

斜角を有する鉄筋コンクリート壁式橋脚の地震時変形性能 に関する研究

学位論文内容の要旨

わが国は中央に急峻な山脈が縦断しており国土の 70% を山地が占めている。山岳地帯からは無数の河川が海に流れ込んでおり、これらを横過するために橋梁が数多く建設されている。本来、橋梁の平面形状は河川などと直角に交差する直橋が構造特性も明確で経済性にも優れているが、橋梁技術の進歩によって平面形状を車両の走行性を重視した道路線形と一致させることが可能になり、斜橋や曲線橋が計画されてきた。直橋や斜橋などの上部構造を支持する鉄筋コンクリート橋脚の形式には単柱式や壁式などがあり、都市内高架橋のように空間的な制約のある場合には橋脚形状が円形や矩形の単柱式橋脚が採用されるが、河川橋では流水阻害などの問題から壁式橋脚が多く採用される。また、跨線橋や跨道橋においても、用地の制約などがない地域では大断面の壁式橋脚が採用されている。

一方、橋梁の耐震設計では、地震時慣性力の作用方向を橋軸方向と橋軸直角方向に設定し、水平二方向の地震時慣性力をそれぞれ独立して作用させる検討が行われている。これは、橋軸方向と橋軸直角方向に作用する地震動の最大値が同時に発生する確率が低いこと、水平二方向に対して同時に地震時慣性力を作用させる検討が煩雑なことなどが理由として挙げられる。また、道路橋の耐震設計では、斜角 60° 以上の斜橋は設計の簡便さから直橋とみなして橋梁の主軸方向に対する検討しかなされていない。しかし、実際の地震時慣性力は水平二方向に対して同時に作用するため、橋梁の主軸方向とは異なる方向に地震時慣性力が作用することになる。

橋梁の主軸方向とは異なる方向に地震時慣性力が作用する斜め方向載荷（二軸曲げ）問題について、建築分野においては古くから検討がなされているが、鉄筋比の高い柱部材に対して曲げモーメントとせん断力を作用させる検討が中心であり、橋脚のように鉄筋比が低く曲げモーメントが卓越する柱部材を対象としたものではない。一方、土木分野においても載荷方向の違いによる耐力や変形性能の違いについて実験的に検討されているが、いずれの検討結果も都市内高架橋に採用される正方形断面を基本としており、斜橋を支持する壁式橋脚に対してそのまま適用することは難しい。したがって、斜め方向載荷における鉄筋コンクリート壁式橋脚の部材特性を把握することは合理的な耐震設計を行ううえで重要と考えられるが、未だ手付かずの状況にある。これは、斜橋と支承を介してそれを支持する壁式橋脚が複雑な構造系であることが一因と推察される。

本研究は、支承を介して上部構造による拘束を受ける鉄筋コンクリート壁式橋脚を対象として正負交番載荷実験および材料非線形を考慮した数値解析を行い、壁式橋脚の地震時変形性能の把握を目指して、以下に示す項目に着目して検討を行ったものである。

- 1) 上部構造が支承を介して鉄筋コンクリート壁式橋脚に及ぼす拘束性状の検証。

2) 斜角の有無が鉄筋コンクリート壁式橋脚の破壊性状, 耐力および変形性能に及ぼす影響の検討.

3) 支承構造の違いが斜角を有する鉄筋コンクリート壁式橋脚の地震時変形性能に及ぼす影響の検討.

4) 斜角を有する鉄筋コンクリート壁式橋脚の地震時変形性能の評価における材料非線形を考慮した数値解析法の有効性の検討.

本論文は, 全 5 章で構成されており, 各章の概要は以下のとおりである.

第 1 章では, 本論文の序論として, 研究の背景や目的について述べるとともに, 本研究に関連する既往の研究の整理を行った.

第 2 章では, 上部構造が鉄筋コンクリート壁式橋脚に及ぼす拘束性状について研究報告がないことを受けて, 上部構造-鋼製支承-壁式橋脚で構成された橋梁模型の橋脚基礎に強制変位を与える載荷装置を使用して単調載荷および正負交番載荷実験を行い, 上部構造の拘束性状について検証した. その結果, 橋脚の損傷にともなう伸長を上部構造が拘束し軸力が増加すること, 軸方向鉄筋の座屈により橋脚の伸長が収束すること, 斜角を有する場合には上部構造の拘束により支承間に反力差が生じ壁式橋脚には面内せん断力が作用することを明らかにした.

第 3 章では, 橋脚上の支承構造として, 従来から広く採用されている鋼製支承と, 1995 年兵庫県南部地震を契機に橋梁の耐震性向上を目的として普及した積層ゴム支承の 2 タイプを用いて, 第 2 章で使用した載荷装置による正負交番載荷実験を行い, 斜角の有無および支承構造の違いが壁式橋脚の地震時変形性能に及ぼす影響について検討した. その結果, 斜角を有する場合には, 上部構造が橋脚を強く拘束して斜角のない場合よりも耐力が向上すること, 損傷が中立軸から遠い隅角部より徐々に進行して壁全幅に損傷が及ぶまで耐力を維持するため比較的高い塑性変形性能を有すること, しかし, 載荷方向に対する剛性が高く損傷が橋脚基部に局所化し直橋の場合よりも軸方向鉄筋の座屈長が短くなること, また, 積層ゴム支承の場合には上部構造の拘束が緩和されて鋼製支承の場合のような面内せん断ひび割れが生じないことを明らかにした.

第 4 章では, 第 3 章の実験結果を対象として軸方向鉄筋の座屈を考慮したファイバーモデルによる非線形解析を行い, 斜角を有する鉄筋コンクリート壁式橋脚に対する非線形解析手法の有効性について検討した. その結果, 上部構造の拘束による耐力の向上, 中立軸から遠い隅角部より壁全幅へと進行する損傷過程, 軸方向鉄筋の座屈にともなう耐力の低下を概ね再現可能であり, 地震後の損傷レベルの把握や復旧性の判定に対する有効性を明らかにした.

第 5 章は総括であり, 本研究で得られた成果を要約するとともに, 今後の研究課題と展望について述べた.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 上 隆
副 査 教 授 菊 地 優
副 査 教 授 林 川 俊 郎

学 位 論 文 題 名

斜角を有する鉄筋コンクリート壁式橋脚の地震時変形性能 に関する研究

わが国は、国土の 70% が山岳地帯で占められ、そこからは数多くの河川が海に流れ込むため河川を横過する橋（河川橋）が多く建設されている。

河川橋は、空間的制約のために形状が円形や矩形の単柱式橋脚を有する都市内高架橋と異なり、河川管理上の制約から幅厚比 3 以上の RC(鉄筋コンクリート) 壁式橋脚が数多く採用されている。また、河川橋および高架橋には、架設地点の交差条件により橋梁の下部構造を橋軸方向に対して斜めに配置する(斜角を有する)いわゆる斜橋となる場合が少なくない。

1995 年の兵庫県南部地震は、橋梁を始めとする社会基盤施設に甚大な被害をもたらし、大規模地震に対する耐震対策の重要性を広く再確認させた。これを契機として、橋梁については耐震設計法や耐震補強法に関する研究が精力的に行われ、その成果をもとに各種設計基準が改定され地震時変形性能に基づく耐震設計法が導入された。しかしながら、その研究のほとんどは橋梁の下部構造を橋軸方向に対して直角に配置する直橋の単柱式橋脚に関するものである。斜橋の場合、橋梁の主軸方向とは異なる方向に地震時慣性力が作用する斜め方向載荷(二軸曲げ)問題として検討する必要がある。しかし、これまでのほとんどの研究は、都市内高架橋に採用される正方形断面の橋脚に対するもので、得られた成果は斜橋を支持する壁式橋脚にそのまま適用することは困難と考えられる。さらに、復旧性能を踏まえた斜橋の壁式橋脚の地震時変形性能の把握は、支承を介して上部構造による拘束を受ける壁式橋脚の変形性能を解明する必要があるが、上部構造、支承、壁式橋脚の 3 者で構成される構造系に対する検討は皆無に近い。

以上を背景に本研究は、支承を介して上部構造による拘束を受け、斜角を有する RC 壁式橋脚を対象として、その地震時変形性能の把握を目的に正負交番載荷実験および材料非線形を考慮した数値解析を行っている。

第 1 章では、序論として、研究の背景と目的について述べるとともに、本研究に関連する既往の研究の整理を行っている。

第 2 章では、上部構造-鋼製支承-壁式橋脚から成り、斜角の有無を考慮した橋梁モデルの橋脚基礎に強制変位を与える載荷装置を用いて単調載荷および正負交番載荷実験を実施し、上部構造の地震時拘束挙動に関する検討を行っている。その結果、橋脚の損傷にともなう伸長を上部構造が拘束し軸方向力が増加すること、斜角を有する場合には上部構造の拘束により支承間に反力差が生じ壁式橋脚には面内せん断力が作用すること等を明らかにした。

第3章では、橋脚上の支承として、従来からよく用いられている鋼製支承および1995年の兵庫県南部地震以降、橋梁の耐震性向上を目的として用いられるようになった積層ゴム支承の2タイプを用いて、第2章と同様な載荷装置を用いた正負交番載荷実験を行い、斜角の有無および支承構造の違いが壁式橋脚の地震時変形性能に及ぼす影響を明らかにしている。その結果、斜角を有する場合には、上部構造が橋脚を強く拘束して斜角の無い場合よりも耐力が向上すること、比較的高い塑性変形性能を有すること、損傷が橋脚基部に局所化し斜角の無い場合よりも橋脚内の軸方向鉄筋の座屈長が短くなること、また積層ゴム支承の場合には上部構造の拘束が緩和されて鋼製支承の場合のような面内せん断ひび割れが生じないこと等を明らかにした。

第4章では、第3章の実験結果を踏まえて軸方向鉄筋の座屈を考慮したファイバーモデルによる非線形解析を行い、斜角を有するRC壁式橋脚に対する解析手法の有効性の検討を行っている。その結果、上部構造の拘束による耐力の向上、軸方向鉄筋の座屈による耐力の低下を概ね再現可能である等を明らかにし、提案する解析手法の有効性・妥当性の確認を行っている。

第5章は総括で、本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の研究課題と展望について述べている。

これを要するに、著者は、これまでに用いられることのなかった実験模型として上部構造-支承-壁式橋脚から成る場合について正負交番載荷実験を実施し、斜角の有無および支承タイプのRC壁式橋脚の地震時変形性能特性に与える影響を明らかにするとともに、ファイバーモデルによる非線形解析を試み、解析法は地震時の変形性能特性を概ね再現可能であることを明らかにしており、今後の耐震工学、構造工学の発展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)の学位を授与するのに値するものと認める。