

機関番号：17401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760356

研究課題名（和文）複数の橋梁システムを統括する制震デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of Seismic Control Devices unifying some bridge systems

研究代表者

葛西 昭（KASAI AKIRA）

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：20303670

研究成果の概要（和文）：

本研究は、性能照査型設計法において、損傷部材を制震デバイスに限定し、橋梁システムの損傷を軽減することが究極の目標である。昨今では、このような検討例が多い中、複数橋梁システムを統一的に考えて、制震デバイスを導入するところまで至っていないのが現状である。本研究では、複数の橋梁システムを対象とし、そのシステム間に制震デバイスを適切に導入することで、1つの橋梁システムではなく、全体としての橋梁システムの耐震性向上を目指す。当該研究期間では、まず、3方向地震動に対応する1橋脚の耐震設計法の確立を行い、続いて、複数の橋梁システムに対して、同設計法を導入し、性能評価をした。最後に、免震支承の導入まで行ったが、制震デバイスの導入までは至っておらず、また、導入の仕方も1例に留まっており、必ずしも最適とは言えない。結果として、制震デバイスの導入は、ある程度、適切に導入することで損傷制御も可能であることが分かったが、当課題には多くの問題点があることが判明した。複数橋梁システムを取り扱う際の橋軸直角方向に関する境界条件の取り扱い、制震デバイスの最適配置論、簡易設計法の必要性、以上を今後の課題としてまとめている。

研究成果の概要（英文）：

This work deals with influence of bi-directional cyclic displacement loading on the ductility of hollow circular steel columns and to develop a seismic verification method for bridge piers, with pipe sections, when subjected to coupling action of two horizontal earthquake components. For this purpose, nonlinear numerical analyses are performed on Finite Element models by setting radius-thickness ratio and slenderness ratio as main design parameters. The strain-based ductility formulas are developed separately for uni- and bi-directional cyclic loadings, and based on these formulas a seismic verification method is proposed. To confirm this method, nonlinear dynamic analyses are carried out on three different beam element models of bridge piers. The deformation and strain performances are evaluated by displacement-based and strain-based methods. The comparative study shows that the strain-based seismic verification method is critical than displacement-based method. Further, comparison between allowable values given by past ultimate strain formula indicates that the formulas developed in the present study are more adequate to use in seismic verification of circular steel bridge piers when subjected to two directional earthquake motions at the same time.

Finally, some various problems installing seismic control device into bridge systems are discussed. As a result, it was found that the method placing seismic control devices optimally is not developed yet. Therefore, newer procedure locating seismic control devices into bridge systems will be developed with reconsidering some structural parameters.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼橋，耐震設計，多方向地震動，橋梁システム，制震設計，座屈拘束ブレース

### 1. 研究開始当初の背景

本研究で対象とする鋼製橋脚は，都市域に立地することが非常に多い。大地震の発生する確率が高いとされている我が国において，特に都市域では，被害が甚大となることを未然に防ぐ必要があることから本研究の果たす役割は非常に大きい。具体的には，近年中に発生する確率が高いとされている東海，東南海，南海地震などで想定されている地震規模を考えると，本研究成果にて制震部材の適用を検討することは急務である。なお，あくまでも本研究は，橋梁システム全体に対する制震部材の適用を検討する。従って，RC製橋脚を含む橋梁システムへ本研究成果を適用することが阻害されることは一切ない。

これまでに構造物―地盤連成問題，水平2方向地震動に対する橋梁の耐震設計に関する考え方，制震設計に関して種々の検討を行ってきた。本研究課題を着想するに至った経緯は以下の通りである。今後の土木構造物の耐震設計において，工学的基盤面から地震動を入力する設計法になるのは必至である。従って，表層地盤の挙動，構造物の挙動を総合的にとらえる必要がある。また，橋梁は線の構造形式であり，複数の設計振動単位を有することになる。これらを制震部材で錬成させ，総合的に地震被害を軽減することは，橋梁全体の耐震設計という観点では重要な考え方である。さらに，制震部材の開発等は，既に種々行われているが，総合的に判断できる手法がないだけに，どのように適用することが有効であるかを判断することが難しい現状がある。

### 2. 研究の目的

本研究は，未だ解明不足である橋梁システム全体での耐震設計法の確立に着目した新たな試みを主目的としている。我が国では，

阪神大震災以後，急速に進められた橋梁の耐震設計において，橋脚単体，デバイス単体について種々の検討が行われつつあるが，それらを複合し，また，実現象である3次元地震動を対象とした耐震設計法の開発が遅れている。この点を制震デバイスの利用方法を種々検討することで，設計法への一助とする。

### 3. 研究の方法

本研究は2つのパートからなる。第1は，1橋脚の多方向地震動入力に対応した耐震設計法の確立である。第2は，この手法を用いて，単純桁形式の橋梁システムを橋軸方向にいくつかを想定した複数システムに対して，適用し，耐震安全性の評価を実施し，当該システムへの制震デバイスの導入を試みることである。如何に具体的な方法を簡単にまとめる。

パート1について，(1)まず，橋脚単体について3方向地震動に対する設計法を確立する。(2)地震動が2方向から入射される場合の構造物に及ぼす影響を解明するために，橋梁システムを数個のマス―バネ系に置換し，地震応答結果を取りまとめる。なお，荷重―変位関係を弾性および非弾性（移動硬化型バイリニア）と想定し，弾塑性応答となることの影響を取りまとめる。本検討では，入力地震動の2方向性に対する一般論をまとめる。(3)上記についてファイバー要素を用いた弾塑性地震応答解析を用いて検討することで，弾塑性構成則の違いによる影響を検討する。本検討では，箱形断面鋼製橋脚の応答を精密な繰り返し弾塑性構成則で忠実に再現することで，設計法確立のための基礎データを得る。

パート2について：(1)ファイバー要素での地震応答解析は局部座屈発生後以降の履歴予測には限界があることを指摘している。

そこで、より高度な数値解析シミュレーションとして、局部座屈を考慮することができるようにシェル要素を用いた弾塑性地震応答解析を実施し、既出の地震応答実験結果との比較を行う。(2)制震部材の導入は、経験的に頼る部分が多く、どうしても試行錯誤的に決定せざるを得ない。そこで、本研究では、この部分を支援するための簡易設計法を策定する(2方向地震動耐震照査)。耐震安全性を満足しない場合を想定して、制震部材の導入を検討する。まず、高架橋システム全体の固有周期に着目し、応答スペクトルから、全体系に付与すべき減衰定数を算出する。

全体系の減衰定数と整合性のとれる制震部材適用箇所を選定する。最適な制震部材の適用には多くの繰り返し計算が必要とされる。従って、本選定ルーチンにて、選定手順の簡素化を行える手法を開発することが本研究の最大の貢献箇所である。高架橋システムに制震部材を導入し、所定の耐震性能を有するか、再度、耐震照査を行う。構造物に入力される外力としての2方向地震動が、表層地盤を介して入力される状況を構造物-基礎-地盤を数値解析モデル(有限要素法モデル)にて解明する。これまでに成果としてあげている座屈拘束ブレース、そして、設計振動単位をまたぐ領域では、支承に制震機能を有するものを適用あるいは開発を考える。種々の高架橋システムが想定されるので、制震部材を導入するにあたって、重要となり得る構造パラメータを導出する。

最後に、成果のとりまとめを行い、当該年度内で達成した事項とそれを受けて今後行うべき検討課題などをまとめる。

#### 4. 研究成果

パート1として、1橋脚の3方向地震動に対応した耐震設計法を確立した。確立に当たっては、従来の方法を踏襲しながらも、シェル要素を用いた数値解析法を見直し、数値解析解の高精度化に務め、従来の変位照査法、および、ひずみ照査法を発展する形で開発した。変位の外形を楕円形と見なし、応答変位が描く軌跡曲線から、楕円形の長軸及び単軸長さを算出し、これをベースに変位照査法を確立した。ひずみ照査法については、これまでの1方向地震動の限界ひずみ算定式を拡張し、3方向地震動の影響も考慮した限界ひずみ算定式を開発した。これを適用することにより、従来の方法と全く同じ手法を適用することで評価できる方法を開発した。しかし、これらの方法は数値解析的に得られているところがあるため、実験による検証などが必要である。また、当該研究機関では、断面形状がパイプ型に限定されており、都市域に多い箱形

断面について研究課題が残されている。箱形については、断面の異方性があるため、その確立にはさらなる検討を要す。これは今後の課題とさせていただいた。

パート2として、3方向地震動に対応する1橋脚の耐震設計法の確立と、複数の橋梁システムに対して、同設計法を導入し、性能評価したところ、および、制震デバイスの導入までを行った。まず、橋脚単体に3方向地震動が入射したときの地震応答解析を実施し、種々の成果を得た。特に、鉛直動については、その鉛直動の大きさによっては、柱基部の断面内における発生ひずみが引張領域に及ぶものもあったが、対象橋脚が鋼製橋脚であるため、RCコンクリート製橋脚のような大きな損傷にまで発展する可能性が無いことを確認した。ただし、これらは実験的な検証が必要である。また、水平2方向については、1方向に比べて入力複雑性があり、応答自体も1方向に比べると非常に大きくなることを確認した。これらに対し、パート1で作成した新設計法を適用し、応答計算を含め、橋脚への設計法適用の可能性をまとめるに至った。続いて、多方向地震動に対応した設計法は、3次元的な応答が発生する故に必要な設計法であるため、一般的な橋梁システムにそのような3次元的な応答が発生するかどうかを検証するための数値解析を実施した。結果として、橋梁システムでは、橋軸方向への応答変位の集中が見られ、3次元的な挙動を示すものの、橋軸方向への設計に関する注意がより必要であることを確認した。最後に、免震支承の導入を検討し、制震デバイスの導入は、ある程度、適切に導入することで、応答を分散し、かつ、損傷制御も可能であることが分かったが、当該課題には多くの問題点があることが判明した。複数橋梁システムを取り扱う際の終端における橋軸直角方向に関する境界条件の取り扱いをどのようにするか、制震デバイスの有効性はあるものの、その最適な配置については経験的な方向に頼りながら、何回にもわたって数値解析が必要な点への打開策の必要性、そして、これらを簡易に行うための設計的なコンセプトの導出、これらが必要であるが、当該研究機関では全てをまとめるに至っておらず、これらを今後の研究課題としてまとめた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕（計 1 件）

①Kulkarni, N., Kasai, A. and Tsuboi, T.  
(2009): Displacement based seismic  
verification method for thin-walled  
circular steel columns subjected to  
bi-directional cyclic loading, Journal of  
Engineering Structures, Vol. 31,  
pp. 2779-2786 (査読有) .

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

葛西 昭 (KASAI AKIRA)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：20303670