

活線施工を可能にしたプレキャストブロック工法

—津久見ベルコン橋(仮称)の設計と施工—

兒玉 莞史*1・岸元 和明*2・緒方 勝*3・村田 信之*4

1. はじめに

津久見ベルコン橋(仮称)は、大分県臼津地区の県道路交通網整備事業の一環として津久見平岩地区(国道217号線)より徳浦地区(鉱石搬出港)への県道臼杵津久見線のバイパス路線として計画された総事業延長1.4kmの工事に伴い、工事区間内にある鉱石運搬施設を橋長105mの高架橋梁としたものである。

鉱石運搬施設は、地山に構築されたボックスカルバート内にベルトコンベアが内蔵され、常時稼働状態のためベルトコンベアの移動や停止ができない構造である。このため、鉱石運搬施設を橋梁上に盛替える工法は、通常の場所打ちコンクリート桁やプレキャスト桁では困難であるため、活線下での橋梁構築技術を開発し本橋梁工事に適用した。

本橋梁は、主桁を5ブロックに分割したプレキャストビーム桁を現場にて緊張するブロック桁工法を基本とし、このプレキャストビーム桁で当該施設を挟み込み、ベルトコンベアを仮受けした後、ベルトコンベアの下面にプレキャスト床版を挿入し、プレキャストビーム桁と床版を横締め鋼材で一体化したU形桁構造の橋梁である。

橋梁の構築にあたっては、床版、屋根部材等のすべての部材をプレキャスト化することによりベルトコンベアの稼働による影響を受けない作業とすることができ、

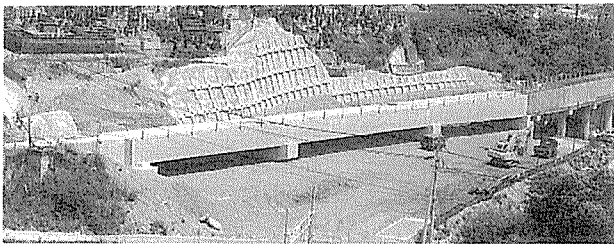


写真-1 完成写真

安全性や工期短縮が実現できた。

本文では、活線施工を可能にした橋梁設計の考え方や施工法を中心に報告する。

2. 工事概要

図-1に橋梁概要図、図-2に橋梁一般図を示す。本橋の工事概要は、次のとおりである。

工事名：平成7年度道改地第13-5号道路改良工事

工期：平成8年1月30日～平成9年3月15日

工事場所：大分県津久見市大字徳浦地内

荷重：ベルコン積載荷重 190kgf/m²、群集荷重 150kgf/m²

構造形式：ポストテンション方式PC単純下路桁

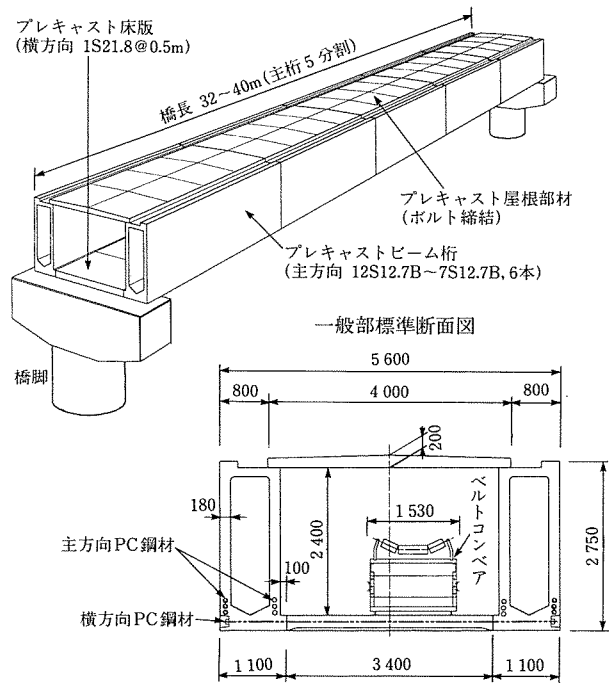


図-1 橋梁概要図

*1 Kanji KODAMA 大分県 道路課長(元臼杵土木事務所 所長)
 *2 Kazuaki KISHIMOTO 大分県 臼杵土木事務所
 *3 Masaru OGATA (株)熊谷組 九州支店 津久見PC作業所 所長
 *4 Nobuyuki MURATA (株)熊谷組 本社土木本部 土木技術部 PCグループ課長

橋 長：105.625m (33.60m+40.00m+32.025m)

有効幅員：3.40m

架設工法：プレキャストブロック工法

本工事は、時速20km/hで常時稼働中のベルトコンベアの活線下での橋梁上への盛替え工事である。ベルトコンベアは、移設や長期停止ができないうえに横方向変位規制±5mm、鉛直方向変位規制±10mmの制限が設けられている。このため、あらかじめ橋脚、橋台施工位置のベルトコンベアの一部を架設トラス桁で仮受けした状態で深礎工法により躯体を先行施工し、図-1に示す中空断面を有するプレキャストビーム桁（主桁）をベルトコンベアの両サイドに架設し、この桁へベルトコンベアを受け替える工法を開発した。上部工の施工工程を表-1に上部工の施工手順図を図-3に示す。ベルコン橋梁の

主桁構造となる、プレキャストビーム桁は、工場製作により1径間5ブロックに分割した部材を現地で組み立て、緊張を行い1径間分の桁を構成した後、大型クレーン車2台吊りにより架設を行った。3径間分のプレキャストビーム桁を架設後、ベルコンをプレキャストビーム桁に仮受けし、挿入配置した床版間に間詰めモルタルを施工後、横方向を緊張し、U形桁構造断面を構成する。最後屋根部材を架設し、ベルトコンベアを橋梁床版上に最終盛替えを行い完了する。これらの橋梁架設の一連作業は、すべてプレキャスト部材を用い、1月半の短期間ですべての作業を終えた。

3. 設計概要

橋梁形式の選定にあたり、以下の設計施工上の制約

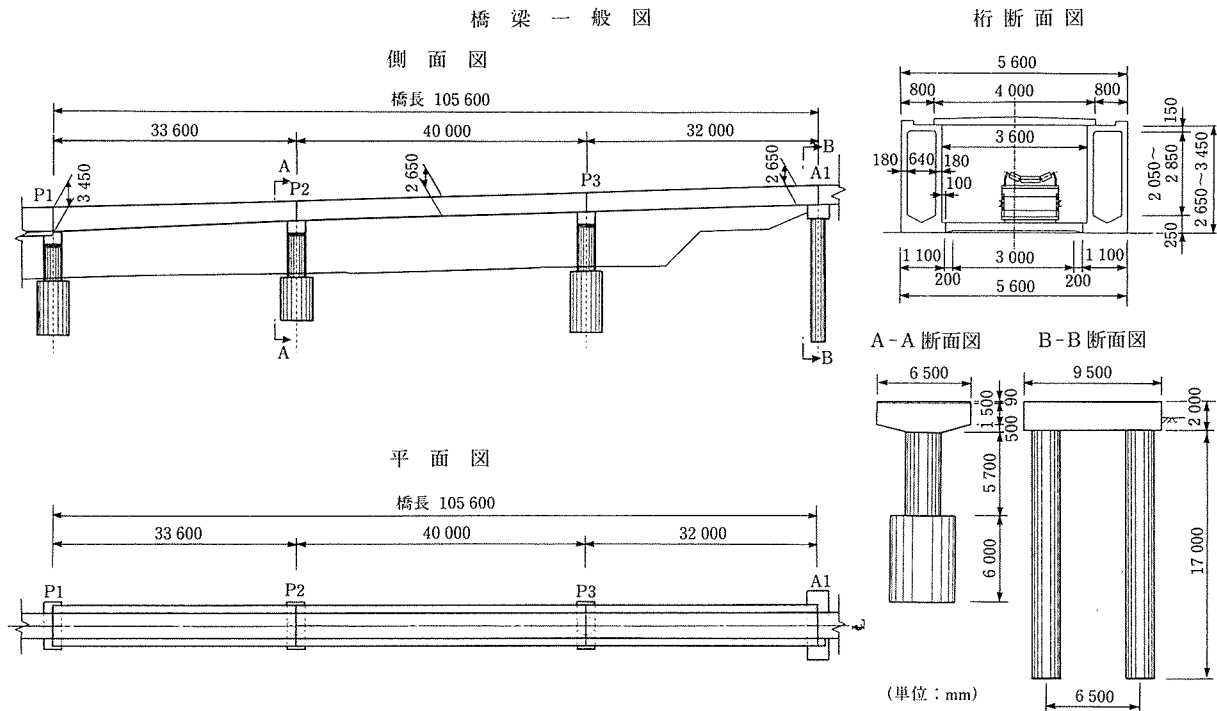


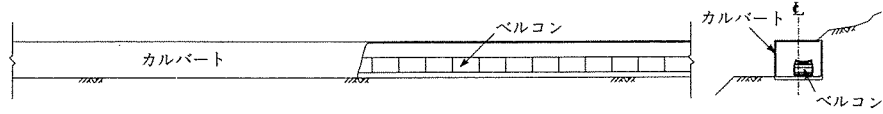
図-2 橋梁一般図

表-1 上部工工程表

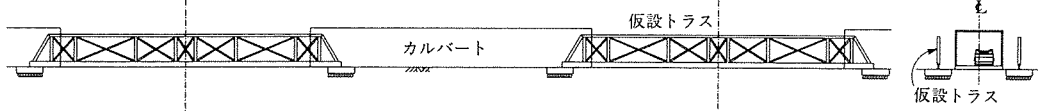
工 種	数 量	単 位	1 月			2 月						3 月							
			21	25	31	1	5	10	11	15	20	21	25	28	1	5	10	11	15
仮 設 工	1	式																	
支 承 工	12	箇所																	
桁 連 結 工	6	本																	
桁 架 設 工	6	本							222										
後詰めグラウト工	1	式							主桁										
床 版 工	53	枚																	
ベルコン盛替え工	1	式							仮盛替え(夜間)										
屋根部材架設	53	枚																	
堀 削 工	1	式																	
後 片 づ け																			

施工手順図

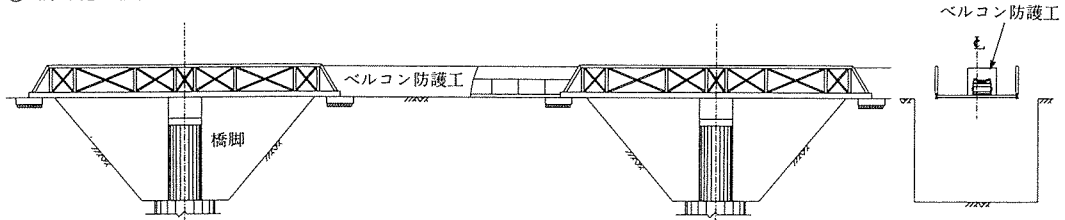
① 現況 地山に構築されたカルバート内に、ベルコンが内蔵されている。



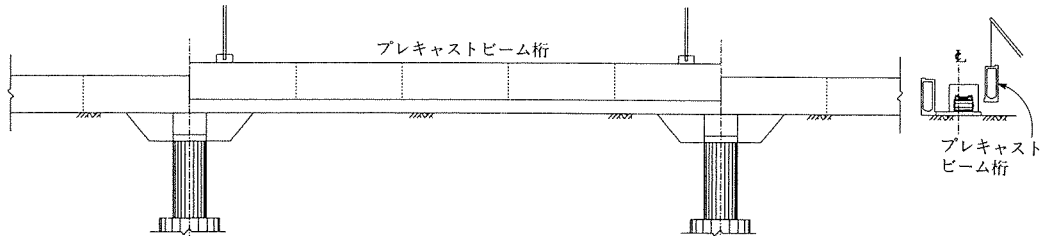
② ベルコン本体防護工 橋脚施工位置に仮橋(トラス)を施工。



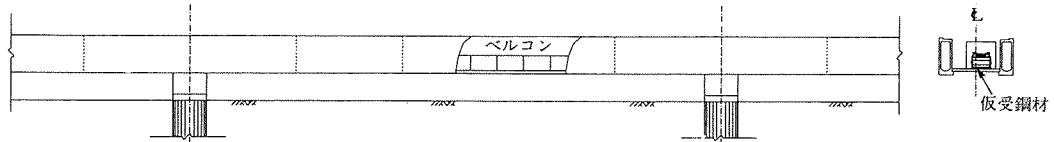
③ 橋脚施工後、開口部ベルコンを橋脚上に盛替え 橋脚施工位置を掘削後、深礎工法にて基礎施工を行う。



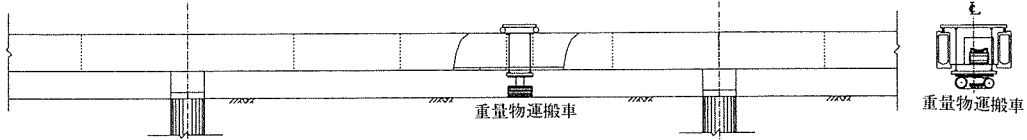
④ プレキャストビーム桁架設 トラッククレーン2台相吊にて橋脚上にプレキャストビーム桁架設。



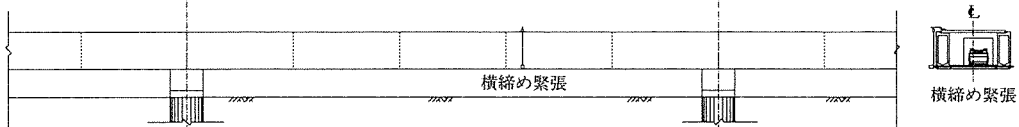
⑤ ビーム桁へベルコン仮盛替え 左右のビーム桁間に鋼材を渡して、これにベルコン受架台を溶接する。その後、ベルコン直下を1m程度掘削。



⑥ 床版の挿入 プレキャスト床版を挿入、仮固定、目地グラウト施工。



⑦ 床版の緊張 プレキャスト床版の縦方向・横方向を緊張し、桁を一体化する。



⑧ ベルコンを床版へ盛替えし、橋梁完成 ベルコンを床版上へ盛替えし、屋根部材を架設。

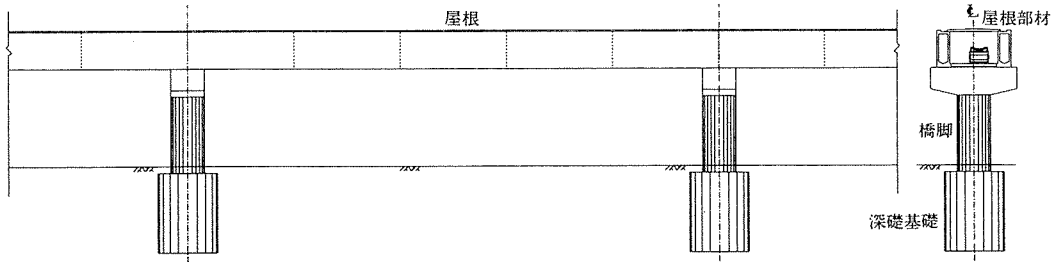


図-3 施工手順図

条件を満足する橋梁構造を検討した結果、プレキャストブロック工法によるPC下路桁を採用した。

- (1) ベルコンは、停止できないため、稼働状態での受替えとなる。
- (2) ベルコンの横方向変規制が±5mm程度であるため、ベルコン本体への振動、外力を加えない施工法とする。
- (3) 施工時のベルコン騒音を低減するとともに、カルバート取壊しを念頭においた構造とする。
- (4) ベルコン下方の県道とのクリアランスを確保できる橋梁構造とする。
- (5) 計画道路の幅員から上部工の最大スパンは、40mとする。
- (6) 桁製作ヤードおよび施工性に配慮する。

本橋は、各施工段階で橋梁の構造系が変化するため、架設手順を想定し、①ビーム架設時、②ベルトコンベア盛替え時（仮受け横方向鋼材の検討および主桁断面力）、③桁完成時の各ケースについて、施工ステップを追って設計計算を行った。橋軸方向の断面力の算出は、はり理論によって求めるものとし、構造解析にあたっては、部材を平面フレームに置き換え、その断面力を算出した。

主桁橋軸方向の設計は、各径間（第1径間1=33.6m、第2径間1=40.0m、第3径間1=32.0m）の3橋について行った。

スラブの断面力は、格子桁の理論により、主桁のねじり剛性を考慮して算出した。なお、設計は、第2径間について行いこれを他径間部に適用した。

4. 主方向の設計

主方向の設計は、架設途中の応力状態を考慮して以下の3ケースについて計算した。図-4に設計フロー図および各設計状態図を示す。

① 架設系1：プレキャストビーム桁を架設し、主方向プレストレスを導入した状態。

架設系2：プレキャストビーム桁にベルコンを仮受けした状態。

完成系：床版を架設し、主方向・横方向にプレストレスを導入し、U形の下路桁を構成した状態（この時点での荷重状態は、死荷重、ベルコン荷重190kgf/m²、群集荷重150kgf/m²・屋根荷重1960kgf/m²）

各施工段階の断面力算定は、はり理論にしたがい、各施工ステップの応力度を重ね合わせて、合成応力度の照査を行った。また、完成系については、格子理論によって求めた断面力と比較を行い、はり理論による断面力が格子理論より求めた値より2~3%安全側の設計である

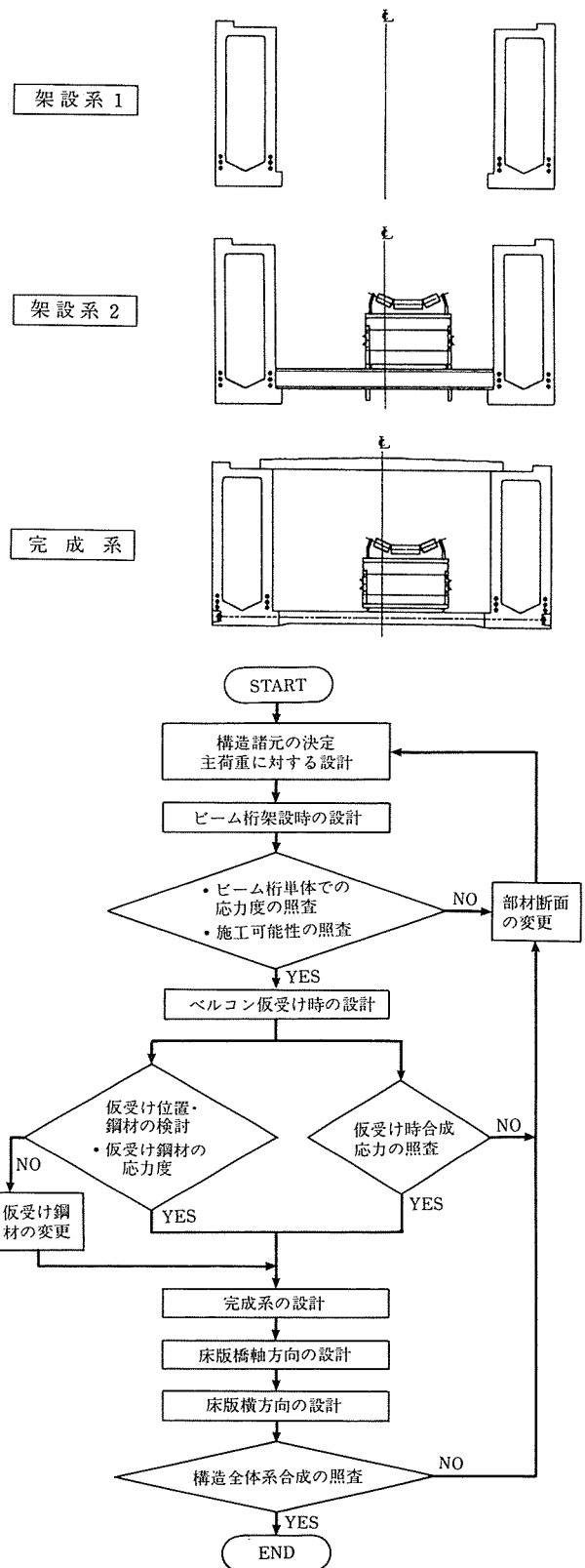


図-4 設計フロー図および各設計荷重状態図

ことを確認した。

5. 横方向の設計

横方向の設計は、架設途中の応力状態を考慮して以

◇工事報告◇

下の2ケースについて行った（図-4中の架設系2および完成系の状態）。

- ① ベルトコンベア盛替え時（仮受け横方向鋼材の検討）
- ② 床版施工後横締めを行いバルコン荷重を盛替えた状態

①の施工状態の横方向鋼材の設計は、ビーム突起間を支点とする単純はりとして計算した。②完成時は、図-5に示す主桁および床版に仮想横桁を設置した格子モデルにて計算を行った。主桁のねじり剛性および曲げ剛性は、一本棒とした桁全体剛性から仮想主桁の剛性を差し引いた値を用いた。

$$I_G = (I - (2I_{S1} + I_{S2})) / 2$$

$$J_G = (J - (2J_{S1} + J_{S2})) / 2$$

ここに、

I_G, J_G : 主桁の曲げ剛性, 主桁のねじり剛性

I, J : 下路桁全体の曲げ剛性, ねじり剛性

I_S, J_S : 床版の曲げ剛性, ねじり剛性

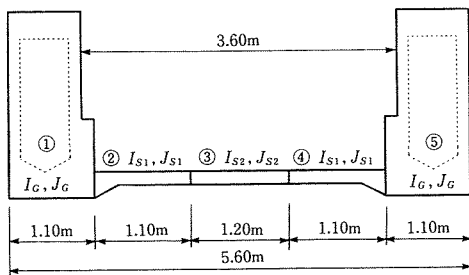


図-5 格子計算の分割モデル

6. 施工概要

本橋は、カルバート内に内蔵されたベルトコンベアの高架化工事のため、工事概要・設計概要で述べた制約条件下の施工であり、基本構造に、プレキャストブロック工法によるPC下路桁を採用している。オールプレキャスト化した背景には、高速で稼働するバルコン周りでの現場作業の排除、騒音源であるベルトコンベアの転動音をプレキャストブロックで挟み込み軽減するとともに工期短縮の目的がある。橋梁架設は、バルコン側方のヤードで主桁となるプレキャストビーム桁を連結緊張し、橋脚上にトラッククレーンで架設を行った後に、プレキャスト床版を挿入後緊張し、主桁と床版を一体化する施工法とした。その後バルコンを床版上に盛替え、屋根部材を施工し、橋梁下方の地山掘削を行い、橋梁工事を完成する。施工手順を図-3に示す。

(1) 主桁製作

本橋梁は、主桁・床版・屋根部材をすべて工場製作

とした。主桁部材は、バルコン橋内空断面の確保と縦断勾配の関係から、図-2に示すように桁高が2.65m～3.45mと高くなっている。このため、桁自重を低減する目的に、ウェブ厚を18cmと鋼材配置可能な限り狭めているため、コンクリート打設時にコンクリートの充填や締固めに問題があると判断し、締固め不要な高流動コンクリートを使用した。高流動コンクリートの適用にあたっては、試験練りによる物性面の確認ならびに実物大の試験部材を製作し、コンクリートの打設確認試験を行った。

本工事に使用した高流動コンクリートの配合を表-2に示す。

表-2 高流動コンクリートの配合

水セメント比 W/P (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量					混和剤 FR (kg/m³)
		水 W (kg/m³)	セメント C (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 AD (kg/m³)	
33.0	47.8	168	425	781	887	8.16	85

試験練りの結果、使用する高流動コンクリートのブリージング量は、通常のコンクリートと比較して極めて少なく、圧縮強度、弾性係数ともに通常のコンクリートと同等であり、問題のないことを確認した。

また、桁製作に先立ち、型枠の製作、打設方法および仮設備等の計画に反映させるため、実物大の試験部材を用いてコンクリートの充填性と型枠の変形の確認を行った。高流動化コンクリート試験打設後の状況を写真-2に示す。

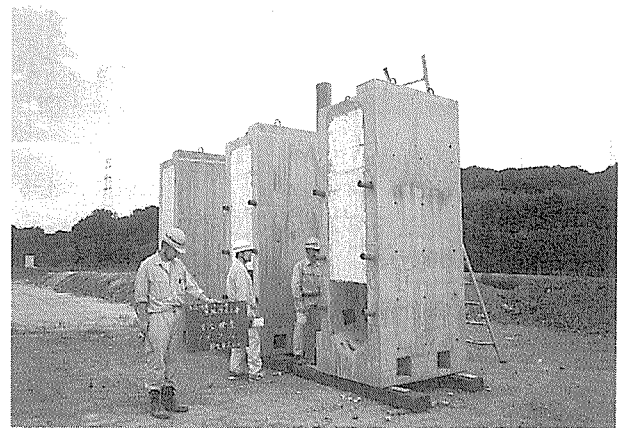


写真-2 高流動コンクリートの試験打設状況

この結果、型枠の設計は、コンクリートの圧力として水圧分布と同様な三角形分布とし、打設方法は、改良型バケツ（排出口密閉型）にてコンクリートを内枠の発泡スチロールの上に少量ずつ投入することとした。

主桁製作時のコンクリート打設は、締固めを行って

いないが、鉄筋とPC鋼材が密に配置されたウェブの薄い部材にコンクリートが十分に行き渡り、型枠の変形もなく良質なコンクリートを得ることができた。

鋼材の配置状況およびコンクリート打設状況を写真-3、4に示す。

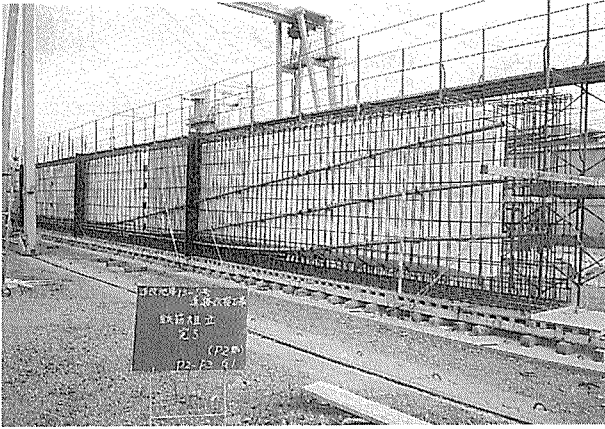


写真-3 鋼材配置状況

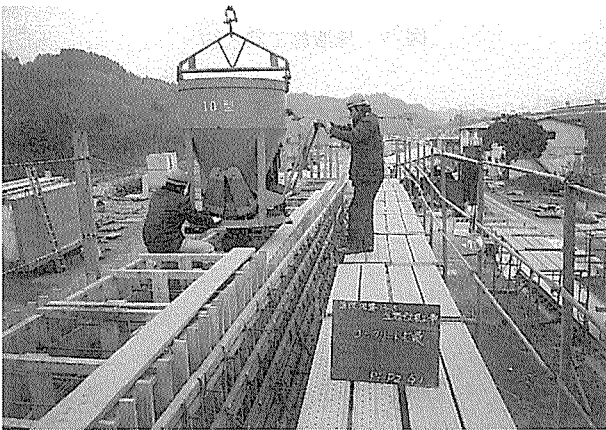


写真-4 高流動コンクリート打設状況

(2) プレキャストビーム桁緊張・架設

プレキャストビーム桁は、運搬性や施工性を考慮して8m、5ブロック分割を基本に製作されている。

ブロック桁の搬入は、低床トレーラー（最大積載量50t）により、一日5台のペースで運搬を行い、トラッククレーン200tにより、順次所定の連結場所に仮置きした。

ブロック桁は、移動用ローラにて中央固定ブロック桁方向へ移動し、連結完了後緊張を行った。桁の連結作業は、プレキャストビーム桁の架設を考慮して、バルコン側方にて行っている。写真-5、6にプレキャストブロック桁の吊込み・連結状況を示す。

各プレキャストブロック桁連結・緊張後の桁重量は、135tとなり、通常の吊り金具では安全性や施工性に劣るため、桁端部に $\phi 32\text{mm}$ のゲビンデスターブPC鋼棒を4本埋設しておき架設治具取付け後に0.4Puの緊張力を導入している。写真-7、8にプレキャストビーム桁の架



写真-5 プレキャストブロック桁吊込み状況

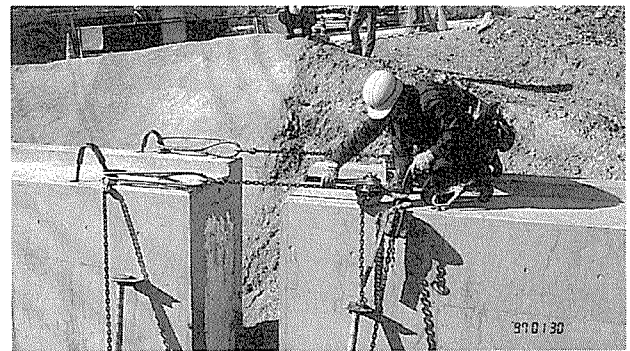


写真-6 桁連結状況



写真-7 桁架設状況

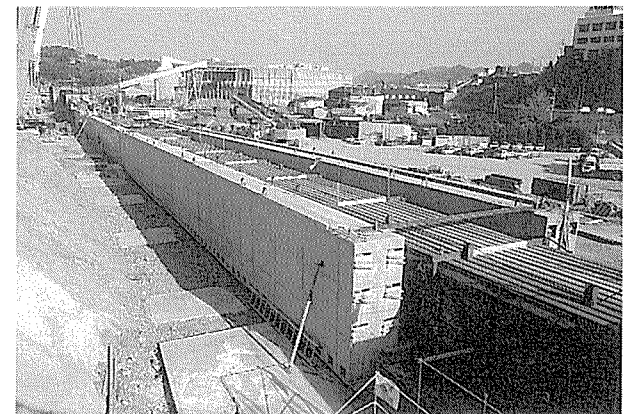


写真-8 桁架設完了

◇工事報告◇

設状況を示す。プレキャストビーム桁は、トラッククレーン360t、200tの相吊り架設により、海側から順次架設を行った。100tを超える桁を狭隘な作業空間でベルトコンベアに悪影響を与えないように架設することが本工事中最も注意を要する作業であった。

(3) 床版挿入緊張

ベルコン両サイドに主桁ビームを架設した後、写真-9に示すようにビーム桁に設けた突起部にベルコンを仮受けするためのH鋼を配置し、ベルコンを桁に仮受け後、ベルコン底面地盤を掘削し、床版挿入空間を確保した。床版の挿入にあたっては、ラジコン式の重量物運搬車（ターンテーブル回転式）を用い、現場に搬入されたプレキャスト床版を所定位置に運搬しジャッキアップした後、別途製作した床版吊込み台車にて位置決めを行った。図-6に床版の配置状況を示す。

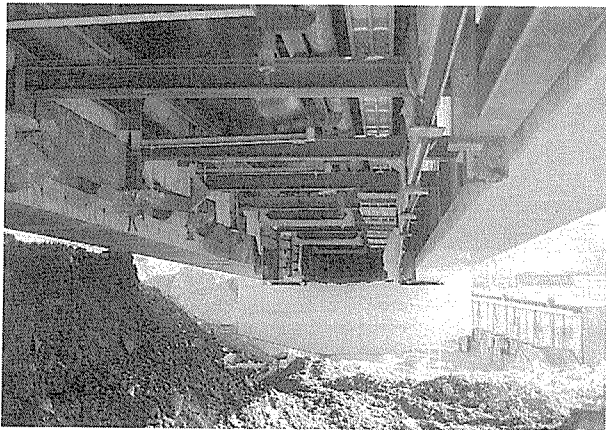


写真-9 ベルコン仮受け状況

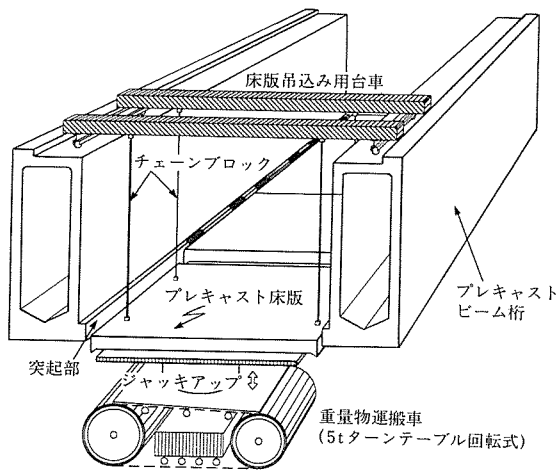


図-6 床版配置状況図

プレキャスト床版は、支保工もしくは吊り材の支持により、所定位置にセットした後目地部の間詰めモルタルを注入し、緊張作業を行う必要があるが、施工におけるサポートの排除や位置決め調整等の施工性を向上させるため、図-7に示す鉤型の吊下げ治具を採用した。こ

れにより、支保工の組立の工程短縮や床版の位置調整が簡易にできるとともに、横方向の緊張作業が連続的に行え大幅な工期短縮となった。

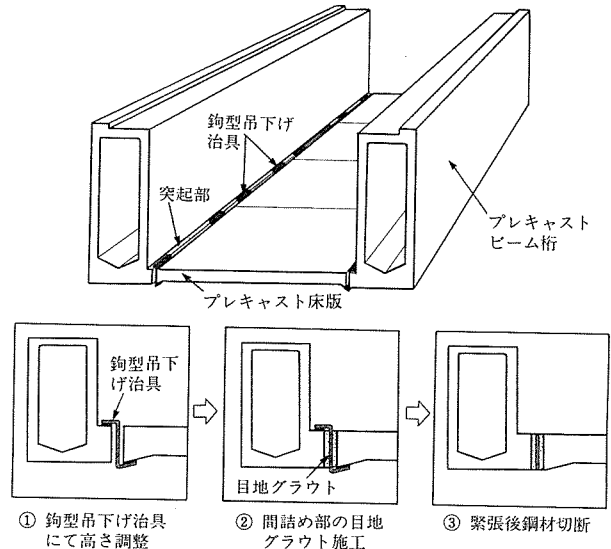


図-7 床版施工状況図

写真-10に床版設置状況を示す。また、横方向鋼材緊張状況を写真-11に示す。

(4) ベルコンの最終盛替え

床版の緊張完了後、仮受けしたベルトコンベアを床版上に盛替える作業を行った。ベルトコンベア作業は、ベルトコンベアの休止する夜間間合いで行い、ベルトコンベアの脚部に高さ調整用のボルト付きのプレートを接合し、床版にプレートをボルト固定後プレート下端にモルタルを注入し、最終盛替えを完了した。

(5) 屋根部材の架設

屋根部材も工場で製作された部材を現場にてプレキャストビーム桁の天端に配置してボルト締結する構造としている。屋根部材を施工しながら、順次ベルコン防護

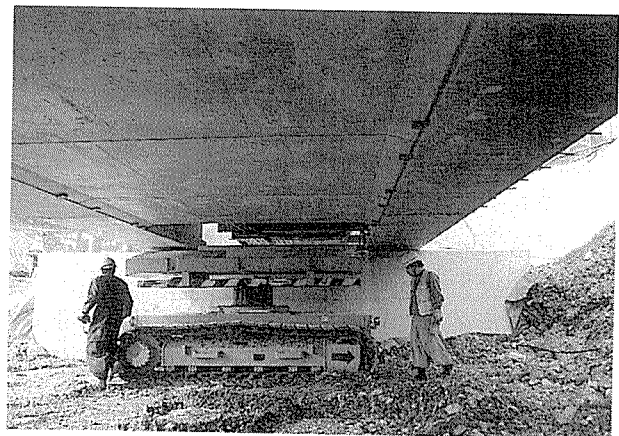


写真-10 床版施工状況



写真-11 横方向鋼材緊張状況

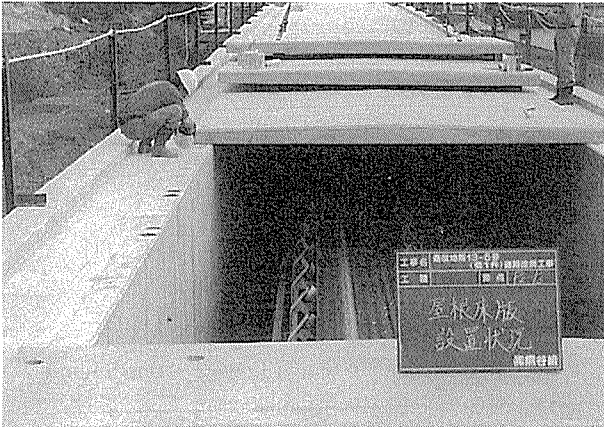


写真-12 屋根部材の架設状況

工の鋼材や仮受け用の鋼材の撤去を行い工事を完了した。

7. おわりに

完了した橋梁を見ると、施工段階の盛替え作業の煩雑さや技術的な工夫は、想像できないが、ベルトコンベア稼働状態での活線下の施工は、難工事であった。しかし、ベルコンの橋梁化のために開発した施工技術を実証確認できたことは意義深いものであった。

既設構造物の活線下における橋梁構築技術としては、一時的な構造物の迂回や既設構造物直下に新設構造

物を施工するパイプーフ工法や、PCR工法等の従来技術があるが、いずれも大がかりな仮設備や発進坑等の作業ヤードが必要である。

今回、活線下の橋梁工事に用いた技術は、対象構造物の両側にビーム桁を架設する最小限の作業空間と仮設備を用いた工法である。本工法を活線施工に適用するにあたり、大きく以下の3つの改善提案がなされている。

- ① 対象構造物の側方で主桁構造をあらかじめ構築し、これに対象構造物を抱かせることにより、仮受け用の主桁を本体構造物として生かすことができる。直接本体より対象構造物を受けることにより、架設材を減らすことができるとともに安全性が向上する。
- ② 橋梁は、下路桁構造部材をプレハブ化し、主桁、床、屋根部材等をすべて小分割した工場製品として現場では、組立てのみを行う工法とした。橋梁構造は、桁下空間の少ない場所で有効な下路桁構造に着目し、部材の分割方法や接続方法を開発した。
- ③ プレキャスト部材の組立てにおいて、縦桁については、従来技術の延長であるが、横方向のスラブの設置において、床版仮支え用の鉤型治具を開発し、支保工等のサポートを排除することができた。

本工法は、原位置でのベルコンの高架化に用いたが、盛土上に活線状態で稼働中の施設（鉄道、道路、ベルコン、水路、管路等）の橋梁上への盛替えに適用できると考えている。

最後に本報告が今後のPC工事に何らかの参考になれば幸いである。また、橋梁工事にあたり、多大な御支援・御協力をいただいた㈱戸高鉷業社の皆様に深く感謝し、御礼申し上げます。

【1997年6月3日受付】