

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：52301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14816

研究課題名（和文）設計想定外の極大地震作用に対する橋梁の構造制御法に関する基礎研究

研究課題名（英文）Study on the methods for the structural control of bridges against extreme seismic actions beyond the design assumptions

研究代表者

井上 和真（INOUE, Kazuma）

群馬工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：50825982

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：設計想定外の極大地震作用として、水平2方向地震動と複数回地震作用に着目し、橋梁モデルや地盤の非線形地震応答に関して、数値解析に基づく検討を実施した。

特に、免震・制震橋梁を対象とした分析においては、免震支承の変位に着目すると水平面内に非線形応答が連成する支承とともに、円形軌跡の水平2方向入力とした場合に、最大応答変位が最も大きくなる傾向が得られた。言い換えれば、円形軌跡の2方向入力は、免震橋の耐震設計において、より安全な設計を行える可能性がある。また、シリンダー型ダンパーのような1方向のみに減衰効果を発揮する制震装置を直交2方向に配置することが、水平2方向入力の影響を受けにくい構造である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水平2方向入力地震動が橋梁や地盤の非線形応答に及ぼす影響を示すとともに、現在、免震橋梁の耐震設計は水平1方向入力地震動に基づいて行われていることから、水平2方向入力の影響を考慮した耐震設計が行われるべきと考えられる。

研究成果の概要で述べたように、水平2方向入力に対する耐震安全性確保の方策として、方向別独立モデル（制震ダンパーを方向別に配置したモデル）を採用することは、現在の耐震設計で考慮しない水平2方向入力地震動の影響や不確定性の多い地震動に対する方策の一つであることが示された。

研究成果の概要（英文）：Numerical analyses of the nonlinear seismic response of bridge models and soil have been conducted, focusing on the bi-directional horizontal seismic motion and multiple seismic actions as extreme seismic actions not assumed in the seismic design.

In particular, in the analysis of seismic isolation and vibration control bridges, the maximum response displacement tended to be the largest for both bearings with coupled nonlinear response in the horizontal plane and bearings with circular trajectory input in the bi-direction. In other words, the bi-directional input with circular trajectory may provide a safer design for seismic design of seismically isolated bridges. In addition, a unidirectional seismic control damper, such as a cylinder damper, can be placed in two orthogonal directions, making the structure less susceptible to the effects of the bi-directional horizontal input.

研究分野：地震工学

キーワード：2方向地震動 地震応答解析 数値解析 免制震橋梁 構造制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

橋梁は、障害となる隔たれた土地をつなぎ、人々の生活や経済活動の基盤となる役割があることから、橋梁が地震に対して大きな損傷を受けることは復興に大きな影響を及ぼす。近年の耐震設計基準の改定や設計地震力の増大、あるいは新たな設計技術の導入などに伴い、1995年の兵庫県南部地震などで見られた高架橋の倒壊のような甚大な被害は少なくなってきたものの、依然として橋梁の地震被害が見受けられる。近年の地震被害を受けた橋梁は、直橋に比べて橋桁が平面的に回転しやすいことや複雑な振動モードを有することを理由に、曲線橋や斜橋の被害が多い。このことから、曲線橋や斜橋の橋桁の平面的な回転挙動を評価するためにも、水平2方向入力による耐震性能評価が望ましいと考えられるが、橋梁の周辺地盤を含めた地震時挙動を把握することは重要な課題である。

以上のように、本研究では従来の橋梁の耐震設計では考慮しない地震作用に対する構造制御手法、損傷制御手法に関して数値解析によって検討するものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、不確定性の大きい極大地震動に対して、橋梁を構造制御することによる対策手法の立案に資する成果を得ることである。また、従来の橋梁の耐震設計では考慮しない水平2方向入力地震動作用による対する構造制御法の開発を行う。

3. 研究の方法

設計想定外の地震作用に対する橋梁の動的挙動の分析のために、免震・制震橋梁の地盤の2方向応答特性に関する研究を実施した。

（1）免震・制震橋梁の2方向応答特性に関する検討

水平2方向入力地震動が橋梁の地震時挙動に与える影響を評価するために、免震橋と制震橋を対象に、漸増動的解析（IDA：Incremental Dynamic Analysis）や前震・余震を含む一連の地震動入力による解析を行った。

（2）砂地盤の2方向応答特性に関する検討

3次元土柱モデルを対象有効応力に地震応答解析を通じて、水平2方向入力地震動が砂地盤の非線形応答に及ぼす影響を評価した。同一の2方向応答スペクトルに適合する3種の水平2方向地震動を入力とし、全応力解析、有効応力解析に基づく砂地盤の地震応答に着目した。隙水圧比の上昇タイミングが早くなることも確認された。

4. 研究成果

(1) 免震・制震橋梁の2方向応答特性に関する検討

橋梁のモデルが限定的であるが以下のような傾向が得られた。

- 1) 制震橋モデルでは、IDA曲線から入力地震動や1次固有周期などの解析条件によらず最大応答変位比が2方向入力時に最大で10%程度増加したことが確認された。
- 2) 免震橋モデルでは、IDA曲線から入力地震動や1次固有周期などの解析条件によって最大応答変位比が2方向入力時に最大で30%程度の変動があることが確認された。
- 3) 累積塑性変形倍率曲線から、制震モデル・免震モデルともに入力地震動によって前震・余震の影響を大きく受ける場合、累積塑性変形倍率が増加し。さらに、2方向入力によって、1方向入力よりも累積塑性変形倍率が増加することが確認された。

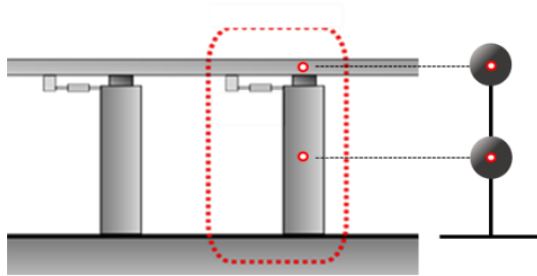
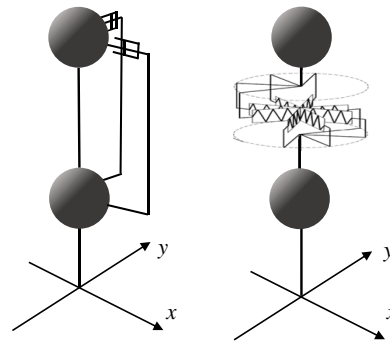


図1 想定する橋梁モデル



(a) 制震橋モデル (b) 免震橋モデル

図2 橋梁モデルの概要図

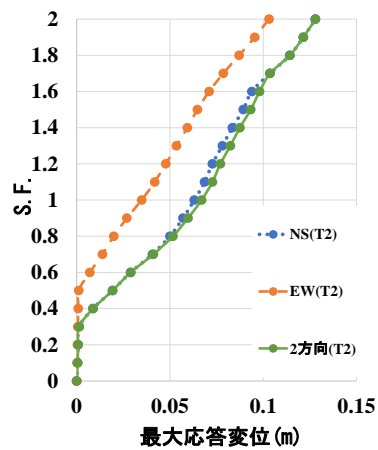


図3 制震橋モデルのIDA曲線の結果の一例

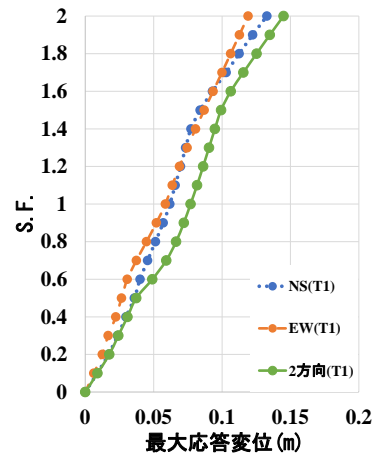


図4 免震橋モデルのIDA曲線の結果の一例

(2) 砂地盤の2方向応答特性に関する検討

有効応力に基づく地震応答解析による最大せん断ひずみ分布の結果から、円形軌跡を入力とした場合の地震応答値が大きくなることが確認された。また、有効応力解析における過剰間隙水圧比の結果から、1方向入力時より2方向入力時の方が過剰間隙水圧比の上昇タイミングが早くなることも確認された。また、液状化地盤上で得られた加速度軌跡は、液状化挙動による地盤の軟化や強度特性の影響から、方向性の少ない地震動となることを確認した。また、これら地表面応答加速度は、橋梁モデルの入力地震動となることから、液状化の可能性のある地盤では、このような傾向を考慮した橋梁の耐震性能評価の地震動の設定が重要であることが示唆された。

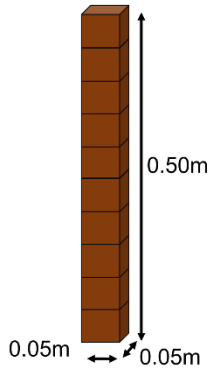


図5 3次元土柱モデル

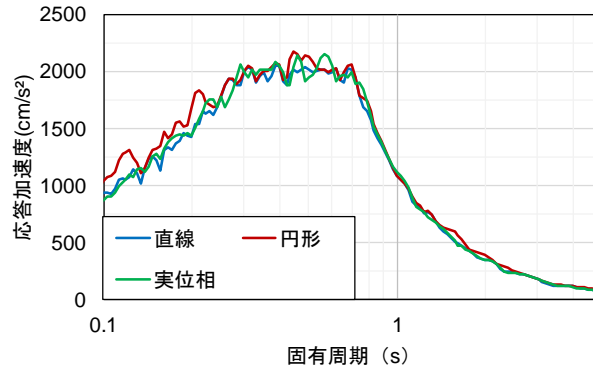
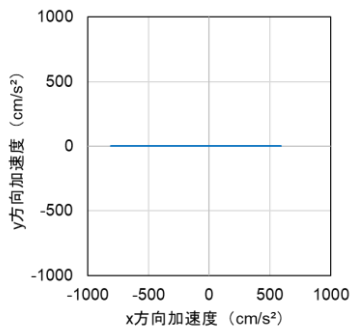
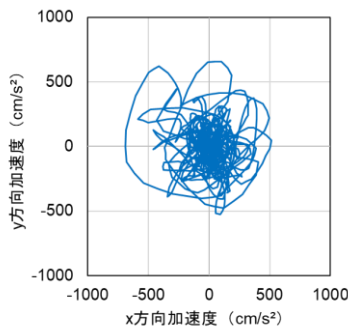


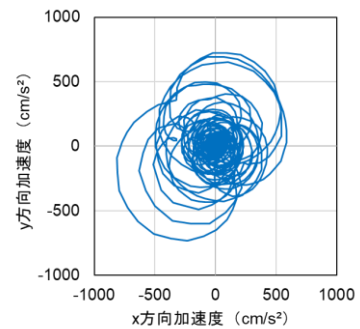
図6 入力地震動の2方向応答加速度スペクトル



(a) 直線軌跡



(b) 実位相軌跡



(c) 円形軌跡

図7 入力地震動

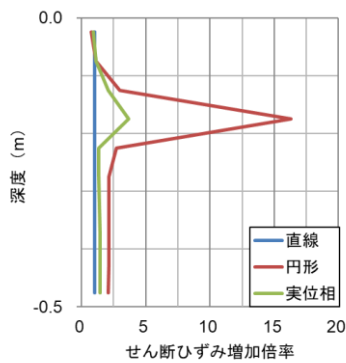


図8 せん断ひずみの増加倍率の一例
(直線軌跡で正規化)

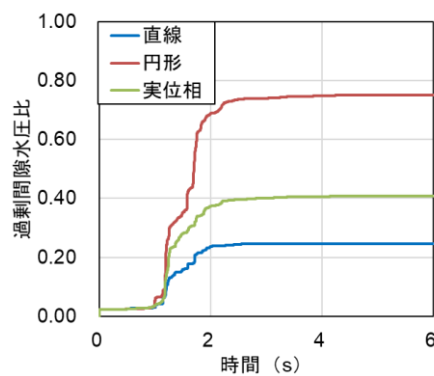


図9 過剰間隙水圧比の一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuma INOUE, Takashi KIYOTA, Masataka SHIGA, Ji Dang, Xin Wang	4. 巻 FS2021-E-0001
2. 論文標題 Preliminary Report of the Damage by the 2021 Off Fukushima Prefecture Earthquake Mj7.3, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSCE Journal of Disaster Factsheets	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 井上 和真, 植村 佳大, 浅見 健斗, 今井 克実, 井澤 亮介
2. 発表標題 2層式RCラーメン高架橋の中層梁の地震損傷が残存耐震性能に及ぼす影響
3. 学会等名 土木学会 第41回地震工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 都築直仁, 齋藤深太, 井上和真
2. 発表標題 一連の地震活動における周期特性を考慮した2方向地震動の方向性分析
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川樹, 井上和真
2. 発表標題 水平2方向入力地震動に対する橋梁の震動制御に関する研究
3. 学会等名 日本地震工学会・大会-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅見 健斗, 井上 和真, 上田 恭平, 芹川 由布子, 下保 亮太, 服部 孝生
2. 発表標題 水平 2 方向入力地震動に対する砂地盤の非線形応答に関する解析的検討
3. 学会等名 日本地震工学会・大会-2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井 克実, 井澤 亮介, 井上 和真
2. 発表標題 地震観測記録を用いた橋梁の地震損傷状態の推定に関する解析的検討
3. 学会等名 日本地震工学会・大会-2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関