

床版施工用荷役運搬工法「キャリレール工法」 の開発とその効果について

倉田幸宏¹・師山裕²・山下肇¹・西東十郎¹・今門俊郎³・里深一浩⁴・山下圭介⁴

¹正会員 石川島播磨重工業株式会社 物流・鉄構事業本部 橋梁事業部
(〒135-8731 東京都江東区豊洲2丁目1-1 東京エンジニアリングセンター別館)
²正会員 石川島播磨重工業株式会社 技術開発本部 基盤技術研究所 構造研究部
(〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1)

³石川島播磨重工業(株)・(株)コミヤマ工業特定建設工事共同企業体(〒193-0841 東京都八王子市裏高尾町533-17)

⁴日本道路公団 東京建設局 八王子工事事務所(〒192-0907 東京都八王子市長沼町1305-3)

場所打ちコンクリート床版の施工において、クレーンなどの大型重機による資材運搬が制約される建設現場では、床版用資材を人力で運搬しているケースが数多くある。この荷役運搬の合理化を図ることにより大幅なコスト削減を実現できる可能性があることから、新たに床版施工用荷役運搬工法の開発を行った。本工法は主桁フランジ上に単軌条レールを設置し、そこに自走式台車を走行させ資材を運搬する工法であり、特徴としては、レールの設置・撤去が容易であること、省スペースでの運用が可能であること、大重量の運搬が可能であること、曲線桁や拡幅にも対応できること、低コストであることなどが挙げられる。本論文では、本工法の概要および実橋への適用実績とその効果について報告する。

キーワード： 場所打ちコンクリート床版, 床版施工用荷役運搬工法, 単軌条レール,
施工の合理化

1. まえがき

場所打ちコンクリート床版を有する橋梁の施工場所は、山間部や海洋上、または都市部の幹線道路付近といったクレーンなどの大型重機による資材の荷揚げや資材運搬が制約される場所であることが少なくない。例えば都市部の幹線道路付近での施工は、交通をできるだけ妨げないように施工しなければならないためにクレーンがごく限られた場所にしか設置できなくなる。そしてそのような場合の上部工の施工では、床版用資材（鉄筋、型枠、支保工、PC鋼線等）の運搬を人力によって行っているケースも多い。橋梁上部工においては建設コスト削減を目的として場所打ちコンクリート床版を有する少主桁橋の建設が数多く行われているにもかかわらず、まだ十分な合理化が図られているとはいえない状況にもある。

そこで著者らは、経済性、施工性、安全性といった様々な面から、上述のような施工の合理化を進める必要があると考え、床版施工用の荷役運搬工法の開発に着手した。

本論文では、場所打ちコンクリート床版の施工における荷役運搬の合理化を目的とした新しい床版施工用荷役運搬工法「キャリレール工法」の開発¹⁾とこの工法を実橋に適用した場合の効果について報告する。

2. 床版施工用荷役運搬工法「キャリレール工法」の開発

(1) 場所打ちコンクリート床版のコスト分析

橋梁の施工場所の条件は多岐に渡っており、前述のように床版の施工に大きな制約を受けるケースも少なくない。そこで著者らは、そのような状況での床版工事におけるコスト削減対策を検討するために、まず床版施工コストの分析を試みた。場所打ちコンクリート床版工事の内訳を表-1に示す。工事の項目を大きく4項目（コンクリート、型枠支保工、鉄筋、PC鋼材）に分け、それを材料費と工費（労務費）に分類した。今回の分析で具体的なモデルとしたのは、橋長220mの6径間連続鈑桁橋（上り線は幅員10.6m、

下り線は10.6m～18.8mへ変化)の固定型枠による場所打ちPC床版工事である。本施工は施工場所の制約により、クレーンによる床版用資材の荷揚げを橋梁端部の1カ所で行えなかったため、橋上での資材運搬のほとんどを人力で行わざるをえなかった。人力による場内運搬工を伴う項目は、型枠・支保工、鉄筋およびPC鋼材であり、図-1に示すように全体工費の4/5以上を占めている。

以上のことより、上述のような制約を受ける場所打ちコンクリート床版(PC床版も含む)の施工においては、荷役運搬の合理化を図ることにより大きなコスト削減を実現することが可能となる、との結論に達した。そして、床版工事におけるコスト削減を目的とした荷役運搬の合理化対策として、これから述べる床版施工用荷役運搬工法の開発を進めることとした。

表-1 場所打ちコンクリート床版(PC床版)工事の内訳

項 目	材料費	工費(労務費)
コンクリート	生コンクリート	圧送工, 打設工, 締固め工, 養生工
型枠・支保工	支保工材, 型枠材	場内運搬工, 設置工, 解体工
鉄筋	鉄筋	加工, 場内運搬工, 場外運搬工, 配置工, 結束工
PC鋼材	PC鋼材	場内運搬工, 設置工, 緊張工, 後処理工

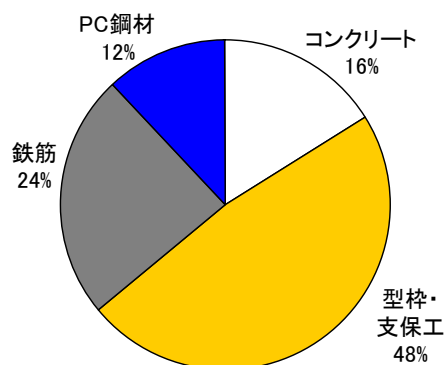


図-1 場所打ち PC 床版工事における工費の内訳

(2) 荷役運搬工法への要求性能

床版施工において、制約条件が多い場所での荷役運搬費を削減するためには、資材の運搬作業を効率よく行うことが重要となる。そこで、床版施工用の荷役運搬工法への要求性能としては主に以下の4項目が挙げられた。

適用対象範囲が広いこと

主桁の曲率や拡幅、縦断勾配・横断勾配にも対応できること、床版コンクリートの打設順序を考慮可能なこと、コンクリート打設後の床版上でも走行が可能であること、などが挙げられる。

省スペースであること

できる限り他の作業の邪魔にならないためにも主桁上ですべての構造が収まる必要があり、また設置・撤去が簡単なことも重要である。

運搬能力が大きいこと

作業の合理化を図るためにできる限り人力での運搬作業を削減し、最低でも1t程度は一括で運搬できることとした。

低コストであること

他の運搬工法との価格競争力を考えるとできる限り低コストに抑える必要がある。

(3) 構造形式の選定

前節(2)で挙げた要求性能を満たすものとして、主桁上にレールを敷設し、そこに運搬用の自走式台車を走らせる構造を考えた。主桁上は全長にわたって連続で基本的には途中で遮る物がないため、この空間を利用した運搬工法が最も実現性がある。しかし、2本の主桁にまたがる構造では横断勾配や線形の影響を受けてレール設置が難しく、幅員が変化する場合への対応は困難となり、さらに少主桁の場合支持間隔が大きくなるため、これらに対応する構造にするにはコストが上がってしまう。また、台車の移動時に施工途中の床版を通過する可能性もあるため、結果として床版の施工に影響を与えてしまう。そこで、1本の主桁上に単軌条レール(モノレール)を設置しそこに自走式台車をラック&ピニオン式で走行させる方法を考案した(写真-1)(以下、モノレールに自走式台車を走行させる装置を「キャリレール」、このキャリレールを用いて床版用資材を運搬することを「キャリレール工法」と称する)。この構造により、低コストでかつ縦断勾配が大きく曲線半径の小さな複雑な線形にも対応可能となる。

(4) 実橋適用に向けての検討

a) レールの設置と撤去

場所打ちコンクリート床版の施工状況は、施工工程により、(a)鋼桁のみの状態(もしくは上フランジ脇に安全通路が設置された状態)、(b)型枠・支保工が設置された状態、(c)鉄筋やPC鋼材が設置された状態、(d)コンクリートが打たれた状態など、様々に変化する(図-2)。さらにコンクリートの打込み順序

の関係から、これらの状況は橋軸方向に不規則に発生する。これらの施工状況に対応するために、レール設置は安全通路内での設置を標準と考え、図-3に示したように主桁架設後の安全通路が設置された状態であれば主桁フランジ上へのレールの設置を行うことができるように工夫した。また、型枠工、鉄筋工まではレールを設置したまま各作業が実施可能なように配慮した。レールの撤去については、レール資材はすべて撤去可能であり、コンクリート内に遺物を残すことはない。また、コンクリート打込み後の床版上についても、図-4に示したように支柱をT型のものに交換し再設置することにより問題なく走行することができる。

b) レール構造及びレールと主桁の取り合い構造

レールの具体的な設置方法は、主桁フランジ上の検測棒位置に上下にねじ切り加工をした鋼棒（以下、ねじ切り鋼棒）を検測棒の代替として設置し、そこにレール設置用の鋼管支柱をかぶせ上部からナットにより締結し、その鋼管支柱にレール材を固定していく（ねじ切り鋼棒はレール撤去後には検測棒として使用可能）。このため、従来のレール設置作業で必要であった芯出し・ケ書き作業が不要となった。また全体的に溶接せず鋼管をボルトで締結していく構造としたため、すべての作業を手作業で簡易に行うことができるようになり、レールの設置および撤去の効率が飛躍的に向上した（写真-2）。

鋼管の倒れ止めとして、橋軸方向には鋼管支柱に2本の水平鋼管を設置し、橋軸直角方向には振れ止めとして梁材と支柱材からなる振れ止め材を設置した。また、鉛直方向浮き上がり防止策としてはスタッドジベルと振れ止めを固定する浮き上がり防止治具を設置した（図-5）。

c) 運搬性能

図-6に示すように、レール上を走行する自走式台車は駆動部（動力部＋発電機）と台車部（荷役台車）



写真-1 ラック&ピニオン式

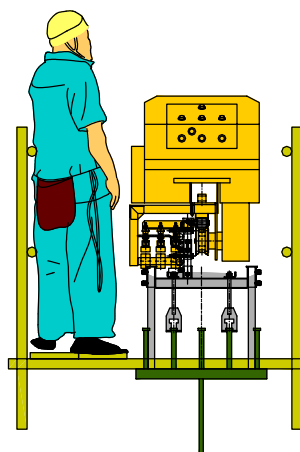


図-3 設置状況（床版施工前）

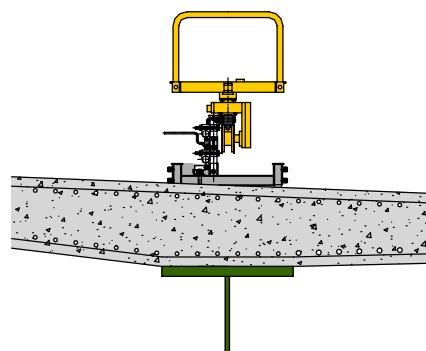


図-4 設置状況（床版施工後）

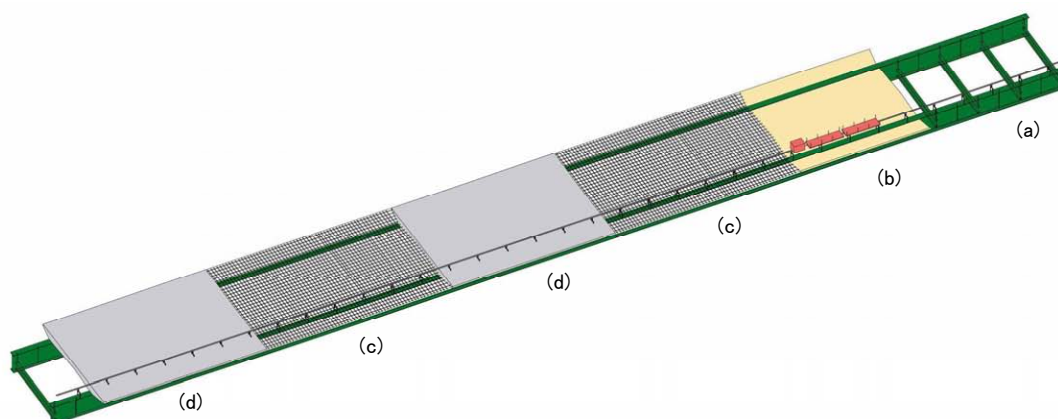


図-2 場所打ちコンクリート床版の施工状況

とから成っている．台車部は荷役台車を連ねて接続でき，3台で12m程度の鉄筋，5台で20m程度のPC鋼線を運搬可能である．また，型枠や支保工，その他の資材も運搬できる．台車1台の積載重量は300kg，運搬装置全体での総運搬重量は1t（駆動部の性能より）とし，運搬速度は40m/min程度まで可能である．このように一括で大重量・大容量の運搬を行うことが可能となった．

d)安全対策

運転はペンダント式のコントローラによって操作を行い，緊急時も含め4段階のブレーキシステムを搭載している．また，駆動方式にラック&ピニオン式を採用しているため逸脱の心配がない．運転時の安全確認用として，移動時に警報が作動するシステムとしている．

(5)走行試験の実施

レールの設置作業と走行性能を確認することを目的に，試験場にて走行試験を行った．この試験では，直線橋だけではなく曲線橋への適用性も検討するために，表-2に示す試験条件で走行試験を行った．試験ケース1では，主桁上フランジを模擬した走行場によりレールと桁の取り付けや縦断勾配・横断勾配の影響について検討した（写真-3）．载荷条件はレールと桁との取り付け部がもっとも厳しい状態となるように，荷役台車1台に1tの荷重（単管パイプ）を载荷した．試験ケース2では，ランプ橋などの曲率による影響を検討するために，実際の曲率より厳しいR50mのレールを敷設し，荷役台車3台による鉄筋（12m）の運搬試験を行った（写真-4）．

走行試験の結果，試験ケース1では1tの荷重载荷まで問題なく走行でき，急停車によってもレール等に問題が発生することはなかった．試験ケース2においては，鉄筋の結束を解いた状態で運搬すればほとんど問題なく走行することができた．しかし，曲率がきつくなると鉄筋の反発による台車車輪およびレール

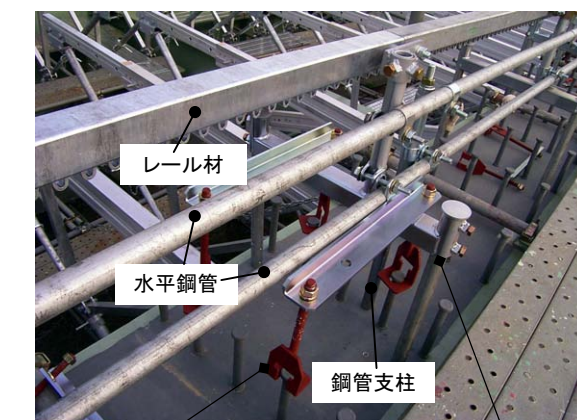


写真-2 レール構造

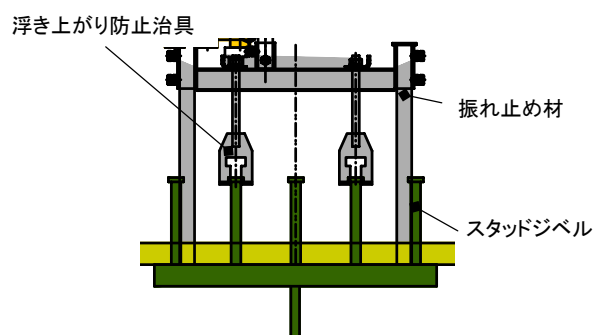


図-5 倒れ防止治具

表-2 走行試験条件

項 目	試験ケース 1	試験ケース 2
レールの形状	直線	曲線（想定より厳しい条件でR50m）
駆動部	エンジン式，電気式	エンジン式
縦断勾配	6 %程度	0 %
横断勾配	0 %，8 %	0 %
载荷荷重	台車 1 台で1tonの鉄パイプ（長さ8m）	台車 3 台で1tonの鉄筋（長さ12m）
载荷条件	対称载荷と偏心载荷	鉄筋の結束有と無
スピード	40m/min	40m/min
走行条件	前進，後進，急停止	前進，後進，停車

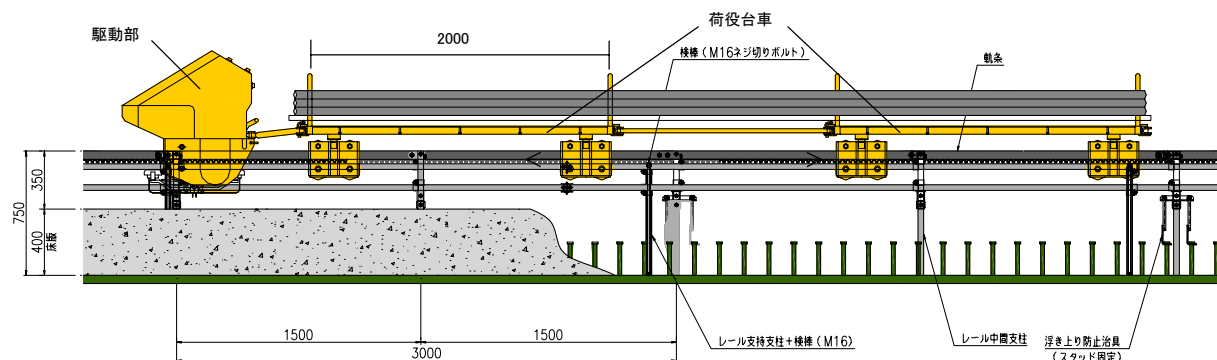


図-6 自走式台車一般図

への負荷が大きくなっていくため、注意が必要である。

以上の結果より、今回開発した工法は縦断勾配、横断勾配のある直線橋および曲線橋において、十分に適用できることが確認された。



写真-3 走行試験状況（直線桁）



写真-4 走行試験状況（曲線桁）

3. 床版施工用荷役運搬工法「キャリレール工法」の実橋への適用

(1) 適用橋梁の概要

キャリレール工法は、施工箇所の制約条件からクレーンなどの重機による資材運搬が困難で人力による運搬区間が長くなるほど効果を発揮する。そこで、本工法が十分効果を発揮すると予想される橋梁において試験的に適用し、その効果について検証することとした。

適用橋梁の工事諸元を以下に示す。また、橋梁一般図を図-7に示す。

- ・ 工事名：中央自動車道八王子ジャンクション Bランプ第二橋（鋼上部工）工事（以下、八王子JCT 橋）
- ・ 発注者：日本道路公団 東京建設局 八王子工事事務所

- ・ 工事箇所：東京都八王子市裏高尾町 中央自動車道本線内(35.5kp～36.2kp)
- ・ 橋梁諸元：表-3に示す。

八王子JCT橋は、表-3および図-7に示すように3つの橋梁形式から成っており、P5～P10間ではクレーンの設置スペースがP10付近にしか取ることができず、この区間の床版用資材はP10上にいったん揚げ、そこから人力で運搬するしか方法が無い状態であった。そこでP5～P10区間に本工法を適用することとした。

(2) キャリレール工法の適用概要

写真-5～写真-8に本工事におけるキャリレールの適用状況を示す。今回P5～P10間に設置したレール長は225mであった。また、すでにP10～P14区間の床版施工は終了していたため、レールをP10～P11区間の既設床版上にも25mほど張り出して設置し、そこを資材の積み込みスペースとした（写真-5）。荷揚げする資材で可能なものは、クレーンで吊り上げた状態からそのまま台車へ積み込みこむことにより、効率のよい資材の積み込み・運搬を行うことができた（写真-6）。

設置時期としては、鋼桁を送り出した主桁脇に安全通路が設置された段階でレールを設置したため、支保工の運搬から型枠、鉄筋、PC鋼線、そのほかボルトやナットなどの小物類、治具などほとんどの床版施工用資材の運搬をキャリレールにより行うことができた（写真-7、写真-8）。

資材の運搬は、P10からP5に向かって支保工、型枠、鉄筋・PC鋼線の順に行ったが、支保工を組みつつ平



写真-5 既設床版への設置



写真-6 資材の積み込み



写真-7 資材運搬



写真-8 レールの設置

表-3 橋梁諸元

	P5～P10	P10～P14	P14～A2
橋梁形式	5径間連続鈑桁	4径間連続鈑桁	3径間連続箱桁
床版形式	PRC 床版	PRC 床版	グレーチング床版
橋 長	245.670m	169.330m	157.000m
幅 員	8.51～15.645m	7.209～6.91m	6.91m
主構間隔	5.2m	3.2m	1箱桁 3.2～3.8m
形 状	R=800	R=1000	R=1000～100
横断勾配	2.0%	2.0%	2.0%～7.0%～4.9%
縦断勾配	6.0%	6.0%	6.0%～2.3%

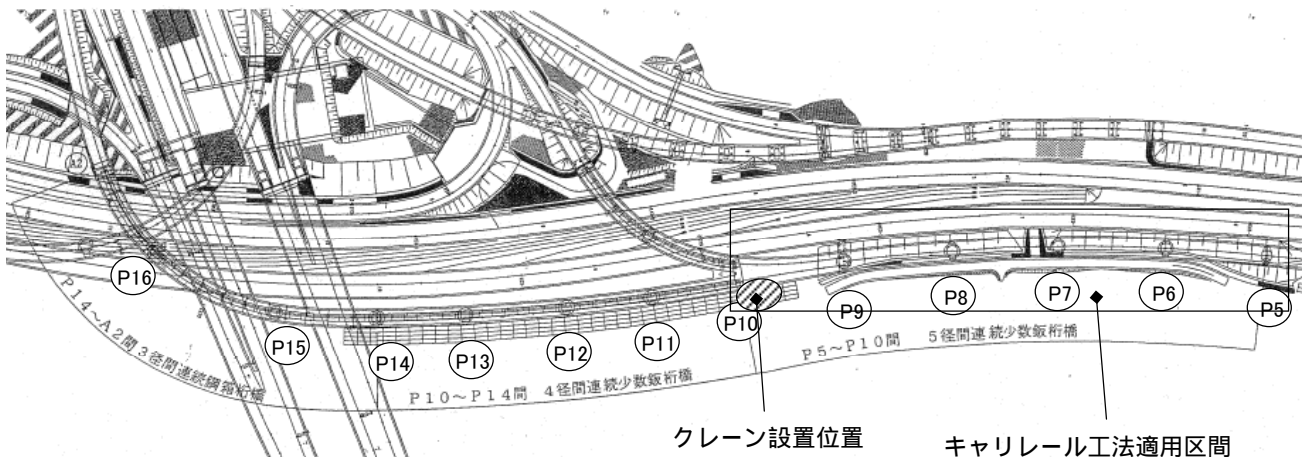


図-7 八王子ジャンクション橋概略図

行して終わったところを型枠，鉄筋と随時組んでいく方法で施工した．このことにより，積み荷の空運搬を抑えた効率のよい資材運搬を行うことができ，またコンクリートの打設によるレールの一時的な撤去もなくすことができた．

(3) キャリレールの設置実績

キャリレールの設置工を大きく「レール設置工」と「その他の作業」（キャリレール用の資材運搬工，自走式台車設置工，自走式台車調整工など）に分ける．今回の設置では，作業日によって作業員の人数と作業時間がまちまちであったため，まず全ての作業を1人の作業員が行った場合の時間に換算し，その時間から人工を計算して評価することとした．ここで工数とは，作業員1人が1日（8時間換算）働いた場合を1人工とした．この結果，レール設置工とその他の作業にはそれぞれ11.8人工と4.4人工かかることとなった．また，レールの設置長は1人工あたり21.2mであった．

ここで，これらの作業を毎日4人で行ったとすると（実工事では3～6人で作業を行った），レールの設置に3日程度，その他の作業に1日程度かかることに

なり，全ての作業は4日程度で終わることになる．また，4人で作業を行った場合のレール設置長は1日85m程度となる．

(4) キャリレール工法の適用効果

今回開発したキャリレール工法を用いることによりどの程度の効果をあげることができるのかを，2章で述べた橋梁の下り線（資材を人力で運搬）（以下，「A橋」とする）と本橋梁（以下，「B橋」とする）での実績を比較することにより検証した．A橋とB橋はキャリレール適用対象区間がそれぞれ220mと245mとほぼ同程度であった．今回比較の対象とした作業項目は，「支保工組立」「型枠張り」「鉄筋組立」「PC鋼線組立」であり，その中にはそれぞれ「運搬」と「設置」の作業がある．

両橋の現場稼働日数は，A橋が85日，B橋が35日とB橋の方がかなりの短期間での稼働となっていた．ここで稼働日数とは，床版施工において支保工組立から鉄筋組立完了（コンクリート打設直前）までを言う．次に，作業効率を比較するためには，原単位による整理を行う必要がある．ここで原単位とは，工数を各作業項目の数量で割った値であり，単位数量

を施工するのにかかる工数のことである。表-4にそれぞれの作業項目別の数量，かかった工数および原単位を示す。表-5には，本工法を用いたことによる作業の効率化の具体的な数値として，A橋の原単位をB橋の原単位で割った値を示した。この値から，本工法を用いたことにより支保工組立では3.1倍，型枠張りでは2.7倍の大幅な作業の効率化が図られたことがわかる。また，鉄筋組立・PC鋼線組立においては，配置作業や結束作業にも手がかかるため，上記の2項目ほどの効率化とはなっていないが，それぞれ5割前後向上している。

表-6，図-8に本工法を用いたことによる工数の削減数と削減率を示す。表中のA橋換算工数とはB橋の数量にA橋の原単位を掛けた値，工数削減率とはA橋とB橋の工数の差，工数削減率とは工数削減数をA橋換算工数で割った値である。この値からわかるように，支保工組立と型枠張りににおいて6割以上の工数削減，鉄筋組立とPC鋼線組立においても3割前後の工数削減，全体としては50%の工数削減となった。

以上のことから，本工法を用いたことにより大幅な工期の短縮と工数削減を同時に実現できたことが明らかとなった。

4. まとめ

今回新たに開発した床版施工用の荷役運搬工法「キャリレール工法」の特徴について以下にまとめる。

軌条レールに自走式台車をラック&ピニオン式で走行させることにより，主桁フランジ上の省スペースでの走行，主桁の曲率（R50m程度），縦断勾配（6%程度），横断勾配（8%程度）への対応，コンクリート打込み後の床版上での走行を可能とした。

桁フランジ上の検測棒位置に上下にねじ切り加工をした鋼棒を検測棒の代替として設置し，それを利用してレールを設置していくため，芯出しやケ書き作業が不要となり，すべての作業を手作業で簡易に行うことができる。

自走式台車は荷役台車を連ねて接続でき，3台で12m程度の鉄筋，5台で20m程度のPC鋼線を運搬可能である。台車1台の積載重量は300kg，運搬装置全体での総運搬重量は1tとし，一括で大重量・大容量の運搬を可能とした。

安全対策として，橋軸方向には鋼管支柱に水平鋼管を設置し，橋軸直角方向には振れ止めとし

表-4 工数と原単位の比較

A 橋(橋長 220m):現場稼働日数 85 日			
作業項目	数 量	工 数	原単位
支保工組立	2,877 m ²	413	0.144 人/ m ²
型枠張り	2,877 m ²	337	0.117 人/ m ²
鉄筋組立	295 t	508	1.72 人/ t
PC 鋼線組立	30 t	144	4.85 人/ t
合 計	-	1402	-
B 橋(橋長 245m):現場稼働日数 35 日			
作業項目	数 量	工 数	原単位
支保工組立	2,169 m ²	100	0.046 人/ m ²
型枠張り	2,169 m ²	95	0.044 人/ m ²
鉄筋組立	200 t	251	1.26 人/ t
PC 鋼線組立	13 t	40	3.13 人/ t
合 計	2,169 m ²	486	-

表-5 作業の効率化

作業項目	A橋原単位／B橋原単位
支保工組立	3.1
型枠張り	2.7
鉄筋組立	1.4
PC 鋼線組立	1.6

表-6 工数の削減数と削減率

作業項目	A橋換算工数 原単位 × 数量	B橋 工数	工数 削減数	工数削減率 (%)
支保工組立	311	100	211	68%
型枠張り	254	95	159	63%
鉄筋組立	345	251	94	27%
PC 鋼線組立	62	40	22	35%
合 計	972	486	486	50%

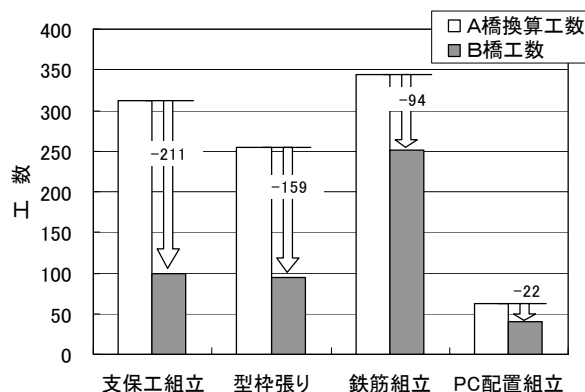


図-8 工数比較

てU字型の鋼管を設置した。鉛直方向浮き上がり防止策としては，スタッドジベルと振れ止めを固定する治具を設置した。

レール設置長250m程度の実橋に本工法を適用しその効果を検証したところ，作業効率は支保工組立では3.1倍，型枠張りでは2.7倍，鉄筋組立・

PC鋼線組立においてはそれぞれ5割前後向上した。工数削減率では、支保工組立と型枠張りにおいて6割以上の削減、鉄筋組立とPC鋼線組立においても3割前後の削減、全体としては50%の削減となった。また稼働日数においても大幅な削減となった。

5．今後の展開

今回の検討結果から、キャリレール工法は場所打ちコンクリート床版の施工の合理化、コスト縮減に十分な効果を発揮することが実証された。今後は、少数主桁ばかりでなく箱桁やトラス、アーチなどの他形式橋梁においても、床版施工時の資材運搬に制約がある工事には本工法を積極的に適用することを

検討していきたい。また、鉄筋や単管など重量はないが玉架けが難しい部材をクレーンに頼って架設する工法から、自走式台車により安全に施工位置まで運べるシステムとして、本工法を広く普及させていきたいと考える。

謝辞：本工法の開発にあたり、試作機の製作から走行試験の実施、実橋への適用にいたるまで、(株)ニッカリの石原氏、中田氏、朴氏、杉本氏のご協力をいただきました。この場をお借りして深く感謝の意を表する次第であります。

参考文献

- 1) 山下，倉田，奥川，師山：床版施工用荷役運搬台車「キャリレール」の開発，第59回土木学会年次学術講演会 -479，pp.955-956，2004.9