

逐次ジャッキアップ・ダウン工法に関する実験的検討

大阪建設局 建設企画部 設計課 袴田 文雄
大阪建設局 長居工事事務所 乙黒 幸年
大阪建設局 長居工事事務所 佐藤 大輔

要 旨

南港中出入路の建設工費の縮減に取り組み、鋼桁部は合理化構造の2主桁橋、コンクリート桁部ではPRC連続中空床版橋を採用したことは、阪神高速道路公団技報第16号で報告した。この中で、2主桁橋部に用いたプレキャストPC床版の接合部構造と、橋軸方向プレストレスの導入工法は、工期の短縮と工費の縮減を可能にする新しい技術開発を行っている。本稿では、この技術開発と開発にあたって行った検証実験について報告する。

キーワード：技術開発、プレキャストPC床版、床版間接合部、逐次ジャッキアップ・ダウン、検証実験、設計への反映

はじめに

南港中出入路の鋼桁は、主桁本数を少なくした、いわゆる少数主桁橋と呼ぶ橋梁形式を採用している。主構造も簡略化し、省力化と合理化を行っている。主な内容は、「鋼道路橋設計ガイドライン」にもとづき部材数と溶接延長を少なくし、製作工数の縮減を図る省力化と、下横構を省略し、主桁本数を少なくするなどの構造の合理化である。これらを行うことで、鋼構造部の製作と架設において、工費の縮減と工期の短縮がはかれることは種々報告されている^{1),2)}。

しかし、主桁を少数化することで床版支間が大きくなり、プレストレスを導入する必要がある。すなわち、道路橋示方書II(以下、道示IIという)の規定による橋軸直角方向にプレストレスを導入したプレストレスト床版(以下、PC床版という)となることから、床版の建設費は、従来形式の多主桁橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版という)より高価となることは明らかである。また、

本橋のように都市内に建設される場合、近隣への影響に配慮すると工期を極力短縮することが望ましく床版建設工費が割高となるプレキャストPC床版の採用も選択肢に含めることができる。

本橋では、経済性と施工性に着目した接合部の構造と、独自の橋軸方向プレストレス導入工法を開発し、高コストとされているプレキャストPC床版の工費を縮減して、鋼桁を含めた全体建設工費を従来型橋梁に比べ安くすることができた。

本文は、この内容を報告するとともに、開発にあたって行った種々の検証実験の結果と、設計に反映した内容について報告する。

1. 南港中出入路橋の概要

南港中出入路橋は、プレキャストPC床版を用いた少数主桁橋で、入路桁は6径間連続非合成I桁橋、出路桁は、4径間連続非合成I桁橋である。入路桁の構造諸元を下表に、一般図を図-1に示す。

橋長	258.5m
支間長	40.0m + 40.8m + 40.8m + 40.8m + 40.8m + 53.9m
構造形式	鋼2主桁橋
桁高	2.3m
主桁間隔	4.2m
総幅員	7.0m
平面線形	最小曲率半径500m
最大縦断勾配	入路：4.7% 出路：8.0%

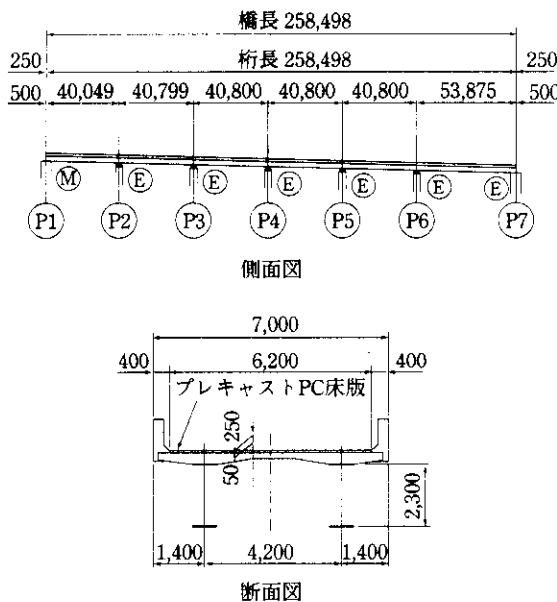


図-1 入路桁一般図 (図中単位mm)

2. プレキャストPC床版

床版をプレキャスト床版とする場合に考慮した内容は、

- ① 床版の製作コストをいかにして縮減するか
- ② 個々の床版をどのようにして連続化するか
- ③ 鋼桁とプレキャスト床版をどのようにして一体化するか

であり、設計的な検討だけではなく、現場における施工性、経済性についても検討を行った。

(1) 床版

採用した床版の外形寸法を図-2に示す。パネル幅については、プレキャストPC床版の製作と運搬、架設を考慮した工費試算を行い2.5mとした。その結果プレキャスト床版の枚数は、入路桁が98枚、出路桁が69枚の合計167枚となった。

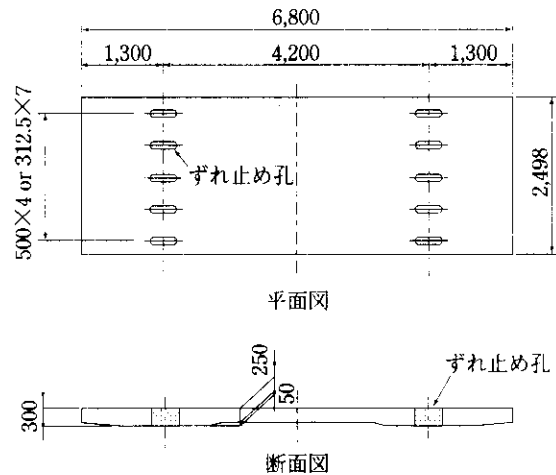


図-2 プレキャストPC床版の形状・寸法 (図中単位mm)

プレキャストPC床版の外形寸法は、床版を製作する鋼製型枠の種類が増加すると床版の製作費が大きくなるので型枠はすべて同一とした。床版の橋軸直角方向に導入するプレストレスの方式は、工場製作によるプレテンション方式とした。1日あたりの製作枚数は4枚で、コンクリートの打設と蒸気養生を行い、翌日に、完成した製品を取出した後すぐに次の床版がセットできるように、床版製作ラインの横であらかじめ鉄筋を組立てておき製作工期の短縮をはかった。なお、本橋は曲線桁橋であるがプレキャスト床版を曲率にあわせ製作すると工費が高くなるため、四隅直角の矩形で製作し扇状に配置し平面線形に合わせた。

(2) 床版間接合部の構造

床版の橋軸方向の連続化が可能な接合部の構造としては、鉄筋を用いる方法、機械的に接続する方法、せん断キーを用いる方法などが考えられる。鉄筋を用いる方法と機械的に接続する方法は、せん断キーを用いる方法より構造が複雑になるので、床版の製作費、接続に要する工費が増加する。

一方、せん断キーを用いる接合構造方式は、床版の製作費と接続に要する工費は安くなるが、接合部が開くと連続性が損なわれるので、接合部にプレストレスを導入する必要がある、その工費が必要となる。

本工事では、後述する安価な橋軸方向のプレストレス導入工法を開発し、接合部はせん断キーを

用いた構造とした。

せん断キー継手の形状については、接合部のせん断耐荷力を調査した実験結果から図-3に示す構造とした。図に明らかなように、極めて簡単な構造であり、現場における作業も無収縮モルタルを充填するだけで完了する。

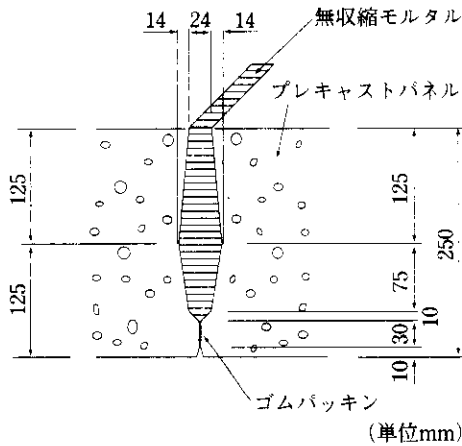


図-3 プレキャスト床版の接合部

(3) 鋼桁との接合部の構造

PC床版と鋼桁とを一体化する方法は、スタッドジベルを用いる図-4に示す方法が一般的で、技術的にも特に問題はない。

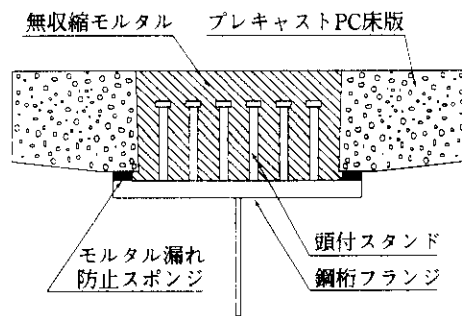


図-4 プレキャストPC床版と鋼桁との接合部の断面図

しかし、プレキャスト床版を敷設する際、床版のずれ止め孔に、主桁上に溶植されたスタッドジベルを収めながら床版を敷設していくには高い据付け精度が要求される。本橋では、鋼桁と床版の一体化をより完全なものとするため、橋軸方向の床版とスタッドの据付誤差を±10mm以内にとしたが、スタッドを先打ちして床版を許容差以内に敷設することは容易でないと判断し、床

版敷設後にスタッドを溶植する方法を検討した。

床版のずれ止め孔を再現した模型を用いてスタッドの溶植を行った結果、先打ち工法に比べ若干の作業効率の低下はあるものの施工可能であることが確認できた。また、溶植されたスタッドの引張試験を行い問題のないことも確認した。以上により、スタッドの溶植はPC床版敷設後に行うこととした。

3. 逐次ジャッキアップ・ダウン工法

床版間接合部にせん断キーを用いた場合、接合部にプレストレスを導入する必要のあることは前述した。しかし、本橋のような橋長の長い多径間連続桁橋の橋軸方向にプレストレスを導入する場合、既存の工法では以下の問題がある。

- ① PC鋼線を用いる場合には、PC鋼線を挿入する作業が困難で、かつ摩擦によるプレストレスの損失が大きくなり、施工性や経済性が低下する。
- ② ジャッキダウンによる方法では、ジャッキダウン量が大きくなり、施工性や経済性が低下する。

そこで、各中間支点を逐次ジャッキアップ・ダウンすることにより、従来のジャッキダウン工法よりジャッキアップ量が1/10ですむ「逐次ジャッキアップ・ダウン工法」を新開発した。

図-5にその手順を示す。工法の詳細については、文献など^{3),4)}で報告しており本稿では割愛するが、施工性、経済性のいずれの面でも、既存のプレストレス導入方法より有効である。

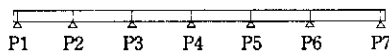
図-6に地覆、高欄、舗装を施工した後の床版コンクリート中心線に残存する圧縮応力度の分布を示す。

橋梁が完成した直後では、ジャッキダウンで圧縮応力の導入されない端支点部付近を除き、小さいところでも20kgf/cm²程度の圧縮応力度が残存している。コンクリートの乾燥収縮、クリープの影響を考えると最終的に残る圧縮応力度は、少ないところでも10kgf/cm²程度である。後述する検証

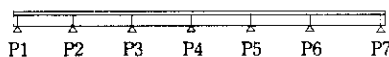
実験で、 5 kgf/cm^2 の圧縮応力が導入されていれば、床版の連続性の確保と接合部の耐荷力に問題のないことが確認されている。これらから、 5 kgf/cm^2 に満たない両端部約6mの範囲は、場所打ちPC床版とし配力鉄筋を連続化することとした。

つぎに、各中間支点到に着目すると、コンクリートの乾燥収縮やクリープの影響を考えると、最終的に残る圧縮応力度の平均は 15 kgf/cm^2 程度とな

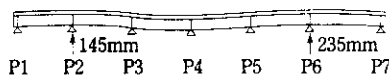
1. 鋼桁架設



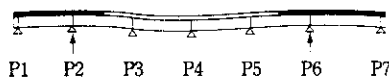
2. プレキャスト床版敷設



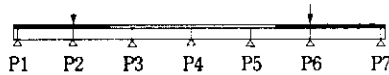
3. P2,P6支点ジャッキアップ



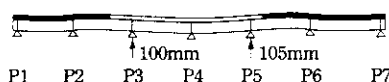
4. プレキャスト床版と鋼桁の合成



5. P2,P6支点ジャッキダウン



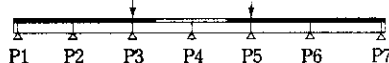
6. P3,P5支点ジャッキアップ



7. プレキャスト床版と鋼桁の合成



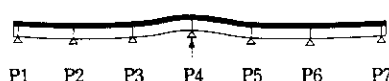
8. P3,P5支点ジャッキダウン



9. P4支点ジャッキアップ



10. プレキャスト床版と鋼桁の合成



11. P4支点ジャッキダウン

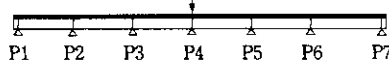


図-5 逐次ジャッキアップ・ダウン工法の手順

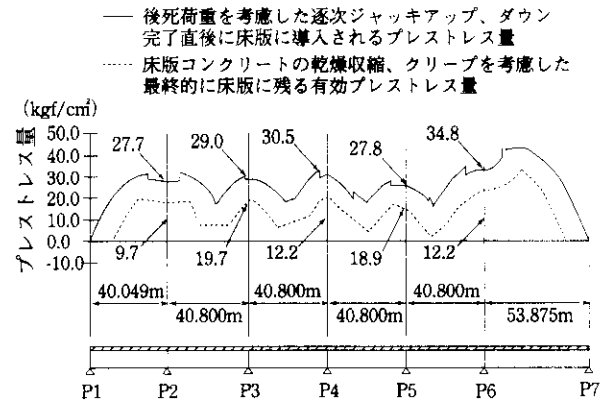


図-6 逐次ジャッキアップダウンによって床版に導入されたプレストレス量の分布

る。活荷重+支点沈下で主桁作用による床版コンクリートに生じる引張応力度は、 30 kgf/cm^2 程度であり、相殺すると 15 kgf/cm^2 程度の引張応力度が生じる。床版コンクリートの許容引張応力度 18 kgf/cm^2 以下であり、ひび割れが発生しないので、配力鉄筋の量を増加するなどの対処は行わないこととした。

4. 検証実験

逐次ジャッキアップ・ダウン工法は、新しい工法なので、プレキャスト床版のせん断キー継手の耐荷力を含め、検証実験を行った。

(1) 逐次ジャッキアップ・ダウン工法による模型桁の応力計測⁵⁾

①目的

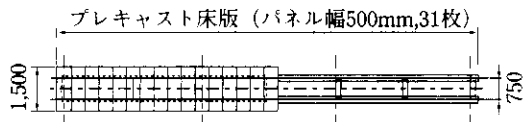
逐次ジャッキアップ・ダウン工法で、計算どおりの圧縮応力度がプレキャスト床版に導入されるか調査した。

②実験方法

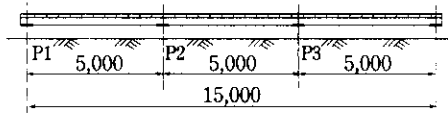
図-7に示す3径間連続桁の供試体を用いて、逐次ジャッキアップ・ダウンを行い、鋼桁と床版の応力度を計測した。

③実験結果

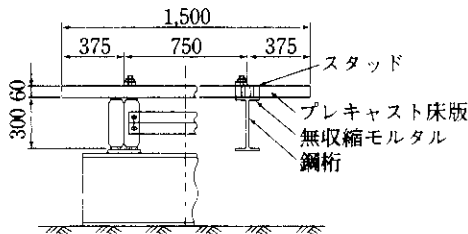
図-8に一連のジャッキアップ・ダウンが完了した後の床版内圧縮応力度の分布を、図-9にP2支点をジャッキダウンした時のP2支点付近の計測断面ひずみ分布を示す。



(a) 平面図



(b) 側面図



(c) 断面図

(単位mm)

図-7 3径間連続模型桁

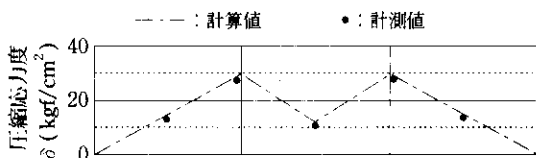


図-8 逐次ジャッキアップ・ダウン完了直後に床版に導入される圧縮応力の分布

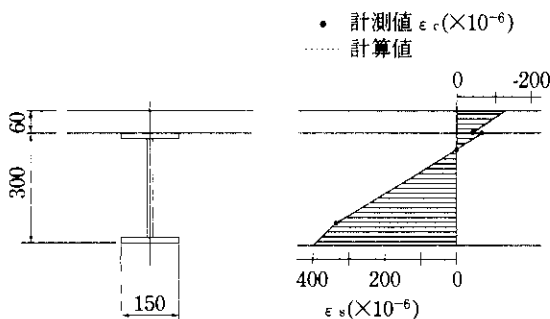
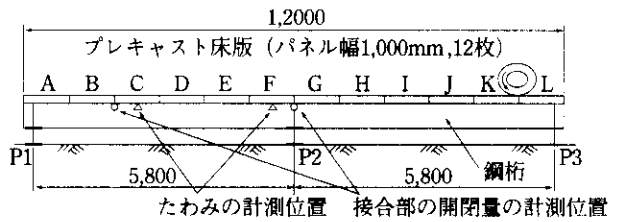
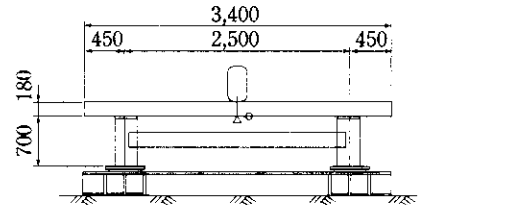


図-9 ジャッキダウンによるひずみ分布

図-8, 9には、計算値として初等梁理論で求めた値も示しているがプレキャスト床版内に導入された圧縮応力度は、計算値と概ね一致していることがわかる。このことから、逐次ジャッキアッ



(a) 側面図



(b) 断面図

(単位mm)

図-10 2径間連続模型型

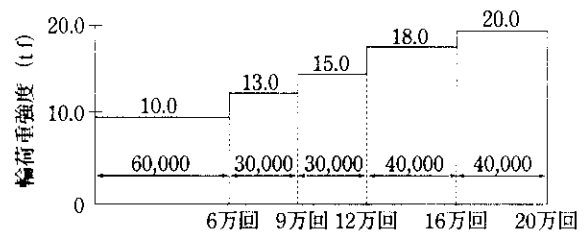


図-11 輪荷重載荷プログラム

プ・ダウンにより、所定のプレストレスをプレキャスト床版に導入できること、床版と鋼桁のひずみは初等梁理論で十分精度よく求められることを確認した。

(2) せん断キー継手を用いたプレキャスト床版の疲労耐久性試験⁶⁾

①目的

プレキャストPC床版パネルの疲労耐久性とせん断キーを用いた接合部の橋軸方向のプレストレス量と疲労耐久性との関係について調査した。

②実験方法

図-10に供試体と輪荷重載荷位置および、計測位置を示す。

この供試体の両端支点をジャッキアップして、実橋と同じ30kgf/cm²の圧縮応力度を、中間支点上のプレキャストPC床版の中心線上に導入し、図-11に示す載荷プログラムで輪荷重走行実験を行った。橋軸方向のプレストレスの分布は、中間支点上で最大、端支点上でゼロとなる三角形分布

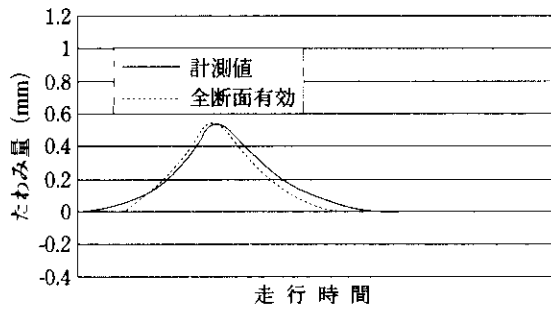


図-12 Cパネルの走行時のたわみ量変動

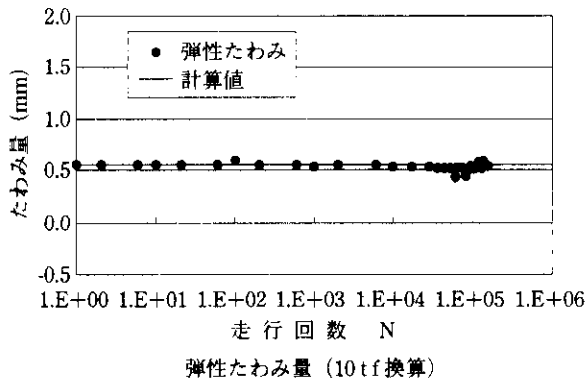
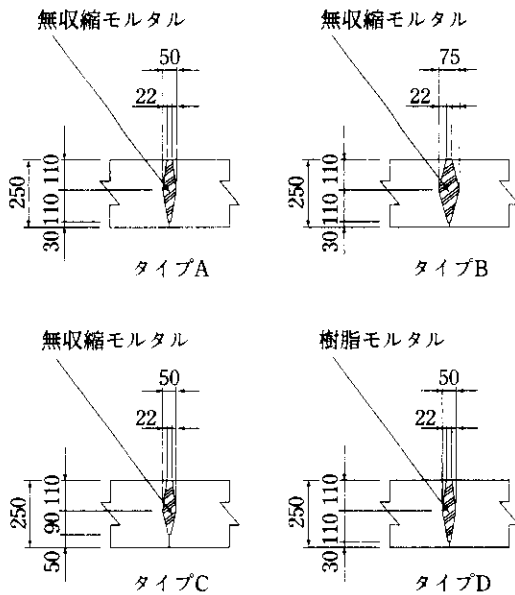


図-13 Cパネルのたわみ量の経時変化



下記のプレストレス量の供試体を用いている。
0, 10, 20, 30 (kgf/cm²) (単位mm)

図-14 床版パネル間接合部の供試体

で、端支点到最も近い接合部のプレストレス量は、5 kgf/cm²程度である。

③実験結果

図-12に輪荷重の走行中(荷重強度10tf, 走行回数1000回)におけるCパネルのたわみ変動を示す。図-13に任意の走行回数時での静的載荷(10tf換算)におけるCパネルの弾性たわみ量を示す。図-12, 13とも全断面有効で、かつ、接合部のない床版が橋軸方向に連続していると仮定した計算値とよく一致していることがわかる。Fパネルでも同様の結果が得られた。図-12からは、接合部が曲げモーメントとせん断力の伝達機能を果たしていること、図-13からは、床版の剛性が低下していないことがわかり、接合された床版は大きな荷重下にあっても、版としての性能を保ち、健全であることを確認した。また、最もプレストレス量の小さい、端支点付近の接合部下面でもひび割れが生じていないことから、プレキャストPC床版とその接合部が十分な疲労耐久性を有していることを確認した。

③ プレキャスト床版のせん断キー継手の耐荷力に関する実験^{7),8)}

①目的

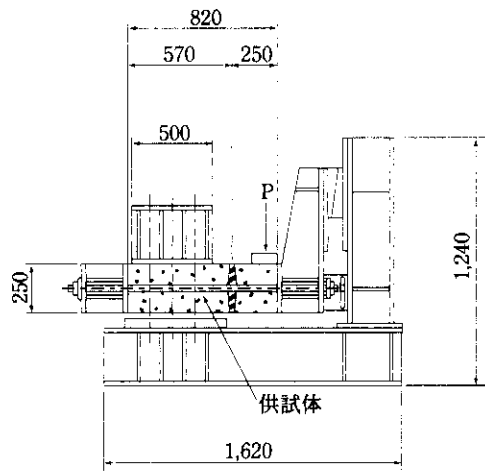
せん断キーの形状、充填材料、プレストレスの大きさをパラメータとしたせん断耐荷力の調査を行い、その実験結果から実橋で使用するせん断キーの形状、充填材料、および必要プレストレス量を決定する。

②実験方法

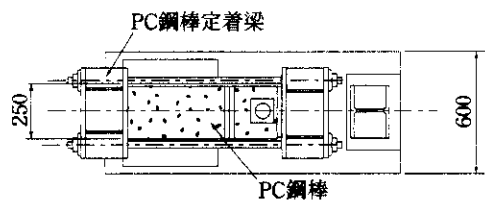
図-14に示すようにせん断キーの形状、充填材料、プレストレス量の大きさを変えた実物大のせん断キー継手を有する梁供試体を製作し、図-15の実験装置を用いて、せん断耐荷力を計測した。

③実験結果

各供試体における初期ひび割れとプレストレス量の関係を図-16に示す。プレストレスの増加にともない初期ひび割れの生じる荷重も増加するが、プレストレス量が30kgf/cm²になるとタイプBとタイプCについては若干耐荷力が小さくなるような結果が得られた。しかし、今回比較したせ



側面図



平面図

図-15 実験装置外形図 (図中単位mm)

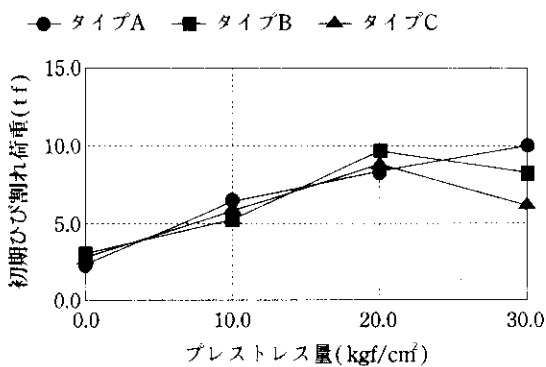


図-16 各供試体の初期ひび割れとプレストレスとの関係

せん断キーの形状では、大差のないことが確認できた。実橋に用いるせん断キーの形状は、充填する無収縮モルタル量の少ないタイプCにすることにした。

5. 実験結果の設計への反映

実験結果をもとに、実橋の設計に反映した内容。

- ① 模型桁を用いた逐次ジャッキアップ・ダウン工法による応力計測結果より、橋軸方向のプレ

ストレスを導入する際のジャッキダウン量の算出を、初等梁理論で計算した。

- ② 床版パネル間接合部の耐荷力に関する実験結果より、プレキャストPC床版の床版間接合部（せん断キー）の形状、詳細寸法、および充填材料を決定した。
- ③ プレキャストPC床版の連続性を確保できるプレストレス量(5 kgf/cm²)から、場所打ちPC床版とする範囲を決定した。

6. 実橋の応力計測

(1) 実測方法

逐次ジャッキアップ・ダウン施工時の各ステップで、床版と鋼桁の応力計測を行った。計測箇所はP1～P2径間の支間中央、P2支点上とP2～P3径間の支間中央の3箇所計測した。

(2) 実測結果

逐次ジャッキアップ・ダウン完了直後の床版中心線上でのひずみの計測結果を図-17に示す。

これより、全断面有効時の合成断面として計算した値より、大きい圧縮応力が導入されていることが確認できた。今後、年に4回程度の追跡計測を行い、床版に導入された圧縮応力の経時変化を調査する予定である。

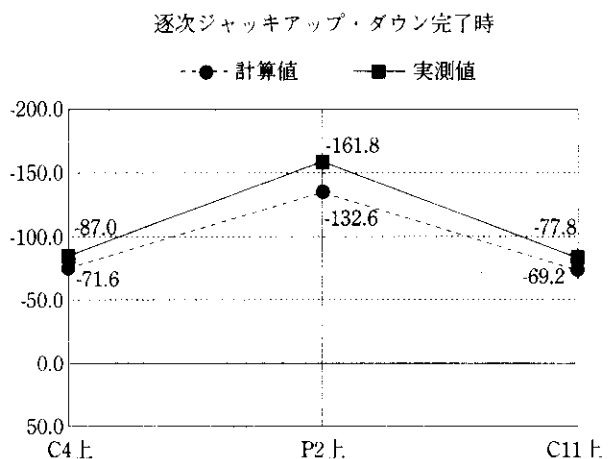


図-17 逐次ジャッキアップ・ダウン工法によるONランプ実橋の床版のひずみ

7. 今後の課題

今後の課題としては下記の諸点が挙げられる。

- ① 経済性に優れたプレキャスト床版と鋼桁の連結に用いる充填材の開発。
- ② 逐次ジャッキアップ・ダウン工法を用いる場合の鋼桁を含めた最適化設計の検討。
- ③ 連続合成桁への適用の検討。

あとがき

本稿では、新しく開発したプレキャスト床版の床版間接合部と逐次ジャッキアップ・ダウン工法について報告した。

本橋はすでに施工を完了し供用を行っているが、施工時において特に問題はなく、工期どおりに完了した。逐次ジャッキアップ・ダウン工法で橋軸方向にプレストレスを導入した目的は、単に床版間接合部の連続性を確保する目的だけではなく、橋軸方向プレストレスにより床版のひび割れの防止や、ひび割れが発生してもその成長が抑制でき、床版の疲労耐久性を向上させる効果も期待している⁹⁾。床版の疲労寿命が伸びることにより、橋梁全体のライフサイクルコストが低下することも強調すべき点である。

初期建設コストを多少アップしてでも、ライフサイクルコストを抑制し、トータルとしてコストを抑えようとする考えが一般的でもあるが、本工事では初期建設コストも従来橋程度に抑えて、なおかつライフサイクルコストをも縮減しようとする取組みを行った。

逐次ジャッキアップ・ダウン工法の有益性は、プレキャスト床版だけにあてはまるものではない。例えば、一般的な連続桁の場所打ちRC床版でも、床版コンクリート打設後の乾燥収縮に起因する橋軸直角方向のひび割れの発生防止に有効と考えられる。

本稿が、プレキャスト床版を検討する際の一資料となれば幸いである。

参考文献

- 1) 高橋昭一, 志村勉, 橋吉宏, 小西哲司: PC床版 2 主桁橋「ホロナイ川橋」の設計及び解析・試験検討, 橋梁と基礎, 1996.2.
- 2) 中村一平, 上松英司, 田畑晶子: 阪神高速 4 号湾岸線南港中出入路鋼 I 桁部の合理化設計, 平成9年度管内技術研究発表会 近畿地方建設局, 平成9年7月.
- 3) YOSHIFUMI NAKA, SHIGEYUKI MATSUI, TOSHIO HORIKAWA, YUNNTIRU KIM, KEIZO EGASHIRA: A Rational Bridge System and Precast Concrete Slabs in Japanese Highway Bridge, SMSB V, 1998.
- 4) 小川久志, 中村一平, 上松英司, 竹中裕文: 逐次ジャッキアップ・ダウン工法を用いたプレキャスト床版連続桁の設計, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 平成10年10月.
- 5) 竹中裕文, 袴田文雄, 田畑晶子, 中井博: 逐次ジャッキアップ・ダウン工法による模型桁の応力計測, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 平成10年10月.
- 6) 木曾収一郎, 堀川都志雄, 佐藤大輔, 松尾和政: せん断キーを用いた接合部を有するプレキャスト床版の疲労耐久性について, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 平成10年10月.
- 7) 松井繁之, 金閨七, 仲義史, 江頭慶三, 宮川治: プレキャスト床版のせん断キーの接合部のせん断耐力について, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 平成10年10月.
- 8) 松井繁之, 金閨七, 志村敦, 江頭慶三, 宮川治: プレキャストコンクリート床版のせん断キー継手の耐荷力に関する実験的研究, 第1回鋼橋床版シンポジウム, 平成10年11月.
- 9) 松井繁之: 床版の技術開発, 橋梁と基礎, 1997.8.