

(株)春本鐵工 正会員 ○松井 勲 鳥取大学工学部 正会員 池内 智行
鳥取大学工学部 正会員 盛川 仁 鳥取大学工学部 正会員 上田 茂

1. はじめに

曲線橋の耐震設計においては地震入力に対して最もクリティカルな方向が自明でないため、地震波の入力方向を変えて動的応答解析を行うことにより、最大の部材力あるいは応答変位が発生する入力方向を探索する手法が採用されている。この従来の方法では探索する各方向に対して毎回、動的応答解析を実行する必要があるため、時間あるいはコストの面で不利である。

一方、岡野は直交する2方向で同時に観測された鉛直アレイ地震記録のコヒーレンスについて、確率論的考察を加えることにより地盤の強軸、弱軸が推定可能であること¹⁾を明らかにしている。本研究ではこの手法を曲線橋の最悪地震入力方向の推定に適用し、従来の方法との比較を行った。この推定法では1回の動的応答解析で構造物に対する最悪地震入力方向を決定することが可能である。

2. コヒーレンスに基づく最悪地震入力方向の推定法

構造物の水平面内で直交する強軸および弱軸があるものと仮定し、それらの軸に一致する座標系を主軸座標系 (x, y) とする。それから θ 回転した任意の座標系 (x', y') を考えると、 x' 軸方向(これを観測方向と呼ぶこととする)での時刻歴波形は式(1)で変換される。

$$f_{x'}(t) = f_x(t) \cos \theta + f_y(t) \sin \theta \quad (1)$$

また、構造物への入力地震波を入力、それに対する応答を出力と呼ぶとすると、 x' 軸方向の入出力のコヒーレンス $coh_{Ix'Ox'}^2(\omega)$ は次式で定義され、式(1)を用いて展開できる。

$$coh_{Ix'Ox'}^2(\omega) = \frac{|S_{Ix'Ox'}(\omega)|^2}{S_{Ix'Ix'}(\omega)S_{Ox'Ox'}(\omega)} = \frac{\left[\frac{1}{8} \{H_x(\omega) - H_y(\omega)\}^* \{H_x(\omega) - H_y(\omega)\} (1 - \cos 4\theta) coh_{Ix'Iy'}^2(\omega) S_{Iy'Iy'}(\omega) + A(\omega) \right]}{\left[\frac{1}{8} \{H_x(\omega) - H_y(\omega)\}^* \{H_x(\omega) - H_y(\omega)\} (1 - \cos 4\theta) S_{Iy'Iy'}(\omega) + A(\omega) \right]} \quad (2)$$

ここで、 ω ：角周波数、 $S_{Ix'Ix'}(\omega)$ ： x' 軸方向の入力のパワースペクトル、 $S_{Ix'Iy'}(\omega)$ ： x' 軸方向と y' 軸方向の入力のクロススペクトル、 $S_{Ix'Ox'}(\omega)$ ： x' 軸方向の入出力のクロススペクトル、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ ： x 、 y 軸方向の伝達関数を示す。式(2)において、入力2方向のコヒーレンス $coh_{Ix'Iy'}^2(\omega)$ は座標系の回転に対して実際には一定にはならないが、 $(1 - \cos 4\theta)$ が $[0, 2]$ を周期的に変動するのに比べれば変化は小さく、相対的に一定と仮定することができ、さらに $\{H_x(\omega) - H_y(\omega)\}^* \{H_x(\omega) - H_y(\omega)\} \geq 0$ 、 $0 \leq coh_{Ix'Iy'}^2 \leq 1$ は自明である。このことより、式(2)は $\theta = 0, \pi/2$ の時に入出力のコヒーレンスは極大値となることが分かる。つまり、観測座標系の x' 軸が強軸あるいは弱軸に一致するときコヒーレンスは極大値をとることになり、入出力のコヒーレンスの変化を指標として、構造物に対する最悪地震入力方向を定めることが可能である。

3. 曲線橋モデル

対象とした曲線橋モデルは標準的な形状として図-1に示すように、曲線桁の半径が100m、中心角が 135° の円弧とした。また、橋脚高さはすべて12mとし脚自身の卓越方向をなくすため円形断面としている。桁の支承条件はP1橋脚のみをピン支承、その他の橋脚はローラー支承とした。なお、ローラー支承の可動方向は桁の部材軸に対して接線方向としている。曲線橋モデルの諸元を表-1に示す。動的応答解析を行うにあたり、構造物の地震応答に入力地震波の周期特性などが影響をおよぼさないように、特定の振動数成分を特に多く含んでいることのないホワイトノイズを入力加速度として用いた。また簡単のため、部材の塑性化は考慮しなかった。

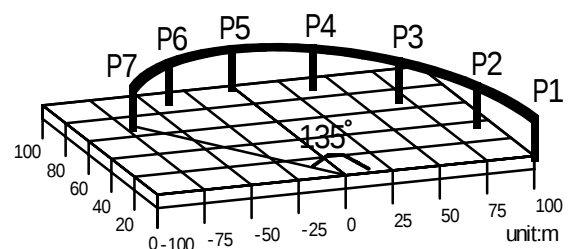


図-1 曲線橋のモデル

keyword：コヒーレンス，最悪地震入力方向，曲線橋，簡易推定法

連絡先：〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101 E-mail: ikeuchi@cv.tottori-u.ac.jp URL: http://wwwstr.cv.tottori-u.ac.jp/~ikeuchi

4. 従来の方法による曲線橋の最悪地震入力方向の算定

曲線橋モデルについて従来法により最悪地震入力方向を算定した .P1 ,P3 , P6 橋脚に対する地震波入力角度と最大応答変位の関係を図-2 に示す .曲線橋は強い地震動により曲線の法線方向外側に向かって変位する傾向があることが知られている²⁾ので、比較のため図中に各橋脚における法線方向を太線で示した .P1 橋脚についてはピン支承となっているため曲線橋モデルの桁端部を結んだ方向を点線で示した .ピン支承を有する P1 橋脚では、他の橋脚と比較して最悪入力方向での応答変位が最も大きくなっており、他の橋脚に比較して地震被害を受けやすいことを示している .P3 ,P6 橋脚については、桁の法線方向に地震入力があったときに応答変位が最も大きくなっている .これは、ローラー支承が桁に対して接線方向に可動、法線方向に固定という条件になっているためである .

表-1 曲線橋モデルの諸元

	断面積(m ²)	断面2次モーメント(m ⁴)		弾性係数(tf/m ²)	質量
		面内	面外		
主桁	0.295	0.240	1.95	2.10×10^7	3.52(t/m) (分布質量)
橋脚	0.275	0.0313	0.0313	2.10×10^7	13.8(t) (天端での集中質量)

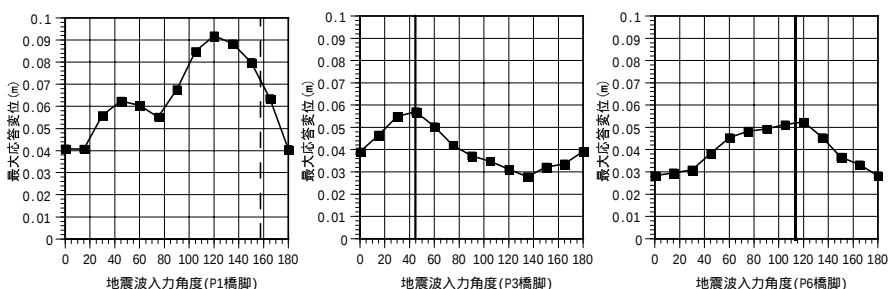


図-2 最悪地震入力方向(従来法)

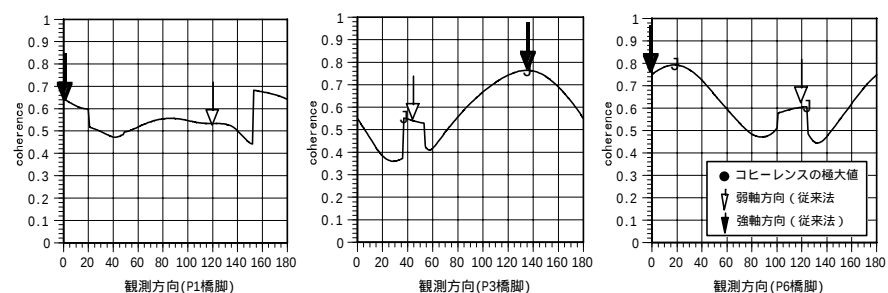


図-3 コヒーレンスによる推定

5. コヒーレンスによる最悪地震入力方向の推定

直交2方向から位相の異なるランダム波を同時に作用させ動的応答解析を行い橋脚天端での絶対応答加速度を出力として、各観測方向でのコヒーレンスを求めた .各観測方向でのコヒーレンス算定にあたっては、出力のパワースペクトルのピーク値を与える振動数の ± 0.5 オクターブの範囲でコヒーレンスの平均をとった .図-3 に結果を示す .また、図中に各橋脚の従来法によって求めた最大応答変位が生じる地震波の入力角度を矢印で示している .P3,P6 橋脚では入力角度が従来の方で求めた最悪地震入力方向とコヒーレンスが極大値とほぼ一致していることが分かる .P1 橋脚については、コヒーレンスの変化が変則的で最悪地震入力方向の推定ができなかった .

次に、コヒーレンスによる推定法が従来法と比較してどの程度の誤差が生じるのかを検討した .この結果を表-2 に示す .ただし、最悪地震入力方向が明確に求まらなかった P1,P7 橋脚の比較は行わなかった .表を見ると、従来法による最悪地震入力方向とコヒーレンスによる最悪地震入力方向との誤差は最大で 19° であり、誤差の平均は、 10° 程度であることが分かる .従来法が一般に 15° 毎に動的応答計算を行っていることを考えると設計上十分な精度で最悪地震入力方向を推定できていると思われる .

6. まとめ

曲線橋に対してコヒーレンスによる最悪地震入力方向の推定法を提案し、従来の方に対して簡易に最悪地震入力方向が推定できることを示した .

<参考文献>

- 岡野創：確率変数を含む地盤および地盤 - 構造物系の地震応答量の評価に関する研究，神戸大学学位論文，pp.17-32,1998.3.
- 川神雅秀・崎山毅・松田浩・岡林隆敏・森田千尋：曲線桁橋における水平地震入射角と支承部の動的応答特性，構造工学論文集 vol.40A.pp.759-770,1994.3.

表-2 従来法と提案法との誤差

最悪地震入力方向	提案法		誤差
	提案法	従来法	
P2橋脚	21°	15°	6°
P3橋脚	37°	45°	8°
P4橋脚	76°	60°	16°
P5橋脚	98°	90°	8°
P6橋脚	124°	120°	19°
平均	-	-	11.0°