

免制震すべりシステム（Ⅱ－２）：標準波－相補直交成分波を用いた２方向同時入力の実成

大成建設(株) 正会員 ○井上 和真 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 正会員 古川 愛子 西日本高速道路(株) 正会員 和田 吉憲
 (株)フジエンジニアリング 正会員 松田 哲夫 オイレス工業(株) 正会員 宇野 裕恵
 JIPテクノサイエンス(株) 正会員 松田 宏 (株)ドーユー大地 正会員 中谷 隆生

1. はじめに

時刻歴応答解析により道路橋の動的耐震性能照査を行う場合、道路橋示方書の標準波を１方向地震動として入力する方法が一般的に用いられている。しかし、今切川橋のような免制震すべりシステムを用いた曲線橋では、免震支承やすべり支承、制震ダンパーの非線形性、制震ダンパーの水平面内の回転挙動、さらには曲線橋という特性もあわせ橋梁の地震時挙動は水平２次元的に複雑な挙動を示す。多次元性を持つ実際の地震動入力下で生じる水平２次元的な応答の効果は、従来の入力方向を様々に変えた１方向入力を用いた照査では適切に評価されないおそれがある。本検討では、免制震すべりシステムを有する橋の２次元挙動の動的耐震照査を行うための、２次元性を持つ入力としての特性が明確な２方向入力地震動を規定された照査用スペクトルに基づいて作成する考え方を提案するとともに、その基本的な特性を検証した。

2. 動的耐震照査における２次元特性を考慮した２方向入力

１方向入力を想定した照査用スペクトルが与えられるものとして、(1) ２方向入力地震動の各々の直交成分は照査用スペクトルに適合しており、かつ (2) ２方向入力地震動の「２方向応答スペクトル」が照査用スペクトルに適合している２方向入力地震動を考える。ここに、２方向応答スペクトルとは、様々な固有周期 T を持つ等方な２次元線形弾性１質点振動子の与えられた２方向入力に対する水平２次元応答の動径方向最大値を、固有周期の関数として表した $S_{Rd}(T)$ と定義する。このような性質を持つ２方向入力地震動は、構造物の２方向合成変位などの応答値の照査については１方向入力と同等の強さを持ち、その中で２次元性の最も強い入力と考えられる。

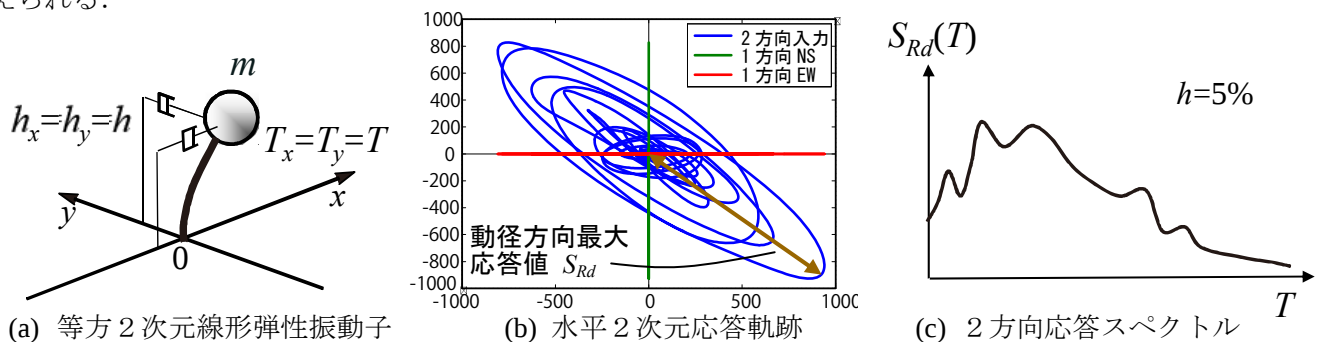


図１ ２方向入力と２方向応答スペクトル

3. ヒルベルト変換による相補直交成分波の作成と２方向入力としての特徴

道路橋示方書の標準波のように、照査用スペクトルに適合した照査用地震動波形が与えられているものとする。この標準波のヒルベルト変換で定義される「相補直交成分波」を計算し、標準波と相補直交成分波を直交２方向成分とした入力とすれば、上記の性質を満たす２方向入力が見られるものと推測される。例として、道路橋示方書におけるレベル２タイプⅡの地震動のⅢ種地盤用波形１（Ⅱ-Ⅲ-１）を x 軸、その相補直交成分波を y 軸入力とした場合の加速度軌跡を図３に示す。これを、固有周期 1.5 秒の等方２次元線形１質点系に入力した場合の変位応答軌跡を図４に示す。１方向入力時の最大応答値を半径とする円を緑線で示しているが、入力地震動の方向性が小さく、また２方向最大応答値と１方向入力の最大応答値がほぼ等しいことがわかる。

キーワード 免制震すべりシステム、動的耐震照査、時刻歴応答解析、２方向同時入力、ヒルベルト変換

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 TEL 03-3348-1111

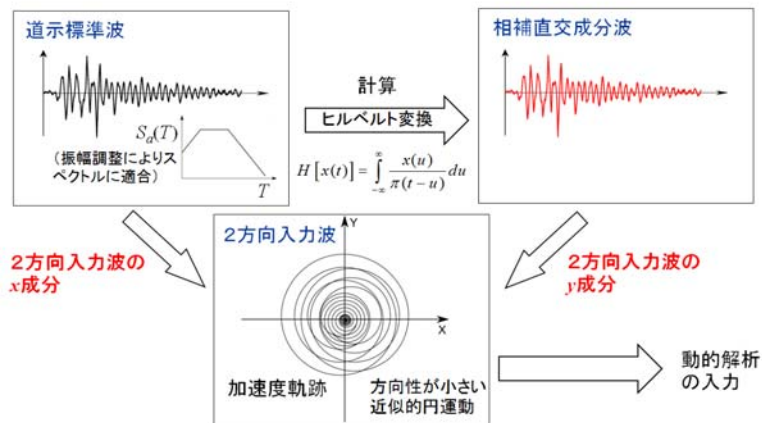


図2 標準波－相補直交成分波2方向同時入力概念

標準波とそのヒルベルト変換の応答スペクトルは概ね同一であるが、完全な一致は保証されない。これが問題となる場合には、ヒルベルト変換の結果に対して照査用スペクトルに適合させる振幅調整を行った結果を用いる事も考えられる。

3. 免制震橋梁モデルによる水平2方向入力地震動の検討

橋桁、免震支承、制震ダンパーから成る免制震橋梁の簡易モデルとして設定した弾塑性2次元1質点系モデルを図5に示す。免震支承は水平2方向の応答に相関を持つMSS (Multiple Shear Spring) 要素を、ダンパーは平面内軸回転を考慮した摩擦型モデルを用い、ダンパーの降伏荷重は橋桁重量の0.2倍とした。免震支承せん断ひずみ250%相当の変位振幅での等価固有周期は1.9秒である。方向角 θ を変化させた時の1方向入力時および x 軸の方位を方向角 θ とした提案2方向同時入力時の最大応答変位を比較して計算した結果を示す。図6に標準波I-III-1の場合、図7に標準波II-III-1の場合の最大応答値(免震支承の合成変位、ダンパー変位)と入力方向 θ の関係を示す。タイプI地震動のケースでは、支承合成変位、タンパー変位ともに提案2方向入力手法による最大応答値は入力方向に関わらずほぼ平均値(赤で表示)周りの値を示し、動的応答の評価を妥当に行うことができるものと考えられる。これに対しタイプII地震動の場合、支承合成変位は同様にほぼ平均値周りの値により評価できるものの、ダンパー変位は2方向入力では1方向入力よりも大きな応答を示す上、最大応答のばらつきが大きくなる傾向を示した。これは、タイプIIの地震動の方がタイプIの地震動よりも2次元性の影響が大きいことを示している。

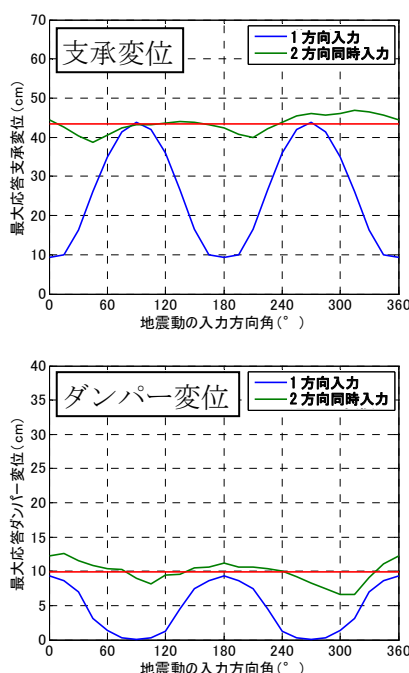


図6 入力方向と最大応答の関係(タイプI地震動)

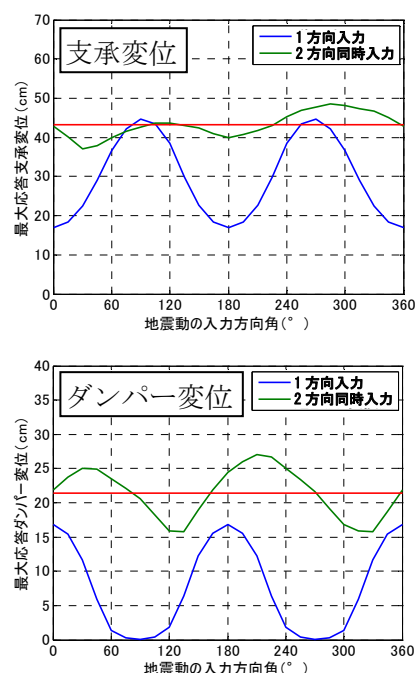


図7 入力方向と最大応答の関係(タイプII地震動)

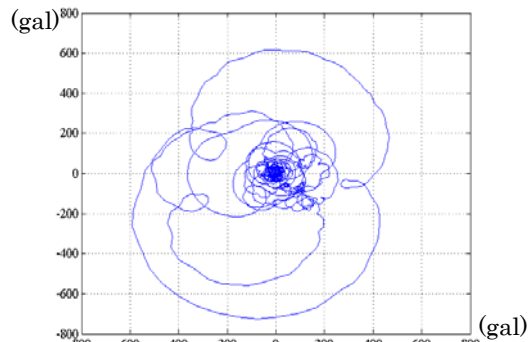


図3 標準波II-III-1より作成した2方向入力の加速度軌跡

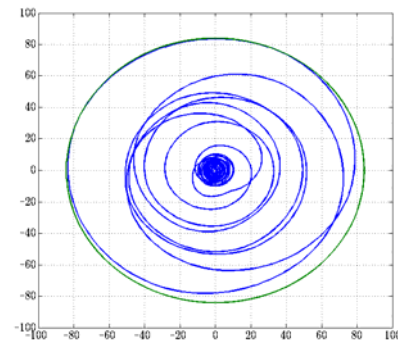


図4 等方2次元線形弾性振動子の応答変位軌跡の例 ($T=1.5s$)

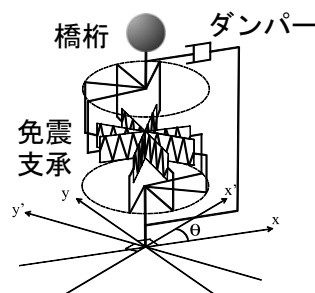


図5 免制震橋梁モデルと地震動の入力方向角