第I部門

津波による橋桁の流出過程に関する考察

立命館大学大学院理工学研究科	学生員	〇北川	雅樹
立命館大学理工学部	正会員	川崎	佑磨
立命館大学理工学部	フェロー	伊津野	予和行

<u>1. はじめに</u>

2011年に東北地方太平洋沖地震で発生した津波は東北地方の沿岸部に甚大な被害を与え、多くの橋梁構造物が被害を 受けた.桁が流出したことで復旧に遅れが生じ、人命救助や物資の運搬に影響が及んだ.よって、今後想定される地震 からの復興を円滑に行うためには、桁の流出防止策が早急に必要である.本研究は、流出防止装置のない桁の支承破壊 後における流出状況を水理実験によって確認し、数値解析でその実験結果をどの程度の精度で再現することができるか 確認することを目的とした.

## 2. 水理実験概要

実験では、図1に示す実験装置を使用した.ゲートを急開 することで津波を発生させた.桁から貯水部側を上流とし、 上流側から 2900mm に容量式水位計とプロペラ式流速計を 設置した.桁は質量 0.441kg,橋台間の静止摩擦係数は 0.3 である.実験は、貯水高 130mm と 170mm の2パターンの 津波を発生し、桁の流出状況を確認した.

## 3. 数值解析概要

数値解析には,液体と気体の二相流解析ができる OpenFOAMを用いて,interDyMFoamという移動メッシュ対応のツールで三次元解析をした.橋台および桁と橋台間で発生する摩擦力は非線形バネで摸擬した.概要図を図2に示す. 橋台は V1 から V4 の鉛直バネで摸擬しており,初期位置から圧縮方向に対しては重力に抵抗するバネとして機能し,引 張方向に対しては抵抗力を0に設定した.摩擦力は水平バネ F1 で摸擬しており,静止摩擦力を降伏点とする完全剛塑性バネとした.

## 4. 水理実験結果と数値解析結果の比較

水位計と流速計を設置した位置の水位と流速を表 1 に示 す.実験と解析ともに計測地点に津波到達後の2秒間を対象 とし、その最大値を表示した.誤差は式1により算出した.

水位の最大誤差は、貯水高 130mm で 8%であった。桁高お よび橋台高さを踏まえると、この誤差が桁の流出状況に与え る影響は微小であると考える。流速の最大誤差は、貯水高 130mm で 18%であった。

Masaki KITAGAWA, Yuma KAWASAKI, and Kazuyuki IZUNO rd0022ex@ed.ritsumei.ac.jp



図2 桁に設置したバネの概要図

表1 水位と流速

貯水高(mm)	130	170
実験:最大水位(mm)	63	70
解析:最大水位(mm)	58	72
誤差(%)	8	2
実験:最大流速(m/s)	0.81	0.99
解析:最大流速(m/s)	0.67	0.88
誤差(%)	18	12



図3より,津波到達直後の解析精度が低いことがわかり,今後の改善が必要である.特に貯水高130mmのケースが顕著である.しかし,後述するように桁が流れた貯水高170mmのケースは津波到達直後の値を精度よく再現しているため,本研究ではこれらの結果を用いて考察することとした.

次に、津波到達後の桁の移動量を図4に示す.ここでは橋 台幅半分の 50mm を超えた時点で流出と判断した.貯水高 130mmは、実験と解析ともに移動しなかった.貯水高170mm は、流出の基準としている移動量 50mm を、実験は0.44 秒、 解析は0.52 秒で超えた.実験は0.16 秒で急に移動が始まり、 0.28 秒で解析の移動量を上回った後その差が増大している ことがわかる.静止状態から運動に移った時、それと同時に 桁に作用する力が静止摩擦力から動摩擦力に変わる.解析で はその変化を考慮していなかったために移動後実験値を下 回ったと考えられる.

なお,数値解析は津波到達後0.56秒(解析開始1.76秒) で,メッシュの変形が大きくなりすぎて計算不能になった. 5. 橋桁の流出状況に関して

貯水高 170mm の抗力, 揚力および流力モーメントの解析 結果を図5, 図6に示す. 揚力は上向き, 流力モーメントは 時計回りを正とした. 揚力は, 津波到達時(津波到達時 1.2 秒)に上向きの鉛直力が作用し, 1.37 秒に最大値の 1.8N と なった. その後, 下向きの鉛直力に変わり 1.54 秒に最小値 の-0.49N となった. 流力モーメントは, 1.35 秒に最大値の 0.02N・m となり, その後, 上下に振動しながら減少し 1.76 秒に最小値の-0.07N・m となった. 以上から, 津波到達時に 桁の左面および下面に力が集中したため,時計回りの力が発 生したと考えられる. その後, 津波が桁下方向と大気方向に 剥離し, 大気方向の津波が桁に覆い被さったことで下向きの 鉛直力および反時計回りの力が発生したと考えられる.

抗力最大時(解析開始1.4秒)の流況を図7に示す.桁は 実験で4mm,解析で5mmの移動を確認した.今回は実験と 解析ともに上流側の桁の浮き上がりは確認されなかった.

上流側の桁の浮き上がりを検証するために,橋台を模擬し ていた鉛直バネ V1 の作用力を確認した(図2参照).鉛直 バネ V1 の作用力を図8に示す.津波到達時から1.47秒にか けて 0N と 1.1N を往復し,その後は1.1N を上回る値を推移 した.以上から,上流側の桁の浮き上がりは瞬間的で,ほぼ 滑動状態で移動したことがわかった.



図8 鉛直バネ V1 の作用力

## <u>6. まとめ</u>

流出防止装置のない桁の流出状況を水理実験によって確認し、数値解析と比較した結果、桁の流出開始までの再現ができた. 今後、支承や流出防止装置を加えたシミュレーションを行い、適切な流出防止策を提案していく.