

スマトラ沖地震に伴う数値シミュレーション結果を用いた橋梁被害分析

九州工業大学大学院 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
防衛大学 正会員 嶋原良典

1.はじめに

2004 年末のインドネシア西部スマトラ島北西沖のインド洋で発生した地震により巨大津波が発生し、建築物ばかりでなく、社会基盤施設である橋梁が完全に流失する等、甚大な被害が多数発生した。現在までに、多くの現地調査が行われているが、バンダアチェに近接した狭い地域での調査が大半を占め、広域調査例は少ない。著者らは橋梁被害調査を4回実施し、18橋の桁長等の寸法を測定した。本研究では、これらの橋梁の上部工被害に着目し、桁の損傷度を簡易手法により評価した。また、桁移動した橋梁に着目し、数値解析を用いて、実被害と比較を行った。

2.全体被害分析

調査を行った18橋についてランク判定を行う。判定は、橋梁の使用可否に着目し、使用不可能な橋梁をランクA、一部が損傷しているが使用可能な橋梁をランクB、高欄等の付属物の損傷に留まるものをランクCとした。

図-1に部材別損傷ランクを示す。図-1より、上部工は、損傷ランクAが5橋と最も被害が大きく、桁移動以上(損傷ランクA、B)の被害は11橋と半数以上の橋梁が津波による被害を受けている。そこで、本検討では特に上部工の被害程度と桁移動有無の簡易判定式の関係について分析する。分析方法は、津波作用力(F)と橋梁の抵抗力(R)の比 β を求め評価する。 β の算定を式(1)に示す。

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

18橋の β 値の算定結果を図-2にまとめる。図-2より、RC桁の β 値の平均が2.7、PC桁の平均が1.6、鋼I桁の平均が1.5、鋼トラス桁の平均が0.6と橋梁種別により β 値に大きな差異を生じている。これは、本調査でのRC桁は桁長に対して幅員が広く、抵抗力が大きくなるため、 β 値が大きくなったことが考えられる。

図-3に橋梁種別ごとの損傷ランクと β 値との関係を示す。 β 値と損傷度には相関性があり、損傷ランクAで β の平均値が0.8、損傷ランクBで1.9、損傷ランクCで2.2となる。

損傷ランクAは、橋梁種別で分類すると鋼トラス桁が60%を占める。これは、鋼トラス桁は長支間に使用されていることから、桁長が他橋梁種別に比べ長くなる。また、抗力係数(C_d)の平均が2.5と比べ大きいことから、 β 値が小さくなる。その結果、損傷ランクは大きくなると考えられる。

3.橋梁の被害状況

Lueng Ie 橋の津波被害は桁移動が3.0mと我が国でも被害が想定される中規模の損傷であった。そこで、代表的損傷例を対象に詳細な橋梁及び周辺地形の被害を整理する。図-4にLueng Ie 橋の津波被災後の周辺地形図を示す。図-4に示す調査範囲(1.5km×1.5km)では、北側の森は6割程度減少し、西側の林は全壊し、河口部は津波により洗掘されている。

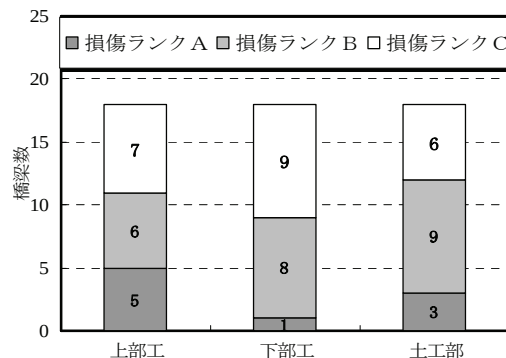


図-1 部材別損傷ランク

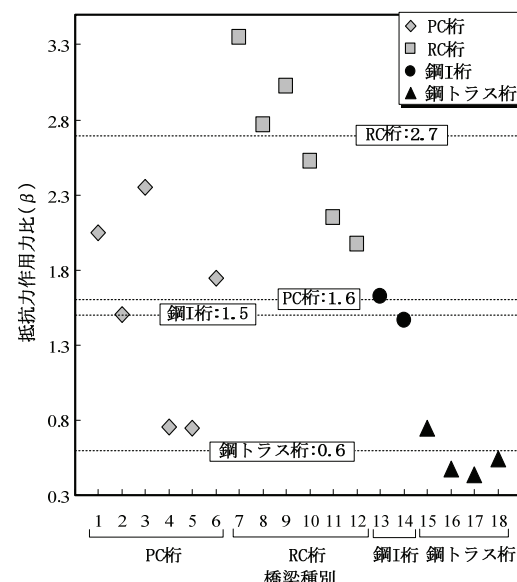


図-2 桁抵抗力津波作用力比分布

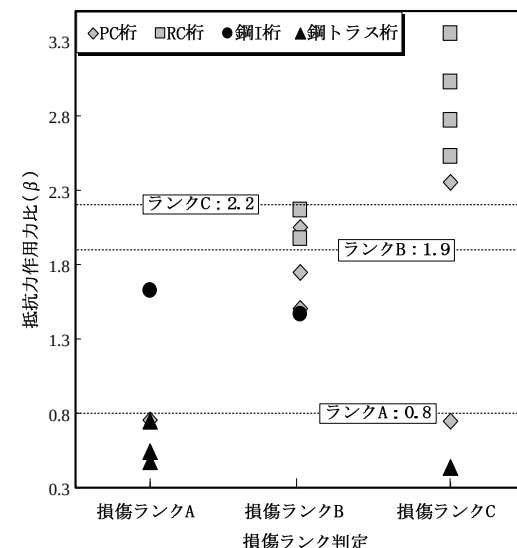
図-3 損傷ランク判定別の β 分布

図-5に橋梁周辺の被害を示す。図-5より、上部工は桁が3.0m移動しており、ランクBと判断した。下部工は右岸部の橋台で軽微なひび割れが生じる程度に留まっており、ランクCと判断した。土工部の津波被害は図-6に示すように左岸部下流側で幅員の6割相当である6.0m浸食され、ランクBと判断した。

4.数値解析結果と被害状況の考察

鳴原らは、スマトラ島周辺で津波の伝播・遡上解析シミュレーションを行い、任意地点の流速と浸水深を時刻暦で得ている。図-6に鳴原らの解析結果(Lueng Ie橋)を示す。ここで、浸水深とは橋梁道路面を超えた津波の高さを表し、図中の浸水深(縦軸右側)の0地点は、橋梁道路面を示す。また、図中の横軸は地震発生からの経過時刻を表す。領域①～②について説明する。領域①(39.1分)は解析結果における最大流速(3.8m/s)、最大浸水深(4.4m)となる時刻である。領域②(43.1分)以降は津波の作用方向が変わるため、最大流速及び最大浸水時である領域①を分析対象時刻とする。

図-7にLueng Ie橋の最大浸水発生時の浸水状況を示す。図-7中の浸水した地域は、図-6の領域①の時刻での全体の浸水状況を示している。図-7に示す破線は、津波の浸水により草木が流失した地域を示しており、鳴原らの解析結果と概ね一致する結果となる。橋梁の周辺の地形は、標高4.0m～6.0mの平地であったため、図-7に示すような、山際の寸前までの広域な範囲で浸水したと考えられる。

橋梁の領域①における津波作用力と抵抗力を算定し、実被害との比較検討を行う。領域①での流速は3.8m/sであり、津波作用力は式(1)下部より369.8kNとなる。一方、抵抗力は式(1)上部より974.2kNである。算定結果より、津波作用力が抵抗力を下回る結果となる。

次に、著者らは孤立波を対象として、桁下高と碎波の有無をパラメータとした実験により津波が桁へ作用する力を計測し、得られた結果から津波作用力の算定式(式(2))を提案している。

$$Qx = \rho_w g B \int_{z_1}^{z_2} (2.61a_H - (1/0.54)z) dz \quad (2)$$

橋梁の領域①における津波作用力と抵抗力を算定し、実被害との比較検討を行う。領域①における津波高は8.4mであり、津波作用力は式(2)より5213.9kNとなる。抵抗力は前述のように974.2kNであり、津波作用力が抵抗力を5.3倍上回る。算定結果より、実験結果から提案された式を用いた評価では、津波作用力が抵抗力を上回り、実被害との整合性がとれるが、津波作用力が過度に大きくなる傾向となる。

5.まとめ

- (1) RC 桁の β 値の平均が 2.7, PC 桁が 1.6, 鋼 I 桁が 1.5, 鋼トラス桁が 0.6 と橋梁種別により大きな差異を生じる。また、ランク A の平均は 0.8, ランク B は 1.9, ランク C は 2.2 であり、 β 値と損傷ランクは明確な傾向を示した。
- (2) 孤立波を対象とした実験から提案した式を用いた評価では、橋梁の津波作用力は抵抗力を上回る結果となるが、津波作用力が過度に大きくなる傾向となった。

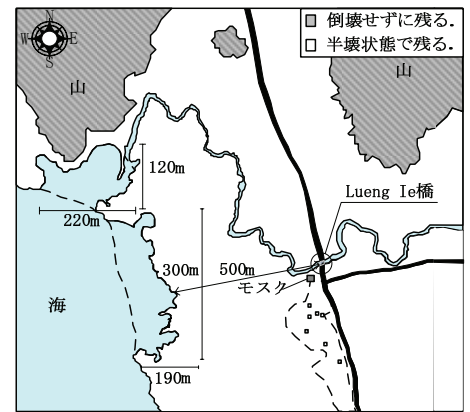


図-4 Lueng Ie 橋の周辺図(被災後)

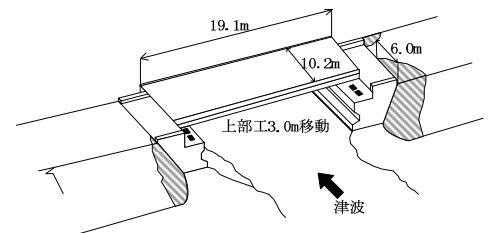


図-5 Lueng Ie 橋周辺の被害状況

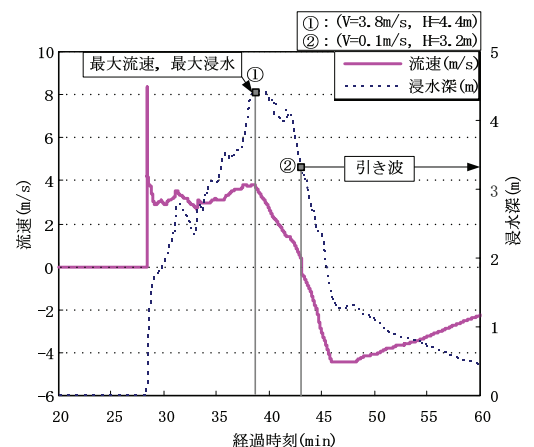


図-6 Lueng Ie 橋解析結果(鳴原ら)

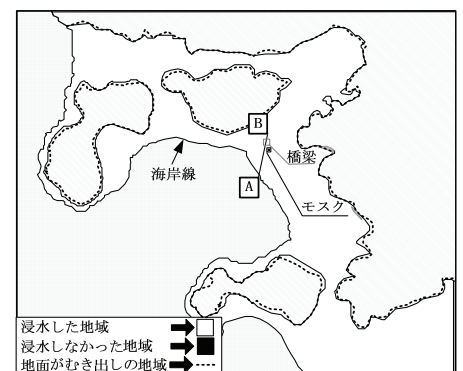
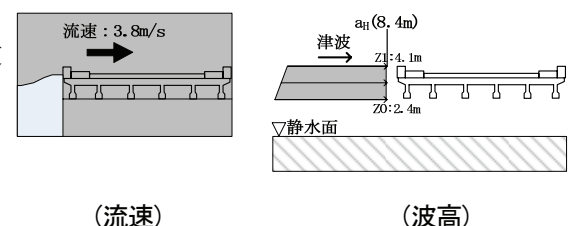


図-7 領域①における浸水状況



(流速) (波高)

図-8 解析結果による損傷評価