

津波の越流による海岸堤防の破壊メカニズムに関する研究

中尾秀之

指導教員 佐藤慎司 教授

1. 研究の目的 東北地方太平洋沖地震津波では多くの海岸堤防が破壊されたが、天端を越流する津波による堤防の破壊機構を解明することは、粘り強い堤防の具体的な構造を検討するためにも喫緊の課題である。堤防の破壊形態としては洗掘を伴うものが多いが、岩手県田老町や宮古市などでは洗掘を伴わずに裏法部が破壊した事例も多く見られた。本研究では、破壊過程に未解明な部分が多い洗掘を伴わない海岸堤防の破壊機構を解明することを目的とした。

2. 研究内容 (1)浮力による破壊メカニズムの検討: 図1のような2次元水路を用いて、孤立波を様々な堤防模型（コンクリート被覆材と重量を等しくしたアルミニウム板で作成）に作用させて安定性を記録した。現地の海岸堤防は、中詰め砂の経年沈下により被覆材と中詰め砂の間にわずかながらも空気層が出来ていることが多いと考えられるため、空気層の存在を考慮した条件で実験することとした。また、現地の連続堤防の条件を再現するために、水路側壁部から水や空気が侵入しないように側面付きの模型を製作した。その結果、越流して表法先の水位が最大になる時に、裏法側が浮き上がるように不安定になることが観察された。(図2) 海岸堤防を津波が越流する時、特に裏法部に負圧が働き不安定になるものと推定される。

破壊機構を定量的に調べるために、図2の模型中に小型圧力計を入れ、模型の前面に波高計を設置し、表1および図3のような条件で圧力と水位を測定した。Case1の水位と空気圧の時間変化を図4に、6ケースの堤防前面の最大水位と空気圧の最大値の関係を図5に示す。図4より、水位と空気圧の上昇開始位相、ピークがほぼ同じ時刻なので、水圧が地盤を介して内部に伝わっていることが堤防の不安定化の原因であることが確認された。(図6) 被覆材のみのCase1と中詰めを礫としたCase3では、後者の方が空気圧の最大値の方が大きくなっている。これはCase3の方が空気の中詰めの分、体積が小さいので空気が圧縮されやすくなるからである。Case1,2とCase3,4を比べると、内部の空気を解放することが空気圧上昇に対して非常に有効な対策であることが分かる。しかし、堤防内部の空気を解放するためには、津波の水面を超えて高いパイプ等で大気に連結する必要があるため、現実的ではない。Case1とCase6を比べると、本来は洗掘対策である根入れを更に深く施すことが空気圧上昇抑制にも有効であることが確認できた。

(2)遠心力による破壊メカニズムの検討: 越流した流れは裏法上で流線が弧状になり、遠心力による圧力低下が生じると考えられる。法肩部での曲率半径が分かれば遠心力を考慮した法肩の圧力を推定できる。ここで撮影した映像から図7のように法肩部での水表面の曲率半径を求めるとともに、裏法上でPIV手法により流速を推定し、それらを用いて被覆材表面の圧力を推定すると、静水圧の7割程度の圧力低下があることがわかった。法肩部の流れの実際の曲率半径はさらに小さいので、圧力低下もさらに大きく、これも堤防不安定化の支配要因になることが確認された。

3. 主要な結論 (1) 津波が海岸堤防を越流する時、表法先の水圧が砂地盤を介して被覆コンクリートと中詰め砂の間の空気層を圧縮することで、空気層の圧力が上昇する。(2) その対策として、天端から空気を解放する、根入れを施すという2つの対策が有効であると示されたが、根入れが現実的で有効な対策である。(3) 天端から裏法にかけて発達する弧状流れによる、法肩部の圧力低下も堤防の不安定化の要因である。

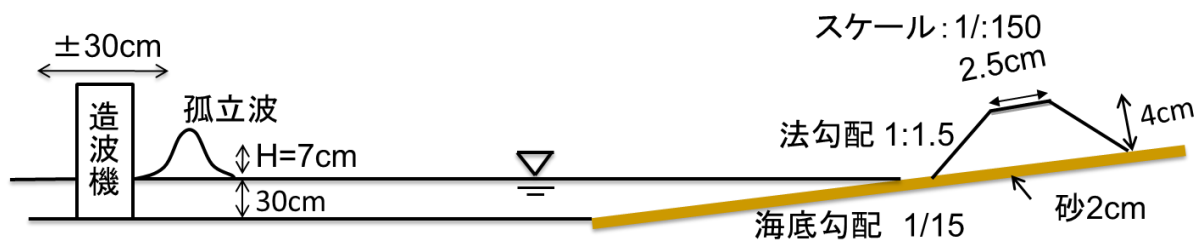


図 1-実験装置

表 1-実験条件

	入射波高	模型の条件
Case1	7cm	模型のみ
Case2	9cm	模型のみ
Case3	7cm	模型の中詰に礫
Case4	7cm	天端から空気を開放
Case5	9cm	天端から空気を開放
Case6	7cm	前面・側面に根入れ

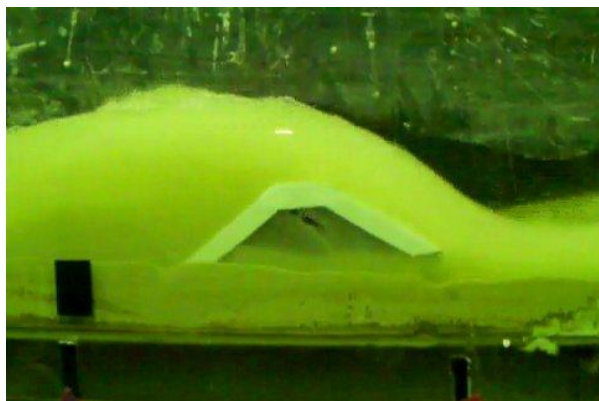


図 2-裏側が浮き上がる様子

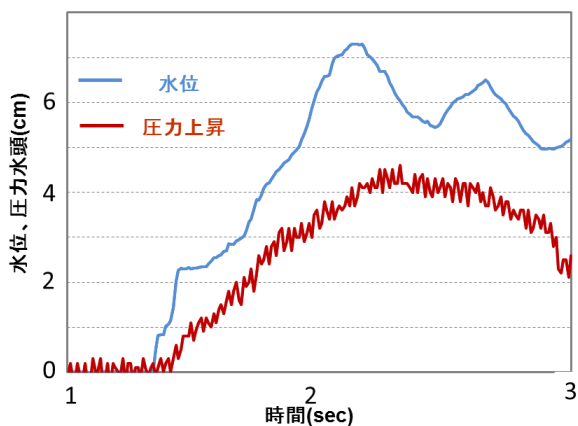


図 4-水位と圧力の時間変化

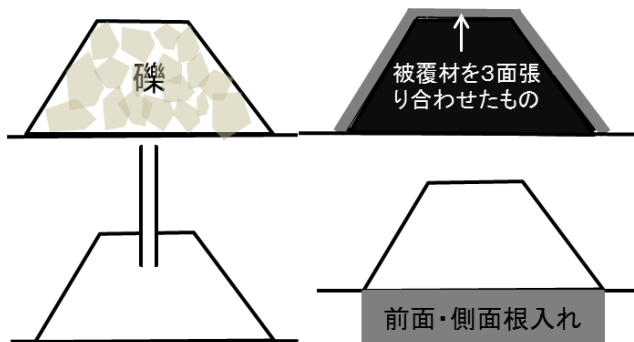


図 3-模型条件

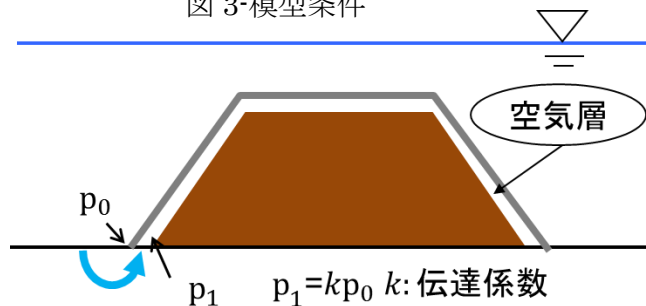


図 6-堤防内部に圧力が伝わる原理

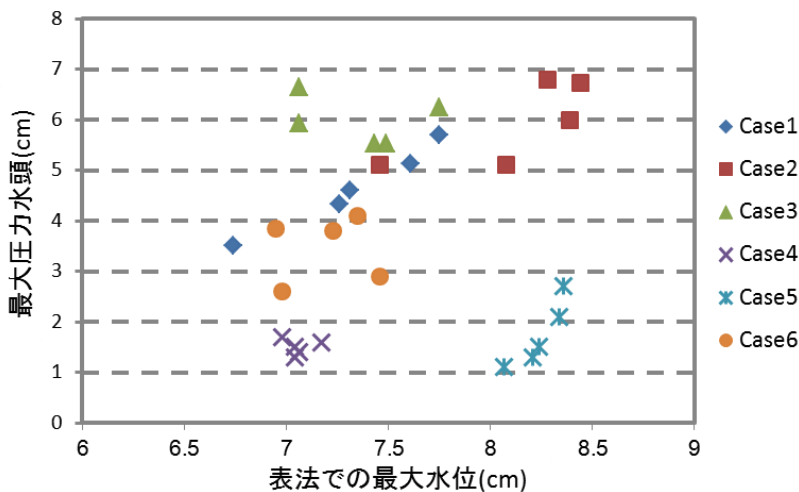


図 5-最大水位と最大圧力水頭の関係

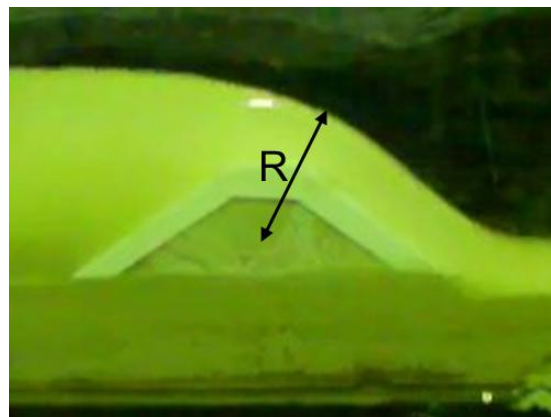


図 7-水表面の曲率半径 R