

傾斜堤の維持管理における消波ブロックの 変形と作用波力の関係について

RELATION BETWEEN THE DEFOMATION OF WAVE DISSIPATING BLOCKS AND WAVE FORCE IN MAINTENANCE MANAGEMENT OF SLOPING BREAKWATER

柴崎尚史¹・興野俊也²・安田勝則²・藤井直樹³

Naofumi SHIBASAKI, Toshiya KYONO, Katsunori YASUDA and Naoki FUJII

¹正会員 東京電力株式会社 原子力技術部 (〒100-0011 東京都千代田区内幸町1-1-3)

²正会員 東京電力株式会社 技術開発研究所 (〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

³正会員 東電設計株式会社 港湾・海岸部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

This research investigated the difference in the characteristic of wave forces which acts on the superstructure by the existence and the scale of lower caves. The section form of sloping breakwater where settlement of wave dissipating blocks was taken into consideration was set up, and analysis using *numerical wave flume* (CADMAS-SURF) was carried out. As a result, horizontal wave forces acting on the superstructure increased with damage progress, and it is found out that sliding stability damages the damage section 2. Moreover, when the cave under superstructure exceeded 1m, it became clear that sliding stability is damaged also for the basic section. The deformational limit of the dissipating blocks to the sliding stability of superstructure and the size of the cave under superstructure were clarified. These results are contributed to repair propriety judgment of wave dissipating blocks covering sloping breakwater.

Key Words : *Sloping breakwater, superstructure, wave force, numerical wave flume, a cave, wave dissipating blocks*

1. はじめに

消波ブロック被覆式傾斜堤では、消波ブロックの沈下等の被災事例が多く見られる。最近、鈴木ら¹⁾の大規模な移動床実験や現地調査によって、消波ブロック下部の砂地盤において洗掘や吸い出しが発生しており、この洗掘や吸い出しによる消波ブロックや上部コンクリートの沈下が重要であることが明らかにされている。洗掘による消波ブロックの沈下は、傾斜堤上部工前面への作用波力の増大や上部工下面の空隙発生による揚圧力の増大を生じさせることとなる。また、上部工下面の空隙の発生により、摩擦抵抗が低下する可能性もある。そこで本研究では、消波ブロックの沈下を考慮した傾斜堤断面形状を設定し、傾斜堤下面の空隙を考慮した上部工作用波力の影響を明らかにするため、数値波動水路 (CADMAS-SURF)²⁾を用いた解析を行い、空隙の有無や規模による上部工に作用する波力特性の違いを検討した。

2. 検討断面

検討の対象とした消波ブロック被覆式傾斜堤の断面形状は、現地における変形状況と移動床実験による変形過程を考慮して設定した。現地における傾斜堤変状の特徴としては、1)消波ブロック2層積みの表層が下層に食い込むことにより、概ね1層分相当の高さにまで必要断面が不足、2)斜面勾配を維持したまま全体的に沈下変形、3)消波ブロックの上部工からの剥離、4)上部工下部の空隙の存在、が挙げられる。また、藤井ら³⁾は砂地盤を考慮した傾斜堤の変形解析との比較のため移動床実験を実施しており、捨石マウンド部に比べて比較的空隙の大きなブロック下部の地盤が洗掘されるため、ブロックの法先から沈下し、その影響が徐々にブロック全体に伝達、やがて上部工前面からのブロックの剥離へと変形が進行していく過程が見られた。

以上を踏まえ、消波ブロックの被災状況に対する

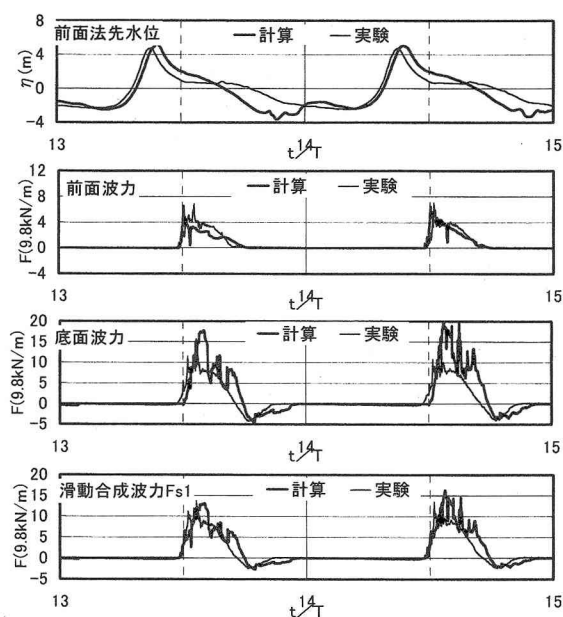


図-2 上部工波力の時系列の比較 (case1-0)

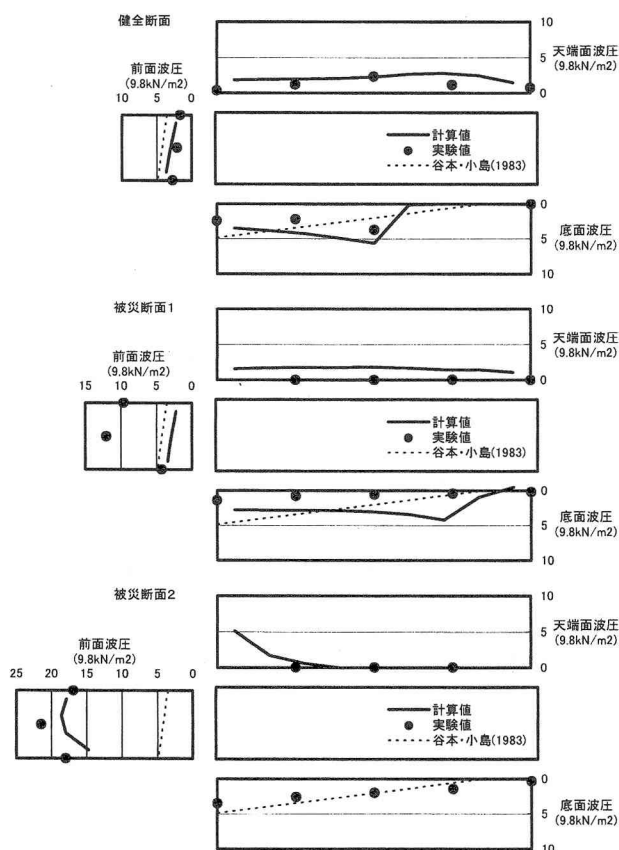


図-3 滑動合成波力最大時の同時波圧分布

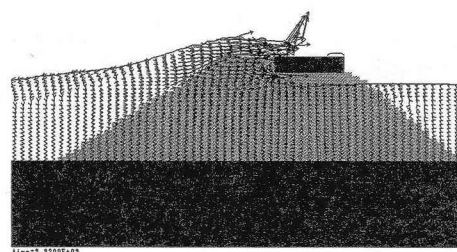
においても同様であった。

図-3にcase1-0, case2-0, case3-0の滑動合成波力最大時の同時波圧分布を示す。図中には谷本・小島式⁶⁾も併記した。健全断面の場合、計算値は実験値と良く一致している。また、谷本・小島式とも概ね一致している。被災断面1の計算値は実験値と比べ前面波力が小さく、底面波圧が大きい。実験値の前面波力は健全断面より3倍程度大きい。被災断面

time=2.3199E+02
vel=1.0000E+01

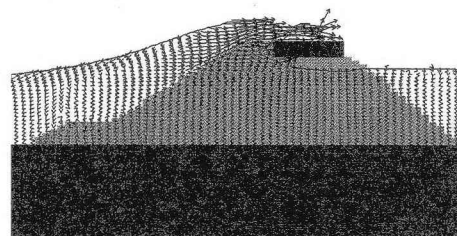
健全断面

Case1-0



被災断面 1

Case2-0



被災断面 2

Case3-0

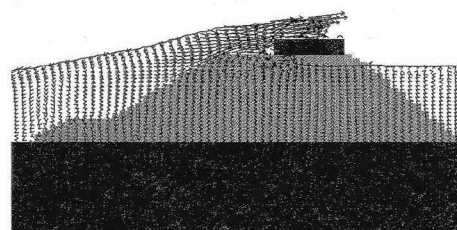


図-4 流速ベクトルおよび空間水位

2の前面波力はさらに4,5倍大きい。被災断面2の前面波力の計算値は実験値と分布形状も含め良く一致している。消波ブロックがないため、衝撃的に作用する力が再現できているものと考えられる。被災断面1, 2とも前面波力は健全断面と比べ増大するが、底面波力は変化せず谷本・小島式と同程度であり、波力作用範囲は底面全体に及ぶ傾向がある。

図-4に健全断面、実被災断面1・2の流速ベクトルおよび空間水位を示す。斜面を遡上する波と堤体内部を遅れて上昇する水位が、上部工前面で干渉し、天端上を滑るように越流する。被災断面2は上部工前面にブロックがないため、波が激しく作用することからも波力が大きくなることが分かる。

(2) 被災断面の違いによる上部工波力の変化

図-5に波高8m, 周期16秒の場合における断面被災状況と各波力および安全率の関係を示す。また、谷本・小島式も併記したが、被災断面によらず一定値である。実験における前面波力および滑動合成波力

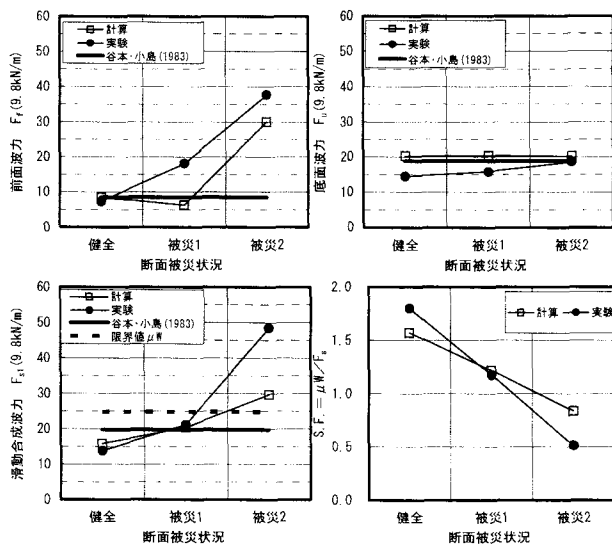


図-5 被災状況毎の上部工波力の比較

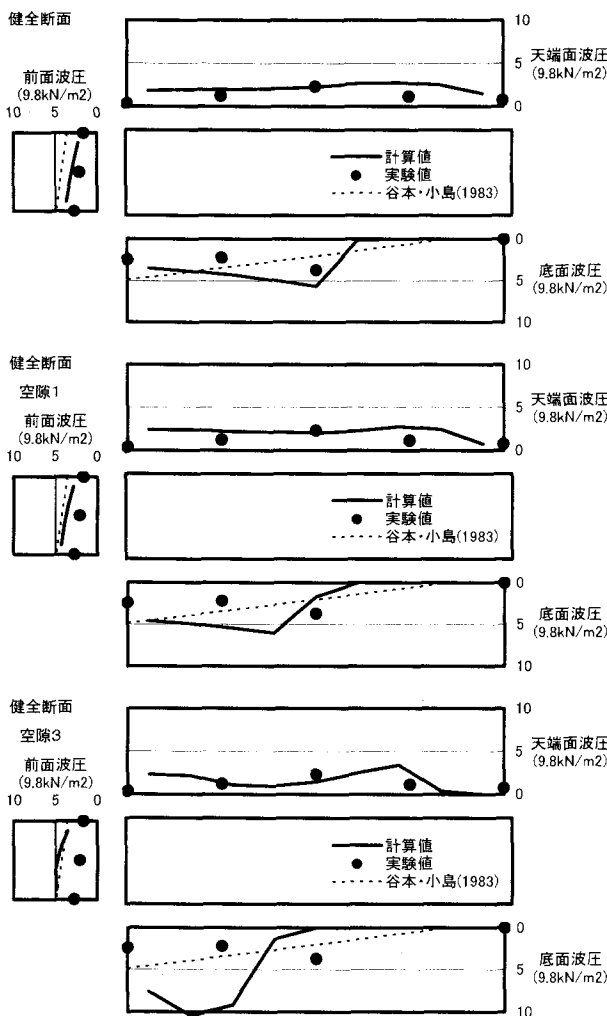


図-6 空隙規模に対する同時波圧分布

は、被災が増大するに従い大きくなる傾向にある。底面波力は被災による変化が非常に小さい。計算値、実験値とも傾向はほぼ同様である。滑動合成波力 F_{s1} は、健全断面、実被災断面1で実験と良く一致するが、実被災断面2は実験が大きい。滑動限界値 μW と

滑動合成波力 F_{s1} を比較すると、被災断面1までは、安全率 $\mu W / F_{s1} \geq 1.0$ となるが、上部工が露出した被災断面2では、計算・実験とも安全率 $F_{s1} / \mu W \leq 1.0$ となる。このような傾向は周期13秒や波高7mの場合も同様であった。

5. 空隙規模と上部工作用波力特性

(1) 上部工に作用する波力の形態

空隙の有無および規模が上部工波力に及ぼす影響を検討するため、数値波動水路による解析を実施した。図-6に健全断面で空隙がある場合の滑動合成波力最大時の同時波圧分布を示す。図中の実験値、谷本・小島式は空隙がない状況における値であり、参考として併記した。前面波力は空隙の大きさによる変化が見られないが、底面波力が増大する、特に空隙3の底面波圧が空隙部分で急激に増大する。ただか3格子分の空隙でも水が回り込み、急激に圧力が上昇することを示している。

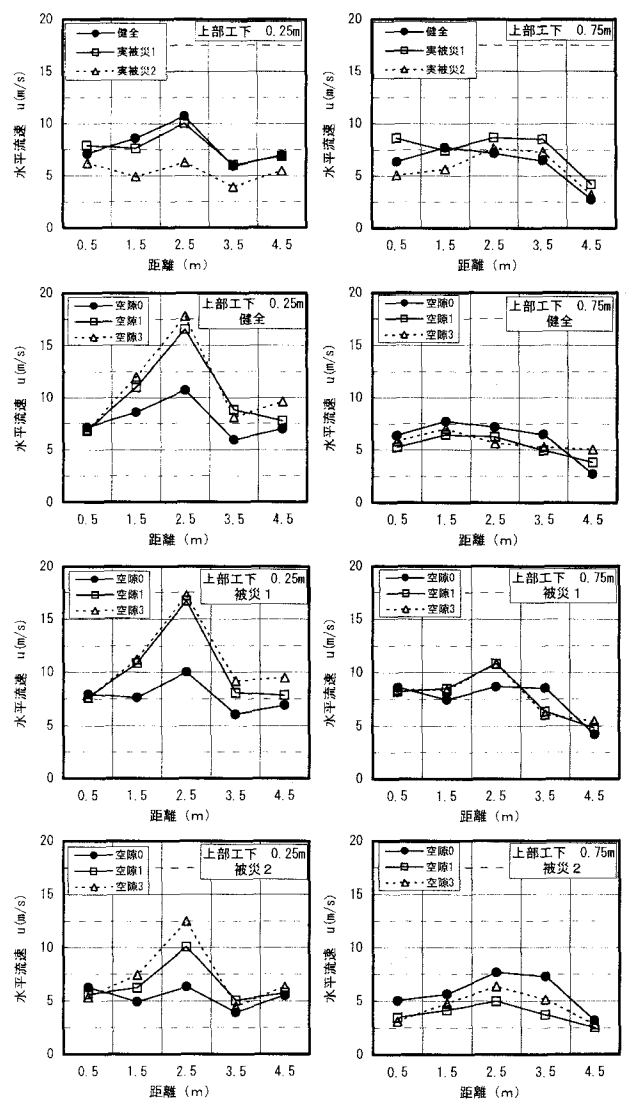


図-7 空隙規模に対する水平流速分布

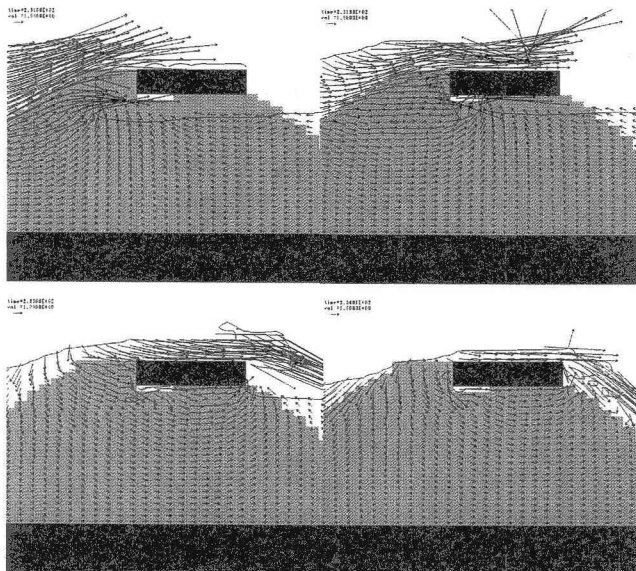


図-8 上部工周辺の流速ベクトル (case2-3)

(2) 上部工下部の流速状況

図-7に上部工下部位置および被災断面の相違による水平流速値の変化を示す。上部工下部を波が透過するに伴い、水平流速値は増加し、2.5mでピークをとり、その後減少する。上部工下部直下0.25mでは、空洞規模が大きいほど流速も大きくなる。下部から距離が離れる0.75mでは大きな違いがない。

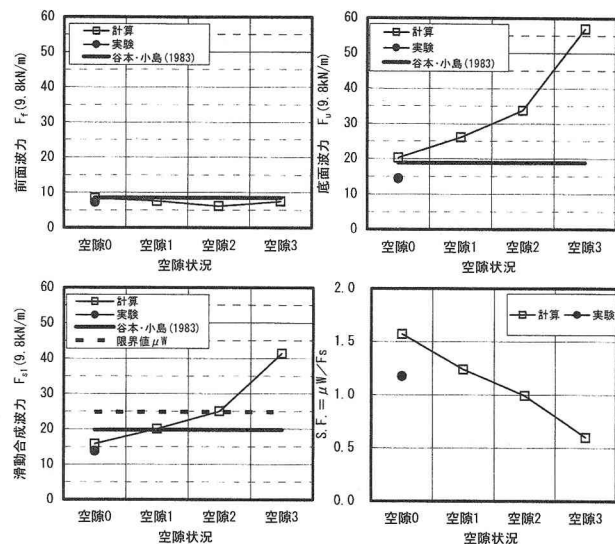
図-8に上部工下部付近の流速ベクトルを示す。黒い長方形の上部工下面の空白部分が今回設定した空隙を示している。空隙部の流速が非常に速く、水平方向岸向きの流れが卓越している。流速は上部工下部を流下するに従い、小さくなる様子がわかる。押し波時の傾斜堤斜面を遡上しているとき、堤内ではまだ沖向きの流れ状態である。その後、斜面遡上波が上部工を越波しはじめると、上部工下部で透過する波と堤内の引き波が上部工下部3m付近で衝突する。流速が2.5mでピークをとる要因であると考えられる。

(3) 空隙規模に対する上部工波力の変化

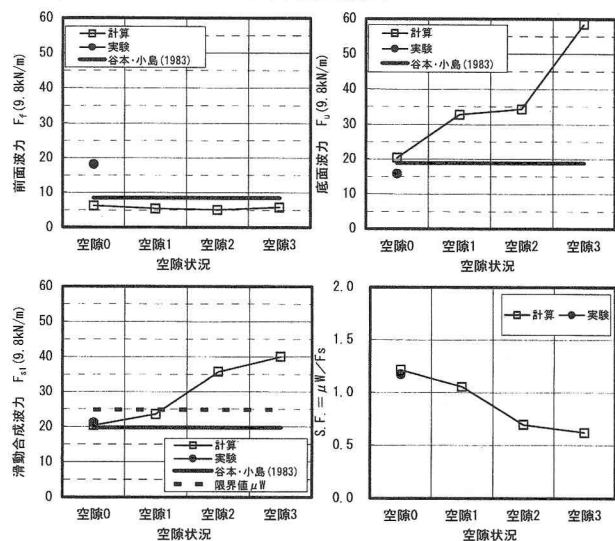
図-9に波高8m、周期16秒の場合における空隙規模に対する各波力および安全率の関係を示す。健全断面の空隙の有無については、空隙の存在により前面波力は僅かに減少するが、底面波力は急激に増加する。同様に滑動合成波力も増加し、空隙1mの場合、滑動限界値に近づき安全率が1.25程度となる。空洞3mの場合は、安全率は0.6となり、滑動限界値を下回る。

実被災断面1についても健全断面と同様に、前面波力が僅かに減少するが、底面波力は急激に増加する。空隙1mの場合は、滑動限界値相当であり、安全率1を若干上回る程度となる。しかし、空隙2mでは、安全率0.65となる。

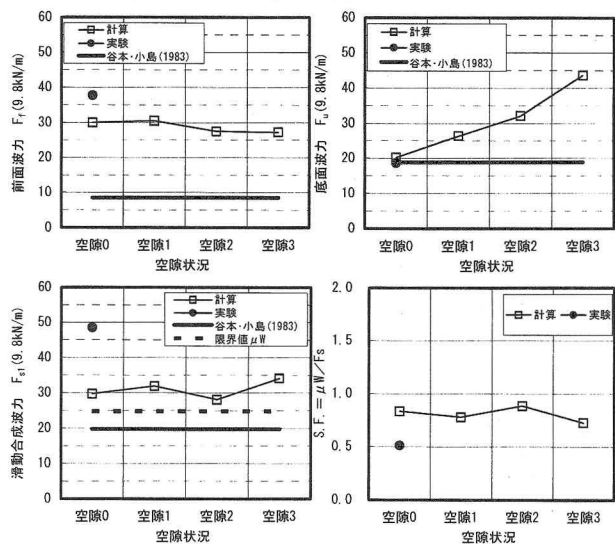
実被災断面2の場合は、前面波力が大きいため空隙に関係なく滑動限界値を越えている。滑動合成波



(a) 健全断面

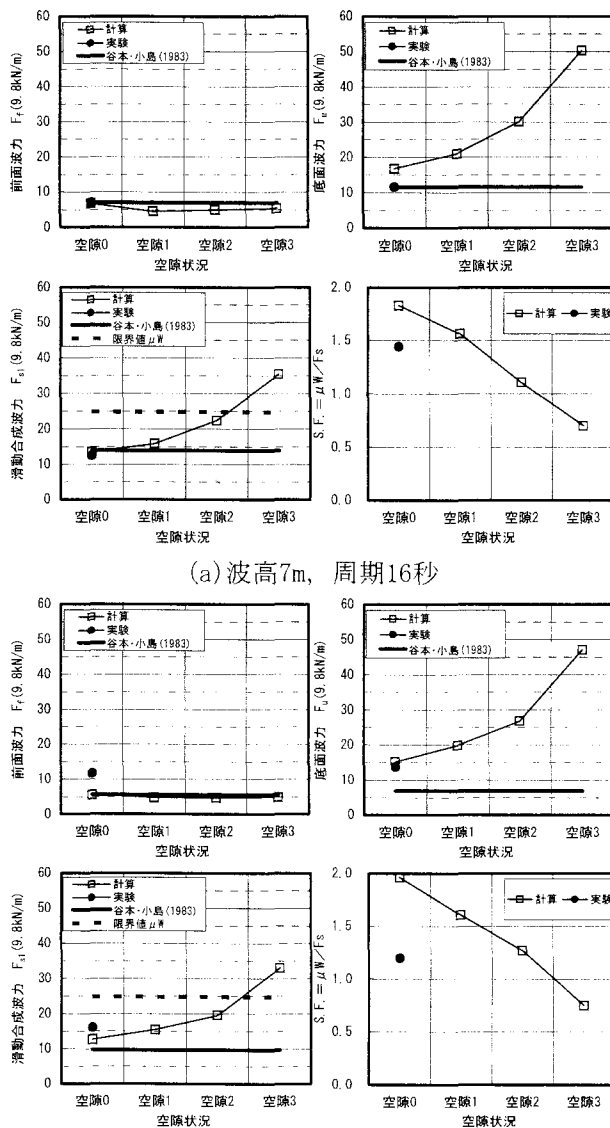


(b) 被災断面1



(c) 被災断面2

図-9 空隙規模に対する上部工波力の比較



(a) 波高7m, 周期16秒

(b) 波高7m, 周期13秒

図-10 上部工波力の比較

力は空隙の大きさにより急激に増加しない。これは、前面波力で決まっているためである。

以上、被災断面形状によらず前面波力は空隙規模により変化しないが、底面波力は空隙が大きくなるに従い、急激に増加する。また、滑動安定性の観点からは、被災断面に依らず補修限界値として空隙幅1m程度を設定することが妥当であると考えられる。

図-10は健全断面において波高、周期が異なる場合の上部工波力の変化を示したものである。周期13秒の短いケースは周期16秒に比べ僅かに波力が小さくなる程度で、大きな差異はない。ただし、計算値は実験値と差があるため、計算精度の向上が必要である。

6. 結論

消波ブロックの沈下を考慮した傾斜堤断面形状に対する上部工への作用波力について検討した。検討結果を以下にまとめる。

- 被災進行に伴って上部工前面波力が増大し、被災断面2では滑動安定性が損なうことがわかった。
- 空隙が存在することにより、底面波力が増大し、前面波力は僅かに減少する。また、滑動合成波力は空隙の範囲が広がるに従い、大きくなる。この傾向は、健全断面、被災断面によらず同様である。
- 上部工下部を波が透過するに伴い、水平方向岸向きの流れが卓越し、水平流速値は流下方向3m程度でピークをとる。
- 滑動安定性の観点からは、上部工下面の空隙が1mを越えると健全断面でも滑動安定性が損なわれることが明らかになった。被災断面に依らず補修限界値として空隙幅1mを設定することが妥当であると考えられる。

これらの結果は、上部工の滑動安定性に対する消波ブロックの限界変形量、上部工下部の空隙量を明確にしたことで、変形した消波ブロック被覆傾斜堤の補修可否判断に資するものと考えられる。

数値波動水路におけるポラス値の設定値は、底面波力の解析結果に大きく影響する。今後は、実験に比べ位相が遅れる傾向にある底面波力の精度向上を図るため、格子に依存しないポラス値の設定方法に関する検討が必要と考えている。

参考文献

- 鈴木高二朗, 大寄菜々子, 山本泰司: 防波堤基礎での洗掘量の推定について, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 886-890, 2003.
- 沿岸開発技術センター編: CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発 - 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会報告書 -, 沿岸開発技術ライブラリー, No. 12, 296p, 2001.
- 藤井直樹, 興野俊也, 安田勝則, 中野修, 大熊義夫: 個別要素法による砂地盤を考慮した傾斜堤の変形解析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 881-885, 2003.
- 中野 修, 興野俊也, 安田勝則, 藤井直樹: 規則波・不規則波による傾斜堤の波力・越波伝達波への数値波動水路の適用性について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 726-730, 2002.
- 合田良実, 松本朗: 捨石防波堤全体に作用する波力ならびに堤体内部への波圧伝播の数値計算, 海洋開発論文集, 第19巻, pp. 529-534, 2003.
- 谷本勝利, 小島朗史: 傾斜堤上部工およびブロック式混成堤に働く波力, 港湾技術研究資料, No. 450, 32p, 1983.