

橋梁に作用する津波の流体力と流況に関する SPH法解析

村上 晋平¹・BUI Hong Ha²・中尾 尚史³・伊津野 和行⁴

¹立命館大学大学院理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:rd006056@ed.ritsumei.ac.jp

²立命館大学総合理工学研究機構ポストドクトラルフェロー

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:hnbui@fc.ritsumei.ac.jp

³立命館大学総合理工学研究機構ポストドクトラルフェロー

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:h-nakao@fc.ritsumei.ac.jp

⁴立命館大学理工学部教授 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:izuno@se.ritsumei.ac.jp

本研究では、橋梁に津波が作用した際の、橋桁周辺部の流れの様子及び橋桁に作用した流体力を明らかにするため、粒子法の一つであるSPH法を用いて数値シミュレーションを行った。また、1/150縮尺の橋桁模型に段波を作用させる水理実験を行った。本研究の数値シミュレーションは、この水理実験の津波の作用条件に基づいて行い、水理実験結果とSPH法によるシミュレーション結果を比較検討して、精度と解析の整合性について検討を行った。その結果、橋桁に作用した流体の越波を表現できる解析精度を求め、解析の数的安定性を保つ解析条件の選定を行った上で、水理実験の結果との整合性をもつ解析条件を明らかにした。

Key Words : tsunami, bridge, Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), hydraulic experiment, hydrodynamic force

1. はじめに

2004年に発生したインド洋大津波によりスマトラ島北部で多くの橋梁が上部構造の流出、土工部の洗掘、橋台の倒壊などの多大な被害を受けた¹⁾。橋梁の被害の程度には津波の作用条件の他に橋梁支承構造の差異が関連する可能性が指摘されているが、津波対策としてせん断キーの設置やリフトアップ対策を施すには、橋梁に作用する津波の流体力を定量的に評価し、橋梁に津波が作用した際の橋梁の挙動特性を検討する必要がある。

津波による橋梁被害の解析的な検討に関しては、二井・幸左・運上・庄司²⁾が個別要素法による流体運動シミュレーション解析にPFC(Particle Flow Code)を用いて検討を行っている。解析結果から流体の影響による構造物の移動現象を評価し、波高と桁高をパラメータとした際の上部構造の移動対策を検証するべき波力の作用時間帯を示した。また、杉本・運上³⁾は津波で被災する橋梁を水理実験とMPS法を用いた数値シミュレーションで再現し

た。解析は橋梁周辺部の水路を3次元モデル化して行い、MPS法によって水路実験での流体の挙動の再現と橋梁に作用する波圧を定量的に解析することが可能であることを示した。

水理実験の結果を用いた研究に関しては、杉本・薄井・運上⁴⁾がRC橋・鋼橋を対象にした水理実験を行い、津波が橋梁に作用した際の橋梁上部構造に対する津波外力の特性を示し、流体力・橋梁上部構造重量と橋梁上部構造の被害の関係性を得ている。

このように、津波が橋梁に作用した際の流況に関しては、種々の手法による解析が行われているが、津波作用時に橋梁に作用する抗力・揚力などの力学的特性については、適切な津波対策を行うにはまだ精度が十分とは言えない。

そこで本研究では、津波から橋梁が受ける抗力・揚力を求めるために、津波が橋桁に作用する様子と流体力をSPH法による数値シミュレーションによって解析し、橋桁に作用する流体力を求めた。また、橋梁模型を用いた津波の作用実験を行い、

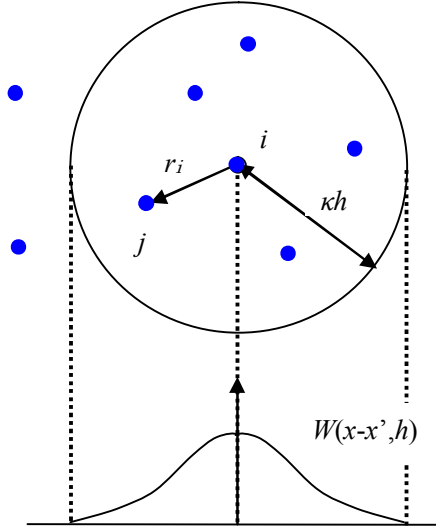


図-1 カーネル関数と影響範囲

橋桁に働く抗力・揚力を求めるとともに、シミュレーション結果の整合性について考察した。

2. 解析概要

(1) SPH法の概要

a) SPH法の定式化

本研究では、数値シミュレーションを行うための解析手法として粒子法の一つに分類されるSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を用いた。SPH法の特徴は連続体の物理量の評価位置を有限個の粒子として分割し、カーネル関数 W を定義することで、任意の粒子の物理量 $f(x)$ (x は座標) が式(1)のように W を用いた重ね合わせで平均化して表せることである。

粒子 i に配置されたカーネル関数 W とカーネル関数の影響範囲 kh の模式図を図-1に示す。この影響範囲は変数 h が座標・密度等の条件によって変動し、 κ は h の係数である。カーネル関数 W は通常、影響範囲外では0となる。

$$f(x) = \int f(x') W(x - x', h) dx' \quad (1)$$

粒子 j の質量 m_j 、密度 ρ_j 、影響範囲内にある粒子の総数 N として式(1)の離散化を行うと式(2)となる。

$$f(x) = \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_j} f(x_j) W(x - x_j, h) \quad (2)$$

kh の範囲外ではカーネル関数 W が0であるため、粒子数 N は実質、影響範囲内にある粒子の総数を指すこととなる。

カーネル関数 W は、Monaghan, Lattanzioによって提唱された3次スプライン関数式(3)⁵⁾を用いる。

$$W(R, h) = \alpha_d \times \begin{cases} \frac{2}{3} - R^2 + \frac{1}{2} R^3 & (0 \leq R < 1) \\ \frac{1}{6} (2 - R)^3 & (1 \leq R < 2) \\ 0 & (R \geq 2) \end{cases} \quad (3)$$

$$\alpha_d = \frac{15}{7\pi h} \quad (4)$$

ここで R は2つの粒子 i, j の相対距離 r_{ij} の影響範囲 h に対する割合である。また、 α_d は次元数による値で、2次元の解析を扱う場合は式(4)となる。

b) 方程式の離散化

まず、SPH法における密度について定義する。本研究では非圧縮性流体を用いるが、本研究のSPH解析に関しては水も可変的な密度が物理量として存在する。粒子密度の近似には、ナビエ・ストークス方程式を基に離散化された式(5)を用いる。ここで、 W_{ij} を粒子 j で求められた粒子 i のカーネル数、 ρ_i を粒子 i の密度、 v_i, v_j をそれぞれ粒子 i, j の速度とする。

$$\frac{D\rho_i}{Dt} = \rho_i \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_j} (v_i^\beta - v_j^\beta) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\beta} \quad (5)$$

ナビエ・ストークス方程式を基に、運動量保存則を離散化すると、式(6)で表される。

$$\frac{Dv_i^\alpha}{Dt} = - \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{p_i}{\rho_i^2} + \frac{p_j}{\rho_j^2} \right) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\alpha} + \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{\mu_i \varepsilon_i^{\alpha\beta}}{\rho_i^2} + \frac{\mu_j \varepsilon_j^{\alpha\beta}}{\rho_j^2} \right) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\beta} \quad (6)$$

ここで p_i, p_j は粒子 i, j の圧力であり、 μ を粘性係数として ε は式(7)で表される。

$$\varepsilon_i^{\alpha\beta} = \frac{\partial v_i^\beta}{\partial x_i^\alpha} + \frac{\partial v_i^\alpha}{\partial x_i^\beta} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{v}) \delta^{\alpha\beta} \quad (7)$$

ここで δ は式(8)を満たす関数である。

$$\begin{cases} \delta^{\alpha\beta} = 0 & (\alpha \neq \beta) \\ \delta^{\alpha\beta} = 1 & (\alpha = \beta) \end{cases} \quad (8)$$

c) 状態方程式の近似

粒子の圧力についてはMonaghanがSPH法に適用するための開発した式(9)を用いる⁵⁾。これは自由水面の存在する流体に適用できる。

$$p = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (9)$$

ここで $\gamma=7$ を経験的な定数として与える。また ρ_0 は解析における初期状態の密度を参照する。 B についてはダムの決壊をSPH解析に適用する場合を対象に式(10)を適用した。

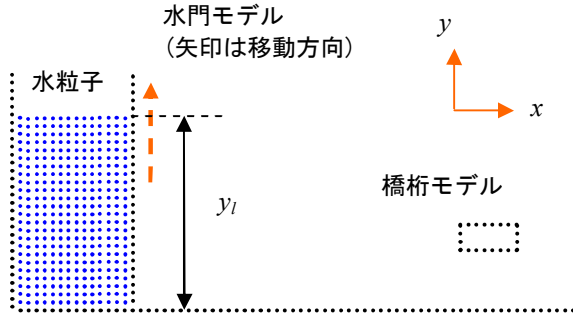


図-2 解析モデル

$$B \approx \frac{200gH}{\gamma \rho_0} \quad (10)$$

ここで、 g は重力加速度、 H は水粒子の初期配置された高さ、 v_{typ} は粒子の代表的な速度を示す。

d) 粒子の数的安定性向上

SPH解析において自由水面をもつ流体を解析する際に、粒子が互いに貫通して数的安定性が損なわれる可能性がある。この問題を解決するため、Monaghanは運動方程式のパラメータに人工粘性度 Π を追加し、自由水面上での粘性の概念を導入した¹⁾。人工粘性度を導入した運動方程式と Π について式(11)、(12)に示す。

$$\begin{aligned} \frac{Dv_i^\alpha}{Dt} = & -\sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{p_i}{\rho_i^2} + \frac{p_j}{\rho_j^2} - \Pi_{ij} \delta^{\alpha\beta} \right) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\alpha} \\ & + \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{\mu \varepsilon_i^{\alpha\beta}}{\rho_i^2} + \frac{\mu \varepsilon_j^{\alpha\beta}}{\rho_j^2} \right) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\beta} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\Pi_{ij} = \begin{cases} \frac{-\alpha c_{ij} \phi_{ij} + \beta \phi_{ij}^2}{\rho_{ij}} & \vec{v}_{ij} \cdot \vec{x}_{ij} < 0 \\ 0 & \vec{v}_{ij} \cdot \vec{x}_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

定数 α 、 β に関しては、決定的な値は存在せず、解析の対象によって適切な係数をとる必要がある。Monaghanは自由水面に適する定数として、 $\alpha=0.01$ 、 $\beta=0$ を提唱しており⁵⁾、本研究ではこれを適用する。

また、粒子の挙動を安定化させ、粒子同士の貫通現象を抑制する手法として、Monaghan, Liuが粒子速度の成分を追加することで、近傍粒子の速度の相互作用により粒子の挙動の安定性を高めるXSPHを提唱した⁵⁾。XSPHは粒子速度に新たな項を追加する。XSPHについて本研究では式(13)を用いる。

$$\begin{cases} v_i^\alpha = v_i^\alpha + \varepsilon \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_{ij}} (v_j^\alpha - v_i^\alpha) W_{ij} \\ x_i^\alpha = x_i^\alpha + v_i^\alpha \Delta t \end{cases} \quad (13)$$

ここで ρ_{ij} は式(14)を満たす。

$$\rho_{ij} = \frac{\rho_i + \rho_j}{2} \quad (14)$$

ε は粒子の挙動の安定性と精度を考慮した値を適宜決定する。

e) 仮想粒子から受ける外力

SPH解析では連続体の境界をモデル化するために、仮想粒子を用いる。仮想粒子に一定の範囲内に近づいた粒子は式(15)で定めた反力 f を受け、粒子が仮想粒子を通過することを阻害する。水の浸透を防ぐような境界を考える場合を考える。水を水粒子としてモデル化すると、水粒子の初期粒子間隔 r_0 よりも水粒子と仮想粒子との間隔 r_{ij} が小さくなると仮想粒子から反力 f を受ける。この場合、水粒子のカーネル関数は仮想粒子を越える位置からの水粒子のカーネル関数の影響を受けなくなるため、仮想粒子の位置でカーネルが0になる。

$$f(r_{ij}) = \begin{cases} D \left[\left(\frac{r_0}{r_{ij}} \right)^{n_1} - \left(\frac{r_0}{r_{ij}} \right)^{n_2} \right] \frac{x_{ij}}{r_{ij}^2} & \left(\frac{r_0}{r_{ij}} \right) \leq 1 \\ 0 & \left(\frac{r_0}{r_{ij}} \right) > 1 \end{cases} \quad (15)$$

ここで n に式(16)が与えられている。

$$\begin{cases} n_1 = 12 \\ n_2 = 4 \end{cases} \quad (16)$$

しかし、この仮想粒子の反力は、カーネル関数を仮想粒子の位置で不連続になるため、数的不安定性の要因になるおそれがある。このため、通常は仮想粒子の他に、ゴースト粒子を定める手法が提唱されており⁶⁾、本研究ではこの手法を用いる。位置以外の物理量についても、同様に対称的な物理量を持つ。ゴースト粒子の存在可能域は、仮想粒子のカーネル関数の影響範囲 κh 内とし、定数 κ を数的安定性が保たれる値として定める。この手法により、仮想粒子を超えた範囲内からの粒子の影響を受けることができ、仮想粒子近傍の粒子のカーネル関数が連続となる。

f) 解析時間間隔

SPH解析の解析時間間隔 Δt は解析の精度を維持できる最大値より小さい値の設定が求められる。 Δt の大きさは粒子間隔 h と音速 c の比に依存し、式(17)を満たす Δt が求められる。 C_{cour} はCFL(Courant-Friedrichs-Levy)係数で、数的安定性を保つことのできる値として $C_{cour}=0.2$ が提唱されている⁵⁾。



図-3 実験装置

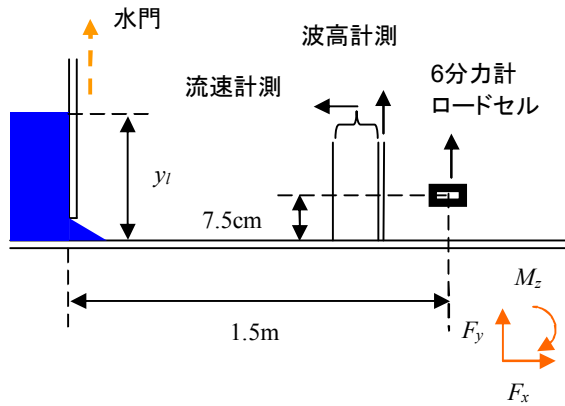


図-4 実験装置概略図

表-1 解析条件

解析条件	I	II	III
粒子間隔 h	2.5 mm		
解析時間 間隔 dt	1.0×10^{-5} s		
初期水位 y_l	0.30 m		
橋桁モデル形状	箱形		
ε	0.010	0.005	0.003

$$\Delta t \leq C_{\text{cour}} \min\left(\frac{h}{c}\right) \quad (17)$$

(2) 解析方法

解析モデルは橋梁模型を用いた津波衝突実験の実験装置を、橋軸に直角な平面で2次元化したモデルを考える。解析モデルの初期状態を図-2に示す。水路の向きに平行する方向にx軸、鉛直方向をy軸と定めた。実験で用いられた水、供試体、水路、水門、水槽を全て粒子の集合に置き換えたモデリングを行う。この際、水を粒子としてモデリングしたものを「水粒子」、供試体・水路・水門・水槽の領域とそれらと水との境界を粒子としてモデル化したものを「仮想粒子」と定める。

図-2において、青色で円形の粒子が水粒子、黒色で正方形の粒子が仮想粒子を示す。水粒子が等間隔で静止した状態から解析を開始し、段波の形状と変化した水粒子が右方の供試体の粒子に衝突する。水門については、解析開始後に上方に1.0m/sで移動する仮想粒子としてモデル化を行った。粒子間隔 h は 2.5×10^{-3} mmとして等間隔に配置した。

本解析では境界に関わる粒子にとして、仮想粒子、ゴースト粒子の2種類を定めた。これは、仮想粒子近傍の水粒子の数的安定性を高めることを目的とするものである。仮想粒子は水路・水槽と流体の存在可能領域との境界線上に配置し、その粒子間隔は水粒子の初期配置の粒子間隔と等しい。水門の箇所の仮想粒子は、水門を移動させる方向に一定の速度のみを与え、座標が一定の範囲外になると解析対象から除外した。ゴースト粒子は仮想粒子から κh [m]の領域内にある水粒子の物理量を、位置・速度に関しては仮想粒子で描かれる境界線を軸として対称な値、その他の物理量に関しては水粒子と等しい値をもつ粒子として新たに配置する。水粒子の物理量がタイムステップごとに変化するに従ってゴースト粒子の物理量もその変化に従う。本解析では解析の安定性を保つことのできる条件として $\kappa=2$ とした。

3. 実験概要

(1) 実験モデル

橋桁断面を単純化してモデル化し、津波が橋桁に対して垂直の方向に作用した場合を想定した流体の衝突実験を行った。実験は図-3のような実験装置を用いて行った。実験モデルは図-4に示すように、津波を発生させるために必要な貯水を行う水槽と、津波を流出させて橋桁モデルに作用させるための水路が接続されている。水槽と水路の間には上方にスライドして開くことのできる水門を設けてある。橋桁モデルはアクリル板を加工したものをを用いており、水門から1.5mの位置に設置した。計測器は橋桁モデル付近に設置した。橋桁モデル自体は6分力計ロードセルに接続されており、橋桁モデルに力が作用すると、水平方向の抗力・鉛直方向の揚力及び流力モーメントを計測できる。

(2) 実験方法

一定量に貯水した水槽の水門を開くことで水を一気に流出させ段波を発生させる。流出した津波の波高、流速を橋桁モデル前方に設置した波高計・流速計を用いて計測する。また、橋桁モデルに働く抗力・揚力・流力モーメントは6分力計ロードセルを用いて0.001s間隔で計測する。橋桁モデル周辺部の流れの様子に関しては、ハイスピードカメラで橋桁モデルの橋軸方向から撮影(1200コマ/s)した。

4. 数値シミュレーション結果と考察

(1) 流況・流速

図-5 から図-7 はそれぞれ、表-1 に示す解析条件で得られたシミュレーション結果であり、解析条件Ⅰ，Ⅱ，Ⅲにおける、各解析条件間では式(13)に含まれる係数 ε の値が異なる。津波が作用した直後の水粒子の流況と流速を示す。図の凡例は粒子の速度である。

これらの結果を全体的に捉えると、解析開始後に水粒子が橋桁モデルに作用した際の跳ね上がりが見事に表現できている。

図-5から図-7はいずれも越波の様子を十分に表現できているといえるが、 ε の値の違いにより越波の規模の違いが生じた。流速に関しても、 ε の減少に伴い、水粒子が橋桁に作用する直前での粒子の最高速度の絶対値が大きくなっている。これは ε の減少によって、粒子が相互間で速度の平滑化の影響が小さくなったために、流出した粒子の速度が大きくなったためだと考えられる。

粒子配置の安定性に関して $\varepsilon=0.010$ の図-5と $\varepsilon=0.003$ の図-7を比較すると、 $\varepsilon=0.003$ のときは比較的粒子の配置にばらつきがみられ、 $\varepsilon=0.010$ のときよりも安定性が低くなっている。これも粒子の速度の平滑化の影響が小さくなったために、周囲の粒子との速度差が大きい粒子が発生したためだと考えられる。

また、図-8は水理実験における、水門解放後1.6sのときの橋桁モデル周辺の流況である。これを解析結果と比較すると、 $\varepsilon=0.010$ の図-5では越波に要する時間が短く、越波の規模は小さすぎると言える。

以上のことから、 ε の値が粒子の速度の拘束性に深く関与し、 ε の値が大きくなると津波の自由水面の速度が低下するため流体が障害物に作用した場合の水粒子の挙動の変化が小さくなると推察できる。一方、 ε の値が過分に小さくなると粒子の挙動の安定性が低下して解析の数的安定性が保たれないおそれもある。

これをふまえて、本研究では流況に関する実験結果とSPH解析を比較して、 $\varepsilon=0.005$ の条件下で解析の整合性を保つことができると考えられる。

(2) 抗力・揚力

各解析条件の抗力の0.1s移動平均を比較すると図-9 のようになる。縦軸が抗力、横軸が時間を表す。この結果から、 ε の値が減少すると抗力は全体的に増加する傾向が見られる。これは ε の値の減少によって水粒子の流速の平滑化の影響が小さくなるため、結果的に自由水面上の流速が増加することによるものだと考えられる。 ε の値の減少に伴って水粒子が橋桁モデルに衝突するまでの時間が長くなっていることについても、自由水面上の水粒子の速度の増加によって橋桁モデルの高さまで波

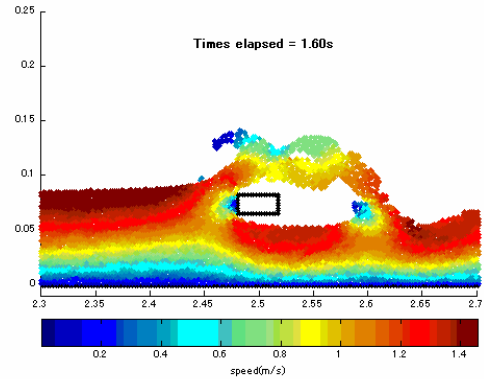


図-5 流況 ($\varepsilon=0.010$)

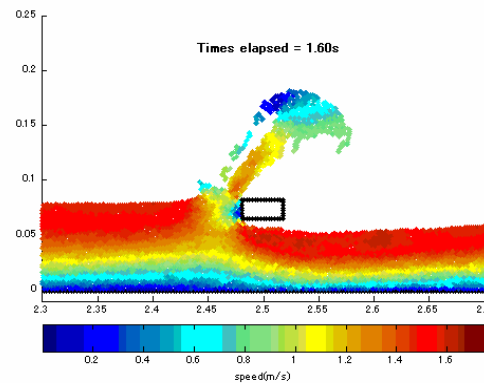


図-6 流況 ($\varepsilon=0.005$)

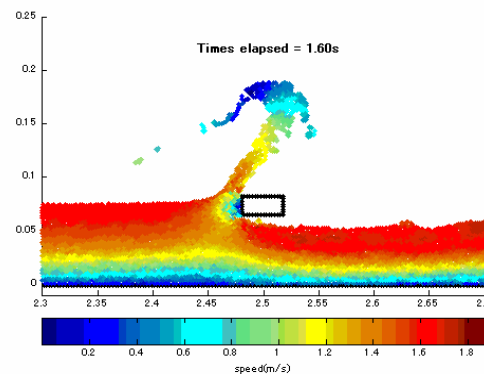


図-7 流況 ($\varepsilon=0.003$)



図-8 実験映像

高が上昇する時間が長くなったためだと考えられる。抗力についてSPH解析結果と実験映像を比較した場合、 $\varepsilon=0.010$ が最も実験結果と整合性のとれる解析結果が得られた。

図-10 は各解析条件の揚力の0.1s移動平均を比較したものである。縦軸が揚力、横軸が時間を示す。揚力についても抗力と同様に ε の値の減少に伴って水粒子が橋桁モデルに衝突するまでの時間が長くなっていることが原因だと考えられる。揚力が最大値をとるのはいずれの解析条件でもおよそ $t=2.2s$ から $t=2.6s$ の区間である。これを流況の解析結果と比較すると、揚力が最大値をとるのは、橋桁モデルの後方に水粒子が回り込んで、橋桁モデルの周囲が水粒子で満たされたときである。一方、実験における揚力の最大値は水粒子が橋桁に衝突した直後に発生している。したがって、津波の作用と橋桁の揚力の関係を、本解析の結果で表された揚力の最大値から検討することはできないと考えられる。

実験値とSPH解析の流体揚力を比較すると、実験で得られたような鉛直下向きの圧力をSPH解析では得ることができず、結果的にSPH解析の結果は鉛直上向きの水粒子の圧力が強調された結果となった。実験映像も加えて検討すると、揚力の実験値が図-10 で負の最大値をとった時は、流体が橋桁模型に作用した直後のことであり、図-11の実験映像から橋桁模型が鉛直下向きに変位していることが認められる。

揚力の実験値が津波作用直後に負の最大値をとった原因は、津波が橋桁衝突後に橋桁上部と下部に剥離現象による負圧が発生し、その負圧の影響が橋桁下部で大きく発達するため橋桁衝突直後に大きな鉛直下向きの力が働いたためだと考えられる。

本研究のSPH解析では負圧の発生には対応ができていない。また橋桁の変位が発生しないと仮定していることが影響を与えている可能性がある。そのため橋桁の揚力を十分な精度でシミュレーションできなかったと考えられる。

5. おわりに

本研究では、橋梁模型を用いた津波衝突実験における橋桁モデル周辺の流況及び橋桁モデルに作用する流体力を、SPH解析でシミュレーションを行った。主な結論を以下に示す。

- ① 影響範囲 $h=2.5mm$ 、解析時間間隔 $\Delta t=1.0 \times 10^{-5}s$ の条件下において、速度の平滑化に関する定数 $\varepsilon=0.005$ を満たすとき、流体の速度や橋桁の越波を表現するのに十分な精度を得ることができた。
- ② 橋桁に衝突した後の越波の様子や橋桁後方・上方・下方にできる空気層の形状などの水粒子の挙動を正確に表現するには、 ε の決定が粒子速度

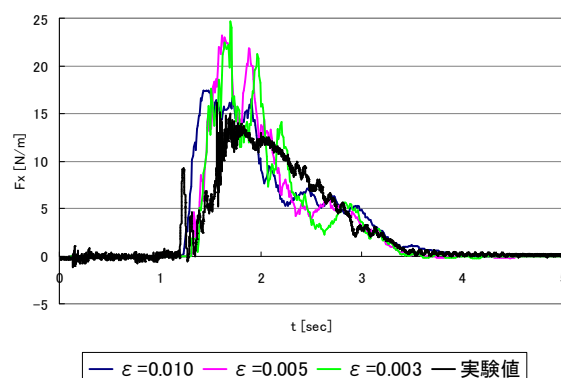


図-9 解析結果(抗力)

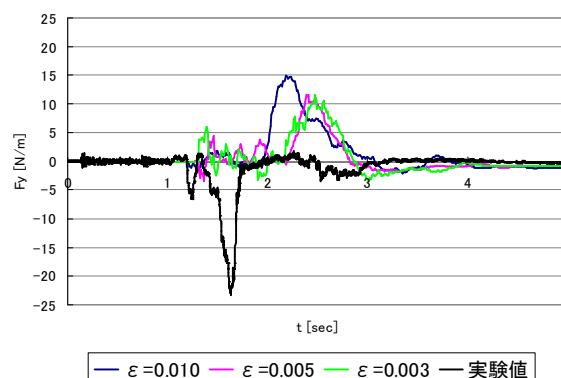


図-10 解析結果(揚力)

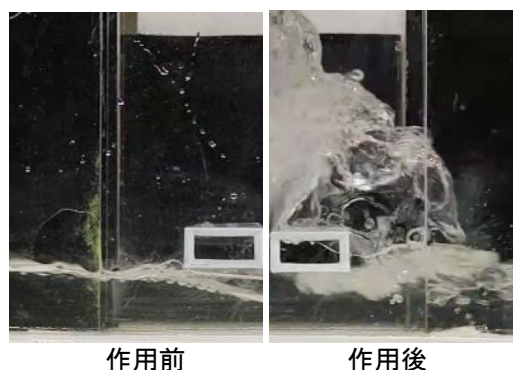


図-11 流体作用時の橋桁模型の変位

に関わるため重要である。解析の条件により適正な値が異なるため、その都度検討が必要である。本研究では $0.005 < \varepsilon < 0.010$ に適正な値が存在した。

- ③ 流体抗力に関しては、抗力の作用時間及び、 $\varepsilon=0.010$ を用いた場合の抗力の最大値について、橋梁模型を用いた津波実験とほぼ同じ値が得られた。
- ④ 流体揚力に関しては、橋桁モデルの変位を考慮していないことや、橋桁に津波が衝突した際の負圧の発生をSPH解析で表現できないことが原因で、揚力の作用時間や揚力の最大値に大きな誤差が生じた可能性がある。

謝辞：本研究の実施にあたっては、一部、科学研究費補助金(若手研究(スタートアップ)20860078)「津波を想定した落橋防止ケーブルの設計に関する研究(研究代表者：中尾尚史)」による補助を得たことを付記する。

参考文献

- 1) 運上茂樹：津波による橋梁被害，日本地震工学会誌，No.6，pp.26-28，2007.
- 2) 二井伸一・幸左賢二・運上茂樹・庄司学：波高と桁高をパラメータとした津波橋梁被害の個別要素法解析，第12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.69-74，2009.
- 3) 杉本健・運上茂樹：津波による橋梁の被災メカニズムに関する実験的研究，第11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.97-100，2008.
- 4) 杉本健・薄井稔弘・運上茂樹：津波による被災橋梁に対する水路実験の再現解析，第12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.81-84，2009.
- 5) G.R.Liu & M.B.Liu: Smoothed Particle Hydrodynamics: a meshfree particle method, World Scientific, 2003.
- 6) Libersky: Journal of Computational Physics, High Strain Lagrangian Hydrodynamics: A Three-Dimensional SPH Code for Dynamic Material Response, vol.109, issue1, pp.67-75, November 1993.

SPH ANALYSIS ON TSUNAMI FLOW AROUND BRIDGE GIRDER

Shimpei MURAKAMI, BUI Hong Ha, Hisashi NAKAO and Kazuyuki IZUNO

This study performed numerical simulation using the SPH method to investigate the tsunami flow around a bridge girder and to evaluate hydrodynamic force acting on the girder. Hydraulic experiments were also conducted using 1/150 scale bridge model to calibrate the numerical simulations. The hydrodynamic forces acting on the bridge model were measured with a load cell, and the water flow around the bridge model was recorded using a high-speed camera. Results showed that SPH can qualitative predict the behavior of tsunami flow around bridge girder.