

論文 曲面状埋込型枠を用いたRC床版の疲労耐久性に関する研究

松井 繁之*1・大西 弘志*2・徳岡 昭夫*3・劉 新元*4

要旨： 押出し成形で製作した繊維入りモルタル板を曲面状に仕上げ、これを埋設型枠としてRC床版を打設し、合成床版として完成した床版の疲労耐久性を輪荷重走行試験機による疲労実験により調べた。型枠裏面の形状に工夫を加え、付着強度を上げた効果および曲面板とした効果が大きいことが証明できた。

キーワード： 道路橋床版、押出し成形埋設型枠、疲労、輪荷重走行試験

1. はじめに 1),2)

近年、社会基盤を構成する構造物の建設において、構造・施工の合理化・省力化に対する要望が強くなっている。その中でも、橋梁の建設においては合理化橋梁の提案など様々な合理化・省力化に向けた動きがあり、構造詳細や施工の合理化について数多くの研究・開発がなされている。特に、橋梁の床版は期待される役割が増大していることから、高機能化・高耐久化を達成すると同時に施工の省力化をも達成しなければならないという状況にある。

このような要請に対応するためにこれまでに様々な手法が考案され、実施されている。その主なものは橋梁床版の構造を合成構造とし、床版構造自体の高機能化・高耐久化を図ると共に、工場で製造された部品を型枠代わりに利用し、現場でのコンクリート打設を行なうことで型枠設置・解体に伴う作業やコストの削減を達成しようとするものである。

このような手法をとる場合、通常は鋼部材やPC部材を型枠代わりに利用する場合が多いが、著者らは近年開発された、セメント系押出し成形材（図-1参照）を曲面に加工したものを型枠として利用し、曲面によるアーチ効果を利用して施工時のコンクリート死荷重・作業荷重を負担させるとともに、完成系においてコンクリ

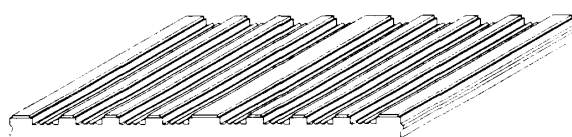


図-1 押出し成形埋設型枠

表-1 埋設型枠の配合（％）

結合材		水	繊維補強材	増粘材等
セメント	珪石粉末			
32.0	34.4	20.0	8.8	4.8

ートと合成させることで、床版の一部として挙動させることを考えた。しかしながら、これまでにセメント系押出し成形材を使用した床版に関する研究はなされていない。そこで、本研究では曲面状のセメント系押出し成形材を用いて作製した合成床版に対して静的耐荷力試験・輪荷重走行疲労試験を実施し、その性能を確認することにした。

2. 静的耐荷力試験

2.1 供試体

(1) 供試体

本試験で用いられた供試体の寸法を図-2に示す。この試験では通常のRC構造を有する床版厚180mmの供試体（Type A）と押出し成形で作製された埋設型枠（以後、埋設型枠と呼ぶ）を使用した床版厚合計が180mmの合成床版供試体（Type B）を作製し、その挙動の違いを確

*1 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 工博（正会員）

*2 大阪大学大学院助手 工学研究科土木工学専攻 工修（正会員）

*3 川田建設(株) 技術部

*4 川田建設(株) 技術部 開発課

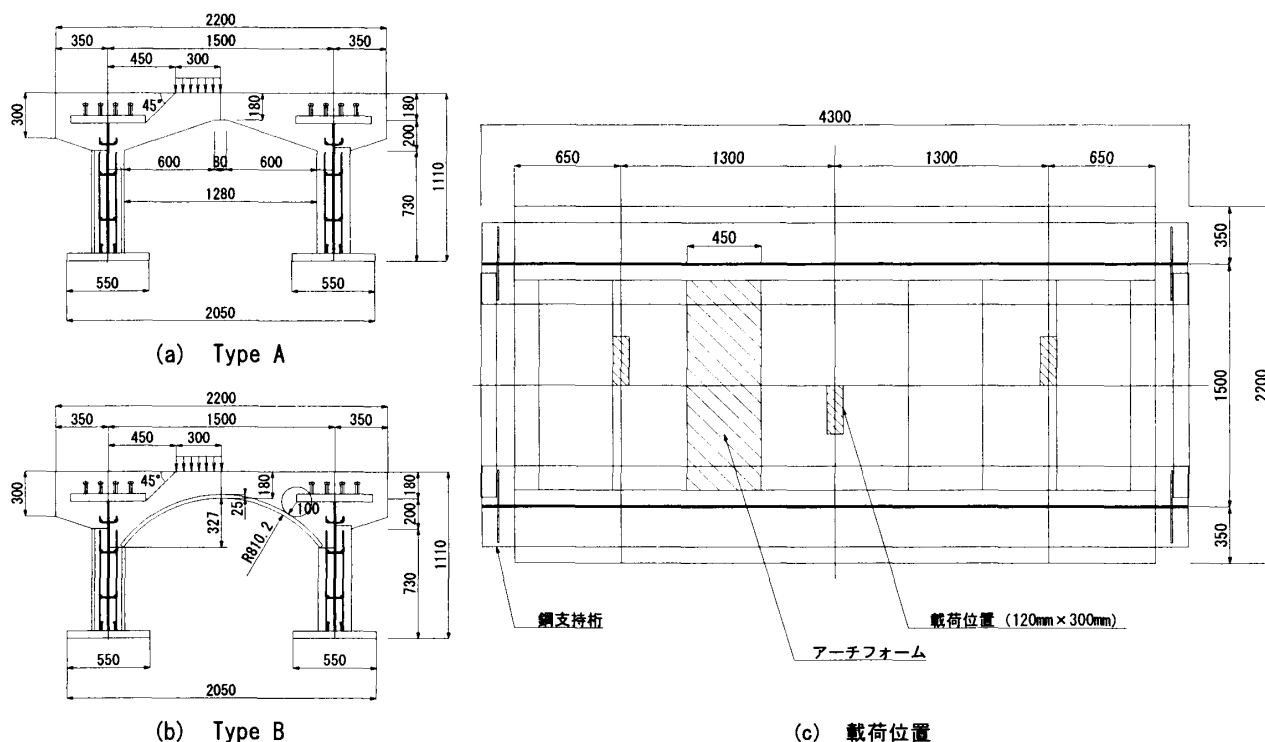


図 - 2 静的耐力試験供試体形状

認することにした。供試体の床版支間は1500mmである。供試体作製に使用されたコンクリートの物性は表 - 2 に示すとおりであり、鉄筋にはSD295の異形鉄筋を用いた。引張側主鉄筋としてD19鉄筋を150mm間隔、引張側配力筋としてD16鉄筋を150mm間隔で配置し、圧縮側には引張側の半数の鉄筋を配置した。

(2) 埋設型枠

本研究で使用した押出し成形材の配合を表 - 1 に示す。この材料は工場製作時に高圧力下で押出し成形を行うため均質で緻密な材質を得ることができる。この材料的特性から、耐塩害性・中性化抵抗性・凍結融解抵抗性などの耐久性に優れた性質を有する素材であることが確認されている。この材料で作製された型枠は一般に曲げ強度が $10 \sim 15 \text{ N/mm}^2$ 、弾性係数は $15 \sim 21 \text{ kN/mm}^2$ 程度の値をとる。さらに、図 - 1 に示されるように型枠材の裏面に特殊な凹凸形状を施すことにより、後から打設されるコンクリートとの一体性の確保を期待している。また、本試験では一枚の埋設型枠でハンチ部の型枠も兼用させるために図 - 2 中にあるように曲面状の埋設型枠を使用し、供試体の作製を行っている。

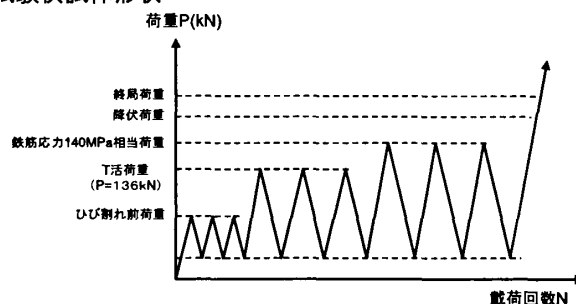


図 - 3 荷重ステップ

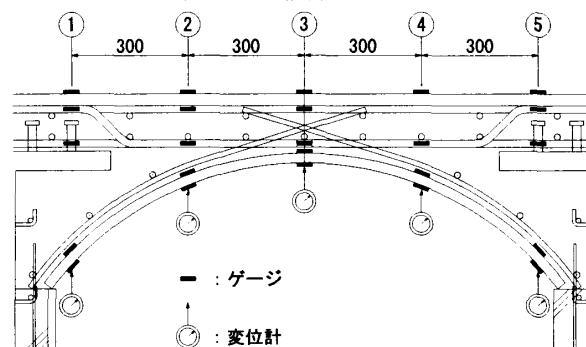


図 - 4 ゲージ配置

表 - 2 コンクリートの物性

供試体名	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
Type-A	43.5	3.2
Type-B	44.4	3.3

2.2 試験方法

(1) 荷重方法

今回の試験では、図 - 2 中の斜線部の位置に

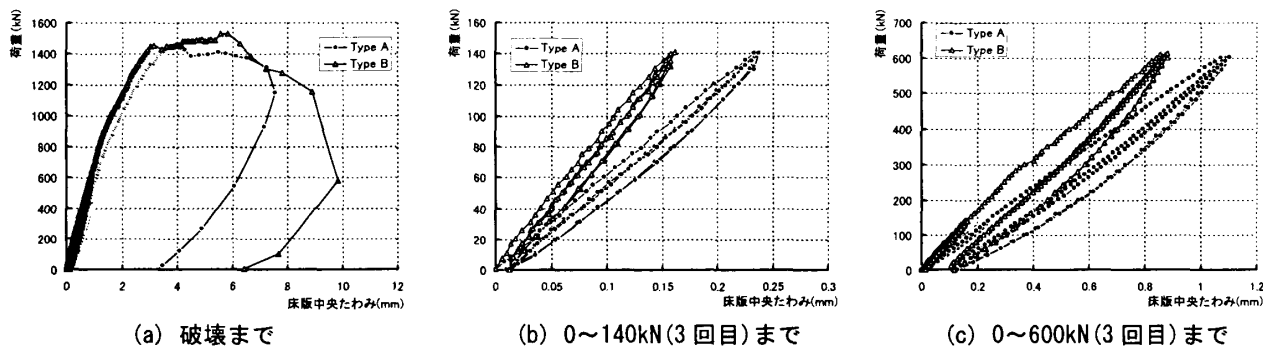


図 - 5 荷重 - たわみ曲線 (床版中央)

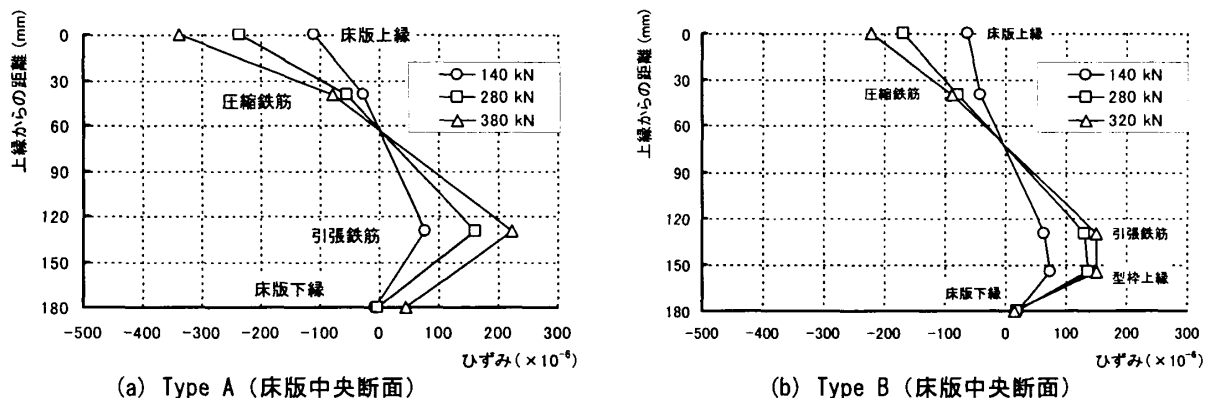


図 - 6 床版内ひずみ分布

載荷面積 $300\text{mm} \times 120\text{mm}$ の分布荷重を作用させて試験を行った。荷重はステップごとに管理して載荷された。このとき使用された載荷ステップを図 - 3 に示す。図中にも示されるようにこの載荷方法では、設計荷重である T 活荷重 (136kN) と鉄筋に許容応力が発生したときの荷重に特に着目して載荷を実施している。

(2) 計測項目

この試験では測定項目としてコンクリート表面のひずみ、鉄筋ひずみ、床版の変形を計測した。ゲージ類の設置位置の例を図 - 4 に示す。

2.3 結果と考察

今回の静的耐荷力試験で得られた荷重 - たわみ曲線を図 - 5 に、床版内のひずみの分布を図 - 6 に示す。

この試験において、Type A 供試体の鉄筋に許容応力が発生する荷重は 600kN であることが確認された。これに対し、Type B 供試体では荷重が 750kN にいたるまで鉄筋に許容応力が発生しなかったことが確認された。このことから埋設型枠を使用した Type B のような構造は十分な性能を確保できていることが確認された。

図 - 5 (a) の荷重 - たわみ関係を見ると、本試験では Type A、B とともに床版中央のたわみが 3mm 程度に至った時点で降伏に至っている。この図を見る限りでは Type A、B とともに同様の挙動を示しているように見えるが、設計荷重 (140kN) 載荷終了時、許容応力発生荷重 (600kN) 載荷終了時までの挙動を比較すると、どちらの時点においても Type A の弾性変形、残留変形が Type B の変形よりも大きい。

また、床版中央断面におけるひずみの分布状況を確認すると、Type A においては荷重の増大とともに床版上縁・引張側鉄筋位置でのひずみがほぼ荷重に比例して増大している。さらに、荷重が小さい時点においてすでに床版下縁におけるひずみがほぼ 0 となっていることから、設計荷重作用時にはすでに床版下縁のコンクリートはひび割れを生じ応力の緩和が発生しているものと推定される。Type B においては、荷重の増加とともにひずみも増加しているが、その分布の傾向は Type A と異なり、引張側鉄筋と埋設型枠上縁のひずみがほぼ一致していることから、この間のコンクリート、さらには埋設型枠も鉄

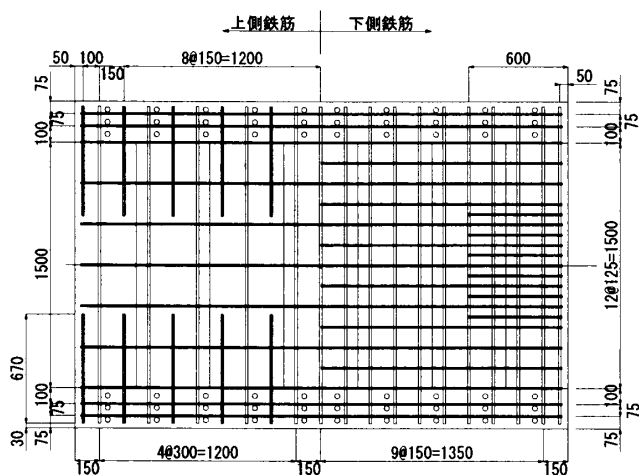


図 - 7 疲労試験供試体配筋図

表 - 3 使用したコンクリートの物性値

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
RC	36.6	27.3	0.172
アーチ	38.2	30.3	0.181
フラット	37.7	28.9	0.212

表 - 4 使用した鉄筋の物性値

鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
D13	342	511	201
D16	368	524	195

筋と同じような動きをしているものと考えられる。これは床版の下面に埋設型枠を設置することにより、コンクリートの動きが制限されることで、ひび割れの発生が抑制されると同時に、断面力が埋設型枠にも分担されているためであると考えられる。

これらのことから、通常のRC構造であるType AよりもType Bのほうが床版のたわみや鉄筋ひずみの抑制に有利な構造になっていると考えられる。

3. 輪荷重走行疲労試験

3.1 供試体

(1) 寸法

本研究で使用した供試体の形状と鉄筋の配置を図 - 7 に示す。今回使用した供試体の平面寸法は 3000mm×2000mm であり、床版厚は床版

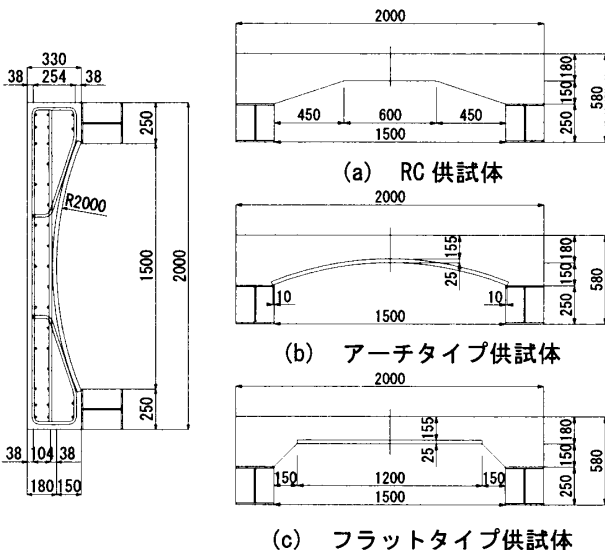


図 - 8 疲労試験供試体断面形状

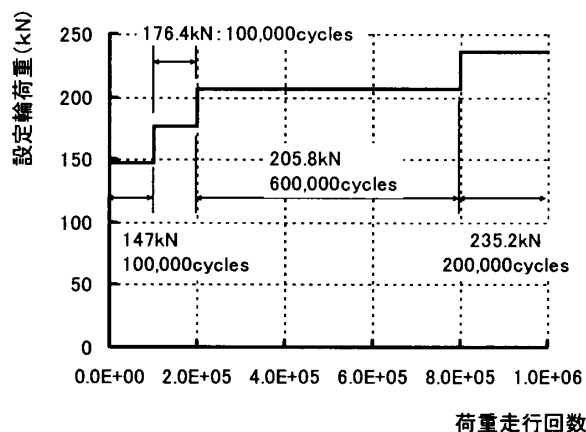


図 - 9 载荷プログラム

支間中央で最小となるように設定されており、最小床版厚は180mmである。床版支間は1750mmとし、橋軸方向の床版端部には床版端部からの異常破壊を防止するための鉄筋を配置した。また、本試験においては図 - 8 に示すように断面の構成を通常のRC構造(RC供試体)、曲面状埋設型枠を使用した構造(アーチタイプ供試体)、平面埋設型枠を使用した構造(フラットタイプ供試体)の3通りに変化させ比較を行った。

(2) 使用材料

今回の実験で使用した供試体を作成するにあたり実施したコンクリートと鉄筋の材料試験の結果を表 - 3、4 に示す。今回の実験では実験開始時期が供試体によって前後したので、コンクリートの強度の試験期間中の変動を確認するために材料の強度等を確認した。その結果、試験期間中におけるコンクリートの物性値の変動

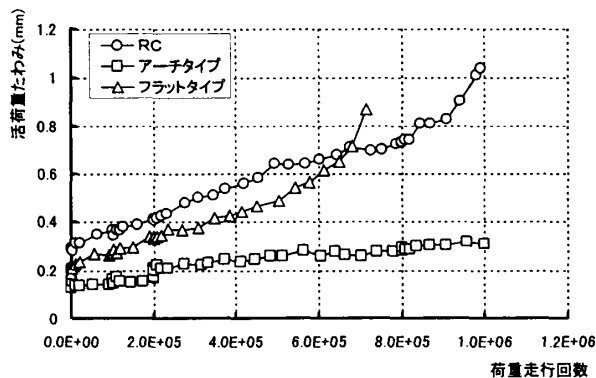


図 - 10 床版中央活荷重たわみの経時変動
(98kN 換算活荷重たわみ)

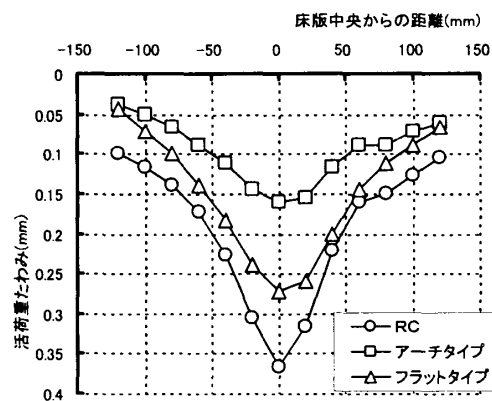


図 - 11 橋軸方向たわみ分布の比較
(200,000 回載荷時: 98kN 換算)

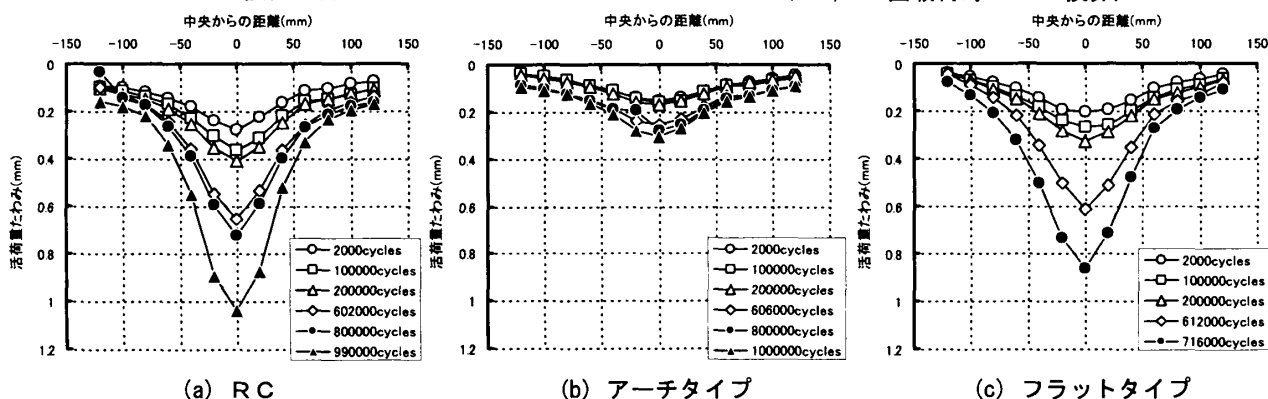


図 - 12 橋軸方向たわみ分布の経時変動 (98kN 換算たわみ)

はそれほど大きくはなく、比較的安定した状態で疲労試験を実施できたことが確認された。

版表面の状態を確認し、適宜記録した。

3.2 試験方法

(1) 載荷方法

今回の実験においては図 - 9 に示される段階載荷試験により供試体の疲労耐久性を確認することにした。設定された荷重は 147kN から 235kN であり、破壊しなかったアーチタイプ供試体は試験走行 100 万回で試験を終了した。

(2) 計測項目

この疲労試験では計測項目として床版のたわみ、鉄筋・コンクリートのひずみ、ひび割れの発生量を設定し、計測を実施した。床版のたわみの計測においてはたわみの橋軸方向、橋軸直角方向ともに分布が確認できるように変位計を設置した。鉄筋のひずみの計測では一部のひずみゲージを用いてひずみの動的計測を実施し、鉄筋ひずみの動的挙動を確認した。コンクリートのひび割れ発生状況の確認では目視により床

4. 輪荷重走行疲労試験の結果と考察

本論文では紙面の都合上、今回実施した輪荷重走行試験の結果のうちたわみの発生状況と床版内部のひずみ分布について述べることにする。

4.1 たわみの発生状況

本試験により得られた、床版中央活荷重たわみの経時変動を図 - 10 に、活荷重たわみの分布状況を図 - 11、12 に示す。

今回の試験では床版毎に挙動の違いが確認されている。まず、図 - 11 をみると、実験の初期においては RC 供試体の活荷重たわみが最も大きく、フラットタイプ供試体、アーチタイプ供試体の順で活荷重たわみが小さくなっている。試験走行時の活荷重たわみの増加速度は RC 供試体、フラットタイプ供試体とアーチタイプ供試体では明らかに異なり、200,000 回走行終了時付近ではこれらの供試体間の活荷重たわみの差は顕著になっている。通常であればこの時点に

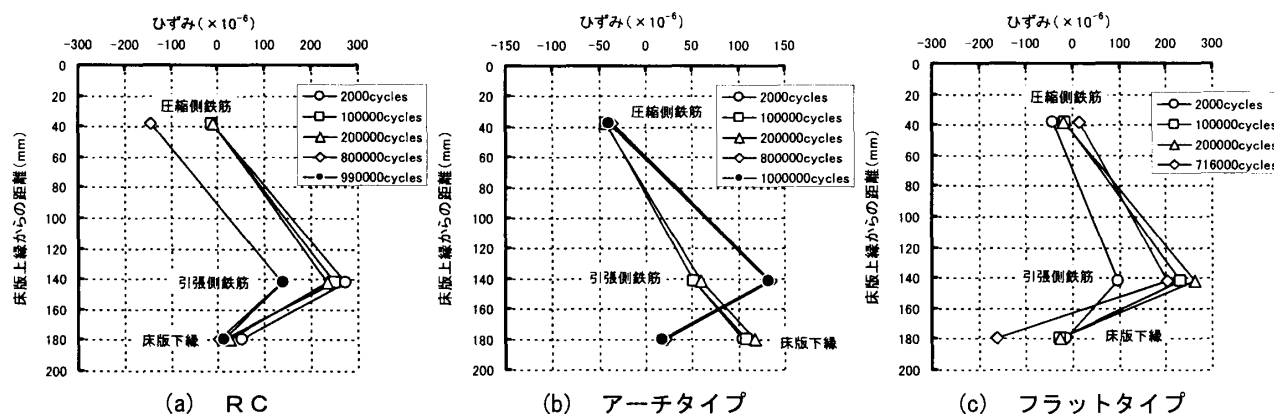


図 - 13 床版内活荷重ひずみ分布(98kN 換算ひずみ、床版中央から橋軸直角方向に 75mm)

おける活荷重たわみの大きい順に破壊するのが普通であると思われるが、本試験においては RC 供試体より先にフラットタイプ供試体が破壊した。これはフラットタイプで使用した埋設型枠の端部をハンチ上側止端で止めたため、この端部で後打ち床版内にひび割れを誘発したことが原因であると考えられる。アーチタイプ供試体においては活荷重たわみの増加が他の 2 体と比較して極端に遅く、このことからアーチタイプ供試体は RC 構造と比較してかなり高い耐久性を有していると考えられる。

また、たわみの分布状況を確認すると、RC 供試体、フラットタイプ供試体では橋軸方向のたわみ分布から強い異方性が確認できることから、これらの供試体では劣化が進行していることがわかる。

4.2 床版内のひずみ分布

床版中央付近の断面におけるひずみの分布状況を図 - 13 に示す。全体的な傾向を見ると RC 供試体とフラットタイプ供試体が同じような挙動を示し、アーチタイプは実験の初期においてこれらとは異なる挙動を示している。まず、アーチタイプ供試体の挙動について確認すると、この供試体では荷重走行 20 万回までは床版下縁までひずみが直線的に分布している。これは床版の下縁に配置されている埋設型枠が全く健全な状態で床版と一体となって挙動していることを示していると考えられる。その後、荷重走行 80 万回以降はひずみの分布が RC 供試体と同様の傾向を示したことから、80 万回終了時ま

でアーチタイプ供試体では曲面状埋設型枠にもひび割れ等が発生したためである。ただし、アーチタイプの挙動が RC 供試体に近いものに移行したといっても発生した鉄筋ひずみは他の供試体の半分であり、劣化の程度としては依然として軽微な状態にあると判断できる。試験終了後、床版を切断し断面を観察したが、アーチタイプでは型枠と剥離した部分はひび割れから 3~4cm 程度であった。

5. 結論

本研究において実施した静的耐荷力試験、輪荷重走行疲労試験の結果から以下の知見を得ることができた。

- 1) 曲面状埋設型枠を使用した RC 床版は通常の RC 床版と同等の耐荷力を有している。特に、曲面状埋設型枠を使用した場合には、鉄筋に許容応力が発生するまでの段階で弾性変形、残留(塑性)変形を抑制する効果があることが判った。
- 2) 輪荷重走行疲労試験の結果から曲面状埋設型枠を使用した RC 床版は通常の RC 床版と比較して高い耐久性を有していることが確認できた。

参考文献

- 1) 例えば、建設省土木研究所：道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その1)、共同研究報告書第 221 号、1999.3
- 2) 例えば、建設省土木研究所：ミニマムメンテナンス橋に関する検討、土木研究所資料 No. 3506、1997、6