

学位論文題名

既設道路橋の耐震性判定法及び  
耐震補強法の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

我が国に生じた地震のうち、最も大きな被害を及ぼした1923年9月の関東地震以後、1984年9月の長野県西部沖地震に至る14地震について見てみると、何らかの被害を受けた道路橋は約3,000橋に及び、このうち、24橋が落橋という最悪の事態に至っている。最近では、1993年に入って北海道で相次いで起こった釧路沖地震及び北海道南西沖地震でも約70橋が何らかの被害を受けた。橋梁の被害は、避難路、緊急物資の輸送路等の道路の機能を喪失させるとともに、復旧に多大な費用と日数を要し、地域社会、地域経済に与える影響が大きい。適切な耐震性を有することが必要とされている。

一方、我が国では、1923年の関東地震による橋梁の大被害を契機として、翌大正13年より橋梁の設計に地震の影響が考慮されるようになった。耐震設計法は、耐震工学に関する研究の進展、過去の震災経験等を踏まえて徐々に整備開発されてきているため、既存の橋の中には今日の水準から見ると相対的に耐震性が低いと見なされる橋がある。こうした橋については、耐震性を適切に判断した上で優先度を定め、計画的に震災対策事業が進められてきている。しかしながら、多数の既存の道路橋の耐震性を簡単な判断基準に基づき適切に判定することは橋の耐震性が地震動の特性、地形・地盤条件といった自然条件と同時に、基礎形式、上部構造特性等種々の要因に複雑に支配されているため、非常に困難な問題である。さらに、地震による被害を契機として耐震設計法が進歩・拡充された結果、従来には目立たなかった被害形態が新しく表れてくるといった耐震設計法の進歩に伴う被害形態の質的な変化が生じていることにも留意しなければならない。

1982年浦河沖地震及び1978年宮城県沖地震等では、鉄筋コンクリート橋脚の中間部に著しい被害を受けた道路橋がある。これは、橋脚の中間高さで主鉄筋を段落しする際に段落し鉄筋の定着長が十分ではなかったために、ここが弱点となって生じた被害である。鉄筋コンクリート橋脚が曲げ破壊する場合には、適切に帯鉄筋が配置されていれば一般にねばりのある破壊性状を示すが、段落し部においては曲げによる損傷からぜい性的なせん断破壊に移行しやすく、落橋等の致命的な損傷を生じる可能性を有している。このため、段落し部の耐震性を適切に判定して、必要な補強対策を行っていくことが必要とされている。

本論文は、以上のような背景のもとで、多数の既設道路橋の耐震性を複雑な計算をすることなしに、橋の構造条件等の外観から簡便に把握できる条件を用いた簡易耐震性判定法の開発、及び既設道路橋の構造部材の中でも落橋等の影響の大きい被災につながる可能性のある鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法及び耐震補強法の開発を目的とするものである。本論文は、このような目的のもとで一連の研究を行い、その結果をとりまとめたもので、全8章から構成されている。

第1章は、序論であり、研究の目的、内容及び論文の構成について述べている。

第2章は、既往地震による既設道路橋の被害を調査し、道路橋の震災の特徴についてまとめるとともに、道路橋の耐震設計法及び震災対策の変遷についてまとめている。

第3章では、既往地震により被害を受けた橋梁を対象として、被害橋の要因分析を行い、この結果を基本として簡易耐震性判定法を提案し、その提案手法の検証を行っている。

第4章では、既往地震による鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の損傷と主鉄筋の段落しに関する設計基準の変遷についてとりまとめている。

第5章では、主鉄筋段落し部の損傷のメカニズムについて実験的に検討する。ここでは、段落し鉄筋の定着長、軸力及び主鉄筋比をパラメータとして変化させた合計12体の模型橋脚の動的載荷実験結果を示している。

第6章では、第5章で検討した実験供試体及び既往地震により段落し部に損傷を受けた鉄筋コンクリート橋脚の解析結果をもとに、鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法を提案し、その精度を検証している。

第7章では、主鉄筋段落し部に著しい損傷を受けると判定される橋脚に対する鋼板を用いた補強方法について実験的に検討する。ここでは、断面形状、鋼板の巻立て幅、注入材の有無をパラメータとして変化させ、その結果をもとに補強方法を提案する。

第8章では、本研究の結論及び将来さらに検討が必要な項目についてまとめている。

以上の一連の研究の結果から得られた結論をまとめると次のとおりである。

簡易耐震性判定法の開発に関しては、昭和53年宮城県沖地震により被災した橋梁を中心として、大正12年関東地震、昭和23年福井地震、昭和39年新潟地震により被災した合計124橋を対象とした要因分析を行い、地震による橋梁の地震被害特性を明らかにした。さらに、要因分析結果を基本として、外観からの調査を基本とした簡易耐震性判定法を提案した。本手法を前述の124橋の道路橋に適用すると73%の適中率で被害程度を判定することができることが明らかになり、その実用性が検証された。

鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法及び耐震補強法の開発に関しては、既往の地震による損傷事例の分析を行うとともに、段落し鉄筋の定着長、軸力、主鉄筋比、断面形状の影響に着目した合計12体の鉄筋コンクリート橋脚模型の動的載荷実験を行い、損傷メカニズムを明らかにするとともに、地震時に大きな被害を受ける可能性のある鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法を提案し、本判定法が既往の被害事例及び実験結果を精度よく判定できることを明らかにした。

さらに、地震時に主鉄筋段落し部に著しい損傷を受ける可能性のある鉄筋コンクリート橋脚に対する耐震補強法として、鋼板巻き立て工法に着目し、断面形状、鋼板の巻立て幅、注入材の影響について合計11体の鉄筋コンクリート橋脚模型の動的載荷実験を行い、鋼板巻き立て工法を行った場合の破壊メカニズム、耐力・変形特性を明らかにした。この結果、既設コンクリート躯体との十分な接着を図った上で断面幅の1.5～2倍以上の幅を有する鋼板で巻立てることにより、損傷の発生は基部に移行し段落し部におけるぜい性的なせん断破壊を防ぐことができることが明らかとなった。この結果をもとに主鉄筋段落し部における損傷を防ぐための耐震補強設計法を提案した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 芳 村 仁  
副 査 教 授 角 田 興史雄  
副 査 教 授 佐 伯 昇  
副 査 教 授 佐 藤 浩 一  
副 査 教 授 石 山 祐 二

学 位 論 文 題 名

## 既設道路橋の耐震性判定法及び 耐震補強法の開発に関する研究

我が国は、環太平洋地震地帯に位置し、世界でも有数の地震国である。有史以来多くの地震に見舞われ、大きな被害を被ってきた。このような幾多の被害経験をもとに我が国では、世界でも第1級の耐震技術を有するようになってきている。しかしながら、蓄積された社会資本を長期にわたって有効に利用していくことが必要とされている昨今、既設公共土木構造物の地震による被害を軽減し、これによって地域社会への地震の影響を軽減させることは重要な課題と考えられる。

本論文は、既設道路橋の簡易耐震性判定法及び既設道路橋の構造部材の中でも落橋等の大きい被災につながる可能性のある鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法及び耐震補強法に関する研究の成果をまとめたものであり、その主要な成果は以下のようである。

① 昭和53年宮城県沖地震により被災した橋梁をはじめ、大正12年関東地震、昭和23年福井地震、昭和39年新潟地震により被災した合計124橋を対象とした被害要因分析を行い、橋の特性との関連を調査した。その結果、橋の被害には地震動強度、上部・下部構造の材料や特性、落橋防止構造の有無、液状化の影響等15項目の要因が複雑に関係しているが、これらは下部構造の強度不足によるものと、上下部構造の相対変位が地震時に増大したことによるものの2つに帰着できることを明らかにした。この結果を踏まえて、複雑な動的解析などを要さない簡易耐震性判定法を提案し、前述の124橋の道路橋に適用した場合には73%の適中率で被害程度を判定することができることを明らかにし、その有効性を検証している。

② 鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法及び耐震補強法の開発に関しては、既往の地震による損傷事例の分析を行うとともに、段落し部鉄筋の定着長、軸力、主鉄筋比、断面形状の影響に着目した合計12体の鉄筋コンクリート橋脚模型の動的載荷実験を行い、損傷メカニズムを明らかにするとともに、基部及び段落し部のいずれで損傷が先行するかを判定するために、新たに損傷判別係数を導入し、地震時に大きな損害を受ける可能性のある鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法を提案し、本判定法が既往の被害事例及び実験結果を精度よく判定できることを明らかにした。

③ 地震時に主鉄筋段落し部に著しい損傷を受ける可能性のある鉄筋コンクリート橋脚に対する耐震補強法として、鋼板巻立て工法に着目し、断面形状、鋼板の巻立て幅、注入材の影響について合計11体の鉄筋コンクリート橋脚模型の動的載荷実験を行い、鋼板巻立て工法を行った場合の破壊メカニズム、耐力・変形特性を明らかにした。この結果、既設コンクリート躯体との十分な接着を図った上で断面幅の1.5～2倍以上の幅を有する鋼板で巻立てることにより、段落し部におけるぜい性的なせん断破壊を防ぐことができることが明らかとなった。この結果をもとに主鉄筋段落し部における損傷を防ぐための耐震補強設計法を提案した。

これを要するに、著者は、既設道路橋の耐震性判定法及び耐震補強法に関して、解析的及び実験的に有益な新知見を得たものであり、橋梁工学及び耐震工学の進歩に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。