

	ヤマダ タカノブ
氏 名	山田 忠信
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博第1265号
学位授与の日付	2022年9月7日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	繰り返し荷重を受ける鋼橋におけるブレース材の限界状態に関する研究 (Study on the limit state of bracing member in steel bridges under cyclic loading)
論文審査委員	主査 教授 野中 哲也 教授 張 鋒 准教授 永田 和寿 教授 鈴木 森晶 (愛知工業大学)

論文内容の要旨

兵庫県南部地震後、当該地点で考えられる最大級の強さをもつレベル 2 地震動に対して新設ならびに既設構造物の耐震設計が行われるようになった。特に、兵庫県南部地震以前に建設された上路式のアーチ橋やトラス橋はトップヘビーな構造であることから橋軸直角方向のレベル 2 地震動において支柱や対傾構のブレース材がよく塑性化する事例が多い。レベル 1 地震動で耐震設計された既設橋のブレース材は作用力が小さかったことから、細長比制限により断面が設定され、その接合部はガセットプレートにブレース材のフランジのみが 1 面摩擦接合となっている場合が多く、部材の両端をピン結合とした柱の圧縮耐力程度で設計されているのが一般的であるため、レベル 2 地震動の作用力に対して接合部も損傷する可能性が高いと考えられる。ブレース材の補強対策として、当て板補強により部材を補強する方法や、ブレース材を軸降伏型鋼製ダンパー等に置き換える方法が採用されている。ブレース材を軸方向ダンパーに置き換える場合は、接合部を含めて取り換えることができるが、当て板補強をする場合は、接合部の補強が別途必要になる。

平成 29 年の道路橋示方書の改訂で V 耐震設計編に接合部の設計の考え方が新たに規定され、接合部に求める耐荷機構を明確にし、接合部と接合される部材の限界状態の関係を明確に設定した上で設計することとされた。また、この道示では接合部の限界状態 3 としてすべり後の限界状態が設定されたが、繰り返しが作用する地震時の適用については明確に規定されていない。

そこで、本研究では、上路式鋼アーチ橋のブレース材の部材と接合部の合理的な補修・補強を行うためには、接合部と接合されるブレース材の限界状態の関係を明確にすることを目的とする。さらに、この成果を用いてブレース材パネルの合理的な耐震補強を提案する。

本論文は、「繰り返し荷重を受ける鋼橋におけるブレース材の限界状態に関する研究」と題し、以下の8章により構成されている。

第1章「序論」では、研究の背景として、既設橋を対象にした上路式の鋼アーチ橋や鋼トラス橋の耐震設計の課題について概要を述べた。また、これまでのブレース材、高力ボルト摩擦接合部、ガセットプレートに関する既往の研究の概要を整理した。これらを踏まえ、本研究の位置づけと目的の概要について述べた。

第2章では「既設橋の高力ボルト摩擦接合部と接合されるブレース材の限界状態に関する調査」では、対象橋梁としたレベル2地震動で設計されていない既設橋の接合部と接合される部材の限界状態を、道路橋示方書の規定から求め、各限界状態の比較を行うことで損傷シナリオを想定した。

第3章「対象橋梁と地震時耐荷力に関する解析的研究」では、動的解析により対象橋梁のレベル2地震動に対する損傷状態を確認した。

第4章「対象橋梁のブレース材パネルの終局挙動に関する研究」では、対象橋梁のブレース材パネルのブレース材と接合部を反映した約1/2の供試体による繰り返し载荷実験を行い、対象橋梁の終局挙動を明らかにした。対象橋梁のガセットプレートはレベル1地震動のみで設計されていたため、これを越えた水平荷重が作用すると、ブレース材が損傷する前にガセットプレートが局部座屈により先に損傷し破断に至った。このような部材とガセットプレートの限界状態の関係性の場合、動的解析でレベル2地震動に対する応答値を得られないことになる。

第5章「対象橋梁のガセットプレートを増厚したブレース材パネルの終局挙動に関する研究」では、第4章で行った供試体のガセットプレートを厚くした実験を行い、ブレース材パネルの終局挙動を解明した。

第6章「繰り返し荷重を受ける鋼トラス橋のブレース材の終局挙動に関する研究」では、一般的な上路式の鋼トラス橋の支点上対傾構を含む1構面を対象に、実橋梁の構造を忠実に再現した供試体を用いて、漸増変位繰り返し载荷実験を行い、繰り返し荷重下におけるブレース材パネル構造の終局挙動を明らかにした。

第7章「ガセットプレート補強方法に関する研究」では、第4章の供試体のガセットプレートを当て板補強により補強する方法を提案し、実験によりその効果を検証した。また、道示の規定により設定したガセットプレートの板厚についてFEM解析により確認した。

第8章「結論」では、各章で得られた成果から本研究の結論を述べた。

論文審査結果の要旨

兵庫県南部地震後、当該地点で考えられる最大級の強さをもつレベル2地震動に対して新設ならびに既設建造物の耐震設計が行われるようになった。特に、兵庫県南部地震以前に建設された上路式のアーチ橋やトラス橋はトップヘビーな構造であることから橋軸直角方向のレベル2地震動において支柱や対傾構のブレース材がよく塑性化する事例が多い。レベル1地震動で耐震設計された既設橋のブレース材は作用力が小さかったことから、細長比制限により断面が設定され、その接合部はガセットプレートにブレース材のフランジのみが1面摩擦接合となっている場合が多く、部材の両端をピン結合とした柱の圧縮耐力程度で設計されているのが一般的であるため、レベル2地震動の作用力に対して接合部も損傷する可能性が高いと考えられる。ブレース材の補強対策として、当て板補強により部材を補強する方法や、ブレース材を軸降伏型鋼製ダンパー等に置き換える方法が採用されている。ブレース材を軸方向ダンパーに置き換える場合は、接合部を含めて取り換えることができるが、当て板補強をする場合は、接合部の補強が別途必要になる。平成29年の道路橋示方書の改訂でV耐震設計編に接合部の設計の考え方が新たに規定され、接合部に求める耐荷機構を明確にし、接合部と接合される部材の限界状態の関係を明確に設定した上で設計することとされた。また、この道示では接合部の限界状態3としてすべり後の限界状態が設定されたが、繰り返しが作用する地震時の適用については明確に規定されていない。そこで、本研究では、上路式鋼アーチ橋のブレース材の部材と接合部の合理的な補修・補強を行うためには、接合部と接合されるブレース材の限界状態の関係を明確にすることを目的とする。さらに、この成果を用いてブレース材パネルの合理的な耐震補強を提案する。

本論文は、以下の8章により構成されている。

第1章では、既設橋を対象にした上路式の鋼アーチ橋や鋼トラス橋の耐震設計の課題を述べた。

第2章では、対象橋梁としたレベル2地震動で設計されていない既設橋の接合部と接合される部材の限界状態を、道路橋示方書の規定から求め、各限界状態の比較を行うことで損傷シナリオを想定した。

第3章では、動的解析により対象橋梁のレベル2地震動に対する損傷状態を確認した。

第4章では、対象橋梁のブレース材パネルのブレース材と接合部を反映した約1/2の供試体による繰り返し載荷実験を行い、対象橋梁の終局挙動を明らかにした。ガセットプレートの限界値がブレース材の限界値よりも小さいと動的解析でレベル2地震動に対する応答値を得られないことになる。

第5章では、第4章で行った供試体のガセットプレートを厚くした実験を行い、ブレース材パネルの終局挙動を解明した。

第6章では、一般的な上路式の鋼トラス橋の支点上対傾構を含む1構面を対象に、繰り返し載荷実験を行い、繰り返し荷重下におけるブレース材パネル構造の終局挙動を明らかにした。

第7章では、第4章の供試体のガセットプレートを当て板補強により補強する方法を提案し、実験によりその効果を検証した。

第8章「結論」では、各章で得られた成果から本研究の結論を述べた。