

学位論文の要旨

氏名

安藤 崇

学位論文題目

入力地震動の強度変動を考慮した橋梁構造物—地盤系の耐震性能
評価に関する基礎的研究

本論文は、橋梁構造物—地盤系に関して、動的相互作用を考慮した場合の耐震性能評価を行うため橋梁構造物系の最大応答に及ぼす入力地震動の不確定量の影響を明確にすることを目的として検討を加えたものである。

第1章は、本研究の背景や目的と論文の概要について述べている。1995年1月17日、淡路島を震源として発生したマグニチュード7.2の兵庫県南部地震は、神戸市、淡路島を中心に広範囲の被害をもたらした。気象庁の観測史上初となる震度7を観測した神戸市周辺等では、高速道路、臨港道路、新交通システムの高架橋において橋脚倒壊・座屈及び落橋が発生し、幹線交通網の混乱を生じ、ポートアイランド等の埋立地においては、液状化・地盤沈下の発生、岸壁の倒壊により、物資の流通網の混乱が生じた。当時の構造物の耐震設計については、震度法が主流であり、構造物の性能規定に関することについては、不明確であった。阪神・淡路大震災において被害が甚大であったのは、構造物が大規模な地震力を受ける場合の地震時挙動について、不明確であったことが要因と考えられる。本研究においては、性能照査型設計法の観点から構造物—地盤系に関して動的相互作用を考慮した場合の耐震性評価を明確にすることや、強振動を受ける場合の構造物の最大応答に及ぼす不確定量の影響を明確にすることを目的とし検討を行ったことを述べている。さらに、本研究に関連した既往の研究について概要を述べている。

第2章は、動的相互作用を考慮した場合の耐震性能評価に関して述べている。SRモデルやサブストラクチャ法を利用した地盤—構造物系の構造物の動的相互作用解析に関して多くの研究はあるが、構造物系を全体系として評価した検討は少ない。橋梁構造物—地盤系に関して、構造物が強振動を受ける場合、地盤と構造物は、それぞれ非線形応答を生じる。このため、橋梁構造物の耐震安全性を検討する場合、基礎—地盤系との非線形性を考慮した動的相互作用の影響を明確にすることが重要なことになる。本章においては、地盤—基礎系を2次元の平面ひずみ要素であるアイソパラメトリック要素で表わし、上部構造物である橋梁構造物を2次元の梁要素としてモデル化した。地盤の非線形特性はせん断ひずみの関数として剛性と減衰定数を与える等価線形化法を用いた。また、上部構造物の非線形性は曲げモーメントと曲率の関係をバイリニアで表した。橋梁構造物—地盤系を全体モデルとして定式化し、線形地震応答解析及び非線形地震応答解析を行ない、その動的応答特性について検討を加えた。特に非線形地震応答解析においては、地盤条件の相違による構造物の動的応答特性から、動的相互作用が橋梁構造物に及ぼす影響に関して検討を行った。入力地震波としては1997年の鹿児島北西部地震時にK-NETで計測された地震波を用いた。解析では最大加速度の調整を行って強度の変化を表した。

その結果として、(1) 橋梁構造物の応答変位は、線形性より非線形性を考慮した方が小さく生じるが、橋脚基礎部については、入力地震波や地盤条件の影響を受けて、線形の方が大きな応答を生じること。

(2) 非線形性を考慮した橋梁構造物と基礎の最大応答変位は、地盤特性値の値が大きい地盤ほど顕著に現れること。(3) 橋梁構造物の橋脚基礎の応答変位に着目すると、平坦地より斜面上の方が大きくなるが、不等橋脚を有する一体構造物の場合、非線形性の影響で比較的高さがある橋脚の基部に損傷が大きく生じやすいこと。(4) 動的相互作用を考慮した橋梁構造物系の耐震評価にあたっては、その応答特性が、解析モデルや地盤条件、入力地震波の特性に影響されるため、その程度を把握しておくことが必要であることなどの点を明らかにした。

第3章は、入力地振動の最大加速度を不確定量とした場合の橋梁構造物-地盤系の地震応答評価について述べている。現在は、構造物の供用年数期間内に発生する地震動の強さの確率をレベル1地震動、レベル2地震動に分けて耐震設計を行う「二段階設計法」や構造物の重要性により必要な耐震性能を定め、それに基づき設計を行う「性能照査型設計法」が主流となっている。特に「二段階設計法」については、レベル1を供用期間中に発生する確率が高い地振動を、レベル2を供用期間中に発生する確率が低い強い地震とし、更にレベル2においては、大規模プレート境界型のタイプI地震動、内陸直下型のタイプII地震動と区分されており、これらの設計手法により、構造物の必要な耐震性能に応じて耐震設計がなされている。このように地震動は不確定性を有しており、特に最大加速度は大きな変動を有している。本研究では、橋梁構造物-地盤系を全体モデルで表わし、入力地振動の最大加速度の不確定性が最大応答に及ぼす影響について検討した。全体系の応答は、非線形応答を生じる場合も考慮して、モンテカルロシミュレーション(MCS)法を用いて入力地振動の不確定量が応答に及ぼす影響について評価を行なった。入力地震動は、鹿児島北西部地震(1997年)においてK-NETで観測された地震波の中で地盤条件の異なる大口と鹿児島の観測波を用いた。その結果、(1) 橋梁構造物-地盤系の動的相互作用を考慮すると、応答変位は非線形を考慮した場合の方が線形時より減少する場合があること。(2) 入力地震波の特性により、最大加速度の変動が最大応答に大きな影響を及ぼすため、この不確定量が応答評価に及ぼす影響を明確にすることは、橋梁構造物の耐震性能評価において重要となること。(3) 耐震性能評価に関して非線形応答の影響を含めて行なうとき、MCS法は有用な方法となるが、最大応答値の分布は、様々なパラメータの影響を強く反映したものとなるため、その不確定量の把握が重要となるなどを明らかにした。

第4章は、本研究で得られた成果を各章ごとにまとめ総括し、今後の検討項目について述べている。

論文審査の要旨

報告番号	理工論 第48号	氏名	安藤 崇
審査委員	主査	河野 健二	
	副査	北村 良介	浅野 敏之

学位論文題目 入力地震動の強度変動を考慮した橋梁構造物－地盤系の耐震性能評価に関する基礎的研究
(Seismic Performance Evaluations of Bridge Structure-Soil System to Seismic Motions with Intensity Variations)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は、橋梁構造物－地盤系に関して、動的相互作用を考慮した場合の耐震性能評価を行うため橋梁構造物系の最大応答に及ぼす入力地震動の不確定量の影響を明確にすることを目的として検討を加えたものである。全文4章より構成されている。

第1章は、本研究の背景や目的と論文の概要について述べている。

第2章は、動的相互作用を考慮した場合の耐震性能評価に関して述べている。橋梁構造物－地盤系に関して、構造物が強震動を受ける場合、地盤と構造物は、それぞれ非線形応答を生じる。このため、橋梁構造物の耐震安全性を検討する場合、基礎－地盤系との非線形性を考慮した動的相互作用の影響を明確にすることが重要になる。入力地震波としては1997年の鹿児島北西部地震時にK-NETで計測された地震波を用いた。解析では最大加速度の調整を行って強度の変化を表した。その結果として、(1) 橋梁構造物の応答変位は、線形性より非線形性を考慮した方が小さく生じるが、橋脚基礎部については、入力地震波や地盤条件の影響を受けて、線形の方が大きな応答を生じること。(2) 動的相互作用を考慮した橋梁構造物系の耐震評価にあたっては、その応答特性が、解析モデルや地盤条件、入力地震波の特性に影響されるため、その程度を把握しておくことが必要であることなどの点を明らかにした。

第3章は、入力地震動の最大加速度を不確定量とした場合の橋梁構造物－地盤系の地震応答評価について述べている。橋梁構造物－地盤系は有限要素法を用いた全体モデルで表わし、入力地震動の最大加速度を不確定量として最大応答量の評価を行った。全体系の応答は、非線形応答を生じる場合も考慮して、モンテカルロシミュレーション (MCS) 法を用いて入力地震動の不確定量が応答に及ぼす影響について評価した。その結果、(1) 入力地震波の特性により、最大加速度の変動が最大応答に大きな影響を及ぼすため、この変動量が応答評価に及ぼす影響を明確にすることは、橋梁構造物の耐震性能評価において重要となること。(2) 耐震性能評価に関して非線形応答の影響を含めて行なうとき、最大応答値の分布は、様々な不確定量の影響を強く反映したものとなる。橋梁構造物ではその評価が重要となるが、MCS法は有用な方法として最大応答の評価ができることを示した。

第4章は、本研究で得られた成果を各章ごとにまとめ総括し、今後の検討項目について述べている。

以上、本論文は橋梁構造物－地盤系に関して、動的相互作用を考慮した場合の耐震性能評価について基礎的な検討を行い、その結果は耐震設計法の開発に寄与するものである。よって、審査委員会は博士(工学)の学位論文として合格と判定する。

学力確認結果の要旨

報告番号	理工論 第48号	氏名	安藤 崇
審査委員	主査	河野 健二	
	副査	北村 良介	浅野 敏之

平成20年1月28日、22名の参加者の前で論文の公聴会を行った。審査委員3名を含む参加者は学位申請論文について説明を求め、その内容及び関連事項について、質問応答を行った。具体的には、以下のような質問応答がなされ、いずれについても満足すべき回答を得ることができた。

Q: 地盤の非線形解析において等価線形化手法を適用しているが、せん断弾性定数 G_0 はどのレベルのひずみに対応しているのか。また、本解析で用いた地盤条件では、せん断波速度と G_0 の関係はどのようになっているのか。

A: 本解析で用いた地盤はK-NETで示された地盤を用いており、初期の線形時の応答ではひずみは 10^{-6} のレベルになっている。その後は、ひずみレベルに応じてせん断弾性定数と減衰定数はひずみの関数として評価している。

Q: 入力地震動などを不確定量とした解析を行なう時、どのように扱っているのか。

A: 本解析では、不確定量は平均値と変動係数を与えて、確率変数として求めている。この確率変数を運動方程式の中の対応する諸量の中に導入して応答評価を行なっている。

Q: 鹿児島県の地震波を解析に適用しているが、どのような特徴が見られたか。

A: 本解析では、K-NETのデータの中で鹿児島の代表的と考えられる鹿児島と大口のデータを用いて解析を行なった。動的相互作用を考慮するとき、地盤の動的特性の影響が大きいため耐震性の評価では、できるだけ対象地点に近いデータを用いた解析をすることが望まれる。

Q: 動的相互作用特性を考慮した橋梁系の耐震評価において、特に考慮しておくことは何か。

A: 橋梁構造物の動的応答は地震波の特性だけでなく地盤の動的特性の影響を強く受ける。特に、強震動を受ける場合、構造物、地盤とも非線形応答を生じることが考えられるので、耐震性の評価においては、その影響を明確にしておくことが重要になると考える。

Q: 現在の耐震設計法のレベルと本研究の関連は何か。

A: 一般の設計では静的に評価した地震力を用いており、動的外力としての扱いは照査において検討されることが多い。しかしながら、耐震性能評価においては、入力地震動などの変動の影響を明確にしておくことが重要だと考えて、本研究を行った。

Q: 入力強度の変化に対して線形応答より非線形応答が小さくなる場合があるのはなぜか。

A: 地盤の特性が大きく影響しているものと考えられる。地盤が非線形になると、等価減衰定数が増加すること、固有周期が増加することによる入力地震動の減少などの影響が考えられる。

Q: 地震応答解析の中に基礎の有無があったが、どのようなことを表しているのか。

A: 橋梁構造物を取り除いた地盤だけの地震応答を同じ条件で解析し、動的相互作用の影響を調べた。特に、基礎構造物の周辺での応答は上部構造物の振動の影響を受けることを考慮したものである。

なお、語学力については、専門に関する学術論文の英文和訳の課題を与え、適切な和訳がなされていることを確認した。以上の結果から審査委員は、申請者が博士(工学)の学位を与えるに十分な学力と見識を有するものと判定した。