

(135) 曲線免震連続橋の地震応答性状について

熊谷組技術研究所 金子 誉, 細田 信道
熊谷組設計本部 黒田 孝貴

1. はじめに

固定支承や可動支承に支持される曲線橋では特定橋脚への地震力の集中が起こることがあるが、免震設計を用いた場合にこのようなことが起こらないかを地震応答解析により検討した。代表的な免震装置である鉛プラグ入り積層ゴム支承に支持される曲線連続桁橋について、曲線半径ならびに地震入力方向をパラメータにとった2シリーズの解析を行なった。また、免震効果を明らかにするために、全支点で固定支持される非免震橋と比較することとした。

2. 曲線半径の影響

(1) 検討概要

図-1の3径間連続PC桁橋を検討対象とし、図-2に示すように直線橋と曲線半径の異なる曲線橋2橋について橋軸直角方向の地震応答解析を行い、最大値の変化を調べた。

(2) 解析方法

橋梁は3次元の骨組み構造としてモデル化し、直接積分法(ニューマーク- β 法; $\beta=1/4$)による時刻歴応答解析を行った。免震装置はバイリニア型のせん断バネ要素とし、固定支

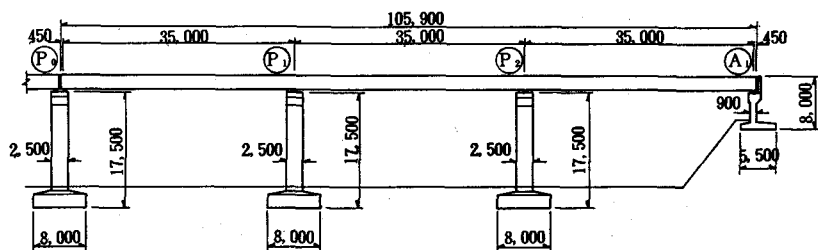


図-1 曲線半径の影響の検討対象橋側面図

承は十分剛なせん断バネとした。入力地震波はスペクトル調整した開北橋記録を用いた。なお、地震レベルは『道路橋示方書耐震設計編』における「鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査」のレベルを想定している。

(3) 検討結果

図-3に最大応答値分布を示す。

免震橋では、上部構造の加速度(慣性力)、変位および下部構造のせん断力に関して、曲線半径の大小にかかわらず直線橋と最大7%程度の差であり、曲線半径の影響はほとんど見られない。下部構造天端の加速度と変位は、橋脚では曲線半径による変化は小さいが、橋台では曲線半径の減少につれて応答が増大している。これは、橋台は断面剛性の方向性が強く、曲線半径の変化に従ってその向きも変わるためである。しかしながら、このような下部構造の応答の変化はそれぞれが単独で振動するような高い振動数で顕著に現れ、免震装置の比較的大きな変形を伴う低振動数の基本モードへの影響は少ない。したがって、上部構造慣性力と下部構造に作用するせん断力が曲線半径によって変化しない結果となった。

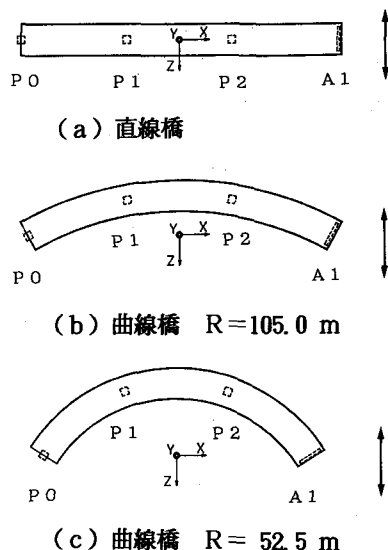
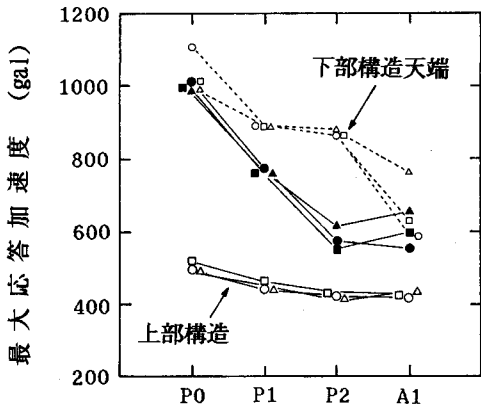
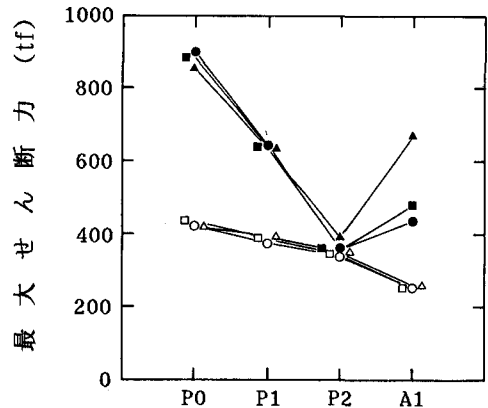


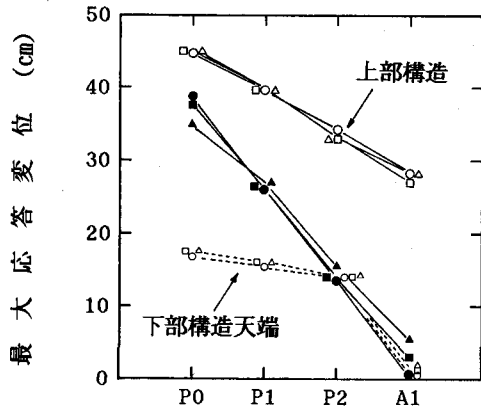
図-2 曲線半径の影響の解析概念図(平面線形および地震入力方向)



(a) 上部構造・下部構造天端の最大応答加速度



(c) 下部構造基部の最大せん断力



(b) 上部構造・下部構造天端の最大応答変位

凡例

| | 免震橋 | 非免震橋 |
|---------------|-----|------|
| 直線橋 | —○— | —●— |
| 曲線橋 R=105.0 m | —□— | —■— |
| 曲線橋 R= 52.5 m | —△— | —▲— |

図-3 曲線半径と最大応答値分布の関係 (橋軸直角方向)

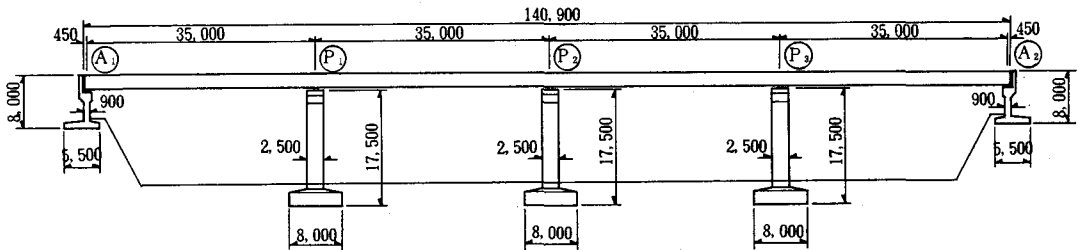


図-4 地震入力方向の影響の検討対象橋側面図

一方、全固定の非免震橋では、曲線半径が小さくなるにつれてA1橋台部の各応答値が大きくなっており、橋台の応答の増大が上部構造慣性力の増大として現れている。なお、図には示さないが、橋脚およびA1橋台部の応答波形はそれぞれ橋軸直角方向および橋軸方向の基本モードが卓越している。

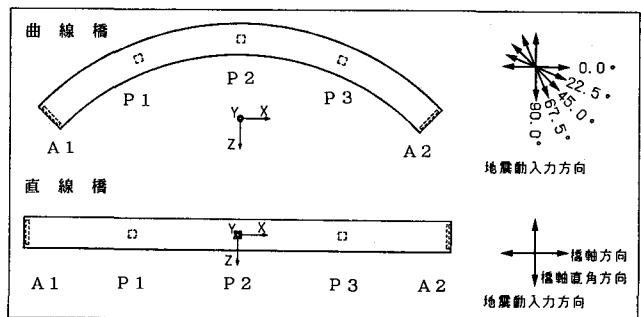


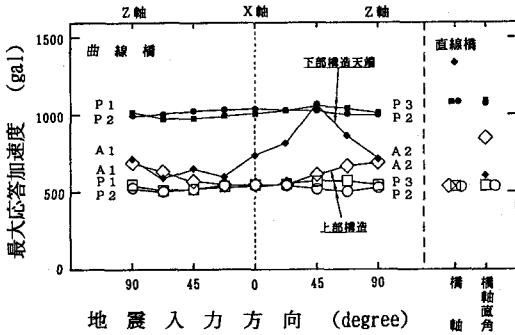
図-5 地震入力方向の影響の解析概念図

3. 地震入力方向の影響

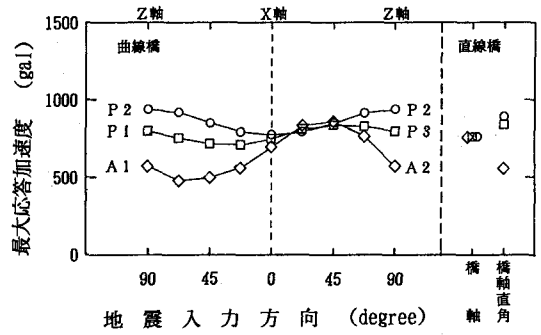
(1) 検討概要

曲線橋では、上部構造の軸が曲線に沿って徐々に変化していくとともに、それを支持する橋脚や橋台が異なった方向で配置される。上部構造は軸剛性が横剛性より大きく、下部構造も2軸剛性に差がある場合があるから、曲線橋では剛性の方向性が徐々に変化することになる。そこで、免震橋と全固定の非免震橋について地震入力方向をパラメータとした解析を行い、その地震応答の方向性を調べた。

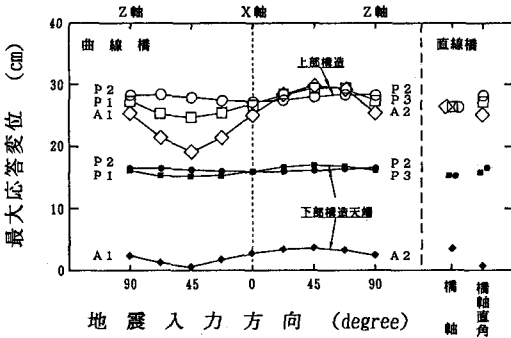
検討対象橋は図-4に示す4径間連続PC桁橋である。図-5に示すように、両桁端のなす角が90°であるような円弧状の平面線形をもった曲線橋を考え、22.5°づつ異なった5方向からの地震入力を与えた時刻歴応答解析を行った。また、比較のために直線橋の橋軸方向および橋軸直角方向の解析も行った。



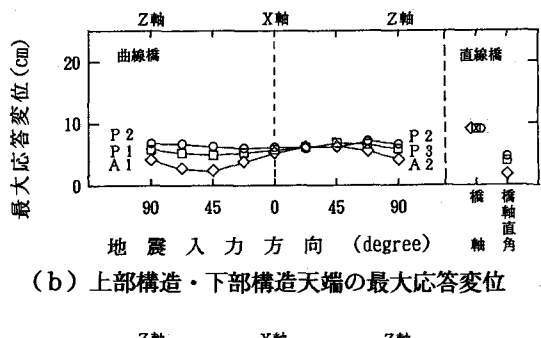
(a) 上部構造・下部構造天端の最大応答加速度



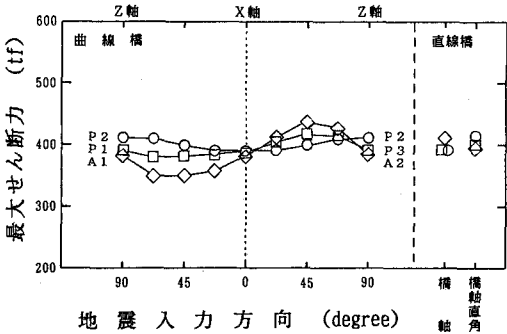
(a) 上部構造・下部構造天端の最大応答加速度



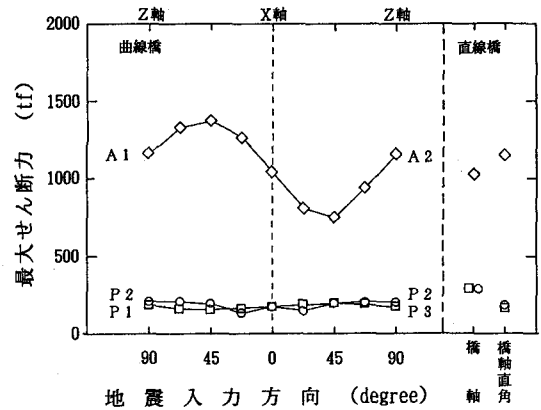
(b) 上部構造・下部構造天端の最大応答変位



(b) 上部構造・下部構造天端の最大応答変位



(c) 下部構造基部の最大せん断力



(c) 下部構造基部の最大せん断力

図-6 地震入力方向と最大応答値の関係 (免震橋)

図-7 地震入力方向と最大応答値の関係 (非免震橋)

(2) 解析方法 (2. (2) と同じ)

(3) 検討結果

図-6および図-7は、それぞれ免震橋および非免震橋について、地震入力方向の変化に伴う最大応答値の変化を示したものである。モデルの対称性を考慮して、A1とA2橋台、P1とP3橋脚の値を左右対称にプロットし、同一線で結んでいる。これらの図から以下のことがわかる。

① 免震橋についてみると、曲線橋の0.0°および90.0°方向入力時における上部構造、橋脚天端の応答加速度、変位は、それぞれ直線橋の橋軸および橋軸直角方向の応答に対応し、曲線橋の斜め45.0°方向入力時のA1およびA2橋台天端の応答は、それぞれ直線橋橋台の橋軸直角および橋軸方向の応答に対応している。このことは、上下部構造が免震装置でアイソレートされていて互いの拘束が小さいために、各々の方向性を反映して自由に振動していることを示している。

② 非免震橋については、曲線橋上部構造の0.0°および90.0°方向入力時における応答加速度、変位の分布は、それぞれ直線橋の橋軸および橋軸直角方向の応答分布に対応している。曲線橋と直線橋とで橋梁全体の剛性が異なるために、応答変位の絶対値は異なっている。

③ 斜め(22.5~67.5°)方向入力時の上部構造加速度(慣性力)は、免震橋ではモデル両側で違いが小さく、0.0°と90.0°方向入力時の中間の値である。非免震橋ではA1、P1側で減少し、A2、P3側で増大する。

④ 斜め方向入力時の上部構造変位は、免震橋、非免震橋ともに、A1、P1側で減少し、A2、P3側で増大する。

⑤ 斜め方向入力時の下部構造基部の断面力は、免震橋ではA1、P1側で減少し、A2、P3側で増大する。非免震橋では逆にA1、P1側で増大し、A2、P3側で減少する。

⑥ ③~⑤に述べた応答値の増減は、橋梁の端部ほど強く、斜め45.0°方向入力時に最も強く現れる。

表-1は、応答値の増減が最も強く現れる斜め45.0°方向入力時の橋台部の最大応答値について、曲線橋と直線橋の比および曲線橋両端の比として示したものであり、以下のことがいえる。

⑦ 地震入力方向の変化に伴う応答値の増減は、免震橋では変位に、非免震橋では力に対して強く現れる。

⑧ 地震入力方向の変化に伴う応答値の増減は、免震橋では非免震橋よりも小さい。

また、下部構造を取り除いた免震装置~上部構造系のモデルに対して斜め45.0°方向の地震入力による応答を解析してみたところ表-2の結果を得た。表-1と良く対応していることから次のことが考えられる。

⑨ 曲線免震橋では免震装置~上部構造系が慣性力分担に関して重要な役割をもち、全固定の曲線非免震橋では下部構造の剛性比により分担率が決まる。

4. まとめ 免震曲線橋について曲線半径および地震入力方向に着目した解析を行い、以下の結論を得た。

① 免震曲線橋の上部構造慣性力は、曲線半径、地震入力方向にかかわらず、免震直線橋とほぼ等しい。

② 地震入力方向によっては慣性力分担率が変化するが、免震橋では力よりも変位に対して大きく現れる。

5. おわりに 本報告は建設省土木研究所と民間28社との官民連帯共同研究「道路橋の免震構造システムの開発」の一環として行われたものである。

表-1 斜め45°方向入力時の橋梁両端部の最大応答

| | | 曲線橋/直線橋 | | A1橋台 |
|-------------------|------|--------------------|--------------------|-------|
| | | A1橋台 ¹⁾ | A2橋台 ²⁾ | A2橋台 |
| 上部構造の 最大応答加速度 | 免震橋 | 0.670 | 1.137 | 0.937 |
| | 非免震橋 | 0.893 | 1.122 | 0.579 |
| 支承の 最大相対変位 | 免震橋 | 0.762 | 1.138 | 0.692 |
| | 非免震橋 | — | — | — |
| 支承の 最大せん断力 | 免震橋 | 0.837 | 1.100 | 0.780 |
| | 非免震橋 | 1.236 | 0.681 | 2.115 |
| 下部構造基部の 最大せん断力 | 免震橋 | 0.888 | 1.063 | 0.800 |
| | 非免震橋 | 1.192 | 0.726 | 1.835 |

1) 直線橋の橋軸直角方向入力時の最大応答値との比

2) 直線橋の橋軸方向入力時の最大応答値との比

表-2 免震装置~上部構造系の斜め45°方向入力時の桁両端部の最大応答値の比

| | A1橋台/A2橋台 |
|--------------|-----------|
| 上部構造の最大応答加速度 | 0.958 |
| 上部構造の最大応答変位 | 0.726 |
| 免震装置の最大せん断力 | 0.868 |