

鋼ポータルラーメン橋の施工と実橋計測

CONSTRUCTION AND FIELD TESTS OF PORTAL RAMEN BRIDGE WITH STEEL GIRDERS EMBEDDED IN RC ABUTMENT

森田 林¹⁾ 江頭 慶三²⁾
 Hayashi Morita Keizo Egashira

1. まえがき

本橋（下谷池橋）は西日本高速道路阪和自動車のみなべICの南に位置し、和歌山県特産の南高梅を栽培する有名な南部梅林の中にある。その梅林の用水として役割を果たしている下谷池の上に位置し、両端が橋台であることから単純桁を避け、耐震性、走行性、経済性を目的として鋼ポータルラーメン構造が採用されている(写真-1, 図-1)。設計思想は欧米で施工実績の多いインテグラルアバット橋と同様であり¹⁾、今後の発展が期待されている構造形式である²⁾。

設計の考え方は、固定ラーメン構造であるため、温度変化などによる断面力を単列配置の杭基礎を持つ橋台の水平、回転変位により軽減させるのが一般的である。しかし、本橋は一種地盤上で直接基礎を有することから、地盤のバネを考慮している。また、剛結部では鋼桁から橋台への応力伝達に孔明き鋼板ジベルを応用するなど、これまでに例の無い構造を採用していることから、種々の検討、実験を行って安全性を確認している^{3)~5)}。

本文では、施工に際して行った検討と、実橋計測により得られた種々のデータについて報告する。

2. 工事概要

工事名：阪和自動車道 芳養川橋（鋼上部工）工事
 工事箇所：和歌山県日高郡南部町熊岡～和歌山県田辺市芳養町

構造形式：鋼ポータルラーメン橋

橋長：45.0m

架設工法：トラッククレーンベント工法

主桁間隔：6.0m

鋼材重量：107.6t（他の2橋含め工事全体 488.8t）

荷重：B活荷重

平面線形：R=3000m（主桁は直線）

縦断勾配：1.954%～1.723%

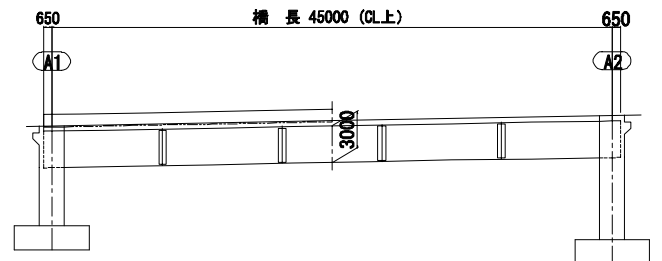
施工内容：詳細設計、製作、架設工、PC床版工、橋台堅壁を含む剛結部鉄筋コンクリート工

工期：平成17年6月～平成19年1月

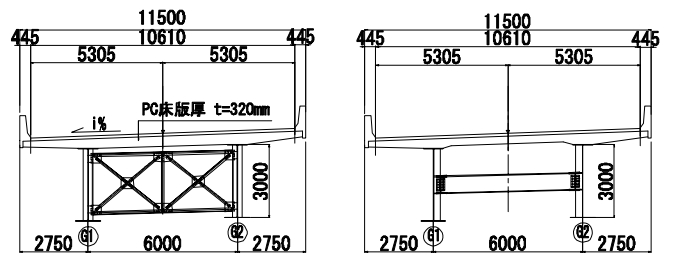
施工主：西日本高速道路株式会社 関西支社



写真-1 橋梁全景



a) 側面図



b) 支点部断面図

c) 支間部断面図

図-1 橋梁一般図

3. 施工

本橋は剛結部断面力の低減を目的として、鋼桁架設後にPC床版の施工を先に行い、最後に橋台堅壁を含む剛結部コンクリートの施工を行う順序とした⁶⁾。ここでは、その剛結部コンクリートの施工について述べる。

3.1 剛結部コンクリートの分割施工

橋台堅壁は厚さが2mであることから、マスコンクリ

1) 工事グループ 工事部 大阪チーム

2) 技術グループ 設計部 和歌山チーム

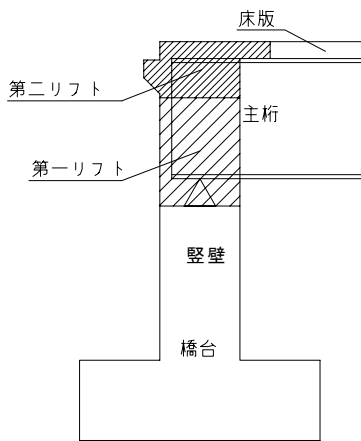


図-2 剛結部コンクリートの施工ステップ



写真-2 橋台縦壁コンクリート打設状況

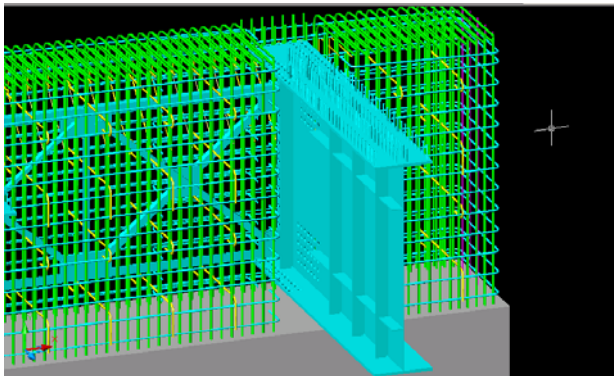


図-3 剛結部縦壁の配筋状況



写真-3 橋台縦壁内部での鉄筋機械式継手

ートとしての対策（温度応力によるひび割れ防止）が必要となった．具体的には床版部を含めて普通セメントを使用して水和熱の低減を行うとともに、マスコンクリート用膨張材の添加、および放熱を促進することを目的として高さ方向に2分割施工とした（図-2）．

ここで、分割施工を行う場合は第一リフト部のコンクリート打設や硬化後のレイタンス処理のために作業員が縦壁内部に入って作業をする必要がある（写真-2）．しかし、縦壁の鉄筋は床版主鉄筋部まで延長され、結束される構造であり（図-3）、床版を含めた全て鉄筋の組立が完了すると、作業員の出入りができなくなる．そこで主桁付近の一部の鉄筋を機械式継手（写真-3）とすることで出入りを容易にし、入念な締固めや確実なレイタンス処理が可能になった．なお、型枠内には別途、水平方向のセパレータが多数設置されているため、これも内部での作業の妨げとなる．そこで、事前に作業性を考えたセパレータの配置計画が肝要である．加えて、主桁腹板にセパレータ接続用のナットを溶接し、セパレータの配置が必要最小限になるよう配慮することも施工性の向上に必要な対策と考えられる．

3.2 縦壁のひび割れ防止対策

縦壁コンクリートの施工に先立ち、上記の対策（普通セメント、膨張材、分割施工）の効果を確認するために温度応力解析を実施し、コンクリートの発現強度と温度差に起因する応力との比率（ひび割れ指数）を算出した．なお、解析には3次元 FEM 温度解析プログラム「ASTEAMACS」を用いた．

ひび割れ指数は1以上を目標としたが、第一リフト部と既設縦壁の打継目付近で1を下回る部分が生じた．そこで、解析により得たコンクリートの引張応力に対し、橋台鉄筋にその引張応力を負担させても応力上問題ないことから、これを許容することとした．これは、床版打設を先行する施工手順により、剛結部の断面力が低減できたことにより可能となったものであり、応力に余裕がなければ、別途補強鉄筋を配置するなどの配慮が必要である．

次に温度履歴の結果を図-4に示す．解析では気温15℃、コンクリート温度20℃としたが、実測値の平均気温は20℃であったことから、解析値より実測値が上回る結果となった．最高温度で最大10℃程度の差が生じたが、放熱による冷却状況は、ほぼ同様の傾向を示していることから、既設縦壁の拘束による温度応力は解析結果と大差ないと判断できる．

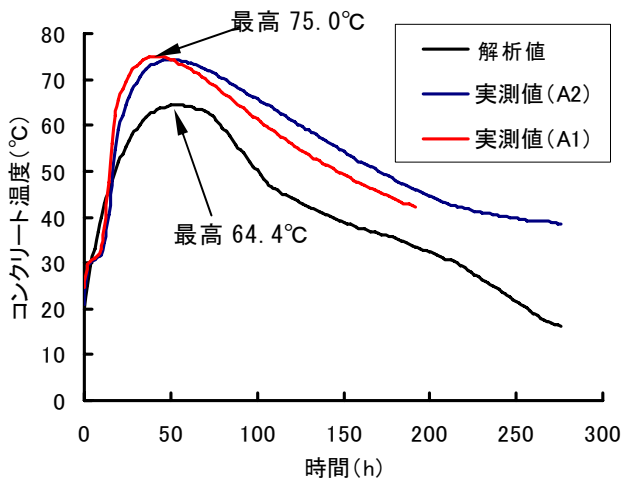


図-4 第一リフト中心部温度履歴

3.3 PC床版と橋台の結合部の施工

剛結部にはPC床版の配力鉄筋やせん断補強鉄筋、および堅壁の主鉄筋が密に配置されており、鉄筋の組み立て順序を入念に検討する必要があった(写真-4)。

鉄筋はコンクリートの打設順序に合わせて一般部(支間部)床版、堅壁の順に組み立てることを基本とした。しかし、この順序では一般部の床版コンクリート打設後には、床版配力鉄筋間隔が固定され、鉄筋位置の調整が困難になった。今後は堅壁鉄筋を先に仮固定して床版鉄筋を後に組み立て、事前に干渉の可能性のある鉄筋を把握し、コンクリートの打設順序に関わらず、鉄筋に優先順位をつけ施工することが肝要と考えられる。また、上面は堅壁主鉄筋と床版の配力筋のピッチの違いに誤差が加わり、鉄筋のあきの確保が困難になる部分があった。本橋のような剛結構造では、上下部工の鉄筋ピッチを事前に整合させる配慮も必要である。

最後に、第二リフト施工時(高さ約1.3m)は、コンクリートポンプ車からのホースは小径のもの(φ100)を用いて極力自由落下させないよう配慮して打設を行った(写真-5)。

また、精度管理に関しては、ポータルラーメン橋では、橋台の出来形が床版の全長であり、橋台の高さが床版の高さとなるため、出来形は慎重に管理する必要があった。つまり、支承で支持される一般的な橋梁では橋台や脚天端に設置した基準線から鋼桁の据付を行うので精度管理が容易である。しかし、本橋では橋台剛結部の施工後に基準線が見えなくなる。そこで床版コンクリート打設後に再度測量を行い、床版上に基準線を設置して、橋台の出来形を管理した。その結果、橋長、対角長だけでなく、壁高欄についてもA1~A2まで天端のとおりが揃った見映え(直線度)のよい仕上がりとなった。



写真-4 堅壁主鉄筋と床版鉄筋、せん断補強鉄筋の配筋状況

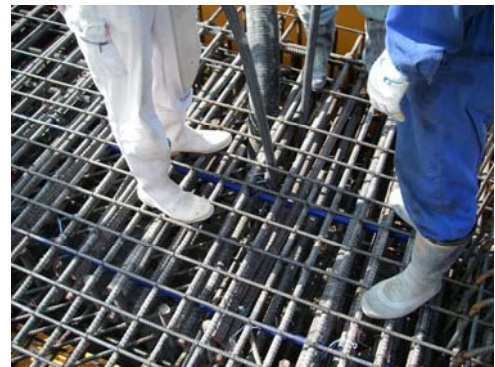


写真-5 コンクリート打設状況

また、PC床版は橋軸直角方向にプレストレスを導入するが、橋台はRC構造であり、剛結部ではPC構造とRC構造が接続されることになる。その場合、PC構造側のクリープなどによって接続部付近にひび割れが生じる可能性が予見された。そこで、橋台前面部にもPC鋼材(1S21.8)を2本配置し、外側の1本は正規どおりの軸力を与え、内側の1本は1/2の軸力を与えることにより、円滑な構造の移行を図った。

3.4 橋台堅壁背面の処理

本橋の橋台背面は土工部であり、その法面にはテールアルメが施工されている。いくつかの施工事例では、この部分での配慮不足により、土工側にひび割れなどの不具合事例が生じているので、本橋では橋台とテールアルメの境界部に伸縮目地を設け、橋台の橋軸方向の水平、回転移動を拘束しないよう配慮した。

また、橋台の踏掛版は路面直下に従来構造のものを採用しているが、温度変化などによる舗装の損傷発生が今後の維持管理上の課題である。この部分の研究としては、欧米各国で様々な方法が試みられている⁷⁾が、今後の一層の検討が必要と考えられる。

4. 鋼ポータルラーメン橋の実橋載荷実験

4.1 実橋載荷実験の目的

施工完了後に実施した載荷実験の目的を以下に示す。

- ① 本橋の橋台はフーチング下面に地盤バネをモデル化しているのので、実構造におけるバネの値を計測して、設計値と比較しておく必要がある。
- ② 固有周期、対数減衰率の計測により、本構造の振動特性を把握する。
- ③ 温度変化などの経時挙動計測を通年で実施する予定であり、そのための冬期計測データを得ることと、計測方法の精度の確認を行う。

4.2 静的載荷実験

試験車として、ラフタークレーン(1台の重量約400kN)を2台床版上に載荷し、ひずみと変位を測定した。この重量は設計活荷重の45%に相当する。載荷実験は図-5に示すとおり、橋梁の中心部に配置する中心載荷とG2桁に最大の曲げモーメントが作用するよう配置する偏心載荷の2ケースについて実施した。変位は主桁の支間中央、1/4、1/8点で計測し、橋台縦壁にも高感度傾斜計を設置して橋台の変位測定を行った。さらに剛結部と支間中央部で主桁と床版のひずみを測定した。変位計とひずみゲージの設置箇所を図-6に、変位とひずみの測定結果と計算値を図-7,8にそれぞれ示す。計算値には床版、壁高欄(コンクリート断面有効)の剛性が考慮されている。

変位の測定結果から、橋台基部に考慮した地盤バネが計算結果より大きく、ほぼ固定に近い挙動をしていると考えられる。ひずみの計測結果は、ほぼ同様の傾向を示しているが、橋台のバネが大きいので、支間中央で実験値が計算値を上回り、剛結部で下回る結果となっている。

4.3 動的載荷実験(固有値, 対数減衰率)

人力による加振(予め解析で得られた固有値に合わせて橋梁上で連続してジャンプする)や、試験車の後輪を枕木から落下させる方法により(写真-6)、強制的に橋梁を振動させて固有値と対数減衰率の計測を行った。加振は橋梁の中央部とG2桁の支間中央部にて行った。加速度計は図-9に示すとおり、支間中央と1/4点、1/8点に設置し、加振直前から振動が止まるまで計測した(表-1)。

人力加振とクレーン車加振の計測結果の差は僅か0.8%程度である。計算値とは橋台背面の裏込め土の影響を考慮していないため誤差が大きくなっているが、鉛直たわみ振動に対する固有値は、基礎のバネを考慮したラーメン構造の解析値と両端固定ばりとして求めた計算結果の間にある。しかし、ねじり振動に対する固有値につ

いては、計算結果よりさらに小さい値を示している。

次に対数減衰率の結果を表-2に示す。どちら値も0.03前後であり、比較的減衰しにくい振動特性を持つことが明らかとなった。なお、過去に測定された連続2主I桁橋と比較すると、固有値で2~3倍程度の値となっているが対数減衰率はほとんど同じである。詳細な実験結果は別途報告⁶⁾しているのので、ここでは省略し、実験から得られた知見のみを以下に示す。

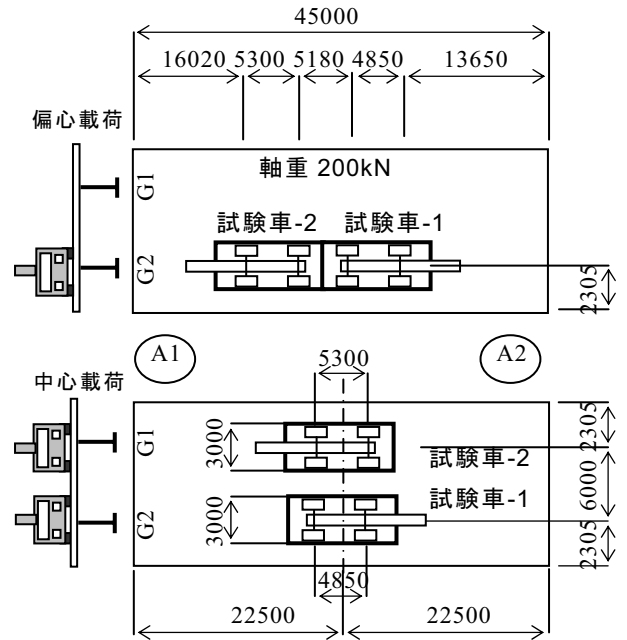


図-5 試験車配置

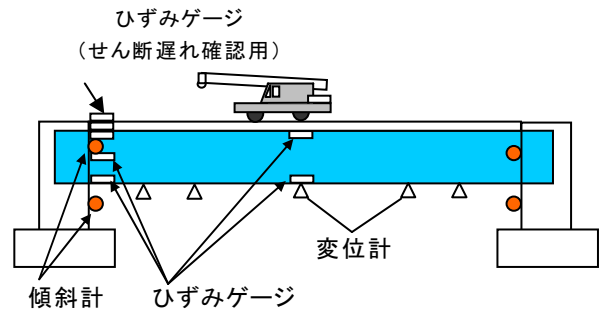


図-6 計測器設置箇所

4.4 結果と考察

- ① 静的載荷時の変位の計測結果より、地盤バネは設計値より大きく、固定に近い値を示した。これはバネの誤差だけでなく、橋台背面の裏込め土の影響があると考えられる(解析では未考慮)。この点はバネに換算するなど、適切な評価方法を検討することが今後の課題と考えられる。
- ② 静的載荷時の床版、主桁のひずみ分布では、設計の仮定とほぼ同様の傾向を示している。基礎バネ

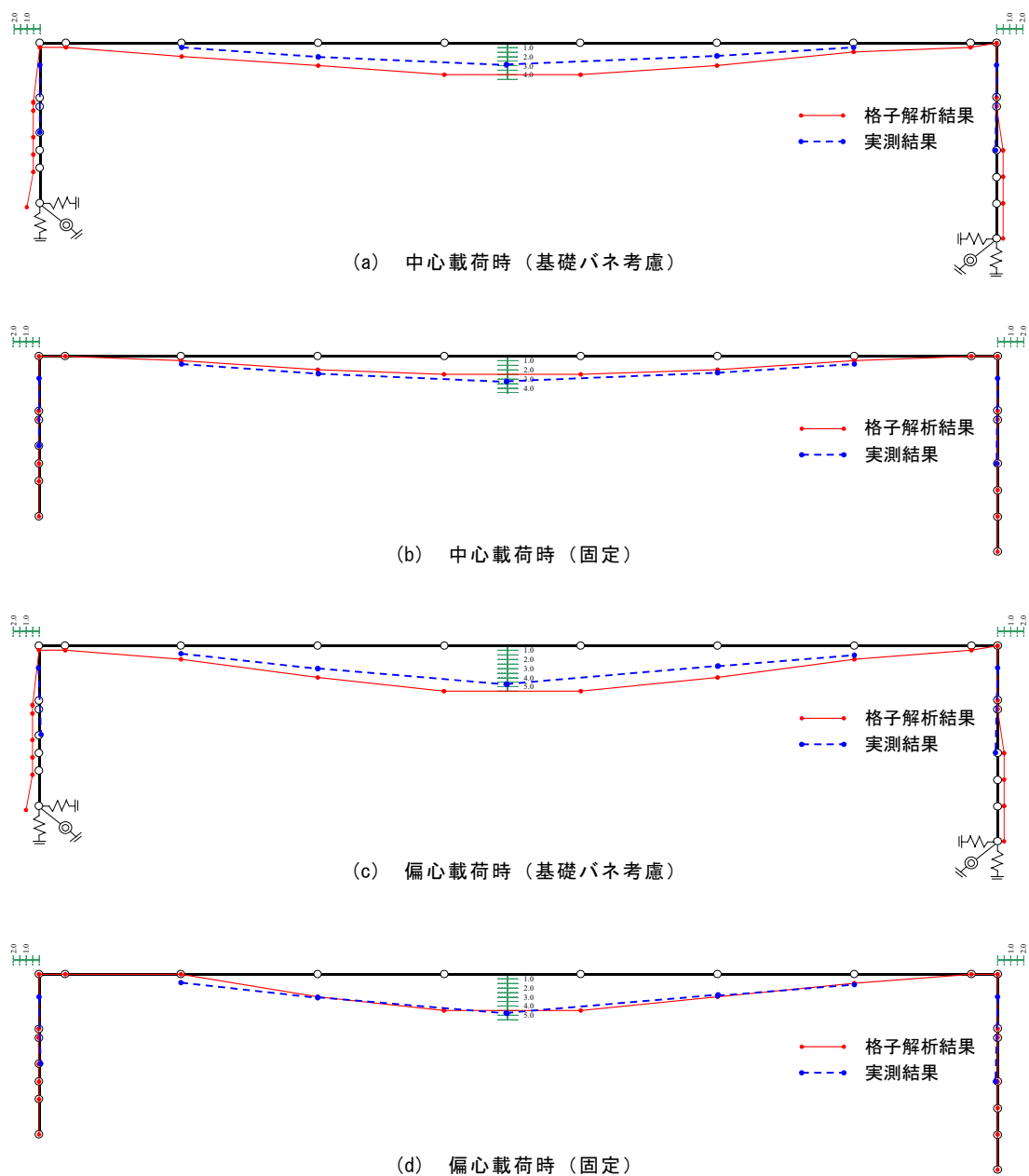


図-7 試験車静的載荷時のG2析変位

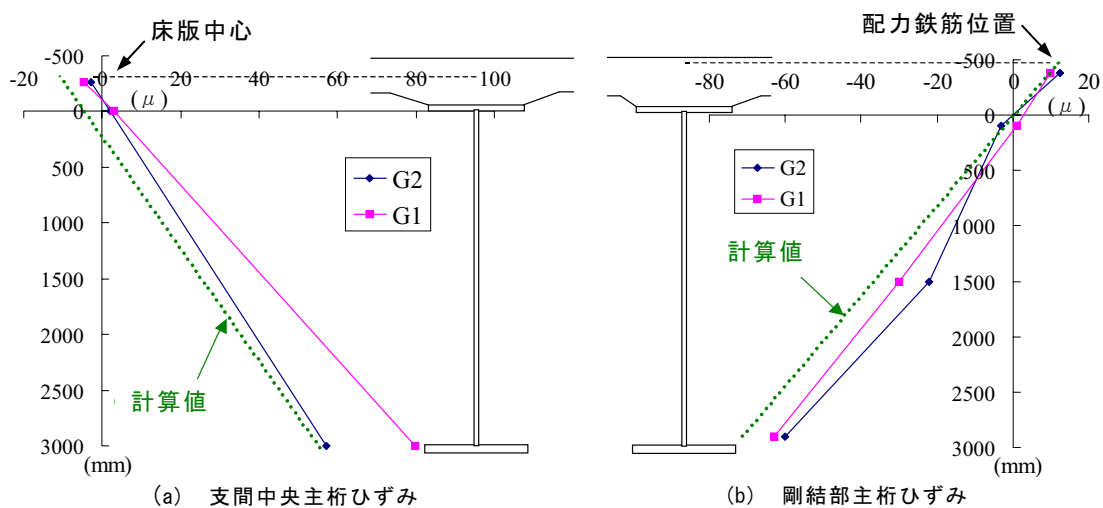


図-8 中心載荷時主桁ひずみ分布



(a) 人力による加振



(b) クレーン車による加振

写真-6 振動実験状況

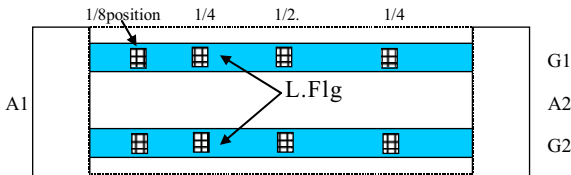


図-9 加速度計設置箇所

表-1 固有値の計測結果 (Hz)

	解析値	計測値	解析 / 実測
たわみ 1 次	4.35 (6.50)	5.18	0.840 (1.255)
ねじり 1 次	5.88 (6.50)	5.03	1.169 (1.292)

()内は固定ばりとしての計算結果

表-2 対数減衰率

	G1	G2	平均値
たわみ 1 次	0.027	0.031	0.029
ねじり 1 次	0.033	0.030	0.032

を固定にして解析すると、断面力は 10%程度変化するので、実際の差はこの間にあると考えられる。

- ③ 鋼ポータルラーメン橋という構造でありながら、他の 2 主桁と同様に減衰しにくいことが明らかとなった。本橋では近隣に民家は存在しないが、市街地で同様の構造を採用する場合は、全体のねじり剛性を高めるなどの配慮が必要と考えられる。
- ④ 経時挙動の測定データ（初期値）として冬期における橋体の変位を光波側距儀にて測定した。同時に計測した変位計との誤差は最大 2mm 程度であったので実用上問題ないと判断し、今後は橋体に設置したターゲットを年 4 回観測し、全体の温度変化による経時挙動を測定する予定である。

5. あとがき

本橋の施工で得られた経験や計測データは、今後の同様の構造へ活用され、一層の発展に結びつければ幸いである。今後は、年間を通じた橋体の経時挙動計測から特性を把握し、維持管理の方針を構築することも重要であると考えられる。最後に、本工事における剛結部載荷実験、設計手法の検討に際し、多大のご指導、ご協力を賜った大阪工業大学の栗田章光教授、西日本高速道路株式会社、株式会社ドゥユー大地、株式会社フジエンジニアリングの関係各位に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) David I.H., Don W.K. and Gordon W.R., “Integral Abutment Bridges – Design and Constructibility”, *Developments in Short & Medium Span Bridge Engineering*, 2002.
- 2) (財) 土木研究センター, 新日本製鐵: インテグラル橋の計画ガイドライン (案), 2004.3.
- 3) 芦塚, 宮田, 坂手, 木曾, 栗田: 直接基礎を有する鋼ポータルラーメン橋の設計と剛結部構造の合理化, 土木学会構造工学論文集 Vol.53A, 2007.3.
- 4) Ashizuka K., Sakate M., Kiso S., and Kurita A., “Proposal for Rationalization of Connection Detail between Steel Girder and RC Abutment for a Portal Rigid Frame Bridge”, *Proceedings of The 7th German -Japanese Bridge Symposium*, 2007.
- 5) 佐古, 木曾: 鋼ポータルラーメン橋の設計と施工, ハルテック技報, Vol.3, 2006
- 6) 芦塚, 宮田, 江頭, 木曾, 栗田: 鋼ポータルラーメン橋の施工と実橋載荷実験, 土木学会第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム, 2007.9
- 7) 岩崎, 天満, 新平, 津田, 栗田: インテグラルアバット橋のアプローチスラブに関する調査・研究, 橋梁と基礎, 2008.7