

大分自動車道平川橋PC連結合成桁橋の実橋試験

水田 富久*1・相葉 忠一*2・武藤 正人*3

1. はじめに

平川橋は、大分自動車道の湯布院インターチェンジの西約1 kmに位置し、阿蘇くじゅう国立公園、湯布院温泉に近接し、JR 久大本線に併走しつつ大分川の支流平川を跨ぐ、橋長 289 m (上り線)、212 m (下り線)の橋梁である (写真-1)。

本橋は、RC 中空床版橋と 2 径間および 3 径間の PC 連結合成桁橋 (RC 連結方式連続桁橋) からなり、そのうち、PC 連結合成桁橋は支間長が 38.5 m~39 m と、同形式の橋梁としては最大級である。また、日本道路公団としても、従来の PC 連結合成桁橋の適用支間長 35

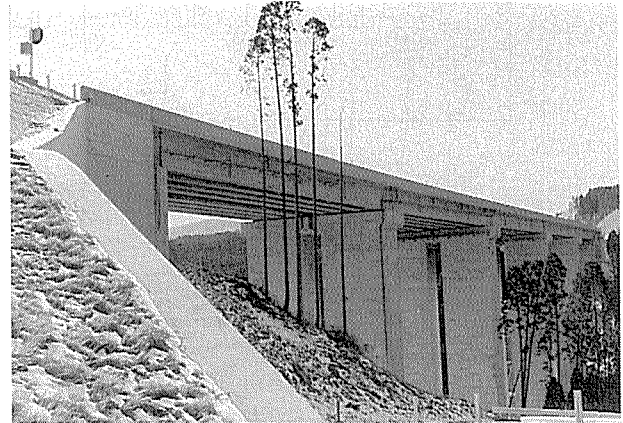


写真-1 大分自動車道平川橋

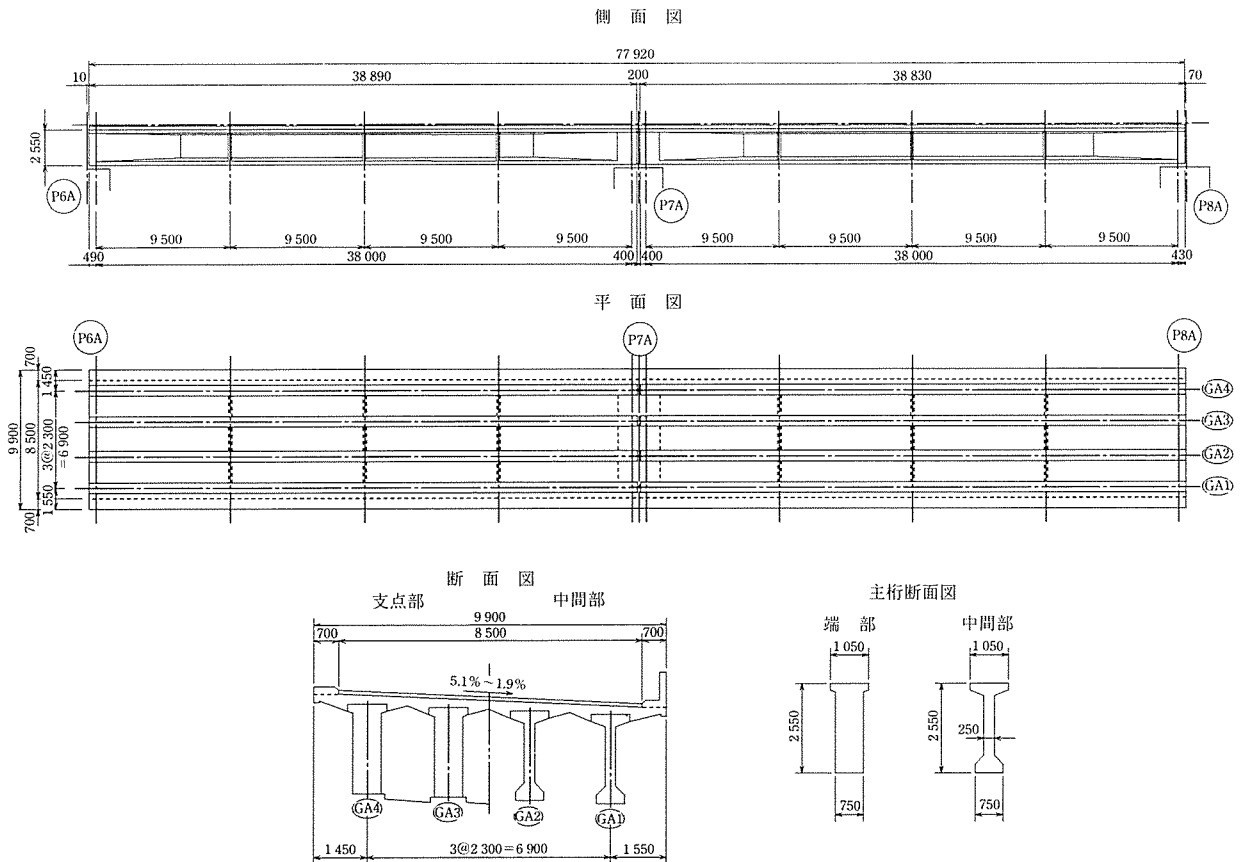


図-1 構造一般図

*1 Tomihisa MIZUTA : JH 日本道路公団 福岡管理局下関管理事務所 副所長

*2 Tadakazu AIBA : JH 日本道路公団 福岡建設局日田工事事務所 工事長

*3 Masato MUTO : 飛鳥建設(株) 技術本部土木技術開発部

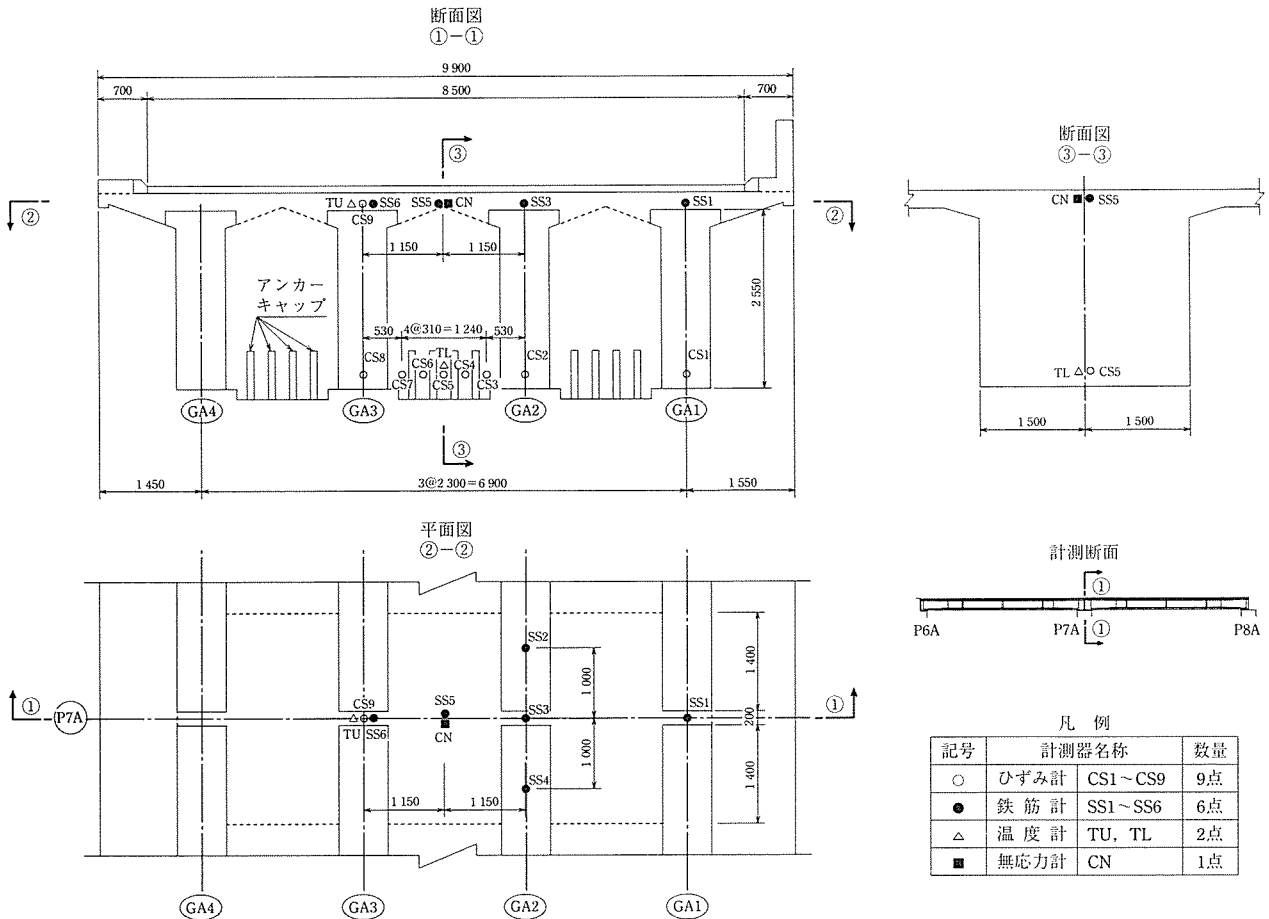


図-2 計器配置図

m を超えるものであるため、連結部の設計の妥当性を検証するために、実橋試験を行った。

本文は、平川橋 PC 連結合成桁橋にて行った実橋試験結果について報告するものである。

2. 試験概要

試験は、ダンプトラックによる実橋載荷試験と連結部の長期ひずみ・応力計測を行っており、その目的は、以下の3項目である。

- 1) 活荷重に対して連続桁として挙動することを確認する。
- 2) 活荷重による連結部下側圧縮部の応力の流れを調べる。
- 3) 乾燥収縮およびクリープによる連結部のコンクリートひずみおよび鉄筋応力を確認する。

試験対象とした橋梁は、平川橋のうち、上り線2径間PC連結合成桁橋である。図-1に構造一般図を示す。

3. 計測項目および計器配置

計測は連結部断面のみで行っており、計測項目およびそれに対する計測器は以下のとおりである。

- 1) 床版鉄筋応力（鉄筋計）

- 2) コンクリートひずみ（ひずみ計）
- 3) コンクリート無応力ひずみ（無応力計）
- 4) コンクリート温度（温度計）

図-2に計器の配置を示す。なお、計測方向はすべて橋軸方向とした。

4. 実橋載荷試験

載荷試験は、橋体完成後（舗装を除く橋面工施工後）に行った（写真-2）。



写真-2 実橋載荷試験

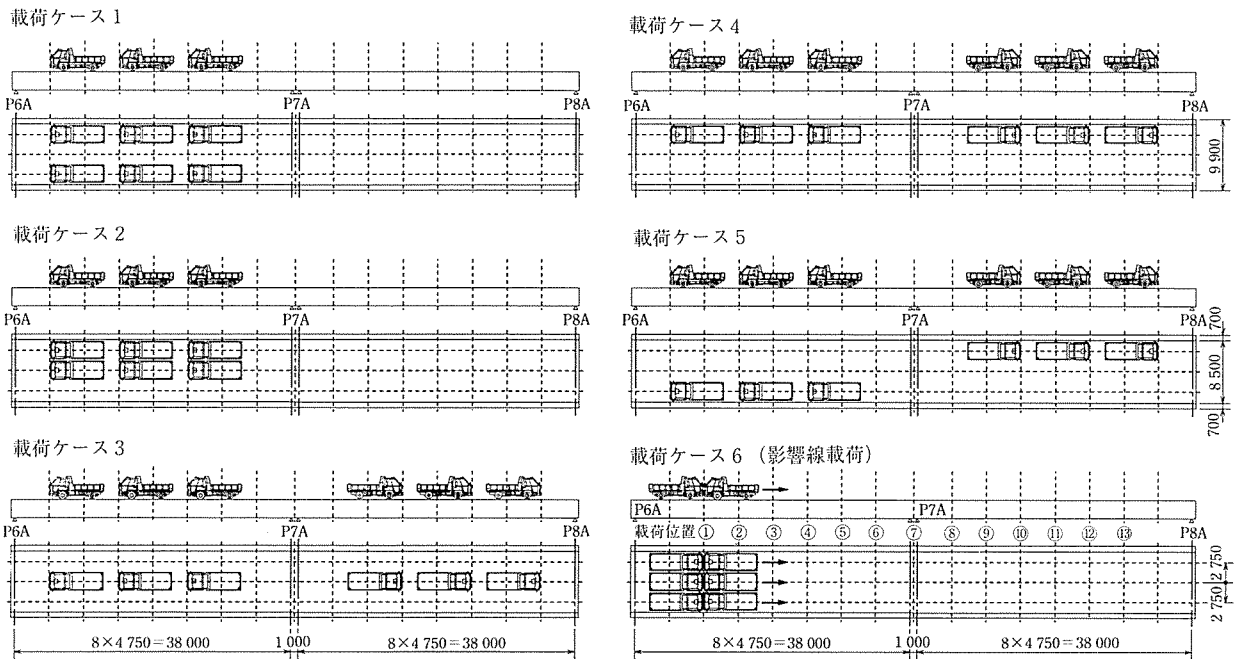


図-3 荷重載荷ケース

4.1 試験方法

試験は、荷重としてダンプトラック6台を載荷することにより行った。ダンプトラックの重量は平均で24.3 tであり、重心位置は前面より4.44 mの位置であった。

試験は、図-3に示す6つの載荷ケースについて行った。ここで、載荷ケース6は、荷重を少しずつ移動させて行う影響線載荷である。

載荷試験時の計測項目は、連結部の床版鉄筋応力とコンクリートひずみである。なお、これらの計測値は温度変化の影響を強く受けるため、各載荷ケースの直前または直後に荷重無載荷状態で測定を行って初期値とすることにより、温度変化の影響を排除した。

4.2 試験結果

(1) 連結部下側コンクリートひずみ分布

図-4に連結部下側コンクリートひずみ分布を示す。コンクリートひずみは主桁位置で最も大きくなっているが、主桁間の横桁部分にもある程度のひずみが生じており、圧縮力は主桁幅の断面以外の横桁断面にもかなり流れていることがわかる。載荷ケース2と5でひずみ分布がやや乱れているのは、これらのケースが連結部にねじりを生じさせる荷重載荷であり、ねじりによるひずみが一部含まれているためであると思われる。

(2) 連結部床版鉄筋応力の橋軸方向分布

連結部床版鉄筋応力の橋軸方向分布を図-5に示す。

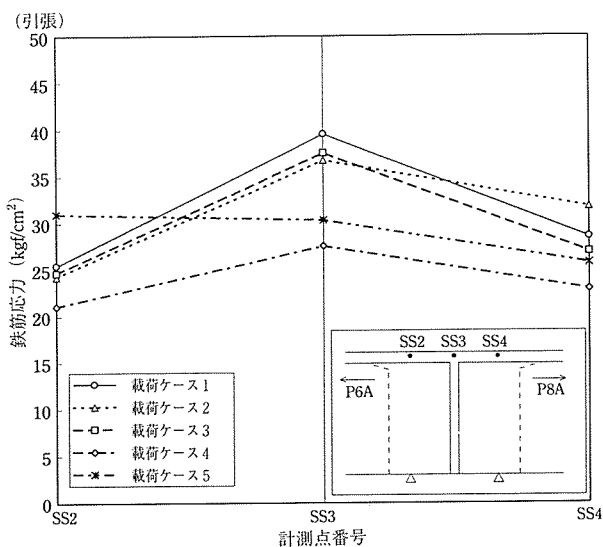


図-4 連結部下側コンクリートひずみ分布

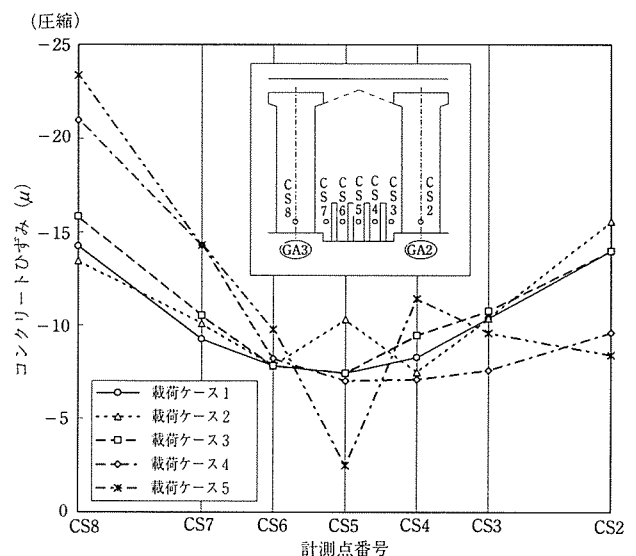


図-5 連結部床版鉄筋応力の橋軸方向分布

◇研究報告◇

中間支点横桁の中心で鉄筋応力が最も大きくなる分布を示している。

(3) 連結部床版鉄筋応力の橋軸直角方向分布

連結部床版鉄筋応力の橋軸直角方向分布を図-6に示す。主桁上の鉄筋に比べて主桁と主桁の間に位置する鉄筋の応力がかなり小さく(概ね6割程度)、床版鉄筋応力は橋軸直角方向にかなり不均一な分布となっているこ

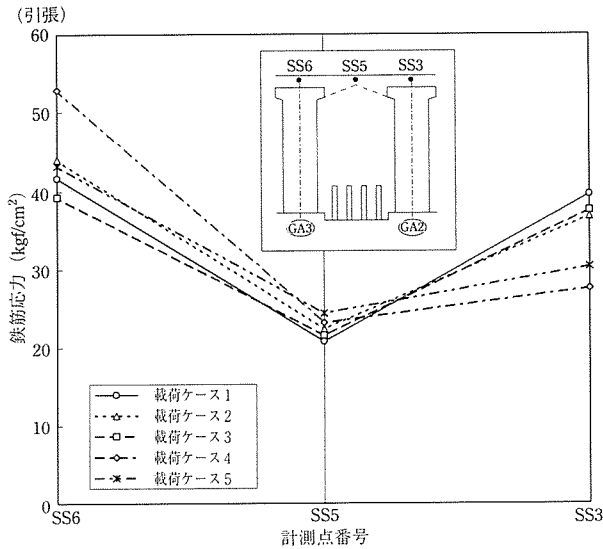


図-6 連結部床版鉄筋応力の橋軸直角方向分布

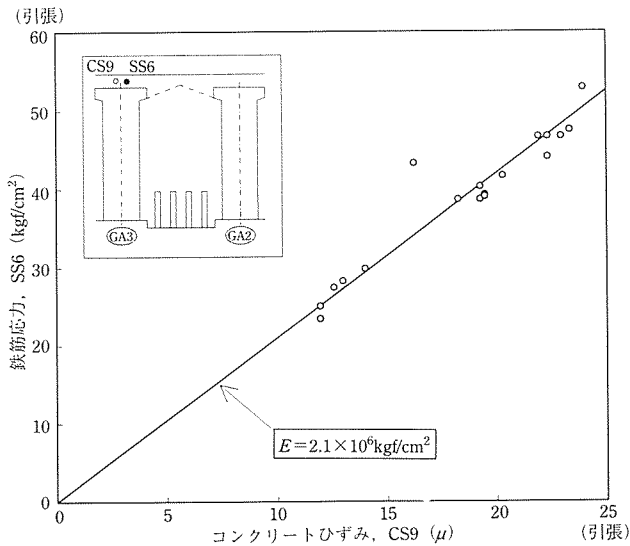


図-7 連結部床版鉄筋の応力～ひずみ関係

とがわかる。

(4) 連結部床版鉄筋の応力～ひずみ関係

図-7は、床版内のほぼ同じ位置に配置されたコンクリートひずみ計と鉄筋応力計の計測結果を、各荷重載荷状態に対してプロットしたものである。床版コンクリートにひびわれが発生していなければ、コンクリートと鉄筋のひずみは同じであるので、同図は鉄筋の応力～ひずみ関係を表していることになる。同図上には鉄筋のヤング率($E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)を表す直線を示しているが、試験時の鉄筋の応力～ひずみ関係はほぼこの直線上に乗っており、このことから床版にはひびわれが発生していないものと考えられる。試験時の目視による観察によっても床版のひびわれは観察されていない。

4.3 シミュレーション解析および試験結果との比較

連結部の活荷重に対する設計の妥当性を検証するために、設計と同じ構造条件によるシミュレーション解析を行って、試験結果と比較した。

試験結果に対するシミュレーション解析では、まず、図-8に示す平面骨組みモデルに、試験時荷重に相当する荷重を面外方向に載荷し、連結部に作用する曲げモーメントを求めた。ここで、各支点はゴム支承に相当するバネ支持とした。その結果、荷重試験時の連結部曲げモーメントは、活荷重に対する設計曲げモーメントに対して、中桁で最大65%、外桁で最大80%であることがわかった。

次に、求めた曲げモーメントから床版鉄筋の応力あるいは下側コンクリートひずみを求めた。この時、有効断面として図-9に示す断面を仮定し、試験結果より床版にはひびわれが発生していないものとして、引張領域も有効とした。この断面は、床版と主桁の断面のみを有効としたもので、本橋の連結部の設計において考慮された断面と同じである(ただし、設計においてはRC断面として設計しており、コンクリートの引張応力は無視されている)。

以下、試験結果と解析結果を比較して述べる。ただし、解析結果では鉄筋応力やコンクリートひずみが主桁位置でのみ求まっているため、比較についても主桁位置でのみ行っている。

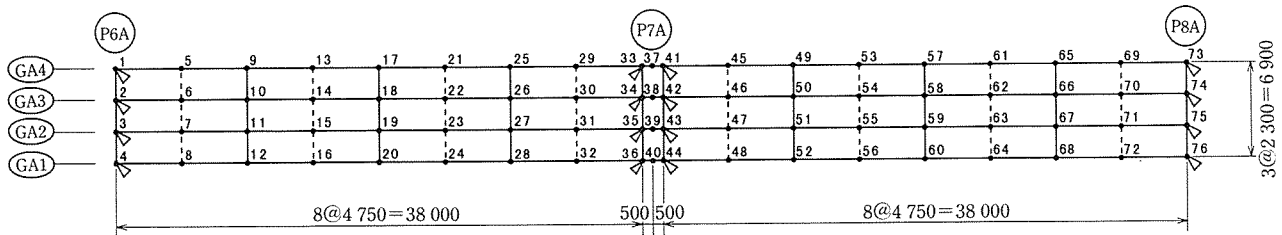


図-8 解析モデル図

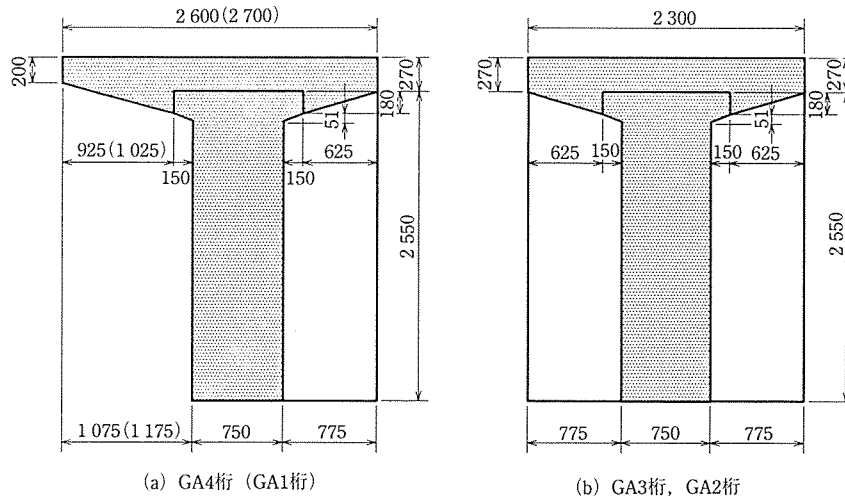


図-9 仮定した連結部有効断面

(1) 連結部下側コンクリートひずみ

連結部下側コンクリートひずみの比較を図-10に示す。全体的に試験結果の方が解析結果より小さくなっており、中桁(GA 2, GA 3桁)の方が外桁(GA 1桁)より試験結果と解析結果の違いが大きい。これは、解析ではコンクリートひずみを求める時の有効断面(図-9)として主桁幅のコンクリート断面のみ考慮していることが理由と思われる。すなわち、載荷試験では主桁幅以外の断面のコンクリートにも応力がかかり流れていることが確認されており、このことによって主桁位置でのひずみが小さくなっているものと考えられる。また、中桁の方が外桁に比べて試験結果と解析結果の差が大きいのは、無視している主桁幅以外の横桁断面が外桁より中桁の方が多く(約2倍)ことがその理由であると考えられる。

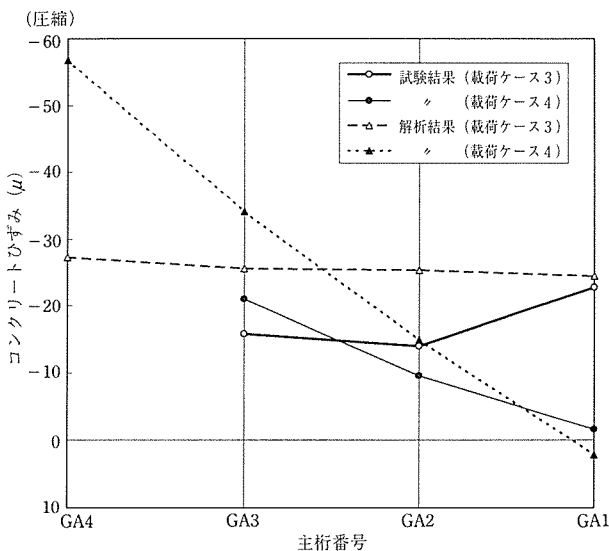


図-10 連結部下側コンクリートひずみの比較

(2) 連結部床版鉄筋応力

連結部床版鉄筋応力の比較を図-11に示す。鉄筋応力は試験と解析で良く一致しているが、解析結果の方が試験結果に比べてやや小さめとなっている。これは、前述したように、載荷試験では床版鉄筋応力は橋軸直角方向に様ではない分布をしており、主桁上では鉄筋応力が大きく、主桁間は小さくなっているためであると思われる。ここで比較しているのは主桁上の鉄筋応力であり、解析結果は平均的な鉄筋応力を表しているため、試験結果より小さくなっているものと考えられる。

(3) 影響線載荷による連結部下側コンクリートひずみ

影響線載荷による連結部下側コンクリートひずみの変化を図-12に示す。試験結果と解析結果で変化形状は相似であるが、試験結果の方が解析結果より小さい。ま

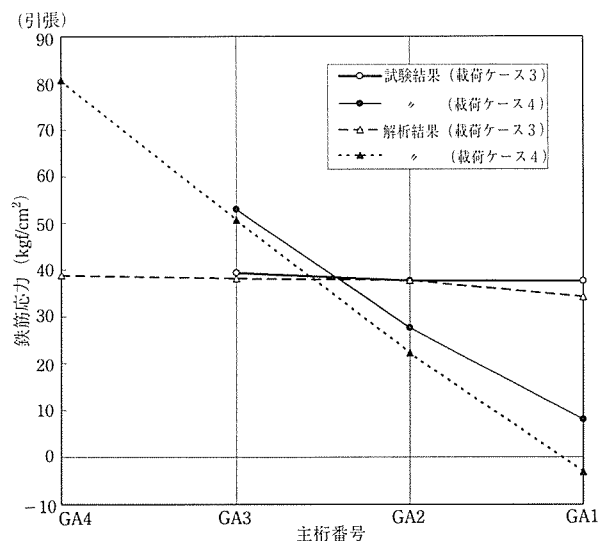


図-11 連結部床版鉄筋応力の比較

◇研究報告◇

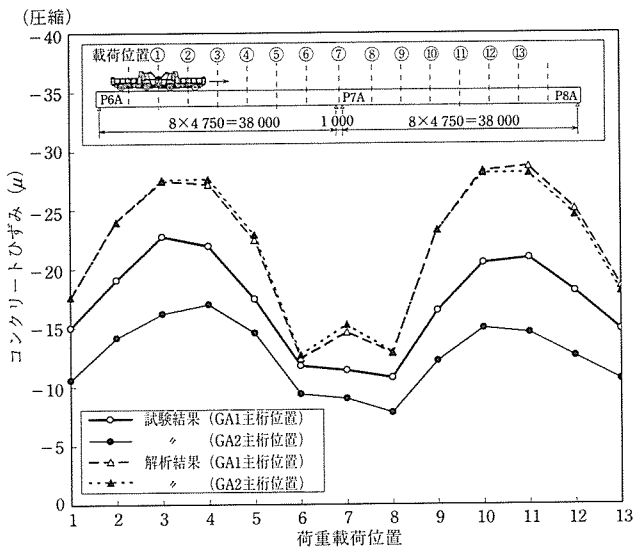


図-12 影響線荷重による連結部下側のコンクリートひずみの比較

た、外桁 (GA 1 桁) に比べて中桁 (GA 2 桁) の方が試験結果と解析結果の違いが大きい。これは、(1) に述べた理由によるものである。

(4) 影響線荷重による連結部床版鉄筋応力

影響線荷重による連結部床版鉄筋応力の変化を図-13 に示す。試験結果と解析結果は、試験結果の方がやや大きいものの、良く一致している。試験結果の方が大きい理由は、(2) で述べたとおりである。

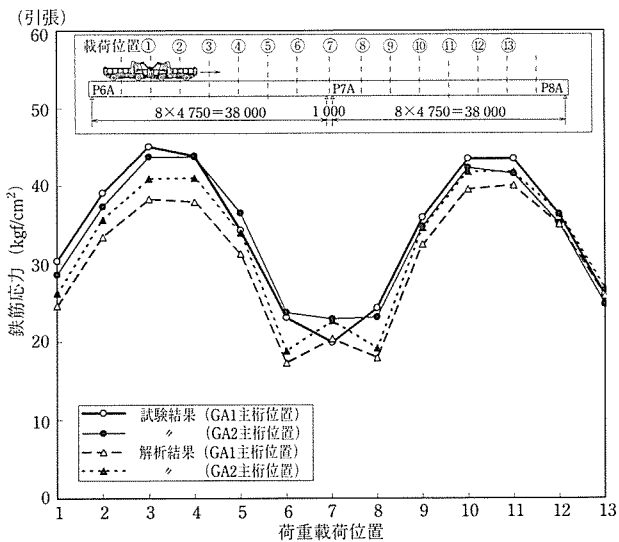


図-13 影響線荷重による連結部床版鉄筋応力の比較

4.4 まとめ

実橋荷重試験によって以下の結論が得られた。

- 1) 連結部に作用する曲げモーメントによって生じる下側コンクリート圧縮応力および床版鉄筋応力について、実橋荷重試験結果と、設計時と同じ連結部の有効断面を考慮した解析結果とを比較した。その結

果、解析では下側コンクリート圧縮応力については過小評価するが、床版鉄筋応力については妥当な値を与えることがわかった。これより、設計時に仮定した有効断面の考え方は、安全側で妥当なものであると言える。

- 2) 影響線荷重による連結部の床版鉄筋応力とコンクリートひずみを、荷重試験と解析で比較した結果、両者の影響線は相似形であり、本橋は活荷重に対して連続桁として挙動していることが確認された。
- 3) 連結部床版のコンクリートひずみと鉄筋ひずみが一致しており、床版には橋軸直角方向のひびわれが生じていないものと推察された。

5. 連結部の長期計測結果

長期計測は、連結部に埋設された計測器を用いて、中間支点横桁を施工してから約4ヶ月間にわたり、3時間間隔で行った。表-1 に計測の工程とその間の施工状況を示す。

表-1 計測工程

年月日	計測工程	施工状況	
1995年8月3日,9日	計測開始	床版打設	
1995年8月10日		中間支点横桁打設	
1995年8月18日		中間支点横桁緊張	
1995年9月5日		地覆(中分側)打設	
1995年9月12日		壁高欄打設	
1995年9月25日	実橋荷重試験	地覆(路肩側)打設	
1995年10月12日		舗装(レベリング層)施工	
1995年10月26日			
1995年12月1日			計測終了

5.1 計測結果

(1) コンクリートひずみの経時変化

コンクリート中に埋設されたひずみ計は、コンクリートとの線膨張係数の違いにより温度変化によってみかけのひずみを生ずるため、この温度変化による見かけのひずみ分を計測データより補正する必要がある。コンクリートの温度変化は図-14 に示すとおりであった。ま

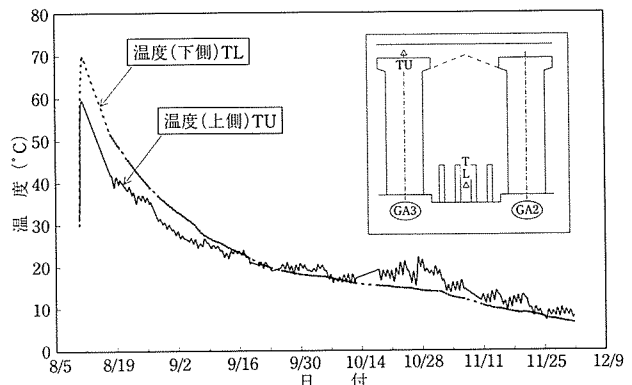


図-14 連結部コンクリート温度の経時変化

た、コンクリートの線膨張係数は、連結部床版内に埋設した無応力計の計測結果より、 $9.58 \mu/\text{C}$ と求まった。

上記温度変化に対する補正を施して得られた連結部下側コンクリートひずみの経時変化を図-15に示す。コンクリートひずみの経時変化には、主桁と床版の温度差等によるものと考えられる日変動が見られる。全般的には、連結部下側のコンクリートひずみは引張り側に、連結部床版のコンクリートひずみは圧縮側に移行する傾向がある。

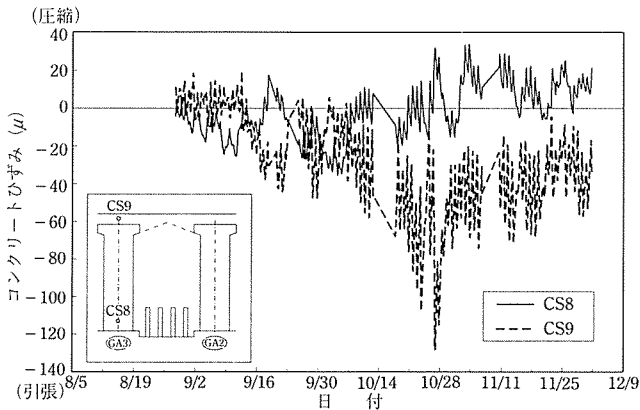


図-15 連結部下側コンクリートひずみの経時変化

(2) 連結部床版鉄筋応力の経時変化

連結部床版鉄筋応力の経時変化を図-16に計測値として示す。床版鉄筋応力についても、コンクリートひずみ同様、主桁と床版の温度差等によるものと考えられる日変動が支配的となっている。ただし、全般的に見て、圧縮側あるいは引張り側に偏っていくはっきりとした傾向は見られない。

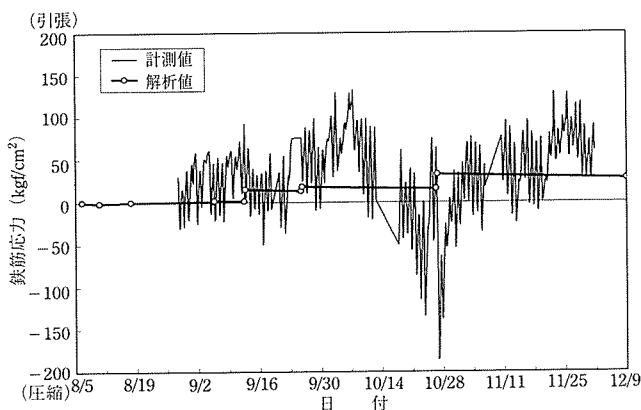


図-16 連結部床版鉄筋応力の経時変化の比較 (GA 2 桁位置)

(3) 連結部床版鉄筋応力の経時変化の計算値との比較

連結部には、以下の要因によって断面力が発生し、時間とともに変動する。

- 1) 後死荷重：中間支点横桁を打設して、連続桁と

なった後に施工される地覆・高欄・舗装によって負の曲げモーメントが生じる。

- 2) クリープ変形拘束：単純桁として架設されたプレキャスト桁のクリープ変形が、中間支点横桁打設による連続桁化により拘束され、連結部に曲げモーメントが生じる。また、プレキャスト桁と床版の材齢差により、クリープ差が生じ、これによる変形が中間支店で拘束されるために、連結部に曲げモーメントが生じる
- 3) 乾燥収縮差：プレキャスト桁と床版の材齢差により、乾燥収縮差が生じ、これによる変形が中間支店で拘束されるために、連結部に曲げモーメントが生じる
- 4) 主桁と床版の温度差：主桁と床版の温度差による桁の変形が、中間支店で拘束されるために、連結部に曲げモーメントが生じる。

上記要因による曲げモーメントの発生に伴い、連結部床版鉄筋応力も変動する。図-17は、クリープ・乾燥収縮・後死荷重（地覆・高欄・舗装）による連結部床版鉄筋応力の計算値の経時変化を示したものである。これによれば、クリープ変形拘束による応力と乾燥収縮差による応力はほぼ打ち消し合い、後死荷重による応力変動のみが残る結果となっている。この計算値を、図-16に実際の計測結果を重ねて示す。これによると、計算値に比べて計測結果は、はるかに鉄筋応力の変動が大きいことがわかる。これは、計算値には、温度差等による応力変動を考慮していないからである。さらに、表-1に示したように、計測期間中には舗装をはじめとしているいろいろな作業が行われており、これらの作業による温度変化や作業荷重による影響も計測結果に表れているものと考えられる。このような応力変動は、クリープ変形拘束や乾燥収縮差によるものに比べてかなり大きなものである。

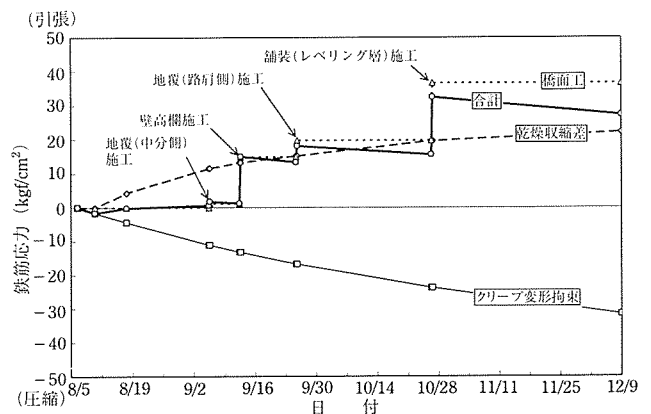


図-17 連結部床版鉄筋応力の経時変化の計算値(GA 2 桁位置)

◇研究報告◇

5.2 ま と め

連結部の長期計測によって、以下の結論が得られた。

- 1) 今回の計測の期間内では、床版鉄筋については、圧縮側あるいは引張り側に移行するはっきりした傾向は見られなかった。また、連結部のコンクリートひずみについては、下縁が引張り側に、上縁が圧縮側に移行する傾向が見られた。これは、プレストレスによるクリープ変形が卓越し、桁がそり上がるという設計の考え方と一致する。
- 2) 連結部床版鉄筋応力は、クリープ変形拘束・乾燥収縮差によるものに比べて、床版と主桁の温度差等による短期的な応力変動がかなり大きい。

6. お わ り に

連結合成桁橋は、類似の構造形式である連続合成桁橋(PC 連結方式連続桁橋)に比べて施工性に優れており、経済性においても有利となることが多い。しかし、

連結合成桁橋は PC 構造と RC 構造の複合構造であり、実橋における挙動が十分に解明されていないなどの理由により、これまでその適用支間長が連続合成桁橋に比べて短く制限されていた。これに対し、近年の建設業における生産性の向上・建設費の低減の流れのなか、連結合成桁橋が連続合成桁橋に代わって採用されることが多くなってきており、連結合成桁橋の適用範囲の拡大が望まれるところである。本研究がその一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 小林, 中田, 松永: 堺泉北有料道路 PC プレテンション連結桁の実橋試験, プレストレストコンクリート, Vol. 34, No. 5, pp. 77~85, 1992 年 9 月
- 2) 建設省土木研究所, (社)プレストレストコンクリート建設業協会: プレキャスト連結桁の設計法に関する共同研究報告書, 1992 年 2 月

【1997 年 6 月 20 日受付】