

鋼製連続ラーメン橋の振動特性と耐震性能

渡辺 貞之

WATANABE Sadayuki

株式会社東光コンサルタンツ/本社営業部/技術第二部/課長



阪神大震災後に行われてきた橋梁の耐震補強は、多くの実験等の研究結果を基に設計手法および解析技術が確立され、コンクリート構造物、鋼製構造物ともに多くの補強工事が完了している。

鋼製のラーメン橋およびラーメン橋脚について着目すると、下端剛結構造のラーメン橋脚は耐震実験、耐震性能照査等が精力的に行なわれ、データもかなり蓄積されているため

その値を用いた設計が行なわれている。一方、下端ピン構造のラーメン橋脚はそのデータが少ないようである。

そこで成田空港の下端ピン構造連続ラーメン橋の耐震補強設計を行うにあたり、橋梁の耐震性能の重要な要因となる振動特性を正しく把握することを目的として、常時微動計測手法による結果を用いて設計を行った。この手法は、当該橋梁の固

有振動数と減衰を測り、構造のモデル化と解析法の妥当性を検証し、それを基に耐震照査を行ったものである。

1 計測した橋梁の概要

計測対象とした橋梁は、平成3年に完成した成田空港第2ターミナルビルに連絡する鋼5径間連続ラーメン橋(A橋、P1～P6橋脚)と鋼6径間連続ラーメン橋(B橋、P6～P12橋脚)



図1 - 橋梁位置図



図2 - 10号橋概要図

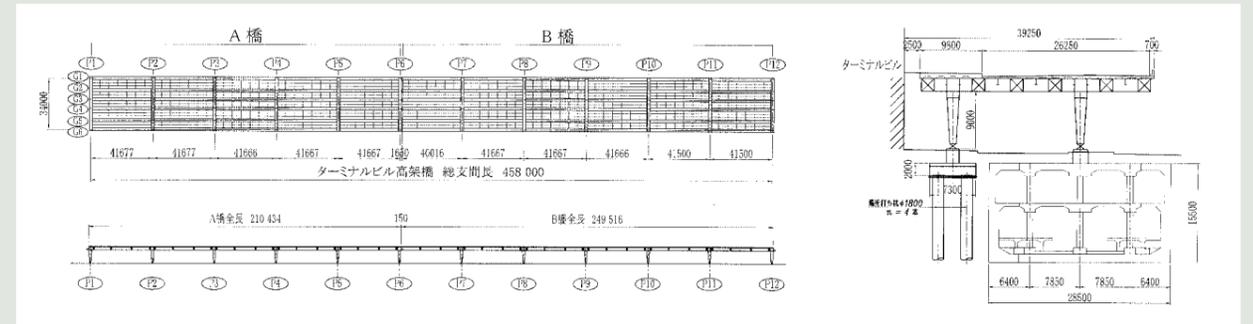


図3 - 形状寸法図



写真1 - 成田空港10号橋

で、中央部P6橋脚でB橋がA橋にゲルバー構造で連結されている。橋長はA橋210.4m、B橋249.5m、支間長は5@41.67mと40.02m+3@41.67m+2@41.50m、幅員36.75m。上部工はRC床版とした6箱桁構造。橋脚は高さ9mの下端ピン構造で矩形変断面の鋼製門型ラーメン橋脚である。主桁と橋脚横梁は、剛結された構造となっている。基礎部は片方が杭基礎、他方が鉄道の地下駅舎に載っている構造である。ピボット支承から上の橋梁重量は、A橋が12,500tf(1.25×105kN)、B橋が13,600tf(1.36×105kN)で、非常に重くトップヘビーの構造となっている。

2 常時微動計測

通常、橋に限らず地上の構造物は、車の走行時振動、工場の機械や建設現場等の振動が地盤を伝わり、その影響を受けて微小な振動をしてい

る。常時微動系は、その微動を加速度センサーでひろい記録するものである。

構造物が振動するとその形状、剛性、境界条件等の違いによって固有の振動数を示すため、それを計測することで逆に構造特性や解析モデルの有効性を照査することができる。

計測地点は、A橋P3橋脚上とB橋P9橋脚上で行った。計測項目は、計測地点における水平2軸(橋軸方向、橋軸直角方向)の加速度とした。P3橋脚では桁の上下振動を確認するため、鉛直方向も測定した。

計測は空港業務終了後の23時半から翌朝の7時まで行った。気象は気温26度、風速約1m/s、曇で、計測時間は1ヶ所につき20分間とし、加

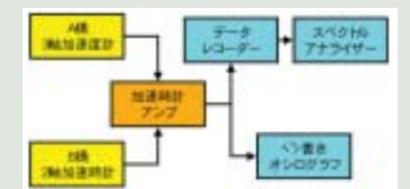


図4 - 計測フロー



写真2 - 計測機器

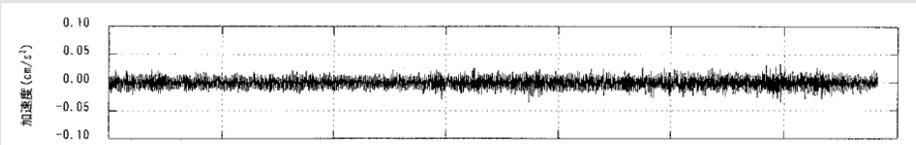


図5 - 常時微動加速度波形

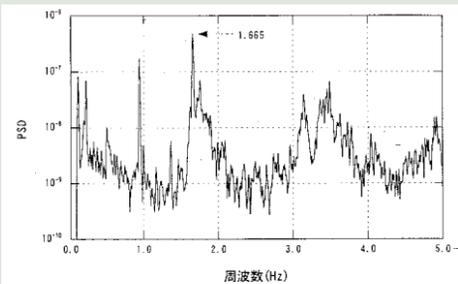


図6 - パワースペクトル

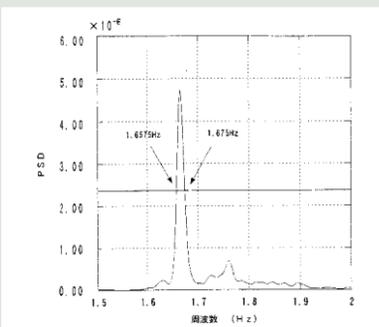


図7 - ハーフパワー法

速度計からアンプを介し、データレコーダ、アナログデータとして記録した。またスペクトルアナライザとペン書きオシログラフを使用して、固有振動数と波形のモニターを行った。常時微動計測で得られた加速度波形データはFFT法によってスペクトル解析を行った。スペクトル計算の条件は、サンプリング周期を0.05sec、

解析データ個数8192個、データウィンドHanning、スペクトルウィンドHamming 10回とした。なお、A/D変換時DC成分を除去するため0.1Hzでハイパスフィルタ処理を施した。

計測結果として、常時微動加速度波形をスペクトル解析した結果を図5と図6に示す。また減衰定数を、ハーフパワー法によって求めた結果を図7および表1に示す。

固有振動数は、A橋、B橋ともに橋軸方向、直角方向の差がなく1.6Hz～1.7Hzの値を示した。減衰定数は、0.5%～1.0%程度を得た。一般に常時微動計測結果から求めた減衰定数は小さめで、強制振動時や地震時では大きくなると言われている。一方、道路橋示方書V耐震設計編では、鋼構造では1%で設計してよいとなっており、その点、計測値は妥当である。

3 固有値解析

構造のモデル化は、上部工、下部工ともに材料の応力-ひずみ関係を

直接使用し、鋼部材(箱断面主桁、縦桁、横桁、橋脚横梁、幅が変化する柱)の断面を各々16分割して積分するファイバーモデルで約2,500接点のモデルとした。

固有値解析条件は、橋脚下端がピン構造であるが、常時微動計測では振動振幅が微小であり橋の重量が非常に重いため、ピボット支承の球面状の変形や摩擦抵抗により自由に回転しない場合も考えられる。そのため完全固定条件の固有振動数も求めた。その結果を表2に示す。

モード解析は、A橋、B橋ともに橋軸方向と橋軸直角方向の卓越モードを図8に示す。橋脚下端の支持条件は、完全固定(剛結モデル)と単純支持(ピンモデル)で行っており、その違いがモード図から確認できる。

4 計測値と解析値の比較

解析値と計測値を比較すると、計測値は支承完全固定の条件とほぼ一致した。この結果から対象となった橋梁は自重が重く、常時微動ではピボット支承の回転が起こっていない状態であると考えられる。

振動が大きくなると橋脚下端のピボット支承が回転を起こし、ピンモデルでの解析結果に近くなると予想されるが、今回の計測では確認されなかった。この事象を確認するためには、起振装置を用いた振動実験が有効であると思われる。

また、大規模地震を対象とするような場合は、ピボット支承の特性が発揮されると考えられるため、ピン構造として検討することが妥当であると判断した。

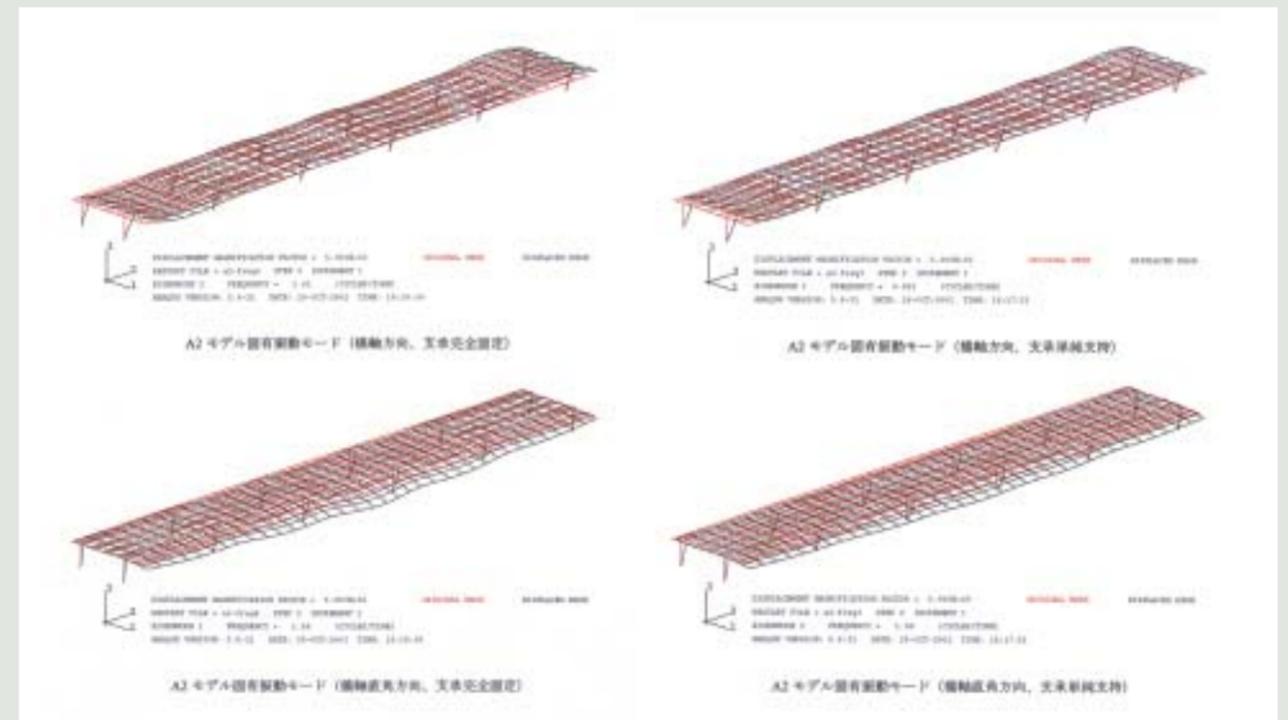


図8 - 固有振動モードの比較(単純支持 = ピン構造、完全固定 = 剛結構造)

5 耐震性能照査

橋梁の耐震性能の照査方針は、次のとおりとした。

照査対象となる橋梁が、地震力に対して保有している静的および動的な特性を把握し、それが既設の状態でも耐えうる限界の地震力と、大規模地震時に部材耐力の不足により破壊する位置を明らかにする。橋梁が全体構造系として大規模地震に対して、安全性を確保できるような補強方法、構造形の剛性向上、支点条件の変更(水平力分散・免震)等の対策を検討する。地下構造物、近接構造物等への影響を考察する。

耐震性能照査は、常時微動計測によってモデル化の妥当性を確認した構造モデルを使用して、静的解析(プッシュオーバー解析)と動的解析(非線形時刻歴応答解析)によって判定している。

照査結果は、巨大地震に対して柱梁結合部の隅角部が弾塑性座屈現象をおこす危険性がある。また、ト

ップヘビーの構造であるため、地震力が働くとアップリフトが大きくなる危険性があり、支承の補強が必要である。

6 まとめ

対象橋梁は自重2万トン以上の巨大構造物であり、常時揺れ難いため振動は微小であった。微小振動の場合は下端ピン構造の回転がほぼゼロ。また減衰値は振幅依存性が大きく、摩擦等のエネルギー消費が小さい。下端ピン構造の回転がないため下端固定構造の周期に近いが、振動が大きくなるとピンモデルに近くなると思われる。

実測値は隣接したアプローチ橋と、A橋とB橋のゲルパーヒンジ連結等の拘束効果により、橋軸方向、橋軸直角方向ともに解析モデルの振動数よりも大きめの測定値であった。

7 今後の目標

現段階では、柱下端のピボット支

承が常時微動状態では回転を起こさないと仮定すると計測値と解析値が一致する。したがって、ピン構造の特性を確認するまで至っていない部分がある。

本プロジェクトでは、下端ピン構造の連続ラーメン橋でピボット支承の構造特性を確認するために、起振装置を用いた振動実験が有効であると思われる。それによって、橋の耐震補強後における耐震性能の改善効果を確認することができるのではないかと考えている。

また、コンサルタントとしての設計業務において、実験的検証による手法を用いることで、設計精度の向上、信頼性の確保、そして設計の多様化を図ることが可能であると思われる。

(協力：新東京国際空港公園 天田氏、勝尾氏)

表1 実測した固有振動数と減衰定数

| 計測位置 | | 固有振動数(Hz) | 減衰定数(%) |
|----------------|--------|-----------|---------|
| P3橋脚上部 (A橋) | 橋軸直角方向 | 1.616 | 0.54 |
| | 橋軸方向 | 1.665 | 0.52 |
| P9橋脚上部 (B橋) | 橋軸直角方向 | 1.675 | 0.82 |
| | 橋軸方向 | 1.672 | 0.97 |

表2 支承条件の違いによる固有振動数の解析値

| 解析値 | | 固有振動数(Hz) | |
|-----|--------|-----------|--------|
| | | 支承ピン構造 | 支承完全固定 |
| A 橋 | 橋軸直角方向 | 1.095 | 1.578 |
| | 橋軸方向 | 0.962 | 1.612 |
| | 鉛直方向 | 1.697 | 1.754 |
| B 橋 | 橋軸直角方向 | 1.079 | 1.502 |
| | 橋軸方向 | 0.947 | 1.594 |
| | 鉛直方向 | 1.658 | 1.697 |