

津波が異なる土質材料で構築された盛土及び基礎地盤に与える影響について

九州工業大学大学院 学生会員 ○副島真一 船倉玖彬
九州工業大学大学院 正会員 廣岡明彦 永瀬英生

1. はじめに

日本の観測史上最大のマグニチュード規模を記録した 2011 年の東北太平洋沖地震の被災事例の中には、設計対象の津波高を超える津波が盛土構造物を越流することで盛土後背地を洗掘し、「落堀」を形成し盛土構造物の損傷や崩壊といった被害が多数報告されている。盛土構造物の耐津波対策を行っていく上で、盛土後背地と盛土構造物の関係性について知見を得ることは重要な課題であるが、土質材料や盛土高、形状など盛土の多様性を取り上げてみても未だ知見は十分ではない。そこで本研究では、盛土を構築する土質材料に着目し、津波シミュレータにより発生させた擬似津波が異なる土質材料で構築した盛土に与える損傷や落堀形成に与える影響について知見を得ることを目的とし、遠心模型実験を行った。

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内に設置し、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、擬似津波による基礎地盤および盛土模型の損傷の形態や規模を観察する。

盛土模型は全長 20cm、幅 6cm、高さ 4cm で法面勾配 1:1.5 の台形盛土を使用した。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=1：0.5、1：1、1：4 になるように混合した試料を 3 種類用意し、盛土作製に使用した。各混合試料の物理力学特性を表-1 に示す。基礎地盤は、配合比の混合試料と盛土後背地を浸食性の高い豊浦砂で作製した全長 49cm、高さ 3cm、幅 6cm のものを使用した。

3. 実験結果及び考察

本研究では、盛土の土質材料、水槽水位を変えて、合計 5 ケースの実験を行った。本実験の実験ケース・結果をまとめたものを表-2 に示す。ここで、WL は水槽水位(実験値)、Hw は越流時間、V は先端流速、T は越流時間、P は平均すべり高割合(実験前の盛土高さ h に対する実験後の盛土模型法面の平均すべり高さ h_{mean} との割合)、B は落堀の最大洗掘深さ、X は落堀幅をそれぞれ示しており、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。また、共通の実験条件として模型盛土高は 4cm、空圧シリンダーの制御圧力は 0.5MPa のもとで行っている。

混合試料 1：0.5 で作製した case1 は、津波越流による下流側、上流側ともに盛土両法面の損傷は確認できなかった。混合試料 1：1 で作製した case2 と case3 については津波が越流することで盛土の下流側法面の

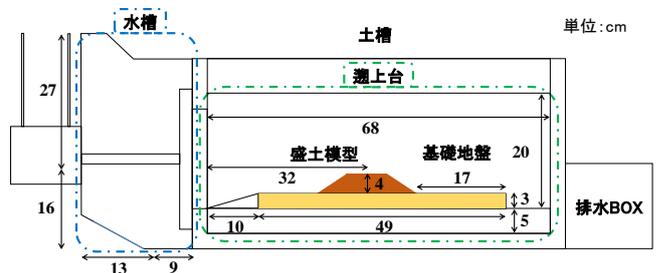


図-1 津波シミュレータシステム

表-1 各混合試料の強度定数

	シルト:豊浦砂		
	1:0.5	1:1	1:4
最適含水比(%)	19.89	15.25	13.00
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.675	1.805	1.750
粘着力(kN/m ²)	—	21.66	—
内部摩擦角(°)	—	26.58	—
透水係数(cm/s)	9.240 × 10 ⁻⁵	4.961 × 10 ⁻⁴	1.200 × 10 ⁻³

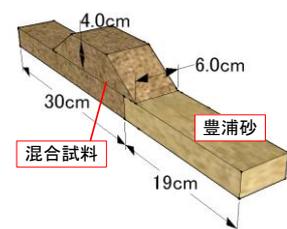


図-2 盛土・基礎地盤模型寸法

部分破壊、混合試料 1 : 4 で作製した case4 と case5 については、盛土が全面的に崩壊しているのが確認できる(写真-1)。これは、混合試料の豊浦砂の割合が高くなることで、透水性が高くなっていることが要因であると考えられる。よって、不飽和土の間隙圧は通常、負圧であるが、越流した津波が盛土内に浸透することで負圧が解消されて強度が低下したために短い越流時間で盛土が損傷したと考えられる。

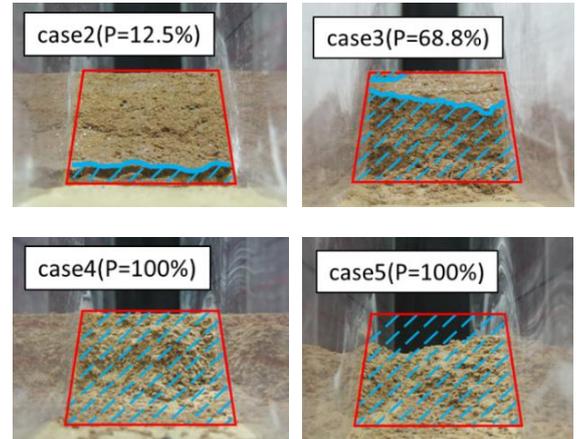
水槽水位を高く設定した case3 と case5 は他 3 ケースに比べて、流速、越流水深、越流時間が増大し、最大洗掘深が大きくなり落堀スケールが増大する傾向があることが確認できる。混合試料 1 : 1 で作製した case2、case3 は、混合試料 1 : 4 で作製した case4、case5 に比べると落堀幅が小さくなっている。これは case2、case3 において、津波越流時に盛土の損傷が少なく、津波が盛土勾配と等しい角度で法先地盤に衝突し、落堀が形成され、そこでエネルギーが失われた結果、流速が減じたためだと考えられる。一方、混合試料 1 : 4 で作製した case4、case5 では、同様に津波により法尻付近の基礎地盤に落堀が形成されたが、津波越流の時間が経過するとともに盛土が崩れていき、落堀部に盛土材が流れ込み、擬似津波の流れが水平方向に近い向きに変わり、落堀幅が大きくなったと考えられる。図-4 より、混合試料の砂分の割合が多くなることで津波越流時の盛土損傷、平均すべり高割合が大きくなり、それに伴い落堀幅が大きくなっていることがわかる。よって、落堀幅と下流側法面の損傷程度はほぼ比例関係にあると考えられる。以上より、土質材料の細粒分割が高い盛土は、津波越流時に落堀ができた後に盛土の損傷に与える影響は少ないが、砂分が多くなると、一度法尻付近にできた落堀から法尻、法面、天端へと損傷し、さらに落堀スケールも大きくなると考えられる。

4. まとめ

本研究より、越流時間・越流水深が増大すると落堀のスケールも増大する傾向があり、盛土の下流側法尻付近での落堀形成により盛土の損傷および崩壊へと繋がるのがわかった。また、砂分の割合が高い土質試料で作製された盛土は、津波越流により瞬時に崩壊する可能性があり、落堀スケールの増大にも繋がるので、耐津波性能は低いと言える。盛土損傷と落堀形成の関係については、実験データが十分でないため、今後実験ケースを増やして検討を行っていく必要がある。

表-2 実験ケース・結果

case	混合試料 シルト:豊浦砂	WL	Hw	V	T	P	B	X
		(cm)	(m)	(m/s)	(s)	(%)	(m)	(m)
1	1 : 0.5	15.5	2.68	3.59	11.7	0.0	1.55	4.45
2	1 : 1	15.5	4.29	4.19	11.7	12.5	1.45	5.45
3		18.5	5.13	5.38	15.0	68.8	3.00	5.72
4	1 : 4	15.5	3.85	4.79	11.7	100	1.50	8.00
5		18.5	4.55	5.68	15.0	100	2.56	8.50



※case1 は損傷なし

写真-1 下流側法面の損傷

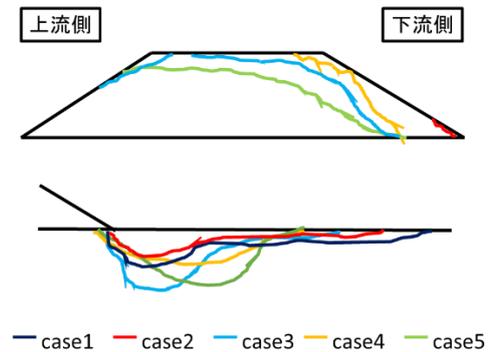


図-3 盛土の損傷および落堀形状

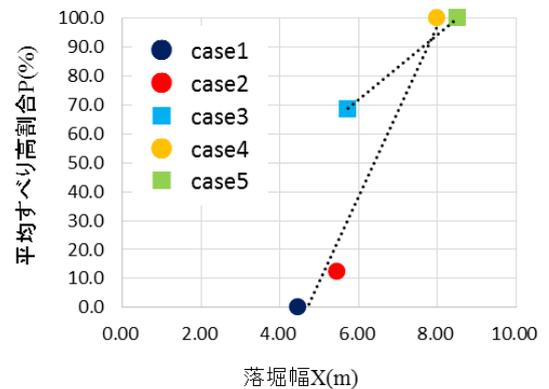


図-4 平均すべり高割合ー落堀幅の関係

今後実験ケースを増やして検討を行っていく必要がある。