

学 位 論 文 題 名

既設鋼管橋脚の耐震性向上に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

兵庫県南部地震以降、鋼製橋脚の耐震性向上に関する実験的・解析的研究が各研究機関や大学で精力的に行われ、既設鋼製橋脚の耐震性を向上させる補強工法として、コンクリート充填あるいは補剛リブの増設などの有効性が確認されている。しかしながら、これらの工法では、コンクリート充填による耐力力の上昇に伴うアンカー基部への負担の増大や補剛リブ溶接部における残留応力の発生等、留意しなければならない点も多い。また、これらの補強法は基本的に鋼製橋脚の内部を対象に行うため、既設の場合には必ずしも施工性に優れているとは言い難い。

これに対して、近年、軽量で高強度の新素材繊維シートがコンクリート構造物の補修・補強材料としてよく用いられている。

本研究は鋼管橋脚の耐力力と変形性能におよぼす載荷方法の影響を実験により検討した上で、従来のコンクリート充填による鋼製（鋼管）橋脚の耐震性能向上に加え、新たに新素材を巻き付けることによる耐震性能の向上を主に静的繰返し載荷試験と基部加振試験により検証する基礎的・実験的研究である。

第1章では研究の背景と目的を示し、第2章では本研究で共通して用いた試験体や載荷試験の装置について、とりまとめた。

第3章では鋼管橋脚の耐力力と変形性能におよぼす載荷方法の影響を検討するために、小型鋼管橋脚模型を用いた静的漸増変位繰返し載荷実験と基部を正弦波加振させる振動実験およびこの加振実験から得られる応答変位波形を用いた静的繰返し載荷実験を行ない、両者の実験から得られる履歴曲線、包絡線および局部座屈形状等を比較することにより、これらの実験法の工学的な等価性について検討を行なった。その結果、基部加振実験においては試験体は一方向に倒壊することから、鋼管橋脚の耐震性は漸増変位繰返し載荷実験のみでは適切な評価を与えない可能性があることが明らかにした。

第4章では応力－ひずみ関係の異なる3種類の鋼材を対象として形状寸法をほぼ等しくした小型鋼管橋脚模型を製作し、3種類の実験法（静的単調載荷実験；静的漸増繰返し載荷実験；正弦波基部加振実験）に基づいて実験を実施し、鋼材の降伏比および降伏棚の有無などが鋼管橋脚の耐震性能に与える影響について比較検討を行った。また、静的水平荷重－水平変位曲線と動的耐力力特性の関係についても検討している。これらの結果、降伏棚のない鋼材の方が耐震性能に優れていることを明らかにした。

第5章では、部分コンクリート充填鋼管橋脚の耐震設計手法確立のための基礎データを蓄積することを目的として、すなわち、コンクリート充填鋼管橋脚模型の動的応答性状や、その充填率が耐震性能および変形性能に与える影響について、簡易振動台を用いた正弦波入力による基部加振実験により検討した。また、過去に実施した静的載荷実験結果との比較も行っている。実験の結果、鋼管橋脚模型内にコンクリートを充填することにより、減衰定数とエネルギー吸収量が増加するとともに、鋼管に局部座屈が発生しても倒壊に至らず、自立することから橋脚単体で見ると耐震性能の向上が期待できることが明らかとなったが、固有振動数が短周期化することにより、構造物全体の振動特性が変化することに注意する必要があることを明らかにした。

第6章では新素材繊維シート巻き付けによる鋼製橋脚の耐震性向上効果を確認するとともに、その効率的な補強法の確立を目的として、鋼管橋脚模型に2方向アラミド繊維連続シート（以後、AFRPシート）を巻き付け接着した（以後、単にシート補強）試験体を対象に静載荷実験を行った。本研究では、シートの巻き付け量を一定とし、その巻き付け高さ（以後、単にシート高さ）を3種類に変化させ、シート接着による局部座屈の抑制効果を含めた耐荷力および変形能向上効果について検討を行った。その結果、無補強の試験体は鋼材が外側にはらみ出す「象の脚型座屈」であるのに対し、基部から高さの $1/4$ 以上の範囲においてシート補強した試験体においては、鋼材が内側に食い込むように発生する「ダイヤモンド型座屈」となり、最大耐荷力、靱性能およびエネルギー吸収量が向上することを明らかにした。

第7章では第6章で確認した新素材繊維シート巻き付けによる円形鋼製橋脚の耐震性向上効果を基部加振実験により検討し、さらに、第6章で述べた静的載荷実験結果との比較・検討も行っている。動的試験においてもシートを巻き付けることにより、座屈モードが変化し、最大耐荷力、靱性能およびエネルギー吸収量が向上することを確認した。

第8章ではシート補強量に着目した実験を行っている。すなわち、第6章と第7章では、耐震性向上のためAFRPシートを巻き付ける工法の有効性について確認したが、合理的なAFRPシート補強工法を確立するためには、シート接着範囲（以後、シート高さ）、巻き付け層数（以後、シート層数）について十分に検討する必要がある。このような観点より、第8章では試験体寸法を一定とし、シート補強量の影響を検討するために、2方向アラミド連続繊維シートのシート層数を3種類、シート高さを2種類に変化させた鋼管橋脚模型の静的載荷実験と、基部に定常な正弦波を直接入力する基部加振実験を実施し、靱性能と動的耐荷性状に及ぼす補強量の影響について比較検討を行っている。その結果、単位幅当たりのシート補強量を鋼材の一軸降伏耐力の60%程度が最適であることを明らかにした。

第9章では以上を総括し、AFRPシート巻き付けが既設鋼管橋脚の耐震性向上に有効であることを明らかにしている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 藤 浩 一

副 査 教 授 角 田 與史雄

副 査 教 授 三 上 隆

副 査 助教授 林 川 俊 郎

学 位 論 文 題 名

既設鋼管橋脚の耐震性向上に関する基礎的研究

橋梁の橋脚には大別してRC橋脚と鋼製橋脚とがある。また、鋼製橋脚には矩形断面橋脚と円形断面橋脚とがある。鋼製橋脚はこれまで耐震性に優れていると言われており地震被害の経験がなかったが、平成7年1月の兵庫県南部地震により、多くの橋脚に致命的な損傷を蒙った。その被災状況を踏まえ、地震時保有水平耐力法に基づく設計法が道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編）で規定された。その規定を用いた場合の設計に際しては、水平地震力による補剛板や鋼管の座屈、割れ等に伴って、上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失い橋脚の崩壊につながるような破壊を防ぐことを目的としているのが主旨である。新設の場合は上記の示方書で対応できるようになった。一方、従来の設計基準で建設された鋼製橋脚の耐震性向上工事が各地で実施されているが、既設のものでRC橋脚の耐震補強工法はほぼ確立されているのに対して、既設の鋼製橋脚の合理的な耐震補強工法が現状では確立されておらず、その確立が望まれている。そのため鋼製橋脚の耐震性向上に関する実験的・解析的研究が各研究機関や大学で精力的に行われ、既設鋼製橋脚の耐震性を向上させる補強工法として次の二つの方法が有効であることが確認されている。一つ目はコンクリートを充填する工法、二つ目は補強リブを増設する工法である。しかし、これらの補強法は基本的に鋼製橋脚の内部を対象に行うため、既設の場合には必ずしも施工性に優れているとはいえない。本研究はコンクリート構造物の補修・補強材料としてよく用いられている軽量で高強度の新素材繊維シートを鋼製橋脚の補強に用いたところに特徴がある。鋼製橋脚の中で、特に既設鋼管橋脚（円形断面橋脚）の耐震性向上に関する基礎的事項を実験的に検討したものである。

本論文は9章から構成されている。

第1章では研究の背景と目的を示している。

第2章では本研究で用いた試験体や載荷試験の装置について、とりまとめている。

第3章では鋼管橋脚の耐力力と変形性能におよぼす載荷方法の影響を検討している。その結果、基部加振実験において試験体は一方向に倒壊することから、鋼管橋脚の耐震性は漸増変位繰返し載荷実験のみでは適切な評価を与えない可能性があることを明らかにしている。

第4章は応力-ひずみ関係の異なる3種類の鋼材を対象として、3種類の実験法（静的単調載荷、

静的漸増繰り返し載荷実験、正弦波基部加振実験）に基づいて実験を実施している。また、静的水平荷重-水平変位曲線と動的耐荷力特性の関係についても検討している。これらの結果、降伏棚の有無が単調水平載荷実験における荷重変位曲線の形状、基部加振実験における倒壊メカニズムおよびエネルギー吸収量の違いに大きく影響を与えていることを明らかにし、降伏棚のない鋼材の方が耐震性に優れていることを明らかにしている。また、動的耐荷力は静的載荷実験結果の耐力を用いることにより設計上、安全側で推定可能であることを明らかにしている。

第5章ではコンクリートを部分的に充填した鋼管橋脚模型を用いた加振実験を行い、充填コンクリートの有無や充填率が模型の耐震性および変形性能に与える影響について評価・検討している。実験の結果、コンクリートを充填することにより、耐震性の向上が期待できるが、短周期化し、振動特性の変化に注意する必要があることを明らかにしている。

第6章では鋼管橋脚模型にAFRPシート（2方向アラミド繊維連続シート）を巻き付け接着した試験体を対象に静的載荷実験を実施した。AFRPシートによりEFB型座屈（像の足型座屈）を抑制し、耐震性の向上が可能であることを明らかにしている。

第7章では第6章で確認したAFRPシートを巻き付けによる耐震性を向上させる効果について、基部加振実験により確認し、動的実験においてもシートを巻き付けることにより、座屈モードが変化し、最大耐荷力、靱性能およびエネルギー吸収量が向上することを確認している。

第8章ではシート補強量に着目した実験を行っている。その結果、単位幅当たりのシート補強量は鋼材の一軸降伏耐力の60%程度が適当であることを明らかにしている。

第9章では、各章で明らかとなった事項を要約し、本論文を総括している。

これを要するに、著者は既設鋼管橋脚の合理的な耐震補強工法に関して実験により基礎的な事項を検討し、AFRPシート（2方向アラミド繊維連続シート）巻き付け工法が有効であることを明らかにしている。また、これまでの橋脚の耐震性を研究する手法としては静的な繰り返し載荷実験によるものがほとんどであったが、本論文では基部加振実験を実施し、静的な載荷実験の結果と比較することにより、動的耐荷力は静的載荷実験結果の耐力を用いることにより設計上、安全側で推定可能であることを明らかにしたものであり、橋梁工学、鋼構造学ならびに耐震工学に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。