

側道橋による津波作用時の橋の挙動に関する研究

中尾 尚史¹・張 広鋒²・炭村 透³・星隈 順一⁴

¹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）

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
（〒23009 安徽省合肥市屯溪路193号）

³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）

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年東北地方太平洋沖地震による津波により、多くの橋梁が流出する被害を受けた。しかし、その中には写真-1に示すような側道橋が並列している橋梁で、津波の影響により側道橋は流出したが、本橋は流出しなかったケースが、確認できた範囲で6橋あった¹⁾。このように、側道橋が近接して並列しているような構造の場合、側道橋がない場合よりも津波作用時の橋桁間の流れがさらに複雑になると考えられる。そのため、側道橋がある場合において、津波の影響によって生じる本橋部の挙動に、どのような変化があるのかについて検証しておくことは、有用であると考えられる。

風工学の分野では、風に対する側道橋の影響に関する研究が行われており^{例えば2)}、耐風設計では、側道橋がある場合の影響について、その具体的な考慮の仕方が確立している³⁾。しかし、津波に対しては、このような検討例はまだ少ない^{4), 5)}。

そこで、本研究では、側道橋を設置した場合の、津波による橋の挙動について、水路実験により検討した。

2. 水路実験の概要

(1) 実験装置および実験方法

実験装置は図-1に示すような長さ30m、幅1mの水路を用いて実験を行った。なお寸法の縮尺スケールは1/20で設計した。本研究では、実験装置は貯水槽



(a) 波板橋



(b) 宝来橋

図-1 本橋が流出しなかった橋梁

に一定量の水をため、水槽と水路の間に設けたゲートを倒すことで、段波状の津波を発生させる仕組みになっている。

橋梁模型はゲートから7.5m離れた位置で、床版から0.2mの高さに設置した。また橋梁模型から1.0mおよび2.5m離れた位置に波高計を設置して、波高を計測した。実験のサンプリング間隔は0.002秒で行い、実験により得られたデータは模型の固有振動数以上の成分をカットするため、5.0Hz以上の成分をカットするローパスフィルタをかけた。同時にハイスピードカメラを用いて、橋桁周辺の流況を撮影した。

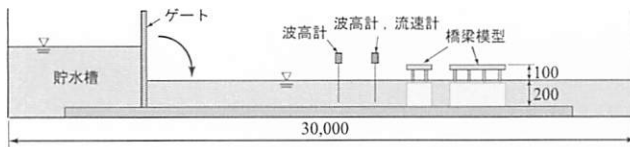
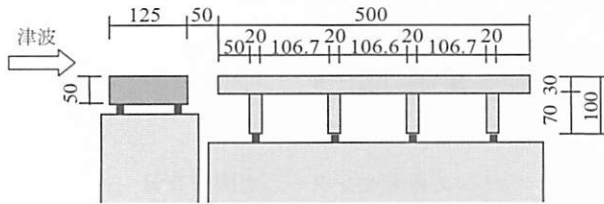
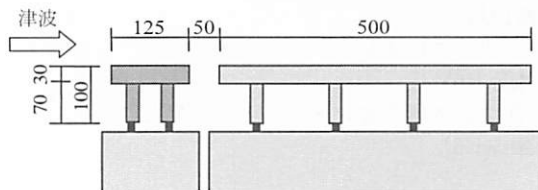


図-2 実験装置



(a) 長方形断面の側道橋がある場合



(b) 2主桁断面の側道橋がある場合

図-3 橋梁模型と模型設置状況

本研究での実験は、東日本大震災において津波により被災した構造物の分析に関する幸左らの研究結果に基づき⁶⁾、橋桁底部まで水位が上昇してから、上部構造高さに相当する高さの津波が橋桁に作用する場合を想定した。すなわち、初期水位は0.2mで、0.1mの段波が発生するように設定した。

なお、本実験で用いた上部構造模型の質量は、実橋梁で想定している質量と相似にできていない。しかし、本実験では、津波からの作用に対して、支承に生じる水平反力と鉛直反力を把握することを目的としており、また上部構造模型の重さによる支承の変形は生じないようにしているため、本実験では、上部構造模型の質量が相似則に則した値でないことの影響は小さいと考えた。

(2) 上部構造模型

上部構造模型は図-3に示すように、4主桁断面模型（本橋模型）と側道橋模型を並列させるように設置した。上部構造模型は橋脚と連結材で連結し、連結材に分力計を設置することで、津波が上部構造に作用したときの支点反力（水平 F_H および鉛直 F_V ）を計測した。本論文では津波が作用する側の支点から、支点1、支点2、支点3、支点4とする。

側道橋は、長方形断面模型（桁幅0.125m、桁高0.05m）および2主桁断面模型（桁幅0.125m、桁高0.10m）を用いた（図-3）。4主桁断面模型と側道橋模型の橋面は同じ高さにし、両模型の間隔は実際の

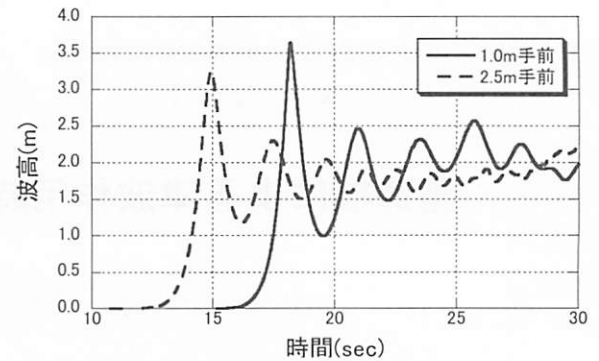


図-4 計測された波高の時刻歴

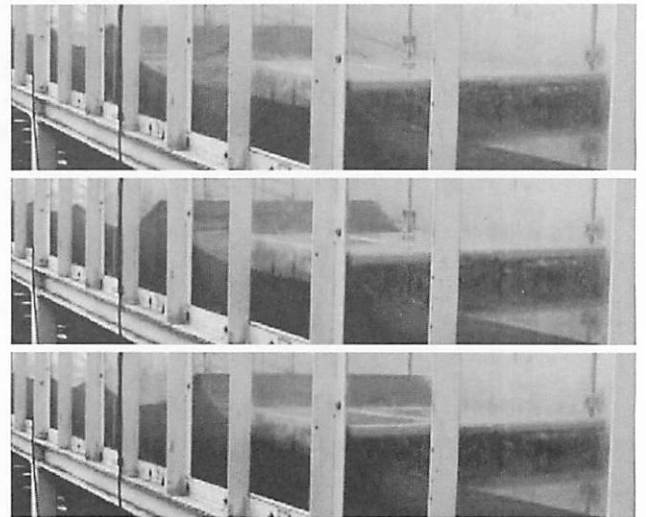


写真-2 発生した段波

本橋と側道橋の間隔を参考にして、0.05mに設定した。

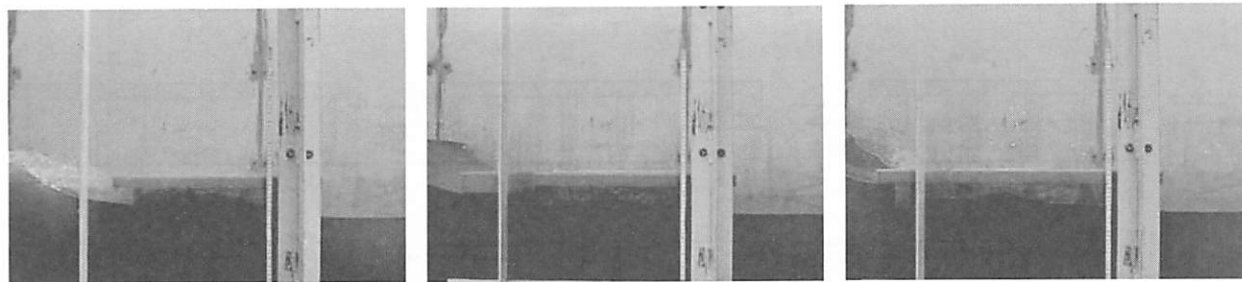
本実験では、津波作用時の本橋に作用する支承反力を計測した。そして、得られた結果から、側道橋がある場合における、本橋に与える影響について検討した。

3. 実験結果

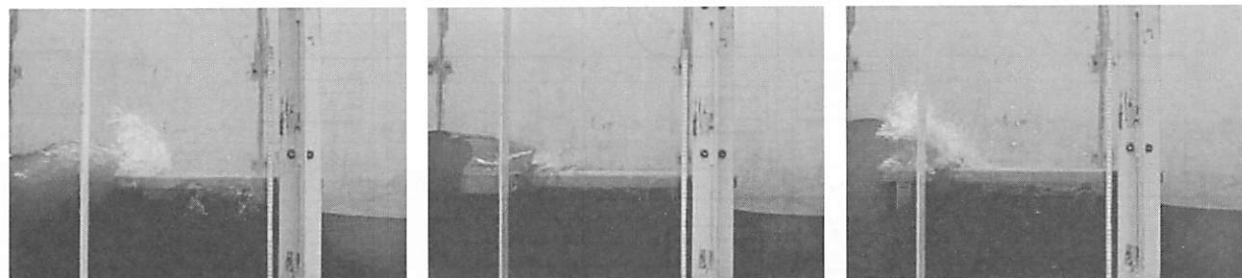
(1) 波高

図-4は実験により得られた計測波形である。横軸は時間、縦軸は波高である。なお、本論文では、計測された数値は全て実物換算した値で示している。同時に発生した段波の写真を写真-2に示す。

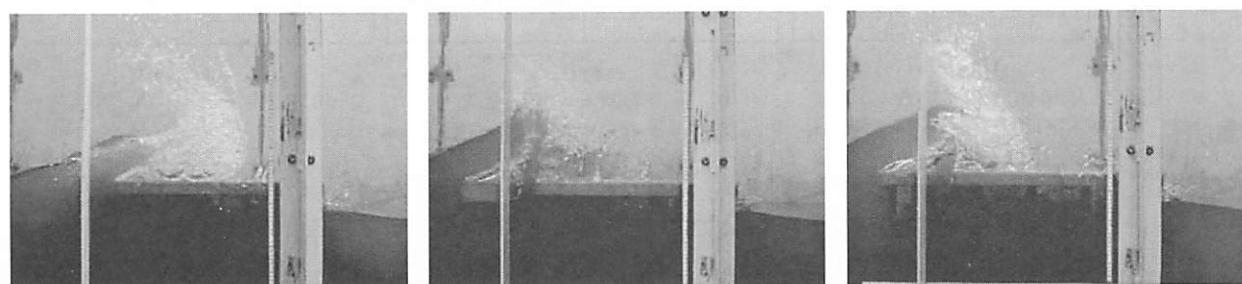
図より、発生した段波は、設定した波高（実物換算2.0m）に対して、最大値が約1.5倍大きな値になっている。その後、波高は増加減少を繰り返す挙動を示している。同様に、実験映像も波高が上下に振動している波が発生している。このことから、本実験で発生した津波は、最大3.5mの波高の波状段波であるといえる。



(a) 津波が本橋主桁の中間まで達したときの流況



(b) 津波が本橋橋面に達したときの流況



(c) 津波が本橋を越波したときの流況

図-5 橋梁周辺の流況

(左：本橋単体（側道橋なし）、中央：長方形断面の側道橋あり、右：2主桁断面の側道橋あり）

(2) 橋梁周辺の流況

図-5は、各時刻（津波が本橋主桁中間まで達したとき、津波が本橋橋面に達したとき、津波が本橋を越波したとき）における橋梁周辺の流況を比較したものである。なお、ここでの時刻は、本橋単体を基準としている。

本橋主桁の中間まで津波が達したとき（図-5(a)）、いずれのケースでも、流況に大きな変化はない。波の先端が崩れて作用する砕波段波では、波が砕けるために、波が前進して橋桁に作用するが、本実験で得られた波状段波は、砕波段波と異なり、側道橋があっても、桁下から水面が盛り上がり本橋や側道橋に作用するため、ほぼ同じような流況になったと考えられる。

津波が本橋橋面まで達したとき（図-5(b)）、側道橋がある場合、長方形断面、2主桁断面共に側道橋の橋面を越波して水が上昇している。同時に本橋と側道橋の間にも水が浸入して、水が上昇している。また、本実験の津波では、全てのケースで模型下面からの剥離が見られなかった。この模型下面からの剥離がなかったのも、本橋と側道橋の間に水が浸入した原因の1つと考えられる。

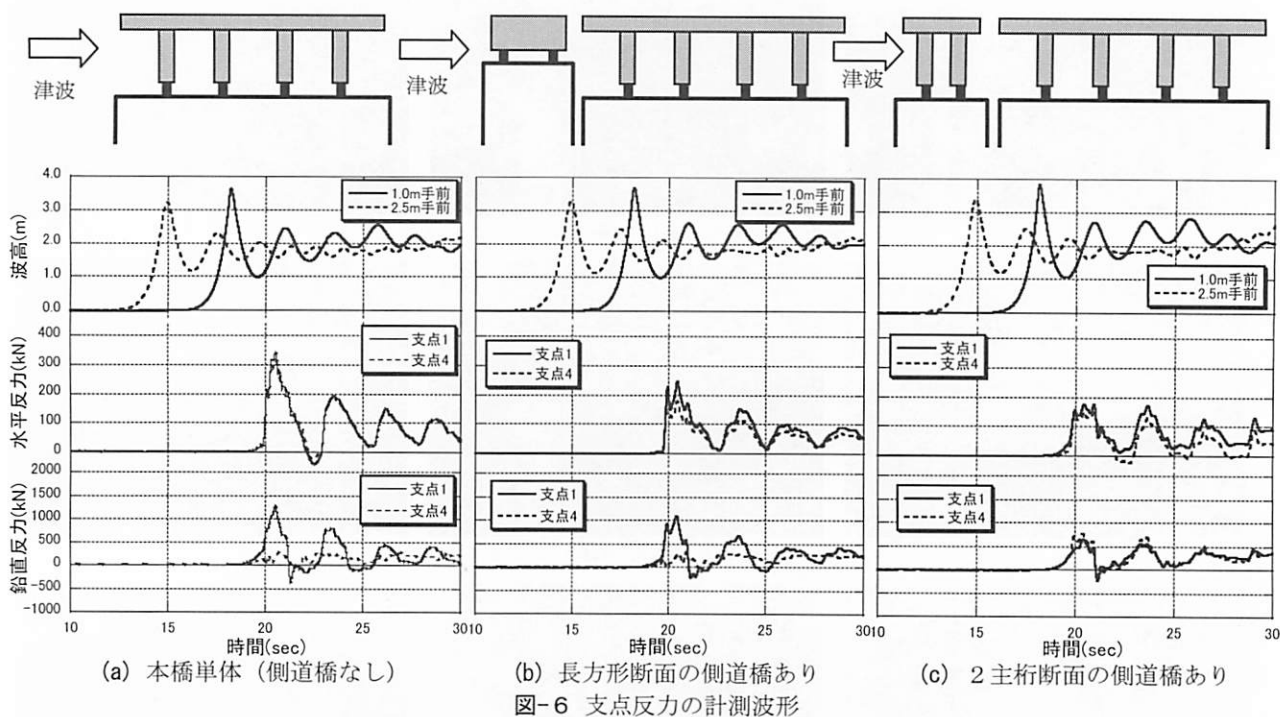
津波が本橋を越波した場合（図-5(c)）、側道橋

から越波した水と、本橋と側道橋の間から上昇した水が、本橋に着水している。また、全ケースで空気溜りが生じている。前述したように、模型下面からの剥離が生じなかったために、桁間内に水が侵入しなかったのが原因と考えられる。そのため、空気溜りによる浮力の影響を考慮する必要があると考えられる。

(3) 支承反力

図-6は津波作用時に支承部に作用する反力の計測結果を示したものである。横軸は時間、縦軸は上から波高、水平反力、鉛直反力である。なお、ここでは両端の支承部（支点1および支点2）の結果を示した。なお、波高計から津波の速度（波速）を計算すると、平均で8.8m/sであった。

側道橋がない場合、水平反力は両支点とも350kN程度作用するが、長方形断面の側道橋があると約250kN、2主桁断面の側道橋があると約150kNになる。同様に鉛直反力も、津波作用側の支点1では、側道橋がない場合では約1300kNになっているのに対し、長方形断面の側道橋があると約1100kN、2主桁断面の側道橋があると約750kNになっており、側道橋があることで、本橋に作用する支承反力は、水平お



および鉛直ともに小さくなる挙動を示している。図-5で示したように、側道橋が津波の力のある程度受けたことで、本橋に作用する力が低減したと考えられる。

長方形断面の側道橋と2主桁断面の側道橋では、2主桁断面の側道橋がある場合の方が、本橋に作用する支承反力が小さくなっている。図-5より、長方形断面の側道橋は桁下空間が2主桁断面の側道橋よりも大きいために、側道橋が受ける面積も小さくなったためと考えられる。

以上のことから、橋面が同じ高さで、本橋との間隔が0.05m（模型での値）の側道橋を設置し、桁下まで水位がある条件で橋面までの高さの津波を発生させた場合、側道橋の存在により、本橋に作用する支承反力が小さくなるような挙動を示すことが確認できた。よって、側道橋の存在により、本橋が受ける津波からの作用に有意な影響が生じたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、橋面の高さを同じとする側道橋が並列設置されている橋を対象とし、側道橋が津波により流出しない条件の下で、段波状の津波の作用による橋の挙動を実験的に検討した。本実験の条件の範囲内で得られた知見は以下のとおりである。

- ① 側道橋があると、津波の力を側道橋が受けることにより、本橋が受ける津波の影響が小さくなる。そのため、側道橋がない場合に比べて、本

橋に作用する水平反力および鉛直反力は、ともに小さくなる挙動を示す。

- ② 側道橋の上部構造の断面高さが、本橋の上部構造の断面高さよりも小さくなると、それが同じ高さの場合と比較して、本橋に作用する水平反力および鉛直反力ともに大きくなる傾向にある。

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.
- 2) 小松定夫，田井戸米好，坂田弘：高架橋の風荷重に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第303号，pp.1-14，1980.
- 3) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧（平成19年改訂版），2008.
- 4) 原田隆典，村上啓介，Indradi Wijatmiko，坂本佳子，野中哲也：津波により桁が流出した床版橋の再現解析，第14回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.103-110，2011.
- 5) 野中哲也，本橋英樹，原田隆典，坂本佳子，菅付紘一，宇佐美勉：津波波源から橋梁までの全体系津波再現解析，第15回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.25-32，2012.
- 6) 佐々木達生，幸左賢二，付李，田崎賢治：津波による津谷川周辺のPC桁橋梁を含む構造物の損傷分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.2，pp.1117-1122，2012.