

特集：自然災害被害の予測・把握技術の高度化に向けて

津波により橋の構造部材に生じる力の特性

星隈順一* 張 広鋒** 中尾尚史*** 炭村 透****

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、支承部が破壊して上部構造が流出し、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つた事例もあった。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。

東北地方太平洋沖地震後の現地調査により、津波による上部構造の流出形態には幾つかのパターンがあることがわかっている。中でも、図-1(a)、(b)に示すように、支承部が破壊して上下部構造が分離し、最終的に裏返し状態となって流出したケース、あるいは、支承部が破壊して上下部構造が分離しても裏返し状態にはならずそのまま流出したケースは、特徴的な流出形態として挙げられる。また、図-2に示す裏返し状態となって流出したケースの損傷状況を見ると、落橋防止対策として設けられたコンクリートブロックが、海側から1個目と2個目は軽微な損傷であるのに対し、3~5個目は大きく損傷していることが分かる。これらの損傷痕跡より、上部構造は津波によって海側が持ち上げられるように挙動しながら陸側の方へ流出したと推測される。

津波と橋梁の間に生じる相互作用は、津波の特性や橋周辺の地形条件の他、上部構造の構造特性にも影響される。例えば、床版の張出し部の長さ、主桁の有無およびその本数、主桁の高さ、上部構造の幅員等によって、津波によって橋に生じる作用力の大きさおよび作用方向が変化し、その結果として、上部構造に生じる挙動も変わってくると考えられる。



(a)裏返し状態となった上部構造の流出例



(b)裏返し状態となっていない上部構造の流出例

図-1 上部構造の流出状況例

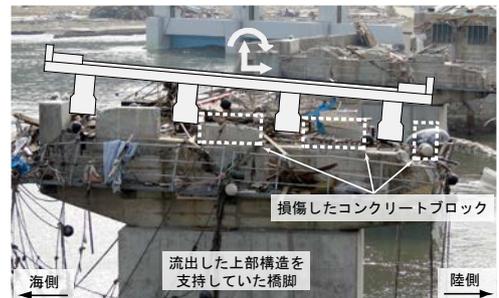


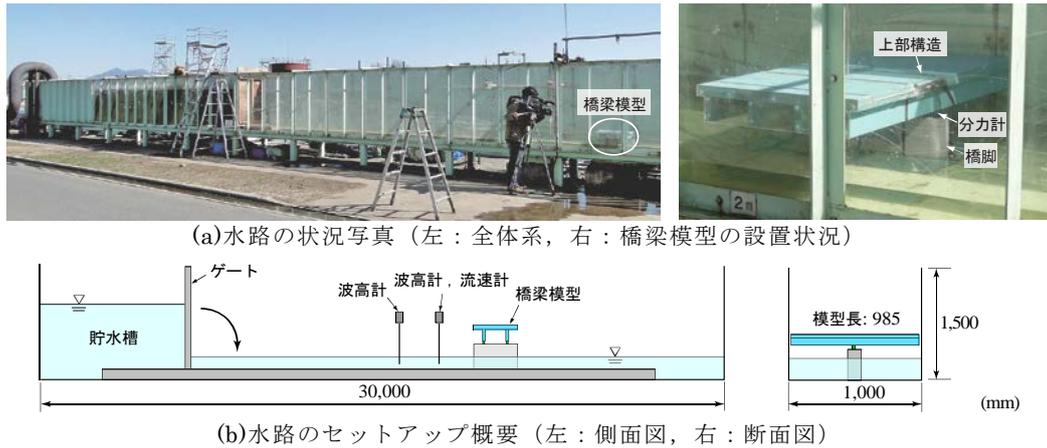
図-2 裏返し状態となった上部構造の流出挙動イメージ図

そこで、著者らは、これまでに実橋梁構造の特徴を模した縮小模型に対する水路実験を行い、上部構造の流出メカニズムや津波によって生じる作用力と上部構造の構造特性の関係等に関する一連の研究を進めている^{例えば2~4)}。本論文は、その一部として、津波による支承部への作用力に及ぼす上部構造の構造形式の影響に関する実験的な検討結果を報告するものである。

2. 橋梁模型に対する水路実験概要

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

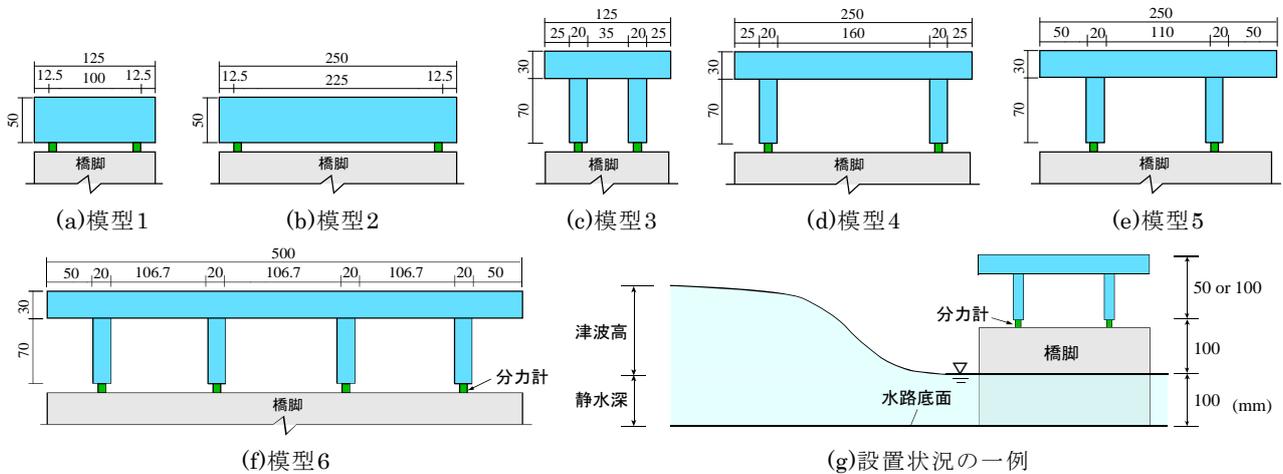
Characteristics of tsunami-induced force to bearing-supported bridges



(a)水路の状況写真（左：全体系、右：橋梁模型の設置状況）

(b)水路のセットアップ概要（左：側面図、右：断面図）

図-3 水路実験のセットアップ概要



(a)模型1

(b)模型2

(c)模型3

(d)模型4

(e)模型5

(f)模型6

(g)設置状況の一例

図-4 橋梁模型の断面詳細と設置状況

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-3に、本実験に用いた水路の状況写真および実験のセットアップ概要を示す。実験では、貯水槽のゲートを急速に転倒させることによって段波状の津波を発生させる方法を用いた。

図-4(a)～(f)に、本実験に用いた橋梁模型の橋軸直角方向の断面形状を示す。これらの模型は、実設計において考えられる規模の橋梁を1/20に縮小した模型である。模型1と2は幅員が異なる床版橋、模型3～6は幅員や主桁本数、床版の張出し長が異なる桁橋を想定している。このうち、模型3と4は張出し長が同じで幅員が異なる、模型4と5は幅員が同じで張出し長が異なる2主桁橋である。また、模型6は幅員が大きい4主桁橋で、張出し長や桁高は模型5と同様である。

図-4(g)に橋梁模型の設置状況の一例を示す。実験では、静水深を100mm（実規模で2.0m）とし、橋面高さまでの津波が発生する場合を想定して津波高を設定した。そのため、各模型に作用す

る津波の高さは、模型1と2は150mm（実規模で3.0m）、それ以外は全て200mm（実規模で4.0m）となる。計測項目は、橋梁模型の1.0m手前の波高と流速、2.0m手前の波高、支承部の水平反力および鉛直反力の時刻歴とした。なお、以下の検討では、津波が衝突する側は下流側、その反対側は上流側と呼ぶ。

3. 実験結果

3.1 支承部の水平反力

図-5の上段に支承部水平反力の時刻歴を示す。ここで、図-5に示す値は、時間を含め全て相似則にしたがって実規模に換算したものである。なお、図には示していないが、波の先端の速さは2～2.4m/s（実規模で9～11m/s）である。

津波が橋梁模型に衝突した際の支承部に生じる水平反力はややばらつきがあるものの、各支承の水平反力合計値のピークは、模型1と2は400～600kN、模型3～6は1000～1900kNとなっている。前者は後者の1/3程度であるが、これは、後者の

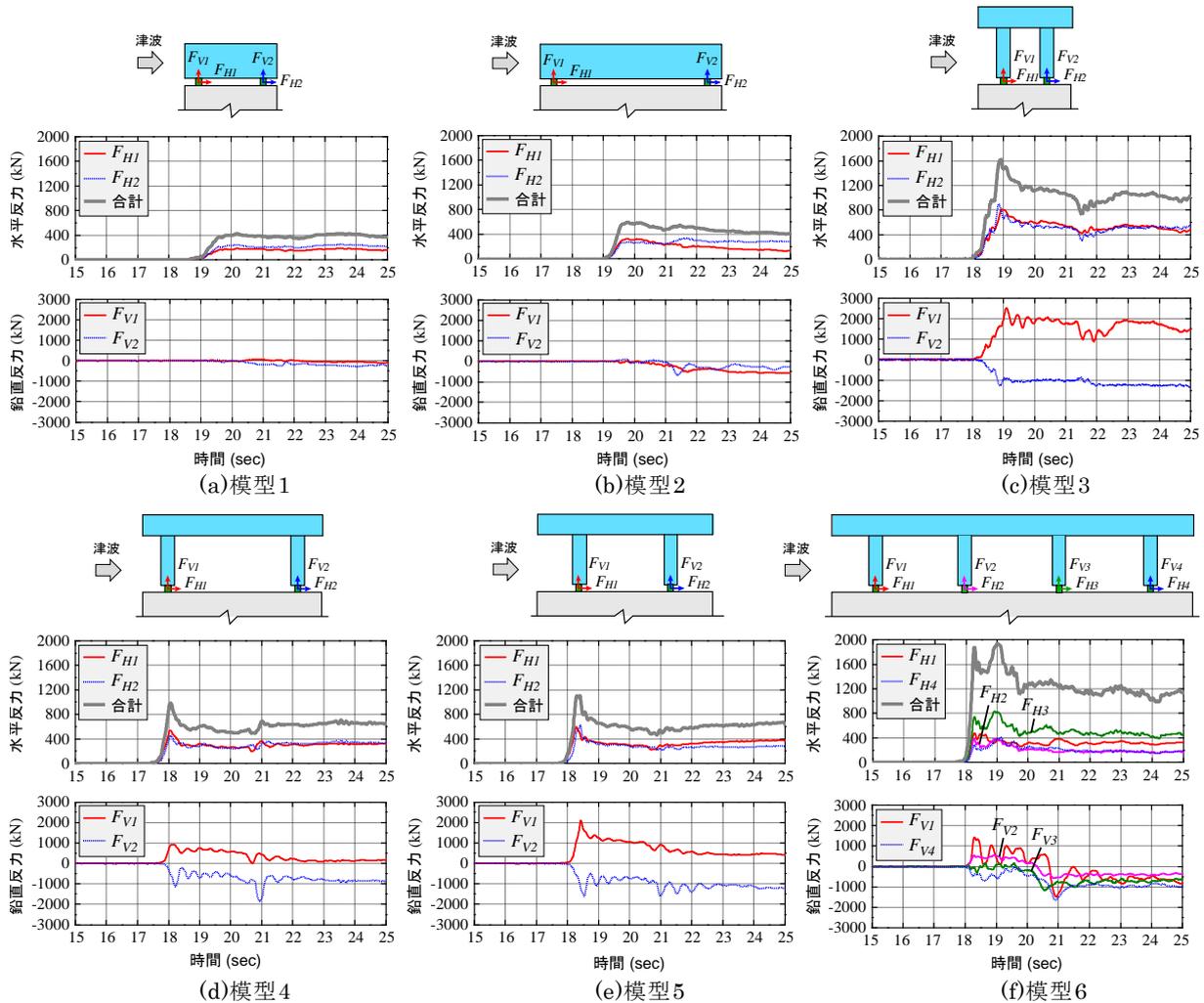


図-5 支承部反力の時刻歴挙動

桁高が高く、津波の作用を受ける面積が大きい
ためである。また、水平反力の合計値に着目すると、
模型4と5はほぼ同様な時刻歴挙動を示している
ことから、本実験の範囲内では、床版張出し長の
違いによる水平反力への影響は明確に認められな
い。

3.2 支承部の鉛直反力

図-5の下段に支承部鉛直反力のグラフを示す。
なお、グラフの縦軸は、+が上向き反力である。
鉛直反力の計測値には、津波による揚力、水平反
力によって生じる回転モーメント、さらに越流し
た波の自重等による影響が含まれているため、純
粋な津波による揚力だけではなく、模型の構造特
性の影響も考慮された計測値ということになる。

図-5より、模型1と2は上向きの反力はほとんど
生じておらず、21秒あたりからは下向きの反力が
生じていることが分かる。この下向きの反力は、
主に越流した波の自重によるものと考えられる。
一方、模型3～6では、下流側の支承部には上向

きの反力、上流側の支承部には下向きの反力が生
じており、桁に回転モーメントが生じていること
を示している。模型3と4を比較すると、模型3は
4よりも倍以上大きな上向き反力を示している。
これは、両模型の床版張出し長は同じであるが、
模型3の方が桁間隔が狭く、回転モーメントの抵
抗長が短いためであると考えられる。また、模型
4と5を比較すると、模型5は上向きの反力と下向
きの反力の両方とも、模型4を上回っていること
が分かる。これは、床版張出し長が長いほど、張
出し部に作用する揚力が大きくなり、模型に生じ
る回転モーメントも大きくなるためであると考え
られる。同じ床版張出し長を有する模型5と6を
比較すると、模型6は桁数が多くかつ幅員も大き
いため、支承部一基あたりの上向きの反力はいず
れも模型5を下回っていることが分かる。

3.3 流況の比較

図-6に、津波が橋梁模型に衝突した瞬間の各模
型の流況の一例として、模型1、4、6の写真を示

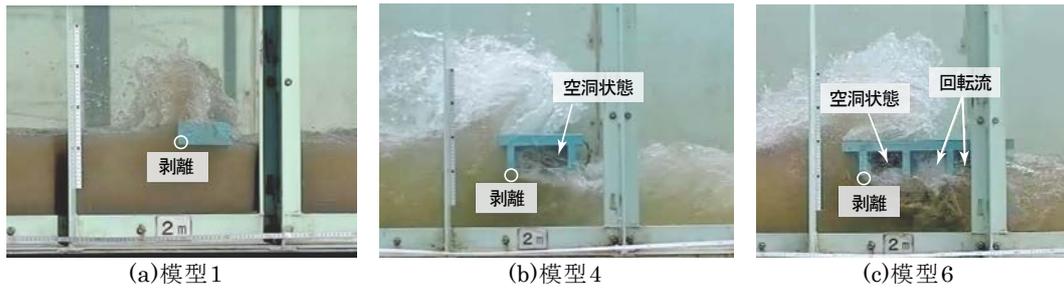


図-6 津波が橋梁模型に衝突する際の流況写真

す。図より、いずれの模型においても下流側の床版縁端部から波が剥離し、大きくせり上がっている様子が見られる。波の剥離は、模型1の場合は床版下面の縁端、模型4、6の場合は主桁の下フランジに発生している。隣接する桁間にある空間部の流況については、模型4は、波がほとんど流れ込んでおらず、ほぼ空洞状態であることが確認された。模型6は、最も下流側の隣接桁間の空間には波がほとんど流れ込んでいない状態であるが、下流側から2個目と3個目には回転流が生じていることが分かった。これらの流況の違いも、前述の上部構造形式ごとの支承部反力の発現傾向に影響を与えている要因の一つであると考えられる。

4. まとめ

実橋における上部構造の形状に即した橋梁模型に対する水路実験を用い、段波状の津波による支承部への作用力に及ぼす上部構造形式の影響に関する実験的検討を行った。本研究により得られた知見を整理すると以下ようになる。

- (1) 床版の張出し部を有する場合は、津波の作用により張出し部に上向きの揚力が生じ、下流側の主桁が持ち上がろうとする挙動が生じる。この運動によって、当該桁を支持する支承部には上向きの反力が生じる。
- (2) 本実験で対象とした、床版張出し部がなく高さの低い長方形断面の上部構造形式では、支

承部に上向きの反力はほとんど生じなかった。

- (3) 2主桁模型の結果からは、床版の張出し長が長いほど、また、桁間隔が狭いほど、支承部の上向きの反力が大きくなる傾向がみられた。
- (4) 4主桁模型の結果では、同じ桁高や張出し長を有する2主桁の模型より、支承部の上向きの反力が小さくなっている。これより、桁数が多くかつ幅員も大きい上部構造形式の場合は、津波によって個々の支承部に生じる上向きの反力を抑えることができる。

参考文献

- 1) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 土木施設災害調査速報、国総研資料第646号、土研資料第4202号、2011
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0646.htm>
- 2) 中尾尚史、張広鋒、炭村透、星隈順一：上部構造の断面特性が津波によって橋に生じる作用に及ぼす影響、第32回地震工学研究発表会講演論文集、No.5-246、2012
- 3) 炭村透、張広鋒、中尾尚史、星隈順一：津波によって橋に生じる作用に対する鋼製支承の抵抗特性に関する実験的検討、第32回地震工学研究発表会講演論文集、No.5-261、2012
- 4) Hoshikuma, J., Zhang, G., Nakao, H. and Sumimura, T.: Experimental researches on behavior of bearing supports in highway bridges undertsunami-induced force, Proc.28th US-Japan Bridge Engineering Workshop, 2012

星隈順一*



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橋梁構造研究グループ
 上席研究員、博(工)
 Dr. Jun-ichi HOSHIKUMA

張 広鋒**



合肥工業大学教授(前 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橋梁構造研究グループ研究員)、博(工)
 Dr. Guangfeng ZHANG

中尾尚史***



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橋梁構造研究グループ
 専門研究員、博(工)
 Dr. Hisashi NAKAO

炭村 透****



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橋梁構造研究グループ
 交流研究員
 Toru SUMIMURA