

津波により橋に生じる作用力に及ぼすフェアリングの影響

炭村 透¹・張 広鋒²・中尾 尚史³・星隈 順一⁴

¹正会員 修(工) 独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 交流研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 博(工) 合肥工業大学教授 土木与水利工程学院 道路与桥梁工程系
(230009 安徽省合肥市屯溪路193号)

³正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 専門研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

⁴正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

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では、津波による橋梁の被害が多数発生した¹⁾。被害の中には、写真-1に示すように上部構造が流出し、さらにその橋の架橋条件によっては応急的な措置による迂回路の仮設も難しく、緊急輸送路としての機能が速やかに回復できなかった事例もあった。今後発生が予想されている、東海、東南海、南海地震においても、大規模な津波が襲来する可能性が指摘されており、このような津波によって橋梁が受ける影響とその対策について、研究が急がれている。

津波による橋梁への被害を低減させる対策としては、橋梁本体の抵抗力を高める手法や、津波による作用力そのものを軽減させる手法が考えられる。著者らの研究グループでは、後者の津波による作用力を軽減する手法の一つとして、主に長大橋で風による制振対策として用いられるフェアリングに着目した研究をこれまで実施してきているが²⁾、津波による作用力の軽減に着目した研究事例は非常に少ないのが現状である^{例えば3)}。著者らの研究は、フェアリングを設置することによって、津波が衝突する上部構造の橋軸直角方向側面の形状を流体力が作用しにくくすることにより、津波による影響を軽減できるのではないかと考えるに基づくものである。過去の研究事例として、上部構造の橋軸直角方向側面に取付けた三角フェアリングの効果について、三角形の頂点位置をパラメータとした種々の形状のフェアリングを用いた水路実験を実施している。その結果



写真-1 津波による上部構造流出被害例

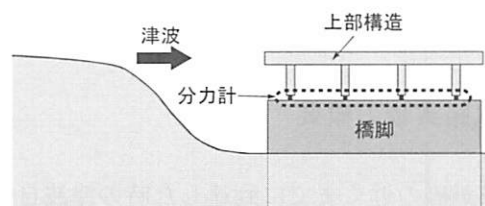


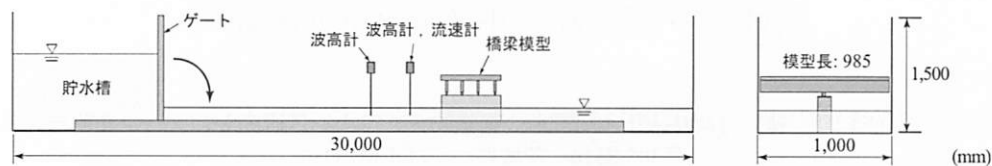
図-1 本研究で用いた供試体の概要図

として、フェアリングによる鉛直、水平方向の作用力の軽減効果が見られることや、その効果はフェアリングの形状によって異なること、また、鉛直方向よりも水平方向の作用力の軽減効果の方が大きいことを確認している²⁾。しかし、これまでの実験は模型の縮尺率が大きく、小さな模型であったために上部構造の中心の一点のみでしか反力を計測することができず、個々の支承反力や上部構造の詳細な挙動についてまでは確認できていなかった。

そこで、本研究では、図-1に示す概要図のように、上部構造模型の支承位置に分力計を設置し、フェア



(a)水路の状況写真（左：全体系，右：橋梁模型部拡大）



(b)水路のセットアップ状況（左：側面図，右：断面図）

図-2 実験装置の概要

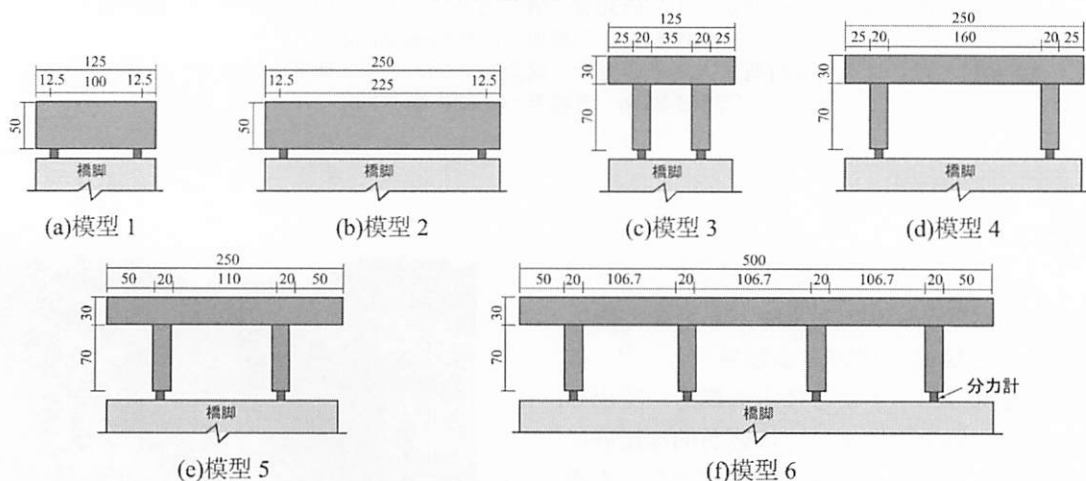


図-3 橋梁模型の橋軸直角方向断面寸法

リングを設置した橋梁模型に対する水路実験により、津波が作用した時に発生する個々の支承反力を計測し、フェアリングが支承反力や上部構造の挙動に与える影響について検証を行った。

2. 水路実験の概要

津波が橋の近くまでに到達した時の津波自体の特性は、架橋位置周辺の地形条件等によって変わるため一概には言えないが、橋の被災状況のいくつかの事例を参考に、本研究では段波状の津波が橋梁に作用する場合に着目し、上部構造の構造形式が支承部反力に及ぼす影響を検討することとした。図-2に本研究で用いた水路の状況写真とセットアップ概要を示す。本研究では、幅1.0m、高さ1.5m、全長30mの水路を用いて行い、図示のように貯水槽のゲートを急速に転倒させることにより、段波状の津波を発生させる方法を用いた。

橋梁模型は、実設計において考えられる規模の橋梁を1/20程度の寸法に縮小し、上部構造は図-3(a)～(f)に示す橋軸直角方向断面を有する6通りとした。

模型1と2は幅員の異なる長方形断面で、床版橋をイメージしたものであり、模型3～6は、幅員、床版張出長、主桁数の異なる桁橋をイメージしたものである。そのうち、模型3～5は2本の主桁を有する橋梁であり、模型3と4は床版張出し長が同じで幅員が異なる橋梁、模型4と5は幅員が同じで床版張出し長が異なる橋梁である。模型6は幅員が広く、4本の主桁を有する橋梁である。上部構造模型の橋軸方向寸法は、水路の幅を考慮して985mmとした。これらの諸元を表-1に示す。なお、本実験に用いた模型と実体との相似則は、表-2に示す通りである。

これらの模型に対し、図-4に示すような半円形および三角形のフェアリングを津波が作用する側の上部構造側面に設置した。三角フェアリングの形状は、既往の研究²⁾により比較的大きな作用力の軽減効果が確認されている形状、すなわち、鉛直方向には桁下から上部構造高さの1/4の位置に、水平方向には同じく上部構造高さの1/2の位置に頂点を有する形状とした。半円フェアリングを取り付けた橋梁模型の状況を写真-2に示す。

模型の設置状況を図-5に示す。初期の静水深を

表-1 橋梁模型の諸元

模型番号	長さ(橋軸方向) (mm)	幅(橋軸直角方向) (mm)	上部構造高さ (床版+主桁)(mm)	張出し長 (mm)	主桁本数	主桁間隔 (mm)
模型 1	985	125	50(50+0)	—	—	—
模型 2	985	250	50(50+0)	—	—	—
模型 3	985	125	100(30+70)	25	2	35
模型 4	985	250	100(30+70)	25	2	160
模型 5	985	250	100(30+70)	50	2	110
模型 6	985	500	100(30+70)	50	4	3×106.7

表-2 相似則一覧

項目	縮小率	原型値	模型値
長さ	1/20	1.0m	0.05m
時間	$1/\sqrt{20}$	10sec	2.236sec
流速	$1/\sqrt{20}$	10m/sec	2.236m/s
力	$1/20^3$	1000kN	0.125kN
圧力	1/20	200kPa	10kPa

100mm（実規模で2.0m）とし、津波高さは橋面までの200mm（同4.0m）とした。計測については、橋梁模型の1.0m手前の波高と流速、2.0m手前の波高および支承部の水平反力、鉛直反力を時刻歴で記録した。なお、以降は津波が作用する側は下流側、その反対を上流側と呼ぶこととする。

3. 実験結果

(1) 流況の比較

写真-3に、フェアリングなし、三角および半円フェアリングを取付けたそれぞれのケースについて、津波が橋梁模型に衝突する瞬間の状況を示す。ここには、模型2（長方形断面）、模型4（2主桁）、模型6（4主桁）の3ケースを代表して示している。いずれのケースについても、フェアリングを取付けたケースの方が衝突時の水の跳ね上がりが小さくなっていることがわかる。本実験における条件では、2主桁形式の模型4では、フェアリングを設けない場合は桁間の空間に波が流れ込んでいないものの、フェアリングを設けた場合は桁間の空間に回転流が生じている。また、4主桁形式の模型6では、フェアリングを設けない場合は最も下流側に位置する桁間の空間のみ波が流れ込んでいないが、フェアリングを設けた場合は回転流が生じており、フェアリングの有無による流況の違いが確認できた。なお、実験における波の先端の速度は、2～2.4m/sec（実規模で9～11m/sec）であった。

(2) 支承の水平反力の比較

図-6に、フェアリングなし、三角フェアリング、

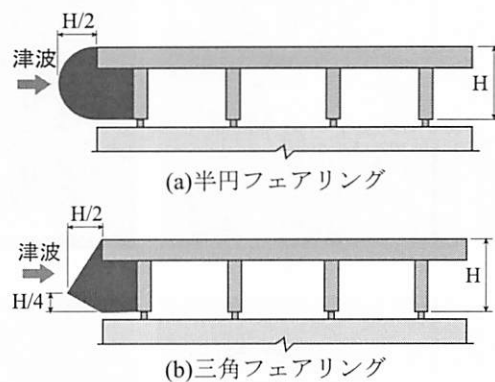


図-4 フェアリング形状



写真-2 半円フェアリングを取り付けた橋梁模型

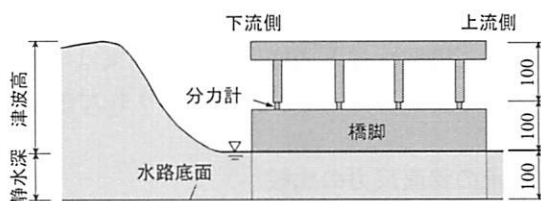


図-5 橋梁模型の設置状況例（模型6の場合）

半円フェアリングによる水平反力の計測結果を示す。反力値は相似則を考慮して実橋梁規模の値に換算した値を示している。なお、水平反力は各支承位置における値を計測しているが、ここでは各橋梁模型全体に対する水平反力の発生傾向を比較するため、各支承の水平反力を合計した支承線全体の反力値も示している。グラフは、津波が衝突する前後の時間のみを拡大して示している。

長方形断面の模型1, 2については、フェアリングの設置による水平反力の低減効果が明確に見られ、その効果は半円フェアリングの方が三角フェアリングよりも大きい。桁形式の模型3～6については、フ

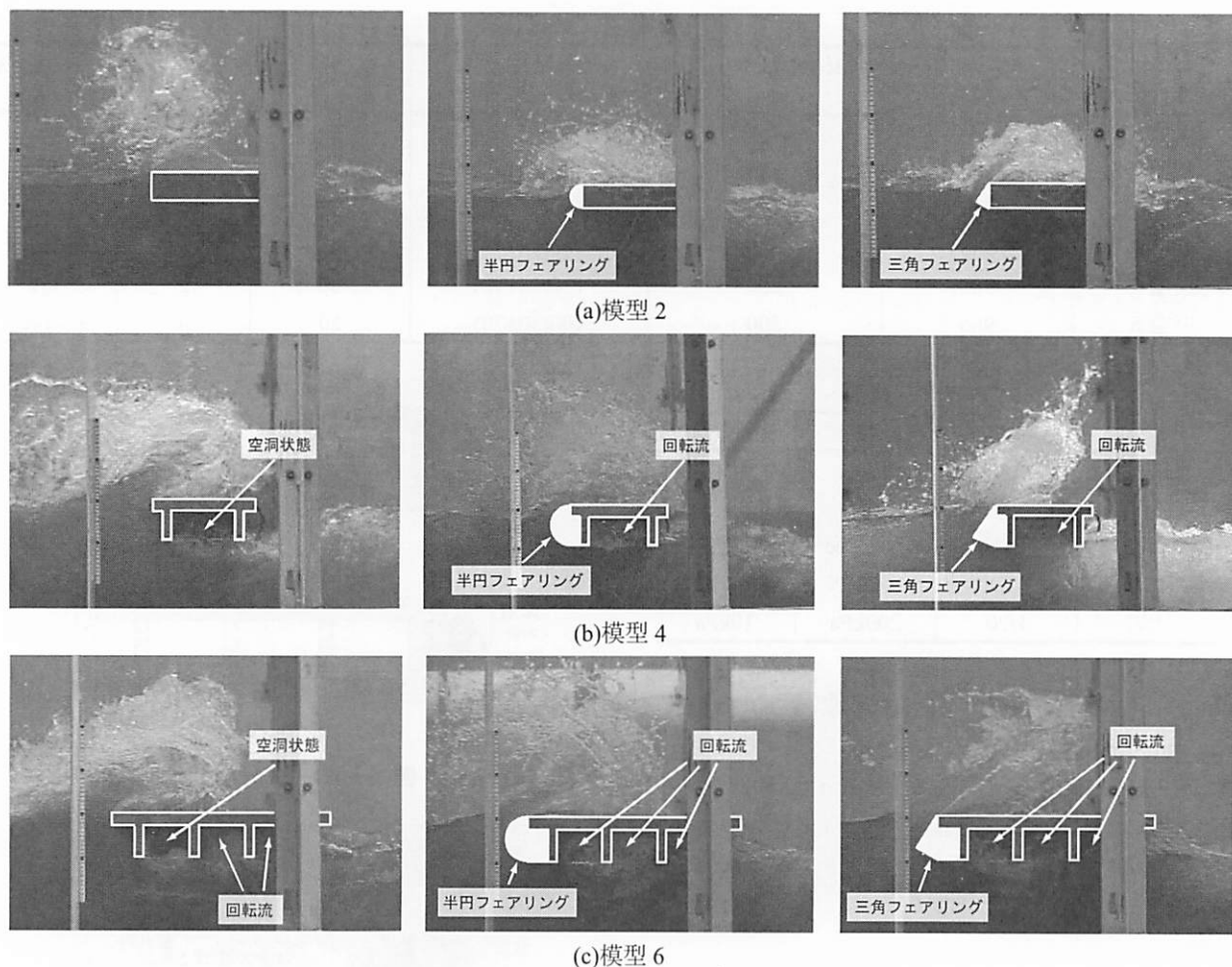


写真-3 津波が模型に衝突した瞬間の状況

(左：フェアリングなし，中：半円フェアリング，右：三角フェアリング)

フェアリングを設けない場合は、津波の衝突によって衝撃的に大きな反力が発生しているが、フェアリングの設置によってそれらが緩和されていることが確認できる。模型1, 2と同様に、低減効果は半円フェアリングの方が三角フェアリングよりも大きい。

(3) 支承の鉛直反力の比較

鉛直反力の計測値には、津波による浮力や、鉛直、水平反力によって生じる回転モーメント、さらに橋梁模型を越流した波の自重による影響等が含まれるため、模型の構造特性の影響も考慮された計測値となる。既往の研究では、津波の作用によって、上部構造には下流側を持ち上げるような曲げモーメントが発生し、下流側の支承に上向き反力が、上流側の支承に下向き反力が発生する傾向にあることが、同様の橋梁模型を用いた水路実験より明らかにされている。その傾向は、上部構造の断面高さが高く、床版張出し部を有する桁形式の橋梁において顕著に見られる⁴⁾。また、東北地方太平洋沖地震時の津波による橋梁上部構造の流出被害事例にも、下流側から持ち上げられるように回転しながら流出したと考え

られる被害が見られた。したがって、ここでは最も下流側に位置する支承に発生する鉛直反力に着目して、フェアリングの効果について検証することとした。

図-7に鉛直反力の計測結果を示す。グラフの縦軸は、上向きの力を+としている。長方形断面の模型1, 2については、半円、三角ともにフェアリングを設置したケースにおいて、津波が作用した直後に下流側の支承に上向き反力が、上流側の支承に下向き反力が発生しており、上部構造が下流側から持ち上げられるような回転挙動が生じていることがわかる。この現象はフェアリングを設置しないケースでは明確でないため、フェアリングを設けることによって上部構造下面に流れ込む波による揚力の影響を受けやすくなったためであると考えられる。

一方、桁形式の模型3～6については、フェアリングによる下流側の支承の上向き力の低減効果がみられる。その効果は、幅員が小さい模型3や、床版張出し長が長い模型5のように、フェアリングを設置しない場合に大きな上向き力が発生しやすい上部構造形式において顕著に見られる。特に、模型5は上

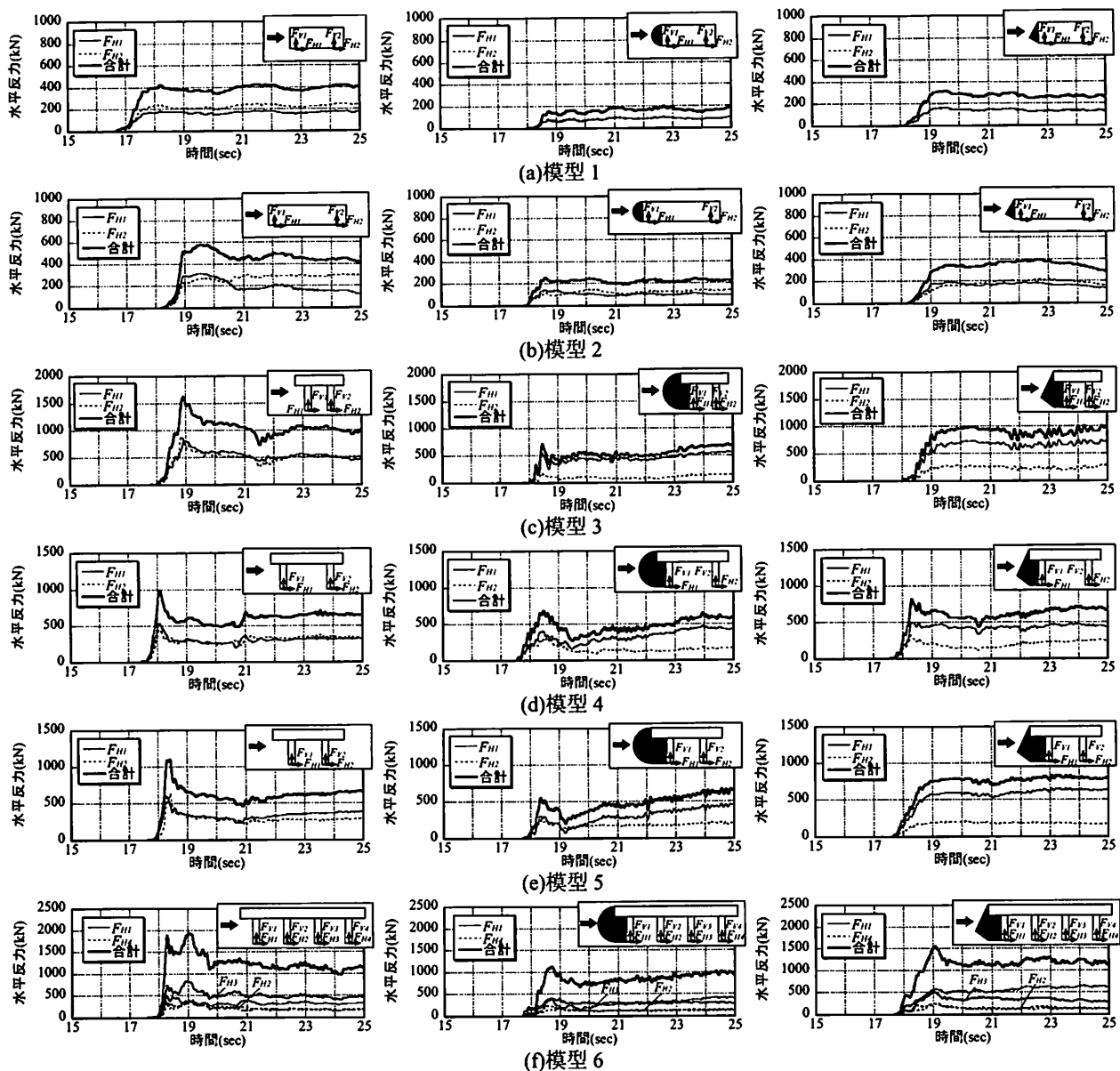


図-6 水平反力の実験結果 (左：フェアリングなし，中：半円フェアリング，右：三角フェアリング)

向き力が50%以上低減されているが，これはフェアリングを設置することにより床版張出し部に作用する揚力の影響がなくなるためであると推察される。したがって，床版張出し部を有する形式の橋梁においては，フェアリングの設置が有効であると考えられる。これに対し，床版張出し長が短い模型4や，幅員が広く，主桁数の多い模型6のように津波の影響によって大きな上向き力がそもそも発生しにくい上部構造の断面形状においては，下流側支承の上向き力の低減効果はそれほど大きくないことがわかる。

4. まとめ

本研究は，上部構造の橋軸直角方向側面に設けた三角形および半円形のフェアリングによる，橋梁に作用する津波によって生じる作用力の低減効果を検討

するために，種々の形状を有する上部構造模型を用いて水路実験を行った。本研究の範囲内で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 上部構造の断面形状に関わらず，フェアリングの設置によって，段波状の津波が作用した時に発生する衝撃的な水平反力を低減できる可能性がある。支承線に発生する水平反力は，フェアリングなし，三角フェアリング，半円フェアリングの順に小さくなった。
- 2) 長方形断面の橋梁模型においては，フェアリングの設置によって下流側支承に発生する上向き力が大きくなる傾向がみられた。フェアリング部に揚力が作用し，下流側を持ち上げるような曲げモーメントが生じたためと推測される。
- 3) 桁形式の橋梁模型においては，フェアリングの設置によって上向き力の低減効果がみられた。

