

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

津波 盛土 水理実験

複合技術研究所

正 ○飯島正敏 国 田村幸彦

鉄道総合技術研究所

国 渡辺健治 正 野中隆博

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

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震においては、地震により津波が発生し、海岸沿いの堤防や鉄道盛土等に甚大な被害を及ぼした。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、津波の作用力に対して粘り強く抵抗する盛土構造の開発を行っている。その一環として、勾配の異なる剛体盛土模型に対する水理実験を行い、盛土勾配、波高および波形が津波による作用力や流速に与える影響を検討した。本実験では、法面への作用力を模型内部に内蔵した 2 方向ロードセルで計測し、流速を高速カメラを用いた画像解析により求めた。本論文では、実験概要ならびに津波が法面に与える作用力のうち、海側法面に作用する衝撃波圧について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験装置・模型仕様

実験装置は、農村工学研究所の所有する奥行き 2.0m の造波水路実験施設を使用した。使用した水路の延長（約 60m）には、図 1 に示すようにゲートが設けてあり、前浜水位とゲート内水位を調整することで発生させる津波の波形を変化させることができる構造となっている。

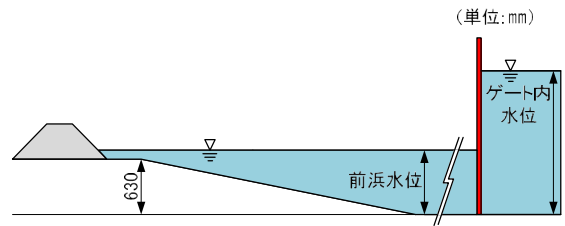


図 1 実験装置概要

実験に使用した盛土模型は、模型に作用する衝撃波圧を損失なく計測することを目的としたため、模型本体の変形ならびに滑動を抑制した剛体構造とした。模型の法面勾配は、法面勾配の違いによる衝撃波圧への影響を確認するため、1 割勾配と 5 分勾配の 2 種類とした。なお、模型の外寸は、高さ 400 mm、天端幅 300 mm、奥行き 2,000 mm である。写真 1 は、水路内に設置した模型の全景を示したものである。

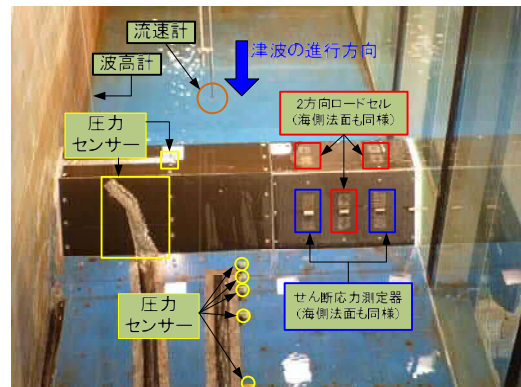


写真 1 模型全景

2.2 実験条件

実験条件は、表 1 に示すように前浜水位とゲート内水位を組み合わせた合計 8 パターンとし、盛土模型に与える波高と波形を変化させた。

表 1 実験条件一覧

	前浜水位	ゲート内水位	模型到達時の波形
1	580	1180	砕波
2	580	1280	砕波
3	630	1180	非砕波
4	630	1280	砕波
5	630	1480	砕波
6	730	1280	非砕波
7	730	1480	砕波
8	730	1630	砕波

2.3 計測方法

本実験では、津波により盛土模型が受ける作用力（衝撃波圧、揚圧力、遡上力）を把握することを目的としたため、2 方向ロードセル、せん断応力測定器および市販の圧力センサーを使用した。2 方向ロードセルとせん断応力測定器に関しては、法面壁面部に内蔵可能な構造としており、各計測器に取り付けた受圧板（50 mm×50 mm）に作用した水圧の計測を行った（写真 2）。なお、受圧板は、計測器内部への水の流入を防ぐため、2 枚構造となっており、内側と外側の受圧板の境界に厚さ 0.2 mm のシリコンゴムシートを設置した。また、2 方向ロードセルとは別に、波圧を多数点で計測するために小型圧力センサーを模型法面に多数点直接張り付けた（写真 2）。

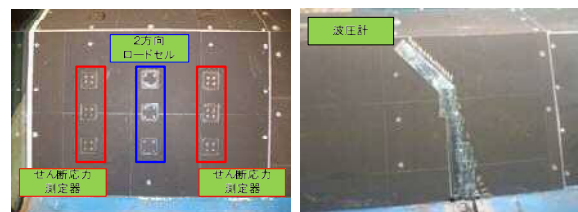


写真 2 計測器設置状況

津波・越流時の流速は、盛土模型周辺の流速分布を測定するために、水槽正面に高速カメラ（解像度：2352×1728、サン

Hydraulic model test on impact wave force induced by tsunami acting on rigid embankment having different slope inclination : Masatoshi IJIMA, Yukihiro TAMURA (Integrated Geotechnology Institute Limited), Kenji WATANABE, Takahiro NONAKA, Kousuke MATSUURA, Atsuhiko KUDO (Railway Technical Research Institute), Yoshiyuki MOHRI, Kenichi MATSUSHIMA (National Institute for Rural Engineering)

プリング周波数：150Hz)を設置した。水中にはトレーサーとして、事前にイオン交換樹脂(形状：球形、直径：0.25mm、比重：1.01)を混入させ、さらに津波到達後にも水槽上部からイオン交換樹脂を追加し、PIVによる流速分布を測定した(写真3)。なお、撮影時のレンズ絞り値は、3.5~4.0、露光時間2000 μ secである。

以上の計測システムにより、津波による波圧(応力場)と盛土周辺の流速分布(速度場)の同時計測が可能となった。

3. 津波が海側法面に作用する衝撃波圧

本論文では、実験を行った8パターンの条件のうち、前浜水位630mm、ゲート内水位1,180mm(非碎波)と前浜水位630mm、ゲート内水位1,480mm(碎波)の2つの条件で実施した結果を基に、海側法面に作用する衝撃波圧に関して報告する。なお、盛土法面周辺に作用する揚圧力の評価に関しては、参考文献1)を参照されたい。

3.1 衝撃波圧作用時の直応力

図2は、海側法面に衝撃波圧が作用した時の直応力を波形別に示したものである。同図より、波形が非碎波の場合は、瞬間的ではあるが大きな衝撃波圧が作用し、特に急勾配の場合に顕著であり、最大で静水圧の25倍程度の波圧が計測された。さらに、衝撃波圧が発生した後、瞬間的に負の圧力が法面に生じる傾向もみられた。一方、波形が碎波した場合には、非碎波と比較して直応力の最大値が1/20程度に留まり、負の圧力も生じなかった。

3.2 衝撃波圧作用時のせん断応力

図3は、海側法面に衝撃波圧が作用した時のせん断応力を波形別に示したものである。同図より、非碎波の場合、のり面上に向かって直応力の1/8程度のせん断力が作用しており、法面勾配の違いによる優位な差がないことが分かる。

3.3 衝撃波圧作用後の海側法面水圧分布

図4は、衝撃波圧が作用した後の海側法面に作用する水圧を波形別に示したものである。同図には、水位計の測定値から算出した静水圧を併記している。得られた直応力と静水圧算定値を比較すると、衝撃波圧作用後は、概ね静水圧相当の直応力しか作用せず、法面勾配の違いによる影響もみられなかった。

4. まとめ

本論文では、剛体盛土模型を使用した津波実験を行い、津波により海側のり面に作用する波圧について報告した。実験では模型に2方向ロードセル等を内蔵することにより波圧の直応力・せん断応力成分を評価し、さらに高速度カメラを用いた画像解析を同時に適用することにより、波圧が発生したメカニズムを詳細に把握するシステムを構築することができた。

その結果、津波により海側法面に作用する衝撃波圧に関しては、法面勾配の影響だけでなく、波形(=津波の発生条件)の影響を大きく受けることが分かった。今後は、支持地盤や盛土の諸元を考慮し、津波に対して粘り強い盛土構造に関する検討を行う予定である。

参考文献

1) 野中隆博, 渡辺健治, 松浦光佑, 工藤敦弘, 毛利栄征, 松島健一, 田村幸彦, 飯島正敏: 津波により盛土のり面周辺に作用する揚圧力の評価, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.7 (投稿中)



写真3 画像解析による流速分布測定結果

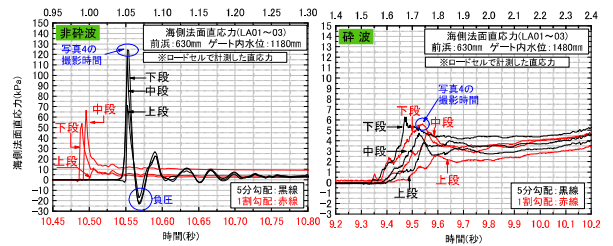


図2 海側法面の衝撃波圧作用時の直応力比較

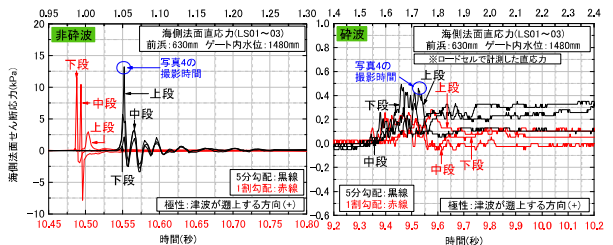


図3 海側法面の衝撃波圧作用時のせん断応力比較

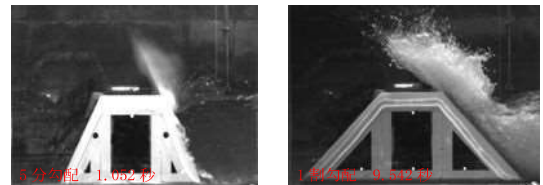


写真4 衝撃波圧作用時の状況

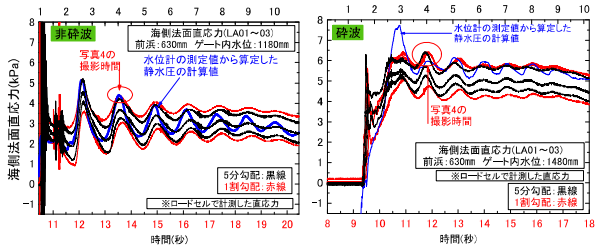


図4 海側法面衝撃波圧作用後の水圧分布



写真5 衝撃波圧作用後の状況