法先保護工が津波越流による落堀形成の抑制に与える効果について

九州工業大学大学院　学生会員　○船倉　玖彬
九州工業大学大学院　正会員　廣岡　明彦
九州工業大学大学院　正会員　永瀬　英生

1. はじめに

我が国は過去に幾度となく巨大地震と，それに伴う津波によって甚大な被害に見舞われており，被災事例の中に津波の越流によって盛土後背地が洗掘されて生じる「落堀」が多数確認された．盛土下流側法先部の改良が今後の盛土の耐津波対策として重要な復旧ポイントである．現在，国土交通省により提案されている裏法尻の洗掘防止対策として，法先保護などが挙げられているが，これらは被災時の経験則に基づいて設計，施工を行っているのが現状である．そこで本研究は法先保護工に着目し，遠心模型実験装置を用いて擬似津波を発生させ，法先保護工の形状による落堀の発生傾向について知見を得ることを目的として実験を実施した．

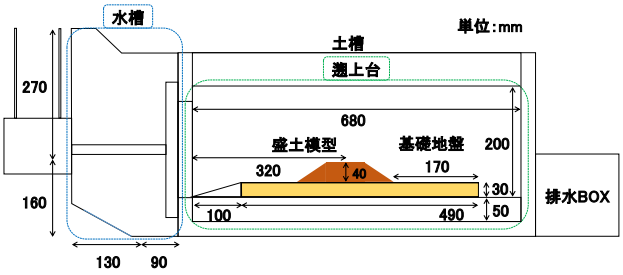

図 1 津波シミュレータシステム

2. 実験方法

本研究では，図 1 に示す津波シミュレータシステムを遠心模型実験装置に搭載し，遠心加速度場 100G において実験を行った．遡上台内部に基礎地盤及び盛土模型を所定の位置に作製し，土槽内部に設置する．その後，遠心模型実験装置運転中に，電磁弁制御のシリンダーにより開閉する吐出口を有した水槽から，遠隔操作により水を放出して擬似津波を発生させることで，擬似津波による盛土模型及び基礎地盤の損傷形態や規模，法先保護工の耐津波性能を観察する．張工，基礎工及び法先保護工は国土交通省による「粘り強い海岸保全施設の構造」として提案されている設計案を基に作製を行い，モデル化して実験を行った．盛土模型は盛土高 4cm，基礎地盤は混合試料と後背地を侵食性の高い豊浦砂で作製したものを使用し，本研究では耐津波対策として全ての実験ケースにおいて盛土法面に張工の設置し，法先保護工は縦の長さ，厚みを表 1 のように組み合わせた計 4 種類を使用し，実験を行った．試料は九州工業大学戸畑キャンパス内で採取したシルトと豊浦砂を乾燥重量においてシルト：豊浦砂＝1：1 になるように混合したものを使用した．

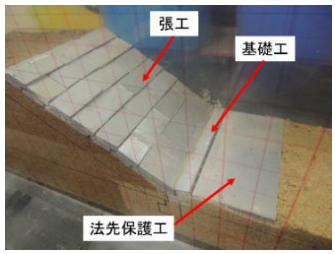

写真 1 実験模型配置

表 1　張工・法先保護工寸法

	縦 (mm)	横 (mm)	厚み (mm)
法先保護工	30	60	2
			3
	50		2
			3
張工	10	10	5
		20	

3. 実験結果及び考察

本実験の実験ケースをまとめたものを表 2 に示す．ここで表中の Pw は法先保護工の縦の長さ，Pt は法先保護工の厚さ，WL は水槽水位(実験値)，Hw は越流水深，V は流速，T は越流時間，B は落堀最大洗掘深，X は落堀幅を示しており，WL を除く数値は遠心加速度(100G)を考慮し，実物換算したものを掲載している．共通の実験条件として盛土高 4cm, 水槽水位 15.5cm, 水槽を制御している空圧シリンダーの制御圧力は 0.5Mpa のもとで行っている．

表 2　実験結果

地盤タイプ	盛土高 (m)	Pw (m)	Pt (m)	WL (cm)	Hw (m)	V (m/s)	T (s)	B (m)	X (m)	法先保護工流失
混合試料＋豊浦砂	4	3	0.2	15.5	4.45	4.80	11.6	1.1	12.5	無
			0.3		4.50	3.60	10.0	1.0	11.0	無
		5	0.2		4.30	4.80	15.0	1.0	11.0	流失
			0.3		5.25	4.25	13.3	1.1	12.0	無
		設置無			4.05	4.32	13.3	1.1	6.50	—

キーワード　遠心力模型実験，津波，盛土，基礎地盤
連絡先　〒804-8550　福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1（九州工業大学）　tel：093-884-3113

法先保護工を設置した case2 と設置しない case5 を比較すると落堀幅が 2 倍近く違うことが分かる．写真 2 に落堀・波形トレースを示す．写真の青の矢印は，波形トレース及び落堀の形状から予測される津波の流向を示したものである．case5 に対して case2 で落堀幅が 2 倍となった主な原因として，法先保護工を設置した場合，津波が法先保護工に衝突することで速度が著しく低下することなく，流向が地盤に対してほぼ水平に変化し，地盤の表面を削るように洗堀したことに対し，法先保護工を設置しない場合では，津波が盛土勾配と等しい角度で法先地盤に衝突し，盛土の近くで深い落堀が形成され，そこで渦が生じエネルギーが失われ，結果として流速が減じたのだと考えられる．

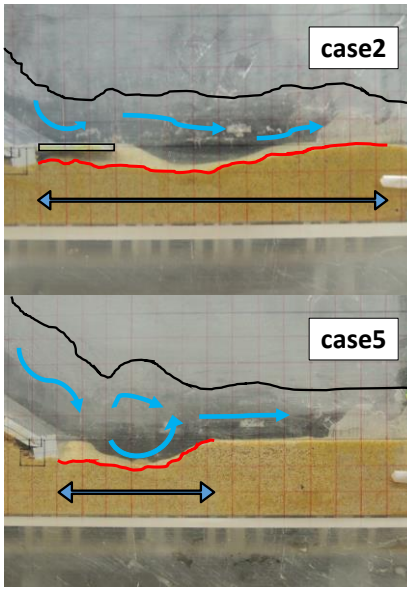

写真 2　落堀・波形トレース

また，本研究において法先保護工を設置していない case5 を除いた全てのケースにおいて盛土本体に損傷が確認できなかった．理由として，写真 3 のように研究目的である法先保護工を設置したことで落堀形成位置を盛土本体から遠ざけることができたことが挙げられる．しかし，法先保護工下部の基礎地盤も洗掘の影響を受けていることから，盛土の安全率が一般的な盛土法面の常時安全率を満たしていても，第 2 波以降の津波により基礎地盤の洗掘が進行し，より大きな落堀が形成され，盛土が崩壊に至る可能性があることを示唆するものである．

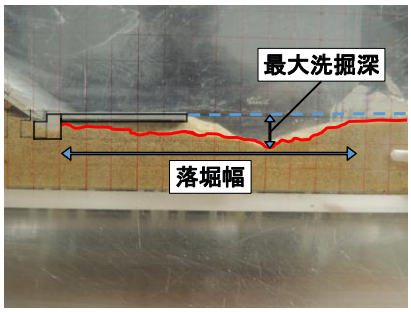

写真 3　case4(実験後)

本実験では，法先保護工は case3 のみ流失した．法先保護工流失の原因は，津波の衝突時に生じる衝撃により法先保護工がずれ，法先保護工と基礎工の隙間に津波が侵入したことで法先保護工に浮力が発生し，この浮力が法先保護工に作用する津波からの抗力と法先保護工の自重を上回ることで流失したと考えられる．そこで，法先保護工に作用する力のつり合いの関係から保護工限界流速判定式を導出し(式 1)，法先保護工の限界流速を算出した結果を表 3 に示す．なお表中の M は法先保護工の重量(模型換算)，Vpl は保護工限界流速，V は流速を示す．表 3 より，case1，case3 においては V が Vpl を上回っており，case4 においては，V は Vpl と同程度であることが分かる．また，case3 の保護工限界流速が 1 番小さく，流失の可能性が大きい．case1 を基準として，厚さのみ大きくした case2 と表面積のみ大きくした case3 に注目すると，両ケースとも case1 に比べ重量は増加しているが，保護工限界流速値は case3 の方が小さく，このケースは実際に法先保護工が流失した．case3 の法先保護工は表面積が大きいため，法先保護工がずれ津波が侵入したことで生じる浮力も大きくなり，流失したと考えられる．また，法先保護工が少しでも浮き上がると，津波による抗力を受ける面積が大きくなってしまうため，算出した限界流速に関係なく流失してしまう可能性も少なくない．

$$V_{pl} = \sqrt{\frac{2W}{\rho A\left(1-\frac{A'}{A}C_d \sin\theta\right)}} \quad \cdots(式\ 1)$$

表 3 保護工限界流速算出結果

case	Pw (m)	Pt (m)	M (g)	V_{pl} (m/s)	V (m/s)
1	3	0.2	9.6	3.6	4.8
2		0.3	14.5	4.3	3.6
3	5	0.2	16	3.3	4.8
4		0.3	24.1	4.2	4.2

4. まとめ・今後の課題

法先保護工を基礎地盤に施したことで落堀形成位置を盛土から遠ざけることができ，法先保護工の有用性は十分確認できた．越流時間・越流水深が増大するとより大きな落堀が形成される傾向があり，法先保護工を設置しなかった場合や流失した場合は盛土法尻部付近での落堀形成により盛土が損傷及び崩壊する可能性がある．法先保護工に作用する力のつり合いの関係から保護工限界流速判定式を導出することができたが，最適な寸法については実験ケースを増やし，比較・検討する必要性がある．