

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Shimaguchi Yoshiyuki

氏名 嶋口 儀之
学位の種類 博士 (工学)
学位記番号 博 甲 第 48 号
学位授与 平成 27 年 9 月 10 日
学位授与条件 学位規定第 3 条第 3 項該当
論文題目 地震により被災した鋼製橋脚の早期復旧のための修復方法に関する研究
論文審査委員 (主査) 教授 鈴木 森晶¹
(審査委員) 教授 成田 国朝¹ 教授 岡田 久志¹ 教授 山田 和夫¹

論文内容の要旨

地震により被災した鋼製橋脚の早期復旧のための修復方法に関する研究

本論文は、地震により損傷した円形断面鋼製橋脚の修復方法について研究した。鋼製橋脚は市街地の高架高速道路や鉄道などの重要度の高い公共構造物に多用されている。これらの構造物が地震により一部の橋脚に損傷を受けると、構造物全体の機能損失につながる。高速道路は地震発生後の緊急輸送道路として位置づけられており、このような構造物の機能を確保することは、震災復旧活動を進める上で極めて重要である。これに加え、本震後に発生が予想される余震および連動地震に対応するためには、地震発生後極めて早期に修復作業を行うことが重要である。

平成 7 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震においては鋼製橋脚を含む多くの土木構造物が被害を受けた。その際、都市におけるライフラインである主要幹線道路が長期間使用不能になり、救助および災害復旧活動の妨げとなった。また、地震後の復旧作業では、橋脚の修復方法に関する指針が無く、比較的軽微な損傷であっても部分的な補修では復旧できず、撤去・再構築した例が少なくなかった。兵庫県南部地震における道路橋の甚大な被害を受け、既設および新設の鋼製橋脚に対する耐震性能の向上のための研究は数多く行われ、耐震設計基準に反映されてきた。しかしながら、地震により損傷した鋼製橋脚に対する修復方法および修復後の耐震性能に関する研究は非常に少ない

のが現状である。地震後の鋼製橋脚の損傷度の判定および修復に関する効果的な手法を明らかにすることは、今後、迅速な震災復旧を行う上で重要な位置を占める。

本論文は円形断面鋼製橋脚を対象として、地震により損傷を受けた場合の早期の応急復旧が可能な修復方法を提案することを目的としたものである。修復を行う際の、損傷度合の分類方法および修復後の耐震性能の目標値を提案し、効果的な修復方法について検討した。また、鋼製橋脚の損傷度合および径厚比パラメータについて異なる条件を想定し、それぞれに対して適切な修復方法を明らかにする。

本論文は 6 章構成であり、以下に各章の内容を示す。

第 1 章では、現行の耐震設計基準における橋脚の耐震性能および修復性に関する規定と関連する既往の研究について紹介し、本研究の目的と構成について述べた。

第 2 章では、対象とする鋼製橋脚の損傷について整理し、修復方法についての基本的な考え方を提案した。地震による橋脚の損傷は一様でなく、それぞれ適切な修復方法を用いる必要があるが、損傷の形状等から残存耐力を推定することは現状困難である。そのため、一般的な橋脚の水平耐力-変位関係を基に 4 段階の損傷レベルを設定することで分類した。また、修復後の鋼製橋脚の耐震性能の目標値について検討するため、最大水平荷重および曲げ剛性をパラメータとしてバイリニアモデルを用いた地震応答解析を行った。解析結果より、最大水平荷重±10%および曲げ剛

¹ 愛知工業大学 工学部 土木工学科 (豊田市)

性±20%を修復後の耐震性能の目標値として提案した。これは、損傷前と比較して地震時の挙動が大きく変化しないと考えられる範囲に相当し、本研究では以降の実験結果をこの目標値を基準に評価することとした。

第3章では、損傷した円形断面鋼製橋脚を対象とした修復方法の検討および修復後の静的繰返し載荷時における挙動について述べた。地震により損傷した鋼製橋脚の修復方法については具体的な指針が定められていないのが現状である。過去に行われた繰返し載荷実験により(青木ら, 2006)、基部付近に局部座屈が生じた円形断面鋼製橋脚を使用し、①コンクリート充填、②鋼板巻き立て、③補剛材の溶接の3種類の修復方法を提案し、繰返し載荷実験を行うことで修復後の鋼製橋脚の耐震性能を明らかにした。

実験の結果、本研究で提案した3種類の修復方法は、いずれも目標とする耐震性能まで回復させることが可能であることを示した。特に、コンクリート充填修復は簡便な施工により、優れた修復効果が得られることを明らかにした。

第4章では、損傷レベルの異なる円形断面鋼製橋脚を対象としたコンクリート充填による修復効果について述べた。コンクリート充填高さおよびダイアフラムの有無を変えて修復を行い、最大水平荷重および曲げ剛性に与える影響について検討する。既往の研究より、ダイアフラムまでコンクリートを充填することで、耐力および変形性能の向上が期待できる事が分かっている。そこで、第2章で設定した損傷レベルを基に、3段階の異なる損傷を供試体に与え、それぞれの損傷レベルに対する修復効果について検討した。

修復後の繰返し載荷実験の結果より、同様の修復方法でも橋脚の損傷レベルの違いにより、修復後の耐震性能および挙動が大きく異なることを示した。損傷が大きい場合(損傷レベル4)については、ダイアフラムを設置することが有効であるが、損傷が小さい場合(損傷レベル2)には、最大荷重が著しく増加し、別の箇所に損傷が生じる恐れがあることを明らかにした。

第5章では、前章までに提案してきた修復方法について、径厚比パラメータ R_t が異なる円形断面鋼製橋脚に対する修復効果を検討した。 R_t は橋脚の耐震性能に影響する重要なパラメータであり、現行の設計基準では $0.03 \leq R_t \leq 0.08$ と定められている。コンクリート充填による修復効果は R_t により異なることが予想されるため、実橋脚に適用する

ためには適切な充填高さおよびダイアフラムの有無を選択することが必要である。ここでは、地震による損傷が生じる可能性の高い旧基準で作られた橋脚を想定し、設計基準の内、標準的な板厚から薄肉までの範囲で3種類の R_t を有する供試体を用いて、コンクリート充填高さおよびダイアフラムの有無を変えて修復を行った。

実験結果より、それぞれの径厚比パラメータについて、効果的なコンクリート充填高さを明らかにした。また、適切な修復方法を判断するための資料の提供を目的として、修復後の円形断面鋼製橋脚のひずみの分布に着目し、修復後の損傷形態との関係について示した。

第6章では、各章で得られた研究成果をまとめた。本研究で提案した修復に関する考え方についてまとめ、効果的な修復方法を示した。また、損傷度合および径厚比パラメータが異なる橋脚に対して、コンクリート充填による効果的な修復方法を明らかにした。以上のように、地震により損傷した橋脚に対して、実際に修復を行う上で判断基準となる有用な知見を得たことをまとめた。

論文審査結果の要旨

本論文は、地震により損傷した円形断面鋼製橋脚の修復方法について研究した。鋼製橋脚は市街地の高架高速道路や鉄道などの重要度の高い公共構造物に多用されているが、これらの構造物は地震発生後の緊急輸送道路として位置づけられており、このような構造物の機能を確保することは、震災復旧活動を進める上で極めて重要である。

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震においては、鋼製橋脚を含む多くの土木構造物が被害を受けた。その際、都市におけるライフラインである主要幹線道路が長期間使用不能になり、救助および災害復旧活動の妨げとなった。また、地震後の復旧作業では、橋脚の修復方法に関する指針が無く、比較的軽微な損傷であっても部分的な補修では復旧できず、撤去・再構築した例が少なくなかった。既往の研究により、既設および新設の鋼製橋脚に対する耐震性能の向上のための検討は数多く行われてきた。しかしながら、地震により損傷した鋼製橋脚に対する修復方法および修復後の耐震性能に関する研究は非常に少ないのが現状である。震災復興における緊急輸送道路としての機能確保に加え、本震後に発生が予想される大規模な余震および連動地震に対応するためには、地震により鋼製橋脚に致命的な損傷を生じさせないことに加え、損傷した橋脚に対

して、地震発生後極めて早期に修復作業を行うことが重要である。

本研究では、円形断面鋼製橋脚を対象として地震により損傷を受けた場合の早期の応急復旧が可能な修復方法を提案することを目的として検討を行った。また、橋脚の損傷度合および径厚比パラメータについて異なる条件を想定し、それぞれに対して適切な修復方法を提案した。

本論文は6章構成であり、以下に各章の内容を示す。

第1章では、現行の耐震設計基準における橋脚の耐震性能および修復性に関する規定と関連する既往の研究について紹介し、本研究の目的と構成について述べた。

第2章では、対象とする鋼製橋脚の損傷について整理し、修復方法についての基本的な考え方を提案した。地震による橋脚の損傷は一様でなく、それぞれ適切な修復方法を用いる必要があるが、損傷の形状等から残存耐力を推定することは現状困難である。そのため、一般的な橋脚の水平耐力-変位関係を基に4段階の損傷レベルを設定することで分類した。また、修復後の鋼製橋脚の耐震性能の目標値について検討するため、最大水平荷重および曲げ剛性をパラメータとしてバイリニアモデルを用いた地震応答解析を行った。解析結果より、最大水平荷重 $\pm 10\%$ および曲げ剛性 $\pm 20\%$ を修復後の耐震性能の目標値として提案した。本研究では以降の実験結果をこの目標値を基準に評価することとした。

第3章では、損傷した円形断面鋼製橋脚を対象とした修復方法の検討および修復後の静的繰り返し載荷時における挙動について述べた。地震により損傷した鋼製橋脚の修復方法については具体的な指針が定められていないのが現状である。過去に行われた繰り返し載荷実験により(青木ら, 2006)、基部付近に局部座屈が生じた円形断面鋼製橋脚を使用し、①コンクリート充填、②鋼板巻き立て、③補剛材の溶接の3種類の修復方法を提案し、繰り返し載荷実験を行うことで修復後の鋼製橋脚の耐震性能を明らかにした。実験の結果、本研究で提案した3種類の修復方法は、いずれも目標とする耐震性能まで回復させることが可能であることを示した。特に、コンクリート充填修復は比較的簡便な施工で、優れた修復効果が得られることを明らかにした。

第4章では、損傷レベルの異なる円形断面鋼製橋脚を対象としたコンクリート充填による修復効果について述べた。コンクリート充填高さおよびダイアフラムの有無を変えて修復を行い、最大水平荷重および曲げ剛性に与える影響について検討する。既往の研究より、ダイアフラムまでコンクリートを充填することで、耐力および変形性能の向

上期待できる事が分かっている。そこで、第2章で設定した損傷レベルを基に、3段階の異なる損傷を供試体に加え、それぞれの損傷レベルに対する修復効果について検討した。修復後の繰り返し載荷実験の結果より、同様の修復方法でも橋脚の損傷レベルの違いにより、修復後の耐震性能および挙動が大きく異なることを示した。損傷が大きい場合(損傷レベル4)については、ダイアフラムを設置することが有効であるが、損傷が小さい場合(損傷レベル2)には、最大荷重が著しく増加し、別の箇所に損傷が生じる恐れがあることを明らかにした。

第5章では、前章までに提案してきた修復方法について、径厚比パラメータ R_t が異なる円形断面鋼製橋脚に対する修復効果を検討した。 R_t は橋脚の耐震性能に影響する重要なパラメータであり、現行の設計基準では $0.03 \leq R_t \leq 0.08$ と定められている。コンクリート充填による修復効果は R_t により異なることが予想されるため、実橋脚に適用するためには適切な充填高さおよびダイアフラムの有無を選択することが必要である。ここでは、地震による損傷が生じる可能性の高い旧基準で作られた橋脚を想定し、設計基準の内、標準的な板厚から薄肉までの範囲で3種類の R_t を有する供試体を用いて、コンクリート充填高さおよびダイアフラムの有無を変えて修復を行った。

実験結果より、それぞれの径厚比パラメータについて、効果的なコンクリート充填高さを明らかにした。また、適切な修復方法を判断するための資料の提供を目的として、修復後の円形断面鋼製橋脚のひずみの分布に着目し、修復後の損傷形態との関係について示した。

第6章では、本研究で提案した修復に関する考え方および修復方法の有効性についてまとめた。また、損傷度合および径厚比パラメータが異なる橋脚に対して、コンクリート充填による効果的な修復方法を明らかにし、新たな知見を得られたことをまとめた。

本研究で得られた鋼製橋脚の修復方法についての知見は、地震後の橋脚の早期復旧を行う上で工学的に高い価値が認められる。以上のことから当該論文が生産・建設工学専攻の博士論文の水準に十分に達していると判定する。