

せん断キ一継手を有する2主桁橋のプレキャスト床版の開発と設計・施工

Design and Construction of Precast Slabs for Two Main Girders Bridge

袴田文雄*, 松井繁之**, 堀川都志雄***, 江頭慶三****, 小川久志*****

Fumio HAKAMADA, Shigeyuki MATSUI, Toshio HORIKAWA, Keizo EGASHIRA and Hisashi OGAWA

* 阪神高速道路公団 大阪建設局 建設企画部 設計課 (〒559-0034 大阪市住之江区南港北1-14-16)

** 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

*** 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科 (〒535-0002 大阪市旭区大宮5-16-1)

**** 榊春本鐵工 本店設計部 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島6-20-34)

***** 同上

Recently, rationalization has been required in the construction of highway bridge in order to reduce construction costs and create a simplified fabrication bridge system. Taking this into consideration, the rampway bridges on the WANGAN route at Osaka Nanko are under construction by Hanshin Expressway Public Corporation. These bridges are continuous girder bridges with two main girders with spacing of 4.2m and precast concrete slabs, which are prestressed in transverse direction. The precast slabs are prestressed in longitudinal direction using a sequential jacking-down method in order to connect longitudinally and to improve the durability of precast concrete slabs including their joints. This new method is very useful in adopting precast slabs, because longitudinal prestressing can be performed easily, by jacking-up and jacking-down each intermediate support in sequence. This paper reports the rational design and construction method of these rampway bridges, and the experimental studies on the applicability of this prestressing method, as well as the durability of precast concrete slabs under moving wheel load.

Key words: rationalized girder bridge, precast slabs, shear key, sequential jacking-up and down

1. まえがき

近年、鋼橋において主桁構造の簡略化および、合理化の見地から、主桁本数を少なくした、いわゆる少数主桁橋と呼ばれる橋梁形式の採用が増加している。この場合、床版支間長が大きくなるので、道路橋示方書(以下、道示という)の規定により、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)となることが多く、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)よりも高価となる傾向にある。少数主桁橋では、主構造の建設費は一般的に多主桁橋より安価となるので、全体建設費に占める床版建設費の割合は、一層大きくなっており、より安価でかつ、施工性に優れ、耐久性のある床版の開発が望まれている。

そこで、阪神高速4号湾岸線の南港地区に新設されるランプ橋において、全体工費の縮減を可能としたプレキャストPC床版を用いた少数主桁橋を建設した。特に、本橋に用いたプレキャストPC床版は、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採用して、全体工費の低減に寄与した。

本文は、この詳細内容を報告するとともに、種々の検証実験を行ったので合わせて報告する。

2. 南港中出入路ランプ橋の概要

本検討対象の南港中出入路ランプ橋は、プレキャストPC床版を用いた少数主桁橋で、ONランプの6径間連続非合成鈹桁および、OFFランプの4径間連続非合成鈹桁がある。ONランプ桁の構造諸元を下記に、一般図を図1に示す。

| | |
|------|-------------------------------------|
| 橋長 | L=258.5m |
| 支間長 | 40.0m+40.8m+40.8m+40.8m+40.8m+53.9m |
| 構造形式 | 6径間連続非合成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R=500m |
| 主要部材 | |

プレキャストPC床版

コンクリート強度 $\sigma_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$

PC鋼より線 SWPR7BL-IT12.7

鉄筋 SD345

場所打ちPC床版

コンクリート強度 $\sigma_{ck} = 350 \text{ kgf/cm}^2$

PC鋼より線 SWPR19L-IT21.8

鉄筋 SD345

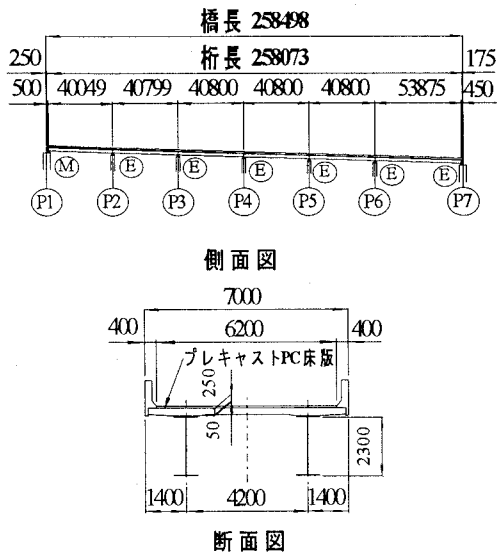


図1 ONランプ一般図

3. 各種の検討および、設計

3.1 主構造

主構造は合理化手法を取入れた2主桁橋とした。詳細構造については、主桁のフランジ幅をジョイント部で変化させて鋼重を低減するなどの工夫を加えている。詳細については、別稿¹⁾²⁾に述べているので本稿では割愛する。

3.2 床版

3.2.1 床版の施工法

主桁間隔が大きくなるので、道示の規定に従いPC床版とした。まず、施工方法について検討した。

- ①桁上で床版を打設した後、プレストレスを導入する。
- ②工場でPC床版を製作し、現場で架設する。
- ③現場ヤード内でPC床版を製作し、架設する。

現場の施工条件を考慮し上記の工費を比較した結果、最も工費が安価であった②を採用した。工費の比較については、後述する。

3.2.2 床版の寸法

プレキャストPC床版のパネル幅(橋軸方向)は、大きい方が床版間接合部の数が少なくなり、床版の疲労耐久性および、施工上有利である。そこで、パネル幅は輸送上の制限、輸送計画および、運搬費を検討し、パネル幅2.5m、1枚当たりの重量12tf、25tf積み車両で一度に2枚ずつ運搬できる大きさに決定した。床版の外形図を図2に示す。

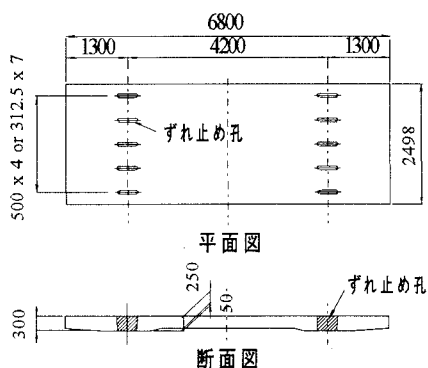


図2 プレキャストPC床版外形図

3.2.3 橋軸直角方向の設計

床版支間長(主桁間隔)は、プレストレス導入後のずれ止め孔の断面欠損を考慮した床版片持部の床版縁応力度と、床版支間部の床版縁応力度が、ほぼ一致する4.2mとした。最小床版厚は、道示のプレストレスを導入する床版の規定より25cmとした。プレストレス量は、死荷重作用時に床版コンクリートに引張りを許さない量とし、設計荷重作用時は、床版コンクリートに引張は許すが、ひび割れを許さない(許容引張応力度18kgf/cm²以下)量とした。床版を設計する際の曲げモーメントは道示に従って算出した。

3.2.4 橋軸方向の設計

プレキャスト床版を連続性のある版とする条件で、道示の曲げモーメント式を用い、RC構造として設計した。中間支点付近で主桁作用により床版コンクリートに生じる引張応力については、後述する逐次ジャッキアップ・ダウン工法でプレストレスを導入し対処することとした。

3.2.5 接合部の検討

接合部構造の検討方針は、下記のとおりとした。

- ①床版を連続化させ、版として一体化できる構造とする。
- ②床版の製作費を考え、製作し易い簡単な構造とする。
- ③現場施工費を考え、作業量の少ない構造とする。

床版の連続化が可能と考えられる構造として、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が考えられる。しかし、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も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一般に増加する。よって接合部の構造は、せん断キーを用いる方法とした。せん断キーの構造としては、あらかじめプレキャスト床版にキー構造を造形し、敷設時に噛み合わせる形式と、プレキャスト床版敷設後、充填材を入れてせん断キーを造形する形式(グラウト継手とも呼ばれる)がある。両者の施工性、経済性を比較し、充填材を入れて造形する形式とした。また、せん断キー継手の形状とプレストレス量を種々変化させて、せん断耐荷力を計測した実験結果から、図3に示す構造とした。図を見て明らかのように、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。

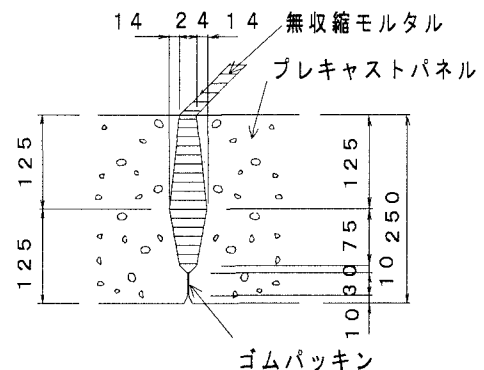


図3 プレキャスト床版の接合部

3.3 橋軸方向プレストレス

3.3.1 プレストレス導入の目的と方法

下記の理由により橋軸方向にプレストレスを導入することを検討した。

- ①接合部にせん断キーを用いて床版を連続化する場合、接合部が開くと連続性が損なわれる。
- ②床版および、接合部の疲労耐久性を向上させる。
- ③主桁作用で生じる中間支点付近の引張応力が減ること

で、少ない配力筋量となれば床版製作費が安くなる。プレストレスを導入する方法としては、PC鋼より線を用いる方法、ジャッキダウンによる方法および、それらを併用する方法がある。しかし、本橋のような多径間連続桁では、以下の問題が生じる。

- ①PC鋼より線を用いる場合には、PC鋼より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、中間支点を逐次、ジャッキアップ・ダウンする方法を用いることとした。まず、過去に連続合成桁橋で用いられていた全中間支点を一度にジャッキアップ・ダウンする従来工法のジャッキアップ量を求めた。プレストレス量は、各中間支点において後死荷重+活荷重+支点沈下による負の曲げモーメントにより、床版に生じる引張応力を相殺する量とした。最大のジャッキアップ量は、P4支点で2270mmとなり施工性と安全性が懸念された。そこで、各中間支点を、逐次、ジャッキアップ→床版と桁を合成→ジャッキダウンし、順次プレストレスを導入する工法を開発した³⁾。ジャッキアップ・ダウンの手順を図4に示す。最大ジャッキアップ量は、P6支点で235mmとなり、従来と比べて10分の1のジャッキアップ量で済むことがわかった。この方法は、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用であり、この安価なプレストレス導入方法を開発したことと、前述のせん断キー継手の併用によって全体建設工費の削減が可能となった。

3.3.2 橋軸方向プレストレス量の分布

図5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上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、クリープを考慮した最終的に残る圧縮応力度は、少ないところで10kgf/cm²程度である。後述する検証実験で、5kgf/cm²の圧縮応力が導入されていれば床版の連続性の確保および、接合部の耐荷力に問題のないことが確認されている。以上より、5kgf/cm²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。

次に、各中間支点に着目すると、コンクリートの乾燥

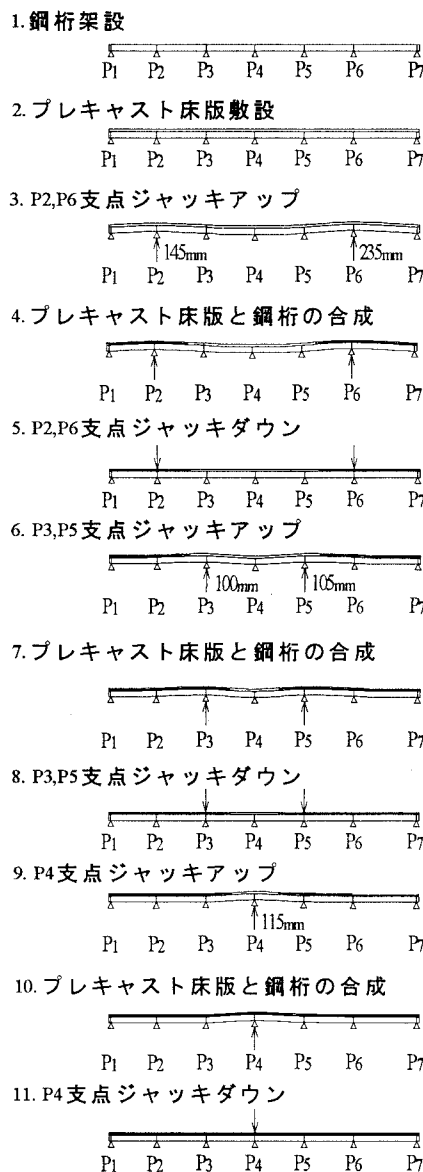


図4 逐次ジャッキアップ・ダウン工法の手順

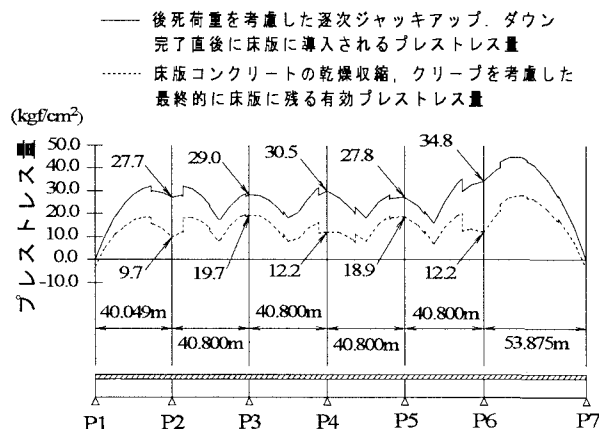


図5 逐次ジャッキアップ・ダウンによって床版に導入されたプレストレスの分布

収縮やクリープを考慮した最終的に残る圧縮応力度の平均は、15kgf/cm²程度となる。活荷重+支点沈下で主桁作用により床版コンクリートに生じる引張応力度は、30kgf/cm²程度で、相殺すると15kgf/cm²程度の引張応力度が生じる。しかし、床版コンクリートの許容引張応力度18kgf/cm²以下で、ひび割れが発生しないので、配力鉄筋の量を増加させ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、これまでに実績がないので、プレキャスト床版のせん断キー継手の耐力を含め、下記の検証実験をおこなった。

4.1 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⁴⁾

4.1.1 目的

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

4.1.2 実験方法

図6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、鋼桁および、床版の応力を計測した。

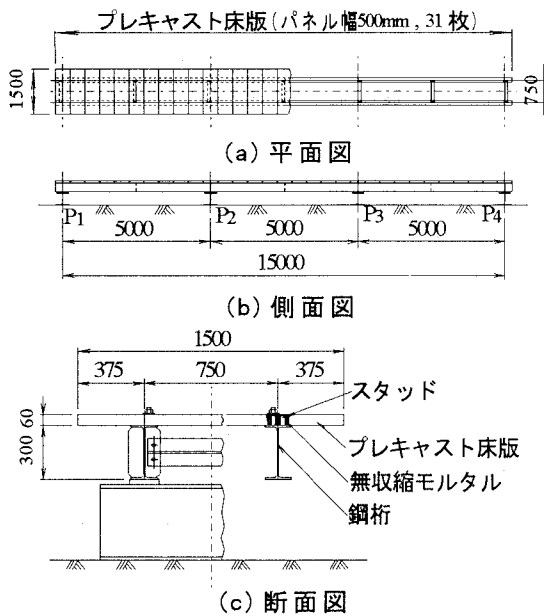


図6 3径間連続模型桁

4.1.3 実験結果

図7に一連のジャッキアップ・ダウンが完了した後のプレキャスト床版内の圧縮応力の分布を示す。図8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のひずみ分布を示す。これらの図から、プレキャスト床版内に導入された圧縮応力は、計算値と概ね一致していることがわかった。このことから、逐次ジャッキアップ・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が確認された。

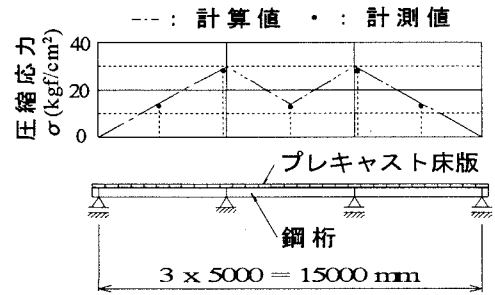


図7 逐次ジャッキアップ・ダウン完了直後に床版に導入される圧縮応力の分布

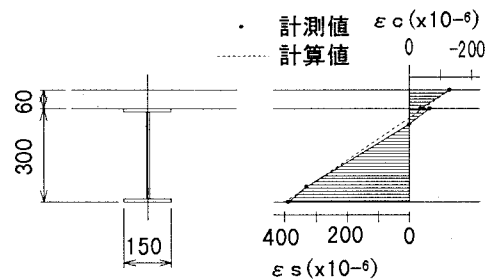


図8 ジャッキダウンによるひずみ分布 (引張を正、圧縮を負)

4.2 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⁵⁾

4.2.1 目的

実橋に用いるプレキャストPC床版パネルの疲労耐久性および、せん断キー(グラウト継手)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について調査した。

4.2.2 実験方法

図9に供試体と輪荷重載荷位置および、計測位置を示す。

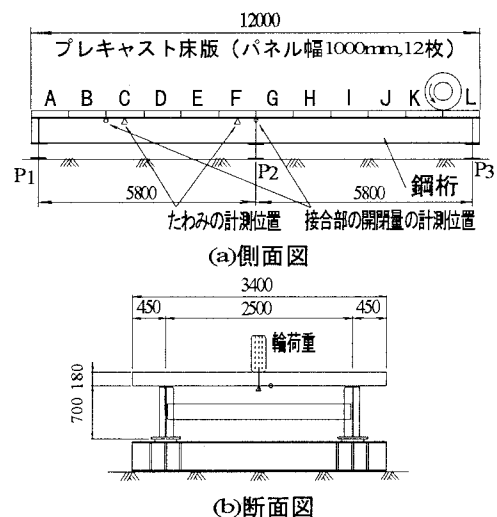


図9 2径間連続模型桁

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10に示す載荷プログラムで輪荷重走行実験を行った。

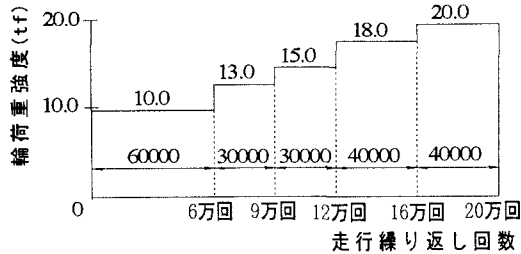


図10 輪荷重載荷プログラム

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

4.2.3 実験結果

図11に輪荷重の走行中(走行荷重強度10tf、走行回数1000回)におけるCパネルのたわみ変動を示す。

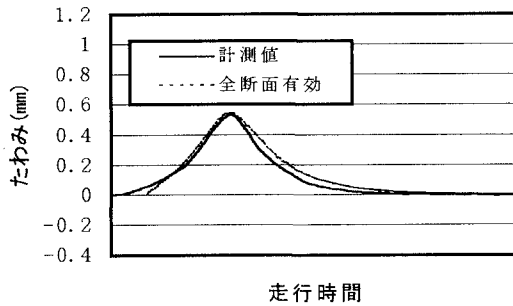


図11 走行時のたわみの変動

また、図12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を示す。

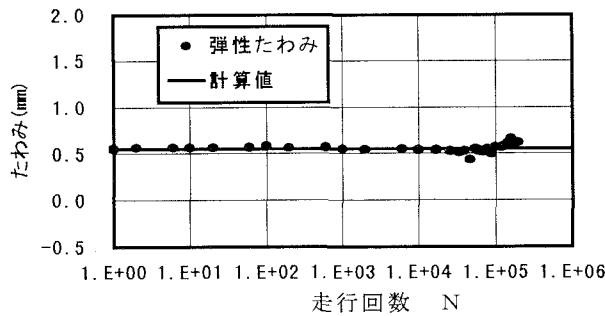


図12 Cパネルのたわみの経時変化

両図とも全断面有効時で、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った。また、Fパネルでも同様の結果が得られた。図11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12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ったことが確認された。

4.3 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⁶⁾

4.3.1 概要

詳細については、本シンポジウムで別途報告⁷⁾されるが、せん断キー継手のみに着目した静的耐荷力試験を行い、継手部に5kgf/cm²程度の圧縮応力が導入されていれば、十分なせん断耐力を有していることが明らかとなった。

5. 実橋の応力計測

実橋での計測は、施工時計測が終了後間もないので、計測方法と床版応力の計測結果のみを報告するに留める。

5.1 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、床版および鋼桁の応力計測を行った。計測場所はP1～P2径間の支間中央、P2支点上、およびP2～P3径間の支間中央の3ヶ所で計測した。

5.2 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13に示す。

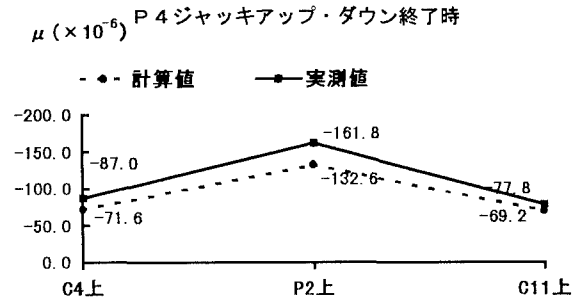


図13 逐次ジャッキアップ・ダウン工法によるONランプ実橋の床版のひずみ

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、1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。

6. 施工

6.1 スタッド

床版とスタッドの据え付け誤差は、鋼桁と床版の一体化を完全なものとするため、±10mm以内とした。本橋は曲線桁であり、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、また、施工性を確認したうえで、床版敷設後にスタッドを溶植した。

6.2 床版の施工

床版の敷設は、スタッドジベルを後打ちにしたこともあり極めて順調に施工された。床版1枚当たりの施工時間は30分程度であったが、現場に仮置き場所がないなどの理由から、1日当たりの敷設枚数は、最高12枚(30m)とした。また、逐次ジャッキアップ・ダウン工法の1サイクル(ジャッキの設置～ジャッキダウンまで)の工期は、無収縮モルタルの養生期間3日を入れて、8日間程度となった。

7. 経済性の比較

本橋の試算に基づいて、3主桁従来構造+場所打ちRC床版を100とした時の、2主桁合理化構造+場所打ちPC床版と、2主桁合理化構造+プレキャストPC床版+縦締めと、今回施工した2主桁合理化構造+プレキャストPC床版+逐次ジャッキアップ・ダウンの4種類の工種別工費比較を図14に示す。各工種が、建設費全体に占める割合を見ると、従来構造で70%を占めていた主構造が、合理化構造とすることで54%程度に縮減される。しかし、2主桁にするとPC床版となるので、全体工費に占める床版の割合は、4分の1以上を占めることとなる。主な増減を列举すると、主構造を合理化構造とすることで20%減、場所打ち床版をRC構造からPC構造にすることで90%増となるが、プレキャスト化による工費の増額は微量である。橋軸方向プレストレスの導入を縦締めから逐次ジャッキアップ・ダウンにすることで60%減となった。建設工事全体の工費減は、従来形式と比べて3%程度となったが、工期の短縮は著しく33%も短縮された。

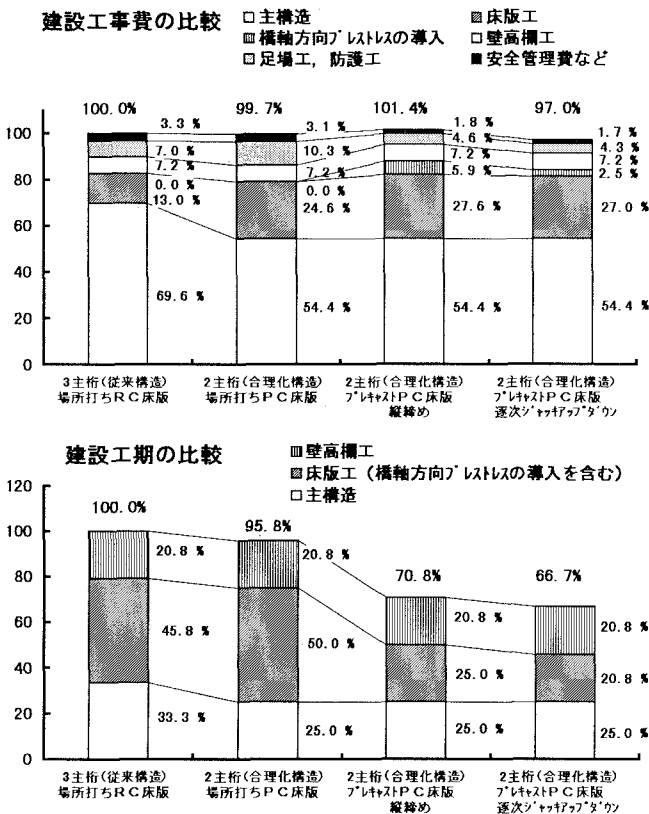


図14 建設工費および、建設工期の比較

8. あとがき

本稿では、主に建設工費を削減するために、検討した内容について報告した。建設工費の削減率のみをとらえると3%に留まることがわかった。しかしながら、床版の橋軸方向にプレストレスを導入することは、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の大きいことが報告されている⁹⁾。床版の疲労寿命が伸びれば、橋梁全体

のライフサイクルコストが低下することも併せて強調すべき点であるといえる。

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が可能と考えられる。

また、今後の課題として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。

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。

謝辞

検証実験と実橋計測に際し、多大な御指導を賜った大阪市立大学の中井博教授に心から感謝致します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 佐藤大輔, 乙黒幸年, 袴田文雄: 南港中出入路上部鋼桁工事における少数主桁の設計・施工, 平成10年度建設省 技術研究会
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 松井繁之: 床版の技術開発, 橋梁と基礎, 1997.8