

段波波力による堤防の損傷メカニズムと粘り強い工夫に関する実験的研究

農研機構 農村工学研究所 松島健一, 三島尚人, 桐博英
茨城大学 毛利栄征
(株)竹中土木 藤井義文, 大串和紀

1.はじめに 砕波帯に位置する海岸堤防は,堤防直前で砕波が起こると強烈な波力が堤体に働き,一時的に堤防の安定性が失われる.東日本大震災では図-1に示すように内陸の第2線堤は軽微な損傷に留まったが,強烈な衝突波力が作用した海岸堤防では著しい損傷が生じた.従って,堤防の粘り強さ向上には,越流津波による被覆工の引き剥がれや洗掘に加えて,衝突波力に対する堤防の損傷メカニズムを解明し,その対策方法を確立する必要がある.そこで,本研究では,堤防に入射する砕波後および直前砕波の段波津波を対象とした衝突実験を実施し,これらの波による堤防の損傷メカニズムについて検討した.

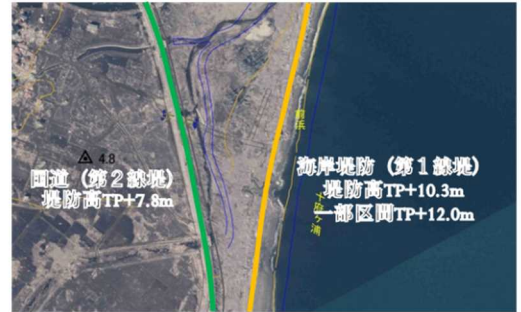
2.実験方法

2.1 実験モデル 段波津波に対抗するため,図-2に示すように堤体の表法・裏法・天端の三面を一体化した堤防モデル(以下,新型式堤防と呼ぶ)を開発した.この新型式堤防はジオテキスタイルを連結した被覆ブロックと難透水性のセメント改良土によって被覆工と堤体自体の補強効果が向上し,耐震性と耐侵食性を高めた構造となっている.模型縮尺は1/15であり,現地換算で堤高 $H_0=6.0\text{m}$,天端幅 3.5m ,表法・裏法勾配 $1:0.5$ である.実験水路は図-3に示すように幅 2.0m ,高さ 3.0m ,長さ 63.0m ,沖側にゲート引き上げ装置を有する断面二次元水路を用いた.水路床から $1/60$ 勾配の斜面を取付け,高さ 0.63m の位置に堤防模型を設置した.ゲート上流に貯水することで初期水位との水位差 Δh を設け,ゲート引き上げによって最大周期 20 秒程度(現地換算で約 80 秒)の段波を発生できる.

2.2 入射波の特性 図-4に水位差 Δh と入射波高 λ および波力係数の関係を示す.水位差 Δh が増加するにつれ入射波高 λ が増加するが,砕波限界を超えると入射波高 λ の増加率が低下する.衝突波力は砕波後の波力係数 $1.5 \sim 2.2$ 程度であるのに対し,直前砕波の波力係数は $3.5 \sim 4.0$ 程度と高く,衝撃的な波力が作用する.一般に砕波後の波圧の作用時間は比較的長い,が,衝撃砕波圧の作用時間は,図-5の衝撃砕波圧分布の時刻歴に示すように, $10/1000\text{sec}$ 程度と極めて短い.これ以降,堤防の安定性を議論するため,堤防に及ぼす波力の大きさを,波力係数ではなく砕波波力と堤防自重の比(r)で表す.

3.実験結果

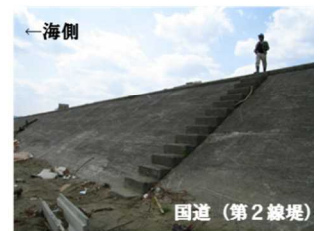
新型式堤防はブロック間の連結および盛土への定着を図ることにより,堤防自重を下回る砕波の波に対してブロックの巻き上げや引き剥がれを防止できた.一方,堤防自重を上回る砕波波力($r=1.0 \sim 1.7$)に対しては,図-6に示すように天端コンクリートや表法肩ブロックに僅かな変位が生じ,ジョイント部材の破損,ブロック間に隙間が生じた.これらの損傷により裏込



(a) 第1線堤および第2線堤の位置図(国土地理院)



(b) 段波衝突時の状況



(d) 第2線堤表法側の損傷状況



(c) 第1線堤の損傷状況



(e) 第2線堤裏法面の損傷状況

図-1 海岸堤防(第1線堤)と国道(第2線堤)の破損状況の比較

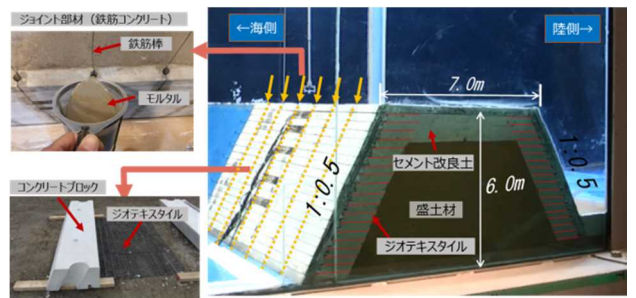


図-2 水理実験に用いた三面一体化堤防モデル(寸法:現地換算)

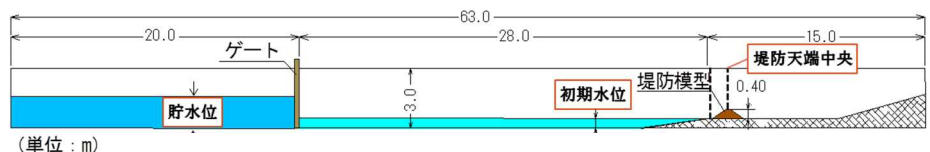


図-3 大型断面二次元水路

キーワード 津波波力, 海岸堤防, 粘り強さ

連絡先 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6 農研機構 農村工学研究所 TEL029-838-7575

め材が吸出され、堤防内部に大きな空洞が発生した。

ブロック背後の裏込め材(幅 1.0m)をセメント改良し、吸出し抵抗力を向上させた場合、図-7 に示すように砕波波力($r=2.0 \sim 7.9$)によって受動的な破壊が生じるが、盛土材の吸出しが抑制され、ブロックが盛土に張り付いた状態を維持した。ただし、図-8 に示すように越流水深が同程度となる入射条件で比べると、堤防の損傷が生じる前では越流開始 18 秒以降で天端コンクリート上面波圧に対する底面波圧の比は半分に抑制されているが、堤防の損傷が累積した後では、越流時間 15.0 秒以降で天端

コンクリート底面波圧は上面波圧とほぼ同程度(波圧比 1.0 程度)まで上昇しており、天端コンクリート底面に波圧が伝達しやすい状態になっていることがわかった。さらに $r=14.0$ の極めて大

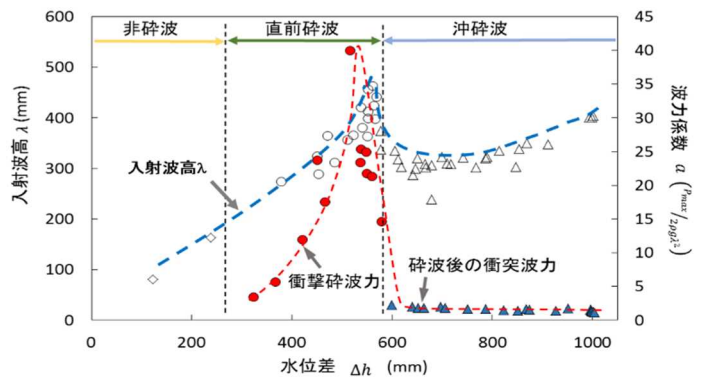


図-4 水位差と入射波高および衝突波力の関係

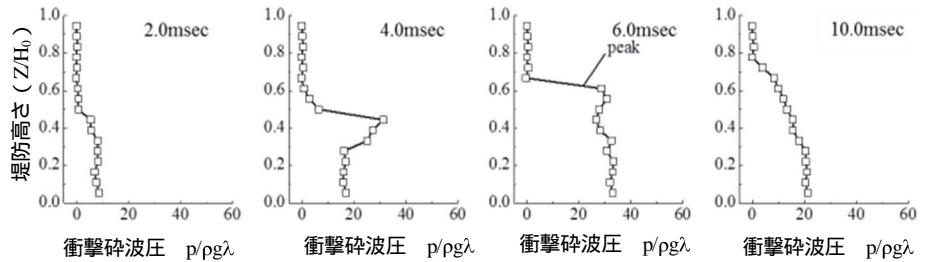


図-5 衝撃砕波圧の時刻歴図

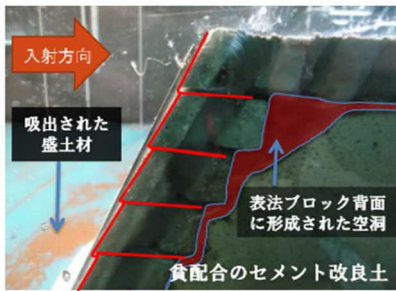
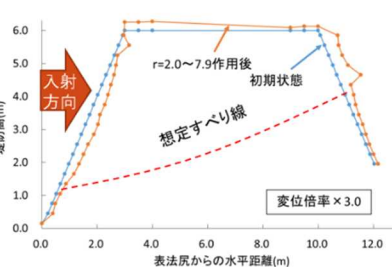
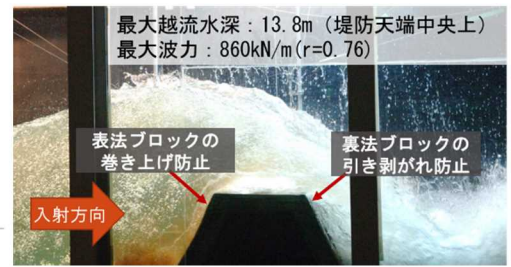


図-6 堤防の損傷に伴う裏込め材の吸い出し



(a) 堤防の変状図



(b) 損傷を受けた堤防の耐久性

図-7 砕波波力による堤防の変状と耐久性

きな砕波波力を作用させると、ブロック間の隙間やジョイント部材の破断やジオテキスタイル敷設面に沿ったクラックなどの損傷が進展し、セメント改良されていない堤防内部の盛土材が大量に吸出された。最終的に図-9 に示すようにブロック背面や天端コンクリート背面に発達した空洞部分に津波が侵入し、堤防内部に発生した揚圧力によって天端コンクリートがめくれ上がった。

4. 考察および結論 砕波後の波力に対しては、ブロックの巻き上げや引き剥がれ防止対策が重要であり、ブロック間の連結や盛土への定着で適切な耐久性を得ることができる。さらに堤防自重を上回る砕波が入射する場合には、一時的に堤防の滑動抵抗力を上回るが、波力の継続時間が 10/1000sec 程度と極めて短いため、1 度に生じる変形量は僅かであった。すなわち、ブロックが盛土に張り付いた状態を維持し、かつ、盛土材の吸出し防止を図ることによって、津波の繰り返し作用による累積損傷を最小限に留め、粘り強さが格段に向上できることがわかった。

謝辞：本研究は復興庁・農林水産庁食料生産地域再生のための先端技術展開事業による補助を受けました。

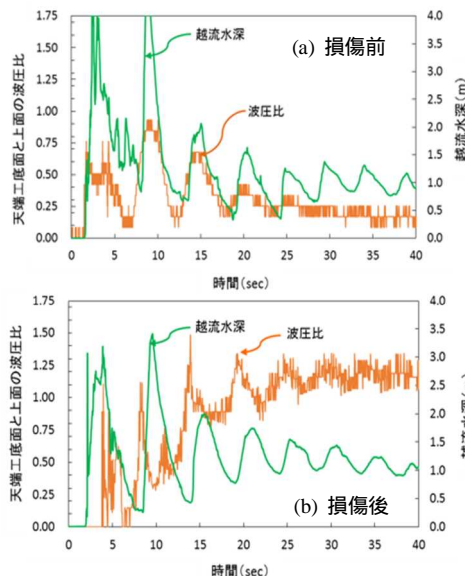


図-8 堤防天端上の越流水深と天端コンクリート上面と底面の波圧比

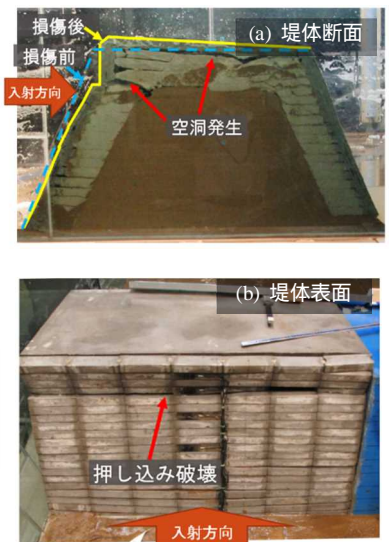


図-9 衝撃砕波力($r=14.0$)による損傷状況