

橋梁に作用する津波波力低減対策に関する実験的研究

三菱重工業(株) 正会員 ○藤田 豊 正会員 四條 利久磨
エム・エムブリッジ(株) 正会員 鈴木 俊光

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、多数の橋梁が流出した。今後、南海トラフ地震など巨大地震による津波の来襲が危惧されるなか、津波による橋梁構造物の被害を最小限に抑える対策を検討する必要がある。対策として、長大橋の耐風対策として適用されているフェアリングなどの付加物により津波波力を軽減させる方法^{1), 2)} が考えられるが、津波の作用形態と津波波力の軽減効果の関係を評価した例は少ない。本研究では、波力低減対策を設置した橋桁断面を対象に津波形状を様々に変化させた水理模型実験を実施し、津波形状が波力低減対策の効果に及ぼす影響を検証した。

2. 実験概要

図1で示す長さ20m、断面幅0.7m、断面高1.0mの可視化水路を使用し、津波は図中左端のスライド式造波板により生成した。対象とした津波は表1で示す長周期の孤立波、碎波を伴わない段波(以下碎波前段波)および碎波を伴う段波(以下碎波段波)とした。模型設置位置におけるそれぞれの津波の水位波形を図2に示す。図中、横軸の時間は造波板の稼働開始を0秒と定義した場合の時間を示す。これより、長周期孤立波は、6秒付近で緩やかに水位が上昇し10秒付近でピークを迎えた後、緩やかに下降していく。水位の不規則な変動は無く、波面の綺麗な孤立波が生成されていることが分かる。碎波前段波は、7秒付近で急激に水位が上昇し波面は滑らかである。碎波段波は、5秒付近で急激に水位が上昇し、波面が不規則に変動していることが分かる。

橋梁模型の対象は、図3に示す鋼4主桁断面とし、模型に作用する水平波力、鉛直波力、流力モーメントを橋梁模型床版上面に取り付けた分力計により計測した。ここで、分力計および模型支持梁は鞘管で覆うことで、模型のみに作用する波力を計測した。また、対策断面は図4で示す4種を対象とした。

表1 水理実験で模擬した津波条件

波種類	ケース NO.	模型実験値			実橋換算値		
		最大津波高	最大流速	周期	最大津波高	最大流速	周期
長周期孤立波	1	0.1 m	0.66 m/s	23.5 s	10.0 m	6.6 m/s	234.9 s
碎波前段波	2	0.1 m	0.74 m/s	1.0 s	10.0 m	7.4 m/s	9.8 s
碎波段波	3	0.1 m	1.08 m/s	5.3 s	10.0 m	10.8 m/s	52.9 s

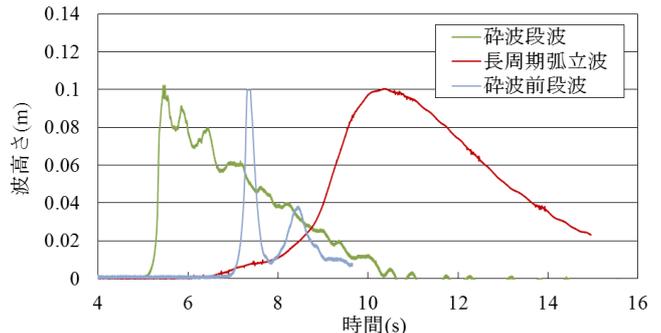


図2 模型設置位置における水位波形

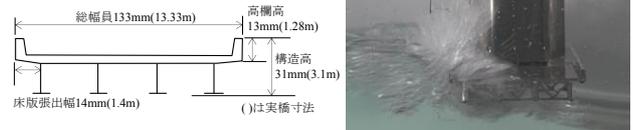


図3 模型基本断面および試験状況

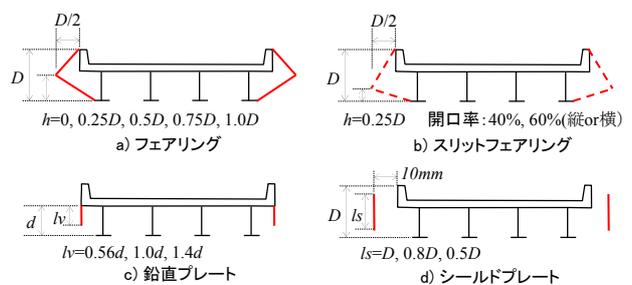


図4 対策断面

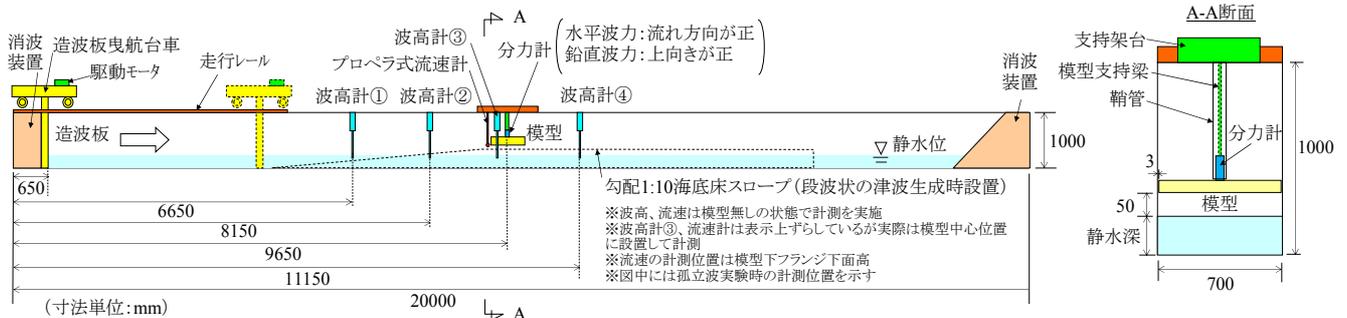


図1 水路実験装置の概要

キーワード : 津波, 橋梁, 水理模型実験, 波力低減, フェアリング

連絡先 : 〒851-0392 長崎県長崎市深堀町 5-717-1 三菱重工業(株) 長崎研究所 流体研究室 TEL:095-834-2820

3. 実験結果

3.1 基本断面

基本断面に作用する波力波形を図5に示す。波の種類に抛らず、水平波力は常に流れ方向に発生し、鉛直波力は津波が桁に衝突した際に上向きに発生し、その後下向きに発生する。対策効果の検証においては、碎波前段波と碎波段波では衝突時の最大波力を、長周期孤立波では写真で示す衝突時と定常時に区分して最大波力を評価する。

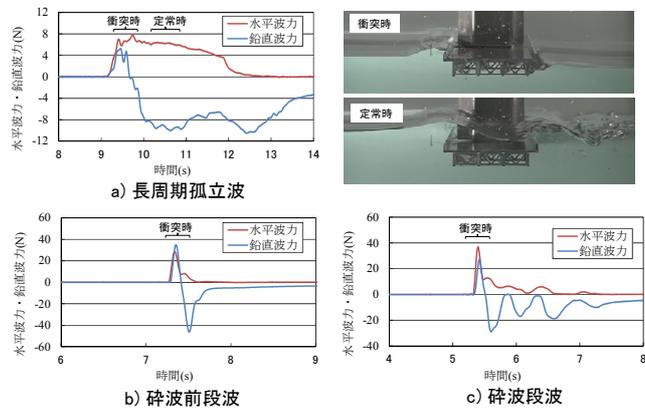


図5 基本断面に作用する波力波形

3.2 対策断面

対策断面に作用する最大波力を基本断面に作用する最大波力の比で整理した結果を図6に示す。

(1) フェアリング

図6 a)より、最大水平波力に下記の傾向が読み取れる。
 長周期波(衝突時): $h/D=0.25\sim 1$ の場合、13~20%低減
 長周期波(定常時): $h/D=0.25\sim 1$ の場合、30~35%低減
 碎波前段波(衝突時): $h/D=0\sim 0.75$ の場合、20~30%低減
 碎波段波(衝突時): $h/D=0\sim 0.75$ の場合、20~30%低減
 波の種類により、最も効果の高いフェアリング頂点高さは異なることが分かる。一方、フェアリングを設置することで上向き鉛直波力は増加し、フェアリング頂点高さを高くするにつれ大きくなる傾向にある。上向き鉛直波力の増加を抑えつつ、水平波力を低減させるには、 $h/D=0.25$ が最適と考えられ、その際の最大水平波力の低減率は13~35%である。

(2) スリットフェアリング

フェアリング設置による上向き鉛直波力の増加抑制を狙って、 $h/D=0.25$ のフェアリングにスリットを設けてその効果を検証した。図6 b)より、スリットを設置することで、長周期波ではスリット無しに比べて上向き鉛直波力の増加が抑制できているが、碎波前段波、碎波段波では逆に増加するケースもあり、波の種類によりスリットの効果は異なることが分かる。一方、スリットを設置することで、最大水平波力の低減効果は損なわれており、今回実施したスリット仕様は有効な対策にはなり得ないと言える。

(3) 鉛直プレート

前流側ブラケット下面への波の浸入抑制を狙って、鉛直プレートを設置し、その効果を検証した。図6 c)より、 $lv/d=0.6$ の場合に波の種類によらず水平波力の低減効果があり、特に長周期波(定常時)では35%の低減効果がある。

(4) シールドプレート

津波が直接桁に作用することを防ぐため、シールドプレートを設置し、その効果を検証した。図6 d)より、シールドプレートが長くなるほど最大水平波力が低減されることが分かる。構造高と同じ高さのシールドプレートを設置することで、波の種類によらず、上向き鉛直波力を大幅に増加させることなく最大水平波力を50~80%低減できる。なお、長周期波(定常時)の $ls=0.8D$ 、 D では流れと反対方向の最大水平波力が発生するが、これはシールドプレートと桁間の負圧によるものと考えられる。

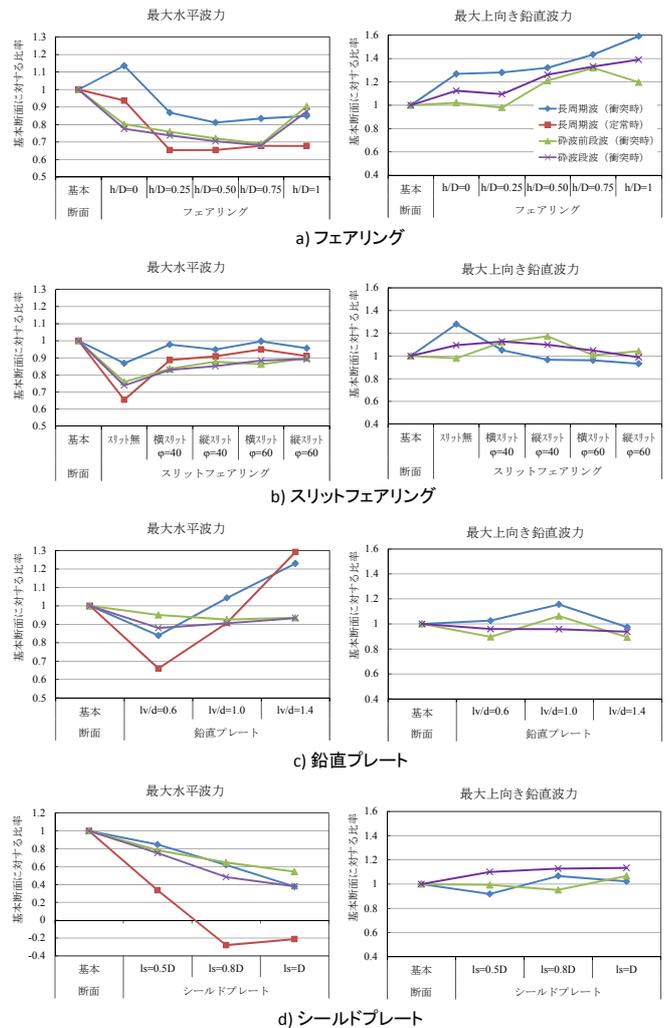


図6 対策断面の効果

4. おわりに

本研究により、橋桁に作用する津波波力の低減対策を検討する際には、津波形状を考慮する必要性が示された。今後、水路実験や数値シミュレーションを駆使して、津波波力および津波による被災を軽減できる橋梁、沿岸構造物の設計を行っていきたい。

謝辞: 本研究の実施にあたり、(株)高速道路総合技術研究所様から多大なるご協力とご支援をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献: 1) 張広鋒, 薄井稔弘, 星隈順一: 津波による橋梁上部構造への作用力の軽減対策に関する実験的研究. 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 66, No. 1(地震工学論文集第31巻), pp. 425-433, 2010. 2) 中尾尚史, 糸永航, 野坂克義, 伊津野和行, 小林敏士: 4主桁橋に作用する津波外力の発生メカニズムの解明と津波外力低減対策に関する実験的研究. 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 3, pp. 572-585, 2013.