

スマトラ西海岸の詳細津波被害分析

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
京都大学 正会員 小野祐輔

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、巨大津波が発生した。この津波により、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。著者らは図-1に示すスマトラ島北西部のバンダアチェ～ムラボー間の調査を行った。調査区内で確認できた橋梁は26橋であった。本文では、26橋について部材別の損傷、津波作用力と抵抗力の関係をすると共に、1橋を対象にその周辺の家屋等の被災度についても調査した。

2. 橋梁被災分析

本論文では、橋梁の使用可否に着目し、津波来襲後の状態から損傷ランク判定を行った。図-2に部材別損傷ランクを示す。調査橋梁を上部工、下部工、土工部に分類し、各部材別に損傷ランクと基数を整理した。図-2より、上部工は、損傷ランクAが13橋と半数を占める。一方、下部工は損傷ランクB、Cが大半を占め、損傷ランクAの比率が2、3割程度となる。これより、津波による被害は上部工に関するものが多いことが分かる。

次に、上部工の被害に着目し、評価式を用いて橋梁種別による津波被害程度の分析を行う。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。津波に対する橋梁の抵抗力(R)は、上部工重量(W)と摩擦係数 μ の積で求める。一方、作用波力(F)は、津波が衝突する面を被圧面積(A)とし、求める。

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

図-3に β と桁長の関係を示す。本分析では、鋼トラスは大半が流出しており、その構造諸元を完全に把握できないため、評価から割愛した。鋼I桁の β の平均値は1.25となり、RC桁、PC桁の β の平均値は1.63、1.71となる。各平均値に大きな差がないことから、橋種による被災度の影響は少ないと判断される。但し、 β が0.68と極端に小さいコンクリート橋が2橋存在する。この2橋は、Cut川を併設して渡河する橋梁であり、主に歩道橋として使用されている。図-4に被災前と被災後の状況図を示す。コンクリート橋の被害状況としては稀な、上部工流失が起きた橋梁である。被害が大きくなった要因は、図に示すように構造高と幅員の比が小さいことである。本橋の構造高は1.7mであり、作用波力は601.8kNとなる。一方、幅員は小さく、それに伴い上部工重量は765.1kNとなる。この重量は、コンクリート橋の平均上部工重量(1635.2kN)の4割程度と軽く、波力に対する抵抗力が著しく小さかったことが考えられる。

3. Lueng Ie 橋近辺の被害分析

大規模な津波により桁流失が多いうち、Lueng Ie 橋は桁移動が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、橋梁26橋のうち1径間のRC桁であるLueng Ie 橋とその周辺の状況について分析を行う。被災前の衛星写真を検証したところ、Lueng Ie 橋周辺は森林に覆われ、主要道近辺にはモスク及び家屋等の集落が存在していた。また、

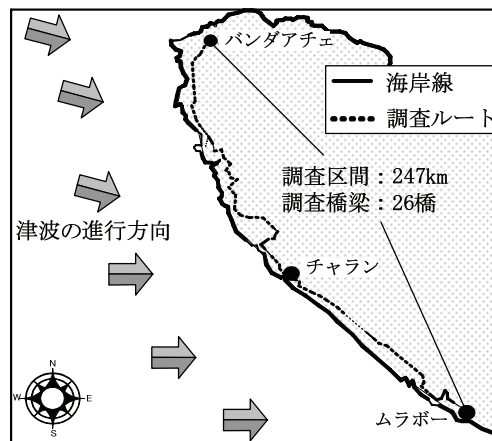


図-1 調査橋梁位置

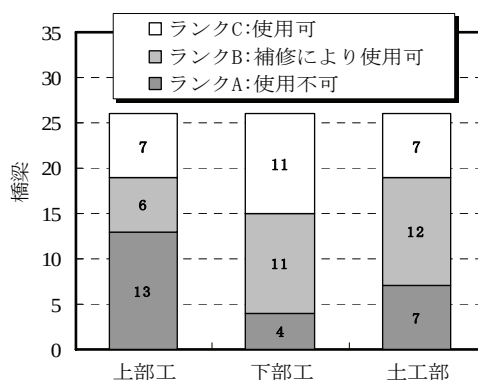
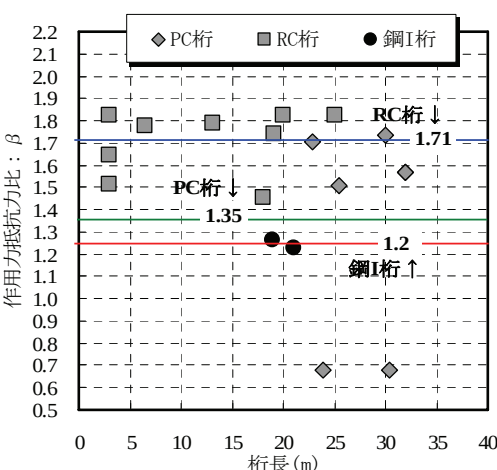


図-2 部別損傷ランク

図-3 橋梁別作用力と抵抗力の比 β

Lueng Ie 橋が渡過する河川は大きく蛇行し、その河口部には海老の養殖場が確認できた。

図-5に津波被災後の状況を示す。Lueng Ie 橋北側の森は6割程度減少し、西側の林は全壊している。橋梁近辺のモスクは、津波により半壊状態となっている。図-5 上部に被災前後の主要道近辺の拡大図(100m×100m)を示す。拡大図より、被災前に60軒近くあった家屋は6, 7軒残る程度と全体の9割が倒壊し、町が全壊に近い状況となっている。河口部の海老の養殖場は津波により洗掘され、海水が浸入し、地形が変形している。津波による地形の変形量は合計87500m²であり、河口部の洗掘が激しく、Lueng Ie 橋の海岸線からの距離が180m短縮した。海老の養殖場は、現地盤(砂浜)を掘って海水を入れたものであったため、浸食されやすい状況であったと考えられる。

図-6に津波来襲後の Lueng Ie 橋近辺の損傷状況を示す。Lueng Ie 橋上部工は、津波により河川上流方向に3.0m 桁移動した。一方、下部工はひび割れ程度の軽微な損傷に留まっていた。橋台背面の土工部の流失量は、右岸部下流側が12m³、左岸部下流側が16m³、右岸部上流側が8.0m³、左岸部上流側が6.0m³であった。また、橋梁下流側の両石積み部分は、盛土と共に流失していた。

図-7に津波被災前後におけるモスクの損傷を示す。モスクの構造高は13.0mである。同モスクの津波痕跡より、津波高が9.5mであったことが推測される。モスクは津波により完全に浸水していないこともあり、壁が破壊され、柱のみが残るといった半壊程度の被害であった。

これらの被害事例から、モスク、家屋、橋梁の作用力と抵抗力の比 β を求め、津波被害現象の分析を行う。作用波力は、津波が衝突する壁を被圧面積(A)とし、算定する。一方、抵抗力は、壁周りの4面が抵抗すると考え、壁周りの断面積を用いて式(2)より求める。

$$V_u = \tau_u a \quad (2)$$

モスクの作用波力は1340.7kN、抵抗力は1968kNとなり、 β は1.47である。家屋の作用波力は325kN、抵抗力は432kNとなり、 β は1.33である。橋梁の作用波力は608.8kN、抵抗力は1096.1kNとなり、 β は1.80となる。以下に実被害現象と β の関係について示す。

β が1.33である家屋は、被災前と比較すると倒壊及び半壊が9割を占めており、大半の家屋が壁崩壊と共に倒壊したと想定できる。 β が1.47であるモスクは、被災前と比較すると、壁は破壊されているが、構造物としての状態を維持し、半壊となっている。モスク内には柱があり、柱の被圧面積は壁よりも小さく、作用波力は小さくなる。そのため、柱が津波の作用波力に耐え、半壊の状態で維持できたと考えられる。 β が1.80である橋梁は、上部工重量が重く、 β は相対的には大きい、桁は3.0mの移動が生じた。

4. まとめ

- (1)被災調査より、上部工は、桁流失等の損傷ランクAが26橋のうち13橋と半数を占め、下部工は損傷ランクAが4橋、土工部は損傷ランクAが7橋であることと比べると上部工の被害度は高い。
- (2)分析結果より、全調査橋梁の β を求めると、RC 桁、PC 桁と鋼 I 桁の差異は小さい。なお、幅員が短い橋梁は、上部工重量が軽くなり作用波力に耐えられず、流失しやすい傾向を示すことが分かった。
- (3)分析結果より、作用波力及び抵抗力の関係から、Lueng Ie 橋近辺のモスク及び家屋の壁は津波により破壊され、家屋は倒壊するが、モスクについては、柱が作用波力に耐えるため、半壊の状態を維持したと考えられる。

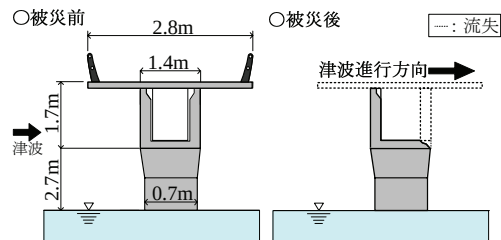


図-4 Cut 川橋断面図

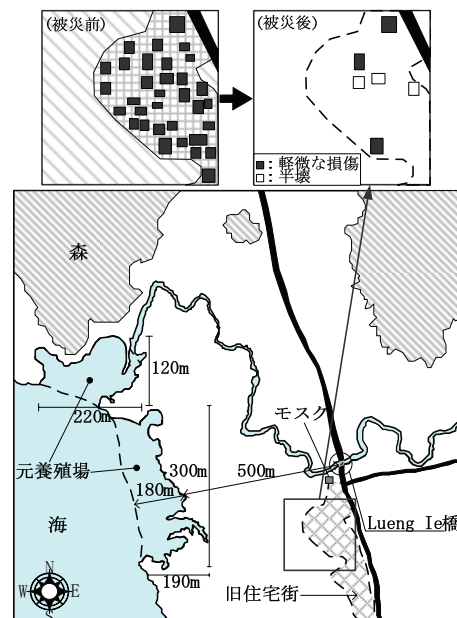


図-5 Lueng Ie 橋の周辺図(被災後)

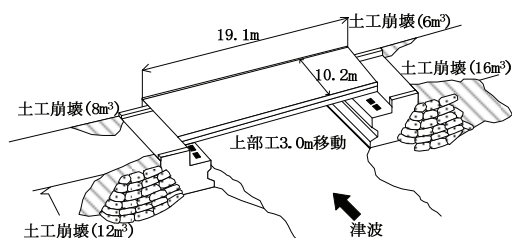


図-6 Lueng Ie 橋の橋梁図

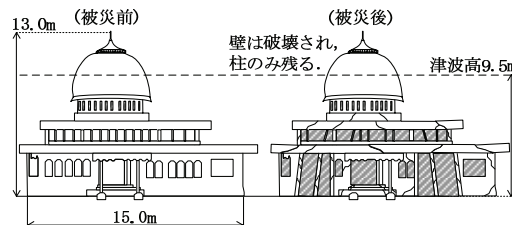


図-7 モスクの損傷(海岸線側)