

氏名（本籍）	稲 熊 弘（愛知県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 272 号
学位授与日付	平成 18 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	新幹線 RC ラーメン高架橋の耐震性能評価および復旧方法に関する研究 (Seismic resistance evaluation and the repair method for Shinkansen RC viaducts)
学位論文審査委員	(主査) 教授 六 郷 恵 哲 (副査) 教授 森 本 博 昭 教授 内 田 裕 市 助教授 鎌 田 敏 郎

論文内容の要旨

既存の鉄道土木構造物の耐震補強の要否を決定するためには、耐震性能を正しく評価することが重要である。また、耐震補強を施したとしても、想定された地震力よりも大きい場合や震源地からの距離などの要因により、構造物が損傷を受ける場合も想定される。新幹線は日本における重要な社会基盤である。特に、東海道新幹線は、関東と関西を結ぶ大動脈基幹であり、地震などの災害に対して、乗客の人命の安全確保のほか、地震から災害を防ぐ必要がある。また、仮に災害を受けたとしても、早期に列車運行を復帰することが望まれる。東海道新幹線の土木構造物を地震から守るためには、当該構造物の耐震性能を的確に評価して、耐震補強の要否を判定し、耐震補強を施工する必要がある。また、地震発生後の新幹線のダウンタイムを短縮するためには、地震による構造物の損傷箇所や損傷度の予測、損傷度に応じた補修・補強・取替の判定基準およびその対策方法を確立しておく必要がある。

研究の目的は、東海道新幹線の土木構造物のうち、RC ラーメン高架橋を対象に、耐震性能を精度よく評価できる方法を提案するとともに、想定外の大規模地震が発生した場合における RC ラーメン高架橋の損傷する部位および損傷度の評価、残存耐力の推定、ならびに、損傷レベル 4（耐力低下領域における降伏荷重点以降の損傷）まで損傷した無補強 RC 柱および耐震補強 RC 柱について、補修による可能性を検討することである。

本論は 8 章立ての構成であり、各章における目的、検討方法および結論を以下に示す。

第 1 章では、研究の背景、研究の目的と方法、既往の研究および論文の構成を示した。

第 2 章では、鉄道構造物に被害を及ぼした主な地震について、鉄道構造物の被害の特徴と、その被害を教訓とした耐震設計上の起点事項を示した。また、兵庫県南部地震における新幹線高架橋の応急復旧方法を示した。さらに、東海道新幹線の土木構造物の種別と、これまで実施されてきた様々な地震対策を示した。

第 3 章では、東海道新幹線高架橋の耐震性能を精度よく評価できる手法を提案することを目的として、静的正負交番載荷試験を実施した東海道新幹線の実高架橋を対象に、

鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）に基づき、耐震性能を評価するプッシュオーバー解析を実施し、実験結果と解析結果を照合することにより、評価手法の精度検証を実施した。その結果、柱部材の Y 点（降伏荷重点）から M 点（最大荷重点）および N 点（耐力低下領域の降伏荷重点）付近の荷重の大きさに違いがあるものの、本評価手法は高架橋の耐震性能の評価に、適用可能であることが明らかとなった。また、高架橋の損傷部位は、実験結果と解析結果は同一であり、本評価手法は、損傷部位も精度良く推定できることが明らかとなった。

第 4 章では、無補強 RC 柱および鋼板巻き補強 RC 柱を対象に、高架橋柱上端部の地震時損傷状況の把握、柱上下端部における保有性能の相違、柱上端部における鋼板巻き補強の効果、ならびに鋼板巻き補強による接合部材への影響を把握することを目的として、新幹線高架橋の RC 柱を模擬した試験体を用いた静的正負交番載荷試験を実施した。その結果、東海道新幹線の標準高架橋に特化しているが、損傷する部位を把握し、RC 柱の Y 点、M 点、N 点および N 点以降における損傷状態を示した。また、柱上下端部の耐震性能には大差がないこと、鋼板巻き補強は、柱上端部においても脆性破壊を防止し、じん性を 10 以上に改善できること、ならびに鋼板巻き補強により、接合部に損傷が集中するが、縦梁や横梁には大きな損傷を及ぼさないことも明らかとなった。

第 5 章では、新幹線の標準高架橋を対象に、無補修で列車の運行を再開できる損傷度、および余震による高架橋の倒壊を防止するための仮受け措置が必要な損傷度の指標を確立するための基礎研究を行うことを目的として、新幹線高架橋の RC 柱を模擬した同一の 2 体の単柱試験体を用いて、それぞれ交番載荷の繰返し回数が 3 回と 1 回で異なる静的正負交番載荷試験を実施した。また、実高架橋の交番載荷試験データを分析し、単柱試験体との比較検証を試みた。その結果、仮受け措置が必要な損傷度は、M 点以降の損傷度、あるいは柱部材のかぶりコンクリートが剥離、剥落した場合を実務上の判断指標と提案した。無補修で列車の運行を再開できる損傷度は、繰返し載荷回数が 1 回の範囲では、常時の列車走行荷重に対する軸力保持という観点においては、N 点程度であることがわかった。

第 6 章では、損傷レベル 4 まで損傷した無補強 RC 柱を対象に、補修による可能性と修復方法を検討することを目的として、新幹線高架橋の無補強 RC 柱を模擬した試験体を用いて、静的正負交番載荷試験により一度試験体に損傷を与え、補修後、再度同一載荷の静的正負交番載荷試験を実施し、修復による復元効果を検討した。その結果、軸力が保持できなくなった RC 柱でも、エポキシ樹脂によるひび割れ注入、損傷した帯鉄筋の交換・整正、エポキシ樹脂モルタルを用いた断面修復による補修を施すことにより、初期剛性を除いて、保有性能は損傷前の性能と同等以上に復元できることが明らかとなった。

第 7 章では、損傷レベル 4 まで損傷した鋼板巻き補強 RC 柱を対象に、補修による可能性と修復方法を検討することを目的として、新幹線高架橋の鋼板巻き補強 RC 柱を模擬した試験体を用いて、第 6 章と同様の実験方法により検討した。その結果、N 点までであれば、柱基部のひび割れ注入および断面修復、接合部内の帯鉄筋の整正、接合部の鋼板接着を施すことにより、保有性能は損傷前の性能と同等以上に復元できることが明らかとなった。

第 8 章は、本研究の結論と今後の課題を記述した。

論文審査結果の要旨

この論文は、東海道新幹線の高架橋を対象に、高架橋が大規模地震により被災した場合の損傷の評価および残存耐力の推定のための手法について検討するとともに、大損傷を受けた高架橋の迅速な復旧方法を提案していおり、新規性と有用性が認められる。この論文は、次に詳しく示すように重要な研究結果を含んでいる。品川駅建設により撤去された東海道新幹線実高架橋の交番載荷試験の結果を、解析結果の精度の検証に用いている。鋼板巻き補強した RC 柱と無補強 RC 柱の両方を対象として、最大荷重点を越えて著しく損傷（損傷レベル 4）した後の補修方法を提案している点が高く評価される。したがって、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

- (1) 東海道新幹線高架橋の耐震性能を精度よく評価できる手法を提案することを目的として、静的正負交番載荷試験を実施した東海道新幹線の実高架橋を対象に、鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）に基づき、耐震性能を評価するプッシュオーバー解析を実施し、実験結果と解析結果を照合することにより、評価手法の精度検証を実施した。その結果、柱部材の Y 点（降伏荷重点）から M 点（最大荷重点）および N 点（耐力低下領域の降伏荷重点）付近の荷重の大きさに違いがあるものの、本評価手法は高架橋の耐震性能の評価に、適用可能であることが明らかとなった。また、高架橋の損傷部位は、実験結果と解析結果は同一であり、本評価手法は、損傷部位も精度良く推定できることを明らかにした。
- (2) 無補強 RC 柱および鋼板巻き補強 RC 柱を対象に、高架橋柱上端部の地震時損傷状況の把握、柱上下端部における保有性能の相違、柱上端部における鋼板巻き補強の効果、ならびに鋼板巻き補強による接合部材への影響を把握することを目的として、新幹線高架橋の RC 柱を模擬した試験体を用いた静的正負交番載荷試験を実施した。その結果、東海道新幹線の標準高架橋に特化しているが、損傷する部位を把握し、RC 柱の Y 点、M 点、N 点および N 点以降における損傷状態を示した。また、柱上下端部の耐震性能には大差がないこと、鋼板巻き補強は、柱上端部においても脆性破壊を防止し、靱性率を 10 以上に改善できること、ならびに鋼板巻き補強により、接合部に損傷が集中するが、縦梁や横梁には大きな損傷を及ぼさないことを明らかにした。
- (3) 新幹線の標準高架橋を対象に、無補修で列車の運行を再開できる損傷度、および余震による高架橋の倒壊を防止するための仮受け措置が必要な損傷度の指標を確立するための基礎研究を行うことを目的として、新幹線高架橋の RC 柱を模擬した同一の 2 体の単柱試験体を用いて、それぞれ交番載荷の繰返し回数が 3 回と 1 回で異なる静的正負交番載荷試験を実施した。また、実高架橋の交番載荷試験データを分析し、単柱試験体との比較検証を試みた。その結果、仮受け措置が必要な損傷度は、M 点以降の損傷度、あるいは柱部材のかぶりコンクリートが剥離、剥落した場合を実務上の判断指標と提案した。無補修で列車の運行を再開できる損傷度は、繰返し載荷回数が 1 回の範囲では、常時の列車走行荷重に対する軸力保持という観点においては、N 点程度であることを示した。
- (4) 損傷レベル 4 まで損傷した無補強 RC 柱を対象に、補修による可能性と修復方法を検討することを目的として、新幹線高架橋の無補強 RC 柱を模擬した試験体を用いて、静的正負交番載荷試験により一度試験体に損傷を与え、補修後、再度同一載荷の静的正負交番載荷試験を実施し、修復による復元効果を検討した。その結果、軸力が保持できなくなった RC 柱でも、エポキシ樹脂によるひび割れ注入、損傷した帯鉄筋の交換・整正、エポキシ樹脂モルタルを用いた断面修復による補修を施すことにより、初期剛性を除いて、保有性能は損傷前の性能と同等以上に復元できることが明らかにした。
- (5) 第 7 章では、損傷レベル 4 まで損傷した鋼板巻き補強 RC 柱を対象に、補修による可

能性と修復方法を検討することを目的として、新幹線高架橋の鋼板巻き補強 RC 柱を模擬した試験体を用いて実験的に検討した。その結果、N 点までであれば、柱基部のひび割れ注入および断面修復、接合部内の帯鉄筋の整正、接合部の鋼板接着を施すことにより、保有性能は損傷前の性能と同等以上に復元できることを明らかにした。

最終試験結果の要旨

(1) 公表論文

この論文の主要部分は、審査付き論文 5 編、国際会議論文 1 編として既に発表済みである。この論文が学位論文として完成された内容を有することを確認した。

(2) 修得単位

指定された単位を修得していることを確認した。

(3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会で審議の結果、最終試験に合格と判定した。