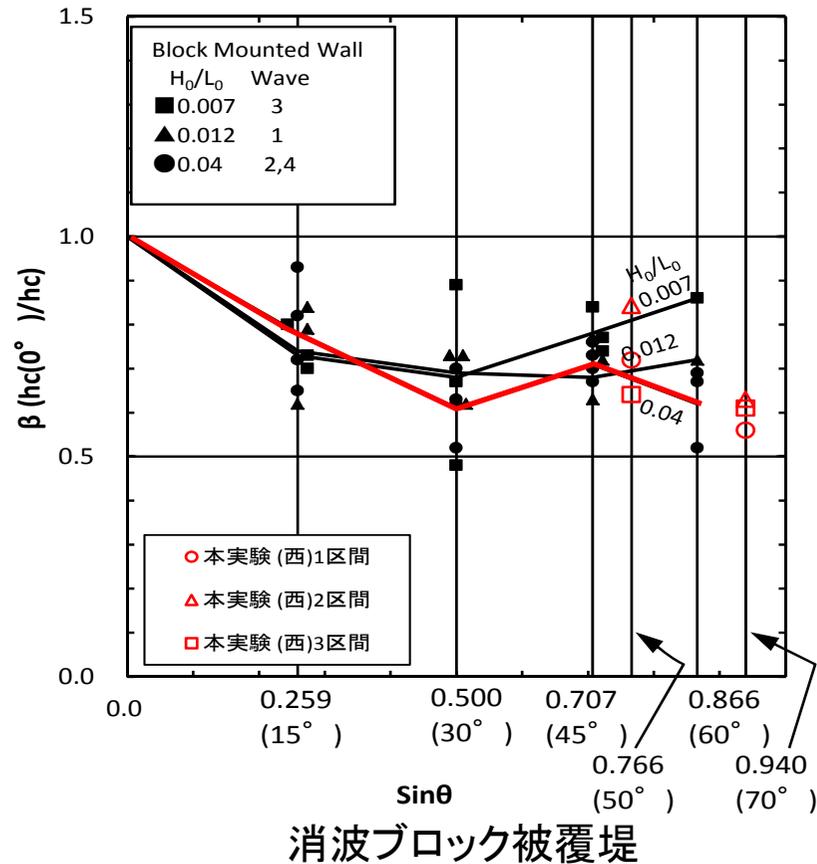
- ・消波ブロック被覆堤・・・0.70
- ・直立堤・・・0.45



より経済的な断面とすることが可能となった

# 入射角度による換算天端高係数の変化

※高山らの実験結果より



本実験の波形勾配  $H_0/L_0=0.026 \sim 0.032$

直立堤 : 「 $\theta = 70^\circ$   $\beta = 0.35$ 」 「 $\theta = 60^\circ$   $\beta = 0.43$ 」 「 $\theta = 50^\circ$   $\beta = 0.53$ 」

消波ブロック被覆堤 : 「 $\theta = 70^\circ$   $\beta = 0.6$ 」 「 $\theta = 50^\circ$   $\beta = 0.73$ 」

※ $\beta$ は平均値

- 換算天端高係数  $\beta$  については、本実験結果より、消波ブロック被覆堤：**0.70**、直立堤：**0.45** が得られ、技術基準の数値 ( $\beta = 0.75$ ) より低減することができた。
- 護岸天端高さは、当初設計と比較し、以下のとおり低天端化することが可能となった。
  - 【消波ブロック被覆堤】  
西-1区間：-0.3m 西-2区間：-0.3m 西-3区間：-0.5m
  - 【直立堤】  
西-1区間：-4.2m 西-2区間：-4.0m 西-3区間：-4.1m
- 本実験結果から得られた  $\beta$  については、入射角度  $\theta = 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$  と変化させていくと減少傾向にあり、高山らの実験結果と同様の傾向を示した。

「新潟技調」は  
これからも各種調査や研究、開発を通じて  
北陸地方の人々の暮らしを支える  
港湾・海岸・空港の  
安全で親しまれる公共施設の  
整備を支援していきます。

ご静聴ありがとうございました。