

二次元水理模型実験による護岸の前面形状変更に伴う波圧影響の検証

諸山 来輝¹・藤井 久

¹関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 調査課

(〒221-0053 神奈川県横浜市神奈川区橋本町2-1-4)

千葉港海岸船橋地区(以降、船橋海岸)は台風等による高潮や首都直下地震並びに同地震に伴う津波に備えるため、直轄海岸保全施設整備事業として海岸保全施設の嵩上げ及び耐震対策等の検討を進めている。船橋海岸では、三つの工区のうち、1工区から整備が進められている。

2工区と3工区では断面形状が複雑なため、前面捨石・被覆石が護岸の安定性や防災機能に与える影響を机上検討で評価することは困難であった。そこで、二次元水理模型実験による詳細な検討を越波実験・波圧実験・反射波実験について実施した。なかでも波圧実験に特に注目して検討を行なった。

キーワード 二次元水理模型実験、波圧実験、衝撃砕波

1. はじめに

当局では、2022年から千葉港海岸直轄海岸保全施設整備事業を実施している(図-1)。当該施設は、高潮リスクの高い東京湾の最奥部に位置しており、台風等による高潮や首都直下地震及び同地震に伴う津波に備えるため、海岸保全施設の嵩上げ及び耐震対策等を実施している。

事業内容のうち、現在は、日の出護岸の整備を行っており、図-2に今回の検討対象施設位置を示す。



図-1 千葉港海岸直轄海岸保全施設位置



図-2 検討対象施設位置

2. 二次元水理模型実験の目的

(1) 千葉港海岸船橋地区の特徴

船橋海岸は東京湾内の湾奥に位置し、背後は中核市として日本最大の人口(現64.8万人)を有する船橋市の中心部を控え、ゼロメートル地帯に船橋市役所や消防署等の地域中枢機能が集積している。

図-3に示すとおり、海側は、船橋中央ふ頭により遮断され、波浪はSSEに近い方向から作用する。そのため、東側から西側に向かって波高は小さくなる。また、遠浅の海底地形と湾奥部に位置する地理的条件により、台風通過時には強風による吹き寄せ効果が生じ潮位が高くなる傾向があり、高潮時は、護岸を越波し背後地が浸水する可能性がある。

(2) 二次元水理模型実験の目的

検討対象施設の日の出護岸(図-3)は、直轄海岸保全施設整備事業として護岸の再整備が進められている。図-4に再整備計画断面を示す。本実験では、日の出護岸の延長675.46 mのうち中央の2工区(300 m)と西側の3工区(215.46 m)を対象に、前面捨石・被覆石の形状変更による波圧の変化が構造物に与える影響を、二次元水理模型実験で検証した。



図-3 千葉港船橋地区における波浪の方向

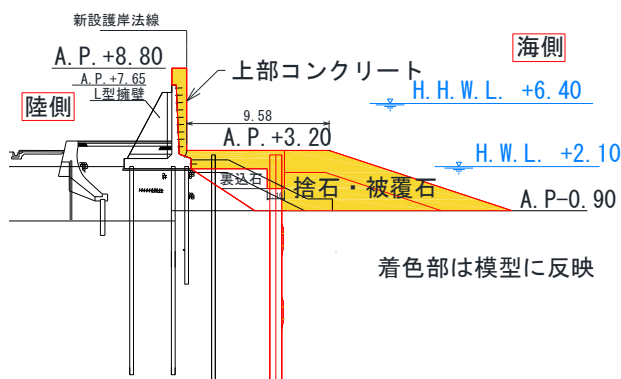


図-4 再整備計画断面

(2) 実験の断面及びケース

実験は、波圧実験、被覆材の形状は、被覆有、最小被覆、被覆無の3ケースで実施した。図-5に実験断面および波圧の測定位置を示す。

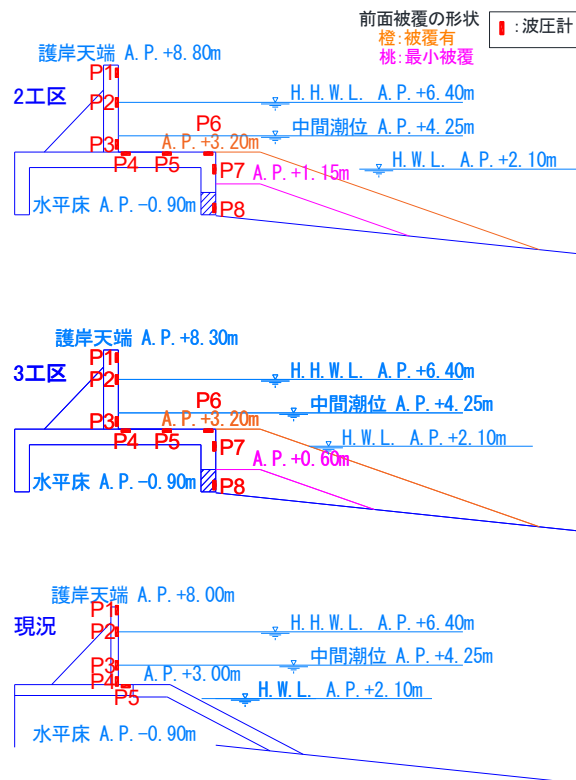


図-5 実験断面および波圧の測定位置

3. 二次元水理模型実験方法

(1) 二次元水理模型実験条件

二次元水理模型実験は、横浜港湾空港技術調査事務所実験工場の長水路造波装置（長さ35m、高さ1.5m、幅1.0m）（写真-1）で実施した。模型縮尺は1/20で、相似則はフルード則を適用した。表-1に実験ケースと実験条件を示す。



写真-1 長水路造波装置

表-1 実験ケースと実験条件

実験種類 (波種類)	工区	被覆形状	潮位	周期 [s]	波高 [m]
波圧実験 (規則波)	2工区	被覆有, 最小被覆, 被覆無	H.H.W.L.	5.36	3.48 2.78 2.09
			中間潮位	5.36	3.34 2.67 2.01
			H.W.L.	5.36	2.70 2.16 1.62
	3工区	被覆有, 最小被覆, 被覆無	H.H.W.L.	5.36	2.95 2.36 1.77
			中間潮位	5.36	2.83 2.26 1.70
			H.W.L.	5.36	2.70 2.16 1.62
	現況	—	H.H.W.L.	5.36	3.48 2.95 2.36 1.77
			中間潮位	5.36	3.34 2.83 2.26 1.70
			H.W.L.	5.36	2.70 2.16 1.62

H.H.W.L. : A.P.+6.40m 中間潮位 : A.P.+4.25m H.W.L. : A.P.+2.10m M.W.L. : A.P.+1.20m

4. 実験結果

波圧実験は規則波で約20波の造波を同一条件で2回実施した。図-6および図-7に実験で得られた各工区ごとの波圧と波高の解析結果を示す。ここで得られた結果は、同一波高で波圧の変動が大きいことから、衝撃砕波が発生していることが分かる。図-8にP-2で得られた波圧の時系列と合田波圧の比較を示す。P2で得られた波圧には、鋭くとがった衝撃砕波の成分が認められていることが分かる。なお、図中の「合田波圧①」は衝撃砕波を考慮した波圧、「合田波圧②」は衝撃砕波を未考慮の波圧である。この中で、P2の実験波圧の重複波成分は合田波圧②と一致しており、実験波圧のピーク値は合田波圧①より大きい。これは、衝撃砕波を算出するための係数が滑動実験に基づいて設定されているためであり、衝撃砕波圧のピーク値を表現するものではないことから、このような違いが生じているためである。

以上から、日の出護岸の再整備計画断面の構造では衝撃砕波が発生するため、設計においては衝撃砕波を考慮した波力を考慮しなければならない。日の出護岸の断面は後退パラペットの構造と似ており、既往の研究²⁾でも図-9に示すように後退パラペットに作用する実験値波圧は変動が大きい。この研究における波圧測定結果は図-10のとおりであり、「後退パラペットに働く波力は

1.5~2.5 $\rho g H$ 、最大値で3~4 $\rho g H$ である」と評価している。ここで、 ρ は密度、 g は重力加速度、 H は波高を示している。「1.5~2.5 $\rho g H$ 」については、衝撃砕波圧は作用時間が極めて短く力積が小さいため、構造物の安定性の評価においてはピークカットした値を採用する観点から、図-10の箱ひげ図の中央値（オレンジ色の線）を採用している。以上から、衝撃砕波が発生している本護岸の波圧の評価においても中央値を採用した。

図-11と図-12に波圧の鉛直分布を示す。○印のH.H.W.L.はA.P.+6.40mの波圧が大きい。□印の中間潮位はA.P.+3.70mの波圧が大きい。×印のH.W.L.はA.P.+2.10mの波圧が大きい。これらは、潮位面付近の波圧が大きいことを示しており、この傾向は合田波圧と一致している。

次に、波圧測定データを用いて、図-13の概念に示すように面積積分することで、波圧合力の時系列データを作成し、波圧と同様に解析を行った。図-14と図-15に波圧合力の解析結果を示す。ここでは、潮位3種類×波高3種類のうち、一番大きな値を示している。2工区は、被覆材の形状による波圧合力の差は見られなかった。以上から、再整備計画断面においてはコスト削減の観点から被覆材を少なくすることが可能と判断できる。一方、3工区は被覆有の断面が波圧合力応力が最も小さいため、被覆有の断面形状で計画を進めていくのが妥当であると考えられる。

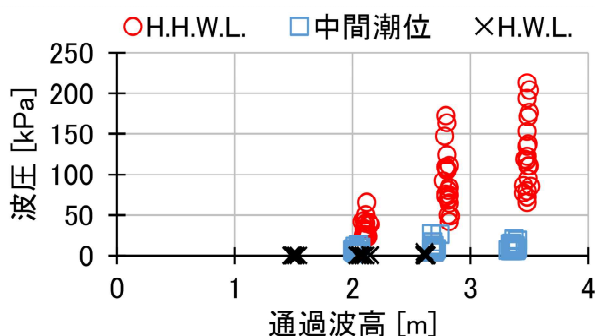


図-6 1波ごとの波圧と波高の解析結果の例
(2工区, 被覆無, P2地点)

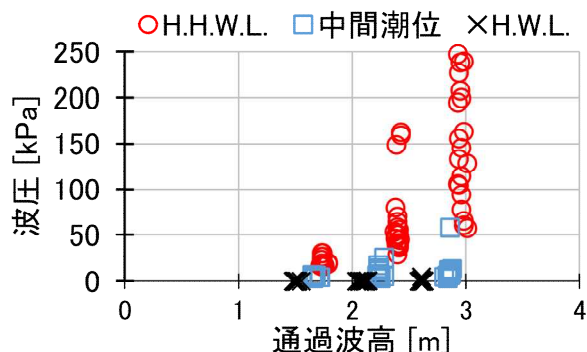


図-7 1波ごとの波圧と波高の解析結果の例
(3工区, 被覆無, P2地点)

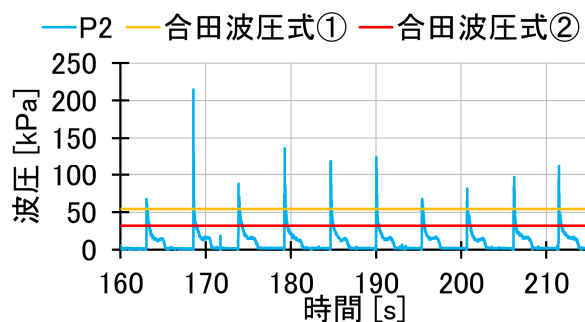


図-8 波圧の時系列と合田波圧比較
(2工区, 被覆無, H.H.W.L, H=3.48m, P2地点)

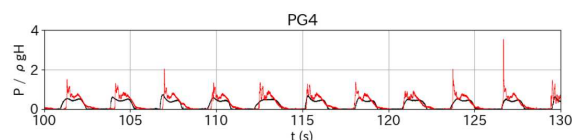


図-9 後退パラペットに作用する波圧測定結果の例²⁾

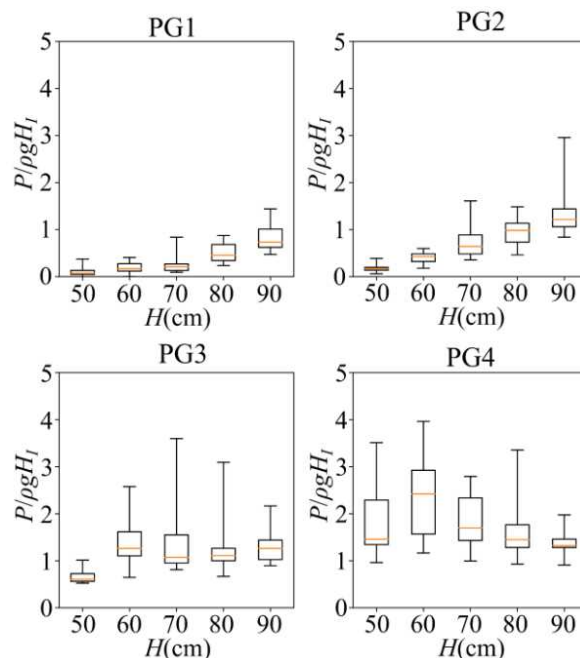


図-10 ピーク波圧の箱ひげ²⁾

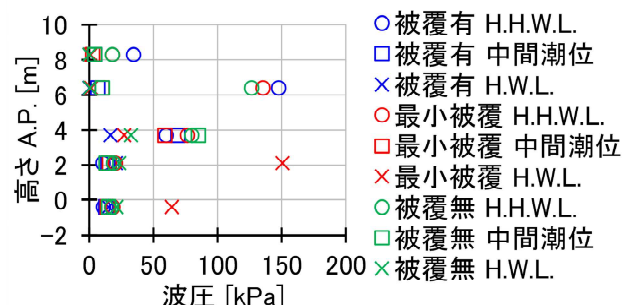


図-11 波圧の鉛直分布(2工区, 20波の平均値)

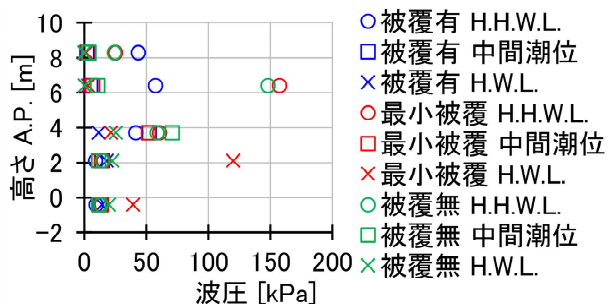


図-12 波圧の鉛直分布(3工区, 20波の平均値)

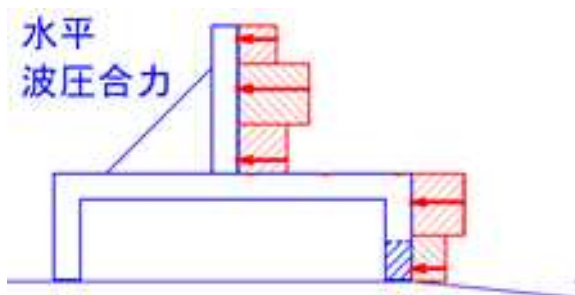


図-13 波圧合力作成の概念

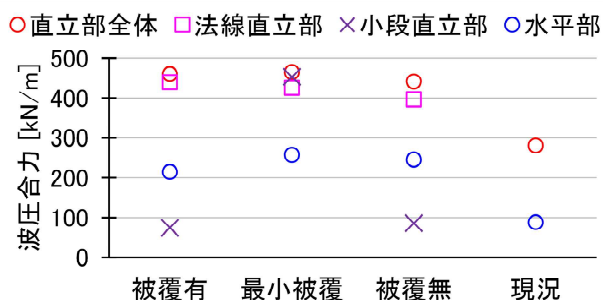


図-14 波圧合力の最大値(2工区と現況)

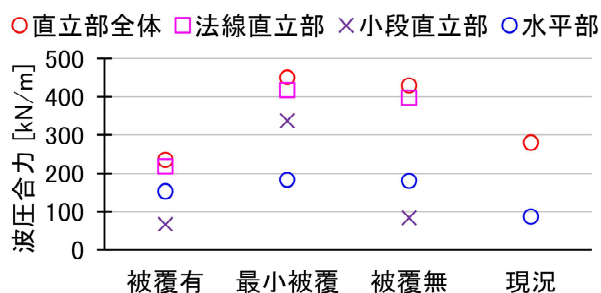


図-15 波圧合力の最大値(3工区と現況)

波圧実験状況 (2工区・中間潮位・H=3.34m)

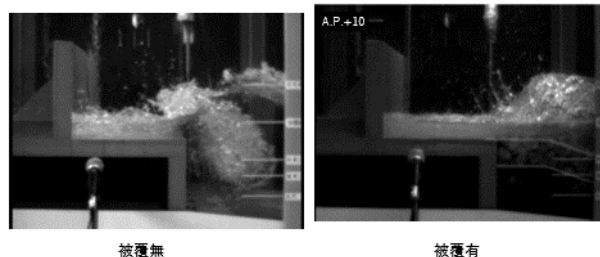


図-16 被覆の有無による渦の発生状況

5. おわりに

二次元水理模型実験の結果、基本設計時に設定した設計断面の構造では衝撃砕波が発生するため、合田波圧より大きな波圧が作用することを確認した。

2工区では被覆有、最小被覆、被覆無のいずれも今回提示した衝撃砕波が生じ、前面捨石・被覆石の有無による波圧の変化、波圧の低減は見られなかった。3工区においては、被覆有が最小被覆、及び被覆無に比して波圧は小さくなった。

一方、被覆石がなくなることにより、棚の先端付近に渦が強くなることが判明(図-16)しており、この場合、被覆無では地盤洗掘の発生が懸念されることから、護岸前面の形状については慎重に検討すべきである。

今後は本実験より得られた波圧を用いて断面検討をすすめ、設計との連携を図り、確実に整備を実施していきたい。

参考文献

- 1) 下迫健一朗・大崎菜々子：各種混成堤における波力算定法の適用性に関する考察—衝撃砕波力係数など波力算定上の留意点—，港湾空港技術研究所資料，NO.1107，2005。
- 2) 鈴木高二郎・久保田博貴・鶴田修己：パラペットにはたらく波圧に関する検討，港湾空港技術研究所報告，第60巻第1号，2021。