

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	大城雄希
論文題目	ミャンマーの長大鋼アーチ橋の地震時安全性および機能持続性に関する研究		
（論文内容の要旨） 本論文は、近年に更なる長大橋梁の急速な整備が進められているミャンマー連邦共和国の橋梁を研究対象としている。ミャンマー連邦共和国は、ベンガル湾とアンダマン海に面し、タイ、ラオス、中国、インド、バングラデシュと国境を接する長い海岸線と国境線を有する地域であるとともに、国土中央を大河川であるエーヤワディー川が流れる国内地理条件の基、人々の往来や物流において重要な役割を担う道路インフラ、特に橋梁建設技術の獲得において、1970 年代後半から 1980 年代前半に日本の援助を受けたにもかかわらず、政情、予算・技術制度の制約で橋梁の維持管理に問題を抱えている。さらに、その国土中央を活動度の高い活断層であるサガイン断層が約 1500km に渡り縦断しており、近年だけでも複数回の大地震に見舞われている。にもかかわらず、2006 年以降に複数回改定が行われた最新の耐震設計が適用されていない既存不適格な橋梁が多く存在する。このような背景を踏まえ、設計地震荷重として 0.1g-0.15g が採用されているミャンマーの最長スパンを有する長大鋼アーチ橋を対象とし、その耐震性能評価および現地特有な部材接合格点構造の安全性・持続性の検討を行ったものである。本論文は全 6 章で構成されており、以下に各章の実施内容および主な成果を示す。 第 1 章は序論であり、本研究の背景、関連する先行調査ならびに研究目的、本論文の構成を述べている。特に、ミャンマーにおける建造物の耐震基準の変遷、海岸線に沿った地域ならびにエーヤワディー川デルタ地帯などの飛来塩分が多い地域の腐食環境、現場架設に配慮した鋼部材の格点接合構造をレビューし、本研究で解決すべき具体的な課題を挙げている。 第 2 章は、近年設計地震動が改定されたミャンマーにおいて、内陸部の活断層周辺地域に位置する 3 径間連続中路式鋼アーチ橋を対象に、現地振動計測に基づき有限要素解析モデルの検証を行うとともに、設計当時の設計水平震度と現行設計基準における震度を用いた設計加速度応答スペクトルによる各種耐震性能評価を実施し、その地震時安全性や各解析手法の適用性および耐震補強案について検証している。設計震度 (0.15) に対して、各部位の発生応力は概ね許容応力度を下回るが、支点反力ならびに支承変位が制限値をわずかに上回ることを明らかにしている。また、現行設計震度 (0.4-0.5) に対する応答解析結果から多くの一次部材において許容応力度を上回るものの降伏応力には達しないが、下側アーチリブなどの一部では降伏応力に達するため何らかの耐震補強が必要であることを明らかにしている。 第 3 章は、鋼部材の接合において連結板積層形式の格点構造を対象とした構造解析を実施し、圧縮力を受ける格点部および引張力を受ける格点部における連結板の積層の影響について考察している。圧縮力を受ける格点部では、連結板の積層化によって中央の高力ボルト間で連結板の座屈が先行すること、第 4 章での実験的な検証のための縮小モデルに対する解析では、塑性座屈荷重を概ね推測可能であることを示している。一方、引張力を受け			

京都大学	博士（工学）	氏名	大城雄希
る格点部では、積層化によって接合剛性およびすべり耐力が低下することを明らかにしている。また、現行の耐震設計基準における供用期間中に発生する可能性の高い地震に対しては、積層化による影響は小さいが、考慮すべき最大級の地震に対しては、致命的な損傷を受けることを明らかにしている。なお、我が国のような単一な連結板を用いた格点構造の場合は、座屈などを生じないことも示している。 第4章では、第3章での有限要素解析結果を検証するため、連結板の積層化による格点部構造の縮小モデルに対して圧縮載荷実験を実施し、その構造応答特性を検証している。解析結果同様に連結板の座屈により終局に至ることを明らかにしている。なお、実験時の偏心載荷によりさらに耐荷力が低下する結果を得ており、積層化格点構造を採用している実構造物においては、架設時に想定される接合する各部材の軸心のずれを適切に取り除く重要性を提言している。 第5章は、鋼構造物の現場接合で多用される高力ボルト摩擦接合継手において、近年の構造物の大型化に伴う高性能化のためには、接合面の処理状態に依存するすべり係数の向上が求められているため、連結板にアルミ溶射を施したり、接合面にフリクションシムと呼ばれる、薄鋼板の表面にダイヤモンド粒子を埋め込んで、すべり係数の改善を試みる研究を参考に、安価で接合面の不陸整正にも適用可能なエラストマー（粘性と弾性を併せ持つ高分子化合物）の薄膜を挿入することですべり係数の向上を目指す検討を行っている。薄膜のせん断変形により、ずれ剛性は小さくなり、せん断耐力を規定するずれ変位 0.2mm での耐荷力は小さいものの、終局時のすべり耐力は、現行の高力ボルト摩擦接合と同等であることを示している。また、今後の継手性能向上において挿入する薄膜に対する要求諸元について検証している。 第6章は結論であり、本論文で得られた成果を総括し、今後の課題とともに取りまとめている。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、社会インフラが急速に整備されつつあるミャンマー連邦共和国において、その国土中央を活動度の高い活断層であるサガイン断層が約 1500km に渡り縦断しており、近年だけでも複数回の大地震に見舞われているにもかかわらず、2006 年以降に複数回改定が行われた最新の耐震基準が適用されていない橋梁が多く存在するため、設計時地震荷重として 0.1g-0.15g が採用されている長大鋼アーチ橋を対象とし、その耐震性能評価および現地特有な部材接合格点構造の安全性の検討を行ったものである。本論文において得られた主な研究成果は以下の通りである。

- ① 設計当初の地震荷重 0.15g に対する安全性評価方法が明らかではないため、耐震設計先進国で採用されている種々の設計手法による耐震性能評価を実施し、その安全余裕度と解析に必要な労力について検討を行っている。静的プッシュオーバー解析、応答スペクトル解析および時刻歴応答解析から得られる応答値の比較により、ザガイン断層地域で想定される 0.4g-0.5g の設計地震荷重に対する安全性レベルならびに耐震補強の必要性が示されている。
- ② 2000 年以降に建設されたミャンマーの近代的鋼橋では部材接合格点構造において、高力ボルトを多用する積層形式の高力ボルト摩擦接合継手が採用されており、非常に厚いガセットプレートに加えて部材の内外から複数枚の添接板を重ねた複雑な積層形式となっているため、模型実験ならび解析によりその力学的挙動を検討している。その結果、積層形式の格点構造では圧縮継手における連結板の座屈耐力が低下すること、積層された連結板の鋼板間への雨水の浸入による腐食の進行を想定すると、すべり耐力が上昇し降伏先行型へと変化することを示している。
- ③ 部材格点構造の性能向上を目的に、高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力向上手法として、摩擦面にすべり改善シートを挿入する手法を新たに提案し、すべり引張実験および解析を実施して、その実用性を検討している。エラストマーシートの品質を維持するために必要な最低限な厚みを確保して接合部に挿入すると、すべり耐力は維持できるものの、シートのせん断変形がずれ変位に大きく影響し、早期に支圧状態に移行することを示している。その対策として、長孔・拡大孔の採用により支圧状態を回避しつつすべり耐力が確保可能であることを示している。

以上より本論文は、ミャンマーの近代的鋼橋の耐震性を明らかにするとともに部材格点部の構造性能を明らかにしたうえで、必要な耐震性向上策を検証し、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 7 年 2 月 17 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。