

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289136

研究課題名(和文) 水平2方向地震動作用を基準とした免制震橋梁の設計・照査法の開発

研究課題名(英文) Development of design method for bridges with seismic response modification devices on the basis of bi-directional seismic action

研究代表者

五十嵐 晃 (Igarashi, Akira)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：80263101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：免震と制震ダンパーを適用した免制震橋梁を対象としたレベル2地震設計上の制約を満足する設計を行うための効率的で明確な設計法を開発することを目的として、入力地震動の2方向性の解明とそれを反映した耐震性能照査用の2方向入力地震動の作成法を開発した。また、免制震橋梁構造物の2方向応答特性を検討するため、その2方向復元力特性および2方向動的応答特性のモデル化手法を新たに提案し、耐震性能向上対策を実施した構造物の地震応答と損傷評価に適用可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present research is to establish effective design procedures for bridges with seismic response modification techniques, namely seismic isolation and energy dissipation device application. Firstly, the bi-directional character of input seismic ground motion accelerograms is analyzed and efficient numerical procedures to generate spectrum-compatible bi-directional input accelerograms are developed. Secondly, methods for modeling of the bi-directional nonlinear restoring force characteristics and bi-directional dynamic response behavior are proposed. The combination of these two findings and methodologies are demonstrated to be applicable to seismic performance assessment and damage evaluation of structures with seismic protective measures.

研究分野：構造工学

キーワード：耐震設計 免震 制震 ダンパー ゴム支承 曲線橋

1. 研究開始当初の背景

(1) 免震支承および制震ダンパーを採用した橋の設計や耐震補強を行う場合、ダンパーの効果の方向性等の理由により、入力方向性により応答が大きく異なる事や、免震支承の2方向変形・復元力特性、制震ダンパーの非線形性、ダンパーの回転挙動などにより、1方向入力による評価が、実際多次元的な応答を適切に評価しているかどうかは明らかではない。2次元的な応答特性を検証するためには、2方向入力地震作用に基づく設計および照査が求められるものと考えられる。

(2) 建設地点での地震危険度と許容リスクを勘案した上で規定された設計スペクトルに基づいて2方向入力地震動による動的応答解析により照査を行う方法を確立すれば、設計者が耐震安全性能の要求に柔軟に対応することが可能となると考えられる。

2. 研究の目的

免震と制震ダンパーを適用した免制震橋梁を対象としたレベル2地震設計上の制約を満足する設計を行うための効率的で明確な設計法を開発することを目的とする。水平2方向地震力の作用条件における目標耐震性能を達成するための新たな合理的な設計手法を

- ・入力地震動の2方向性
- ・橋梁構造物の2方向応答特性

の2つのアプローチから総合的に検討することにより開発する。

3. 研究の方法

(1) レベル2地震をより現実的に想定した载荷条件と構造設計条件を直接反映した、2方向入力地震動の作用時のゴム支承等の免制震装置の2方向挙動を、载荷実験および数値計算により検討し、その場合の数値モデル化手法とおよび橋梁の2方向挙動のモデル化を行う。

(2) 制震橋梁の水平2方向入力条件を直接反映できる合理的な2方向入力地震動の作成法および2方向入力波形の設定法を開発する。方法としてHilbert変換を用いて直交成分を生成しスペクトル適合地震動波形を算出する計算アプローチを採用する。

(3) 上記の2つの成果を用いることで、免震装置、制震ダンパーを用いた橋梁の水平2方向地震時の動的応答および耐震性能の評価ならびに損傷の評価を行い、こうした応答および損傷を制御する方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 3次元の载荷実験や水平2方向地震動入力によるハイブリッド応答実験では、免震橋梁に用いられた免震ゴム支承(HDR)が水平2

方向地震力と鉛直上部構造重力の作用を同時に受ける場合、その力学性状が従来の免震橋の設計に用いられる解析モデルと大きく異なることが明らかとなった。水平2方向地震動入力の場合の応答が、水平1方向入力の場合の応答よりも大きくなる場合、逆に特定方向成分の応答が小さくなる場合の両方のケースが存在する。

(2) 水平2方向入力時の水平2方向応答を得るため、実験結果の良好な再現性を有しながら少数の非線形パラメーターのみで決定可能な実用性の高い水平2方向復元力モデルを新たに開発した。

(3) 上述の新たな復元力モデルを用い、多数の水平2方向地震動加速度記録波形を用いた漸増動的解析(Incremental Dynamic Analysis, IDA)を行い、得られた平均IDA曲線及びフラジリティカーブの検討に基づき、1方向入力と2方向入力による応答の相違を統計的に検証した。2方向入力の場合、1方向入力を組み合わせて評価した場合に比べて大きな応答が生じる統計的な割合が70%程度となることを定量的に示した。

(4) 明らかとなった地震応答の特性不確定性に基づき、信頼性に基づく設計法を検討した。設計時の耐震性能証査に既往解析モデルを用いた場合、95%の信頼性を確保するためには1.4の安全率が必要であることを示した。

(5) 在来鉄道などで今なお供用されている無筋コンクリート橋脚の耐震対策として、橋脚断面の増加を伴うRC巻立て工法以外の橋脚断面を増加させない方法として、打ち継ぎ目免震ゴムのような剛性の低いものを挟む方法を対象とし、改良版個別要素解析により効果を図1に示す橋脚解析モデルを対象に検討した。

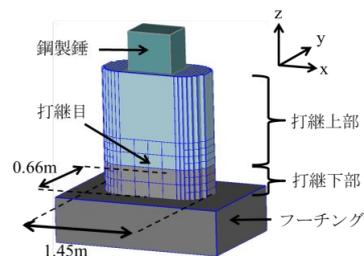


図1 対象構造物

実橋梁の1/5程度の大きさを想定しており、フーチングは幅2.29m、奥行き1.5m、高さ0.6m、橋脚は幅1.45m、奥行き0.66m、高さ1.65mで0.4mの高さに打ち継ぎ目を有する。橋脚は幅0.79m、奥行き0.66mの長方形の両側に直径0.66mの半円柱がついた形状である。上部工の重量および慣性をモデル化するため鋼製錘が設置されている。鉄道構造物等設計標準のL2地震動スペクトルII(G2)の地面地震動を振幅調整した波形に相似則を適用したものを入力した。特に振幅の大きい3秒間を入力し、数値的な応答および損傷評価が可能であることを示した。

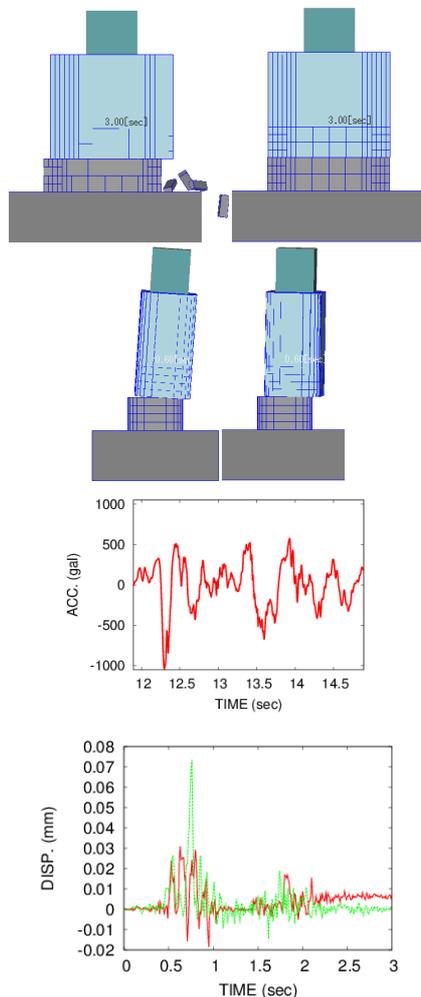


図2 応答および損傷評価の例

(6) 与えられた加速度度応答スペクトルに適合するような水平2方向地震動を、楕円偏極指標に着目してスペクトル適合基準1方向入力波とそのHilbert変換により作成する方法を提案した。また、提案手法により作成された水平2方向地震動を弾塑性1質点系モデルに入力した時の応答を検討することで、作成地震波形の特性および楕円偏極指標の値の影響を検討した。標準波の1方向入力の場合との大小関係は、元となる入力加速度波形や、構造モデルの固有周期により異なる事を明らかにした。

(7) 水平2方向入力による非対称性を有する免震橋梁の動的応答評価においては、1方向入力による応答解析では現れない新たな性質や問題が現れることを理論的および数値的に明らかにした。特に、2方向入力の位相極性 (Phase polarity) と、構造物応答への影響が明らかにされた。この2方向入力の効果を耐震性能照査において考慮する必要があることを定量的に示すものであるとともに、耐震性能照査のための2方向地震動の妥当性を Phase Polarity の観点から評価できることを示した。

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 6 件)

1. 党紀, 蛭沢佑紀, 五十嵐晃: 水平2方向地震動を受ける免震橋の応答特性に関する漸増動的解析 (IDA), 土木学会論文集 A1, 72(4), pp.I_719-I_732, 2016. DOI: 10.2208/jscejsee.72.I_719.
2. 党紀, 五十嵐晃, 村越雄太: 高減衰ゴム支承の水平2方向・大ひずみ変形時の挙動を表現した2方向復元力モデルの開発, 土木学会論文集 A1, 72(1), pp.250-262, 2016. DOI:10.2208/jscejsee.72.250
3. 五十嵐晃, 儀久昂: 楕円偏極指標を規定したスペクトル適合水平2方向地震動の作成, 構造工学論文集, 62A, pp.273-279, 2016.
4. 党紀, 袁輝輝, 五十嵐晃, 青木徹彦: 鋼製橋脚の水平2方向地震応答解析のための曲線近似 MS モデル, 土木学会論文集 A2, 69(2), pp.391-402, 2013. DOI: 10.2208/jscejam.69.I_391
5. 五十嵐晃, 党紀, 村越雄太, 伊東俊彦: 免震ゴム支承の水平2方向復元力特性に関する載荷実験および復元力モデルの比較検討, 土木学会論文集 A1, 69(4), pp.10-25, 2013. DOI: 10.2208/jscejsee.69.I_311
6. 松田哲夫, 五十嵐晃, 古川愛子, 大内浩之, 宇野裕恵, 松田宏: 免制震すべりシステム(ICSS)の地震応答に2方向同時入力の位相効果が及ぼす影響, 土木学会論文集 A1, 69(4), pp.I_688-I_702, 2013. DOI: 10.2208/jscejsee.69.I_688

〔学会発表〕(計 13 件)

1. 五十嵐晃, 儀久昂: 2方向地震動の Phase Polarity と非対称性を有する橋梁の地震応答への影響, 第19回応用力学シンポジウム講演概要集, No.100147, 2016.
2. 儀久昂, 五十嵐晃: 2方向入力軌跡の回転極性が構造物地震応答評価に与える影響について, 平成26年度京都大学防災研究所研究発表会, 講演番号 A17, 2015.
3. 井上和真, 渡辺和明, 五十嵐晃, 畑明仁: 応答スペクトルを用いた水平2方向入力地震動の設定に関する研究, 第35回地震工学研究発表会講演集, B21-805, 2015.
4. 党紀, 蛭沢佑紀, 五十嵐晃: 免震橋の2方向耐震性能に関する漸増動的解析, 第35回地震工学研究発表会講演集, A14-832, 2015.
5. 古川愛子, 水上輝, 清野純史: 鉄道無筋コンクリート橋脚の地震時被災メカニズム分析と耐震対策に関する検討, 第35回地震工学研究発表会, A23-733, 2015.
6. Ji Dang, Yuki Ebisawa, Akira Igarashi, Statistical evaluation of dynamic response

for isolated bridges under bi-directional seismic loading. JAEE, Proc. 14th Japan Earthquake Engineering Symposium (14JEES), pp.65-72, 2014.

7. Ji Dang, Yuki Ebisawa, Akira Igarashi. A statistical study for bi-directional seismic interaction effect in isolated bridges, Proc. 13th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (13USMCA), Session 6-No.4, 2014.
8. Yuki Ebisawa, Ji Dang, Akira Igarashi, Incremental Dynamic Analysis for bi-directional seismic performance of isolated bridges, Proc. 5th Asia Conference on Earthquake Engineering, (ACEE2014), 5(19-003), pp.1-7, 2014.
9. 儀久昂, 五十嵐晃: 楕円偏極指標を規定したスペクトル適合水平2方向地震動の作成法の提案, 第34回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, 34(A12-728), 2014.
10. Ji Dang, Akira Igarashi, Yuta Murakoshi, Nonlinear numerical hysteresis model for bidirectionally loaded elastomeric isolation bearings, Proc. 2nd International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, pp.131-140, 2013.
11. Ji Dang, Huihui Yuan, Tetsuhiko Aoki, Akira Igarashi, Multiple-Spring Model Analysis for Square-Sectional Steel Bridge Columns, Proc. 10th Pacific Structure Steel Conference, 099, pp.978-981, 2013.
12. 袁輝輝、党紀、青木徹彦: 水平2方向地震力を受けるコンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の耐震性能に関する応答実験的研究, 第33回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, 507, 2013.
13. 村越雄太, 五十嵐晃, 党紀: 水平2方向のひずみ依存性を考慮したゴム支承の非線形履歴復元力モデル, 土木学会第68回年次学術講演会, I-034, pp.67-68, 2013.

〔図書〕(計1件)

1. Wessex Institute of Technology, WIT Transactions on the Built Environment: Earthquake Resistant Engineering Structures X, No.152 (Akira Igarashi, Subaru Gigyū, Synthesis of spectrum-compatible bidirectional seismic accelerograms with target elliptical component of polarization), pp.63-72, 2015. ISBN: 978-1-84564-966-1, DOI: 10.2495/ERES150051

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

〔その他〕

講演: 五十嵐晃「免震・制震橋梁と2方向地

震動入力応答について」, 名城大学自然災害リスク軽減研究センター第1回定期講演会 2013年12月12日, 名城大学自然災害リスク軽減研究センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

五十嵐 晃 (IGARASHI, Akira)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 80263101

(2) 研究分担者

古川 愛子 (FURUKAWA, Aiko)
京都大学・地球環境学学・准教授
研究者番号: 00380585

党 紀 (DANG, Ji)

埼玉大学・理工学研究科・助教
研究者番号: 60623535

(3) 連携研究者

なし