

Study on dynamic behavior and improvement in earthquake-resistant characteristics of aqueducts considering damage to bearing during strong earthquake

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26856

氏名	竹田 周平
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第1008号
学位授与の日付	平成20年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	鋼製水管橋の大地震時における支承損傷を考慮した動的挙動と耐震性向上に関する研究
論文審査委員(主査)	北浦 勝(自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副査)	松本 樹典(自然科学研究科・教授), 宮島 昌克(自然科学研究科・教授), 近田 康夫(自然科学研究科・教授), 高田 至郎(神戸大学・教授)

Abstract

Recently, some strong earthquakes occurred in Japan. For this reason, viaducts and aqueducts were damaged by them. Now, some previous research in Japan pointed out that aqueducts damping value is smaller than road and railroad bridges. Although some researches have been carried out on the damping value of aqueducts, little is known about their characteristic during a strong earthquake. So this paper deals with the vibration tests and dynamic analysis. In this experiment, I focused the single span beam with length about 1.5m and experimented some cases with this structure and some real bridges. In the analysis, I focused the truss type and the runger type aqueduct, and considered dynamic behavior and improvement in earthquake-resistant characteristics of aqueducts considering damage to during strong earthquake.

学位論文要旨

近年、日本国内をはじめ海外においても大地震が発生している。例えば、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震ではマグニチュード7.3を記録し、神戸市や近郊の都市に甚大な被害をもたらした。その後、国外においては1999年のトルコ・コジャエリ地震や同じ年に発生した台湾・集集地震、2004年のスマトラ島沖地震などが発生、国内では2003年の三陸南地震、同じ年の宮城県北部地震と十勝沖地震、更には2004年の新潟県中越地震などが発生した。最も近いものとしては、2007年の能登半島地震と同年に発生した新潟県中越沖地震である。

このように多発する大規模な地震により、橋梁をはじめとする土木構造物に対して様々な被災と、新たな耐震化整備に関する課題を与えられた。例えば内陸直下型で代表される台湾・集集地震では、地表面に発生した断層変位による上部構造の落橋の被災、2004年のスマトラ島沖地震やインド洋大津波では、津波により橋梁上部構造やアプローチの道路盛土が流出するなどを経験した。また、兵庫県南部地震の被害を経験してからは、我が国においては橋梁の大震補強整備が行われ、橋脚の補強や落橋防止システムなどの対策が実施された。これにより、1995年の兵庫県南部地震以降に発生した大地震において、宮城県北部地震では補強された落橋防止装置により上部構造の落橋が免れ、また新潟県中越地震や新潟県中越沖地震では、耐震補強された橋梁がこれらの地震後においても機能を発揮するなどの耐震対策効果が発揮された。以上の様に、これまでの被害の経験より新たな課題も指摘されていると同時に、耐震対策の効果も徐々に発揮され、現在もなお橋梁等構造物に関する実験や研究が行われている。

一方、地震時における救命ライフラインの機能維持は、直接的に人的被災の軽減に直結する重要なファクターである。これまでの水管橋の被災事例については、昭和53年の宮城県沖地震や1995年の兵庫県南部地震において、水管橋の支承部の損傷や伸縮可撓管の変形、また下部構造の変形などの被害が発生した。水管橋は、一般的な道路橋に比べて橋軸直角方向の幅が狭く剛性が低いこと、鋼材等の単一部分材のみで構成され質量が軽いことなど、道路橋や鉄道橋と異なる構造特性を有していることから、水管橋として独自の配慮が必要となる。しかしながら既往の研究は、水管橋をはじめとするライフラインに着目した研究は、竹内らが行った研究などが代表される。すなわち、未だサンプル数が少なく耐震性能を評価するには十分とは言い難い。さらには、水管橋の被災事例にあるように、水管橋の被災事例が多い支承の破損を考慮した解析事例は著者らが行った研究が代表される程度である。また、動的振動特性を検証するうえで重要な要素である減衰定数についても、実

橋により調査が行われているものの、いずれの実験も微少な振幅時の減衰特性であり、大地震を想定した大きな振幅時の減衰定数でない。著者らは、この振幅が大きくなる時の減衰定数を調査するために、室内におけるモデルを利用した実験を試み、振幅と減衰定数との関係や、卓越振動数と振幅との関係などを調査することで、減衰定数に関する新たな知見を得ている。さらに水管橋に着目した、フェイルセーフ機能である落橋防止装置に関する研究は見当たらない。

このような背景から、本研究では振動実験を通して水管橋の振動特性を明らかにし、解析を通して非線形系の地震時挙動をシミュレーションし、また支承の破壊を考慮した水管橋の耐震性能の評価を行った。また、想定外の地震に対するデバイスである落橋防止装置に着目し、これらの目標性能を明確化し、新しい設計手法を適用することでより高性能なシステムの構築についての検討を行った。

【第1章の要約】

第1章では、本論文の目的と意義、既往研究成果の整理、また本論文の構成について説明を行った。本研究では、橋梁構造物の耐震性能評価や耐震性能を向上するための手法に着目した。特に大地震時の挙動を把握する検討では、これまでに検討・研究事例が少なく、かつライフラインとして重要構造物である水管橋の振動実験と数値解析を取り上げ、大地震時の耐震問題と耐震性向上に関する対策について述べた。さらに本研究が、橋梁構造物の部材破壊を想定した、大地震時の数値解析から、フェイルセーフ機能に関する目標性能を明確にし、新しい設計手法を適用することでより高性能なシステムの構築を目指すに至った経緯について説明を行った。

【第2章の要約】

第2章では、水管橋の動的振動特性を把握することを目的として、振動実験を行い、その結果について考察を行った。既往の研究においては、いくつかの水管橋を対象とした振動実験が実施されていたが、動的解析上必要となるパラメーターを評価する上ではサンプル数が少ないことに鑑み、定量的な値を得ることを目的として実橋による実験を行い、さらには、応答振幅との依存性を検証するために、室内による振動実験を行ってこれらの特性値について調査した。

実橋による振動実験では、トラス形式水管橋における常時微動計測より得られた減衰定数は $h=0.3\%$ 程度、自由振動より得られた減衰定数は $h=1.8\%$ 程度と大きく異なる結果を得た。またランガー形式水管橋では、常時微動計測と自由振動より得られた値は概ね同じであり、 $h=0.5\%$ 程度であった。室内によるモデルによる振動実験では、弾性限界までの振幅を与えた場合は、 $h=1.9\%$ 程度の値を得た。また振幅を小さくすると、減衰定数も小さくなることが明らかとなった。さらに、振幅を変化させた時の卓越振動数に着目すると、振幅が大きくなるに連れて固有周期が長くなることが確認された。以上のことから、振幅が大きくなることで幾何学的非線形のように剛性が変化した可能性があり、振幅と減衰定数との間に振幅依存性があることが判った。

【第3章の要約】

第3章では、水管橋の大地震を想定した非線形動的挙動について数値解析を試みた。まず解析対象橋梁の概要と諸元について説明し、続いて解析手法について説明を行った。入力地震動として、1995年の兵庫県南部地震で観測されたものや、また近年観測された強地震動を用いた。解析対象とした水管橋は、供用されている中でも特に多いトラス形式と、トラス形式よりも規模が大きいランガー形式である。解析では、部材の非線形性を考慮した解析モデルを適用し、非線形動的挙動を把握することを目的とし検討を試みた。特に非線形性については、過去の被害で支承の破損を受けた事例が多い反面、解析で支承の破壊を想定した解析事例はないことから、本解析では支承の破壊を考慮した力学的モデルを用いて解析を試みた。

さらに動的解析では材料非線形性だけでなく、幾何学的非線形も考慮した場合に、解析結果にどのような影響があるのかを検討した。一般的にこのような幾何学的非線形と材料非線形を同時に考慮した解析を、複合非線形解析と称している。吊橋や斜張橋のようなケーブルで構成された構造形式では、幾何学的非線形を無視できないが、ランガー形式及びトラス形式では、その構造規模により異なるものと考えられる。また水管橋の場合は、同形式の構造であっても、道路橋よりも比較的柔構造であるため、ランガー形式やトラス形式でも幾何学的非線形性の影響が無視できない可能性も考えられる。しかしながら、既往の水管橋の研究において、この複合非線形を考慮したものは見当たらない。そこで、幾何学的非線形の影響が解析結果に影響を及ぼすのか検討を試みた。以上

の結果より既設水管橋の問題点を整理し、これらの耐震性能を向上させるための課題について示した。幾何学的非線形の影響について、支承の破壊を考慮しない場合は上部構造の応答に約 25%程度の差が確認された。ただし支承の破壊を考慮した場合の応答は同程度の結果であった。すなわち、支承が破壊しないような場合においては、幾何学的非線形の影響は無視できないと考えられる。

トラス形式水管橋の動的解析では、支承の破壊を考慮する場合としない場合の結果には大きな差は確認されなかった。これは支承の非線形性が弱く、大きく水平支持を失った状態に至っていないためと考えられる。またランガー形式水管橋の動的解析では、支承が破壊した場合のケースで、最大 25%程度応答が低減した。しかし、新潟県中越地震で観測された波形により解析した場合には、支承部の最大相対変位が 0.4m を越えるなど大きな応答となり、落橋に至る可能性が高いことを示唆している。これは、支承が破損したことで水平支持を失った上部構造が、一方向に移動変位したためである。また支承が破損した場合は、同時に復元力性能も失うため大きな残留変位を発生する。すなわち、支承の破壊は必ずしも応答を低減させるとは限らないことが明らかとなった。

【第 4 章の要約】

第 4 章では、想定外の地震が発生した時、すなわち設計地震力を超過する地震動が発生した時に、フェイルセーフとして機能する落橋防止システムについて考察した。この装置には大きな衝撃力を受けることが予測されているが、衝撃力を緩和できるような構造の場合においても、これらの影響を無視している。また設計荷重が大きいため、補強設計等では、設置スペースが限られていることから、取り付けが難しい場合も多い。

上記のような問題点を踏まえつつ、本章では、既往の研究で着目されていないエネルギー吸収型落橋防止装置（TE 型）に着目し、エネルギー吸収型デバイスの理論式を導いた。続いて、この装置の影響を確認するために、想定外地震動を適用し、かつ部材の破壊を考慮する非線形動的解析を実施した。さらに、いまだサンプル数の少ないランガー形式の補強例を説明した。

新機能を有する落橋防止装置（TE 型）の効果を数値解析で検証した結果、従来型よりも連結する PC ケーブルの発生応力を大幅に低減できることが確認され、落橋防止装置のコンパクト化を図ることが可能となる結果を得た。また耐震補強では、伸縮可撓管の位置にジョイントダンパーを設け、支承を免震支承とする耐震補強工法が有効である結果を得た。

【第 5 章の要約】

第 5 章では、本研究の結論と今後の課題について述べた。

学位論文審査結果の要旨

本学位申請論文に対して、審査委員が面接と試問を行うとともに、第1回審査会で論文の内容について検討し、審査方針を決定した。さらに平成20年2月4日に行われた口頭発表後に第2回審査会を開き、協議の結果、以下のように判定した。

本研究は、ライフライン構成要素の一つである水管橋が強震時に被災していることに注目し、実験と解析を通じてその振動特性と非線形挙動の解明、ならびに耐震性向上について検討したものである。振動特性については実橋による振動実験や模型を用いた室内試験を通じて、解析に必要な、特に減衰定数について調査し、線形の範囲内では水管橋や道路橋の基準に示されている値よりも小さいことを確認している。つぎに数値解析を通じて、材料非線形性、および材料非線形性と幾何学的非線形性とを組み合わせた複合非線形性が水管橋の地震応答に及ぼす影響を考察している。材料非線形性をもたらす支承の破壊は水管橋に入力低減効果を与えるが、同時に応答変位を大きくし、落橋させる危険性も増加させる。そこで想定以上の地震に対するフェールセーフ機能として、エネルギー吸収システムを付与する手法の有効性を明らかにするとともに、耐震補強例を提言している。

以上の研究成果は、水管橋の非線形応答の解明はもとより、耐震性向上に有用な知見を与えていることから、学位申請者は博士(工学)の学位を受けるに値すると判定する。なお、学位申請者は国際会議での発表経験があり、外国語の能力も有するものと判定する。