

津波波力による橋梁被害の解析的検討

九州工業大学院 学生会員 ○宮原 健太
株式会社ウエスコ 正会員 二井 伸一

九州工業大学 正会員 幸左 賢二

1. はじめに

2004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、橋梁の被災事例が報告された。JICAによる調査報告によると、調査区間内の橋梁全142基中83基が被害に遭い、そのうち76基は上部工の流出あるいは崩壊といった甚大な被害を受けたとある。写真-1は、上部工(PC桁)が3m程度横移動した被災事例であり、このような桁のみの移動が6橋の橋梁によって認められた。そこで、本研究では津波作用による橋梁の移動現象に着目し、シミュレーション解析による被災現象の再現と作用する波力の検証を行った。

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が可能な粒状体挙動解析モデルである。解析対象橋梁は、スマトラ島で多く架設されている単径間鋼鈑桁橋(4主桁、RC床版)とした。津波条件は現地の被災状況からの推定値である津波波高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分を考慮し、上部工は剛体とした。水の特性を与える粒子は、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。支承部の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。

3. 上部工の移動状況と鉛直反力の推移

図-2に上部工の移動現象を時系列に示す。水粒子は、0.2sに床版部に接触し、その後0.3sにはG4桁に接触する。水粒子群は時間の経過とともに上部工を覆い、2.0sには上部工は下部工から逸脱する。図-3は各桁の鉛直反力を示す。0.3秒までは各桁の鉛直反力に差がなく、移動現象は起きていない。その後、G1桁とG4桁の鉛直反力は0となり、G2桁に鉛直反力が集中する。G1桁については、下部工から逸脱するため鉛直反力値は0となる。G4桁は、図-4に示すように、G1桁の下部工からの逸脱と、床版張り出し部に作用する上揚力による上部工の傾きが要因となり鉛直反力値は0となる。以後、上部工は傾いた状態で移動する。本解析では上揚力が発生し難い段波性状の津波を用いたが、



写真-1 被災事例

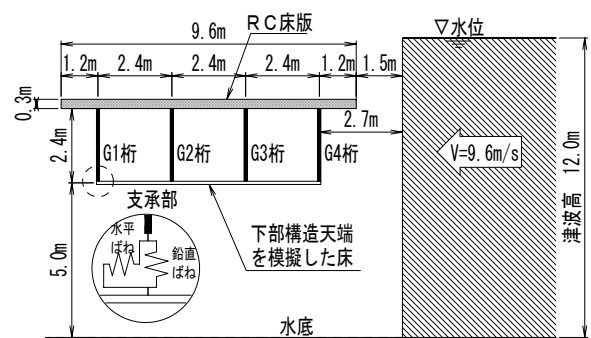


図-1 解析モデル

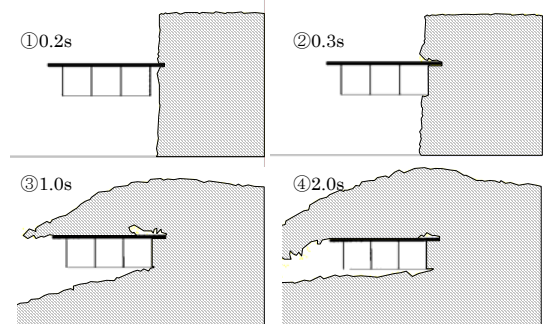


図-2 時系列変化

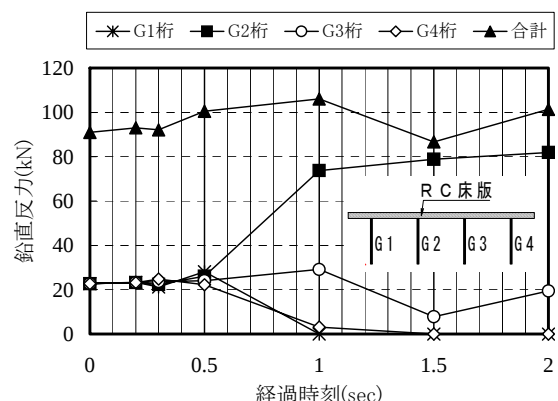


図-3 鉛直反力の時刻歴関係

キーワード 津波, 桁移動, 流速分布

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 建設社会工学科 TEL 093-884-3123

上部工には浮き上がりが生じ、下部工との摩擦抵抗力が失われ、上部工の移動現象が起きている。

4. 波力と流速に関する考察

図-5 に波力と上部構造の摩擦抵抗力の関係を示す。波力はG4 桁及び床版の右側面に作用する粒子間接触力の和であり、摩擦抵抗力は全桁の水平反力の和である。摩擦抵抗力は、移動現象の生じる 0.5s 以降、上部工重量と摩擦係数(0.2)の積である 19kN 程度で推移し、波力については 0.3s 時をピークに上下する。0.3 s ～0.5 s に着目し、波力と作用流速について考察する。図-6 は、床版張り出し部分から下部工までラインを引き、ラインを通過した各水粒子の流速をプロットした分布図である。0.3 s の平均流速は 6.0m/s、0.5 s で 2.9m/s である。この流速と式(1)を用いて、波力を検証すると、0.3 s の算定波力は 875kN となり、解析結果の波力 796kN とほぼ同等となる。本解析では、流速と波力の関係を模擬できることが確認でき、波力は流速に起因することが分かる。

$$\frac{1}{2} \rho_w C_d V^2 A = F \quad (1)$$

流速が低減する要因を考察する。図-7 は、解析結果より作成した各時刻の水粒子の流れを示す模式図である。0.3s では水粒子の移動方向は桁に向かっている。1.0s では上部工の抵抗を受け、G4 桁と床版の下に滞留水粒子群が発生し、後続の水粒子は、その滞留粒子群を避けて移動する。以上より、津波流速は、上部工の抵抗に伴う水の滞留粒子群に影響を受ける。津波波力は、上部工に衝突する瞬間に最大となる。衝突後、津波流速は上部工の抵抗を受けて失速し、それに伴い波力も低減する。そのため、津波衝突時に上部工が移動しない場合、上部工移動は生じないと考えられる。

5. まとめ

本研究では、段波性状の津波を代表としシミュレーション解析を実施した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 断波性状の津波が桁に衝突をすると、上部工に作用する上揚力と、下部工からの逸脱により上部工は傾き、さらに押し寄せる津波により、傾いた状態で移動する。
- (2) 津波波力は、上部工に衝突する瞬間に最大となる。衝突後、津波流速は上部工の抵抗を受けて失速し、それに伴い波力も低減する。

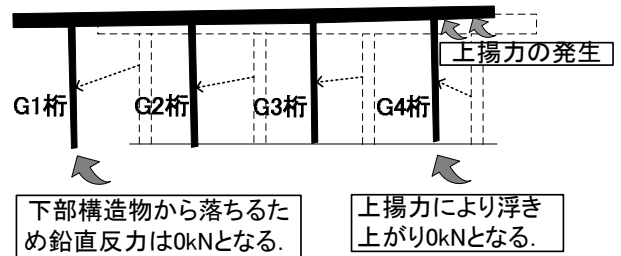


図-4 桁の移動現象

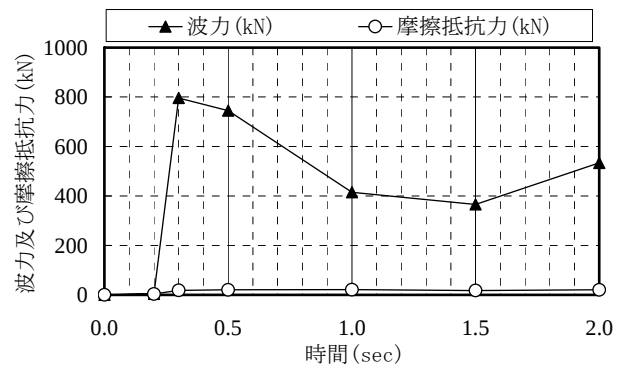


図-5 津波波力及び摩擦抵抗力の時刻歴関係

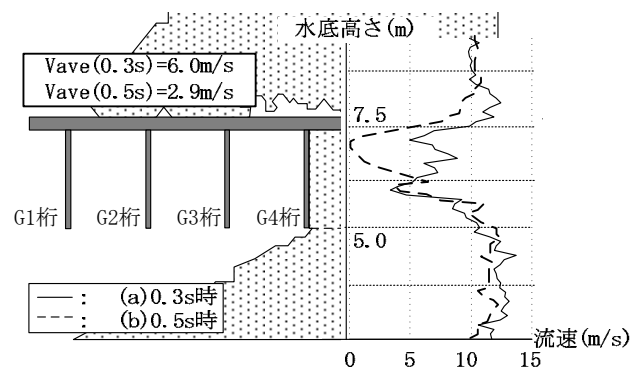


図-6 津波断面での流速分布

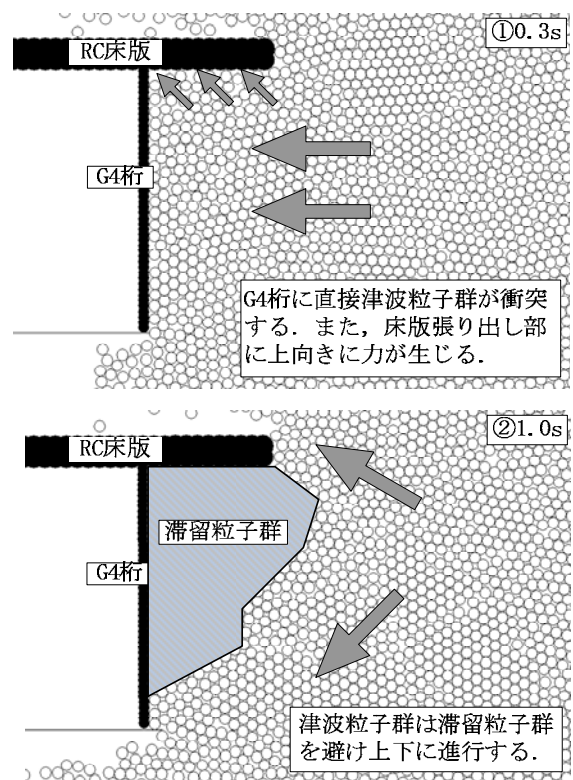


図-7 津波粒子の時刻歴変化