

報告 ハーフプレキャスト梁・スラブの施工実験

服部尚道*1・宮城敏明*2・玉井真一*3・小西哲司*4

要旨: 鉄道構造物で多用されるラーメン形式の高架橋を、工場製作したプレキャスト部材を用いて現場で組み立て施工するプレキャスト構築工法の開発を行った。梁とスラブの施工手順について、ハーフプレキャスト梁は仮支持金具を介して柱上端に架設後、梁両端部で仮固定を行い、ハーフプレキャストスラブを梁ウェブ上端に架設する。この時、梁にねじりモーメントが作用することから、ハーフプレキャスト梁のダイヤフラムによるねじり補強の解析的検討、仮支持金具および仮固定治具の検討を行い、実物大規模での施工実験を実施し検証した。その結果、解析的検討では梁のねじり補強の必要が無いこと、施工実験では施工サイクルと仮支持金具と仮固定治具の施工性を確認できた。

キーワード: ハーフプレキャスト部材, 施工実験, ねじり

1. はじめに

過密化する都市空間において交通網の改善を図るため、複々線化や立体交差化による鉄道高架橋の建設が各方面で計画、施工されている。従来このような工事は、営業線の運行を優先するため時間的・空間的制約のもとで行わなければならないが、場所打ちコンクリートによる段階施工により施工されていた。このため、作業用地が確保できない場合のいわゆる直上施工は特に困難であり、大規模支保工を要していた。そこで、経済的で耐震性に優れたラーメン形式の鉄道高架橋を、工場製作した柱、梁、スラブのプレキャスト部材を用いて組立て施工する「鉄道ラーメン高架橋のプレキャスト構築工法」の開発を行った¹⁾。

本工法の特長を以下に示す。

① 工事の省力化

型枠・支保工兼用のプレキャスト部材を用いるため、現場における型枠および支保工の組み立て・解体作業が省力化できる。

② 工期の短縮

従来の場所打ち工法に比べて現場の作業効率が向上し、工期の短縮を可能にする。

③ プレキャスト方式を選択

現場の状況に応じてフルプレキャスト方式もしくは、場所打ちコンクリートを併用するハーフプレキャスト方式が選択できる。

④ トータルコストの低減

工期の短縮や工事の省力化により、トータルコストの低減を可能にする。

⑤ 安定した品質を確保

天候に左右されない工場でプレキャスト部材を製作するので、安定した品質を確保できる。

図-1に本工法の施工手順の概要を示す。プレキャスト構築工法は、予め製作した柱、梁、ス

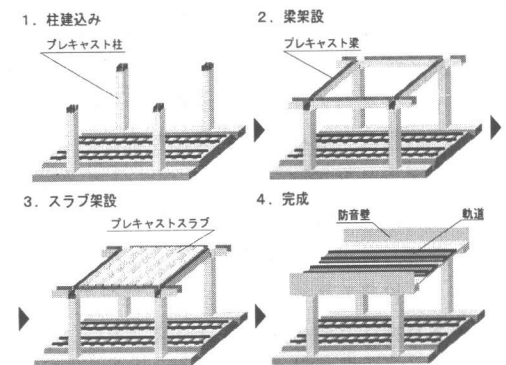


図-1 本工法の施工手順の概要

*1 東急建設 (株) 生産技術本部 土木技術設計部 工修 (正会員)

*2 東急建設 (株) 技術研究所 土木グループ (正会員)

*3 東急建設 (株) 生産技術本部 土木技術設計部 工修 (正会員)

*4 川田建設 (株) 工事本部 技術部 設計課 (正会員)

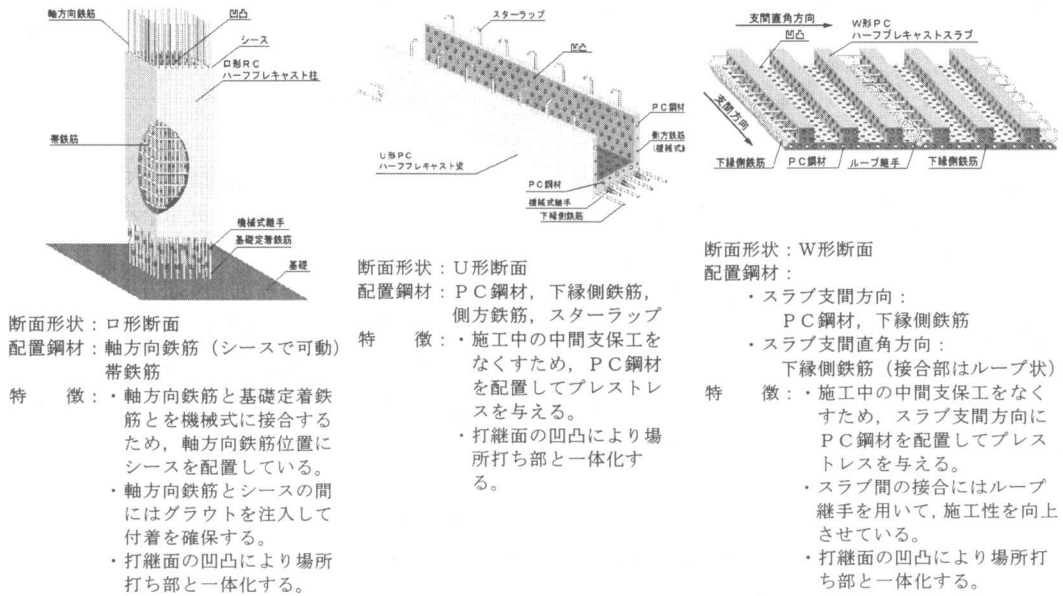


図-2 各プレキャスト部材の形状と特長

ラブのプレキャスト部材を現場で架設し、順次場所打ちコンクリートにより結合してラーメン高架橋を構築するものである。プレキャスト化する柱、梁、スラブの形状および特長についてハーフプレキャスト方式を例に図-2に示す。

2. 技術的課題

鉄道営業線直上の複々線化および立体交差化工事において、部材を軽量化することを目的としたハーフプレキャスト方式を適用する場合、プレキャスト部材の架設および場所打ちコンクリートの打設は、高架橋と同時に整備される環境側道用地からの施工を前提としていた（表-1(a)参照）。この場合、ハーフプレキャストスラブの架設は、ハーフプレキャスト梁の中詰コンクリートを打設してから、すなわち柱梁のラーメン構造を完成させてから施工するものとしていた。しかし、表-1(b)に示すように環境側道となる用地の確保が遅れているような場合、プレキャスト部材の架設および場所打ちコンクリートの打設は軌道内からしか施工できないので、プレキャストスラブの架設順序は全体工程に大きく影響するものとなる。そこで、表-1に示すように、ハーフプレキャスト梁の中詰コンクリ

ートを打たずにハーフプレキャストスラブを架設できる施工順序を考案した。この場合、鉄道営業線の安全性を確保するため以下の対応が必要となる。

- ①図-3に示すように、ハーフプレキャストスラブはハーフプレキャスト梁の片側に支持させるので、上側開口断面の梁にねじりモーメントが発生する。梁のねじれ剛性を高めるためダイヤフラムを2ヶ所設置する。
- ②ハーフプレキャスト梁の仮支持金具は、ハーフプレキャスト梁自重、中詰コンクリート重量およびハーフプレキャストスラブ自重に抵抗するものでなければならない。
- ③ハーフプレキャストスラブ架設時にハーフプレキャスト梁に発生する転倒モーメントに抵抗

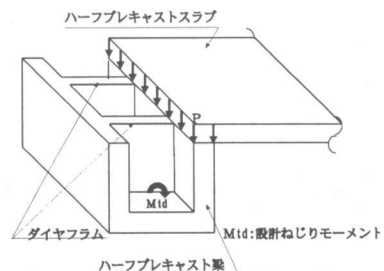


図-3 スラブの支持するハーフプレキャスト梁

するため、仮固定治具をハーフプレキャスト梁両端に取り付ける必要がある。

④き電停止時間内に準備工を含めた架設作業を行うため、施工サイクルタイムを確認する必要がある。

そこで、ハーフプレキャスト梁のねじり抵抗について解析的検討を行うとともに、ハーフプレキャスト梁の仮支持金具および仮固定治具を考案し、実物大試験体による梁、スラブの施工実験を行った。

3. 構造検討

3.1 梁の仮支持金具および仮固定治具の考案

ハーフプレキャスト梁を柱上端で仮支持および仮固定する方法として、表-2に示すような3方式のハーフプレキャスト梁の仮支持金具と、図-4に示すハーフプレキャスト梁の仮固定治具を考案した。

仮支持金具は、柱支持ブラケット方式の場合、ハーフプレキャスト梁端部の下端を柱上端に取り付けたブラケットとジャッキにより支持する方法である。埋込みブラケット方式Ⅰの場合、

表-1 ハーフプレキャスト梁、スラブの施工順序

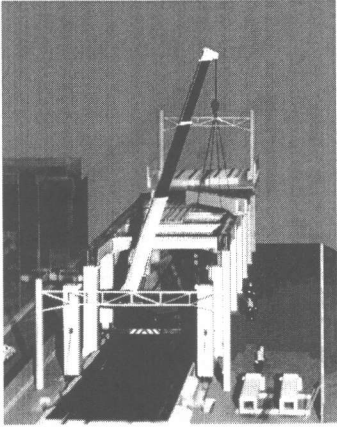
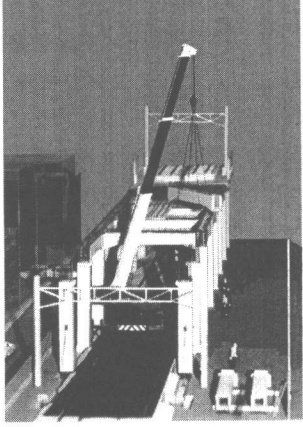
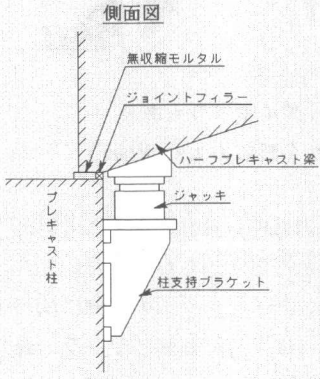
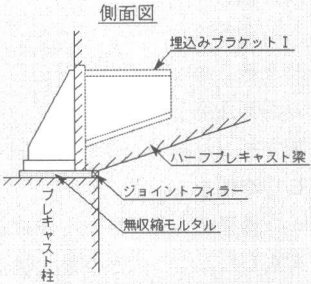
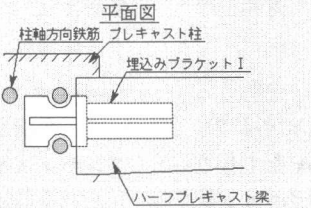
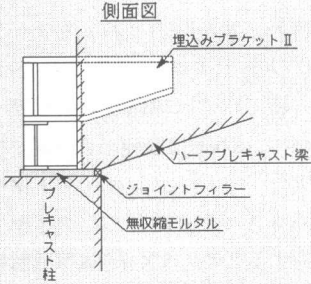
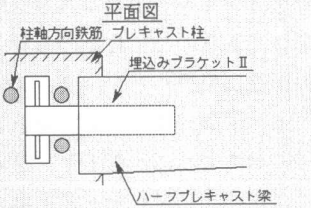
(a) 側道から架設の場合	施工順序 a	施工項目 施工順序を変えた項目	施工順序 b	(b) 軌道内から架設の場合
	①	U形プレキャスト梁架設	①	
	②	柱上端支持点部に仮固定	②	
	③	中詰コンクリート打設	⑤	
	④	プレキャストスラブ架設	③	
	⑤	落下防止措置	④	
	⑥	スラブコンクリート打設	⑥	

表-2 ハーフプレキャスト梁の仮支持金具

柱支持ブラケット方式	埋込みブラケット方式Ⅰ	埋込みブラケット方式Ⅱ
<p>側面図</p>  <p>無収縮モルタル ジョイントフィラー ハーフプレキャスト梁 ジャッキ 柱支持ブラケット プレキャスト柱</p>	<p>側面図</p>  <p>埋込みブラケットⅠ ハーフプレキャスト梁 ジョイントフィラー 無収縮モルタル プレキャスト柱</p> <p>平面図</p>  <p>柱軸方向鉄筋 プレキャスト柱 埋込みブラケットⅠ ハーフプレキャスト梁</p>	<p>側面図</p>  <p>埋込みブラケットⅡ ハーフプレキャスト梁 ジョイントフィラー 無収縮モルタル プレキャスト柱</p> <p>平面図</p>  <p>柱軸方向鉄筋 プレキャスト柱 埋込みブラケットⅡ ハーフプレキャスト梁</p>

予めハーフプレキャスト梁に埋め込んだブラケットにより支持する方法で、ブラケットは柱主鉄筋とかみ合うことでずれ止めの役割も果たすものである。埋込みブラケット方式Ⅱの場合、埋込みブラケット方式Ⅰの機能に加えて、柱、梁間の施工誤差を若干吸収できる形状となっている。いずれの方式においても、高さ調整はブラケット支持部の無収縮モルタルにて行う。

仮固定治具は架設前にハーフプレキャスト梁両端に予め取り付け、架設時において仮固定治具に柱主鉄筋を貫通させ、ロックナットにより固定するものである。

3.2 梁のねじりモーメントに対する検討

ハーフプレキャスト梁を架設後、梁両端を仮固定すると、ハーフプレキャスト梁ウェブ上端にハーフプレキャストスラブを架設する時点で、梁にねじりモーメントが発生する。また、スラブ上での作業荷重もねじりモーメントを増大させる。そこで、ねじりモーメントによりハーフプレキャスト梁に発生する斜め引張応力度について照査した。対象とするハーフプレキャスト梁の形状および寸法は後述の図-7に示す通りである。材料緒元として、ハーフプレキャスト梁に使用するコンクリートの圧縮強度 $\sigma_{cd}=50.0\text{N/mm}^2$ 、引張強度推定式より求められるコンクリートの引張強度は $\sigma_{td}=3.1\text{N/mm}^2$ である。支点条件は梁の両端を完全固定とした。その結果、せん断力とねじりモーメントによるコンクリートの斜め引張応力度は 2.18N/mm^2 であり、施工時の制限値をコンクリートの引張強度 $\sigma_{td}=3.1\text{N/mm}^2$ に設定した場合、安全側であった。

また、ハーフプレキャスト梁のねじり剛性を高めることを目的としたダイヤフラムの効果を確認するため、3次元FEM弾性解析を実施した。ハーフプレキャスト梁はスパン中央で対称となる部材であるので、片側のみをモデル化（ハンチの影響は無視）した。支点条件は、ハーフプレキャスト梁端部を完全固定とした。その結果、図-5に示すように、ダイヤフラムを配置することによりハーフプレキャスト梁ウェブのコンク

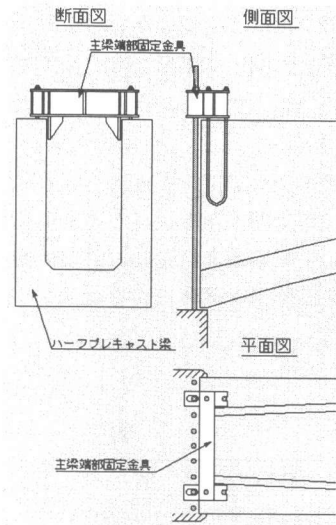
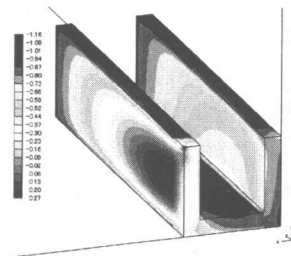
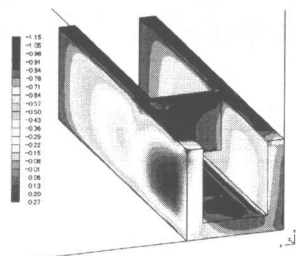


図-4 ハーフプレキャスト梁の仮固定治具



(a) ダイヤフラムなし



(b) ダイヤフラムあり

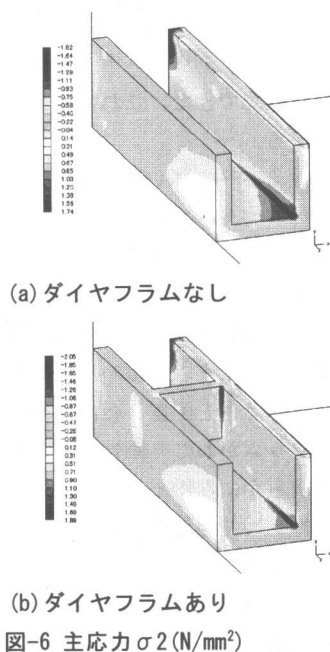
図-5 せん断応力 τ_{yz} (N/mm²)

リートのせん断応力度分布が変化するものの、その最大値はほとんど変わらなかった。また、変形についても、ダイヤフラムの有無に関わらずほぼ同様な値（水平変位：ダイヤフラム有り0.5mm、ダイヤフラム無し0.4mm）を示した。従って、今回配置したダイヤフラムによるハーフプレキャスト梁のねじり剛性を高める効果はほとんどないものと考えられる。

3.3 梁ウェブの転倒に対する検討

スラブ自重やスラブ上の作業荷重により、ハーフプレキャスト梁にねじりモーメントが作用すると同時に、ウェブを転倒させようとする曲げモーメントが作用する。さらに、中詰コンクリート打設時の側圧は、この曲げモーメントを増大させる。そこで、ハーフプレキャスト梁ウェブ下端の曲げ引張応力度について検討した。その結果、ハーフプレキャスト梁ウェブ下端の曲げ引張応力度は 1.87N/mm^2 となり、施工時の制限値をコンクリートの引張強度 $\sigma_{td}=3.1\text{N/mm}^2$ とすれば安全側であった。

また、3次元FEM弾性解析によれば、図-6に示すように、ダイヤフラムを配置することによりハーフプレキャスト梁ウェブ下端の曲げ引張応力度が変化するものの、その最大値はほとんど変わらなかった。従って、ダイヤフラムはハーフプレキャスト梁ウェブ下端の曲げ引張応力度を低減する効果はほとんどないものと考えられる。

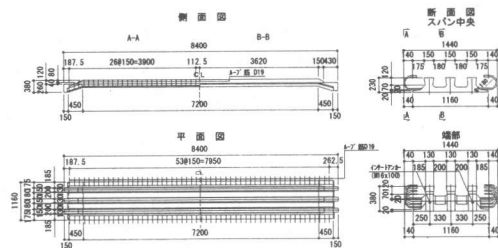
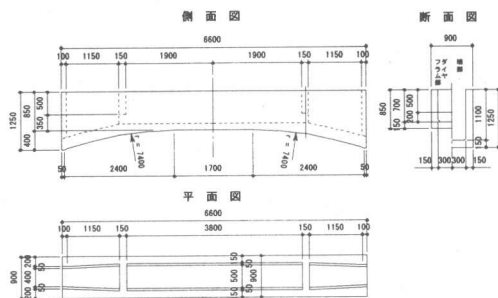


4. 施工実験

試験体の概要を表-3に、各部材の一般図を図-7, 8に示す。また、写真-1に試験体と施工実

表-3 試験体の概要

各試験体	構造	数量	重量
場所打ち柱	RC	4体	—
中詰コンクリート 充填梁	RC	1体	—
プレキャスト梁	RC	1体	約70kN
プレキャストスラブ	PC	3体	約30kN



験状況を示す。

施工実験は、図-10に示すように、柱モデルである場所打ち柱4本と中詰コンクリート充填梁1本が配置されている状態から開始した。

まず、重量が約70kNであるハーフプレキャスト梁の架設を行った。ハーフプレキャスト梁の仮支持方法は前述の埋込みブラケット方式I, IIとし、それぞれをハーフプレキャスト梁両端に配置した。ハーフプレキャスト梁の仮固定治具は架設前に予め取り付け、架設完了後ロックナットにより固定した。施工時間は、玉掛→架設→仮固定まで約14分であった。

続いて、重量が約30kNであるハーフプレキャストスラブ3枚を順次架設した。各部材架設後、図-8に示すように、スラブの両側端部に予め

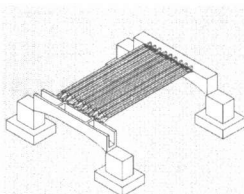
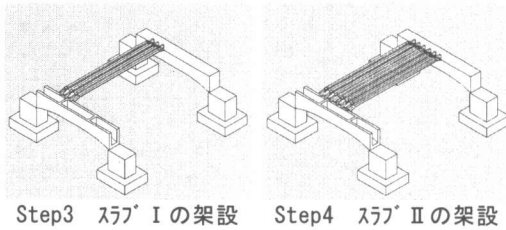
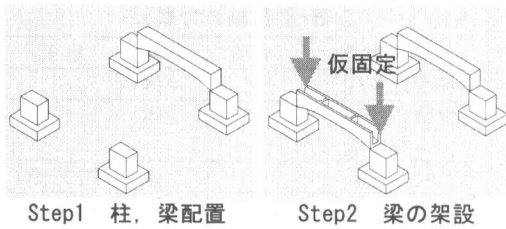
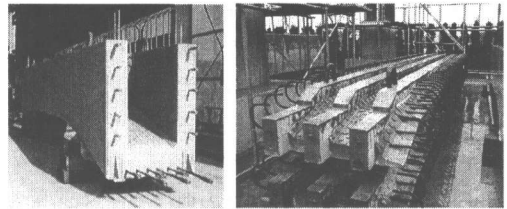


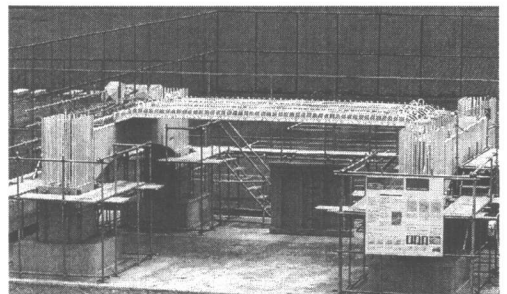
図-10 施工順序図

埋め込んだ M16 インサートに金具を取り付け、ずれ止め措置を取った。施工時間は、玉掛→架設→仮固定まで約 4 分/枚であった。

また、ハーフプレキャストスラブ架設時において、仮固定治具を介して柱主鉄筋 (D32) に作用する引張力を測定した。その結果、ハーフプレキャストスラブ 3 枚を架設完了した状態で最大約 1.57kN ($\sigma_s \approx 2.0\text{N/mm}^2$) であった。また、梁両側で固定している柱主鉄筋 2 本に作用する引張力の平均は約 0.98kN ($\sigma_s \approx 1.23\text{N/mm}^2$) であった。これに対し、圧縮側は仮固定金具を介してコンクリートに負担させ、引張側は柱主鉄筋 1 本に負担させるとした RC 計算により得られる鉄筋の引張応力度は、 $\sigma_s = 1.24\text{N/mm}^2$ となり計測値と一致した。そこで、机上検討において、荷重条件としてプレキャストスラブを必要枚数 (6 枚) を並べ、作業荷重を 1.5kN/m^2 として考慮した場合、柱主鉄筋に作用する引張応力度は 4.7N/mm^2 となったことから、構造上問題ないレベルであると考えられる。



(a) 梁試験体 (b) スラブ試験体



(c) ハーフプレキャスト梁、スラブ架設完了
写真-1 試験体と施工実験完了状況

5. まとめ

解析検討および施工実験の結果、ハーフプレキャスト梁の中詰コンクリートを打設することなくハーフプレキャストスラブの架設を行えることが確認できた。これにより、以下の効果が見込める。

安全性：ハーフプレキャスト梁、スラブ上を足場として利用できる。

施工性：中詰コンクリートを打設時の足場組立が不要になる。

経済性：足場不要によりコスト低減に寄与する。

今回の施工実験ではハーフプレキャスト梁にダイヤフラムを配置したが、解析検討によりダイヤフラムがねじり剛性を高める効果が無いことが明らかになかったことから、部材製作における施工性や経済性を考慮して、今後ダイヤフラムを廃すことが妥当である。

参考文献

- (財) 鉄道総合技術研究所：「ハーフプレキャスト工法を用いた鉄道ラーメン高架橋の設計・施工指針」, 1999.3