

# ハーフプレキャスト梁・スラブの組立施工実験

服部 尚道\* 宮城 敏明\*\* 玉井 真一\*

**要約：** ラーメン形式の鉄道高架橋を対象に、施工の合理化・省力化を目的として「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。営業線直上の高架化工事は、一般に高架橋と同時に整備される環境側道用地を利用した段階施工を行うが、環境側道用地の確保が遅れている場合、軌道内からしか施工できないことから、プレキャスト梁・スラブの組立施工順序が工期短縮を図る上で重要な要素となる。そこで、本工法を対象とした設計・施工指針で想定していた梁架設→中詰めコン→スラブ架設→スラブコンの施工順序を、梁架設→スラブ架設→中詰めコン→スラブコンの施工順序に変更することを試みた。本施工順序の実用性を見出すため、梁の仮支持金具と仮固定治具の考案、ハーフプレキャスト梁の解析的検討および実物大試験体を用いた施工実験を実施した。その結果、柱梁のラーメン構造を構築する前、すなわち、中詰めコンクリート打設前にスラブを架設できることを実証した。

**キーワード：** ハーフプレキャスト部材・施工順序・施工実験・ねじり・ウェブ転倒

- 目次：**
- |           |         |
|-----------|---------|
| 1. はじめに   | 4. 構造検討 |
| 2. 本工法の概要 | 5. 施工実験 |
| 3. 技術的課題  | 6. まとめ  |

## 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、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。筆者らは、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。本工法を対象とした設計・施工指針は、平成11年に(財)鉄道総合技術研究所から刊行されている<sup>1)</sup>。

営業線直上の高架化工事の場合、一般に高架橋と同時に整備される環境側道用地からの施工を行うが、環境側道用地の確保が遅れている場合は軌道内からしか施工できないので、限られた夜間作業時間内におけるハーフプレキャスト梁・スラブの組立施工順序が工期短縮を図る上で重要な要素となる。そこで、設計・施工指針で想定していた梁架設→中詰めコンクリート打設→スラブ架設→スラブコンクリート打設の施工順序を、梁とスラブの連続的な架設を可能にする梁架設→スラブ架設→中詰めコンクリート打設→スラブコンクリート打設の施工順序に変更することを試みた。本施工順序の実用性を見出すため、梁の仮支持金具と仮固定治具の考案を行うとともに、

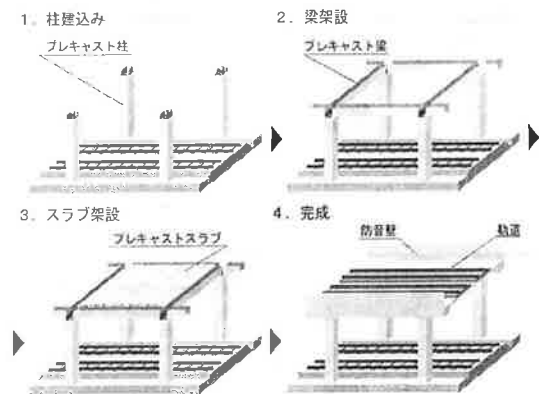


図1 本工法の施工手順

に、施工時におけるハーフプレキャスト梁の解析的検討および実物大試験体を用いた施工実験を実施した。

## 2. 本工法の概要

図1に本工法の施工手順の概要を示す。本工法は、予め工場製作した柱、梁、ス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として図2に示す。

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立て・解体作業が省力化でき、特に営業性直上施工において効果がある。

②工期の短縮

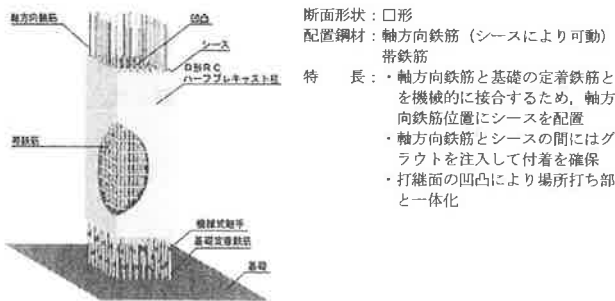
従来の場合打ち工法に比べて現場の作業効率が向上し、工期の短縮を可能にする。

③トータルコストの低減

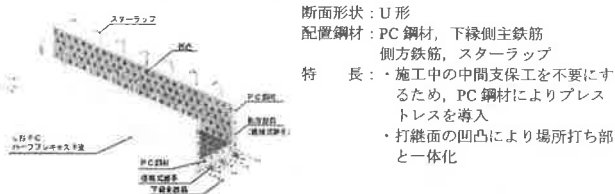
工期の短縮や工事の省力化により、トータルコストの低減を可能にする。

④プレキャスト方式の選択

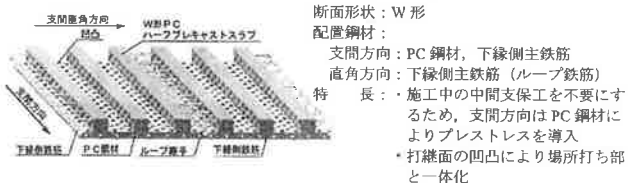
現場の状況に応じて、フルプレキャスト方式が場所



(a) ハーフプレキャスト柱



(b) ハーフプレキャストスラブ



(c) ハーフプレキャストスラブ

図2 各プレキャスト部材の形状と特長

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。

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。

3. 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、一般に高架橋と部材の軽量化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構築し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に変更した。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。

②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。

③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

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	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	

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ことを目的としたダイヤフラムの必要性の有無を検討する必要がある。

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、施工のサイクルタイムを確認する必要がある。

4. 構造検討

4.1 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、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。

4.2 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

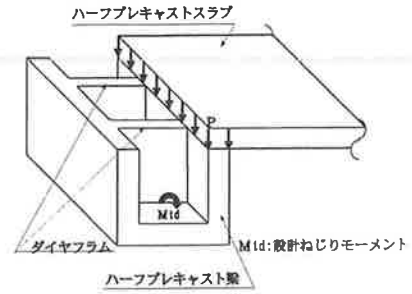


図3 スラブを支持するハーフプレキャスト梁

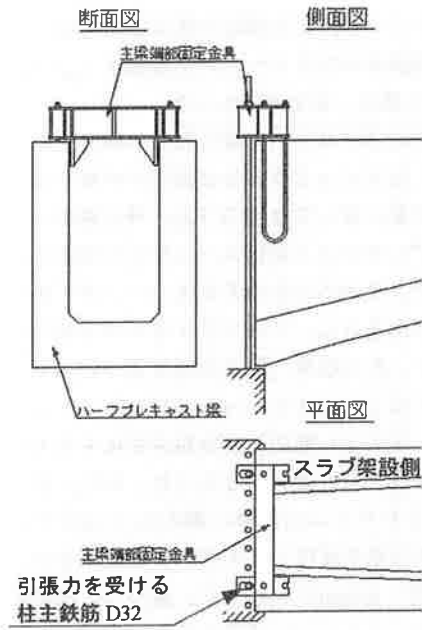


図4 ハーフプレキャスト梁の仮固定治具

表2 ハーフプレキャスト梁の仮支持金具

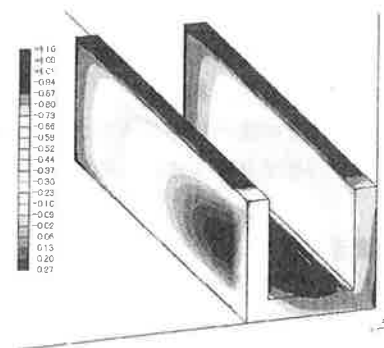
柱支持ブラケット方式	埋込みブラケット方式Ⅰ	埋込みブラケット方式Ⅱ
<p>側面図</p>	<p>側面図</p> <p>平面図</p>	<p>側面図</p> <p>平面図</p>

作用する。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梁モデルの面外解析により照査した。解析対象とするハーフプレキャスト梁の形状および寸法は幅 900mm×高 850mm、部材厚 150mm、スパン 6600mm であり、ハンチ形状は無視した。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  $\sigma_{td}=3.10\text{N/mm}^2$  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  $2.18\text{N/mm}^2$  であり、施工時の制限値をコンクリートの引張強度  $\sigma_{td}=3.10\text{N/mm}^2$  に設定した場合、安全側であった。

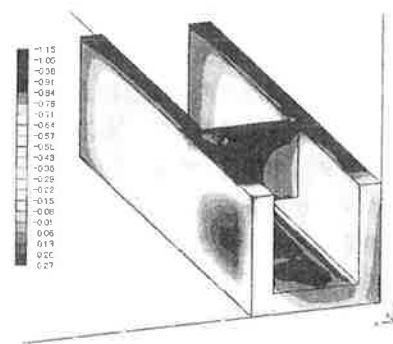
また、ハーフプレキャスト梁のねじり剛性を高めることを目的としたダイヤフラムの必要性の有無を確認するため、前述の梁に対して 3 次元 FEM 弾性解析を実施した。ハーフプレキャスト梁はスパン中央で対称となる部材であるので、片側のみをモデル化（ハンチの影響は無視）した。支点条件は、ハーフプレキャスト梁端部を完全固定とした。その結果、図 5 に示すように、ダイヤフラムを配置することによりハーフプレキャスト梁ウェブのコンクリートのせん断応力度分布が変化するものの、その最大値はほとんど変わらなかった。また、変形についても、ダイヤフラムの有無に関わらずほぼ同様な値（スパン中央の水平変位：ダイヤフラム有り 0.5mm、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。

#### 4.3 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、梁自重+スラブ自重+スラブ上の作業荷重+中詰めコンクリート側圧作用時におけるハーフプレキャスト梁ウェブ下端の曲げ引張応力度は  $1.87\text{N/mm}^2$  となり、施工時の制限値をコンクリートの引張強度  $\sigma_{td}=3.10\text{N/mm}^2$  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。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。

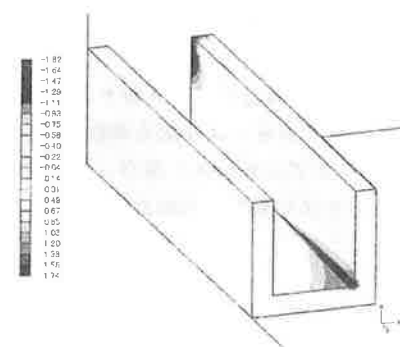


(a) ダイヤフラムなし

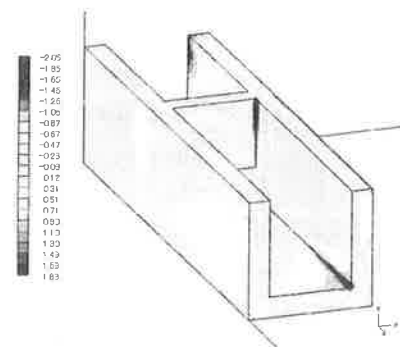


(b) ダイヤフラム有り

図 5 せん断応力  $\tau_{yz}$  (N/mm<sup>2</sup>)



(a) ダイヤフラムなし



(b) ダイヤフラム有り

図 6 主応力  $\sigma_2$  (N/mm<sup>2</sup>)

5. 施工実験

試験体の概要を表 3 に、各試験体の一般図を図 7, 8 に示す。施工実験は、図 9 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、スラブの両側端部に予め埋め込んだ M16 インサート（図 8 参照）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→ずれ止めまで約 4 分/枚であった。

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	—
ハーフプレキャスト梁	RC	1 体	約 70kN
ハーフプレキャストスラブ	PC	3 体	約 30kN

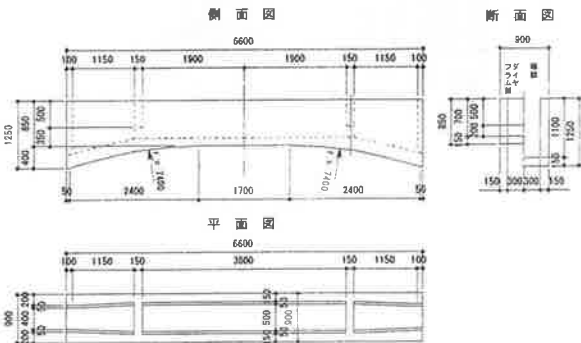


図 7 プレキャスト梁試験体一般図

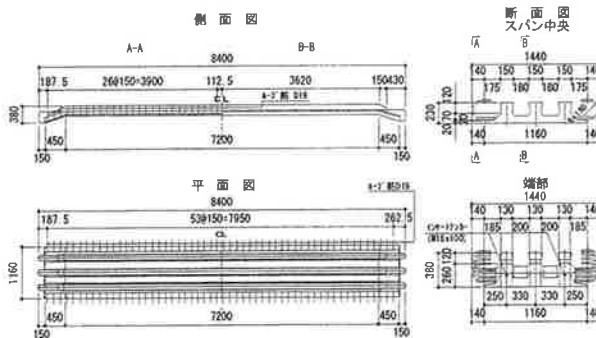


図 8 プレキャストスラブ試験体一般図

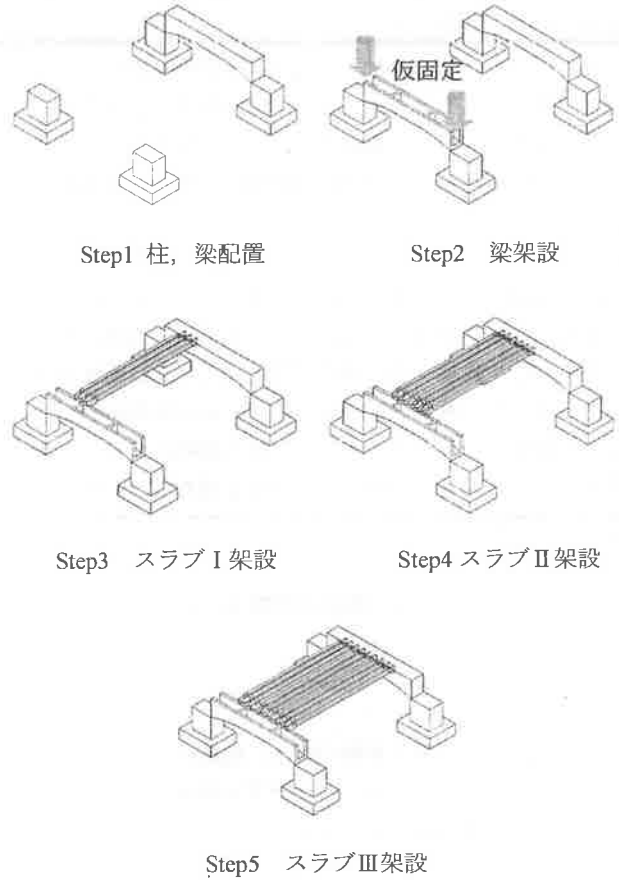
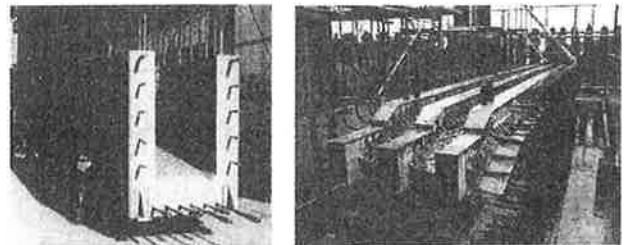
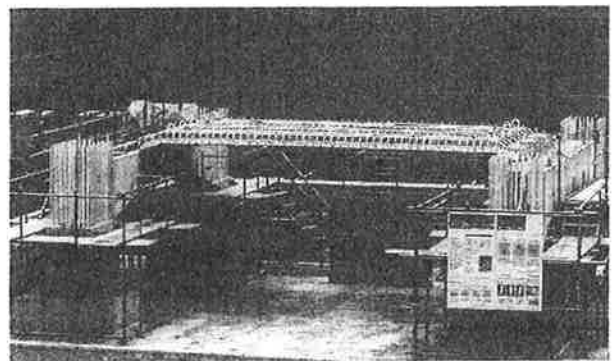


図 9 プレキャストスラブ試験体一般図



(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

写真 1 に試験体と施工実験状況を、写真 2 に梁の仮支持金具と仮固定治具を示す。

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 (図 4 参照) 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 (鉄筋応力換算  $\sigma_s \doteq 2.00\text{N/mm}^2$ /本) が作用していた。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 ( $\sigma_s \doteq 1.23\text{N/mm}^2$ ) 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 断面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  $1.50\text{kN/m}^2$  として考慮した場合、RC 断面計算による柱主鉄筋の引張応力度は  $\sigma_s = 4.70\text{N/mm}^2$  となったことから、構造上問題ないレベルであると考える。

## 6. まとめ

解析検討および施工実験の結果、柱梁のラーメン構造を構築する前、すなわち、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

## 付 記

本研究は、川田建設(株)との共同研究として行われたものである。

## 参考文献

- 1) (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

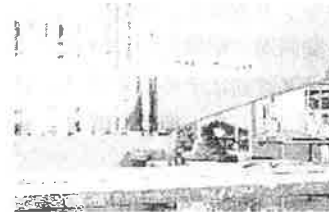
## TRIAL CONSTRUCTION OF HALF PRECAST BEAMS AND SLABS

H.Hattori, T.Miyagi and S.Tamai

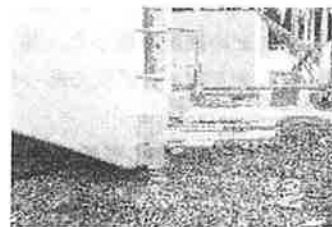
The construction method using the precast members for the elevated railway has been developed for the purpose of rationalization and labor saving of construction and its guideline has been authorized and published. In general, the construction of the elevated railway above the existing one requires enough work site just beside the railway so that the structures are constructed within the existing railway area at night where there is no additional works area nearby. It is emphasized that the use of precast beams and slabs is most effective to shorten the construction schedule. Based on the new construction sequence developed by the authors the full scale experimental studied have been carried out and have confirmed the applicability to the actual construction project. The studies resulted that the precast slabs could be constructed before construction of the beams and the columns.

に寄与する。

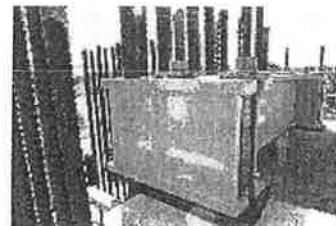
今回の施工実験ではハーフプレキャスト梁にダイヤフラムを配置したが、解析的検討によりダイヤフラムがねじり剛性を高める効果が無いことが明らかになかったことから、部材製作における施工性や経済性を考慮して、今後ダイヤフラムを廃すことが妥当である。



(a) 埋込みブラケット I



(b) 埋込みブラケット II



(c) 仮固定治具

写真 2 梁の仮支持金具と仮固定金具