

千葉県浦安海岸高潮堤防の 越波防止性能に関する水理模型実験

EXPERIMENTAL STUDY ON WAVE OVERTOPPING PREVENTIVE
PERFORMANCE OF THE SEAWALL ON URAYASU COAST, CHIBA PREF.

保田英明¹・岩井克彦²・小林昭男³・星上幸良⁴・山本幸次⁵・目黒嗣樹⁶
Hideaki YASUDA, Katsuhiko IWAI, Akio KOBAYASHI, Yukiyooshi HOSHIGAMI,
Koji YAMAMOTO and Hideki MEGURO

¹千葉県県土整備部河川環境課 (〒260-8667 千葉市中央区市場町1-1)

²千葉県葛南地域整備センター建設課 (〒273-0012 千葉県船橋市浜町2-5-1)

³正会員 工博 日本大学理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

⁴正会員 国際航業(株) 海洋エンジニアリング部 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘3-6-1)

⁵正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

⁶正会員 修(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 (同上)

The performance of the seawall on Urayasu coast have decreased under the present condition such as the seawall's body subsidence, design wave alteration, and incidence wave height increment caused by dredging. In this study, we research the performance of the seawall and several countermeasures through hydraulic model experiments, and clarified the following points. Seabed gradient and design wave increment, the body subsidence let the external force that affects to the body increase. Consequently, the force particularly brings about wave setup on outer waterside catwalk, it is difficult to prevent the overtopping by restoring only the catwalk. Considering effect against wave over topping, cost, and stability of the body, the effective countermeasure is chosen increasing height of the seawall normal line. We reconfirmed the importance of the experiments for understanding the hydraulic phenomenon.

Key Words : Hydraulic model experiment, Wave overtopping, Seawall, URAYASU coast.

1. まえがき

図-1に示す千葉県浦安海岸の高潮堤防は京葉臨海部埋立地の外縁の軟弱地盤上に位置しており、堤体の安定性を確保するためには堤防高を極力低減して荷重分散を図る必要があった。そこで、昭和38年に建設省土木研究所(当時)で実施された水理模型実験等^{1) 2)}の知見から、計画潮位面と同じ高さに幅10~20m程度の表小段を有する複断面が提案され、計画・建設された。

当該施設は現在、建設から約40年が経過し老朽化が進んだこと、圧密沈下で堤体が最大1m程度沈下したこと、設計波浪が見直されたこと等から、越波制御機能が著しく低下していると判断され、高潮堤防の再設計・改築が必要となっている。しかし、一般的な堤防断面決定手法では、表小段を有するような複合断面の高潮堤防の越波防止性能を評価することが困難である。そこで、本研究では、堤防の現状ならびに対策工の越波防止性能を検証

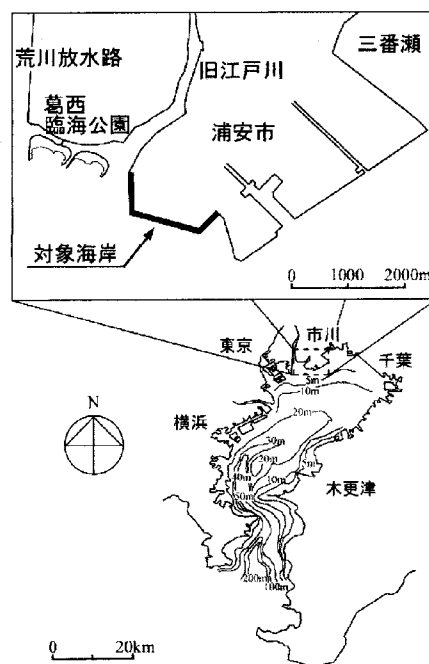


図-1 対象箇所

するため、2次元水路を用いた水理模型実験を行い、越波特性を明らかにしつつ、対策工の比較選定を行った。
 なお、建設当時の堤防施設の標準断面図を図-2に示す。
 写真-1、2 は現在の海岸の状況である。

2. 実験方法

(1) 実験条件

実験は幅60cm×水深150cm×長さ30mの2次元水槽を用いた。水理模型はフルードの相似則によるものとし、模型縮尺は1/30で、固定床を用いた。また、当時の実験が規則波で行われており、比較の必要があること、護岸天端高を決定する際の性能評価は、設計波が対象となること等の理由から、本実験では規則波を用いた。

なお、波の不規則性について、合田³⁾は、規則波を用いて実験し、その結果を平均越波流量の推定値（期待越波流量）として不規則波に対する値に換算しても良いとしており、この考え方に準じて、表-1に示す波高・周期のマトリクスを設定した。さらに、容量式波高計を用いて波高検定を行い、造波機側で反射波を吸収するように制御した。模型断面図を図-3 に示す。

表-1 波高・周期一覧表

周期 (sec)	波高 (m)					設計波
	3.3	3.7	4.0	4.3	4.6	
6.0	○	○	○	○	○	現在
7.0	○	○	○	○	○	当初
8.0	○	○	○	○	○	
設計波		当初	現在			

(2) 昭和38年当時の実験条件

当時の実験では、主な設計条件は以下の通りであり、うちあげ高を計測している。

- ・潮位：A.P.+4.0 m, 4.5 m, 5.1 m (H.H.W.L.)
- ・波高：2.9 m ～ 3.7 m
- ・周期：7 sec

- ・海底勾配：水平 (A.P. -5.0 m)
- ・護岸天端高：A.P.+7.4 m

(3) 現況再現実験

現況との比較を行うため、まず当時の実験を再現した。
 次に、当時の実験条件に対し、現況では「海底勾配の変化」、「設計波の増大」、「護岸沈下」が生じているため、要因毎に比較検証を行った。

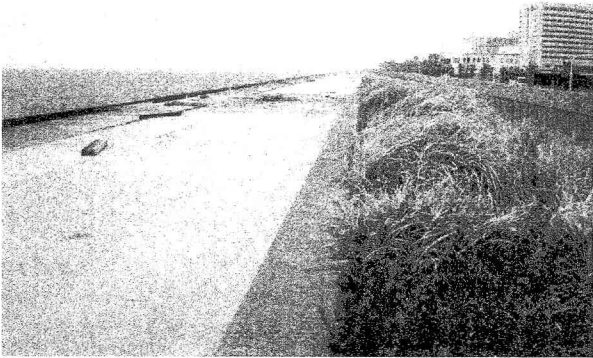


写真-1 現地の状況 (表小段の法肩付近から撮影)

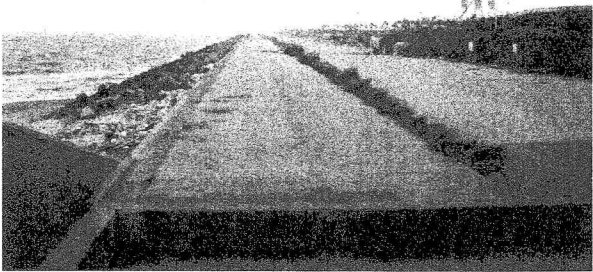


写真-2 現地の状況 (堤防天端から撮影)

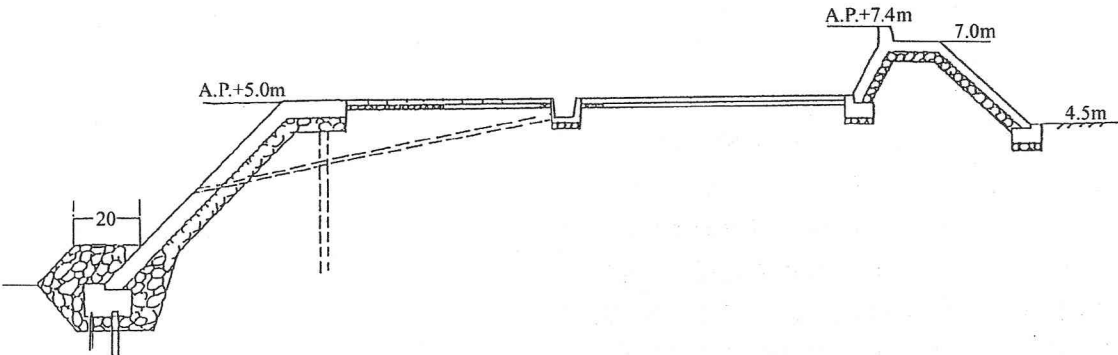


図-2 建設当時の標準断面図

なお、当時は波の遡上に対する必要天端高の設定を目的としたため、計測項目はうちあげ高のみであったが、本実験では、その後の沈下や波高増大に伴う越波が予想されていたため越波量を計測した。主な設計条件は以下の通りである。

<当時の再現実験：case0>

- ・潮位：A. P. +4.0 m, 4.5 m, 5.1 m (3ケース)
- ・波高：2.9 m ～ 3.7 m (4ケース)
- ・周期：6, 7, 8 sec (3ケース)
- ・海底勾配：水平 (A. P. -5.0 m)

<現況再現実験>

設計波の増大：近年の波浪観測データに基づく見直しの結果から、設計波高(有義波)は $H=4.0\text{ m}$, $T=6.0\text{ sec}$ となったため、 $H=4.0\text{ m}$, 4.3 m , 4.6 m を追加した。

- ・case1 海底勾配変化：1/3勾配に変更
- ・case2 沈下考慮：A. P. +5.1m
(模型を1m下げた状態に設定)

(4) 性能評価実験

現況再現結果に対して、以下の対策工を実施した場合について、越波量の計測を行った。各対策工の断面を、図-4 に示す。なお、評価指標となる許容越波量は、次のように設定した。

まず、対象施設の背後は4車線の道路を隔てて、

約50m程度内陸に民間施設(東京ディズニーリゾート、および、関連ホテル群等)があり、この他、同じ浸水域内には住宅や工場、公共施設等を有する。浸水域の地盤高は堤防より低い、堤防から民有地まではある程度の距離があるため、しぶきではなく越波に伴う冠水を防止する必要がある。そこで永井ら⁴⁾の示した背後地の重要度からみた許容越波流量のうち、「その他の重要な地区」に相当する $2 \times 10^{-2} (\text{m}^3/\text{m}/\text{sec})$ を選定した。

また、堤防施設の安全度については、合田⁵⁾が示した護岸被災限界の越波流量のうち、堤防の三面巻き構造に対する $5 \times 10^{-2} (\text{m}^3/\text{m}/\text{sec})$ を選定した。

なお、本研究では、護岸法線より陸側へ数mの位置に、2枚目の越波防止壁を設ける案を検討しており、以降、この2枚目の壁体を「後退パラペット」と称す。

- ・case 3 本堤の嵩上げ (A. P. +7.4 m)
- ・case 4 本堤の嵩上げ (A. P. +7.9 m)
- ・case 5 本堤の嵩上げ (A. P. +8.4 m)
- ・case 6 波返し工の曲率変更
- ・case 7 小段前面にパラペット追加
- ・case 8 表小段の復元(当時の断面形状)
- ・case 9～11: case 3～5 + 後退パラペット追加

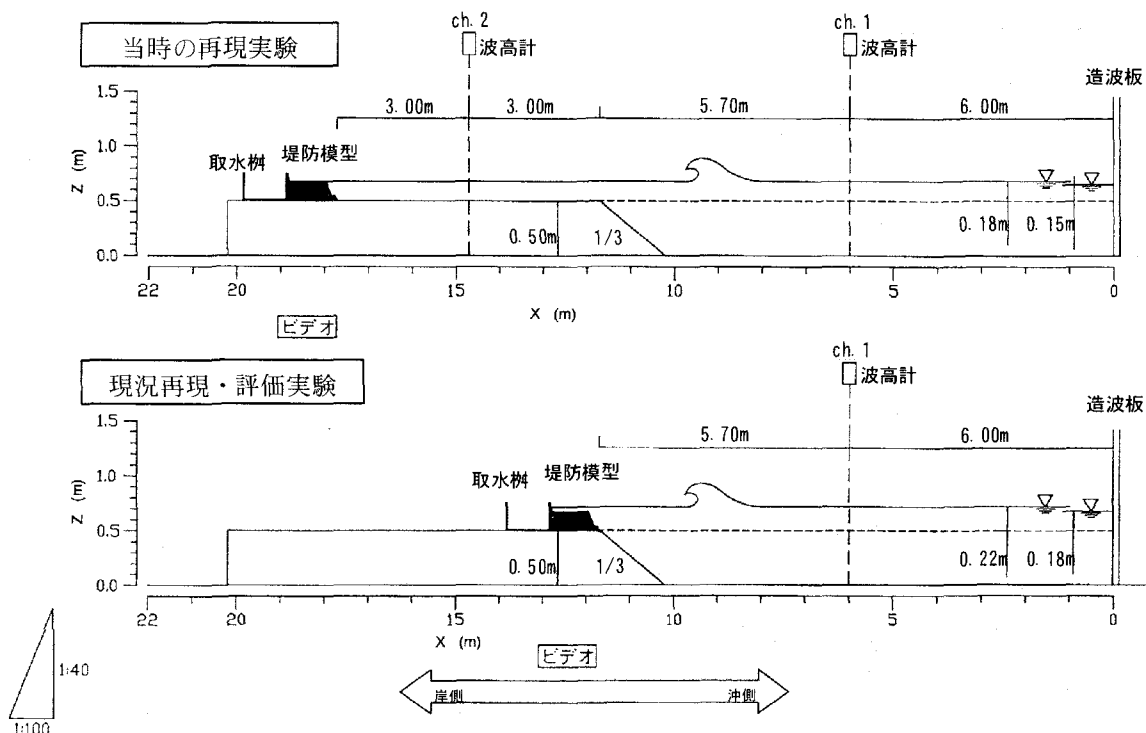


図-3 模型断面図

3. 実験結果

(1) case 0 : 当時の再現

波高4m以下のケースにおいて、波のうちあげ高を比較した結果、良い一致を示し、ほとんど越波しなかった。図-5 に示す通り、全ケースで越波量が 10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) 以下であった。周期6secの場合、波高4m以上になると表小段の前面で砕波するため、越波量が0 ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) となった。

また、前面水深が浅く、砕波限界波高であるH=3.7mまでしか発達しないため、周期7sec以上、かつ波高4m以上の入射波条件で実験した場合、それ以上の波高は堤体に作用せず、越波量も変化しないことが分かった。当時の設計波はこの砕波限界波高と

同じ値であったため、この点については、当時は指摘がなされていない。

(2) case 1, 2 : 現況再現

図-5 に示す通り、ほとんどのケースで越波量が堤防の被災限界値の目安 5×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) を越える結果となった。また、case 0 と比べて前面水深が深くなったため、4m以上の波高が堤防に到達するようになり、越波量も波高の増大に伴い増加傾向を示した。

さらに、case 2 のように沈下を考慮した場合、堤防天端高がA.P. +6.4mとなり、天端までの水面上の高さが著しく小さくなる。ゆえに、入射波は表小段上を通過しながら水位上昇する状態となり、全てのケースで堤防天端を越流することとなった。

(3) case 3, 4, 5 : 本堤の嵩上げ

case 9, 10, 11 : 上記+後退パラペット

図-6 に、case 3~11 までのケースを比較した。なおここでは、設計波高の H=4.0mの結果を示した。また、case 3~5 は、沈下後の天端高 (A.P. +6.4m) に対して、1.0m, 1.5m, 2.0m の嵩上

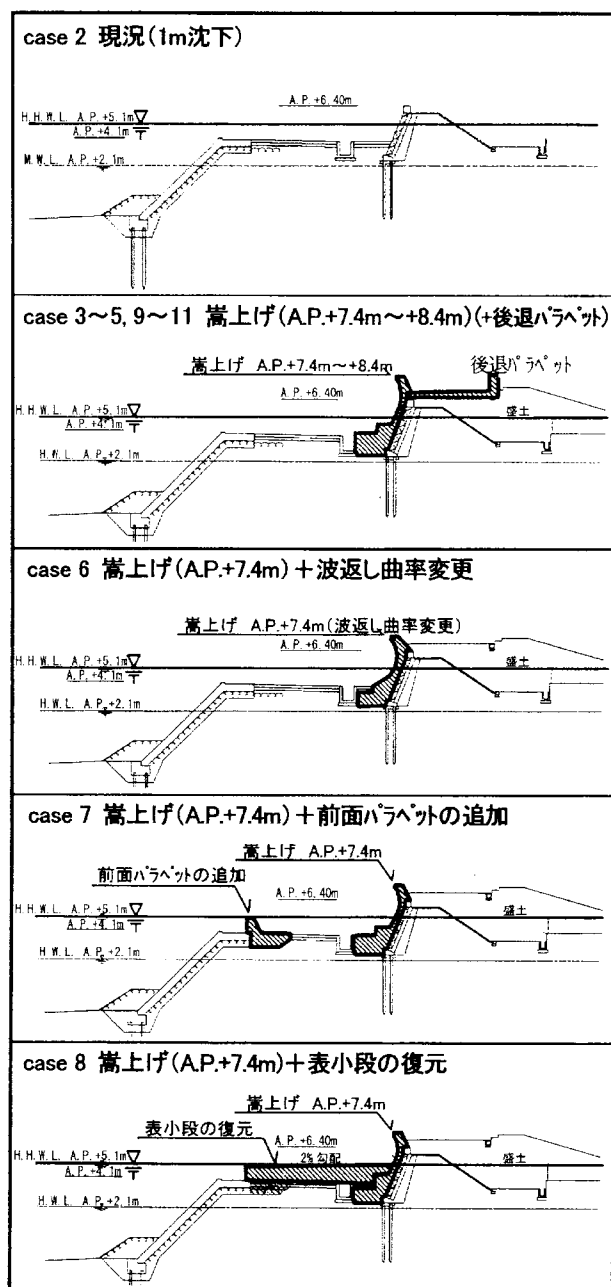


図-4 各対策工の断面図

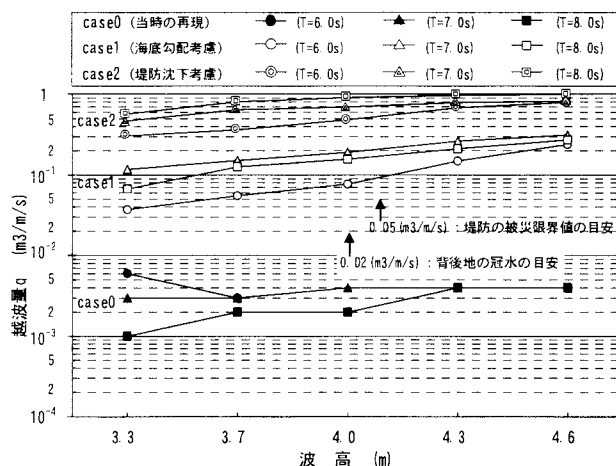


図-5 波高・周期毎の越波量

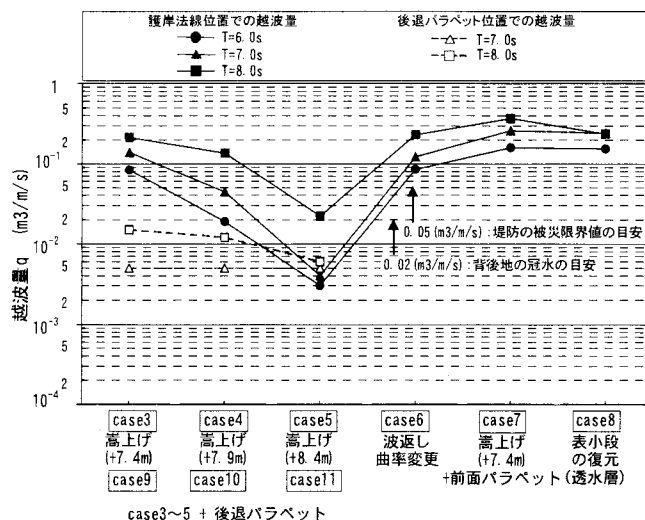


図-6 対策工毎の越波量

げをそれぞれ行った場合、case 9～11 は、上記に対してそれぞれ後退パラペットを追加した場合である。case 9～11 の結果から、後退パラペットを追加すると、その背後への越波量は背後地冠水の目安 2×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) 以下となるため、越波対策工として有効であることが分かる。

加えて、設計波周期 $T=6.0\text{sec}$ においては、越波量は 0 ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) であった。しかし、case 3 を見ると、堤防法線位置での越波量が堤防の被災限界値の目安 5×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) を越えており、性能を満足していない。これに対して、case 4 では、設計波周期 (6sec) の1ランク上の7secまで、堤防の被災限界値の目安以下となっており、施設の安全性も確保できる。case 5 の場合、全ての波浪で背後地冠水の目安 2×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) 以下となるため、後退パラペットも不要である。また、嵩上げにより水面上の高さが確保されると、堤防表法面に衝突した水塊が上方に打ち上げられ、堤防天端上に落下する。実験のビデオ画像 (写真-3) を解析した結果、ほぼ全てのケースにおいて、打ち上げられた水塊は、堤防法線から陸側に概ね3m以内の範囲に落下することが明らかとなった。

(4) case 6 : 波返し曲率の変更

越波量は、case 3 とほぼ同じ値となり、曲率変更に伴う効果はほとんど見られない。

実験状況を観察すると、天端までの水面上の高さが十分でないために、曲率の効果が発揮されないものと推察される。

(5) case 7, 8 : 表小段の改良

case 4 は嵩上げ (A. P. +7.4m) + 前面へのパラペット追加により、入射波を表小段の海側で強制砕波させる試みであり、case 5 は、嵩上げ (A. P. +7.4m) + 表小段の復元、つまり、建設当時の断面を復旧するものである。結果的に、case 3, 6 よりも越波量が増大する傾向となった。

また、実験状況を観察すると、表小段に入射した波によって表小段上で水位上昇が著しくなり、天端までの水面上の高さが小さくなり、越流型になったことが分かった。

4. 考察

(1) 現況施設の性能について

当時の実験では海底地形をほぼ水平と考えて水平床を用いていたため、砕波水深に制約が生じ、堤前波高が最大 $H=3.7\text{m}$ に止まり越波は生じなかった。これに対して、現地には埋め立て工事に用いるために前面海底の土砂を掘削した深掘穴が存在し、かつ、埋め立て法線位置が旧干潟のテラス地形の海側縁線に近いことから、堤体前面の地盤は勾配を有している。さらに、その後の波浪観測結果から計画波浪が増大したことにより、 $H=4.0\text{m}$ 以上の波高が入射する

ことが判明した。

また、従前の断面に復元しても、当時考えていたような表小段上での砕波による波浪減衰効果は得られず、これとは逆に水位上昇を招くなど、越波防止性能の低下を招く可能性があると言える。

つまり、入射波が増大したことにより、堤体の沈下に係わらず、表小段の波浪減衰機能は期待できない。以上より、表小段の復元は行わず、他の手法によって越波防止を図ることが望ましい。

(2) 対策工の性能について

堤体が沈下したままでも、本堤を1m嵩上げ (A. P. +7.4m) すると、越波量は現況と比べて1桁低減されるが、越波防止性能としては不十分であることが分かった。

また、嵩上げ高を1.5m (A. P. +7.9m) にすると、越波量は施設の被災限界越波量 5×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) 以下に抑えることが出来る。さらに、嵩上げ高を2.0m (A. P. +8.4m) にすると、越波量は背後地冠水の目安 2×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$) 以下に抑えることが出来る。

合わせて、護岸法線から3mの位置に後退パラペットを設けると、その背後への越波量はほぼゼロになることが明らかとなった。さらに、嵩上げ工法は、表小段の復元や沖合消波施設のような大規模な工事が不要なため工費も抑えられ、費用対効果の面でも優れている。

加えて、表小段の嵩上げに伴う上載荷重の増加は、円弧すべりなど堤体の安定性を損なう危険性があり、対策工は出来るだけ小規模であることが望ましい。

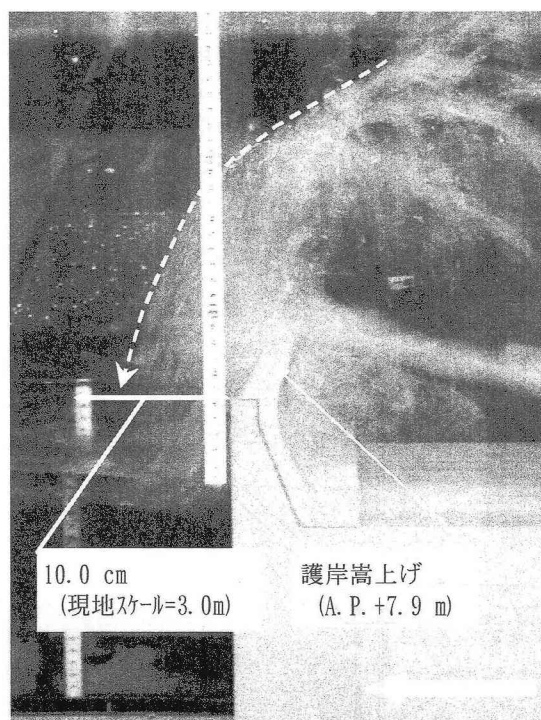


写真-3 嵩上げ断面での越波水塊の軌跡
(波高4.6 m, 周期 8 sec の場合)

なお、堤体の沈下は圧密によるものであるが、現時点で既に9割程度が終了しており、今後著しい沈下は生じないものと判断されている。

以上より、当該施設での対策工法としては、越波防止効果、経済性、堤体の安定性の面で「嵩上げ工」となる。

(3) 防護・環境・利用に配慮した対策工の選定

前述したように、防護面から見た対策工としては、嵩上げ高を2.0m (A. P. +8.4m) とした断面が優位である。

しかし、当海岸では後背地のリゾート開発の際に、堤防建設当初の天端高 (A. P. +7.4m) に若干の余裕高を想定した上で、景観的配慮に基づいた施設設計を行っており、嵩上げ高2.0mを採用した場合、海岸法の目指す防護・環境・利用の調和を達成することが困難となる。

そこで、地域の関係者らと協議を行った結果、嵩上げ高1.5m (A. P. +7.9m) であれば、景観等への影響は軽微であるとの見解が得られた。前述したように、この高さであれば、後退パラペットとの組み合わせにより、後背地への浸水被害を防止出来ると判断される。

以上より、対策工としては図-7に示した、「嵩上げ高1.5m (A. P. +7.9m) + 後退パラペット」を提案することとした。

(4) 模型実験の有用性について

本実験によって、従前の机上検討では得られなかった以下のような結果を得ることが出来た。このような複合断面の評価や、防護・環境・利用の調和を図るために確度の高い見解を得る必要がある場合、水理模型実験による現象の把握と評価、さらにはビデオ画像等の視覚的な資料が有用であると言える。

なお、千葉県では現在、他事業海岸においても、複合断面による海岸保全施設の機能評価や、住民との合意形成の際に水理模型実験を活用しており、特

にビデオ画像の利用は、住民への理解促進において良好な成果を上げていることを追記しておく。

5. 結論

本実験の結果は、次の結論にまとめられる。

- 1) 海底勾配、計画波浪の増大、堤体の沈下により、堤体に作用する外力が増大しており、現況では危険である。
- 2) また、堤体に作用する外力が増大したため、設計当初の断面に復旧しただけでは危険である。
- 3) 表小段は、沈下した場合や、設計波浪が増大した場合には、十分な波浪減衰効果が得られなくなる危険性がある。
- 4) 建設当初に採用した表小段を有する断面では、水位上昇を招く等、十分な波浪減衰効果が得られず、断面の復元だけでは越波防止を図れない。
- 5) 越波防止効果、経済性、堤体の安定性の面から、対策工としては「嵩上げ工」が有利となる。
- 6) 防護・環境・利用の調和を図るには「A. P. +7.9mの嵩上げ+後退パラペット」が提案された。
- 7) 複合的な断面に対する越波現象の把握に対しては、水理模型実験が有用であることが改めて確認された。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：浦安地先埋立護岸模型実験報告書、p.36, 1964.
- 2) 豊島修：表小段を持つ複断面型堤防への波の打ちあげ高について、海岸工学論文集、第11回、pp.265-272, 1964.
- 3) 合田良實：港湾構造物の耐波設計、p.333, 1977.
- 4) 永井莊七郎、高田 彰：海岸堤防の越波に及ぼす消波堤の効果、海岸工学論文集、第11回、pp.279-286, 1964.
- 5) 合田良實：防波護岸の越波流量に関する研究、港湾技術研究所報告、第9巻、第4号、pp.3-42, 1970.

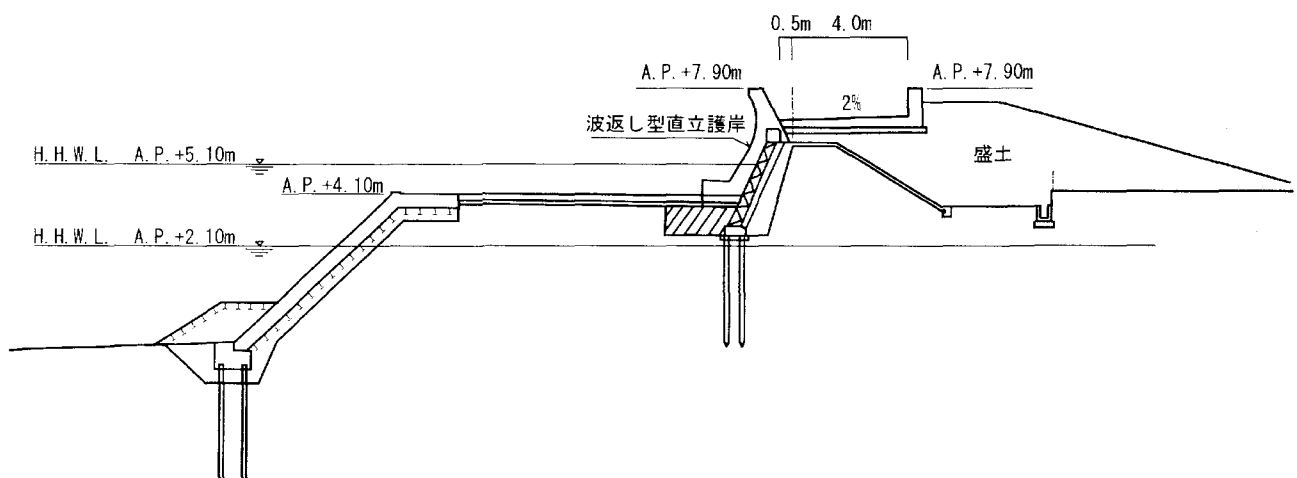


図-7 対策工 標準断面図