

津波の波力に関する研究*

八戸工業大学工学部土木建築工学科 佐々木 麻衣

八戸工業大学工学部土木建築工学科 佐々木 幹夫

1. 緒言

6年前の東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）による津波は防波堤や防潮堤等多くの海岸構造物や建物を破壊している。岩手県宮古市の北にある接待川では河口に建設されていた高さ13.7mの鉄筋コンクリート製の防潮堤を一瞬に破断し、長さ11m、高4m、厚さ2m、重さ511トンのコンクリート塊を670m上流に運び上げている。津波衝突時の破壊力や津波の掃流力については未解明な部分が多く解明すべき点が多く残っている。本研究では、このような津波の波力を解明することを最終目的にしている。そのための第1歩として津波衝突時の波力について橋の上におかれた物体に作用する波力を模型実験により検討してみた。

2. 実験装置および実験方法

図1に本実験で使用した実験水槽を示した。ゲートをはさんで左側を貯水槽、右側を津波観測水槽（定水層）とし、ゲートを開放することによって貯水槽側から津波観測水槽に津波が伝播する仕組みである。物体はゲートから5mの位置におかれ、水面からの高さは5cmとしている。本実験では10通りの津波を発生させている。幅60cmの実験水層は津波観測水路側（図1定水層）が2つに仕切られており、一方を津波観測水路としてゲートから5mの位置に橋を置きその上に波力測定用の物体を置き、橋の前後に波高計を設置している。反対側の水路には何も置かず津波が伝搬するだけの水路としており、この水路には橋と同じ位置に流速計を設置し、水平流速と鉛直流速を測定している。

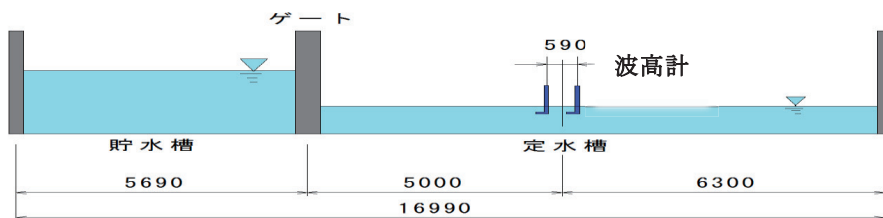


図1 本実験で用いた実験水槽側面図

本実験水槽では図1に示した貯水槽と定水層の水位差で発生する津波の大きさを調整している。本実験では両水槽の水位差が最大で27.6cm、最小で4cmで津波を起こすことが可能で、橋の前の波高は最大で17.4cm（平均10.9cm）、最小で4.1cm（平均2.1cm）、最大流速105.7cm/s

*Study on wave force of Tsunami by Mai Sasaki and Mikio Sasaki

(平均 57cm/s)、最小流速 26.8cm/s (平均 14.6cm/s)、フルード数 Fr の最大は 2.85、最小が 1.9 の津波を起こすことができる(村岡・佐々木 (2016))。ここに、フルード数 Fr は $Fr=c/\sqrt{gh}$ 、 h は定水層の水深、 c は 2 つの波高計の設置間隔 L (図 1、 $L=590$ mm) を通過時間 t で

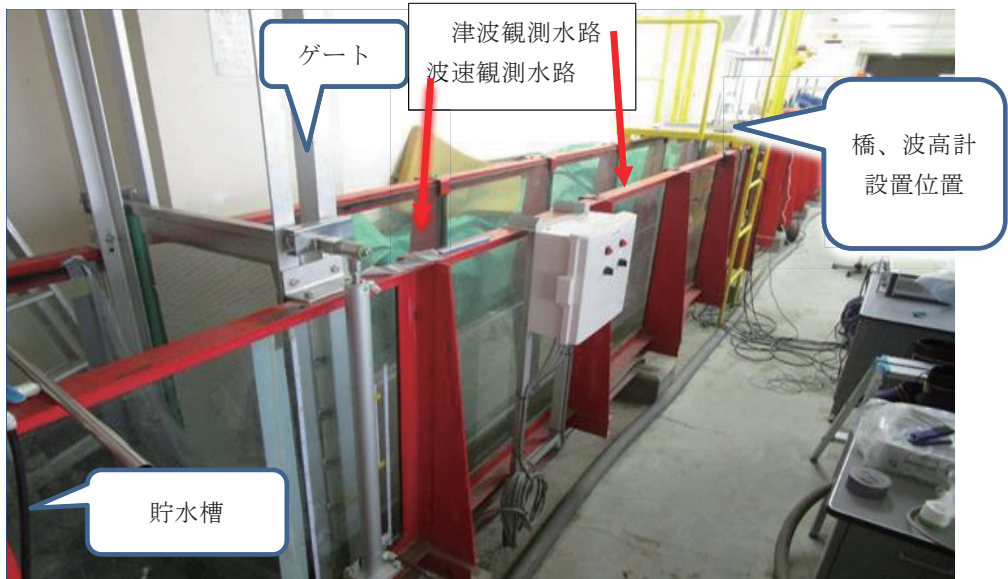


図 2 実験水層 (全体) 手前側から貯水槽、ゲート、定水層が配置されている。定水層は幅 30 cm の水層に仕切られている。右側の津波観測水路と左側の波速観測水路。

除した $c=L/t$ より求めた波速である。

図 2 に本実験水槽の全体を示した。定水層は前述のように幅 30 cm の水層に仕切られており、津波観測水路と波速観測水路の 2 つの水層となっている。



図 3 橋の上の物体を模型化したコンクリート塊。辺長 1 cm から 10 cm の立方体。

3. 実験方法

橋の上に置かれた物体を立方体のコンクリートブロックで見立てこのブロックに作用する津波波力を測定している。橋の上の物体は辺長が 1 cm ~ 10 cm よりなる 10 種類のコンクリート塊より構成した。図 3 に本実験で用いたコンクリート塊を示した。

橋の上におかれた物体の移動はこのサイズで観測できたが波力の測定は 3 cm より小さくなると測定が困難になることから波力の測定では辺長 3, 5, 7 cm のコンク

表1 ブロックの特性

	ブロック 3	ブロック 5	ブロック 7
一辺の長さ (cm)	3	5	7
重量 (g)	61	276	735
密度 (g/cm ³)	2.26	2.2	2.14

リート塊を用いて実験をおこなった。これらブロックの特性は表1に示すとおりである。

橋は当初図5に示すプラスチック製の橋桁つき橋梁を用いたが津波衝突時に動くため(図6)に、図7に示すような橋に簡略化してこれに固定棒をつけて(図8)、津波衝突時に動かないようにして波力の測定を行っている。

図7に示した橋の中央部左の突出部



図5 橋の模型(改良前)

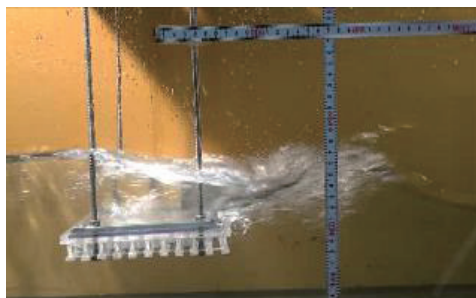


図6 津波衝突後の橋の様子



図7 改良後の橋の模型



図8 橋の固定棒(強化対策後)

は荷重計を設置するための場所であり、図8にしめした手前固定棒の奥に置かれているのが荷重計であり、その左側に3cmのブロックが設置されている。すなわち、図9に示すように橋が動かないようにした固定棒の下に橋があり、その橋の上にブロックがおかれ、そのブロックの左に荷重計が設置されている。

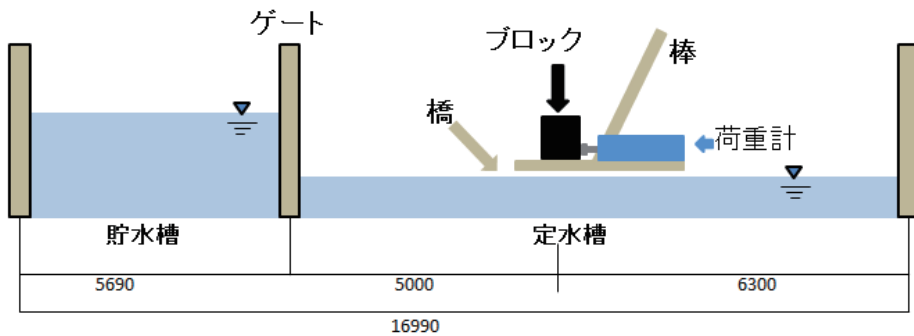


図9 ブロック、強化固定棒および荷重計の位置図

実験で用いた津波の波高を表2に示す。物体は水面から5 cmの高さに置かれていることから波力の測定ではCase 1～5までが用いられている。

表2 本実験で用いている波高

	Case 1	case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10
H1max	17.39	16.43	13.3	11.52	10.3	8.94	7.09	7.66	6.32	4.11

4. 津波波力の測定結果

図10にブロック辺長7 cm、Case 4の波が作用した時の衝突前から衝突後までの様子を示した。津波はブロックに衝突し、ブロックを完全に覆い、衝突後は定常波に襲われている。この時の波高および流速を示したのが図11である。図11に示したように衝突前の波高は10 cm、衝突後は8 cmに達しており、流速は80 cm/sを超え衝突後にピークに達している。この時の波力は図12に示すとおりであり、衝突時には水平力 F_{xi} は $F_{xi}=4.25N$ と急激に大きくなり、定常時の波力 $F_{xs}=3.12N$ の1.36倍となり1.3倍を超えている。

図13にブロック辺長3 cm、Case7の波が作用した時の衝突前から衝突後までの様子を示した。図(3)より衝突後はブロック上部は波より上に出ている。この場合の波高と流速を図14に示したが図より波高(図波高H1)は衝突前で8 cmに達しているが衝突後は7 cm程度となりブロック天端面より低くなっている。ブロックの背後の波高(図波高H2)は衝突時には8 cmを超えブロックよりの高い波高であるが定常時になると7 cm程度となりブロック前面の波高と同程度となっている。流速は50 cm/s程度となり変動している。この場合の波力を図15に示した。図より、衝撃時の波力は $F_{xi}=1.15N$ となり、定常時の波力 $F_{xs}=0.85N$ の $r=1.35$ 倍となり、1.3倍を超えている。定常時の波力は上部1 cm程度を残し、それより下部に作用していることも衝撃時の波力が大きくなっている原因ともいえる。

5. 結言

津波の波力について実験的な検討を行い、衝撃時の波力を測定してみた。定常時の波力の1.3



図10 ブロック辺長7 cm、Case 4 の波の衝突前後の様子

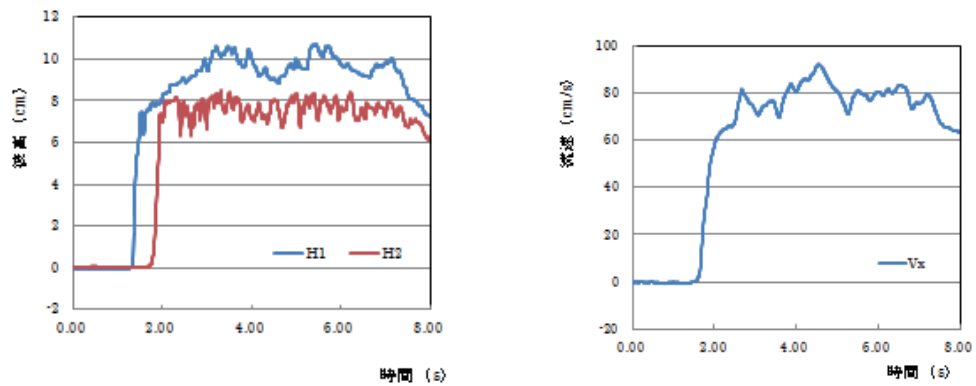


図11 ブロック辺長7 cm、Case 4 の波の波高と流速

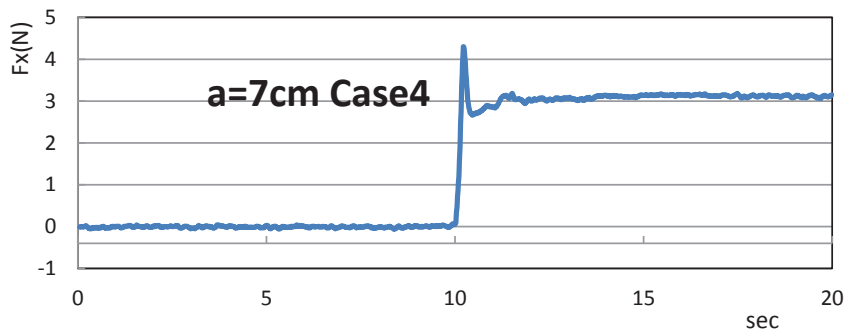


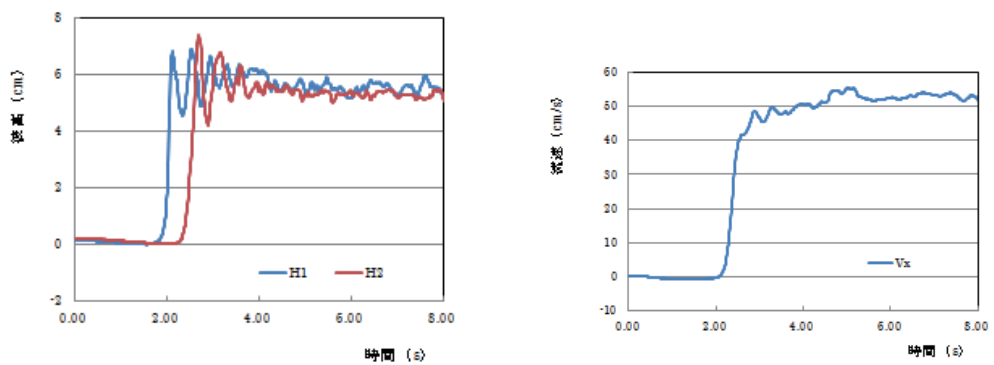
図12 ブロック辺長7 cm、Case 4 の波力 $F_{xi}=4.25N$ $F_{xs}=3.12N$ $r=1.36$

倍を超える波力も存在し、非定常時の波力をさらに検討する必要があることが分かった。



(1) 衝突前 (2) 衝突時 (3) 衝突後

図 13 ブロック辺長 3 cm、Case7 の波の衝突前後の様子



(1) 衝突前 (H1) と衝突後 (H2) の波高 (2) 流速

図 14 ブロック辺長 3 cm、Case 7 の波の波高と流速

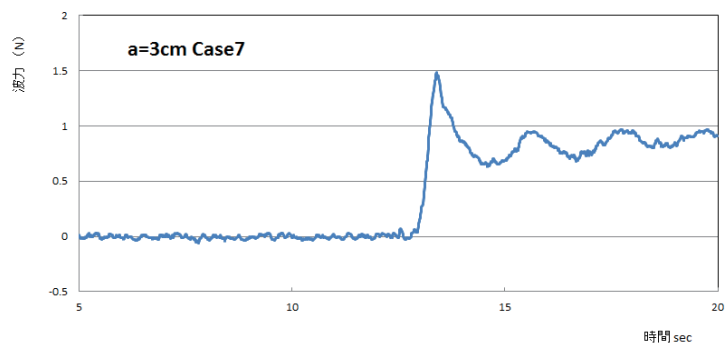


図 12 ブロック辺長 3 cm、Case 7 の波力 $F_{xi}=1.15N$ $F_{xs}=0.85N$ $r=1.35$

参考文献 (1) 村岡真怜、佐々木幹夫 (2016) : 橋の上に置かれた個体に作用する津波波力に関する研究、東北地域自然災害研究、Vol.52、pp. 199-204.