

(15) 反力分散型ゴム支承を用いた
5径間連続箱桁橋(由良川橋)
での実橋振動実験について

日本道路公団 早川 和利
オリエンタル建設(株) ○ 関口 富夫
鹿島建設(株) 岡本 裕昭

1. まえがき

近年、良好な走行性の確保および維持管理の省力化を目的として、橋梁を連続化、多径間化し伸縮装置を減らす事例が増加している。従来、橋梁を連続化する場合、上部工と下部工との接合には支承を無くし剛結する連続ラーメン形式または一点を固定する連続桁形式が採用されている。しかし、連続ラーメン形式の場合、上部工の固定径間長に比較して橋脚高が低い場合や橋脚高が相違する場合などでは上部工の温度変化、クリープ・乾燥収縮等の伸縮により種々の問題が生じる。一方、一点を固定する連続桁形式の場合、地震時において固定支承に過大な水平力が作用することから巨大な鋼製支承および断面の大きな橋脚が必要となる。そこで、橋脚高が低い連続桁においてはゴム支承を用いた弾性多脚固定形式が採用される傾向にある。この形式は、常時における伸縮をゴム支承のせん断変形により吸収させ、地震時においては、多脚固定により地震力が分散でき、かつ、固有周期が長周期化することによる橋脚断面力の低減が期待される。

由良川橋(近畿自動車道敦賀線、京都府福知山市～徳部市)の5径間連続桁橋(図-1)は、上述の理由により、ゴム支承による弾性多脚固定形式を採用している。この形式の橋梁は従来震害経験がなく、振動実験等による動的特性の把握も十分でないのが実情である。本文は、弾性多脚固定方式による地震力の分散効果の実橋レベルでの確認を目的として行った振動実験について述べるものである。

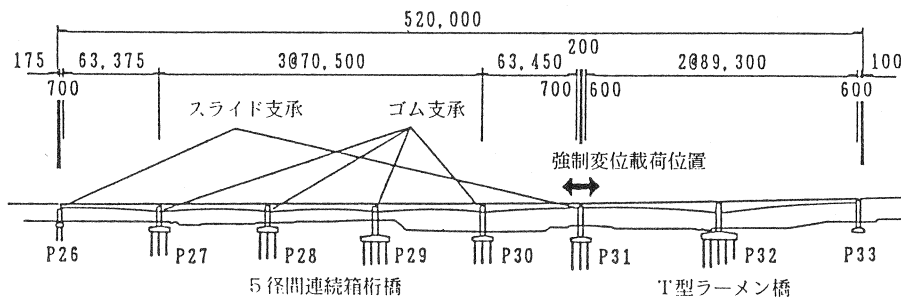


図-1 由良川橋一般図

2. 実験概要

動的解析において検討した結果から、橋脚下端の断面力に影響を与える主要な振動モードは、主桁の水平動が卓越する振動モード(橋軸方向1次振動モード)、および各橋脚個々の振動が卓越する振動モードである。このうち、ゴム支承の反力分散効果が期待されるのは橋軸方向1次振動モードであることから、この振動モードを対象とした実験を行った。加振方法は、対象振動モードの振動数が低振動数(設計値 0.69 Hz)かつ単純なモード形であることから、強制変形を与えた後これを急速開放して自由振動させる方法を用いるものとした。強制変形を与える方法としては、急速開放機構付きの油圧ジャッキ(揚量 180 tf、ストローク 150 mm、4台)を5径間連続箱桁橋とT型ラーメン橋間に設置し、T型ラーメン橋に反力を取り、強制変形を与えるものとした(図-2)。

実験ケースは、実験目的に対して、次の2種類を設定した。

- 1) 静的載荷実験 : ゴム支承のせん断バネ特性、橋脚剛性の確認。反力分散効果の確認。
- 2) 自由振動実験 : 振動特性の把握、振動時のゴム支承の挙動。

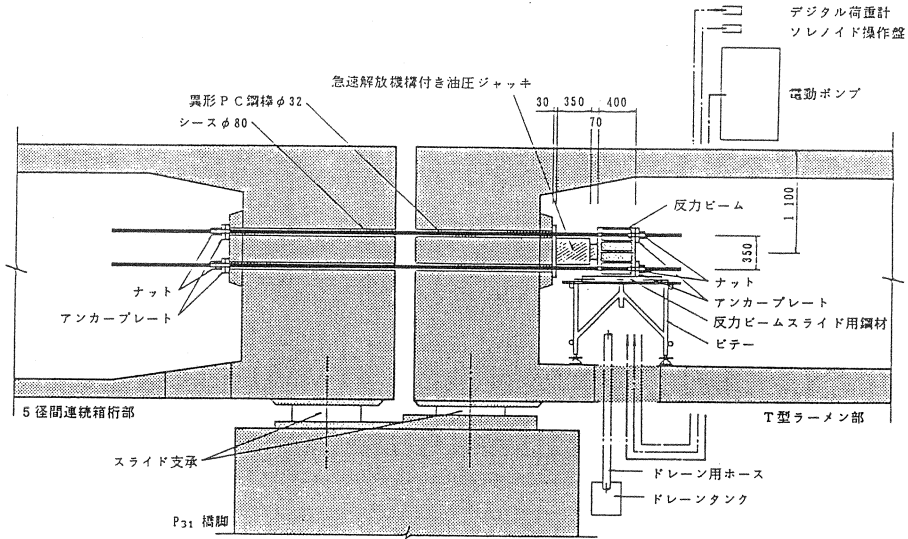


図-2 加振方法

3. 実験結果

1) 静的載荷実験

静的載荷に伴うP29橋脚における橋脚と主桁間の相対変位および橋脚頂部の絶対変位を図-3、4に示す。橋脚と主桁間の荷重-相対変位関係において、載荷時には200 tf程度までは徐々に剛性が低下する非線形性を示すが、200 tf ~ 500 tfではほぼ線形的となる。また、除荷時においては、初期の荷重除荷に対して変位減少の小さい部分があるが、その後ほぼ線形的に変位が減少する傾向にある。設計値と比較すると、載荷時には剛性は設計値に比べて大きくなっているが、除荷時の線形的な部分ではほぼ同程度の剛性となっている。一方、橋脚頂部の荷重-絶対変位関係においては、載荷、除荷時とも設計値に比べて2倍程度剛性が大きくなっている。これは、杭基礎における地盤バネ定数の推定式の精度や側方土圧による影響であると考えられる。

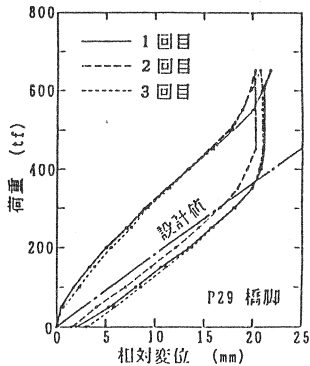


図-3 橋脚と主桁間の相対変位

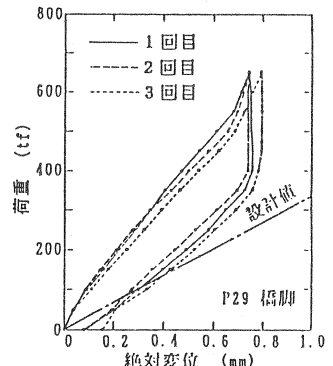
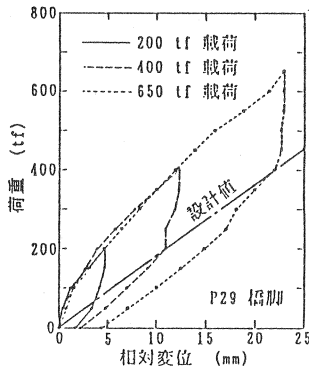


図-4 橋脚頂部の絶対変位

図-5に、載荷荷重段階毎の各橋脚と主桁間の相対変位分布を示す。各橋脚と主桁間の相対変位は、荷重の増加に伴い同程度の割合で増加しており、特定の橋脚の相対変位増分が特に大きいことはなく、荷重は全

橋脚に分散して受け持たれているといえる。図中に、荷重 200 tf における相対変位の設計値を示す。前述したように、実験においては載荷時は剛性が設計値に比べて大きいと相対変位の絶対量は設計値の方がかなり大きい、全体的な各橋脚と主桁間の相対変位分布は設計値と相似している。このことから、実橋においても設計で想定したゴム支承による反力分散効果が認められると考えられる。

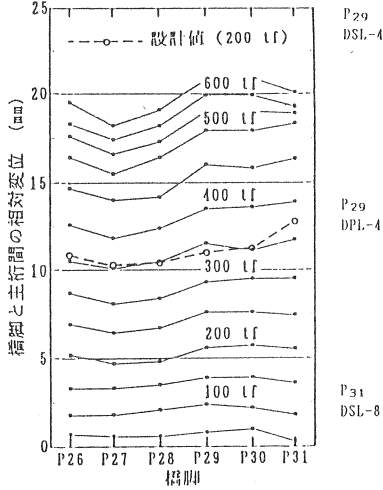


図-5 各橋脚と主桁間の相対変位分布

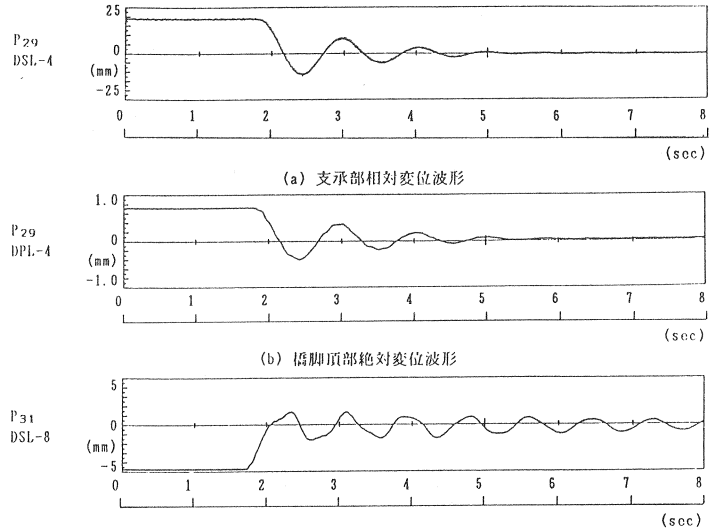


図-6 自由振動波形

2) 自由振動実験

図-6に、P29橋脚における橋脚と主桁間の相対変位および橋脚頂部の絶対変位波形を示す。また、P31橋脚における橋脚とT型ラーメン橋間の相対変位波形を付記する。変位開放後、ほぼ単一の波が急速に減衰する。減衰の程度は付記したT型ラーメン橋の波形と比較してもかなり大きいことがわかる。

図-7、8にP29橋脚における橋脚と主桁間の相対変位波形より得られた振幅と固有振動数および減衰定数の関係を示す。固有振動数は振幅の増加に伴い減少し、最終的に一定値となる傾向にある。また、減衰定数は振幅が1mm程度以上の領域では12~17%と比較的大きい値を示している。

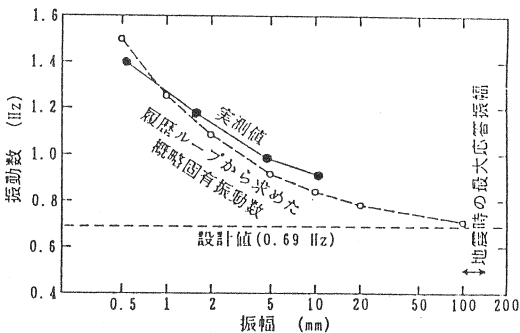


図-7 振幅と固有振動数

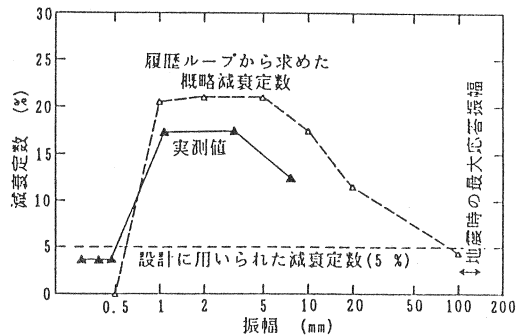


図-8 振幅と減衰定数

図-10に、静的載荷実験結果(図-3)に基づいて想定したP29橋脚における橋脚と主桁間の相対変位履歴ループを示す。ここで、図-9に示すように等価剛性 K_{eq} およびエネルギー吸収 ΔW を設定すると、この履歴に基づいた固有振動数 f および減衰定数 h は概略で次式のように表せられる。

固有振動数 $f = f_0 \cdot \sqrt{K_{eq} / K_0}$

減衰定数 $h = (1 / 2 \cdot \pi) \cdot (\Delta W / W)$

ここに、 K_0 : 剛性の設計値

f_0 : 固有振動数の設計値

上式により算出した各振幅に対する固有振動数および減衰定数を図-7、図-8に付記する。振幅と固有振動数および減衰定数の関係は実測値とほぼ一致する。地震時に想定している最大振幅領域においては、ゴム支承のせん断バネ特性はこの振幅領域まで弾性的であることから、この領域の履歴特性は静的載荷実験で得られた履歴特性を相似拡大した特性を有すると考えられる(図-11)。よって、地震時の最大振幅領域の K_{eq} は K_0 に近づくことから、固有振動数は設計値に近い値となると考えられる。また、振幅が大きくなるとエネルギー吸収比は小さくなるので、地震時に想定される最大振幅領域では設計値に近い5%程度の減衰定数が見込まれると考えられる。

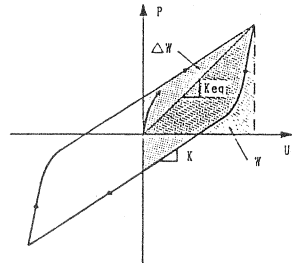


図-9 荷重-変位図

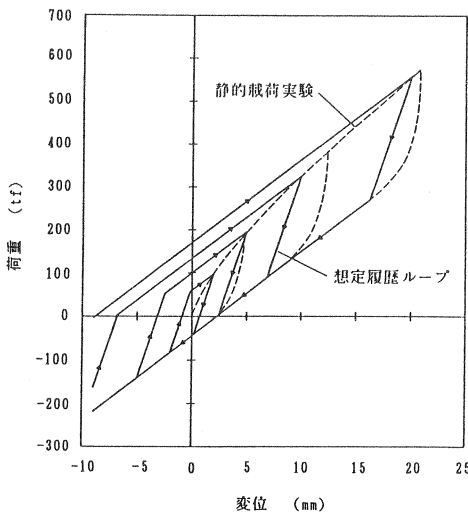


図-10 静的載荷実験に基づいて想定した履歴ループ

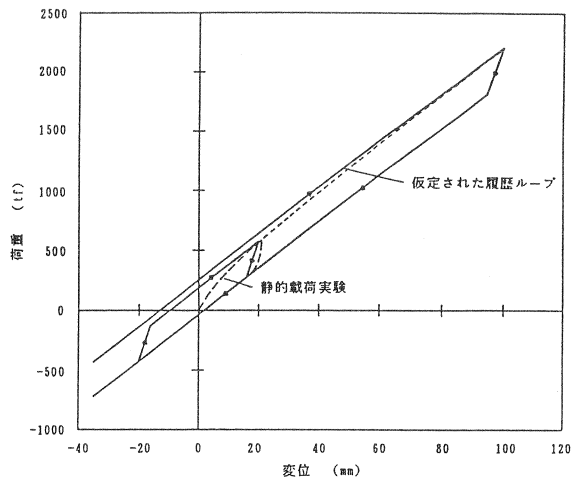


図-11 地震地の振幅領域に対して仮定された履歴ループ

4. まとめ

今回実施した振動実験の結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 各橋脚には設計で算出された変位量と相似な配分で変位が生じており、実橋においても反力が分散して受け持たれているといえる。
- (2) 実験を行った振幅領域では固有振動数は設計値より大きく、また、減衰定数も設計で設定した値と比べると大きなものとなった。しかし、静的載荷実験に基づいて想定した履歴ループより推定すると、地震時に想定される最大応答振幅付近では固有振動数および減衰定数とも設計で想定したものとほぼ同等の値となると考えられる。

以上、今回の振動実験より、ゴム支承を用いた弾性多脚固定形式による反力分散効果が実橋においても確認されたものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 日本道路公団大阪建設局：由良川橋（PC上部工）工事 5径間連続箱桁振動実験報告書、1991年 1月
- 2) 酒井秀昭他：ゴム支承による多脚固定方式のPC連続箱桁の設計について、橋梁、1990年 5月