

周期特性を考慮した2方向地震動の強度・方向性の評価方法に関する研究

群馬工業高等専門学校 正会員 ○井上 和真
 東日本高速道路株式会社 正会員 梅山 雄多
 京都大学防災研究所 正会員 五十嵐 晃

1. はじめに

3次元地震応答解析における入力など、水平2方向地震動を扱うにあたり、水平2方向地震動の強度、方向性、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

既往の主軸算出方法は、x-y平面上の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¹⁾といった主軸算出手法がある。図-1は2007年能登半島地震による気象庁輪島市観測地点の加速度軌跡²⁾(JMA輪島波)に、主軸を算出したものである。2種類の主軸算出手法に基づく主軸方向は異なる方向を示す。これら算出方法は、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質な固有周期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)。

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

図-3にJMA輪島波の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とも言える⁴⁾(図-4)。

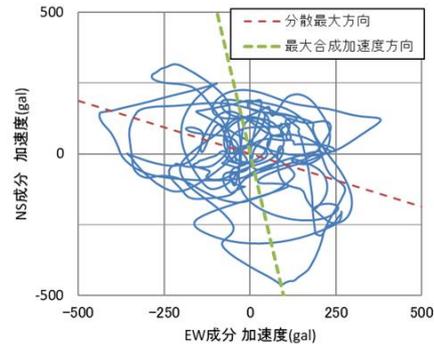


図-1 JMA 輪島波と既往の主軸方向

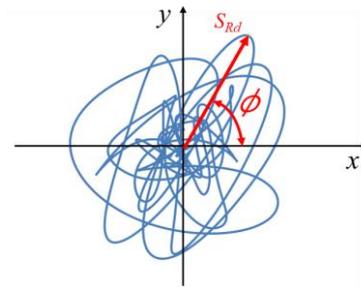


図-2 動径方向の最大応答値 S_{Rd} とその方向 ϕ の概要図

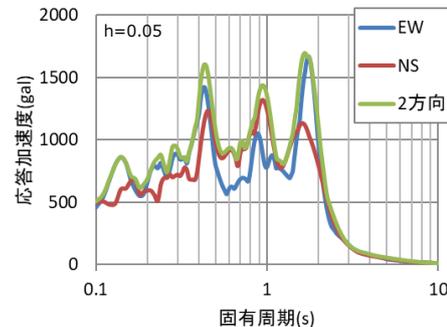


図-3 JMA 輪島波の応答スペクトル

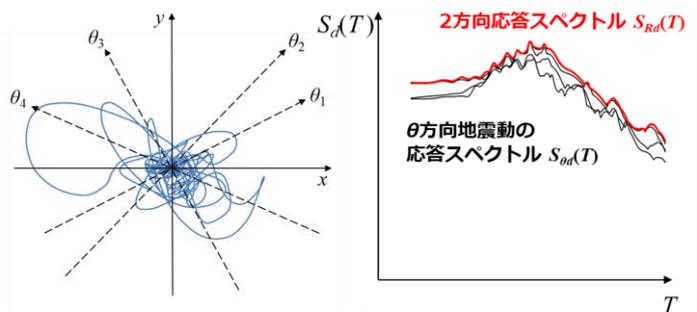


図-4 2方向応答スペクトルと θ 方向の応答スペクトル

キーワード 2方向地震動, 周期特性, 方向性, 2方向応答スペクトル, 主軸方向スペクトル

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 輪島波による主軸方向スペクトルを図-5 に示す。主軸方向（最大応答方向）は様々な方向を示しており、顕著な方向性は見られない。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。

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。この作成例として JMA 輪島波を対象に作成した極座標主軸方向スペクトルを図-6 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。更に、図-7 には最大応答方向のみでなく、半径を固有周期、方位を応答加速度方向($^\circ$)とした極座標で表示し、応答加速度の大きさをカラーマップとした全方位の応答加速度-固有周期関係を示す。固有周期 1.5 秒から 2.0 秒にかけて西北西-東南東方向を中心としておよそ 90° にわたり合成応答加速度が卓越した角度領域を確認できる。

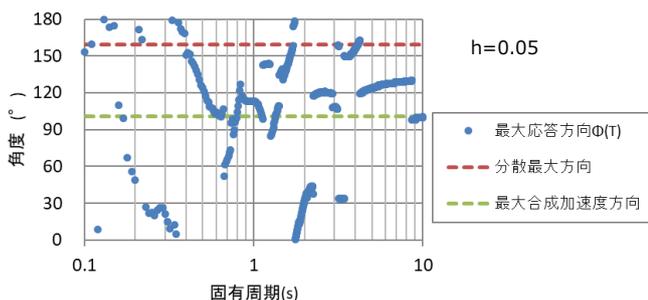


図-5 JMA 輪島波の主軸方向スペクトル

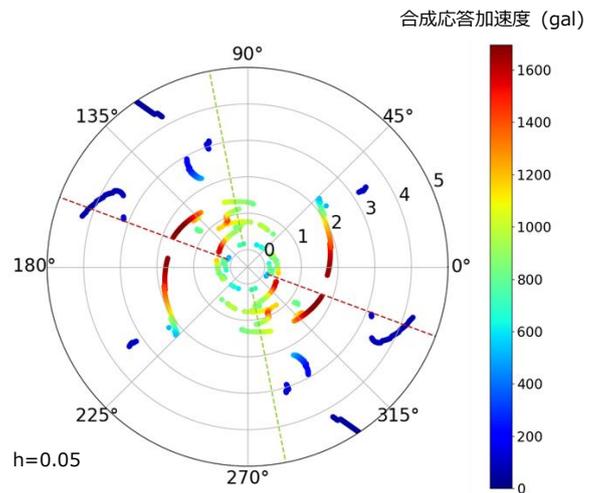


図-6 JMA 輪島波の主軸方向スペクトル(極座標表示)

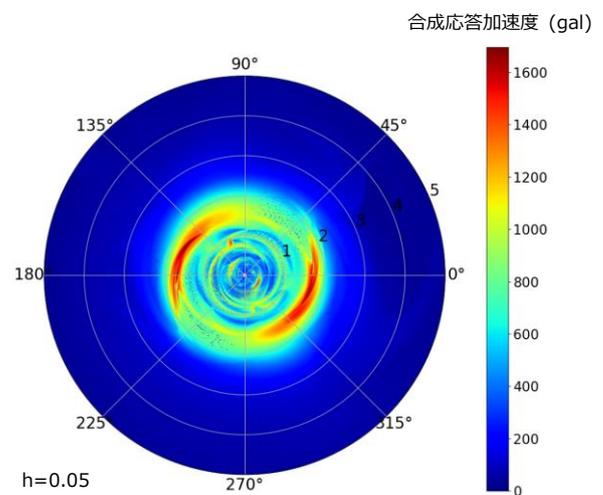


図-7 JMA 輪島波の固有周期-全方位応答加速度関係

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