

実橋梁に用いたチャンネル形状プレキャストPC床版の トラック走行実験による床版性能の評価

Performance evaluation of Channel-shaped precast PC slabs applied to a highway bridge by running-truck loading tests

真鍋英規*, 松井繁之**

Hideki Manabe, Shigeyuki Matsui

* (株)富士ピー・エス 大阪支店 技術部 設計課長 (〒593-0012 大阪市北区芝田 2-2-1)

** 工博 大阪大学大学院教授, 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

Channel-shaped precast PC slabs (CPC slabs) prestressed in two directions were developed for decks on steel highway bridges. It has been shown in past studies that CPC slabs have large load carrying capacity and high durability against the traffic load. It was applied on the Kuwazai Bridge of three span continuous box girder bridge five years ago. Running-truck loading tests were carried out on the Kuwazai Bridge for evaluation of the performance, behavior of CPC slabs after five years service. The experimental data obtained by the tests were compared with the analytical values by FEM to ensure its soundness. Simultaneously flexibility of the composite action of the bridge was analyzed. The results showed that CPC slabs are still sound as all cross section concrete can be considered effectiveness.

Key Words: precast PC slab, performance evaluation, running-truck loading test, durability, composite effect

キーワード: プレキャストPC床版, 性能評価, トラック走行試験, 耐久性, 合成効果

1. まえがき

近年、鋼橋におけるコンクリート床版の損傷・劣化が大きな問題となり、床版の耐久性を向上させることが課題となっている。一方、建設工事ではコスト削減、周辺環境への配慮等の目的から、現場施工の省力化が強く望まれている。鋼橋における床版の耐久性を高め、現場施工の省力化を行う一方法として、プレキャストPC床版工法がある。従来のプレキャストPC床版は、ハンチは有するがその他は一定厚の、いわゆる平板タイプが一般的であるが、床版の力学特性の改善、現場施工性の改善、鋼桁製作時の影響等を考慮し、新形式のチャンネル形状プレキャストPC床版（以下チャンネル形状版と称す）が考案され実用化されている^{1) 2) 3)}。

チャンネル形状版は、床版にリブを設けることにより床版厚を橋軸方向に変化させている。図-1に構造概念を示す。このことにより活荷重による曲げモーメントの分布は床版厚の厚いリブ部へ分担が大きくなるが、従来の平板タイプの床版に比べ荷重の分配幅が広がり、設計上の有利点を見いだせる。チャンネル形状とするメリットは、耐久性の向上は当然ながら、従来のプレキャストPC

床版より軽量化が図れることおよび導入するプレストレス量を減ずることが可能となることである。また、チャンネル形状はリブとリブとの間に床版が薄くなる凹部があり、その部分へのスタッドの群配置が可能となるため、合成構造への適用が容易となる。施工面の特徴としては、チャンネル形状版ではリブ部のみ鋼桁と接触することになるが、従来版より鋼桁との連結部モルタルの施工が約1/2に減少できる。

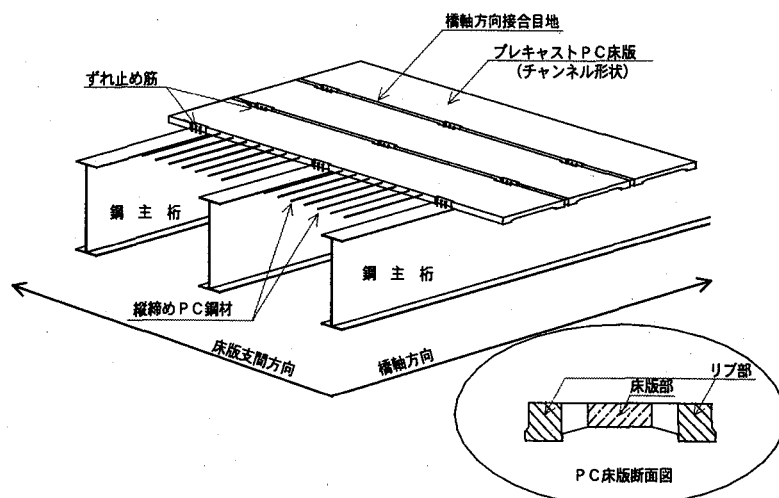


図-1 チャンネル形状版概要

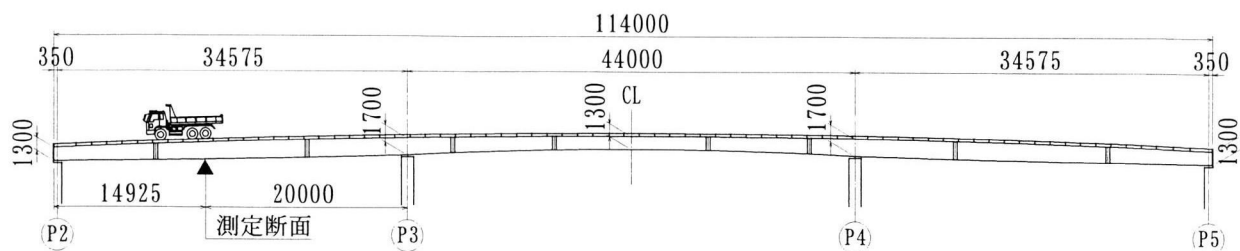


図-2 桑才新町跨道橋側面図

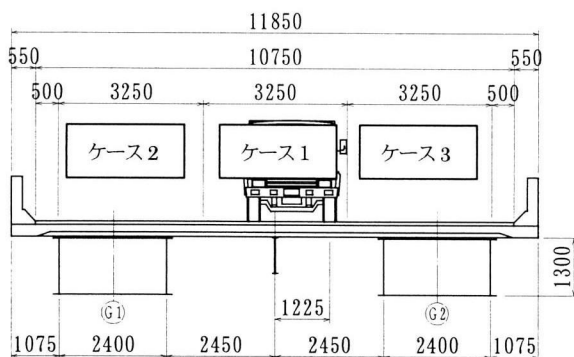


図-3 桑才新町跨道橋標準断面図

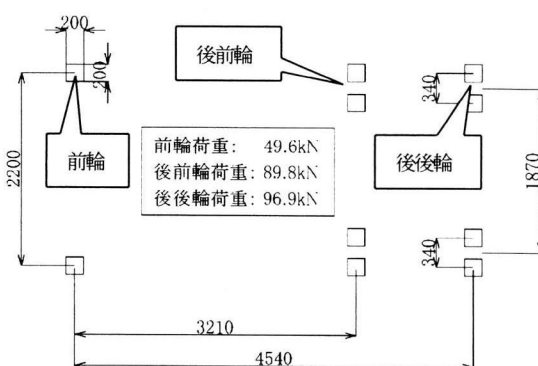


図-4 トラック車輪位置と各軸重

チャンネル形状版は現在までに主要高速道路の新設鋼桁へ数橋の適用事例があるが、それらの供用後の問題等は報告されていない。今回評価の対象となった橋梁は、大阪府道中央環状線に供用されている桑才新町跨道橋である。上部構造は床版にチャンネル形状版を適用した3径間連続鋼箱桁であり、平成9年度に竣工し現在にまで至っている。供用開始後5年を迎え、チャンネル形状版を対象とした外観目視調査を実施したが、特に異常等は認められておらず健全性を保っていると考えられる。しかし、実際の重交通下で供用されたチャンネル形状版の性能を評価するためには、実橋梁において実輪荷重載荷を行うことがより良い方法と言える。今回、桑才新町跨道橋において適用したチャンネル形状版の挙動の確認、および実際の交通履歴、輪荷重走行の影響を受けたチャンネル床版の現時点で性能評価を目的として、トラック走行載荷実験を行った。併せて、実験挙動の再現、実橋梁の床版と鋼桁の弾性合成効果を把握する目的から橋梁全体をモデル化しFEMによる弾性解析を行った。

2. 実橋梁におけるトラック走行実験

2.1 桑才新町跨道橋の概要

桑才新町跨道橋は、橋長 114.000m (支間 34.575m + 44.000m + 34.575m)、有効幅員 10.750m の3径間連続非合成鋼箱桁橋である。変断面の2主箱桁と断面中央には縦桁を有している。走行車線は3レーンとも南向き一方通行路となっている。上部工概要を図-2、3に示す。

床版には、現場工期の短縮および上部工重量の軽減を

表-1 床版合成応力度

単位: N/mm ²	床版支間中央部			
	橋軸直角方向		橋軸方向	
	上縁	下縁	上縁	下縁
自重	0.45	-0.62		
活荷重	3.15	-4.35	7.10	-7.10
有効プレストレス	6.28	6.62	2.19	7.11
合成応力度	9.88	1.65	9.28	0.01
許容値	0.0 < σ_{ca} < 17.0		-1.8 < σ_{ca} < 17.0	

注) 符号 (+)…圧縮、(-)…引張

主目的としてチャンネル形状プレキャストPC床版が採用された。チャンネル形状版単体は橋軸方向版幅 1.500m で製作される幅員方向長さ 11.850m、版厚の大きいリブ部を 27cm 厚に、内部の床版部は 17cm としたプレテンション部材である。鋼桁架設後、チャンネル形状単体版 73 枚をクローラクレーンにより架設し、単体版間の目地を無収縮モルタルにより充填を行い、その後縦締めプレストレスをポストテンション方式により導入し連続床版を構築した。鋼桁とチャンネル版の連結は、予め鋼桁上フランジ上にスタッドを配置しておき、チャンネル版には連結用切欠き部を設けておく。縦締め終了後、その連結用切欠き部に無収縮モルタルを充填するものである。チャンネル形状版は道路橋示方書の活荷重曲げモーメント式を用いて設計を行った。床版支間方向はフルプレストレス、橋軸方向はコンクリートの引張応力を制限値内で許容する設計とした。コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ とし、使用 PC 鋼材は床版支間方向: SWPR7A 1S15.2mm、橋軸方向: SWPR19 1S21.8mm、である。表-1 に床版

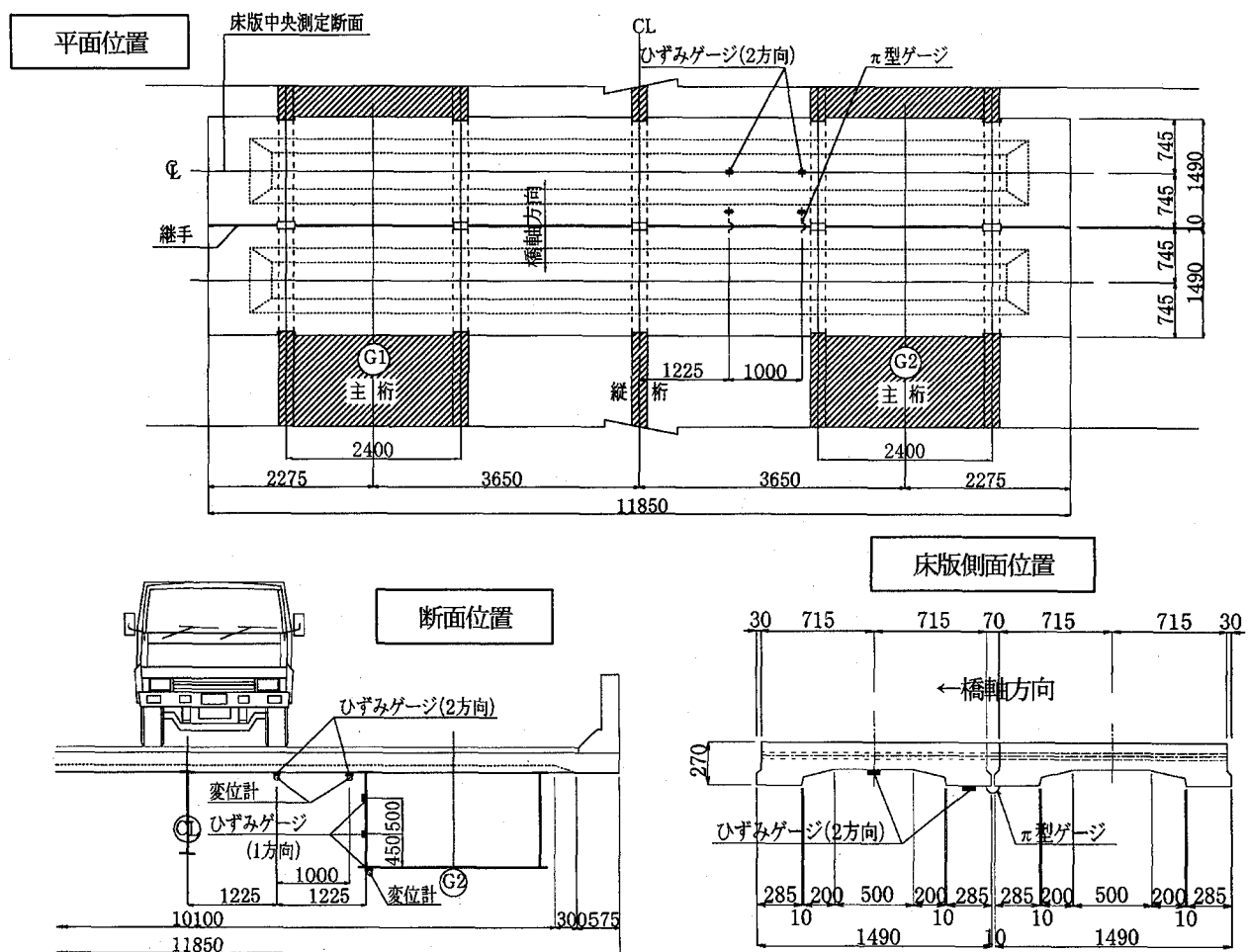


図-5 計測位置

の合成応力度を示す。

本橋梁は大阪府道中央環状線の跨道橋であり、大阪府門真市に位置している。日本道路公団近畿自動車道の門真ICの降口が隣接しており、中央環状線の本線と合流する非常に交通量の多い橋梁である。中央環状線の日交通量は1レーン当たり約25,000台であり、主要幹線道路の大型車混入量は約30%とすると7,500台の大型車が通行することになる。5年間では1レーン当たり約147万台の大型車が通行したことになり、その大型車の中でも少なからず過積載車が混入していることは容易に予測できる。

2.2 トラック走行実験

(1) トラック荷重および走行ケース

本橋梁が実交通に供用中であり、通行止めを伴う静載荷実験は困難であるため、載荷はトラックを走行させる動的載荷とした。試験に用いた車輛は3軸車で、トラックスケールによる計量から総重量:236kN、前輪軸重:49.6kN、タンデム前輪軸重:89.8kN、タンデム後輪軸重:96.9kNとなっている。図-4にトラックの車輪位置と各軸重を示す。走行ケースは各レーンを走行する3ケースとした。図-3に示す通りケース1については箱桁と縦桁で支持さ

れる中床版の支間中央を片側車輪が通る位置に設定した。一般交通開放下で走行試験を行うため、交通量の減少する深夜に実施した。一般の交通が途切れるタイミングを計り、走行速度は30km/hr一定で走行できるようにした。各ケースの走行は4回を基本として行った。

(2) 測定項目

測定は側径間支間中央付近の2枚のチャンネル形状版パネルに着目した(図-2の▲位置のパネル)。チャンネル形状版の挙動の確認する目的で、床版下面の床版支間方向と橋軸方向のひずみ(床版部、リブ部)、π型ゲージによりチャンネル版間の目地ひらき量、変位計を用いた床版のたわみ、等を計測した。また、鋼桁と床版の合成効果の把握を目的として、鋼桁のたわみ、鋼桁の橋軸方向ひずみを計測した。図-5に各計測位置を示す。データの計測には動ひずみ計を用いた。記録周波数を100Hzとして、トラックが橋梁に進入する直前から完全に橋梁を通過するまでの約30秒間の計測を行った。測定断面の端部で複数の光センサーを設けトラックの橋軸方向の通過位置を確認できるようにした。幅員方向はマーカーラインを設けその真上をトラックの車輪が通行するようにしたが、30km/hrで走行するトラックの位置合わせはドライバー

のテクニックに依るところが大きく、幅員方向での載荷位置については誤差が生じやすい。よって、ビデオと写真による位置確認を行いその誤差を把握することとした。

3. FEM による弾性解析

トラック走行実験に併せて、FEM による弾性解析を行った。FEM 解析は汎用プログラムの“FEMLEEG”を使用した。上部工全体のモデル化は、走行荷重の影響が及ぶ範囲（P2-P3 間）は詳細な分割要素を用い、その他の区間は各主桁、横桁の弾性係数、断面二次モーメント、面積、ねじり剛性を評価した梁要素を用い連続桁とした。コンクリートと無収縮モルタルのヤング係数は $E_c = 3.3 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、鋼桁のヤング係数は $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ を用いた。図-6 に解析モデルを示す。P2-P3 間では、床版コンクリートは3次元8節点および6節点ソリッド要素を用い、鋼桁は4節点および3節点プレート要素を用いた。ソリッドおよびプレート要素は全てアイソパラメトリック要素である。実際の床版と鋼桁の結合はスタッドと無収縮モルタルによるもの（写真-1）であるが、この方法を用いると弾性合成桁の挙動を示すことが知られている⁵⁾。解析では、図-6 の e) に示す結合部分の無収縮モルタルを要素として評価し、鋼桁要素と結合部要素はダブル節点とし、鉛直方向は剛結合、水平2方向には水平バネを用いた。解析では、スタッドのバネ定数を表-2 のように変化させている。

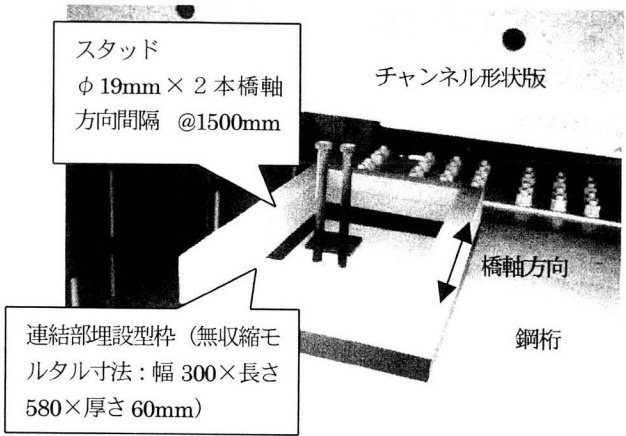


写真-1 連結部スタッド配置

表-2 スタッドφ19mm のせん断バネ定数

記号	解析ケース	バネ定数 (kN/cm/本)
	合成	
FA-1	完全合成(全面結合)	∞
FA-2	完全合成(リブ部結合)	∞
FA-3	弾性合成(×1/バネ)	2695
FA-4	弾性合成(×1/2バネ)	1348
FA-5	弾性合成(×1/3バネ)	898
FA-6	弾性合成(×1/10バネ)	270
FA-7	非合成	0

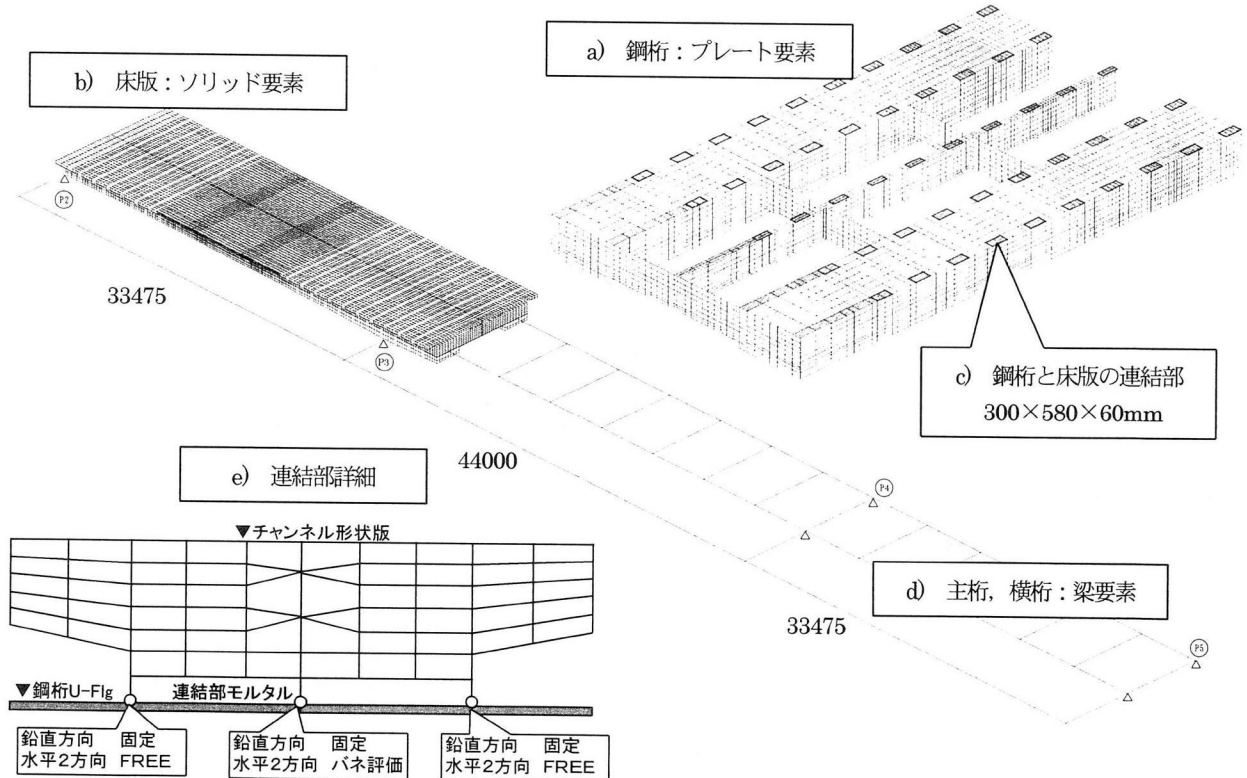


図-6 FEM 解析モデル

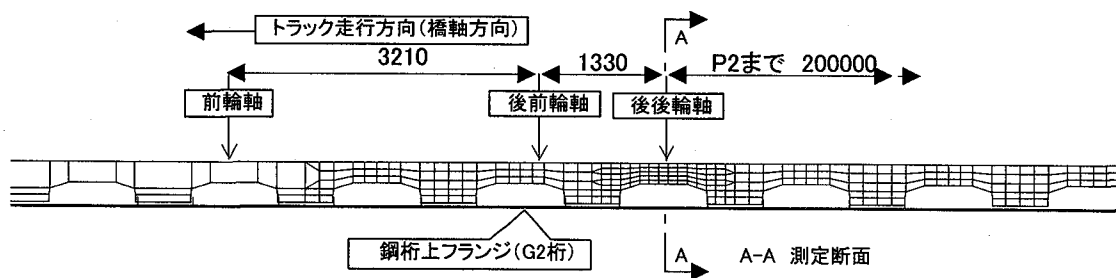


図-7 測定断面とトラック車輪軸の位置関係

表-3 実測値と合成度を変化させた解析値との比較

走行ケース: ケース1			完全合成		弾性合成				非合成		測定断面上の車輪軸の位置
比較項目	測定位置	単位	実測値※	全面結合	リブ部結合	×1/バネ	×1/2バネ	×1/3バネ	×1/10バネ		
床版下面橋軸方向ひずみ	床版部支間中央	μ	32.8	14.7	16.0	25.4	28.9	31.8	39.8	54.5	後前輪
	床版部支間中央	μ	35.8	18.0	19.5	29.0	32.4	34.8	43.0	57.4	後後輪
床版下面橋軸直角方向ひずみ	床版部支間中央	μ	27.3	28.2	28.2	29.6	29.9	30.1	30.9	33.2	後前輪
	床版部支間中央	μ	28.5	29.3	29.3	30.7	31.0	31.2	32.0	34.2	後後輪
床版たわみ	床版部支間中央	mm	-0.29	-0.20	0.22	-0.25	-0.26	-0.27	-0.29	-0.33	後後輪
鋼桁ひずみ 上段	下縁より950mm	μ	-16.2	12.3	9.6	-2.4	-6.9	-10.2	-21.0	-38.6	後後輪
鋼桁ひずみ 中段	下縁より450mm	μ	33.7	41.4	40.3	38.5	37.9	37.4	35.4	31.7	後後輪
鋼桁ひずみ 下段	下縁	μ	67.7	62.0	62.3	66.9	68.7	69.9	73.9	80.0	後後輪
鋼桁たわみ	下縁	mm	-6.17	-4.92	-5.01	-5.67	-6.05	-6.36	-7.56	-9.93	後後輪

注) ※走行ケース1における4回測定の実測値

4. 実験結果と考察

4.1 合成効果の検討

本橋梁は非合成桁として設計が成されているが、鋼桁とチャンネル形状版との結合は、リブ部でスタッドジベルを用いて行っている。スタッドジベル本数が少ないため弾性変形を起こし弾性合成桁の挙動を示すものと考えられる。実測における鋼桁下縁でのたわみは解析により求めた完全合成桁と非合成桁のたわみの中間的な値を示しており、弾性合成桁の挙動と考えられる。外観による床版の状況は、ひび割れが全く認められないことから、上記の認識の妥当性が高い。そこで、本橋梁における合成度を定性的、定量的に評価するために、文献調査によってスタッドのバネ定数のとり得る範囲を推定することにした。

解析に用いた基本バネ定数 (×1 バネ) はプレキャスト床版を用いた既往の押し抜き実験における平均値⁹⁾であり、φ19mm スタッドの残留ずれ $\delta=0.08\text{mm}$ に対する値である。平城らの研究⁹⁾では、φ19mm スタッドの残留ずれ $\delta=0.075\text{mm}$ に対するバネ定数は最大 1872kN/cm/本、最小 1405kN/cm/本となっており、実験シリーズの相違によりバネ値は変動している。また、応力履歴を受けたスタッドのずれ性状に関する研究⁷⁾では、φ19mm スタッドのバネ定数は、道路橋示方書で規定される許容せん断力 Q_a 以上の応力履歴を受けた場合、水平バネ定数が約 60%程度まで低下することが指摘されている。

本橋梁では、鋼桁と床版の連結による接触部分は 1.5m 当たり 0.54m と上フランジ長の約 1/3 の部分でしかない。また、現場施工では鋼桁上フランジに埃等による汚れが生じる可能性もあり連結部分の付着強度に影響を与えることも十分想定できる。併せて、本橋梁は供用後約 5 年間経過しており、2.1 述べたように過積載を含む重交通下の応力履歴を受けている。以上の現場状況を考慮すれば、実橋におけるスタッドのバネ定数は通常合成桁に用いられる値より低くなると考えられる。そこで、実橋における弾性合成効果を把握する目的から、FEM 解析に用いるスタッド水平バネ定数を 4 水準変化させ、実験値との比較を行った。解析に用いた各水準における φ19mm スタッド 1 本当たりのバネ定数を表-2 に示す。図-7 に測定断面(A-A)とトラック車輪軸の関係を示す。表-3 では、走行ケース 1 における各車軸が測定断面に載荷された場合の実測値と解析値との比較を示している。また走行ケース 1 における各合成度の測定断面のひずみ分布の比較を図-8 に示す。図-9 は走行ケース 3 における測定断面のひずみ分布の実測値と 1/3 バネ値を用いた結果との比較である。これらの図・表からバネ値 $k=898\text{kN/cm/本}$ (×1/3 バネ) の場合と実測値が良く合致していることが判る。ここでは、FEM による静的解析結果と衝撃の影響等の動的応答を含む実測結果を直接比較しているが、トラック一台による速度 $V=30\text{km/h}$ 程度の走行であれば衝撃の影響等は無視できるものと考えた。このような解析結果から、本論文の目

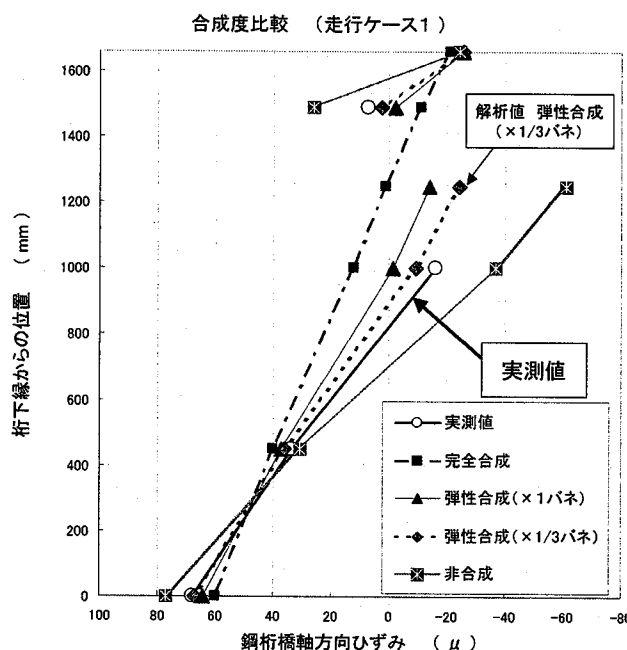


図-8 主桁断面のひずみ分布の比較 (ケース1)

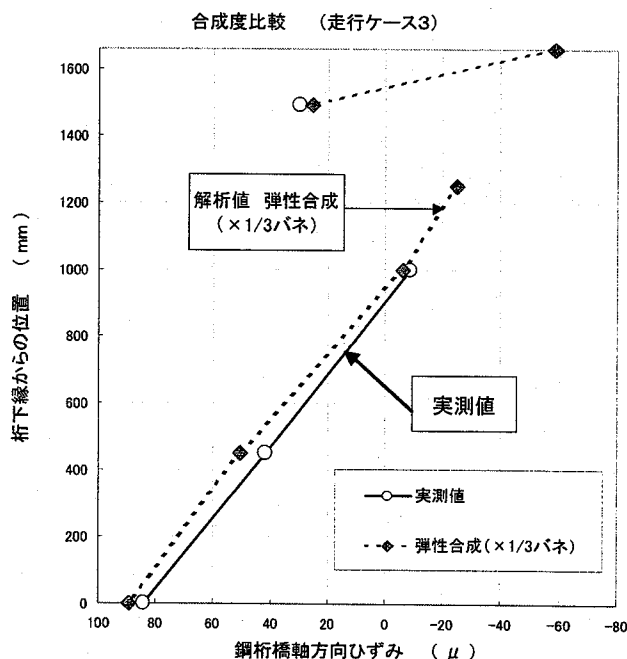


図-9 主桁断面のひずみ分布の比較 (ケース3)

的である床版の解析のためのFEM解析では1/3バネを用い計算し、実測値との比較検討を行った。

以上のように、非合成桁として設計された本橋梁においても弾性合成桁としての挙動が確認できた。主桁に関しては、非合成桁としての設計を行えば安全側の設計となるが、床版に関しては桁作用により負曲げを受ける支点部の床版が不利となる。しかしチャンネル形状版を使用する場合には、橋軸方向にもプレストレスが導入されており、桁作用に対して有利な構造と言える。従って、床版と主桁の水平せん断バネを適切に設定することによって弾性合成桁としての合理的な設計が可能となると考える。

4.2 計測の誤差

実橋計測では、トラックの走行速度は30km/hrで行うため幅員方向の載荷位置に誤差が生ずる。実測後のビデオによる位置確認では目標走行位置から±150mm程度のずれが認められるが、正確なずれを求めることは難しい。走行回数を多くすればデータの信頼性は上がることになるが、限られた時間内での走行実験となるため本実験では走行ケース1につき4回の走行を行った。走行ケース1の1回目から4回目の測定をC1-1～C1-4と表している。

各車軸が着目断面に載った場合の測定値の一例として、図-10に主桁のたわみ、また図-11に橋軸直角方向床版部下縁のひずみをそれぞれ示す。測定値のばらつきに関して、主桁のたわみより橋軸直角方向床版部の下縁ひずみの方が大きいことが判る。これは、走行位置つまり輪荷重の幅方向における位置の違いは、局部挙動である軸直角方向の床版部下縁のひずみには直接的に影響を与えるが、主桁

表-4 走行位置誤差の比較

測定回	走行ケース1			
	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4
ビデオ確認 後輪 (mm)	100	150	150	-100
解析推定 後前輪 (mm)	35	41	24	-108
解析推定 後後輪 (mm)	94	100	53	-129

※計画走行位置を±0とし、+はG1側、-はG2側を示

たわみのような全体の挙動値に対しては、走行位置に多少の誤差が生じてその影響が少ないことを証明している。

そこでFEM解析で、走行載荷位置の違いによる影響が最も大きい橋軸直角方向床版部下縁のひずみに着目し、計画走行位置に載荷する場合を基準として幅員方向に±100mmシフトさせた3ケース行った。解析から得られた輪荷重位置と床版ひずみの関係を直線近似し、実測値である床版下縁ひずみをその近似式に当てはめ走行位置を推定したものが、図-12が後前輪、図-13は後後輪の場合である。これらの図において、近似式から推定した走行位置は、後前輪と後後輪の場合ではその評価に若干の相違があるが、これは、衝撃等の影響と考えられる。ただし、その誤差は非常に小さいと言える。表-4に解析から得られた推定値とビデオによる位置確認で得られた情報を示すが、走行位置の誤差には大きな隔たりはなく、後後輪における評価のほうが精度良く一致している。走行ケース1の場合で確認できたように他の走行ケースの場合も同様に、その走行位置は大きな誤差はなく、4回の測定値の平均値を用いて各種検討を行うこととした。

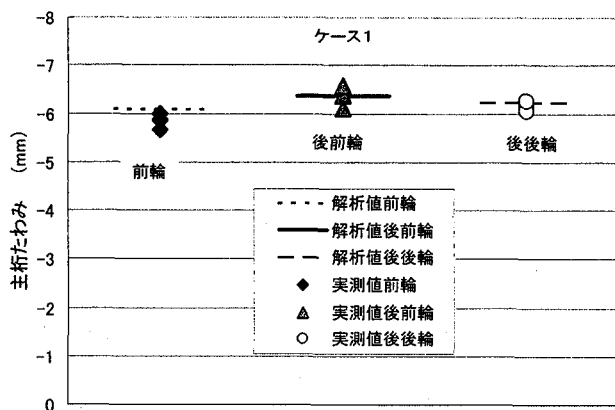


図-10 各車軸が着目断面上に載荷された時の主桁のたわみ

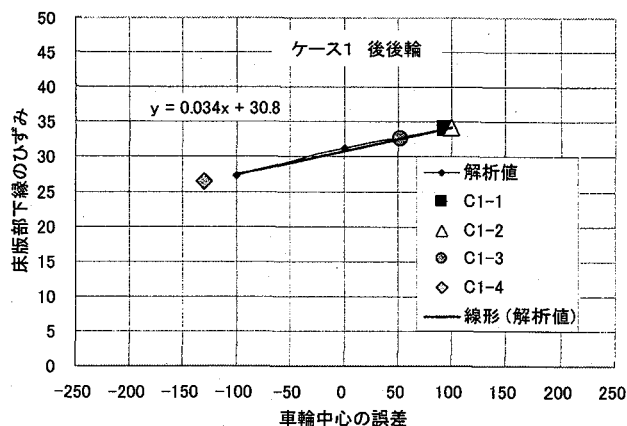


図-12 後前輪走行位置の推定

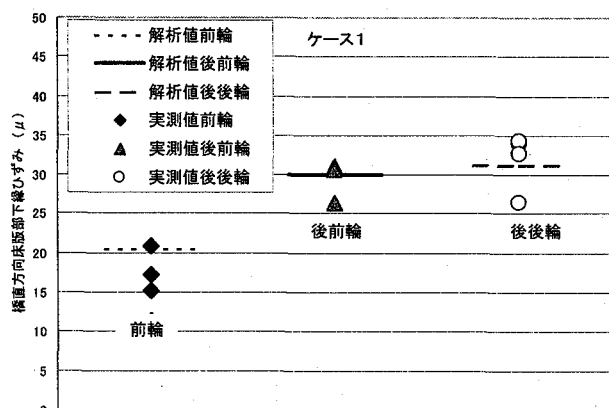


図-11 各車軸が着目断面上に載荷された時の橋直方向床版部下縁のひずみ

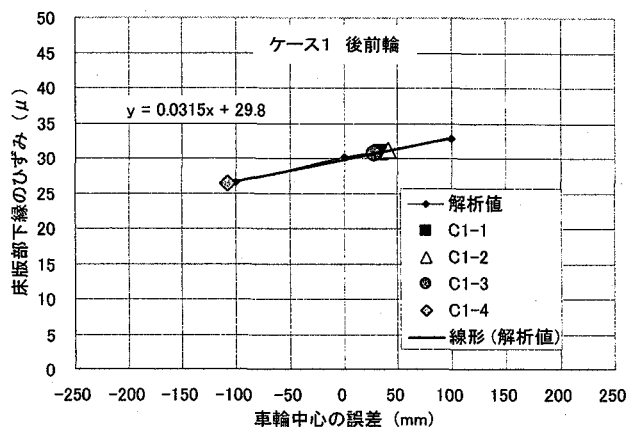


図-13 後後輪走行位置の推定

また、この種の走行実験ではデータの信頼性を向上させるために、同じ位置での走行は、ある程度の回数を行う必要があると言える

4.3 床版挙動の評価

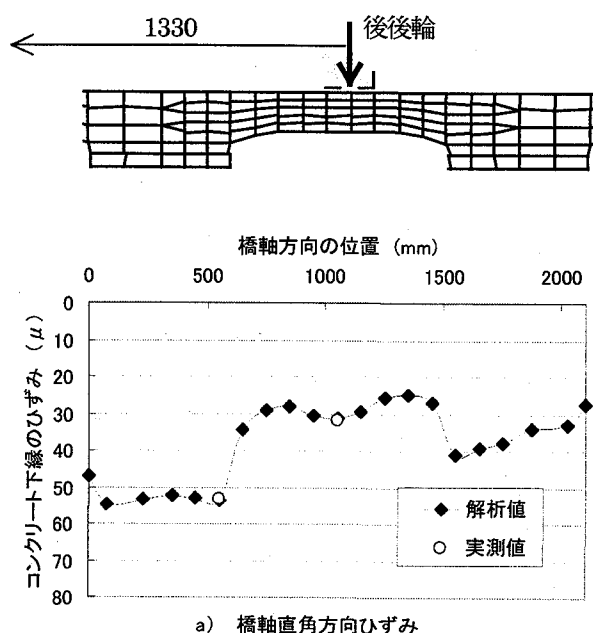
トラック走行載荷（ケース1）によりチャンネル形状版下縁に発生したひずみと FEM より求めたひずみ分布の解析値を図-14（床版部に後後輪載荷）、図-15（リブ部に後後輪載荷）に示す。橋軸直角方向のひずみは、床版部載荷とリブ部載荷の場合を比較すると、両者ともリブ部で最大ひずみを示しており、その最大値はほぼ同じであった。床版部では当然床版部載荷の場合が大きくなり、約 1.35 倍のひずみの増加がある。床版厚一定の在来床版と異なり、チャンネル形状版はリブ部と床版部の曲げ剛性の違いによりリブ部下縁と床版部下縁に発生する橋軸直角方向ひずみに差が生じている。チャンネル形状版の橋軸直角方向の曲げモーメントに関する設計は、単体版幅 1.5m の全断面を有効として扱い床版縁応力（床版上縁とリブ部下縁）

表-5 活荷重による床版下縁応力の比較

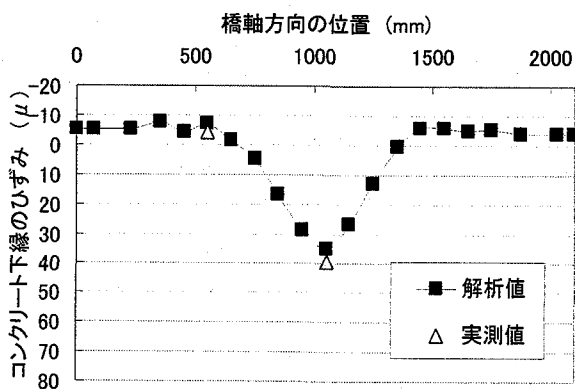
単位: N/mm ²	床版支間中央部			
	橋軸直角方向		橋軸方向	
	床版部載荷	リブ部載荷	床版部載荷	リブ部載荷
道示式 P=48.5kN	-0.78	-2.15	-3.44	—
実測値 P=48.5kN	-0.94	-1.57	-1.07	—
解析値 P=48.5kN	-1.03	-1.75	-1.15	—

に着目して導入プレストレス量を決定する。その際、PC 鋼材配置は断面に均一配置となるよう考慮する。版幅 1.5m の単体のプレテンション部材としてチャンネル形状版は製作されるが、断面に均一なプレストレスが導入されることが実験により確認されている¹⁾。本橋梁のチャンネル形状版では表-1 に示したとおりほぼ等分布に近い形でプレストレスが導入されている。輪荷重が床版部中央に載荷されても、床版部の下縁における発生ひずみはリブ部下縁の 1/2 程度のひずみでしかないので、特に問題はないと言える。

橋軸方向のひずみは、床版部の載荷点直下で最大の値を示し、リブ部載荷の場合は床版部とリブ部との境界に発生

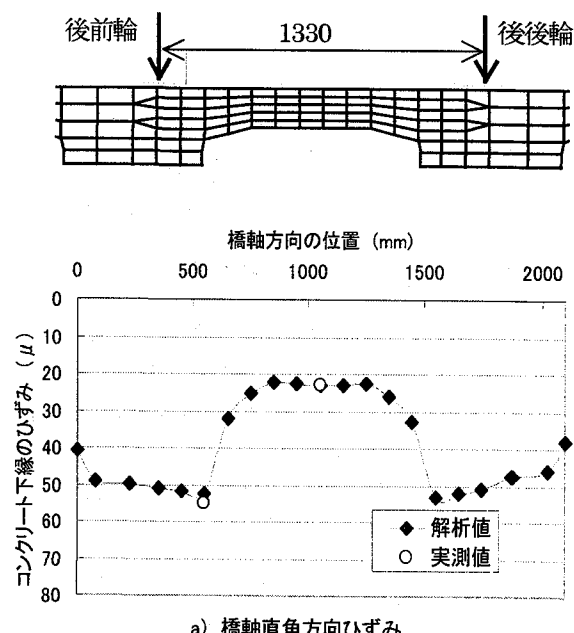


a) 橋軸直角方向ひずみ

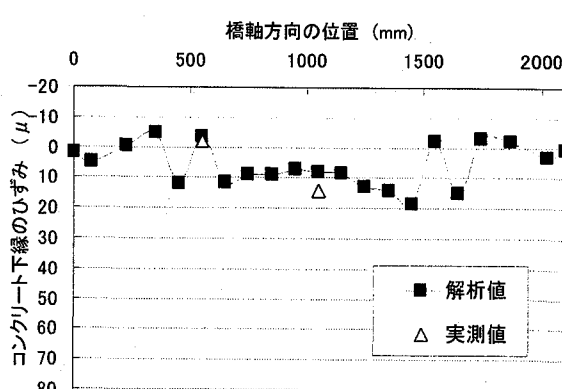


b) 橋軸方向ひずみ

図-14 床版部に後後輪を載荷した場合の
床版下縁ひずみ分布 (ケース1)



a) 橋軸直角方向ひずみ



b) 橋軸方向ひずみ

図-15 リブ部に後輪を載荷した場合の
床版下縁ひずみ分布 (ケース1)

するが、その値は床版部載荷の1/2の値程度である。橋軸方向の曲げモーメントに関しては床版部に載荷した場合、リブ部での剛性変化には影響を受けずリブ部には橋軸方向のひずみは発生しない。これは、床版部とプレキャスト床版間の目地部の高さが同じであり、リブ部の下縁付近には橋軸方向応力が伝わりにくいためであり、既往の実験¹⁾により確認されている。また一方、リブ部に載荷するとリブ部で荷重を受け持つので、床版部には大きなひずみは発生しない。これらはチャンネル形状に起因した特徴と言える。

従来床版の設計に用いられる道路橋示方書の曲げモーメント式を用いた応力度とチャンネル形状版の実測値および解析値との比較を行い、チャンネル形状版と従来床版との特性の違いを考察する。表-5に活荷重による床版下縁の応力の比較を示すが、道示式の応力は道路橋示方書による設計曲げモーメント式にトラック後後輪荷重 $P=48.5\text{kN}$ を用いた値である。橋軸直角方向のリブ部載荷

では、道示式を用いた値は実測値の1.37倍の値となっているが、これは、道示式では等方性無限単純版解析に基づいており変断面構造のチャンネル形状版を対象としたものではなく、またその解析により得られた理論値に対して10~20%程度の安全の余裕も入っているためである。一方床版部載荷では、実測値が道示式より大きな値を示す。これは、道示式を用いた計算値はチャンネル形状版幅1.5mの全断面有効として算出したものであり、チャンネル形状版の床版部に載荷される場合の応力状態を考慮しているものではないためである。橋軸方向では、道示式を用いた計算値は実測値の3倍以上となった。これは、道示式では床版厚一定の評価に対し、チャンネル版では橋軸方向の床版部はリブとリブで支持された構造となっており橋軸方向曲げに対する床版支間は短くなり発生する橋軸方向曲げモーメントは小さくなる。

以上述べた様に、チャンネル形状版では活荷重による発生曲げモーメントは従来の床版厚一定の床版とは異なり

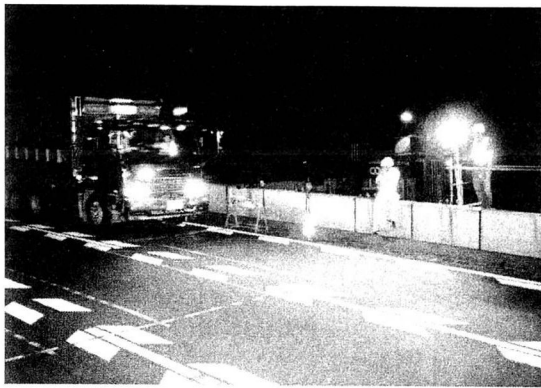


写真-2 桑才新町跨道橋におけるトラック走行実験

特有の分布を示す。従って道示式を用いた設計手法では必ずしも合理的なものとはならない。筆者らは、チャンネル形状版の合理的な設計が可能となるように、その構造特性を反映した適切な活荷重による曲げモーメント式を提案している⁸⁾。

プレキャスト床版間の目地部のひらき量を π 型ゲージで計測したが、最大値で 0.025mm (50μ)でありリブ部の橋軸方向ひずみ程度の値であった。橋軸方向縦締めプレストレスが有効に働いているため、床版間の目地部はひび割れておらず健全な状態を保っていると言える。

4.4 健全性の評価

桑才新町跨道橋は重交通の下で供用開始後 5 年を経ている。平成 13 年に実施されたチャンネル形状版を対象とした外観目視調査では特に異常等は認められなかった。

今回のトラック走行実験で得られた床版・主桁のひずみの実測値と FEM による弾性解析の結果と比較すると、図-14, 15 に示すとおり概ね一致していることが判るが、最大値のみの比較では、床版の健全性の判断には十分では無いと考え、さらなる解析的検討を加えた。

計測は動ひずみ計を用いており、トラック走行時のひずみ変化をとらえている。FEM による解析では、走行トラック荷重を移動させ、走行時のひずみ変化の再現を試みた。実測では上部工の振動の影響があるが、解析では振動の影響は考慮していない。図-16 に床版部下面の橋軸方向のひずみ、図-17 に床版部下面橋軸直角方向のひずみ、図-18 に鋼桁下縁橋軸方向のひずみ、図-19 に主桁たわみ、各々の経時変化の実測値と解析値の比較を示す。実測値は走行ケース 1 の 1 回目走行のデータを使用した。何れの図も実測値と解析値は良く合致しており、本解析モデルを使用することにより各応答値の経時変化を再現できている。FEM による解析では、チャンネル形状版のコンクリートは全断面有効の完全弾性体として扱っており、その解析値と実測値が合致することから、実橋の床版も供用開始時から現在に至るまで、全断面有効な状態を保ったまま挙動していると推察できる。もし床版にひび割れ等の損傷が生じている場合は、各応答値は解析値と一致せず経時変化曲線

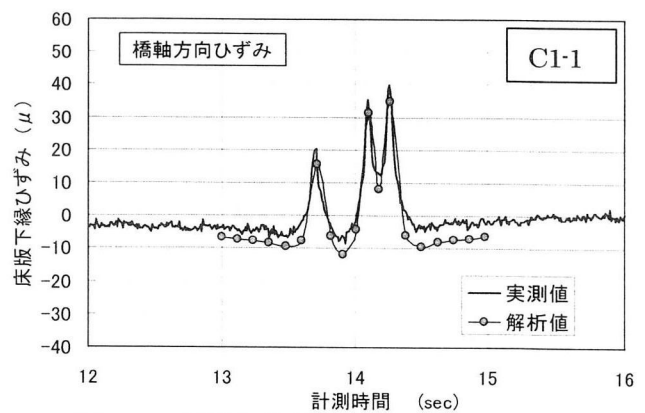


図-16 床版部下縁橋軸方向ひずみの経時変化

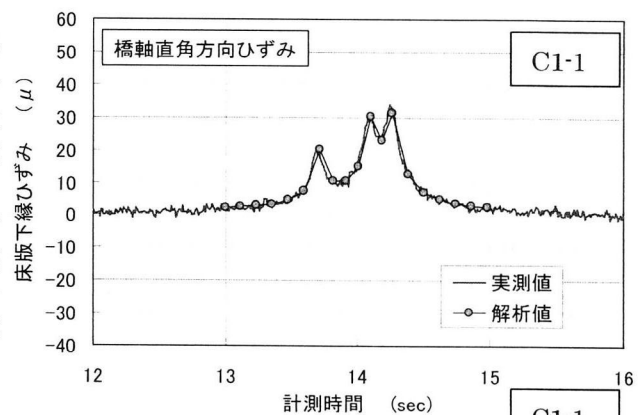


図-17 床版部下縁橋軸直角方向ひずみの経時変化

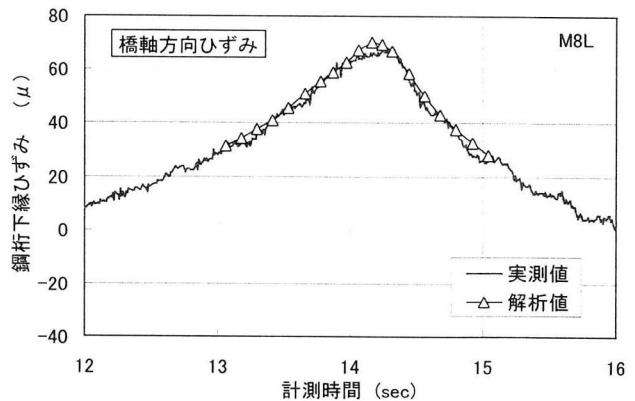


図-18 鋼主桁下縁橋軸方向ひずみの経時変化

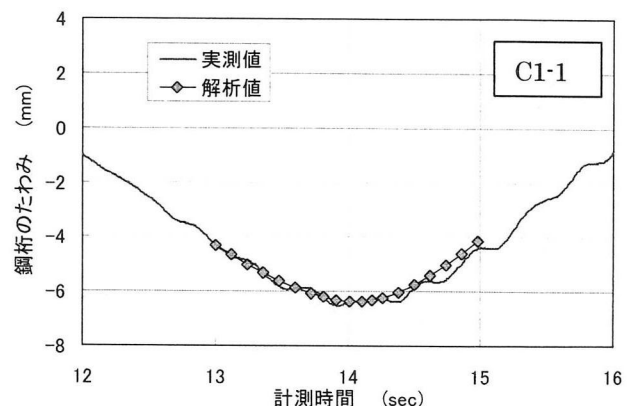


図-19 主桁たわみの経時変化

に差異が生じるはずである。しかし、トラック荷重は設計輪荷重の1/2程度であり、橋梁全体にB活荷重を載荷する場合は荷重レベルは違う。本載荷試験の荷重では完全弾性体としての挙動を示しても、大きな荷重が作用する場合は同様の挙動を示す保証はない。ここでは、現在までの荷重履歴において床版は全断面の有効性を損なう劣化・損傷等はなく、本荷重レベルまでは健全性が確認できたと言える。2方向プレストレスによる床版の疲労耐久性は充分あることから¹⁴⁾、今後、急激に床版が損傷・劣化することはないと考えるが、合成度の低下等の上部工全体の影響も含め、さらに荷重履歴を受けた10年後、20年後の追跡調査を行い、データを蓄積する必要がある。

5. まとめ

本研究では、チャンネル形状PC版を適用した実橋の挙動特性の確認、および実際の交通履歴の影響を受けたチャンネル床版の健全性の評価を目的として、トラック走行載荷実験を行った。併せて、実験挙動の再現、実橋梁の床版と鋼桁の合成効果を把握すること、床版の健全性の検討、等の目的から橋梁全体をモデル化しFEMにより弾性解析を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 非合成桁として設計された本橋梁は、弾性合成桁の挙動を示した。FEMによる弾性解析において、床版と鋼桁の結合部に水平バネを与え合成効果を検討した結果、 $\phi 19\text{mm}$ スタッドのバネ定数は押し抜き試験から得られる限界ずれ発生時のバネ定数の1/3の値を用いると実測挙動と合致し弾性合成されていると評価できた。
- (2) トラック走行位置の誤差が生じ、実測値に影響を与える。データの信頼性を向上させるためには、同一位置の走行は複数回行う必要がある。また、橋軸直角方向の床版ひずみに着目しFEM解析でトラック走行位置を捕捉することが可能となる。
- (3) 床版下縁橋軸直角方向のひずみは、床版部載荷とリブ部載荷両者ともリブ部で最大ひずみを示し、その最大値はほぼ同様であった。チャンネル形状版はリブ部と床版部の曲げ剛性の違いにより発生ひずみの差が生じる。
- (4) 橋軸方向のひずみは、床版部での載荷によって最大の値を示し、リブ部載荷の場合はその1/2の値であった。
- (5) 床版の健全性を検討する目的から、FEM解析により各応答値の経時変化を再現し実測値と比較した。チャンネル形状版のコンクリートを全断面有効の完全弾性体として扱ったFEM解析値と実測値がひずみ、たわみの全測定項目で合致するとから、5年間重交通による実荷重を受けた本床版はまだコンクリートが全断面有効の状態にある極めて健全なものと立証できた。

謝辞

トラック走行実験では大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻社会基盤設計学領域研究室の皆様には多大なる協力を頂いた。またFEM解析では(株)パウエンジニアリング西澤克彦氏に協力を頂くとともに貴重なるご意見を頂いた、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 関西国際空港線末広高架橋(鋼上部工)工事PCプレキャスト床版実験報告書,日本道路公団大阪建局,1993.
- 2) 真鍋英規,林功治,松井繁之:チャンネル形状プレキャストPC床版の開発,プレストレストコンクリート, Vol20, No.2, pp36-44, 1998.3.
- 3) Matsui, S., Soda, N., Terada, K., Manabe, H.: Application of Channel-Shaped PC Precast Slabs on Steel Bridges, Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering'94, Harifax, pp699-709, 1994.8.
- 4) 堤忠彦, 日野伸一, 村山隆之, 山口浩平, 真鍋英規: リブ付プレキャストPC床版(CPC床版)を用いた鋼合成桁橋に関する研究, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp65-68, 1999.11.
- 5) 中井博 編: プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工, 森北出版, 1988
- 6) 松井繁之: プレストレッシングによる道路橋床版の耐久性向上について, プレストレストコンクリート技術協会, 第6回シンポジウム論文集, pp163-168, 1996.10.
- 7) 前田幸雄, 松井繁之: 道路橋RC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察, 土木学会論文報告集第252号, pp11-21, 1976.8.
- 8) 道路橋示方書・同解説: 日本道路協会, 平成8年12月
- 9) 平城弘一: 頭付きスタッドの静的および疲労強度と設計法に関する研究, 大阪大学学位請求論文, 1990.2.
- 10) 篠原貴, 岩本久信, 真鍋英規, 堤忠彦: チャンネル型
- 11) 赤尾親助, 栗田章光, 平城弘一: 頭付きスタッドの押し抜き挙動に及ぼすコンクリートの打ち込み方向の影響, 土木学会論文集, 第380号/I-7, pp311-320, 1987.
- 12) 平城弘一, 三好栄二, 松井繁之: 応力履歴を受けたスタッドのずれ性状について, 土木学会関西支部平成9年度年次学術講演概要集, pp I-111-1 ~ I-111-2, 1996.5.
- 13) 真鍋英規, 林功治, 鈴木真, 松井繁之: チャンネル形状プレキャストPC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察, プレストレストコンクリート技術協会, 第4回シンポジウム論文集, pp169-172, 1996.10.
- 14) プレキャストPC床版の輪荷重走行試験機による疲労実験, プレストレストコンクリート技術協会, 第9回シンポジウム論文集, pp381-386, 1999.10.

(2002年9月13日受付)