

## 第 I 部門

## 強震記録の 2 方向水平成分に含まれる成分間位相特性のクロス項比による分析

京都大学工学部 学生員 ○瀧井 寛史 京都大学防災研究所 正会員 五十嵐 晃

## 1. はじめに

構造物へ作用する地震動は、成分間の相違、特に位相差により多次元的な現象となるが、構造設計において 1 方向地震動入力を用いる場合には、このような成分の間の位相の効果は無視されている。構造物の水平 2 方向入力地震動に対する合理的な動的応答評価への活用を目的として、2 つの地震動成分間の位相特性を表現することが必要である。本研究では、既往の強震記録データ群の水平 2 方向成分を対象に、2 方向入力地震動の‘ドット項’および‘クロス項’の概念<sup>1)</sup>を用いた 2 成分間位相特性の分析を行った。

## 2. 2 方向地震動の位相情報の分析手法

2 方向入力地震動に対する線形多自由度系構造物モデルの最大応答量の、全ての入力方向  $\theta$  の中での最大値の評価式は、次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$\max_{\theta} \max_t |v(t)|^2 = \max_t \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) (\mathbf{r}_i(t) \cdot \mathbf{r}_j(t)) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\mathbf{s}_i \times \mathbf{s}_j) \cdot (\mathbf{r}_i(t) \times \mathbf{r}_j(t)) \right] \quad (1)$$

ここに  $v(t)$  は着目応答量であり、 $i, j$  は固有振動モード次数、 $\mathbf{r}_i(t)$  は、図 1 に示すように、

固有振動数  $\omega_i$ 、減衰定数  $h_i$  の等方 1 質点弾性振動子に 2 方向地震動  $\{a_p(t), a_w(t)\}^T$  を入力した場合の応答変位を表す 3 次元ベクトルである。 $\mathbf{s}_i$  は、構造物モデルの振動モード形ベクトルと着目する応答量、刺激係数により決定される 3 次元ベクトルである。ここで、ベクトル  $\mathbf{r}_i(t)$  と  $\mathbf{r}_j(t)$  が水平面で成す角度を  $\psi_{ij}$  とすると、ドット項、クロス項はそれぞれ

$$\mathbf{r}_i(t) \cdot \mathbf{r}_j(t) = |\mathbf{r}_i(t)| |\mathbf{r}_j(t)| \cos \psi_{ij} \quad (2)$$

$$|\mathbf{r}_i(t) \times \mathbf{r}_j(t)|_z = |\mathbf{r}_i(t)| |\mathbf{r}_j(t)| \sin \psi_{ij}$$

で表される。さらに、2 つのモード固有周期  $T_i$  と  $T_j$  の可能な組み合わせ  $(T_i, T_j)$  について、ドット項  $\mathbf{r}_i(t) \cdot \mathbf{r}_j(t)$  およびクロス項  $\mathbf{r}_i(t) \times \mathbf{r}_j(t)$  の全時間  $t$  の中の最大絶対値を、横軸を  $T_i$ 、固有周期比  $r_{ij} = T_j/T_i$  として図示したものをそれぞれドット項スペクトルお

よびクロス項スペクトルと呼ぶ。図 2 に観測波の 1 つを示し、例として図 2 の 2 方向地震動観測記録から算出されたドット項スペクトル、クロス項スペクトルをそれぞれ図 3、および図 4 に示す。

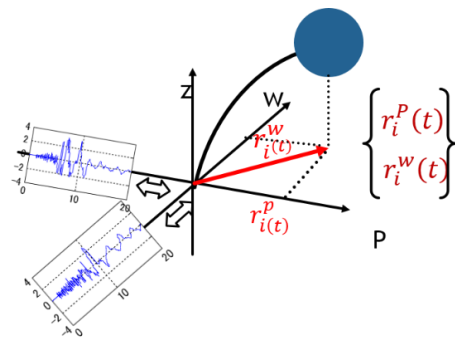
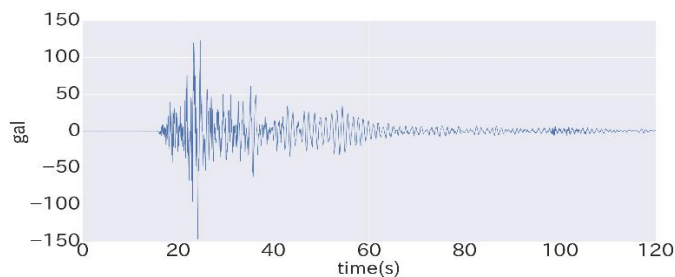
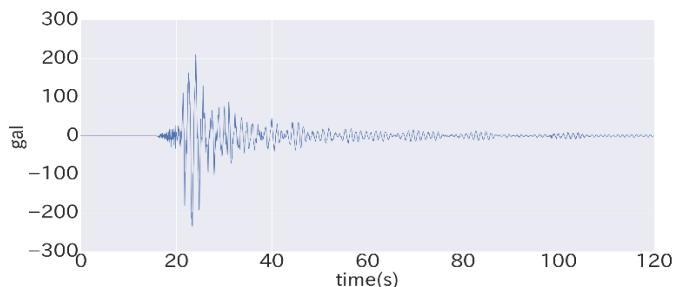


図 1. 等方 1 質点弾性振動子の 2 方向入力地震動による応答



(a) EW 成分加速度波形



(b) NS 成分加速度波形

図 2 能登半島地震：能登町宇井津の観測記録

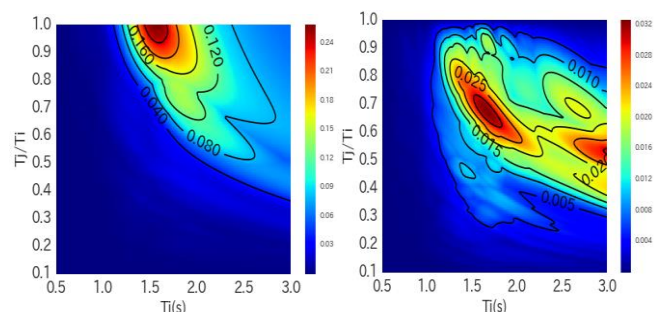


図 3 ドット項スペクトル

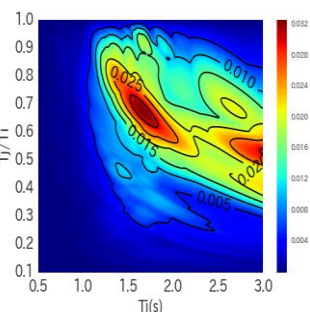


図 4 クロス項スペクトル

### 3. 強震観測記録におけるクロス項比の特性

入力地震動のクロス項スペクトルの最大値とドット項スペクトルの最大値に対する比を「クロス項比」と呼び、次式で定義する。

$$\rho = \frac{\max_{0 < T_i \leq 3} \max_{0 < r_{ij} \leq 1} S_{\text{cross}}(T_i, r_{ij})}{\max_{0 < T_i \leq 3} \max_{0 < r_{ij} \leq 1} S_{\text{dot}}(T_i, r_{ij})} \quad (3)$$

2方向入力地震動の2成分間位相特性を評価する指標としてクロス項比に着目する。対象とした強震動は、気象庁により公開されている、表1に示すマグニチュード6.3以上の地震による観測記録158件の水平成分(NS成分, EW成分)を2方向入力地震動として扱い、クロス項比の値を算出した。

得られたクロス項比の値の分布を、図5に示す。クロス項比の平均値は47%であり、最小値12%, 最大値86%の範囲で平均値まわりにやや値の頻度が高い山形の分布である。

地震動の大きさ(PGA)とクロス項比の関係を図6に示す。両者の大きさの間に増加あるいは減少などの特定の傾向は観察されないが、PGAが900galを超える地震動ではクロス項比が40%から60%の範囲に集中するように見える。

表1 分析対象強震記録

| 地震名        | 発生年  | 観測箇所 | P G A (gal) |
|------------|------|------|-------------|
| 鳥取県西部地震    | 2000 | 10   | 36~787      |
| 芸予地震       | 2001 | 13   | 106~606     |
| 宮城県沖の地震    | 2003 | 23   | 138~1107    |
| 宮城県北部の地震   | 2003 | 13   | 37~594      |
| 福岡県北西沖の地震  | 2005 | 3    | 198~407     |
| 能登半島地震     | 2007 | 11   | 33~514      |
| 新潟県中越沖地震   | 2007 | 9    | 82~698      |
| 岩手宮城内陸地震   | 2008 | 11   | 138~699     |
| 岩手沿岸北部の地震  | 2008 | 10   | 207~716     |
| 駿河湾の地震     | 2009 | 7    | 155~611     |
| 東北地方太平洋沖地震 | 2011 | 11   | 411~1076    |
| 長野県北部の地震   | 2011 | 2    | 87~207      |
| 淡路島付近の地震   | 2013 | 10   | 31~245      |
| 静岡県東部の地震   | 2013 | 10   | 43~699      |
| 長野県北部の地震   | 2014 | 4    | 25~288      |
| 熊本県熊本地方の地震 | 2016 | 11   | 131~835     |

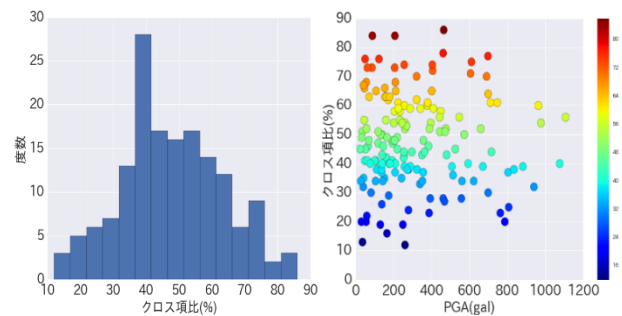
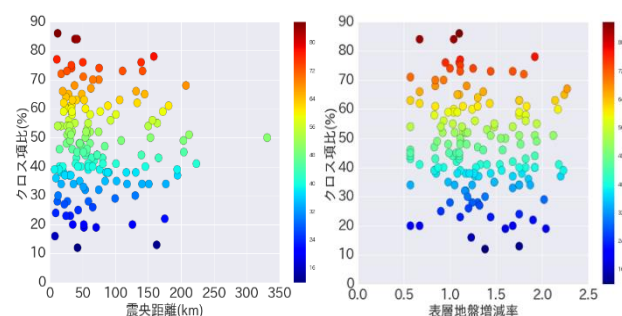


図5 クロス項比の値の分布

### 4. 地震動記録の特性値とクロス項との関係

強震動記録に関わるパラメータとして、震央距離と観測地点の地盤条件に着目し、クロス項比との相関性を検討した。震央距離とクロス項比との関係を図7(a)に示す。また、強震動の観測地点の地盤特性として J-SHIS による表層地盤増幅率との関係をプロットしたものを、図7(b)に示す。ここでの表層地盤増幅率は、微地形区分により推定された AVS30 より算出される工学的基盤面 ( $V_s=400\text{m/s}$ ) から地表への最大速度の増幅率として定義されている。いずれの特性値とも、クロス項比の大きさを増加または減少させるような傾向は見られないが、クロス項比が大きく80%を超えるような強震記録は、震源距離が50km未満であり、かつ比較的良好な地盤条件の場合の観測記録であることが、この整理結果に見られる一つの特徴である。しかしながら、同様の条件であってもクロス項比のばらつきは非常に大きく、他の要因の影響についても検討の必要がある。



(a) 震央距離との関係

(b) 表層地盤増幅率との関係

図7 地震動記録の特性値とクロス項比の関係

### 参考文献

1. 五十嵐晃, 儀久昂: 水平2方向入力の Phase Polarity を考慮した非対称橋梁の2方向応答特性, 第36回地震工学研究発表会講演集, 論文番号 B21-996, 2016