

遅延合成構造を適用した鋼 2 主桁橋の P C 床版横締め試験

Experimental Study on Prestressing of Slab Concrete with Two Steel Girders using PR System

北川幸二*, 橋吉宏**, 清水良平*, 渡辺滉***, 平城弘一****

Koji KITAGAWA, Yoshihiro TACHIBANA, Ryouhei SHIMIZU, Hiroshi WATANABE and Hirokazu HIRAGI

* 川田工業 (株) 技術開発部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

** 博(工) 川田工業 (株) 技術開発部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

*** 川田工業 (株) 橋梁事業部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

**** 工博 摂南大学 工学部 (〒572-0074 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)

The authors have developed Post Rigid System (hereinafter, abbreviated to PR System). The PR System has the behaviors of extremely flexible and full composite action under construction and in service stage, respectively.

Recent years, there are some reports about prestressed concrete slab. It is reported that cracks sometimes occur near by rigid cross girders several months after construction. It is because of different strain between near by and far from rigid cross girders under prestressing, and of concrete's creep and shrinkage under restraint from girders. Around middle cross girders, headed stud shear connectors and vertical stiffeners resist against rotation of the slab. Cracks will sometimes occur in parallel to main reinforcements, on the bottom of the slab at cross girders. It is because of differences of concrete slab's rise between near by and far from cross girders. In this paper, the result of an experimental study on prestressing of slab concrete using PR System is described.

Key Words: Post Rigid System, PC Slab, Prestressing

1. まえがき

著者らは、図-1 に示す遅延合成構造を考案した。この遅延合成構造は、施工から硬化までの時間を数ヶ月に設定できる遅延硬化性樹脂モルタル（以下、樹脂モルタルと称す）を、例えば鋼とコンクリートなどの部材間に塗布し、同じくずれ止めの周囲にも巻き付けること（以下、PR スタッドと称す）で実現される。そのため、樹脂モルタルが硬化するまでの部材は互いにずれやすいが、設定時期に樹脂モルタルが硬化した後は一体化して部材間に合成作用が発現する、すなわち時間の経過とともに非合成構造に近い状態から完全合成構造へと変化する特徴を有する。

これまでに、遅延合成構造に利用するために必要な圧縮強度や弾性係数を有する樹脂モルタルを選定し、付着特性、PR スタッドのずれせん断特性や引き抜き特性などの各種試験を実施した。その結果、上述のように樹脂モルタルが硬化するまでは部材間の合成作用を抑え、硬化後には従来の合成構造と同等以上の合成効果が発現させられることを確認した^{1), 2)}。

この特性を活かして、鋼 I 桁をコンクリートで被覆した鋼コンクリート合成桁のコンクリート断面のみにポス

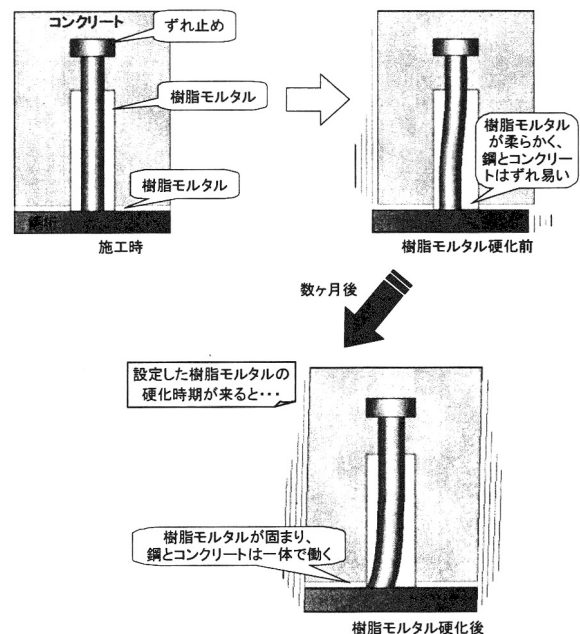


図-1 遅延合成構造の特性

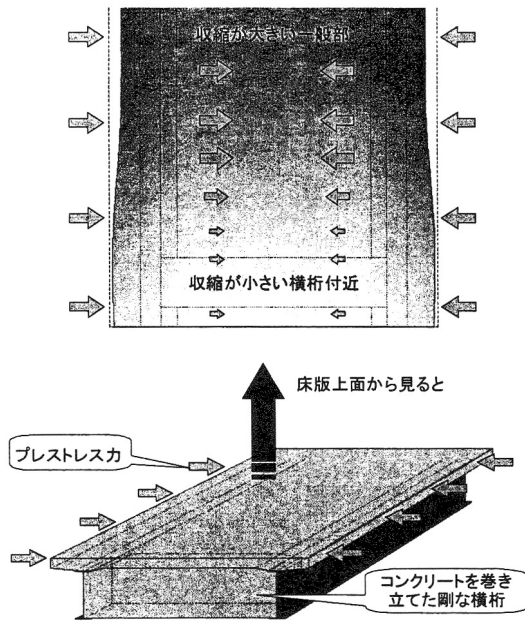


図-2 剛な横桁付近の床版の収縮変形

トテンション方式でプレストレスを導入する目的や、床版や壁高欄などの後打ちコンクリート部材に施工後発生する引張応力を低減する目的、あるいは横桁などの拘束が大きい場所打ち PC 床版に効率的にプレストレスを導入する目的などで実工事に採用されている。

本論文では、上述の適用事例のうち、鋼 2 主桁橋の場所打ち PC 床版に横締めプレストレスを導入する時の遅延合成構造の効果について、実物大試験体を用いて行った確認試験について報告する。

2. 従来工法

場所打ち PC 床版で、従来の施工方法や手順に従って床版コンクリートが硬化した後にプレストレスを導入する場合、合成した主桁や横桁から変形拘束を受ける。そのため、床版全体に様な収縮や反りを生じさせることは難しい。以下に、主桁や横桁から変形拘束を受けた場所打ち PC 床版に発生する現象として報告されている事項を述べる。

2. 1 剛な横桁付近

近年増加している鋼とコンクリートを組み合わせた上下部一体の複合構造では、接合部となる支点上の横桁は剛性の高い構造となる。また、車両走行時に発生する桁端部の騒音対策として採用が増えている鋼断面をコンクリートで巻き立てた端横桁、あるいは主桁本数が変化する位置においても鋼箱断面横桁など剛性が高い構造になりがちである。

図-2 に示すように、剛性の高い横桁を有する構造に場

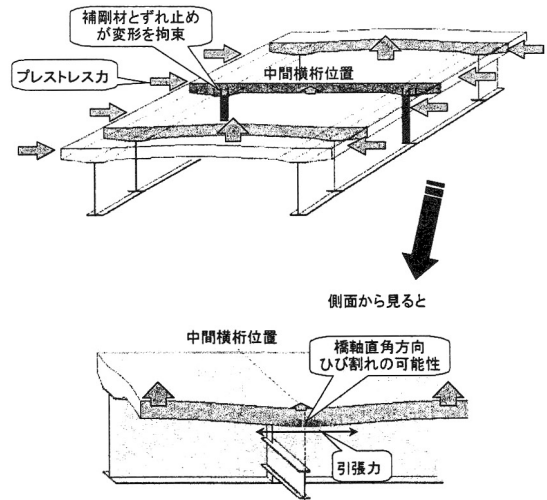


図-3 中間横桁付近の床版変形

所打ち PC 床版を採用して、現場でコンクリート床版に横締めプレストレスを導入する場合、剛な横桁付近の床版は拘束の影響が大きく収縮変形を妨げられる。このため横桁からの拘束の影響が小さい一般部と比べて、剛な横桁付近ではプレストレスを効率的に導入することは難しい。

また、剛な横桁付近と一般部でプレストレスの導入による収縮量の差やその後の床版コンクリートのクリープ現象による収縮量の差、さらに主桁と横桁に 3 辺固定支持された拘束状態で発生する乾燥収縮によって、剛な横桁付近の床版コンクリートには引張応力が発生する。この引張応力がコンクリートの引張強度を超える場合には、斜め方向のひび割れが発生する可能性があることが指摘されている³⁾。

2. 2 中間横桁付近

床版支間部で床版下方に、主桁上で床版上方に曲線配置した PC 鋼材により場所打ち PC 床版に横締めプレストレスを作用させた場合、中間横桁の取り付く主桁の垂直補剛材とその位置における上フランジ上のずれ止めは、コンクリート床版が回転変形により鉛直方向に浮き上がるのを妨げる。このとき、図-3 に示すように一般部と比べて中間横桁付近では支間部のコンクリート床版の浮き上がり量が小さくなる。

結果として、床版支間部での橋軸方向の断面を考えるとコンクリート床版には橋軸直角方向鉄筋輪まわりの曲げモーメントが働き、中間横桁部のコンクリート床版下面に橋軸直角方向のひび割れが発生する可能性が指摘されている。また、浮き上がり変形を生じたコンクリート床版と、垂直補剛材により回転を拘束された主桁上フランジに隙間を生じる場合があることが報告されている⁴⁾。

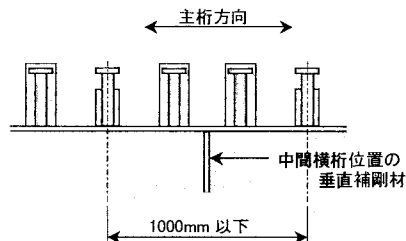
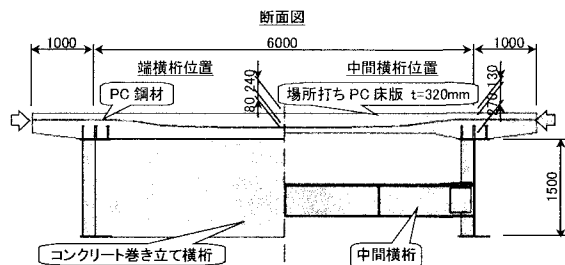


図-5 遅延合成スタッドの配置

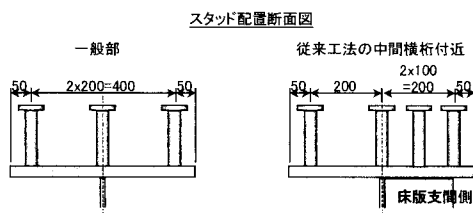
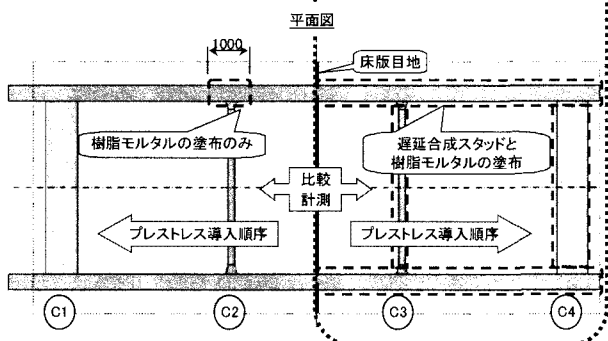
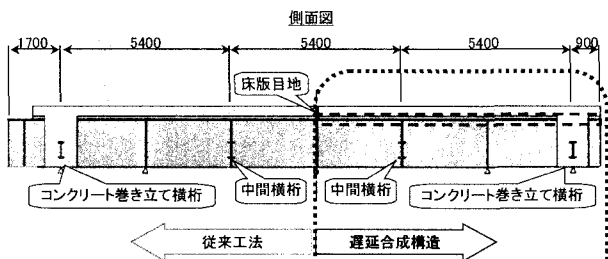


図-4 試験体の概要 (単位: mm)

表-1 使用コンクリート

セメント種別	設計基準強度 (N/mm ²)	圧縮試験結果 (材齢7日, 3体平均)	
		圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
床版	早強ポルトランド 40	37.5	27600
端横桁	早強ポルトランド 40	35.4	29700

上のスタッドは樹脂モルタルを巻き付けた遅延合成スタッドとした(写真-4 および 5)。なお、図-5のように、遅延合成スタッドは頭を露出したタイプを主桁方向に1000mm以下の間隔で配置、残りは全体を樹脂モルタルで被覆したタイプとした。また、中間横桁位置では全体を樹脂モルタルで包んだタイプとした。

比較のため、残り半分(図-4の側面図および平面図の左側半分)は上フランジ、スタッドともに樹脂モルタルを施工せず、従来工法のままとした。ただし、従来工法の範囲にある2カ所の中間横桁取り付け位置付近のうち、1カ所の主桁上フランジ上には樹脂モルタルの塗布のみを施した。

樹脂モルタルの施工後、床版支間部の厚さは320mm、主桁上の厚さは400mmとなるように床版コンクリートを打設、養生した(写真-6 および 7)。端横桁コンクリートと併せて、床版コンクリートの種別、設計基準強度と圧縮試験結果を表-1に示す。

3. 試験概要

3.1 試験体

図-4に示すような、床版支間が6.0mの鋼2主I桁橋を想定して実物試験体を準備した。

2本の鋼I断面主桁間には、5.4mの間隔で4本の鋼I断面横桁を配置した(写真-1)。ここで、横桁の取り付け高さは、従来の施工例をふまえて、プレストレス導入時にコンクリート床版の拘束が小さくなるように主桁の下方寄りとした。さらに、両端の端横桁は厚さ1mのコンクリートで巻き立てた(写真-2 および 3)。

その後、試験体の半分(図-4の側面図および平面図の右側半分)に遅延合成構造を適用した。すなわち、床版コンクリートと接触する主桁上フランジ上面と端横桁コンクリート上面に樹脂モルタルを塗布し、主桁上フラン

3.2 試験方法

本試験体の床版は、死荷重時にコンクリートに引張応力を発生させないように、B活荷重を想定した活荷重載荷時には曲げひび割れを生じさせないように設計を行った。計算の結果、PC鋼材(SWPR19N, 1T21.8, プレグラウトタイプ)は300mmの間隔で、床版支間部は床版下方、主桁上は床版上方に曲線配置とした。

PC鋼材の緊張は、従来工法と遅延合成構造の範囲において、それぞれの試験体の中央から端横桁側に向かって、交互の片引きにて行った。ここで、緊張はPC鋼材1本あたり450kNとし、マンメータとPC鋼材の伸びで管理した(写真-8)。

確認項目は、床版コンクリートおよび横桁の橋軸直角方向ひずみ、中間横桁位置のスタッドや垂直補剛材の鉛直ひずみとし、PC鋼材緊張時からの変動を計測した。

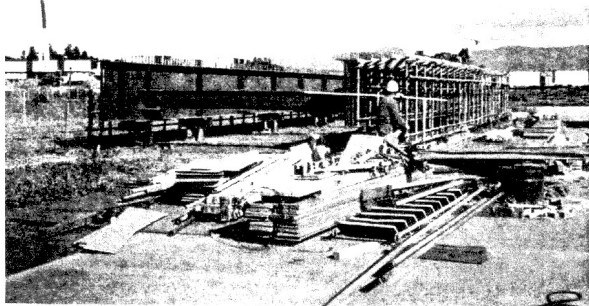


写真-1 鋼桁組立

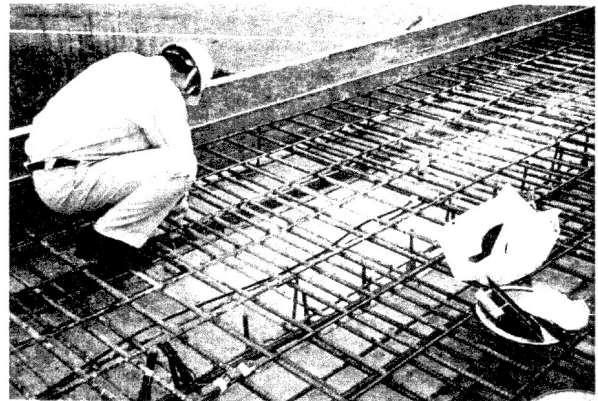


写真-5 樹脂モルタル施工（端横桁上）

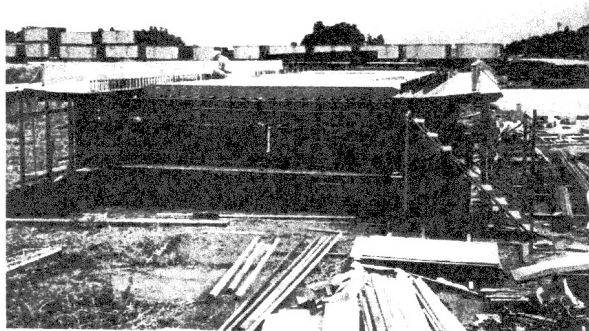


写真-2 床版・端横桁型枠設置

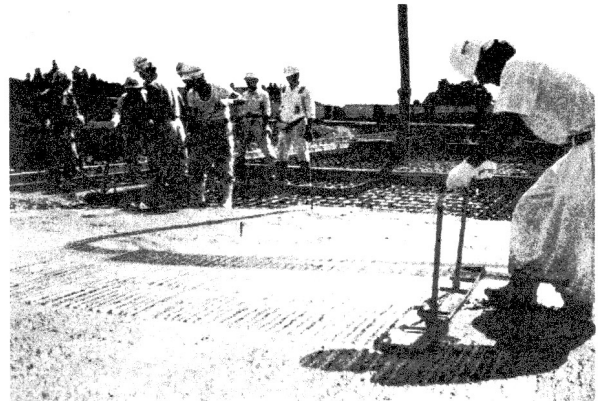


写真-6 床版コンクリート打設

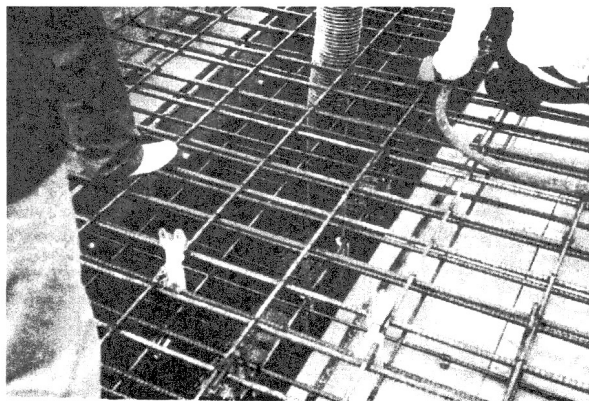


写真-3 端横桁コンクリート打設

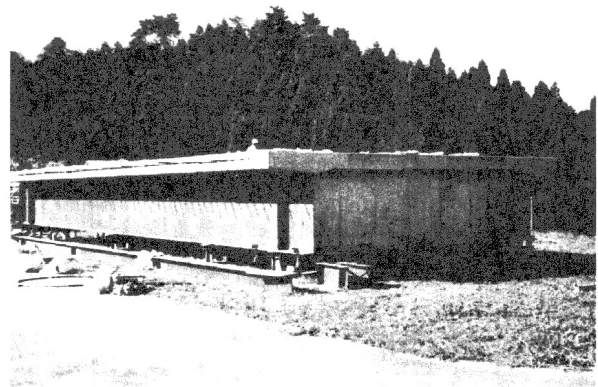


写真-7 床版コンクリート養生

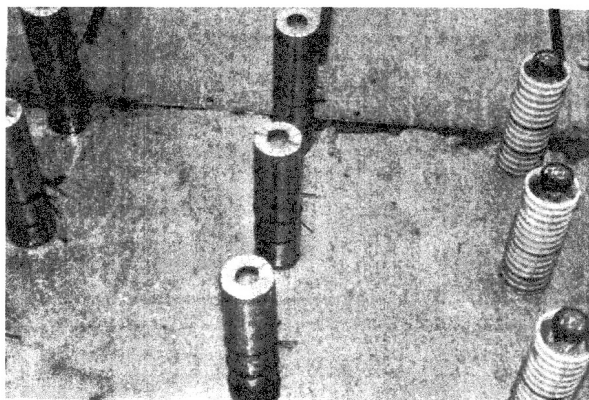


写真-4 樹脂モルタル施工（主桁上）

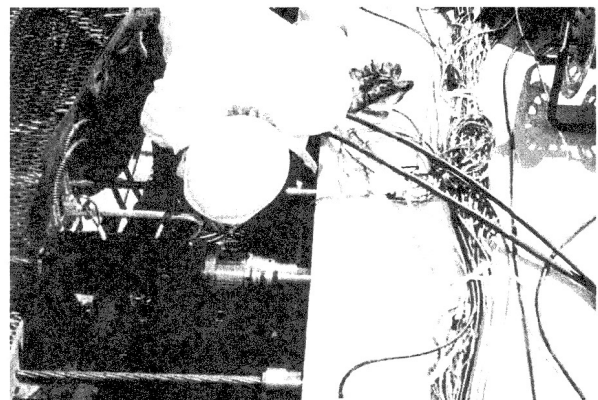


写真-8 横締めプレストレスカ導入

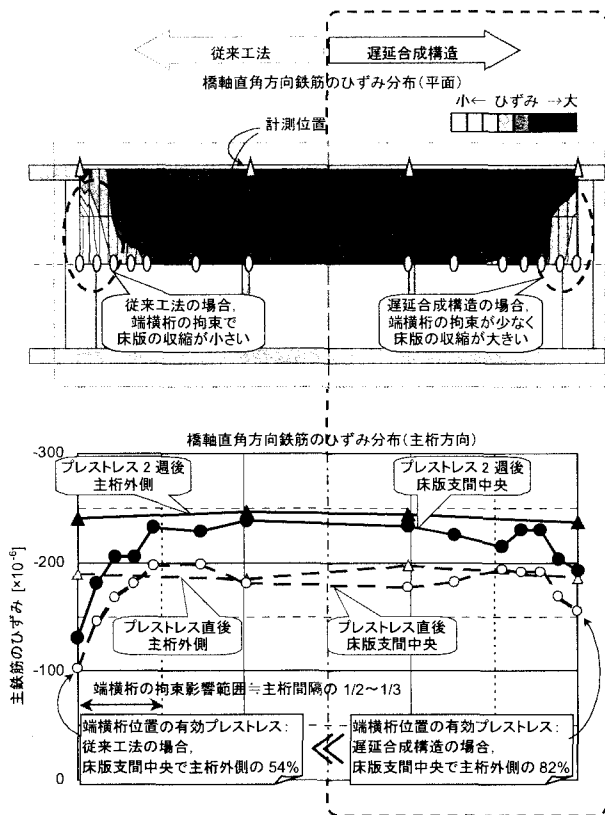


図-6 床版の橋軸直角方向ひずみ（計測値）

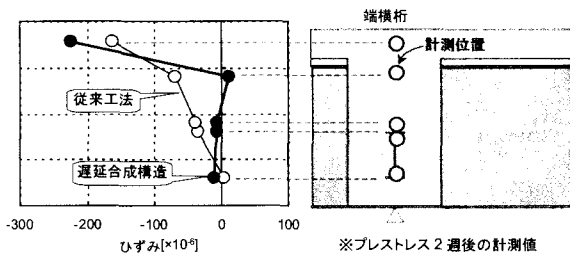


図-7 端横桁の橋軸直角方向ひずみ（床版支間中央）

4. 試験結果

4.1 床版に作用する有効プレストレス

図-6 に示す床版コンクリートの橋軸直角方向ひずみの分布図から、以下のことが確認できる。

まず、端横桁付近を除く一般部では、従来工法と遅延合成構造の明らかな違いは見受けられない。中間横桁を下方配置したため、従来工法の範囲でも床版の収縮変形に対する拘束が小さかったと考えられる。なお、前述の設計計算結果によれば、プレストレス力の導入直後の床版コンクリートに発生する圧縮ひずみは 170×10^{-6} であり、実測値とほぼ一致している。

従来工法で施工した端横桁付近では、一般部と比べて

床版コンクリートに発生する圧縮ひずみは小さく、その範囲は端横桁から主桁間隔の $1/2 \sim 1/3$ 程度である。特に、端横桁上の断面で比較すると、床版支間中央の床版コンクリートに発生する収縮ひずみは主桁外側の約 54%にとどまっている。

遅延合成構造の端横桁付近においても、上述の収縮ひずみの低下が若干見受けられるが、従来工法の場合と比較してその低下率は小さく、床版コンクリートに発生する収縮ひずみは端横桁上でも一般部の約 82%である。

なお、プレストレス導入から 2 週間後の収縮ひずみの計測結果は遅れ弾性およびクリープにより増加するが、ひずみ分布の傾向は変わらない。

4.2 コンクリート巻き立て横桁の影響

図-7 に示すコンクリートで巻き立てた端横桁の橋軸直角方向ひずみ分布から、以下のことが確認できる。

従来工法で施工した端横桁では、コンクリート床版から端横桁下方までのひずみ分布がほぼ直線であり、端横桁上縁にも収縮ひずみが生じている。すなわち、前項でも述べたように、コンクリート床版に導入させる予定であったプレストレス力が端横桁に分配されている。

遅延合成構造では、端横桁にはひずみが殆ど生じておらず、コンクリート床版のみに収縮ひずみが発生している。すなわち、プレストレス力は端横桁に分配されず、床版コンクリートに効率的に導入されている。

4.3 スタッドの軸方向ひずみ

中間横桁位置の主桁の上フランジ上では、樹脂モルタルの設置方法により、樹脂モルタルの効果が異なることが予想された。そこで、試験体の製作時には図-4 に示したとおり、樹脂モルタルを使用しない従来工法、上フランジ上面とコンクリートの境界面に樹脂モルタルを塗布するだけの工法、境界面に樹脂モルタルを塗布しさらにスタッドにも巻付ける工法の 3 種類に分けた。これら 3 ヶ所で計測したスタッドの軸方向ひずみを図-8 に示す。

まず、樹脂モルタルを全く設置しなかった従来工法では、3 列配置したスタッドのうち桁間側の垂直補剛材直上でのスタッドのみ大きな軸方向引張りひずみが発生しており、その他のスタッドには軸方向ひずみがほとんど発生していない。

次に、床版と接する主桁上フランジ上面に樹脂モルタルを塗布しただけの箇所では、従来工法と同様に、桁間側垂直補剛材直上のスタッドに大きな軸方向引張りひずみが発生しているが、従来工法の約 70%に減少している。

さらに、床版と接する主桁上フランジ上面に塗布し、スタッドにも巻付けた遅延合成構造では、すべてのスタッドで軸方向引張りひずみはほとんど発生していない。

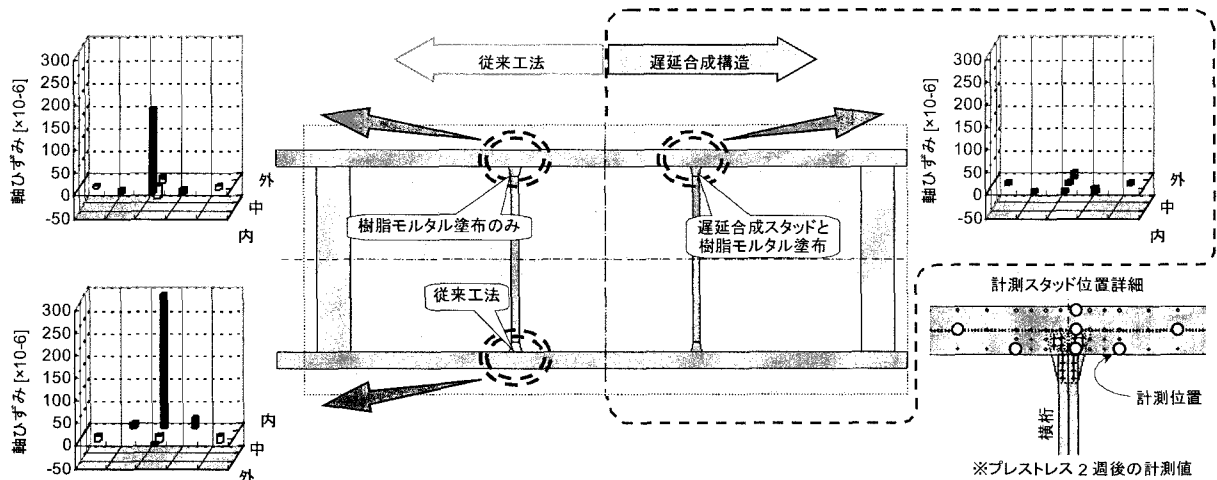


図-8 スタッドの軸方向ひずみ

4. 4 垂直補剛材の影響

前項の中間横桁取り付け位置において、垂直補剛材の鉛直方向ひずみを計測した。その結果を、図-9 に示す。なお、樹脂モルタルを全く施工しなかった場合と上フランジ上面に塗布のみを施した場合を従来工法、上フランジ上面の塗布とスタッドの被覆を施した場合を遅延合成構造として表示した。

従来工法では支間部側での鉛直方向ひずみが大きくなるが、遅延合成構造では位置によるひずみ量の違いは見られない。また、いずれのひずみも従来工法と比較して遅延合成構造での発生ひずみが小さく、特に支間部側では 10 分の 1 程度である。この傾向は、前項で述べた垂直補剛材直上のスタッドに発生する軸方向引張ひずみと対応している。

このことから、中間横桁位置において、従来構造では垂直補剛材とその直上のスタッドがコンクリート床版の回転変形を拘束するが、接触面とスタッド周りに樹脂モルタルを設置した遅延合成構造では、コンクリート床版の回転変形を拘束していないと推測される。

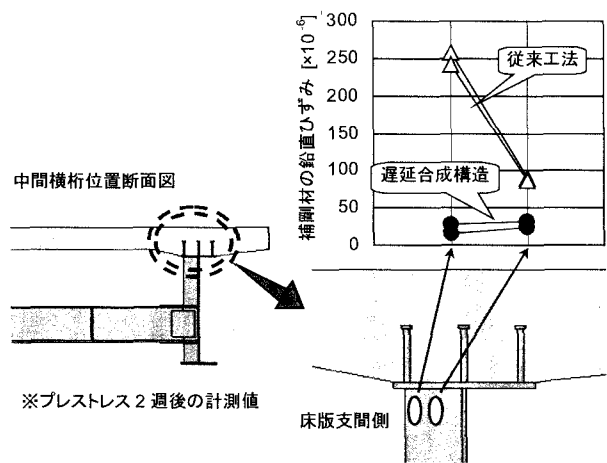


図-9 垂直補剛材の鉛直方向ひずみ (中間横桁位置)

PC 床版の中間横桁位置に対して遅延合成構造が有効に利用できることが確認された。なお、ここで使用している樹脂は変成エポキシを主成分としており、垂直補剛材の位置での主桁フランジ上の防錆も兼ねることができると考えられる。

5. まとめ

本研究では、剛な横桁付近の場所打ち PC 床版に対して遅延合成構造が有効に利用できることが確認された。

すなわち、遅延合成構造を用いれば、鋼部材をコンクリートで巻き立てた横桁や箱断面などの剛な横桁付近においてもコンクリート床版に効果的にプレストレスを導入できた。このとき、遅延合成構造の適用範囲は剛な横桁から主桁間隔の 1/2~1/3 程度とすれば、十分な効果が得られることが確認できた。

また、中間横桁位置のスタッドに全体を樹脂モルタルで覆った遅延合成スタッドを使用すると、コンクリート床版の回転変形を拘束していないと推測され、場所打ち

参考文献

- 1) 渡辺滉, 橘吉宏, 北川幸二, 牛島祥貴, 平城弘一, 栗田章光: 遅延合成構造の開発と実用化に関する研究, 構造工学論文集 Vol.47A, 2001.3
- 2) 北川幸二, 渡辺滉, 橘吉宏, 平城弘一: 遅延合成スタッド (PR スタッド) の押抜きせん断特性, 土木学会第 56 回年次学術講演会 (I), 2001.10
- 3) (社) 日本橋梁建設協会, PC 床版施工マニュアル 場所打ち PC 床版編, 2001.5
- 4) (財) 高速道路技術センター, 近畿自動車道 (敦賀線) PC 床版鋼 2 主桁橋の連続合成桁化に関する技術検討報告書, 2001.3