

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究課題対象）】

研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	コウサ ケンジ 幸左 賢二		九州工業大学建設社会工学科		教授	
研究テーマ	名称	津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究				
	政策領域	[主領域] (7)防災・災害復旧対策 [副領域]	公募 タイプ	タイプ ブレクスルー		
研究経費 (単位:万円) H19、20は委託金額、H21は 計画額を記入。端数切り捨て。	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総合計		
	1,200	1,000	1,200	3,400		
研究者氏名 (研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入して下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加して下さい。)						
氏名		所属・役職				
宮島 昌克		金沢大学大学院 教授				
藤間 功司		防衛大学校 教授				
庄司 学		筑波大学 准教授				
小野 祐輔		京都大学大学院 助教				
重枝 未玲		九州工業大学 准教授				
廣岡 明彦		九州工業大学 准教授				
木村 吉郎		九州工業大学 准教授				
研究の目的・目標 (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入して下さい。)						
<p>最近の津波研究成果により、地震発生に伴い海岸地点に押し寄せる津波高については、ある程度予測が可能となりつつある。一方、津波による道路構造物の被害については、検討自体が極めて少ない状態である。このような観点から、以下の手法を用いて、<u>早急に津波が道路構造物に及ぼす影響について検討するとともに、その軽減方策の確立を目指す。</u></p> <p>1) <u>スマトラ沖地震による道路構造物の被害状況の分析</u> 津波が、道路構造物や建物などの地上構造物に与える影響を評価し、構造物部材別の損傷度と津波高さとの関係を明らかにする。</p> <p>2) <u>津波再現水理実験および設計手法の確立</u> 実損傷構造物をモデル化した、水理実験および数値解析により、新たな波力モデル、構造物抵抗モデル、盛土部抵抗モデルを提案する。</p> <p>3) <u>モデル地区を対象とした津波被害予測</u> 津波高さをパラメータとして、モデル地域の被害を推定し、最適な対策手法を提案する。</p>						

これまでの研究経過

．19年度研究経過

1) スマトラ沖地震による道路構造物の被害状況の分析

10名から成る調査団を組織し津波被害の最も大きかったスマトラ島北西海岸（バンダアチェ - ムラボー間240km）を踏査した．対象173橋梁のうち34橋梁の概略被害調査（橋梁種別，桁形状，損傷状況，周辺状況調査，ヒヤリング等によるデータ収集）を実施した．ついで，特に特徴的な損傷（桁移動，被害軽微，橋梁崩壊）が見られた4橋（Lueng le 橋など）を抽出し，詳細調査（橋梁種別，桁寸法，構造物損傷状況，盛土損傷状況，周辺損傷状況周辺地形測量（各1Km²範囲），海底地形測量）を実施した．

2) 津波再現水理実験および設計手法の確立

津波により3mの桁移動が発生したLueng le 橋をモデルとした3種類（小型模型，中型模型，遠心模型）の水理模型実験の計画立案を行った．このうち，小型模型実験では段波による桁への作用力および桁の移動現象に着目し，中型模型実験では桁への水平および鉛直方向作用波力，橋台への水平方向作用波力に着目する．また，遠心模型実験では津波作用に伴う盛土の損傷挙動に着目する．

3) モデル地区を対象とした津波被害予測

モデル地区として，南海・東南海地震による被害が想定される和歌山県紀南国道事務所管内の175橋梁のうち，浸水区内の橋梁である89橋を選定した．ついで，想定損傷度の大きい代表的15橋梁について，現地詳細調査により橋梁種別，想定浸水深，橋台構造を確認した．

．20年度研究経過

1) スマトラ沖地震による道路構造物の被害状況の分析

Lueng le橋周辺を対象に断層モデルを用いた数値解析により，津波の伝播経路を時系列で求めるとともに，橋梁の位置における流速，水位を求めた．痕跡津波高と比較し，再現性が高いことを確認している．

2) 津波再現水理実験および設計手法の確立

Lueng le 橋をモデルとした3種類（中型模型，小型模型，遠心模型）の水理模型実験を行った．孤立波を用いた中型模型実験によると，碎波しない場合桁に作用する水平力は合田式よりやや小さ目となり，上揚力は水平波力の3倍となった．一方，段波を用いた小型模型実験によると，水平力は合田式程度であったが，上揚力は水平波力と同程度であった．以上より，水平力は合田式程度であるのに対して，上揚力は波形状（孤立波，碎波の有無，段波）により大きく異なることが明らかとなった．

ついで，被害事例に基づく盛土高と越流水深の判定基準の妥当性を遠心模型実験により検証した．その結果，盛土を越流した津波の影響が大きいこと，盛土高2mまでは判定基準の適合性が高いことを明らかにした．

3) モデル地区を対象とした津波被害予測

想定津波高さが8mと特に浸水高の高い3橋を対象に，上記の実験結果を基に，桁に作用する水平波力，上揚力を算定し，桁の水平抵抗力，鉛直抵抗力との照査を実施した．その結果，3橋についてはいずれも水平抵抗力，鉛直抵抗力とも小さく，被害危険性の高いことを明らかにした．

研究成果の発表状況

以下に代表的査読付論文のみを示す。

- 1) 幸左賢二, 二井伸一, 庄司学, 宮原健太: 津波波力による桁移動現象の解析的検討, 構造工学論文集 Vol.55A, 2009.
- 2) 二井伸一, 幸左賢二, 庄司学, 木村吉郎: 橋梁の津波作用力に関する実験的検討, 構造工学論文集 Vol.55A, 2009.
- 3) 庄司学, 森山哲雄, 藤間功司, 嶋原良典, 笠原健治: 橋桁に作用する津波荷重の評価, 構造工学論文集 Vol.55A, 2009
- 4) 幸左賢二, 内田悟史, 運上茂樹, 庄司学: スマトラ地震の津波による橋梁被害分析, 地震工学論文集 Vol.29, pp.895-901, 2007.
- 5) 藤間功司ら: スマトラ島北西海岸における2004年インド洋津波の痕跡高分布, 土木学会地震工学論文集, Vol.29, pp.874-880, 2007.
- 6) 笠原健治, 藤間功司, 嶋原良典: 流れを遡る津波の砕波機構に関する研究, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.101-105, 2008.
- 7) K. Kosa G. Shoji and K. Tasaki: DAMAGE TO BRIDGES DURING THE OFF-SUMATRA EARTHQUAKE, Proceedings of 4th CECAR, 2007.
- 8) Yusuke Ono: SPH Simulation for Modeling Tsunami Force Acting on Structures, Symposium on Giant Earthquakes and Tsunamis, Phuket 2008
- 9) Shoji, G. and Moriyama, T.: Evaluation of a Tsunami Wave Load Acting to a Deck of a Road Bridge, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 15-0033 (CD-ROM), Beijing, China, 2008
- 10) Shoji, G. and Moriyama, T.: Evaluation of the Structural Fragility of a Bridge Structure subjected to a Tsunami Wave Load, Journal of Natural Disaster Science, Vol.29, No.2, pp.73-81, 2007

研究成果の活用方策

．研究で得られた知見

- 1．スマトラ沖地震の被害分析により, 橋梁構造物では部材別損傷に占める桁損傷の割合が極めて多いことを明らかとした。
- 2．中型および小型の津波実験の結果, 桁に作用する水平力はほぼ合田式に対応し, 上揚力は段波や砕波する孤立波の場合は作用水平力程度であるが, 砕波しない孤立波の場合は3倍に達することを明らかにした。さらに, パラメータを追加することにより, 想定津波高に対する合田式を基本とする作用水平力モデル, 上揚力モデルが提案可能である。
- 3．2 mまでの盛土高と想定津波高さをパラメータとした遠心模型実験により, 被害程度を明らかにした。さらに, 追加実験を実施することにより, 4 mまでの盛土高に対する被害程度を予測することが可能となる。

．活用方策

- 1．上記研究結果を基に, 標準的な単純桁を対象とした, 想定津波高に対する桁の作用力, 抵抗力モデルを提案する。これにより, 80%以上の南海・東南海地震で津波により越流する桁に対する被害の想定が可能となる。また, 被害が想定される桁に対して例えば, アンカーボルト, 落橋防止ケーブルやせん断キーにより水平抵抗力, 鉛直抵抗力を増加させる標準的な補強方法の提案が可能となる。
- 2．想定津波高と盛土高の関係から, 南海・東南海地震による被害の有無の判定が可能となる。また, 被害が想定される盛土工に対しては, 抵抗力を増加させる, 例えばブロック積み工などによる標準的な補強工法の提案が可能となる。

特記事項

．特記事項

- 1．本研究課題で検討中の津波被害分析や実験成果の一部を地震工学論文集，構造工学論文集に各3編掲載し，特に，地震工学論文集では優秀論文賞を受賞するなど当該研究は着々と成果をあげつつある．

しかしながら，津波が橋梁や盛土に及ぼす影響評価については，従来検討された事例が極めて少なく，かつ検討すべき項目は下記で述べるように極めて多い．

- 2．一方，研究は和歌山県における現地調査の結果より明らかなように，南海・東南海地震が切迫する和歌山県，高知県，三重県などの膨大な海岸線を有する地域では，道路構造物にも極めて深刻な被害が予測され，本研究課題は極めて重要な課題であることが再認識された．
- 3．これらの道路構造物は津波被害地域の復旧において極めて重要な役割を担うにも係わらず，設計手法が十分には確立されていないため，対策工のみならず想定被害の検討も十分には実施されていないのが現状である．

そこで，これらの重要性を鑑みて，本検討では，対象をもっとも多い構造形式である単純桁構造および高さ2～4 mの盛土構造を優先的に評価することにより，津波に対する構造物の設計法，想定被害程度，対策法の提案を目指す．

．今後の課題

- 1．津波に対する構造物被害の検討には，極めて多くのパラメータ（想定津波高，津波形状，桁高，桁形状，盛土高，盛土形状など）に対する検討が必要である．
一方，上記に示すように設計法の確立の必要性は極めて高く，また本研究は限られた時間での成果を目指す必要性もあることから，ここではもっとも多い標準的な形状（単純桁，高さ2～4 mの盛土構造）についての検討を優先的に実施する．
- 2．これらの検討成果をとりまとめることにより，想定津波高に対する標準的な形状への設計手法の確立を次年度の成果とする．

．研究の見直しや進展（自己評価）

- 1．現地関係者の協力により，インドネシアおよび和歌山県の現地調査とも十分なデータが入手できた．また，次年度以降も実験や分析の態勢は十分に整っているが，膨大なパラメータの中から，標準的な単純桁および盛土高（2～4 m）に対する検討を優先的に進める必要がある．
- 2．本研究課題は，構造，地盤，津波の複合的テーマであり，それぞれの分野の研究者らが独自の技術（例えば，津波実験装置，橋梁設計手法，遠心模型実験）を持ち寄り，相互に考え方を調整する必要があるため，膨大な打合わせ時間を要している．

一方，これらの調整を通じて，世界で初めて津波が橋梁構造物や盛土に与える影響評価という複合的現象を設計の観点から捉えることが可能になったと考えられ，各専門分野が相互に協力する本研究グループの検討手法は極めて画期的で有用な手法であると考えられる．