

PC 免震橋の地震時特性に及ぼす曲率半径および加振方向の影響

東京都立大学大学院 学生員 岡田尚千

東京都立大学 正会員 中村一史*・前田研一

パシフィックコンサルタンツ 正会員 林 亜紀夫・山本一敏・渡邊誠晶

1. まえがき 多径間連続曲線 PC 免震橋のような自由度の高い橋梁構造物の耐震設計を行う際には、道路橋示方書¹⁾で規定されているように、全体構造系を対象とした時刻歴応答解析によって上・下部構造の相互作用を十分に把握して設計を行う必要がある。したがって、このような複雑な構造物の耐震設計では、設計業務が繁雑になるばかりでなく、定性的な地震時特性が未だ十分に明らかにされていないために、数多くの設計変数に対する判断材料も少ない。本研究は、7 径間連続曲線 PC 免震橋を対象として、加振方向や曲率半径が及ぼす影響を検討し、動的設計に支配的な地震時特性に関する基礎資料を得ることを目的としたものである。

2. 解析モデルと解析条件 橋長 160m, 曲率半径 100m, RC 橋脚および PC 床版を有する等支間の 7 径間連続曲線 PC 免震橋を解析対象として、図-1 に示す骨組構造解析モデル(基本モデル)を作成した²⁾。各部の構造諸元を表-1 に、各構造の要素モデルと材料特性を表-2 に示す。ここに、塑性ヒンジ部は、道示に準拠して橋脚基部に設定し、トリリニア(武田)型の非線形回転バネ要素でモデル化した。免震支承は、各橋脚天端で橋軸(接線)方向と橋軸直角(法線)方向の 2 方向免震とし、パイリニア型のスカラーバネ要素でモデル化した。

また、構造減衰定数は、上・下部構造で 0.02, 基礎で 0.10 とし、レーリー減衰によって評価するものとした。入力地震動には、兵庫県南部地震の強震記録に基づく図-2 に示した地震動波形を用いて、弾塑性時刻歴応答解析³⁾を行った。ここでは、支配的な橋脚基部と免震支承部の挙動について、P5 橋脚を着目点として検討を行った。

まず、加振方向の及ぼす影響を把握するため、基本モデルを対象に、図-3 に示す加振方向を設定した。すなわち、各橋台・橋脚に対する橋軸(接線)方向と橋軸直角(法線)方向の 2 方向に加え、それぞれの逆方向も考慮して、合計 32 方向を検討した。なお、A1-A2 橋台を結ぶ線を全体系基準軸とし、それと右回りになす角を加振方向角 θ と定義した。

さらに、曲率変化の及ぼす影響を把握するために、曲率 1/100 の基本モデルに加えて、橋長 160m を一定として、曲率を 1/200, 1/400, 1/800 および 1/∞ (直橋)と変化させた解析モデル(図-4)を作成して、解析を行った。

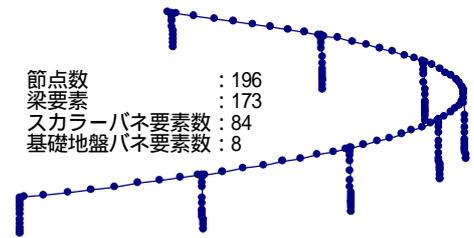


図-1 解析モデル

表-1 構造諸元

	橋台(RC)	橋脚躯体(RC)
断面積(m ²)	24.14~24.70	8.48
面内断面2次モーメント(m ⁴)	2.92~3.14	5.87~6.22
面外断面2次モーメント(m ⁴)	8.05~8.23	5.87~6.22
ヤング係数(tf/m ²)	2350000	2350000
せん断弾性係数(tf/m ²)	1020000	1020000

表-2 各構造の要素モデルと材料特性

構造	要素モデル	履歴特性
上部構造	線形梁要素	線形
免震支承部	スカラーバネ要素	パイリニア型
A1・A2橋台	線形梁要素	線形
P1~P6橋脚躯体	非線形梁要素	トリリニア型
塑性ヒンジ部	非線形回転バネ要素	トリリニア型
フーチング	線形梁要素	線形
地盤	基礎地盤バネ要素	線形

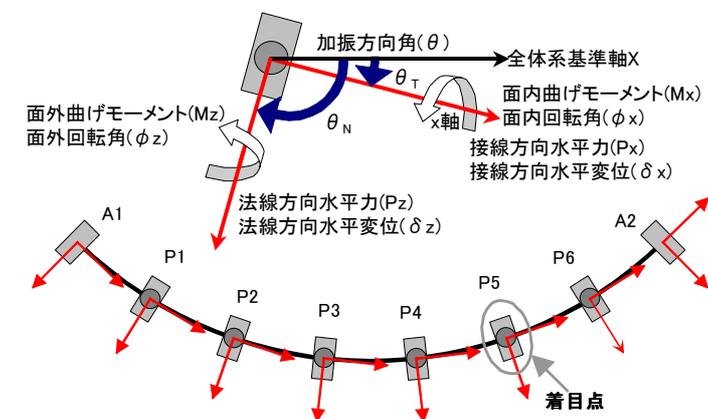


図-3 地震動の加振方向と座標の定義

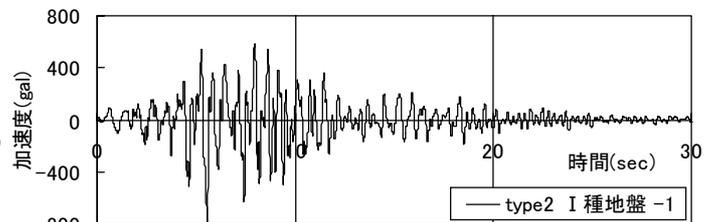


図-2 入力加速度波形

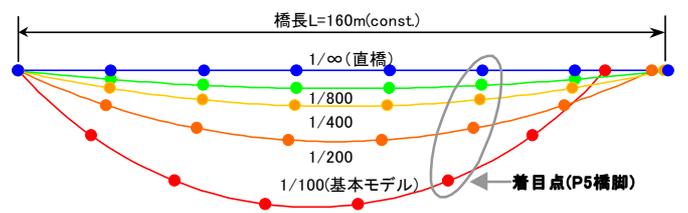


図-4 曲率を変化させた解析モデル

3. 加振方向の影響 P5 橋脚に着目して、図-5 に塑性ヒンジ部の最大・最小曲げモーメントと回転角を、図-6 に免震支承部の最大・最小水平力と水平変位を、加振方向角に対してそれぞれ示す。図-5 より、まず、加振方向と塑性ヒンジ部の曲げモーメントの関係には周期性がみられること、面内曲げモーメントと面外曲げモーメントはほぼ逆位相の関係にあることが解る。また、最大および最小曲げモーメントのピークは、加振方向角 θ の比較的広い範囲で生じ、明確なピーク点を捕らえにくい、同様の周期性や位相特性を持つ最大および最小回転角のピーク点は、両曲げモーメント曲線が交叉する変曲点の位置に明確に現れており、P5 橋脚に対する接線方向($\theta=161, 341$ (deg.))および法線方向($\theta=71, 251$ (deg.))、あるいは、それらの逆方向にほぼ近い加振方向が最も不利な加振方向であるといえる。すなわち、曲率を有する上部構造の非対称性が各橋脚にとって最も不利な加振方向に及ぼす影響は小さいことが解る。なお、図-6 から、加振方向と免震支承部の水平力や水平変位の関係においてもほぼ同様の傾向のあることが解る。

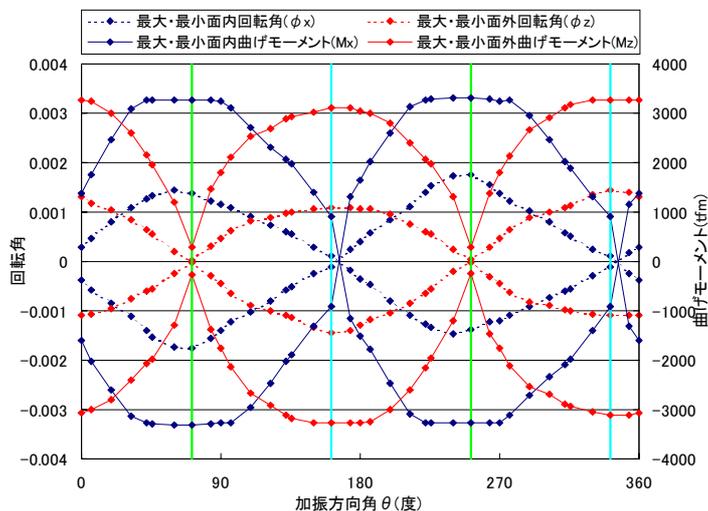


図-5 塑性ヒンジ部の最大・最小曲げモーメントと回転角

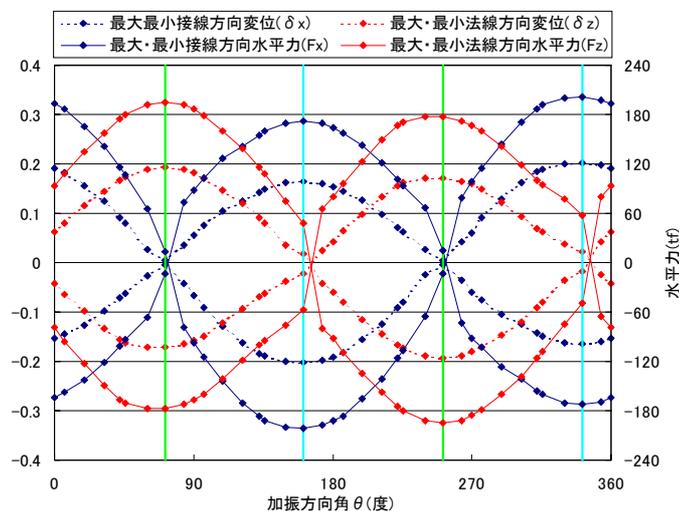


図-6 免震支承部の最大・最小水平力と水平変位

4. 曲率変化の影響 加振方向角 θ を0度と90度とした場合について、P5 橋脚に着目して、図-7 に塑性ヒンジ部の最大曲げモーメントと回転角を、図-8 に免震支承部の最大水平力と水平変位を、曲率変化に対してそれぞれを示す。これらの図より、曲率変化が最大曲げモーメントや最大水平力に及ぼす影響は小さいといえるが、曲率が小さくなると、それらの直交成分の連成効果が無視できなくなるほど大きくなり、2 軸曲げを同時に受ける問題としての検討の必要性が確かめられる。免震支承部の水平変位については、ユニバーサルな方向に対応し得る支承構造の検討なども必要になるといえる。

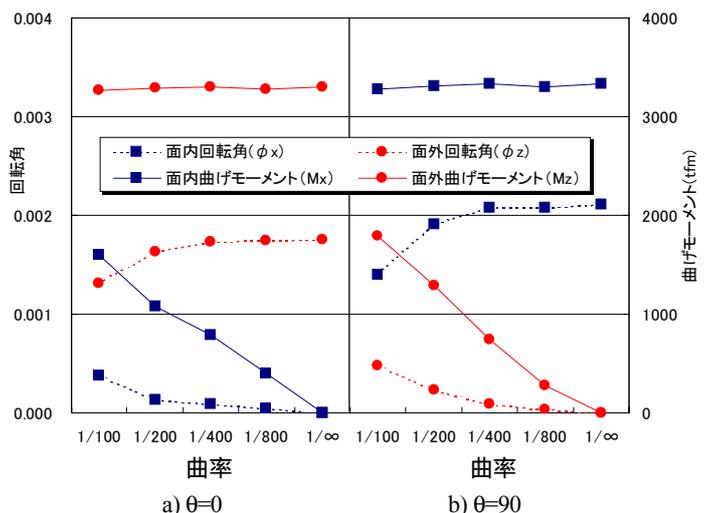


図-7 塑性ヒンジ部の最大曲げモーメントと回転角

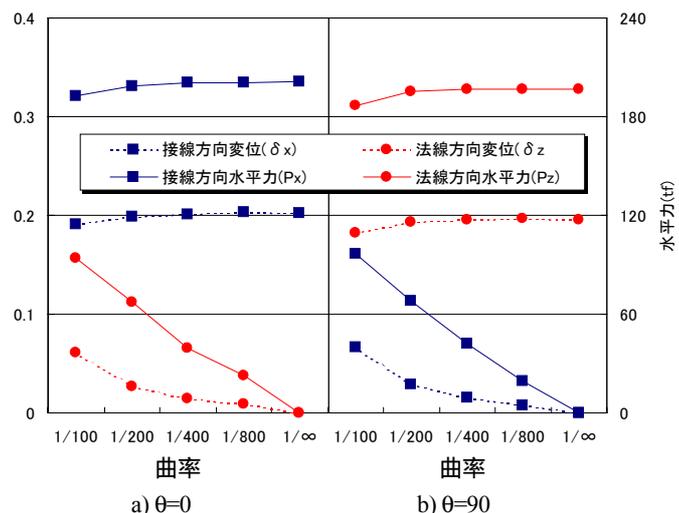


図-8 免震支承部の最大水平力と水平変位

5. あとがき 以上のことから、着目する橋脚に対して地震時特性に支配的な加振方向は、ほぼその接線および法線方向であること、また、曲率が小さい場合には、2 軸曲げを同時に受ける問題として検討する必要性のあることなどが確かめられた。なお、本論文では P5 橋脚に着目して考察したが、他の橋脚についても同様の傾向がみられた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.12.
- 2) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997.3.
- 3) 富士通エフ・アイ・ピー：耐震設計支援システム EARMEST Ver.3.0 マニュアル，1999.9.