

京都大学	博士（工学）	氏名	後藤 源太
論文題目	既設 R C 中空断面橋脚の合理的な耐震性能評価及び補強方法に関する研究		
(論文内容の要旨)			
本研究は、山岳橋梁に多く見られる高橋脚の構造形式の 1 つである R C 中空断面橋脚の耐震性能評価及び補強方法に関する研究である． R C 中空断面橋脚に固有な課題として、「軸耐荷力の喪失を伴う急激な耐力低下」と「中空内面損傷の点検及び修復の困難さ」が指摘されており、既設橋脚の耐震補強として、中空内部の充填により靱性を向上する対策が検討されているものの、軸耐荷力の喪失を伴う急激な耐力低下を呈する破壊形態への損傷進展の制御指標が存在していないこと、また軸耐荷力の喪失防止を目的とした補強方法が明確でないことを解決すべき課題と考えた． 本論文は全 8 章で構成されており、以下に各章の実施内容および主な成果を示す． 第 1 章は序論であり、高速道路における既設 R C 中空断面橋脚の数量や位置に関する現状を概説し、その破壊特性における課題点、既往の研究を述べた後、それらを踏まえ、軸力支持能力の喪失を制御する指標としての中立軸の位置の有効性、軸力支持能力の喪失という RC 中空断面橋脚特有の破壊形態を考慮した変形性能の評価方法、軸力支持能力の喪失を防止しつつ施工性に配慮した耐震補強方法を検討することを本研究の目的であることを示している． 第 2 章では、高速道路における既設 R C 中空断面橋脚 7 8 4 基を対象に、辺長比一空隙比やせん断スパン比、軸方向・横拘束鉄筋比、軸応力度、壁厚比一空隙比に関する実態調査を行った． その結果に基づき、既設橋脚で多く採用されている配筋となるよう設計した縮尺 1 / 5 程度の大型供試体（断面外径 8 0 0 m m 角、内径 5 0 0 m m 角、柱高さ 3 9 5 0 m m）を製作し、正負交番載荷実験を実施した． 実験後、垂直に切断し、中空内部の損傷を詳細に確認している． また実験結果に基づき、中立軸の位置が破壊形態に与える影響について考察している． 中立軸の位置の推移の結果より、設計上の終局時の中立軸の位置が壁厚内に位置すれば、RC 中空断面橋脚の破壊挙動は靱性的な挙動となり、設計上の終局時の中立軸の位置が破壊挙動に対して支配的な指標となる可能性があることを示している． 第 3 章では、第 2 章で明らかにした破壊特性を考慮し、塑性ヒンジ長に着目し、既設 R C 中空断面橋脚を対象とした変位算定方法を提案し、その算定した変位の妥当性、実際の橋脚への算定方法の適用性について検討した． 提案式は、道路橋示方書で採用されている変位算定式を準用しつつ、塑性座屈解析に基づいた塑性ヒンジ長推定式を提案し、R C 中空断面橋脚用に修正したものである． 結果、提案した変位算定式による変位について、既往の R C 中空断面橋脚を対象とした実験結果を一定の精度で推定できること、また実際の橋脚を模擬した三次元 F E M 解析に基づく解析結果と比較しても安全側の評価となること、などを示し、当該提案式の妥当性及び実務への適用性を確認した． 第 4 章では、R C 中空断面橋脚の中立軸の位置に着目した新たな限界状態を定義し、これをもとに耐震安全性を判断する指標を検討している． 中立軸位置に着目した限界状態変位は、バイアスの平均値および抵抗係数の値から、実際の終局変位を安全側かつ高い信頼性を持って評価できることを確認している． また、設計上の限界状態 3 における変位が、中立軸位置に着目した限界状態変位に比べてどの程度安全余裕がある			

京都大学	博士（工学）	氏名	後藤 源太
かを算出し、これを既設 R C 中空断面橋脚の耐震診断指標として提案している．安全性余裕の値の大小によって、軸崩壊が直ちに発生するかどうかを判定することができ、R C 中空断面橋脚の耐震補強の優先度を評価できる可能性を示している。 第 5 章では、既設 R C 中空断面橋脚を対象とし、中空内部充填及び外側巻立てによる耐震補強方法を提案し、その補強効果を検証している．水平荷重－水平変位関係の観点では、鋼板巻立て＋エアモルタル充填、炭素繊維巻立て＋エアモルタル充填、のそれぞれの補強によって、新設橋脚と同等の性能へと向上させることが可能と考えられる．ただし、軸沈下抑制効果という観点では、鋼板巻立て＋エアモルタル充填よりも炭素繊維巻立て＋エアモルタル充填の方が、軸沈下が生じない分、優れている．いずれの工法も鉛直変位の急激な沈下を防止しており、鋼板巻立て＋エアモルタル充填においても、十分に水平荷重が低下した領域で生じた軸沈下であり、水平荷重の低下が小さい領域では軸沈下は生じていないことから、これらの工法は十分な補強効果を付与しうるものと帰結している． 第 6 章では、中空内部充填を伴わない R C 巻立てによる耐震補強方法を提案するものである．前章まで取り組んだ中空内部を充填し外側巻立てする補強方法では、充填用の孔を設ける必要があり、既設鉄筋を切断せざるを得ないことや、充填施工に伴う工期の増大も懸念される．中空内部でのかぶりコンクリートの剥落等の損傷は生じないよう制御できる可能性がある場合、中空内部を充填しなくても、軸沈下を抑制することができれば一定の耐震補強効果が期待できる．R C 巻立てすることにより、終局時の中立軸を壁厚内に制御しつつ軸方向鉄筋の座屈を抑制する補強方法を提案した．補強効果を確認するために大型供試体を用いた正負交番載荷実験を実施し、その結果、中空内部を充填せず R C 巻立て補強した場合、損傷が進行し、中空内面に到達した時点で、無補強同様に耐力低下が生じるものの、中立軸の位置が壁厚内に留まるため、無補強と比べて中空内面の損傷を遅らせることができることを示している． 第 7 章では、第 2 章～第 6 章までの考え方を踏まえ、既設 R C 中空断面橋脚の破壊特性を踏まえた耐震補強シナリオに整理した．令和 7 年に改定された道路橋示方書では、下部構造に求められる機能として支点反力保持機能と支点位置保持機能が規定されており、これらの機能が R C 中空断面橋脚で発揮されるためにも、終局時の中立軸の位置が断面の壁厚内に位置することが重要であるという本研究で得られた知見を反映させたシナリオとなっている．また、既設 R C 中空断面橋脚が被災した場合に致命的な損傷かどうかを外観目視点検により把握するための点検方法について検討するため、既往文献を含む 8 体の既設 R C 中空断面橋脚を模擬した縮尺 1 / 5 程度の大型供試体の正負交番載荷実験結果をもとに考察した． 第 8 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題と共に取りまとめている．			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、山岳橋梁に多く見られる高橋脚の構造形式の 1 つである R C 中空断面橋脚の耐震性能評価及び補強方法に関する研究であり、R C 中空断面橋脚に固有な課題について、軸耐荷力の喪失を伴う急激な耐力低下を呈する破壊形態への損傷進展の制御指標の開発、また軸耐荷力の喪失防止を目的とした補強方法に取り組んだ成果についてとりまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 中立軸の位置の推移の結果より、設計上の終局時の中立軸の位置が壁厚内に位置すれば、R C 中空断面橋脚の破壊挙動は、靱性的な挙動となり、設計上の終局時の中立軸の位置が破壊挙動に対して支配的な指標となる可能性があることを明らかにした。
- 2) 既設 R C 中空断面橋脚を対象とした変位を算定するための、塑性ヒンジ長の推定式を提案し、算定した変位の妥当性、実際の橋脚への算定方法の適用性について、大型供試体を用いた実験結果を用いて検証した。
- 3) R C 橋脚に対して用いられる限界状態に加え、R C 中空断面橋脚の中立軸の位置に着目した新たな限界状態を定義し、これらに基づく耐震安全性の判断指標を提案した。これにより軸崩壊が直ちに発生するかどうかを判定することができ、R C 中空断面橋脚の耐震補強の優先度を評価することが可能となる。
- 4) 既設 R C 中空断面橋脚を対象とし、中空内部充填及び外側巻立てによる耐震補強方法、ならびに、中空内部充填を伴わない R C 巻立てによる耐震補強方法を提案し、その補強効果を検証した。
- 5) 橋梁下部構造に求められる支点反力保持機能と支点位置保持機能が R C 中空断面橋脚で発揮させるため、終局時の中立軸の位置が断面の壁厚内に位置することが重要であるという本研究で得られた知見を反映させた耐震補強シナリオにとりまとめるとともに、被災した既設 R C 中空断面橋脚の内面における致命的な損傷を外側損傷から推定するための点検方法について検討した。

本論文は、山岳部を貫く高速道路網を実現するためにも不可欠な R C 中空断面橋脚について、急激な機能喪失を防止するための制御指標や補強方法について重要な知見を有しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 7 年 12 月 18 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。