

津波により盛土のり面周辺に作用する揚圧力の評価

津波 盛土 水理実験

鉄道総合技術研究所 正○野中隆博, 国 渡辺健治, 正 松浦光佑, 正 工藤敦弘  
農研機構 農村工学研究所 国 毛利栄征, 正 松島健一  
複合技術研究所 国 田村幸彦, 正 飯島正敏

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震においては、地震による津波により海岸沿いの堤防や鉄道盛土等が甚大な被害を受けた。筆者らは、このような津波による盛土被害を軽減するために津波に対して粘り強い抵抗を示す盛土構造の開発を行っている。その一部として、農村工学研究所が所有する大規模な津波発生装置を用いた水理模型実験を実施し、津波による盛土への作用力に対する波高、波形および盛土勾配等の影響について検討を行った。本論文では、この水理模型実験により得られた津波による盛土への作用力のうち、津波越流時に山側のり肩部に発生する負圧と、波高・波形・流速等の関係に着目した結果について述べる。

2. 実験装置, 実験ケースについて

水理模型実験は幅 2m の水路内に高さ 40cm の盛土模型を設置し、水路端部に設置されたゲートの開閉により発生した波を盛土に作用させ、盛土模型に作用する水圧・せん断力を計測し、また、画像解析により波の流速分布、波形等の確認を行った。盛土模型は作用力の計測を主眼と考え鋼製の剛体模型とし、のり面勾配の違いによる影響を確認するため 1 割勾配、5 分勾配の 2 種類を用いた。模型、計測機器等の水理模型実験の詳細については文献 1) を参照されたい。

実験においては前浜水位、ゲート内水位の組合せにより波高、波形を変えた波を作用させた。図 2.1 に実験概要図を、表 2.1 に実験に用いた組合せを示す。

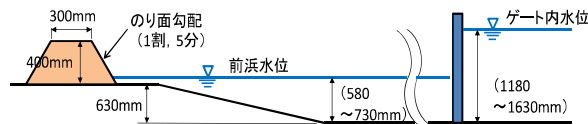


図 2.1 水理模型実験概要図

表 2.1 水理模型実験水位組合せ

試番	前浜水位	ゲート内水位	盛土到達時の波形
1	580	1180	碎波
2	580	1280	碎波
3	630	1180	非碎波
4	630	1280	碎波
5	630	1480	碎波
6	730	1280	非碎波
7	730	1480	碎波
8	730	1630	碎波

3. 実験施設, 実験ケースについて

3.1 越流時ののり肩部の負圧

圧力計の設置は、負圧が最も発生すると考えられる山側のり面上部に密に配置した。のり面勾配 1 割の圧力計位置と、計測結果例として 1 割勾配の試番 7 (前浜 730mm, ゲート内 1480mm) の時の水圧の経時変化を図 3.1 に示す。図 3.1 よりりのり肩付近で最大 3kPa 程度の負圧が発生していることが確認される。他の試番においても負圧の発生範囲については同様に、のり肩から盛土高さの 1/3~1/4 程度の範囲で発生していることが確認された。

全ての試番における負圧の発生状況とのり面勾配、波高、波形等の関係から、のり肩部の負圧の発生パターンとして、重複波によるもの、山側のり面を遡上した波によるもの、定常流によるものの 3 つのパターンが確認された。以下、それぞれの負圧の発生状況について示す。

3.2 重複波による負圧

重複波とは盛土に到達した波が盛土に反射され、その反射波と入射波が重なり合い、波高の高い波が繰り返して発生する状況を意味している。重複波による負圧は、のり面勾配の緩い 1 割勾配の盛土模型において主に確認され、その値は一時的なものである。

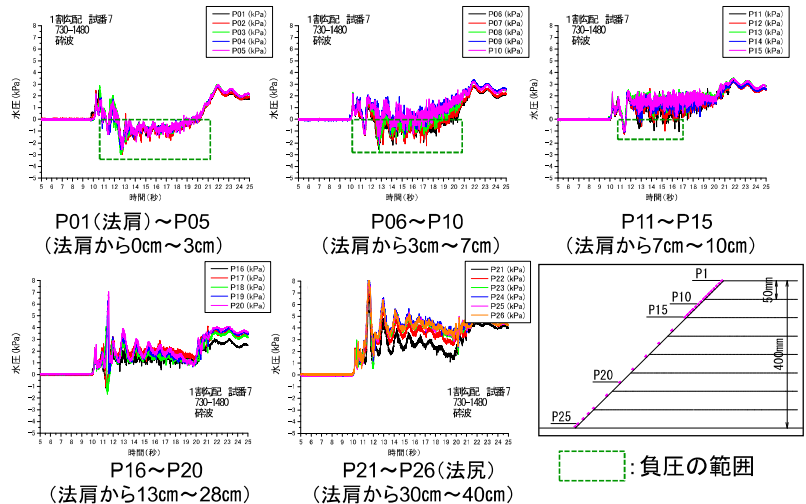


図 3.1 山側のり面の水圧の経時変化と圧力計の位置

Evaluation of uplift pressure around embankment slope induced by overtopping flow of Tsunami: NONAKA Takahiro, WATANABE Kenji, MATSUURA Kousuke, KUDO Atsuhiko (Railway Technical Research Institute), MOHRI Yoshiyuki, MATSUSHIMA Kenichi (National Institute for Rural Engineering), TAMURA Yukihiro, IJIMA Masatoshi (Integrated Geotechnology Institute Limited)

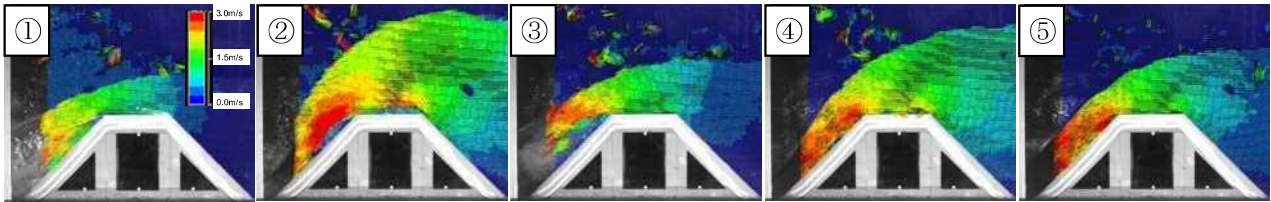


図 3.2 流速分布図 (図中の番号は図 3.3 の番号と対応)

重複波による負圧の発生要因を確認するために画像解析による流速と負圧の関係について確認を行った。図 3.2 に 1 割勾配の試番 7 の流速分布図を、図 3.3 に山側のり肩付近の流速とのり肩部水圧 (図 3.1 測点 P01) の経時変化を、図 3.4 に流速の計測点を示す。

図 3.2、図 3.3 より、負圧が確認される②、④の時点は、重複波により波高が高くなった直後に波が前方に押し出される状況であることが確認され、その際にのり肩付近の流速が増加していることが確認される。また、負圧と流速の関係をみると、流速が増加する過程において負圧が発生していることが確認され、波の流速の緩急により負圧が発生することが確認された。

### 3.3 山側のり面を遡上した波による負圧

5 分勾配の実験において、盛土を越流した波が、盛土背面側の支持地盤面上で跳ね返り、山側のり面を遡上し、遡上した波と越流した波がぶつかり、遡上した波がのり面から離れる際に負圧が確認された。しかしながら、その値は一時的なものであり、重複波によるものと比較し、その値は最大 1.5kPa 程度と小さいものであった。

### 3.4 定常流による負圧

前浜水位、ゲート内水位がともに高く、水量が多い試番において、重複波がおさまった後、越流が定常流になった際に負圧が確認された。図 3.2 (⑤) に定常流時の流速分布図を示す。図 3.3 より、2.5m/s 程度の一定速度で越流している 6~7 秒の間、のり肩付近は常に 1kPa 程度の負圧が発生していることが確認された。18 秒以降、水圧が上昇するのは、盛土背面側の水路に水が貯まってしまったためであり、同量の水が継続されれば、その間、常に負圧が発生している状況にあるものと考えられる。

### 3.5 負圧発生時の流速について

負圧の発生時点 (②、④、⑤) の海・山のり肩部 (図 3.4) における平均流速・水深 (模型天端からの波高)・フルード数を表 3.1 に示す。全ての時点で、山側のり肩付近が射流状態 ( $Fr > 1$ ) にあり、その流速によりのり肩部に負圧が発生していると考えられる。

## 4. まとめ

本実験により得られた知見の中で、津波に対して粘り強い盛土構造を開発していく上で重要な項目として、①重複波による負圧は値が大きく、一時的なものであること、②定常流の流れにおいては長時間、負圧が発生し続けることが挙げられる。特に、②については、負圧だけではなく、継続した越流による盛土の侵食による影響も考慮した対策の検討が必要であると考えられる。本実験では、短期の定常流しか再現できておらず、盛土体も剛体を用いているため、長時間の越流に対する盛土の抵抗特性の確認実験が必要であると考えられる。今後は、盛土支持地盤、盛土構造を模擬した長時間の越流実験が可能な実験装置を用い模型実験を行い、津波に対して粘り強い盛土構造について検討を行っていく予定である。

また、本論文においては、主にのり肩付近に発生する負圧に着目したが、盛土構造全体の津波抵抗性を向上させるためには、盛土自体の耐震性能の向上、海側のり面に生じる衝撃波・越流による盛土内への浸水・背面側支持地盤面の越流による洗堀等に対する対策も必要である。本実験では、海側のり面の水圧、背面側支持地盤面の水圧等の計測も行っていることから、これらの結果については別途報告したいと考える。

### <参考文献>

1) 飯島正敏, 渡辺健治, 野中隆博, 松浦光佑, 工藤敦弘, 毛利栄征, 松島健一, 田村幸彦: 勾配の異なる剛体盛土模型に作用する衝撃波圧に関する津波実験, 第 49 回地盤工学会研究発表会, 2014.7 (投稿中)

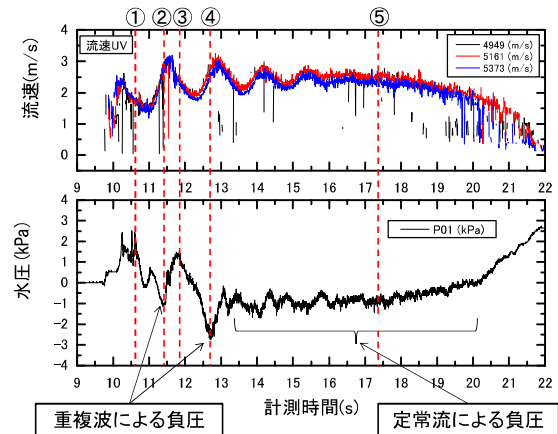


図 3.3 流速と水圧の経時変化

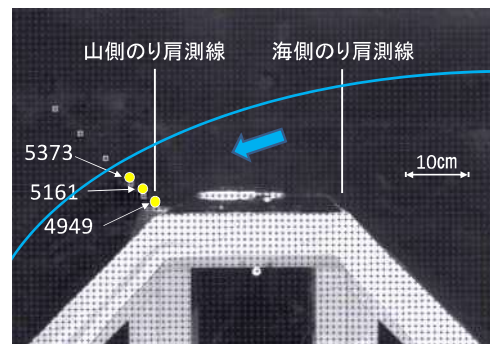


図 3.4 流速計測点およびフルード数算定測線

表 3.1 流速とフルード数

測定時点	測線位置	流速* (m/s)	水深 (m)	フルード数( $Fr$ )	
②	海側のり肩	1.799	0.45	0.856	常流
	山側のり肩	2.231	0.29	1.323	射流
④	海側のり肩	1.529	0.34	0.837	常流
	山側のり肩	2.137	0.20	1.526	射流
⑤	海側のり肩	1.173	0.25	0.749	常流
	山側のり肩	1.904	0.16	1.520	射流

\*流速は各測線上の 1 cm おきの測点における平均値