

### 津波による橋梁被害の解析的検討

九州工業大学大学院 学生会員 脇田和也  
九州工業大学 学生会員 宮原健太

九州工業大学 正会員 幸左賢二  
株式会社ウエスコ 正会員 二井伸一

#### 1. はじめに

平成16年12月26日、スマトラ島沖地震により発生した津波によって、橋梁の上部構造物が流出する等の被害事例が報告された。我が国においても今後発生が予想される東南海・南海地震等の海洋型地震からの津波被害が懸念されている。海岸部における重要路線に架かる橋梁は、津波来襲後の安全性確保が重要と考えられているが、津波による橋梁の被災メカニズムは十分解明されていない。本研究では、津波による橋梁の被災メカニズムの解明にむけ、シミュレーション解析を実施し、橋梁の移動現象と波力について考察を行った。

#### 2. 解析概要

本研究で使用した解析プログラムは、個別要素法による流体運動シミュレーション解析が可能な粒状体挙動解析コードである。

解析対象橋梁は、単径間鋼鈹桁橋(4主桁, RC床版)とした。津波条件は、津波波高12m, 津波流速9.6m/sとし、桁下高は5mとした。解析モデルを図-1に示す。解析モデルは2次元として奥行き1m分を考慮すると共に、上部構造物は剛体と仮定している。構造物についても粒子によってモデル化を行う。なお、1桁の上下フランジのモデル化を省略した。それに伴い、桁の単位長さあたりの重量を補正し、桁重量が対象構造物と同等となるように設定した。

水の特性を与える粒子については、水柱の崩壊問題に関する既往の実験結果を用いて同定し、減衰係数、ばねの構成則を粒子間に設定した。水粒子間のばねの構成則を図-2に示す。また、支承部の力学特性を図-3に示す。鉛直方向のバネ定数は、桁の浮き上がりを考慮するため、引張方向のバネ定数を0とした。解析に使用した各定数を表-1に示す。

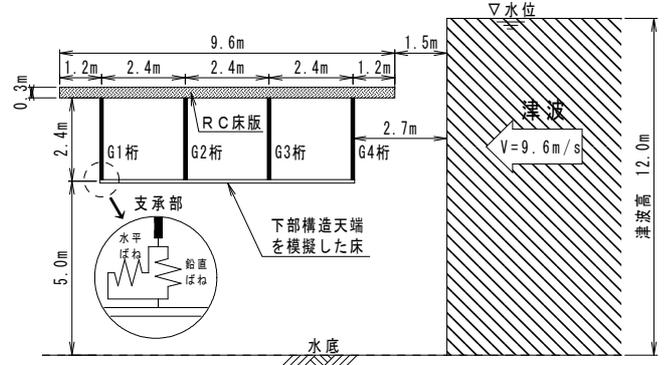


図-1 解析モデル

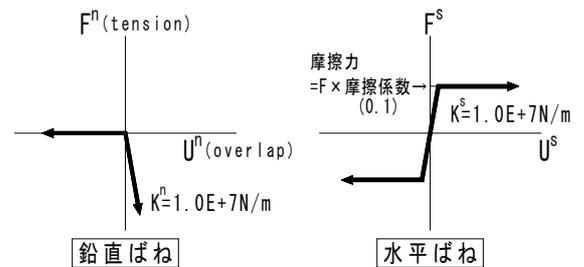


図-2 水粒子間ばねの構成

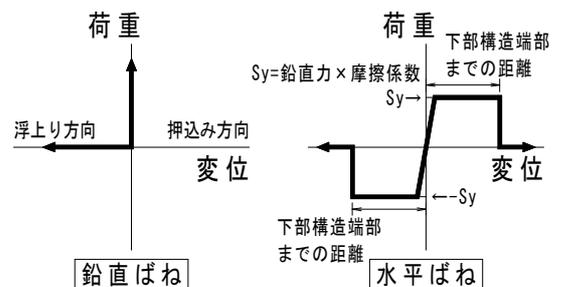


図-3 支承部の力学特性

表-1 解析入力定数

水粒子	半径 r	(cm)	5
	密度 ρ	(kg/m <sup>3</sup> )	1000
	粘着力	(N)	0
	減衰係数	(%)	0
	垂直方向バネ定数 kn	(N/m)	1.0×10 <sup>7</sup>
	せん断方向バネ定数 ks	(N/m)	1.0×10 <sup>7</sup>
	摩擦係数 μ	(-)	0.1
構造物	初期水位高 (津波高)	(m)	12
	粒子に与える速度	(m/s)	9.6
	半径 r	(cm)	10
	※下端壁との接続条件はばね接続		
	垂直方向バネ定数 kn	(N/m)	1.0×10 <sup>7</sup>
せん断方向バネ定数 ks	(N/m)	1.0×10 <sup>7</sup>	
摩擦係数 μ	(-)	0.2	
※構造物は剛体として設定する			

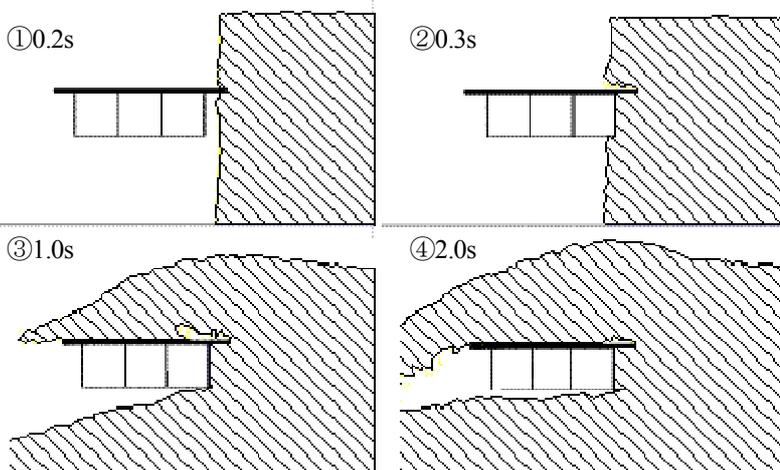


図-4 時系列変化

### 3. 解析結果

図-4 によれば解析開始 0 秒から、速度を与えられた水粒子は、0.2 秒時には床版部分に到達し、その後、0.3 秒時には粒子の多くが G4 桁に到達する。その後、上部構造物は移動し、2.0 秒時には下部工を模擬した床から G1 桁が離れる様子が分かる。各時刻における上部構造物の移動距離を G4 桁の水平成分の相対変位に着目し整理した。G4 桁の水平変位と水平移動速度を図-5 及び図-6 に示す。また、水平変位と水平移動速度は下記(1)～(3)式により求めることができる。

$$\frac{1}{2} \rho_w C_d V^2 A - \mu mg = m \alpha \quad (1)$$

$$S = \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (2)$$

$$v = \alpha t \quad (3)$$

式(1)中の左辺第 1 項は波力の算定式であり、第 2 項は構造物の摩擦抵抗力を表す。また右辺は構造物の負担力を表す。式(2)は、式(1)の  $\alpha$  を用いて移動距離を算定する式であり、式(3)は同様に移動速度を算定する式である。図-5 式によれば、1 秒時を原点とした 2 次関数で推移していることが分かる。解析結果によれば、1.0 秒時を原点とした 3.0 秒後の移動増加量は 1.35m であり、式(2)を用いて  $\alpha$  を算定すると 0.675 となる。式(1)にその  $\alpha$  を用いて抗力係数  $C_d$  を算定すると、1.95 となり理論値である 1.5～2.0 の範囲内となることから、解析結果は式(1)のつり合い式に対応しているものと考えられる。

つぎに、図-7 に波力と上部構造の摩擦抵抗力の関係を示す。摩擦抵抗力は全桁の水平反力の和であり、波力は G4 桁及び床版の右側面に作用する力の和である。0.3 秒後以降、摩擦抵抗力は上部構造重量と摩擦係数(0.2)の積である 19kN 程度を上限として推移するのに対し、波力については 0.3 秒時をピークに上下する。波力が最大となる津波衝突前後の 0.2～0.5 秒間に着目し考察する。図-8 に(a)津波が桁に到達する直前の時刻 0.2s, (b)直後の時刻 0.3s, (c)波力が低下する 0.5s の津波流速分布を示す。流速の測定箇所としては床版張り出し部から上下方向にラインを引き、そのラインを通過する粒子を対象とし、粒子 1 個ずつの速度の算定を行い平均化した。図-8 より上部構造へ作用する津波流速は時間の経過と共に減少し、0.5 秒時には上部構造に到達する以前の 3 割程度となった。また、その分布形状より上部構造の上下部では水粒子の初速 9.6m/s より流速が増加する。これは上部構造に到達した水粒子群を避け上部構造の上下部に集中し流れたためと考えられる。

また、解析結果である 0.3 秒時の波力 79.6kN に対し、抗力係数 2.0、初速 9.6m/s を用いて式(1)中の左辺第 1 項より算定した波力は 253.9kN である。水粒子の速度は、構造物衝突後に減少する。波力は水粒子の速度に依存するため、流速の減少が要因となり式(1)との算定結果と差が生じたものと考えられる。

### 4. まとめ

- (1) 解析結果は、つり合い式により求めた構造物の移動現象に対応しており、適切な抗力係数を用いることにより簡易的な評価が可能と考えられる。
- (2) 解析結果の波力は、構造物に衝突する水粒子の流速の速度に依存し、構造物衝突後に水粒子の流速は減少し、波力も減少する。また、波力算定式に水粒子の初速を用いて算定した値は安全側の評価になるものと考えられる。

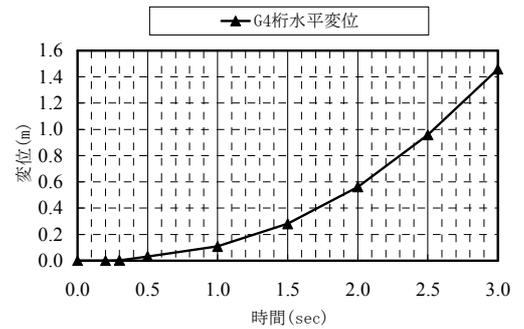


図-5 G4 桁水平変位図

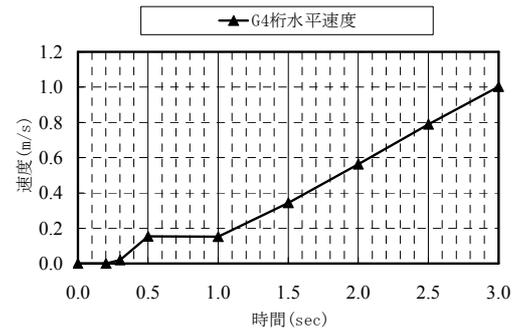


図-6 G4 桁水平移動速度図

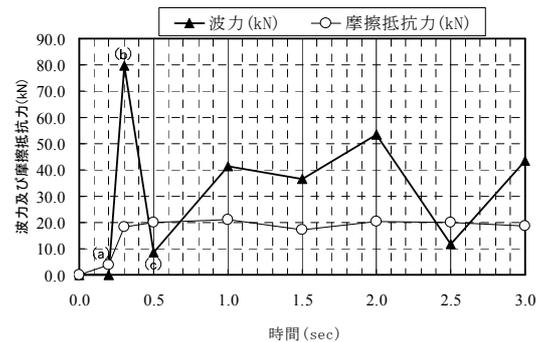


図-7 津波波力及び摩擦抵抗力の時刻歴関係

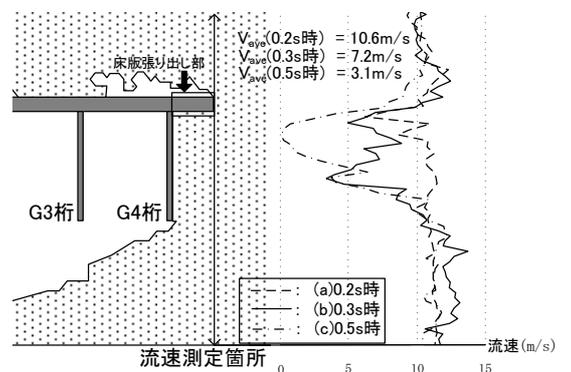


図-8 津波断面での流速分布