

応答スペクトル適合地震動の位相特性と構造物の弾塑性応答の関係

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○齋藤 溪太, 内田 匠
 群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真
 豊橋技術科学大学 非会員 中澤 祥二

1. はじめに

構造物の耐震設計は、設計指針で定義される水平 1 方向入力地震動を作用させる地震応答解析が行われることが一般的である。解析環境の発達に伴い、耐震設計において構造物の非線形性を考慮した 3 次元地震応答解析が一般に適用され始めているが、各種構造物の設計指針において、水平 2 方向入力地震動の設定に関して、議論がなされていない現状がある。水平 2 方向地震動の位相特性が構造物の弾塑性応答に及ぼす影響の把握は、設計用の水平 2 方向入力地震動の設定において重要な課題の一つとして挙げられる。本研究では、同一の応答スペクトルに適合するが複数の位相特性を持つ地震動を入力とした弾塑性地震応答解析を行い、1 方向入力時と 2 方向入力時の構造モデルの弾塑性応答について、漸増動的解析によって検討したものである。

2. スペクトル適合地震動の作成

目標とする加速度応答スペクトルは告示 1461 号¹⁾で定義された解放工学的基盤における加速度応答スペクトルとする。スペクトル適合する入力地震動は建築性能基準推進協会に公開されている加速度波形²⁾を原波として、1 方向応答スペクトル適合地震動 8 波、2 方向応答スペクトル適合地震動 4 波、計 12 波作成した。2 方向応答スペクトル適合波は、井上らの方法³⁾による 2 方向の振幅調整によってスペクトル適合を実施した。作成したスペクトル適合地震動を表 1 に示す。また、作成後の 2 方向加速度応答スペクトルを図 1 に示す。

表 1 スペクトル適合の対象地震動

| ケース | 地震データ | 地震名 | 位相 |
|------------|--------|---------------------------|-------------|
| 1, 2, 3 | エルセントロ | Imperial Valley地震 (1940年) | NS, EW, 2方向 |
| 4, 5, 6 | タフト | Kern County地震 (1952年) | NS, EW, 2方向 |
| 7, 8, 9 | 八戸 | 十勝沖地震 (1968年) | NS, EW, 2方向 |
| 10, 11, 12 | 東北 | 宮城県沖地震 (1978年) | NS, EW, 2方向 |

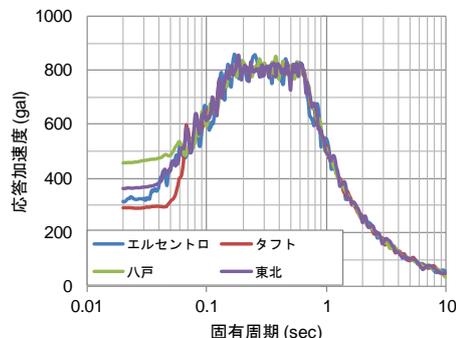


図 1 適合後の 2 方向応答スペクトル (安全限界レベル)

3. 漸増動的解析の条件

水平 2 方向入力地震動作用時の構造物の弾塑性地震応答を評価するために、8 本のせん断ばねで構成された MSS(Multi Shear Spring)モデルによる簡便な 1 質点系モデルと対象モデルとした。MSS モデルは、水平 2 方向の外力に対して 2 軸非線形性を考慮することができる。MSS モデルを構成するせん断ばねの非線形特性は、バイリニア型の弾塑性モデルとした。本検討では、表 2 に示すような弾性固有周期の異なる 3 種類の解析モデルを設定した。弾性固有周期を 0.5 秒と 1.0 秒で設定したケースは、一般的な建築構造物を想定し、固有周期 2.0 秒のケースは、降伏震度を 0.05 と小さくすることで、免震構造を想定した。表 1 に示したスペクトル適合地震動を入力地震動として、漸増動的解析⁴⁾ (IDA: Incremental Dynamic Analysis) を実施した。漸増動的解析は、入力地震動の振幅を徐々に増加して繰り返し弾塑性地震応答解析を行うものである。

表 2 対象とする構造モデルの条件

| | | | |
|--------------|-------|------|------|
| 質量 (ton) | 50 | | |
| 重量 (kN) | 490.5 | | |
| 減衰比 | 0.05 | | |
| 2次剛性比 | 0.05 | | |
| 弾性固有周期 (sec) | 0.5 | 1.0 | 2.0 |
| 降伏震度 | 0.5 | 0.5 | 0.05 |
| 降伏変位 (cm) | 3.1 | 12.4 | 5.0 |

キーワード 2 方向地震動, 応答スペクトル適合地震動, 位相特性, 弾塑性地震応答, 漸増動的解析

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校 TEL : 027-254-9180 E-mail : inoue@cvt.gunma-ct.ac.jp

4. 漸増動的解析の結果

図3に1方向および2方向入力時とした場合の各ケースの最大応答変位の IDA 曲線とそれらの平均を弾性固有周期ごとに示す。最大応答変位の IDA 曲線において、1方向および2方向入力時の最大応答変位が降伏変位以下となる振幅倍率の領域では、各ケースの最大応答変位は、ほぼ等しい。これは、入力地震動が同一の応答スペクトルに適合していることに起因している。最大応答変位が降伏変位以上となる振幅倍率が大きい領域においては、各ケースで最大応答変位に差が生じているが、これは位相特性の違いによるものである。

図4に、1方向入力時と2方向入力時の最大応答変位の IDA 曲線の平均を比較したものを示す。1方向入力時と2方向入力時を比較すると、振幅倍率が増加するにつれ、2方向入力時の最大応答変位の平均は1方向入力時のものよりも大きい値を示している。

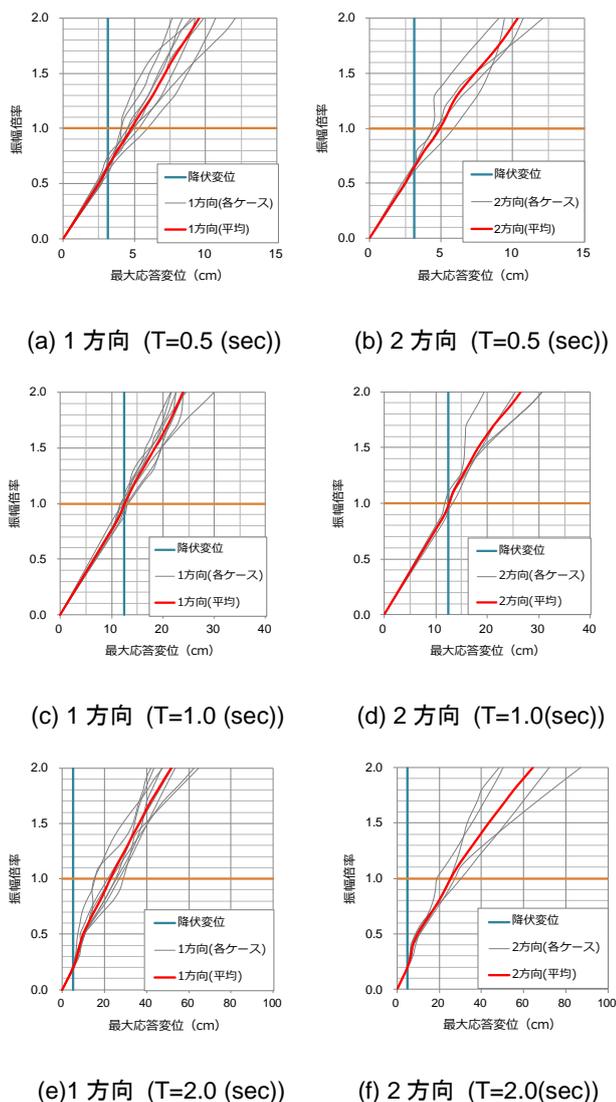


図3 各ケースの最大応答変位の IDA 曲線と平均

この事実は、実際の地震動が描くような2方向入力によって構造物の耐震設計を行なうことで、従来の1方向入力時よりも安全に構造物の耐震設計を行なうことが可能となることを示している。また、振幅倍率が大きい領域ほど、2方向入力による影響が大きい結果となったが、設計用地震動の振幅レベルを超えるような想定外地震動に対して、2方向入力の影響が大きくなることを示している。特に、免震構造を想定した固有周期2.0秒のケースの場合、2方向入力による影響が顕著であることから、長周期かつ低降伏震度の構造物は、2方向入力に対する十分な配慮が必要となる。

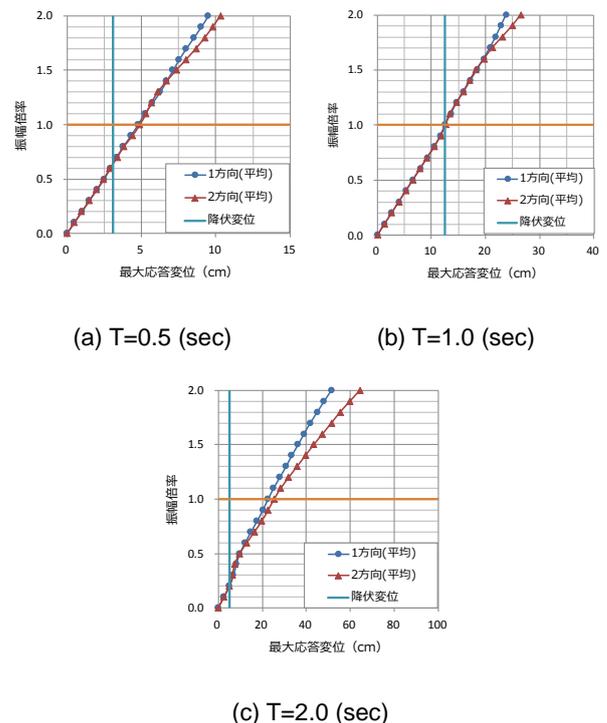


図4 1方向と2方向入力時の平均した IDA 曲線の比較

謝辞

本研究は、豊橋技術科学大学 高専連携研究プロジェクトのご支援の下、遂行いたしました。また、建築性能基準推進協会が公開している地震動データを使用させていただきました。

参考文献

- 1) 建設省：超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件，平成12年建設省告示第1461号第四号イ，2000。
- 2) 一般社団法人 建築性能基準推進協会 web ページ：<https://www.seinokyo.jp/> (2019年12月21日閲覧)
- 3) 井上，渡辺，五十嵐：水平2方向地震動の軌跡特性が構造物の2方向弾塑性応答に及ぼす影響，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.73，No.4(地震工学論文集第36巻)，I_122-I_134，2017
- 4) 谷口，五十嵐，木田：漸増動的解析(IDA)に基づく長大橋の耐震性能評価，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.70，No.4，pp.I_323-I_333，2014。