



## 2. 調査検討フロー

### 【問題の背景】

津地区海岸における新規護岸の設置（護岸の前出し）

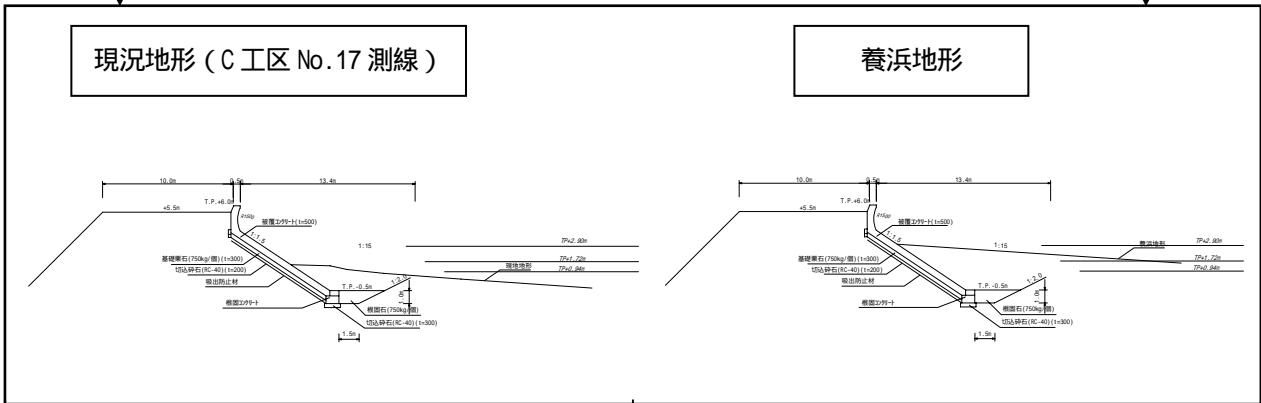
前浜幅の狭隘化により、面的防護機能の低下が懸念

各種異常波が来襲した場合の護岸前面の洗掘状況が予測不能

### 【水理模型実験】

異常波浪に対する海浜変形実験

年数回波	5年確率波	設計波
潮位：+0.94m 波高：1.7m（規則波） 周期：5.1s	潮位：+1.72m 波高：2.5m（規則波） 周期：5.3s	潮位：+2.90m 波高：4.2m（規則波） 周期：6.8s



### 【解析】

各種異常波に対する護岸前面の洗掘特性の把握

設計波による洗掘特性を踏まえた越波流量特性の推定

### 【評価】

現況・養浜地形に対する総合評価

### 3. 実験内容

#### 3.1 実験条件

##### 3.1.1 実験対象断面

実験は、右下図に示す津松阪港津地区C工区（現況、養浜地形）を対象とする。

##### 3.1.2 潮位

潮位については、年数回波に対応した TP+0.94m (H.W.L) 5年確率波に対応した TP+1.72m及び設計波に対応した TP+2.90m (H.H.W.L) で実施する。

##### 3.1.3 実験縮尺

縮尺 1/25 で実施する。

##### 3.1.4 実験砂

実験砂は、7号珪砂（中央粒径 D50 = 0.115mm）とする。

##### 3.1.5 波高の歪み度

前項で示した実験砂（7号珪砂：中央粒径 D50 = 0.115mm）は、現地海浜砂（D50 = 0.4mm）の模型スケール値（0.016mm）より大きいことから、波高を歪ませることで、再現性を高める必要がある。ただ、今回の実験条件では、再現のターゲットとなる気象擾乱前後の地形データが存在しない。

ここで、今回の実験対象地区近傍で、かつ、砂の粒径も同様である「香良洲地区」において、平成14年度に同じ7号珪砂を用いて海浜実験<sup>1)</sup>を実施しており、「波高の歪み度 1.67」が最も再現性が高い結果を得ている。よって、今回の実験においても、同一歪み度を用いて行なうこととする。

##### 3.1.6 実験対象波

実験では、下記のとおり、年数回波、5年確率波、設計波の3種類の諸元を対象とする。

このうち、洗掘状況の把握実験は、既往実験<sup>1)</sup>に準じ、規則波で歪み有りの条件とし、波の遡上高把握実験（年数回波、5年確率波のみ）は、不規則波で歪み無しの条件とする。

なお、不規則波のスペクトル型は、ブレットシュナイダー・光易型を目標とする。

実験対象波

波No	潮位 (m)	波の種類	波高 Ho'		周期 To		歪み度	備考
			現地 (m)	模型 (cm)	現地 (s)	模型 (s)		
洗掘状況の把握実験								
1	TP+0.94m	規則波	1.70	6.8	5.1	1.02	1.67	年数回波
2	TP+1.72m		2.50	10.0	5.3	1.06	1.67	5年確率波
3	TP+2.9m		4.20	16.8	6.8	1.36	1.67	設計波
遡上高の把握実験								
4	TP+0.94m	不規則波	1.70	6.8	5.1	1.02	1.00	年数回波
5	TP+1.72m		2.50	10.0	5.3	1.06	1.00	5年確率波

\*：歪み度 1.0 とは、歪み無しを示す。

##### 3.1.7 波作用期間

洗掘状況の把握実験では、各波浪とも、4時間作用させることとする。この理由は、先に示した既往実験において、「波高歪み度：1.67」に加え、「波作用時間：4時間」が、最も再現性が良好であったことによる。

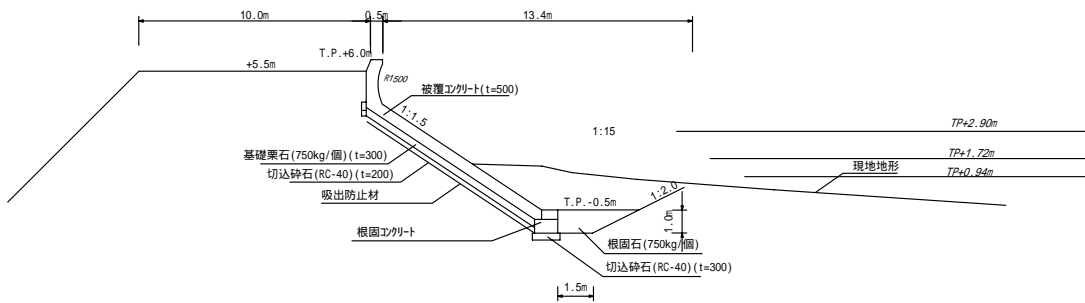
一方、波の遡上高把握実験は660波以上を造波する時間とする。これは、統計的にみると、この波数中に、1.8 × H1/3 相当の最大波が発生するとされていることによる<sup>2)</sup>。

### 3.2 実験条件

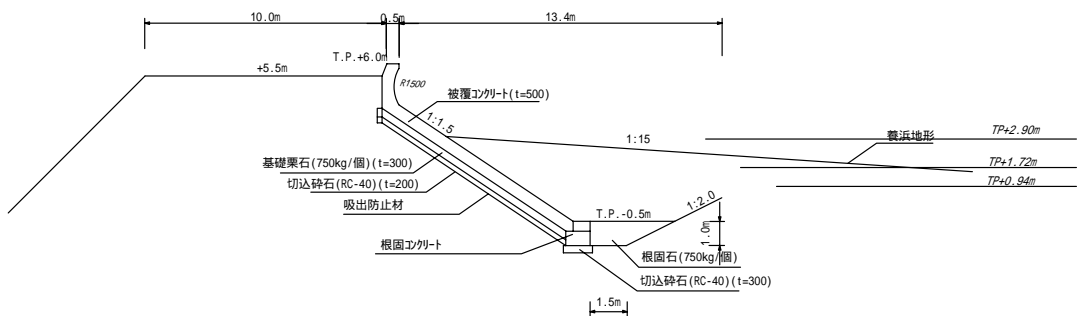
実験ケースは、下表のとおり、洗掘状況の把握実験が6ケース（現況地形3ケース、養浜地形3ケース）、波の遡上高把握実験が2ケース、計8ケースを実施する。

実験ケース

ケース	潮位	波の種類	波高 $H_o'$	周期 $T_o$	地形条件	波作用時間	歪み度	波の種類
	(m)		(m)	(s)				
洗掘状況の把握実験（現況地形時）								
1	TP+0.94m	規則波	1.70	5.1	現況地形	4時間	1.67	年数回波
2	TP+1.72m		2.50	5.3				5年確率波
3	TP+2.90m		4.20	6.8				設計波
波の遡上高の把握実験（養浜地形時）								
4	TP+0.94m	不規則波	1.70	5.1	養浜地形	660波以上に相当する時間	1.00	年数回波
5	TP+1.72m		2.50	5.3				5年確率波
洗掘状況の把握実験（養浜地形時）								
6	TP+0.94m	規則波	1.70	5.1	養浜地形	4時間	1.67	年数回波
7	TP+1.72m		2.50	5.3				5年確率波
8	TP+2.90m		4.20	6.8				設計波



< 現況地形 >



< 養浜地形 >

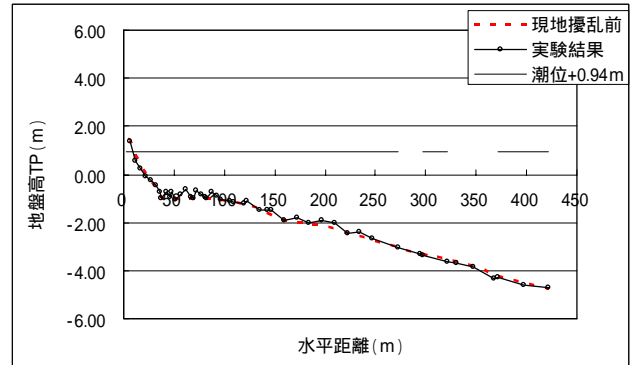
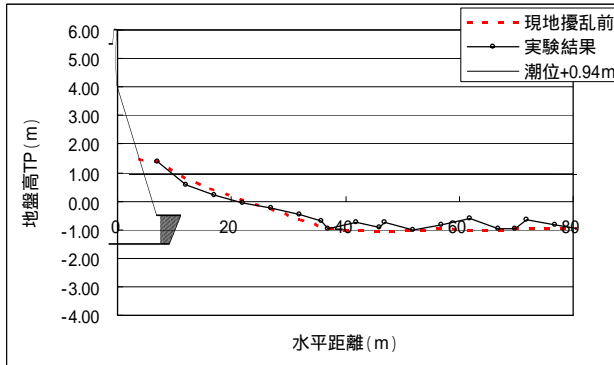
実験対象断面

## 4. 実験結果及び考察

### 4.1 海底地形変化特性

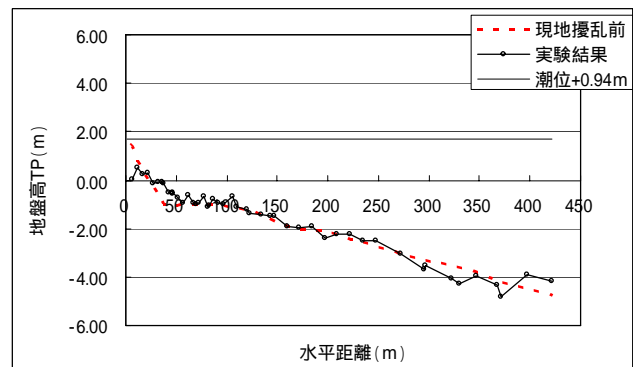
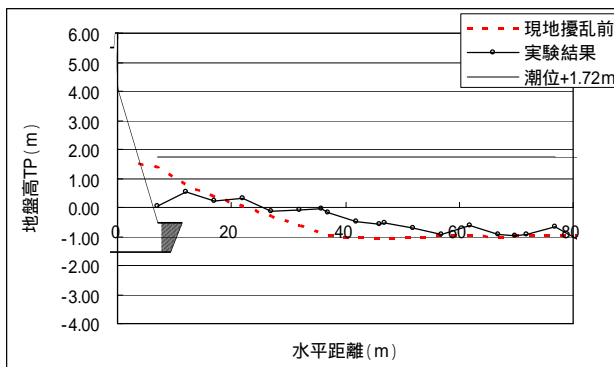
#### < 現況地形 >

< ケース 1 : 通常時化時波、潮位+0.94m、 $H_o' = 1.7\text{m}$ 、 $T = 5.1\text{s}$  >



- ・ 護岸近傍についてみると、護岸直前面にあたる水平距離 10~20m 区間はわずかに侵食傾向がみられ、それより沖側（水平距離 25~80m）では、緩やかな堆積傾向となっている。
- ・ 水平距離 80m より沖についてみると、250m 地点までは多少の地形変化がみられるが、それより沖では、地形変化はほとんどみられない。
- ・ 以上のことより、通常時化時波に対しては、護岸に被害を及ぼすような状況は発生しないものと判断される。

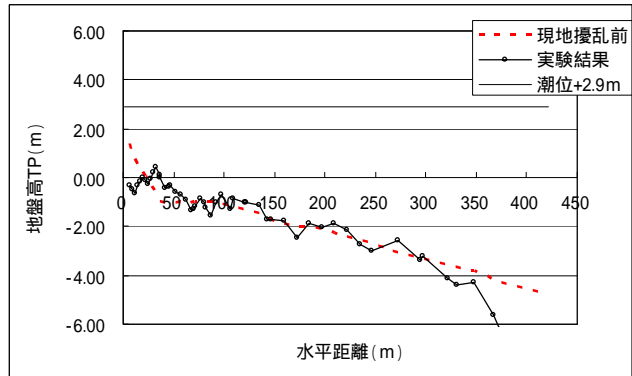
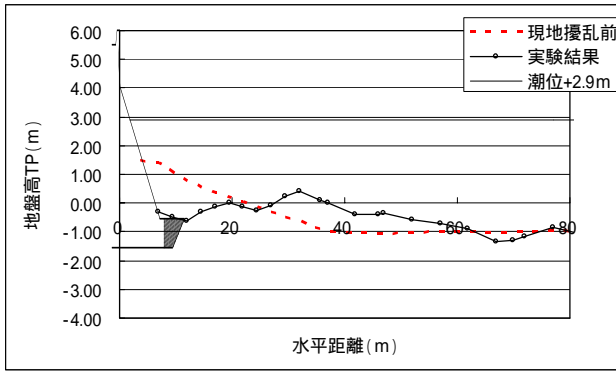
< ケース 2 : 5年確率波、潮位+1.72m、 $H_o' = 2.5\text{m}$ 、 $T = 5.3\text{s}$  >



- ・ 護岸近傍についてみると、護岸堤脚部から 12m 区間では明瞭な侵食域が形成され、堤脚水深は  $TP \pm 0.0\text{m}$  まで低下している。水平距離 20m より沖にかけては、緩やかな堆積傾向となっている。
- ・ 水平距離 80m より沖についてみると、270m 付近までは地形変化は少ないが、それより沖では、砕波の影響を受けて地形変化が顕著となり、370m 地点にかけて大きな侵食域、その沖で大きな堆積域（砂州）が形成されている。

以上のように、5年確率波の場合、通常時化時波に比べ、護岸前面の侵食作用が強まっており、時化の継続時間次第では、侵食が根固石まで達する恐れもある。

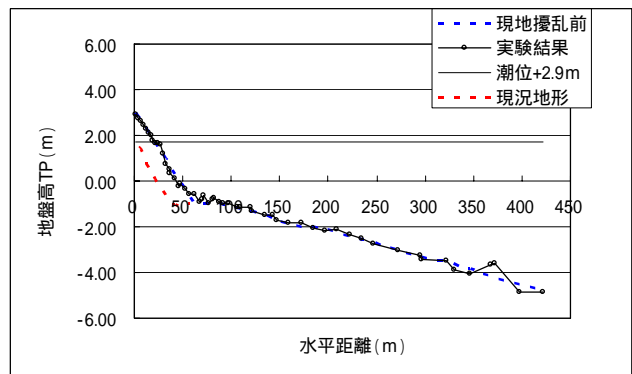
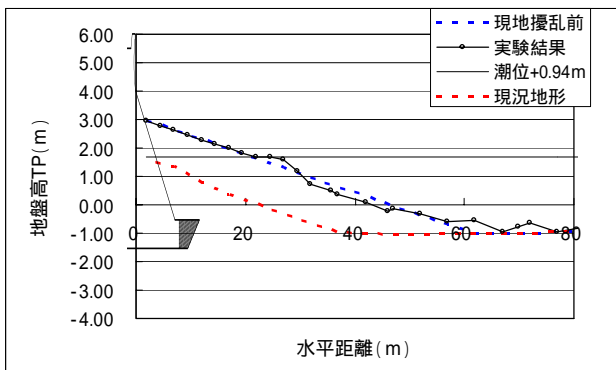
< ケース 3 : 設計波、潮位+2.90m、 $H_o' = 4.2\text{m}$ 、 $T = 6.8\text{s}$  >



- ・ 護岸近傍についてみると、護岸堤脚部から水平距離 20m 区間は、顕著に洗掘を受け、護岸法先の根固石 (TP-0.5 m) は完全に露出した状態となり、その前方 12m 地点では、さらに TP-0.6m 付近まで低下している (洗掘量 約  $16\text{m}^3/\text{m}$ )。水平距離 20m より沖にかけては、緩やかな堆積域と侵食域が形成されている。
- ・ 水平距離 80m より沖についてみると、300m 付近までは侵食・堆積が繰り返されているが、それより沖では、砕波の影響を受けて大きく侵食された状況となっている (侵食された砂は、450m 以沖に堆積)
- ・ 以上のように、設計波の場合、地形変動が顕著に現れ、特に、護岸前面では洗掘が根固石まで達しており、現況地形条件では、護岸の安定性に影響がでる可能性もある。

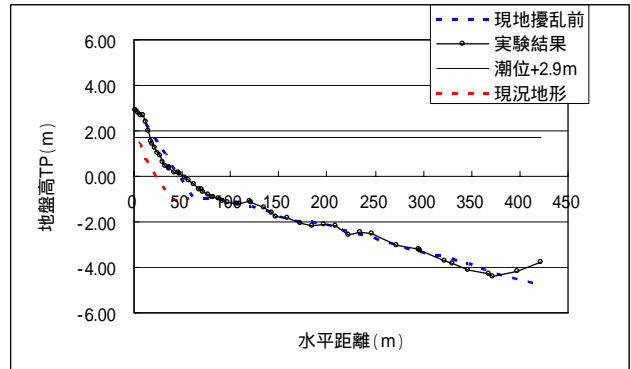
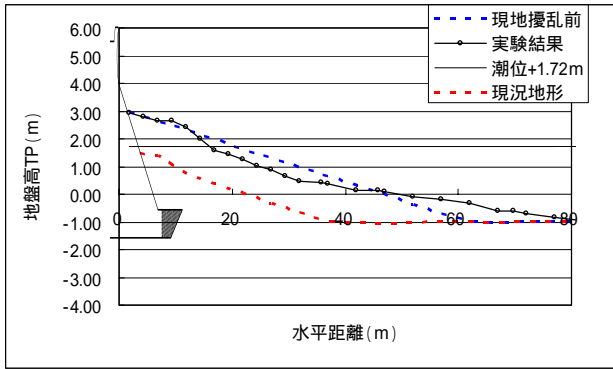
< 養浜地形 >

< ケース 6 : 通常時化時波、潮位+0.94m、 $H_o' = 1.7\text{m}$ 、 $T = 5.1\text{s}$  >



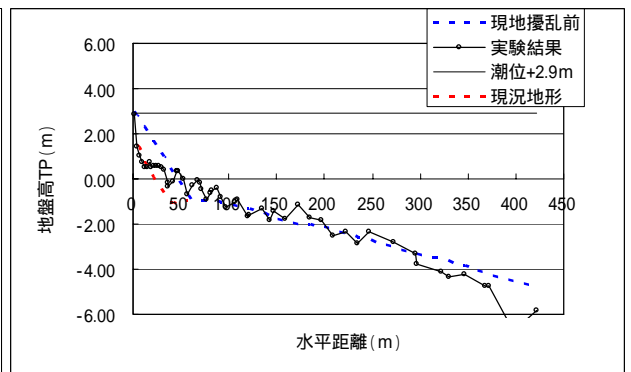
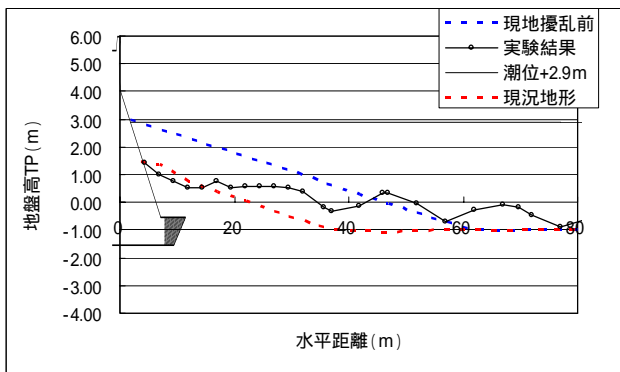
- ・ 護岸近傍についてみると、護岸前面の水平距離 30~45m 付近でわずかに侵食傾向がみられるものの、全体的に、地形変化は、小さなものとなっている。
- ・ なお、不規則波による遡上実験の結果、遡上高は TP+2.2m であり、侵食傾向は水平距離 20m 付近からはじまる可能性もある。
- ・ 水平距離 80m より沖については、地形変化はほとんどみられない。
- ・ 以上のことより、通常時化時波に対しては、被害を及ぼすような状況は発生しないものと判断される。

< ケース 7 : 5年確率波、潮位+1.72m、 $H_o' = 2.5\text{m}$ 、 $T = 5.3\text{s}$  >



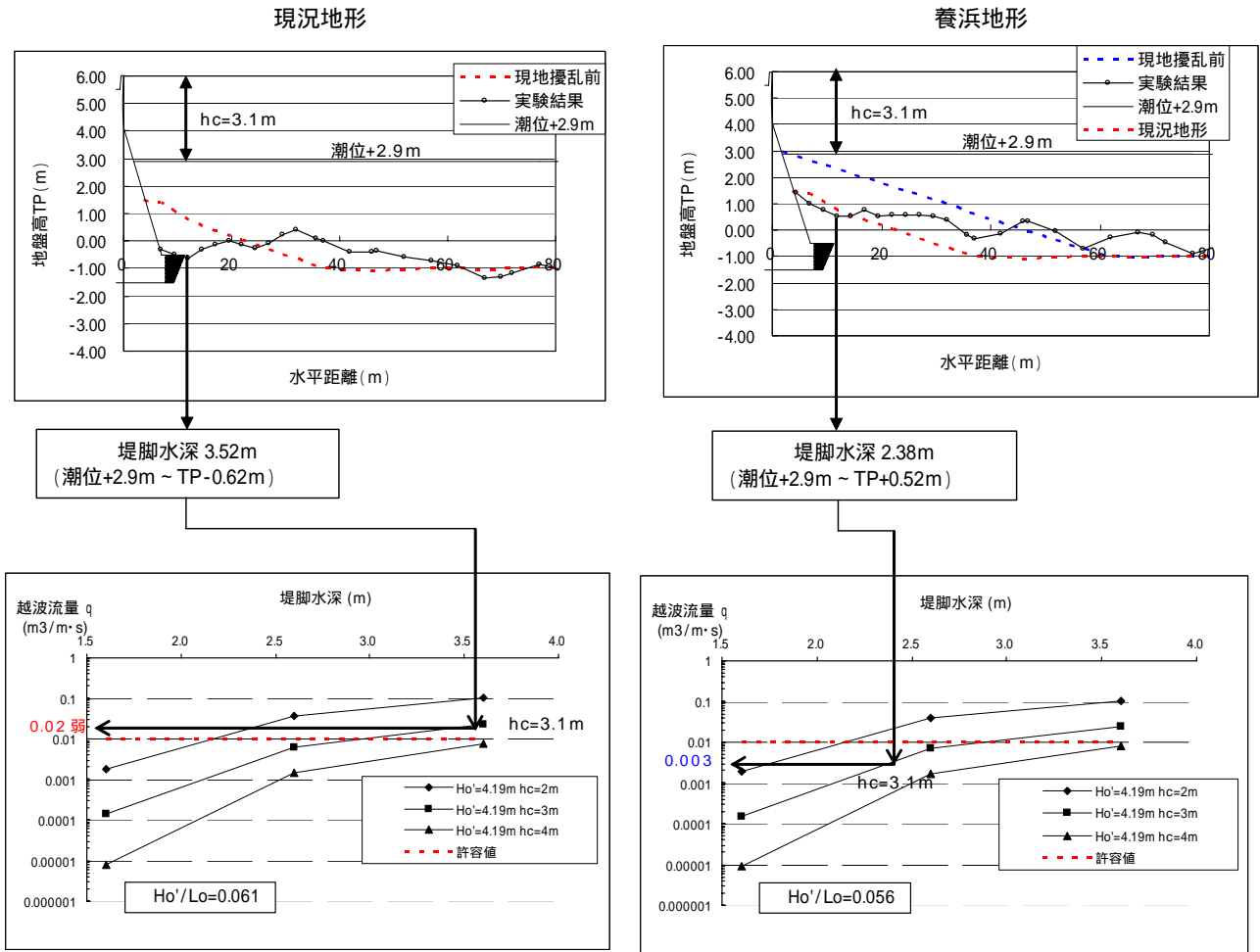
- ・ 護岸近傍についてみると、護岸前面の水平距離 15~40m付近では緩やかな侵食域が形成され、それより沖は、逆に緩やかな堆積傾向を示している。
- ・ なお、不規則波による遡上実験の結果、波はギリギリ、護岸の堤脚 (TP+3.0m) に到達していることから、侵食傾向も当該位置 (水平距離 4m付近) からはじまる可能性もあるが、その量は軽微なものと推測される。
- ・ 水平距離 80mより沖についてみると、330m付近までは地形変化は少ないが、それより沖では、砕波の影響を受けて侵食が目立ち始め、その沖で堆積域 (砂州) が形成されている。
- ・ 以上のことより、5年確率波の場合、通常時化時波に比べ、護岸前面の洗掘は進むものの、地盤高は現況地形を大きく上回っており、養浜を施せば、護岸に影響を及ぼす状況は発生しないものと判断される。

< ケース 8 : 設計波、潮位+2.90m、 $H_o' = 4.2\text{m}$ 、 $T = 6.8\text{s}$  >



- ・ 護岸近傍についてみると、護岸堤脚部から水平距離 40m区間までは、顕著に洗掘を受け、地盤高はTP+1.0m前後まで低下している (洗掘量約  $44\text{m}^3/\text{m}$ )。それより沖では、堆積域が形成されている。
- ・ 水平距離 80mより沖についてみると、300m付近までは侵食・堆積が繰り返されているが、それより沖では、現況地形時同様、砕波の影響を受けて大きく侵食された状況となっている (侵食された砂は、450m以沖に堆積)。
- ・ 以上のことより、設計波の場合、護岸前面では顕著な侵食が発生するものの、堤脚地盤高は、ほぼ現況地形の高さを維持していることから、養浜を施せば、護岸に影響を及ぼす状況は発生しないものと判断される。

## 4.2 地形変化に伴う越波流量の推定



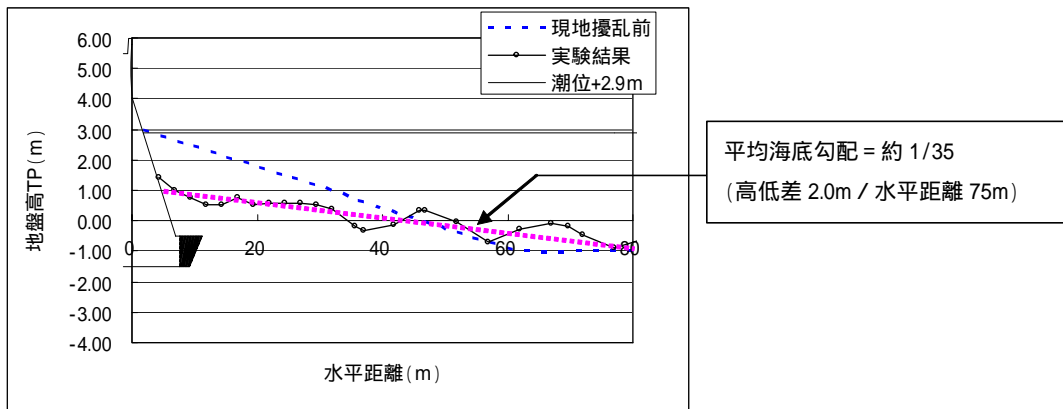
- 設計波（潮位+2.90m、 $H_o' = 4.2$ m、 $T = 6.8$ s、波形勾配 $H_o' / L_o = 0.058$ ）が及ぼした地形変化に対する越波流量を、既往の実験結果<sup>7)</sup>（波返し付き護岸に対する越波流量推定図）より推測する。
- ここで、設計波の波形勾配0.058は、既往実験<sup>7)</sup>の対象波形勾配0.056、0.061の中間に位置することから、危険側の観点より、現況地形に対する推測は波形勾配0.061、養浜地形のそれは0.056の推定図を用いて行う。
- 現況地形の場合、堤脚水深は3.52m（潮位+2.9m - TP-0.62m）まで達し、この条件における概算越波流量は $0.02\text{m}^2 / \text{m}\cdot\text{s}$ 弱と、許容値 $0.01\text{m}^2 / \text{m}\cdot\text{s}$ を大きく上回る。よって、現況地形では、防災上、許容することはできない。
- 養浜地形の場合、堤脚水深は2.32m（潮位+2.9m - TP+0.52m）にとどまり、この条件における概算越波流量は $0.003\text{m}^2 / \text{m}\cdot\text{s}$ で、許容値 $0.01\text{m}^2 / \text{m}\cdot\text{s}$ を大きく下回る。よって、養浜地形であれば、防災上、安全性を確保できるものと推測される。

## 5. 今後の課題

### 5.1 実験による越波流量の確認

今回実験と過去の実験の比較

項目		今回実験	過去の実験
波浪条件	波高 $H_o'$	4.2m	4.19m
	周期 $T_o$	6.8 s	6.9 s
	波形勾配	0.058	0.056
地形条件	堤脚水深	2.38m	1.6m、2.6m、3.6m
	海底勾配	1/30	1/80
護岸条件	天端高	3.1m	同左
	波返し形状	曲率半径 1.5m、角度 60 度 法面勾配 1:1.5	同左

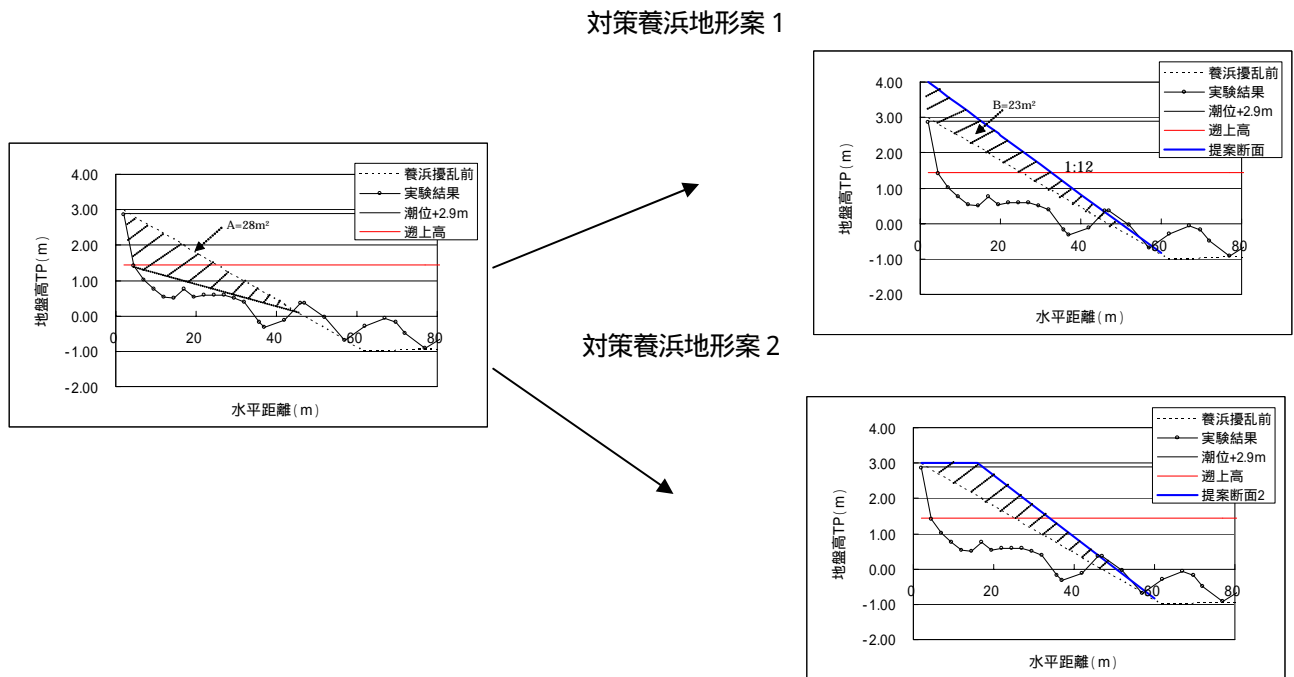


養浜地形における洗掘後の平均海底勾配

- ・ 過去の実験結果<sup>7)</sup>を引用すると、養浜地形の場合、設計波による洗掘で堤脚水深が増大しても、越波流量は許容値の30%程度に収まることが推測された。
- ・ ここで、今回実験と過去の実験<sup>7)</sup>の条件を比較すると、波浪条件、護岸条件は、両者ほぼ近似しているものの、海底勾配（水平距離80m付近までの平均値）については、今回実験の方が1/35程度と急な条件となっており、推測値より越波流量が増大することが予測される。
- ・ 堤脚水深についても、過去の実験では、今回条件（ $h = 2.4\text{m}$ ）で行っている訳ではなく、あくまで、内挿による推測である。

このように、今回の推定越波流量は、実際には、危険側、すなわち、増大の方向へシフトすることが十分予測される。よって、水理模型実験により、今回条件における越波流量を定量的に把握するとともに、結果によっては、波返し形状等を検討する必要があるものとする。

## 5.2 養浜地形の保全方法の検討



- 前項までの実験の結果、養浜を施せば、堤脚部の洗掘はかなり抑えられることが分かったが、それでも、離岸距離 40m 付近までは顕著に侵食を受け（洗掘量： $44\text{m}^3/\text{m}$ ）、左図上段のとおり、当初の養浜形状が大きく変状してしまう。
- よって、海岸利用上及び維持管理上の観点から、設計波が来襲して侵食を受けても、当初の計画養浜形状をある程度確保できるよう、余裕しろを設けることが望ましい。
- ここで、岸沖漂砂の一般的な特性によれば、静穏時には、波形勾配がそれほど高くない小さな波が繰り返し作用するため、沖へ流失した砂がある程度、岸方向へ戻ることが知られており、その範囲（砂が移動する範囲）は、平均的な波浪の「完全移動限界水深  $d$ 」から「遡上高」までと推測される。
- 平均的な波浪を  $H1/3 = 0.5\text{m}$ 、 $T1/3 = 4\text{ s}$  程度と想定すると、完全移動限界水深及び遡上高は各々  $-0.55\text{m}$ 、 $+0.50\text{m}$  となり、潮位変動（TP-1.02m : L.W.L ~ +0.94 : H.W.L）を考慮すると、静穏時における砂の移動範囲は、TP-1.57m ~ 1.44m と推測される。
- これを言い換えると、TP+1.44m より高い範囲（左図上段の斜線エリア A :  $28\text{m}^2/\text{m}$ ）は、地形の回復が困難と想定され、この部分がある程度残るよう、設計波に対する「侵食余裕しろ」を経済的に設ける必要がある。
- 対策の方針として、回復が困難とされるエリア A のボリューム  $28\text{m}^2/\text{m}$  を越えない範囲で効率的に「余裕しろ」を設けることとする。
- 具体的な形状は、左図下段の青ラインのとおりで、養浜天端高を TP+4.0m まで高める。これにより、護岸衝突前に碎波が促進され、護岸からの反射波による擾乱（= 洗掘）の減衰が期待できる。前浜勾配については、通常時化時波に対するレクターの式<sup>9)</sup>及び現況地形の勾配（1:12.7）を参考にしつつ、1:12 を採用する。この対策案とすれば、余裕しろは、斜線エリア B（ $23\text{m}^2/\text{m}$ ）となり、ボリュームをエリア A（ $28\text{m}^2/\text{m}$ ）より少なく抑えることができる。