

応答スペクトルによる周期特性を考慮した2方向地震動の主軸解析

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○梅山 雄多
群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真

1. はじめに

3次元地震応答解析など、水平2方向地震動を扱うにあたり、水平2方向地震動の周期特性を明確にすることが重要であるが、既往の主軸算出手法では地震動の周期特性が考慮されていない。本研究では、2方向応答スペクトルに基づき、2方向地震動に周期特性を考慮した主軸解析を考案するとともに、その可視性や表現方法について検討した。

2. 既往の地震動の主軸算出手法

既往の主軸算出手法は、x-y平面上的加速度軌跡における動径方向の最大値を示す方向を主軸とする最大合成加速度方向や、x-y平面において分散最大方向といった主軸算出手法がある¹⁾。図-1は1995年兵庫県南部地震地震の神戸海洋気象台での観測記録²⁾(JMA神戸波)に既往の主軸算出手法によって、主軸を算出したものである。既往の2種類の主軸算出手法に基づく主軸方向は、共に北北西-南南東方向を向いている。しかし、これらの算出手法は、2方向地震動の加速度軌跡を構成するデジタルデータの分布に基づいて決定されているため、地震動の周期特性が考慮されていない。

3. 2方向応答スペクトルとその性質

x-y平面上において、2方向地震動に対する等方な固有周期 T の2自由度1質点系のx方向、y方向の応答値を時間 t の関数を用いて $d_x(T, t)$ 、 $d_y(T, t)$ とすると、合成応答の動径の最大値 $S_{Rd}(T)$ は以下の式(1)で定義される。この $S_{Rd}(T)$ を2方向応答スペクトル³⁾と呼ぶ(図-2)。

$$S_{Rd}(T) = \max_t \sqrt{d_x^2(T, t) + d_y^2(T, t)} \quad (1)$$

図-3にJMA神戸波の2方向応答スペクトルと1方向の応答スペクトルを示す。2方向応答スペクトルの性質として、方位角を回転させて得られる軸成分入力に対する応答最大値で作成された応答スペクトルと等価になる。言い換えれば、2方向応答スペクトルはあらゆる方向の1方向の応答スペクトルを重ね書きしたものを包絡したものとも言える(図-4)。

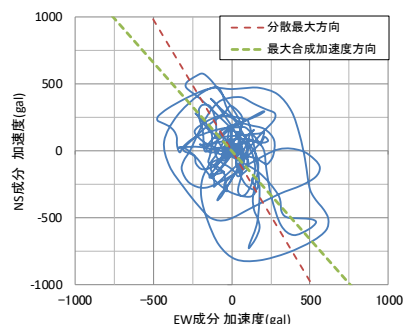


図-1 JMA神戸波と既往の主軸方向

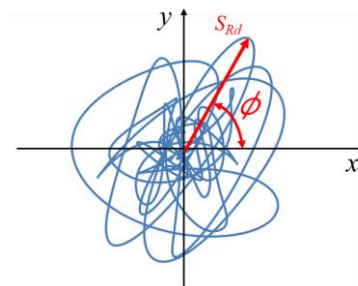


図-2 動径方向の最大応答値 S_{Rd} とその方向 ϕ の概要図

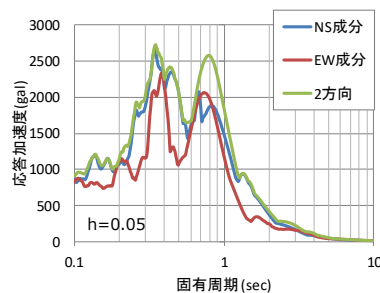


図-3 JMA神戸波の応答スペクトル

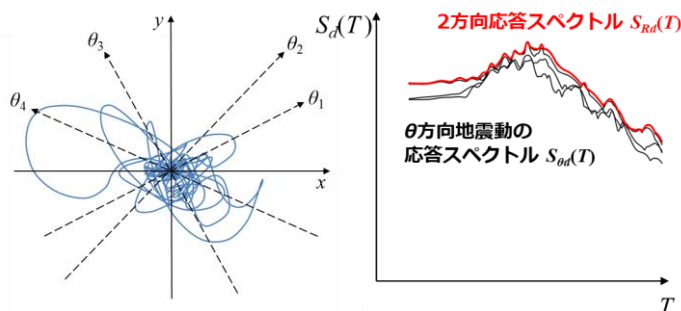


図-4 2方向応答スペクトルと θ 方向の応答スペクトル

キーワード 2方向地震動, 周期特性, 主軸解析, 2方向応答スペクトル, 最大応答方向

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. 2 方向応答スペクトルによる主軸解析

2 方向応答スペクトルの算出である式(1)において、最大合成応答加速度を示した時の時刻 $t_{\max}$ に対して、最大合成応答加速度方向 $\phi(T)$ を、式(2)により算出する。

$$\phi(T) = \tan^{-1} \frac{d_y(T, t_{\max})}{d_x(T, t_{\max})} \quad (2)$$

この $\phi(T)$ を主軸方向スペクトルと呼ぶこととする。主軸方向スペクトルの作成例として、JMA 神戸波による主軸方向スペクトルを図-5 に示す。概ね、固有周期 1 秒以上の周期帯においては既往の主軸方向と近い方向に最大応答が生じているが、1 秒以下の周期帯においては、最大応答方向のばらつきが大きいことが確認できる。また、固有周期 T_i の最大応答方向 ϕ_i に基づいて、2 方向地震動から ϕ_i 方向の地震動を抽出した 1 方向地震動と 2 方向地震動を固有周期 T_i の 1 質点系に入力した場合、最大応答値は同じ値を示す。図-6、図-7 に JMA 神戸波に対する固有周期 0.2 秒と 1.0 秒の合成応答加速度-応答方向角度関係を示す。固有周期 0.2 秒の場合、応答方向角度が様々であるが、固有周期 1.0 秒の場合、応答方向角度が約 125° 方向に集中している。

5. 主軸方向スペクトルの極座標表示

図-5 に示した主軸方向スペクトルにおいて 0° と 180° は同一の方向を意味しているが、それぞれがグラフの下端と上端に位置しているため、数値としての角度と実際の方向との関係が表現されていない。そこで、方位角を連続的に表記することで、方向性に対する可視性の向上を図ることを目的に主軸方向スペクトルを極座標表示の作成した。主軸方向スペクトルの極座標表示は、最大合成応答加速度をカラーマップ、固有周期を半径、最大合成応答加速度方向を角度として極座標平面上で表す。作成例として JMA 神戸波を対象に作成した極座標主軸方向スペクトルを図-8 に示す。極座標表示によって、応答加速度の大きさと方向を連続的に評価できる

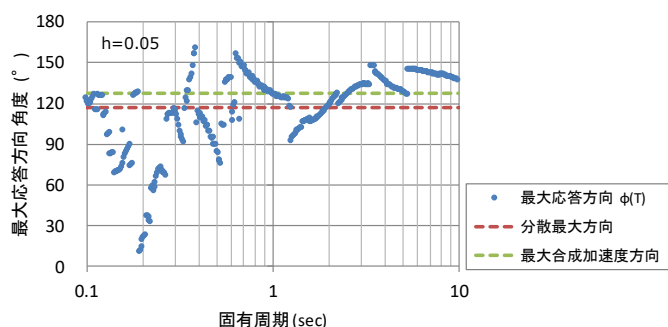


図-5 JMA 神戸波の主軸方向スペクトル

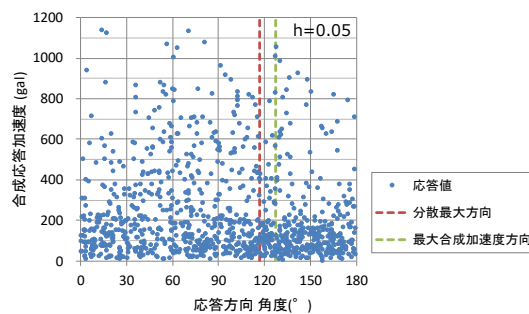


図-6 合成応答加速度-応答方向 (T=0.2(sec))

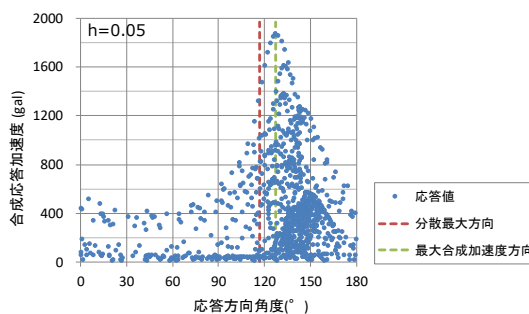


図-7 合成応答加速度-応答方向 (T=1.0(sec))

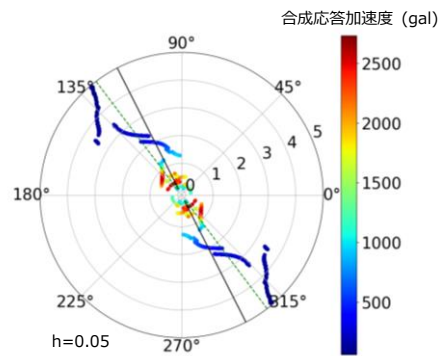


図-8 JMA 神戸波の主軸方向スペクトル(極座標表示)

謝辞

本研究に用いた地震観測記録は気象庁が公開されているものを使用させていただきました。

参考文献

- 1) 日本建築学会:多次元入力地震動と構造物の応答, 丸善出版, pp109-109, 1998.
- 2) 気象庁 web ページ『強震観測データ』:
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html> (2019 年 1 月 14 日閲覧)
- 3) Gavin, H.P. and Dickson, B.W.: Generation of uniform hazard earthquake ground motion, ASCE journal of Structural Engineering, Vol.137, No.3, pp.423-432, 2011.
- 4) 五十嵐, 井上, 古川, 宇野, 松田: 標準波一相補直交成分波の組合せによる橋梁の耐震照査用水平 2 方向入力地震動, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4 (地震工学論文集第 31-b 巻) I_458-I_469, 2012