

## 橋に置かれた個体に作用する津波波力に関する研究

八戸工業大学工学部土木建築工学科 村岡真怜・佐々木幹夫

### 1、研究の背景

日本列島は、かねてから地震の多い地域であり、その地震によって津波も発生している。平成 23 年 3 月 11 日にはマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋地震が起き、この地震により発生した大津波は多くの人命を奪った。将来、青森県沿岸にも同様の大津波が押し寄せることが公表されている(H24 青森県)。津波は我々の社会に重大な損害を与えるものであり、伝番現象の解明や津波に対する防災対策等が必要となっている。本研究では、実験装置で津波を発生させ、橋の上に置かれた構造物に働く津波波力について検討してみる。

### 2、研究目的

本研究では①津波の限界掃流力について調べること、②津波がブロックに衝突した際の波力について調べることを目的とする。

### 3、研究方法

本研究では次のように実験を行い津波波力を調べてみた。①実験水槽で津波を発生させ、流速や波高の測定を行なう。②構造物に見立てた固体を模型の橋の上に置き実験装置で起こした津波を衝突させた際の構造物の動きを観察し、衝突時の津波波力を調べる。③ブロックに荷重計を取り付け、津波が衝突した際の波力について詳細に調べる。

### 4、実験水槽の特性

本実験では図 1 に示した水槽を使用している。この水槽は、貯水槽 A 定水槽 B に水を貯め、A 水槽のゲートを開けることにより貯水槽 A と定水槽 B の水位差により津波を発生させる仕組みになっている。津波の波高と流速は定水槽 B 側に計測計を設置し観測を行っている。



図 1 水槽側面図

\* Experiments of tsunami force acting to an object on bridge, by M. Muraoka and M. Sasaki.

### 5、本実験で発生させる津波と流速について

津波波高と流速について以下のように調べてみた。①水槽を用いて10種類の津波を発生させる。②10種類の津波の流速と波高を測定する。今回の津波の実験条件を表1に示す。ここにZ1は貯水槽Aの水位、Z2は定水槽Bの水位、 $\Delta Z$ はZ1、Z2の水位差を表している。表1においてcase1において水位差が最大で、case10において水位差が最小となっている。

図2および図3に、表1の実験条件のもとに津波を発生させたときの波高および流速の測定結果を示した。この測定から水位の最大値 ( $H_{1max}$ 、 $H_{2max}$ ) および平均値 ( $H_{1mean}$ 、 $H_{2mean}$ ) ならびに流速の最大値 ( $V_{max}$ ) および平均値 ( $V_{mean}$ ) を求め、以降の実験を行う際の津波の基準とした。

表1 実験条件(津波)

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10
Z1	33.2	31.5	29.5	28.5	27.0	25.5	23.0	21.5	20.0	18.0
Z2	5.6	6.5	7.5	8.5	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
$\Delta Z$	27.6	25.0	22.0	20.0	18.0	15.5	12.0	9.5	7.0	4.0

Z1：貯水槽水位 Z2：定水槽水位  $\Delta Z$ ：Z1Z2の水位差

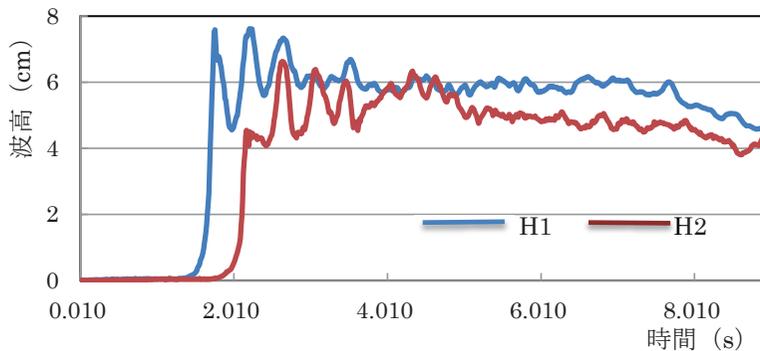


図2 水位観測例(case7)

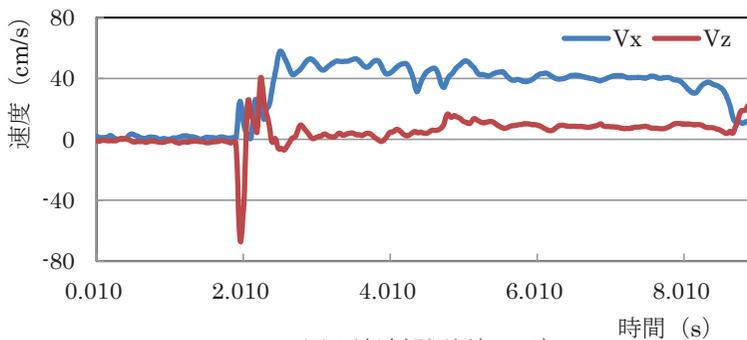


図3 流速観測例(case7)

表 2 実験条件 (波高および流速)

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10
H1mean	9.54	8.11	8.58	7.65	6.84	6	4.82	3.96	3.18	1.82
H2mean	10.72	9.59	8.72	7.8	7.43	6.67	5.02	4.2	3.29	1.92
H1max	10.14	8.91	9.61	8.4	7.83	7.06	6.69	7.48	5.96	2.59
H2max	11.66	10.06	9.64	8.59	8.36	7.59	7.05	8.39	6.34	2.79
Vxmean	115.09	102.15	87.17	80.03	72.65	59.3	46.48	32.75	25.9	14.17
Vmax	127.25	107.83	99.06	96.58	79.33	68.41	56.49	46.51	37.46	19.62

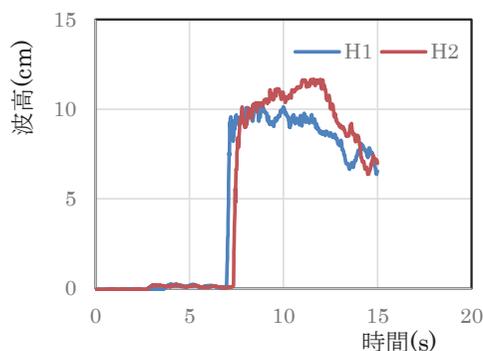


図 4 最大波の水位(case1)

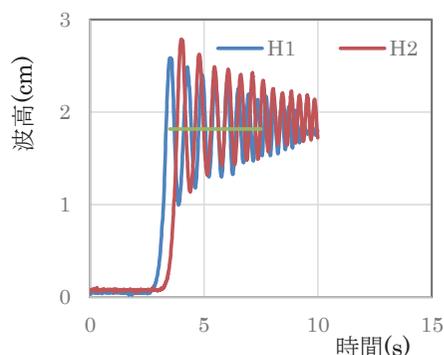


図 5 最小波の水位(case10)

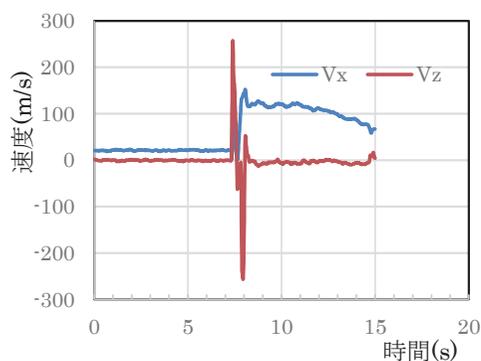


図 6 最大波の流速(case1)

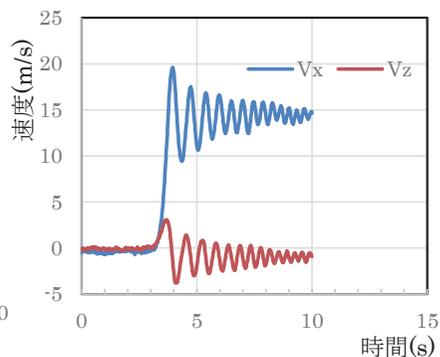


図 7 最小波の流速(case10)

本実験で得られる 10 種類の津波の波高とその流速を表 2 に示した。表 2 より、本実験水槽で発生可能な津波の最大波は H2max (case1) の 11.66cm、最小波高は H1max (case10) の 2.59cm であることがわかる。また、流速は、最大で case1 の 127.25cm/s、最小で case10 の 19.61cm/s である。図 4~7 に最大波および最小波の水位を示した。図 4 より最大波の場合には、橋の陸側の方で (波高計 H2) 最大となっている。図 5 に示したように、最小波の場合には明確なソリトン分裂が見られる。図 6 および図 7 より、流速は水位変化に対応して変動している。

## 6、津波の限界掃流力

図8に橋およびブロックの位置を示した。図に示したようにゲートから5mの位置に橋(中心)を置き、橋の上に置いた個体に津波がどのように作用するかを調べた。その際に使用する個体は表3に示したコンクリート製立方体ブロックである。ブロックの大きさは1辺が1cmから10cmまでの10種類であり密度は1.95~2.39となっている。使用したブロックに密度差が生じているがこれはコンクリートブロックを作る際に混入したセメント量が異なったことによるものである。

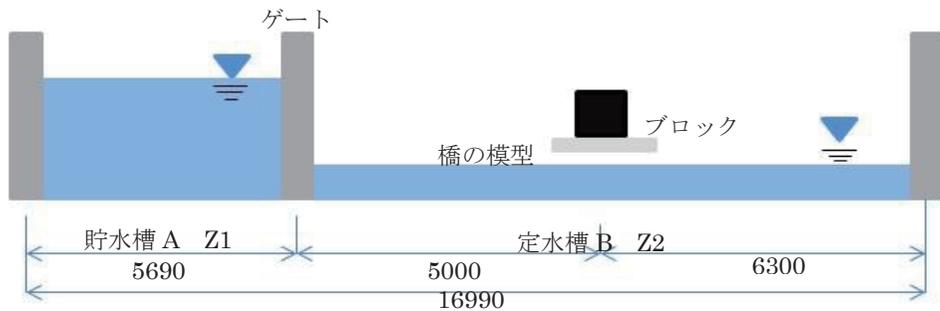


図8 水槽側面図

表3 実験条件(個体形状：立方体)

	ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	ブロック5	ブロック6	ブロック7	ブロック8	ブロック9	ブロック10
1辺の長さ(cm)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
質量(g)	2160	1510	1000	700	458.22	261.59	134.41	56.1	16.27	2.39
密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.16	2.07	1.95	2.04	2.12	2.09	2.1	2.08	2.03	2.39

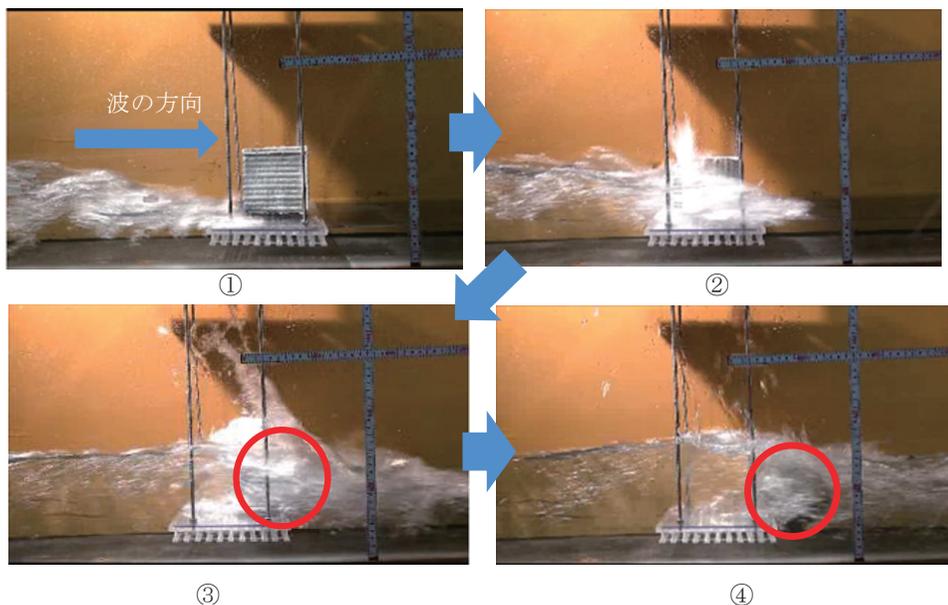


図9 津波限界掃流力実験(case1)

本実験では前述のように定水槽 B 側に橋を設置し、その上に表 3 に示したブロック個体を置き津波を作用させた際の個体の動きを観測した。図 9 は、ブロック 1 に case1 の津波を作用させた場合のブロックの動きを示したものであり、図の①が津波衝突の前、図の②は津波が衝突した時の状況を示している。図③および④は津波が衝突し、波力でブロックが動いている状況を示したものであり、図中の○印の中央にブロックがある。

表 4 は 10 種類の波が、それぞれ 10 種類の個体に衝突した際に、どのくらい動いたかを示したものであり、3 ブロック以上動いたものが×、1 ブロック以内動いたものを□、1 ブロック以上動いたものを△、動かなかったものを○として表に示している。

表 4 津波の限界掃流力実験結果

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10
ブロック1	×	×	○	○	○	○	□	○	○	○
ブロック2	×	×	×	×	□	○	○	□	○	○
ブロック3	×	×	×	×	×	□	□	□	□	○
ブロック4	×	×	×	×	×	□	□	□	□	○
ブロック5	×	×	×	×	×	×	□	□	□	○
ブロック6	×	×	×	×	×	×	×	□	□	○
ブロック7	×	×	×	×	×	×	×	□	□	○
ブロック8	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○
ブロック9	×	×	×	×	×	×	×	×	△	□
ブロック10	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○

×・・・3ブロック以上動いたもの      □・・・1ブロック以内動いたもの

△・・・1ブロック以上動いたもの      ○・・・動かなかったもの

表 4 においてブロック辺長はブロック 1 からブロック 10 になるにつれ短くなり、一方、津波は case1 から case10 になるにつれ波高が大きくなっている。したがって、表より、津波が小さくなるにつれてブロックが動かなくなり、ブロックが大きくなるにつれ流れにくくなっていることが確認できる。

図 10 にブロックの動きについての観測結果を示した。図においてブロックが 3 個分以上の距離を動いたものは×、1 ブロック以上動いたもの△、1 個分の距離以内の動きで終わったものは□、動かなかった場合は○としている。図 10 において、縦軸は式 (1) に示すような修正シールズ関数、横軸は辺 a と波高の比  $a/H_{1max}$  である。シールズ関数は次式のように定義されている。

$$\varphi_m = \frac{\rho g H_{1max}}{(g \cdot (\rho_s - \rho_w) a)} \quad \dots (1)$$

ここに、 $\rho$  : 水の密度、 $kg/m^3$      $g$  : 重力加速度、 $m/s^2$      $H_{1max}$  : 波高計 H1 の最大値、 $m$

$\rho_s$  : ブロックの密度、 $kg/m$      $a$  : ブロックの辺、 $m$

図 10 よりブロックの動きは修正シールズ関数(縦軸)である程度できるようである。すなわち、図 10 より  $a/H_{1max}$  が 0.01~0.025 では動くものと動かない物が混在しているが、0.025 より大きくなるとブロックは動いていないことがわかる。このことから、本実験での移動

限界はブロック相対辺長  $a/H_{1\max}=0.025$  であるとわかる。図 10 より修正シールズ数が 0.73 より大きいとブロックが動くので移動限界  $\phi_{mc}$  は次のように表わされる。

$$\text{移動限界修正シールズ数} : \phi_{mc}=0.73 \quad (2)$$

$$\text{ブロック移動限界の相対辺長} : a/H_{1\max}=1.5 \quad (3)$$

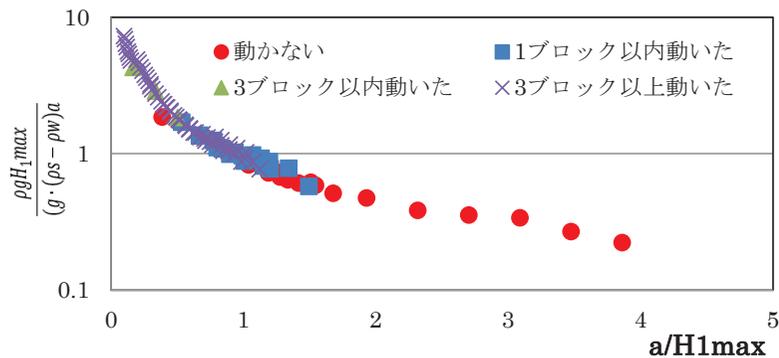


図 10 ブロックの動きの観測

## 7、結論

本研究により以下のことが明らかとなった。

- ①相対辺長  $a/H_{1\max}=1.5$  が移動限界値になっており、これより大きいと橋の上に置いた個体は動くことはない。
- ②ブロックの移動限界掃流力は式(1)で定義される修正シールズ数で示され、 $\phi_{mc}=0.73$  にあるようである。

## 参考文献

- 1) 松富英夫・大向達也・今井健太郎：津波氾濫流の構造物への流体力、水工学論文集、第 48 巻、2004 年 2 月、pp. 560-564
- 2) 岡本憲助・松富英夫：津波氾濫流速の簡易推定法に関する基礎的研究、土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol. B2-65、No 1、2009、296-300
- 3) HIDEO MATSUTOMI AND KENSUKE OKAMOTO : Inundation flow velocity of tsunami on landiar, Island Arc(2010)19、443-457
- 4) 松富英夫・岡本憲助・佐藤和典：浸水痕跡に基づく簡易氾濫流速推定法の基礎的検討、文集、第 52 巻、2008 年 2 月、pp. 473-678
- 5) 庄司 学・平木 雄・藤間功司・嶋原良典：橋桁に作用する碎波段波の流体力に関する実験的検討、土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 66, No.1, 2010, 801-805.