

[30]

氏名	坂岡 和寛
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記番号	安全博第 16 号
学位授与の日付	2020 年 3 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	無筋コンクリート橋脚を対象とした地震対策に関する研究
論文審査委員	主査 准教授 小山 倫史 副査 教授 一井 康二 副査 教授 鶴田 浩章

論文内容の要旨

無筋コンクリート橋脚（以下 無筋橋脚と表記する）は、鉄筋コンクリート橋脚に比べて耐震性に劣るため、現在は新設されることのない構造形式であるが、鉄道構造物においては、大正～昭和初期を中心に建造され現在も数多く供用されている。無筋橋脚の耐震補強は、一般的に鉄筋コンクリート（RC）巻立て工法を用いて実施されるが、橋脚断面の増加を伴い河積阻害率が増加し、河川の流下能力が減少するという問題が生じる。無筋橋脚が盛んに施工された大正～昭和初期当時には、河川を横過する橋梁に対する河積阻害率に対する規定値が定められておらず、現在の基準を満足していない橋梁が多く存在する。そのため、河川内の無筋橋脚における耐震補強は、河積阻害率の観点からその実施が困難になる場合がみられる。そこで、本研究では、大規模振動台実験および数値解析により、無筋橋脚の地震時応答および損傷メカニズムを解明するとともに、河川の流下に影響しないように、無筋橋脚の外形を変えない新しい地震対策工法の提案およびその効果の検証を行った。

以下に、本研究より得られた成果を示す。

（1）無筋橋脚の地震時挙動および損傷メカニズムの解明

これまでの被災事例の調査を行った結果、打継目での水平方向の貫通ひび割れやずれ、打継目下部コンクリートの剥落といった大きな被害が生じている事例が多く、水平ずれや剥落は、全て線路直角方向に発生していることがわかった。また、不連続体解析手法の一つであるマニフォールド法（Numerical Manifold Method, 以下 NMM と表記する）により無筋橋脚の地震応答解析を行った結果、打継目での水平ずれや打継目上部の回転角は、摩擦角（粗度）が小さいほど大きくなることがわかった。さらに、存在する無筋橋脚を対象に

打継目よりコアを採取し、形状測定・圧縮強度試験・一面せん断試験を実施した結果、打継目は一体化されておらず、コア採取時や採取後の軽い衝撃で剥がれることがわかった。

(2) 打継目移動制限装置の考案

無筋橋脚の構造上の弱点と考えられる打継目に対し、変位を制限する打継目移動制限装置（以下 移動制限装置という）を考案した。本移動制限装置は橋脚の外形を変えないように打継目上下部を跨いで躯体内部に鋼棒を埋め込み、埋戻しの際にモルタルにて下部を固定し、上部には間隔材にて遊間を確保するものである。移動制限装置の設置により、打継目で損傷した場合の地震後の残留変位を小さくし、避難経路の確保や復旧性を向上させることが期待できる。対策実施後に被災した場合にも、貫通ひび割れや多少のずれが発生することを前提としており、従来の耐震補強とはコンセプトが異なるものである。

(3) 縮小供試体および試験片を用いた実験および再現解析

打継目を有する無筋コンクリート橋脚を模擬した縮小供試体、および移動制限装置を設置した縮小供試体を製作し、静的試験ならびに大型振動台を用いた動的試験を行い、地震時の挙動や破壊形態等の基本的な挙動および移動制限装置の効果を検証した。その結果、移動制限装置により打継目のずれが制限できることを確認した。また、NMM による動的試験の再現解析により、鋼棒の遊間を超えた水平変位が生じた場合、鋼棒に衝突することで水平変位の増大が停止し回転角が増加すること、加振後の残留変位は、鋼棒の遊間の範囲内に制限することができ、打継目上部に生じる慣性力を概ね再現できた。

(4) 移動制限装置による地震対策を実施した無筋橋脚の試験施工および解析

実橋脚において移動制限装置の試験施工を行った結果、打継目から採取したコアの状況より、打継目は一体化されていない部分もあること、移動制限装置の施工は、一般的な RC 巻立て工法に比べ簡易で短期間に施工ができることがわかった。また、実橋脚を対象とした NMM による解析により、打継目が損傷し上部の回転挙動が生じることで基礎回転角や応答が抑えられることがわかった。また、移動制限装置を設置することで、変位は遊間の 20mm 程度となり制限できること、設置しない場合に比べ基礎の変位や基礎に作用する荷重が増加しないこと、打継目上部の回転挙動を助長しないことがわかった。

(5) 移動制限装置の適用と設計

本移動制限装置は、①躯体の損傷は許容するものの打継目でのずれを制限でき復旧性に優れる、②河積阻害率に関わる外形が変化しない、③基礎の応答が増加しない、という特長を有する。これらを踏まえ、移動制限装置の適用フローを整理し、実務上に用いるための静的な簡易設計手法を示した。

論文審査結果の要旨

国土強靱化の観点から、近い将来、発生が確実視されている南海トラフ地震等に対応するため、無筋橋脚の耐震補強等の地震対策の実施が社会的要請となっている。無筋橋脚の耐震補強として RC 巻立て工法が一般的であるが、河川内の無筋橋脚において、断面を増加させる工法は、河積阻害率を増加させるため採用することは難しく、RC 巻立て工法に代わる新たな耐震補強工法の開発が求められてきた。本論文では、橋脚断面を増加させずに無筋橋脚の構造上の弱点である打継目に対して変位を制限する移動制限装置を新たに考案し、無筋橋脚を模擬した縮小模型に対する大型振動台実験および NMM を用いた数値解析により、打継目を有する無筋橋脚の地震時応答および損傷メカニズムを明らかにし、提案した耐震補強工法の妥当性およびその効果についても検証している。また、移動制限装置の設計にあたりその適用フローについて整理し、実務上に用いるための簡易設計手法をあわせて示すとともに、試験施工により移動制限装置の施工性の確認を行っている。

その結果、打継目に沿った橋脚上部ブロックの滑動を伴ったロッキングによる応力集中により下部ブロックの損傷・剥落が生じることが明らかになった。また、新たに考案した移動制限装置は、河積阻害率に関わる外形を変えることなく、打継目におけるずれを制限できるとともに、基礎の応答が増加しないという特長を有するとともに、現場における施工性やコスト面においても優れていることを確認した。

以上のように、本論文は、地震時の無筋橋脚の損傷メカニズムの理解を進め、NMM の地震応答解析における適用可能性を明らかにするとともに、考案した移動制限装置の妥当性および効果を明らかにし、実務で用いるための簡易設計手法もあわせて提案している。これらは、老朽化する無筋橋脚の耐震補強・維持管理という喫緊の課題の解決に向けて大きな貢献が見込まれ、学術的のみならず、実務においても価値のある成果を与えていることから、本論文は博士論文として十分価値のあるものと認める。