

## 報告 震災を受けた地下 RC 柱の膨張性高流動コンクリートによる補修

若松岳\*1・竹中康訓\*2・田中広司\*3・横溝文行\*4

要旨：兵庫県南部地震により損傷した地下駅の柱に対して、H形鋼および鋼板で補強した狭隘な空間を、締め固めしなくても充填でき、材齢3日程度で仮支柱を撤去することのできる早強性を有する膨張性の高流動コンクリートを適用し復旧した。復旧工事のコンクリート材料、配合、施工法について報告する。

キーワード：震災復旧工事、地下構造物、高流動コンクリート、逆打ち工法、膨張性

### 1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、地下鉄駅舎の地下1階部分を中心として、中柱に被害が発生した。被害の程度をランク分けし、鉄筋が大きく曲がるなどの損傷度の高いランクの柱については、仮支柱を設置し、破損した部分を取り除き、一旦断面復旧した後、柱周辺をH形鋼で補強したうえで鋼板で巻き立て、内部にコンクリートを充填する工法を採用した。

断面復旧部と鋼板内の充填は、逆打工法となるが、本工事における逆打ちコンクリートの性能としては以下のものが要求される。

- ①. レイタンスの発生や沈下がなく、逆打ち面が旧コンクリートに密着すること
- ②. 鋼板とH形鋼で囲まれた柱の高さが2～5mで、H形鋼と旧柱の離隔が50mmの狭隘な空間を、締め固めがなくても充填できること
- ③. 材齢3日程度で仮支柱を撤去し、補強H形鋼を設置することのできる強度を発現すること
- ④. 1回に十数㎡程度の打設量となり、現場でコンクリートを製造することは、施工速度を確保することができず、生コン工場から出荷できること
- ⑤. 復興車両による大渋滞に巻き込まれてもフレッシュコンクリートの性状が安定すること

打設後の膨張量を確保し、高所落下でも材料分離せず、締め固めしなくても狭隘な空間を充填することのできる材料としては、高流動コンクリートがあり〔1〕、逆打ち工法としてはノンブリーディングで膨張性のあるコンクリートを使用した事例がある〔2〕。本工事では、この両者の性能を有し、プラントの制約を極力低減するため、特殊なセメントを使用せずに早期強度を確保する膨張性高流動コンクリートを採用した。

本報告は、コンクリート材料、配合、施工法について述べるものである。

### 2. 工事場所および工期

工事場所：神戸市高速鉄道三宮駅、上沢駅

工期：（三宮駅）平成7年2月～10月、（上沢駅）平成7年2月～11月

\*1 (株)大林組技術研究所土木第三研究室研究員 (正会員)

\*2 神戸市交通局工務課長

\*3 神戸市交通局工務係長

\*4 (株)大林組土木技術本部設計第三部課長

### 3. 柱の被害状況

神戸市による被害調査の結果を以下に、最も被害の大きいランク I の状況を写真-1 に示す。

- ・ランク I : 柱全断面に貫通クラックがあり、軸方向鉄筋の曲がり曲がりが鉄筋径の3倍以上のもの  
…三宮駅8本・上沢駅10本
- ・ランク II : 柱全断面に貫通クラックがあり、軸方向鉄筋の曲がり曲がりが鉄筋径以上かつ3倍未満のもの  
…三宮駅14本・上沢駅24本
- ・ランク III : 柱にせん断クラックが発生しているが、軸方向鉄筋の曲がり曲がりが鉄筋径未満のもの  
…三宮駅47本・上沢駅94本
- ・ランク IV : I、II、IIIランク以外で軽微なクラックが発生しているもの…三宮駅34本・上沢駅78本

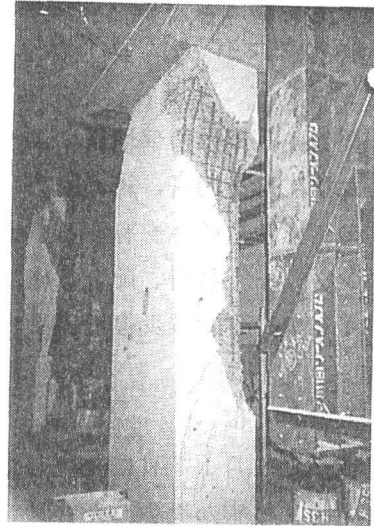


写真-1 柱の被害状況 (ランク I)

### 4. 柱の復旧方法

#### 4. 1 設計上の基本的な考え方

粉砕したコンクリートは、はつり取り、打替え後、許容軸力の80%の耐力として評価する。主鉄筋は、屈曲が3D以上のものは除去し、新しく建て込むが、屈曲が1D以上の場合は、復旧の有無に関わらず軸方向耐力として評価しない。

以上により設計軸力として、耐力が不足する柱については、H形鋼と鉄筋を考慮しない既設コンクリート柱により軸力を分担する構造となる。

また、せん断補強としては、大規模地震にも耐えるよう、柱を厚さ6mmの鋼板で巻き、コンクリート打替え部は、帯筋および中間帯筋を増量(D13@125)し、中間帯筋を配置できない箇所の代替措置として部材幅が1mを超える柱について、柱を削孔してPC鋼棒で鋼板を拘束する。これにより、従前のRC柱に比べ靱性の向上を図った構造としている。

#### 4. 2 採用構造の配置

##### ①ランク I、II (図-1 参照)

旧柱周囲にH形鋼および鋼板を配置し、H形鋼の腐食や地震時の一体化の問題を考慮し、H形鋼を巻き込んで旧柱と一体化し、内部にコンクリートを充填する構造を採用した。

##### ②ランク III (図-2 参照)

旧柱周りに鋼板を巻き、内部にモルタルを充填する構造を採用した。

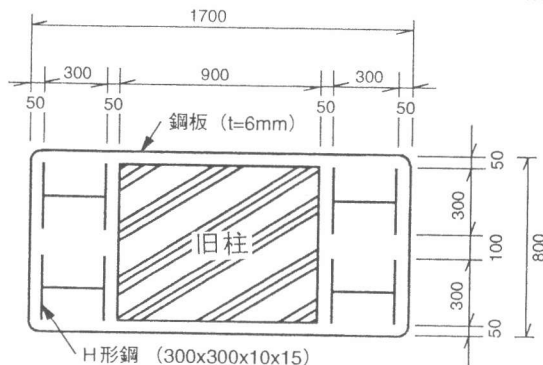


図-1 ランク I、II 柱本復旧断面図

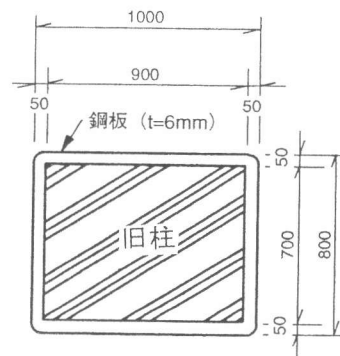


図-2 ランク III 柱本復旧断面図

#### 4. 3 打設方法の検討

柱打替え部および巻立て部は旧柱や梁などの逆打ち面が存在する。逆打ち工法としては、図-3に示すように3種類ある。一般に従来法による充填法や注入法は、直接法よりも1工程多く、下部コンクリートのレイタンスが除去できないなど、工期および品質確保上問題が生じる。これにより、充填は直接法による逆打ち工法を採用した。

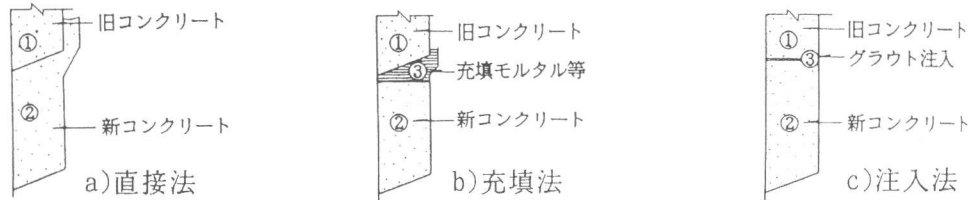


図-3 逆打工法の比較

#### 4. 4 充填材料の検討

①ランクⅠ、Ⅱ…柱の打替え部分は、主筋の配置がD25@100、帯筋・中間帯筋の配置がD13@125と過密な配筋の上、逆打ちとなり、バイブレータによる締固めが困難である。さらに、高さ約2~5mの打設高さがあり、高所から落下させた場合に、従来のコンクリートでは材料分離が生じる恐れがある。また、鋼板巻立て部も躯体、鋼板、H形鋼との離隔は50mmであり、充填条件は非常に厳しい。このため、流動性が高く材料分離しにくい性能と、レイタンスの発生や沈下を生じない性能を有する膨張性高流動コンクリートを採用することとした。

②ランクⅢ…鋼板巻立て部は、ランクⅠ、Ⅱよりも打設量が少なく、打設回数は多くなる。このため、充填材料は、施工性と経済性を考慮し、無収縮モルタルを採用した。

#### 4. 5 施工手順

ランクⅠの施工手順を図-5に示す。

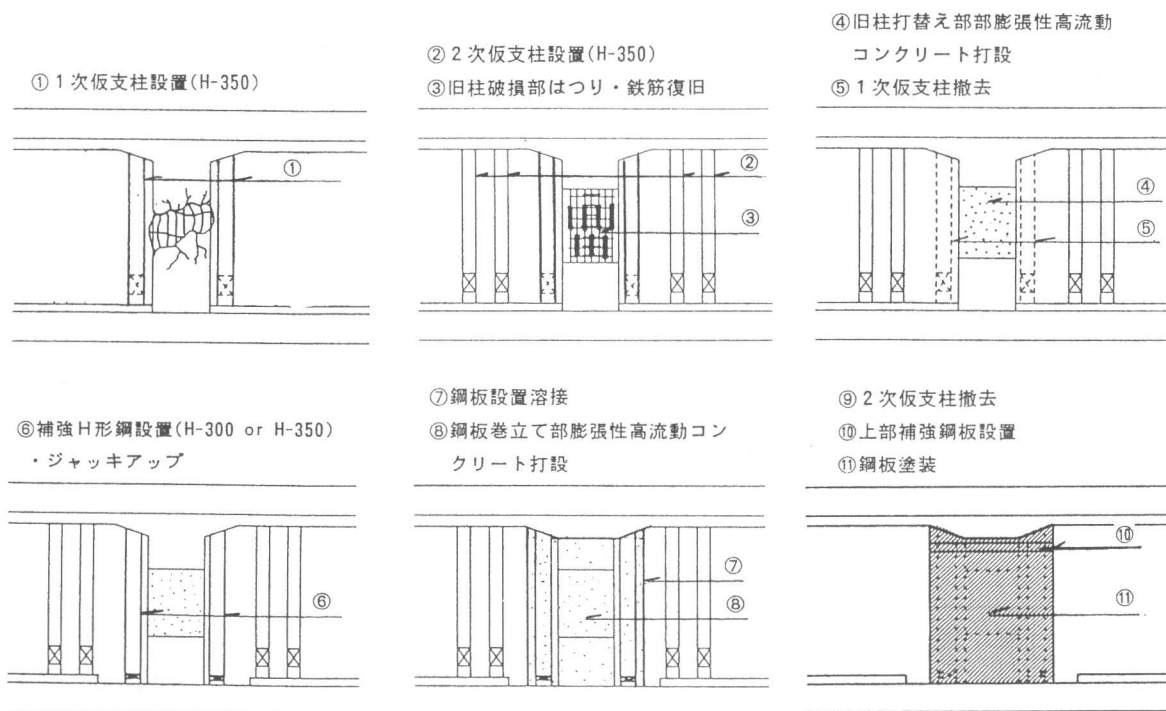


図-5 柱の復旧施工手順（ランクⅠ）

## 5. 膨張性高流動コンクリートの性能と施工

### 5. 1 要求性能および配合条件

コンクリートの要求性能を表-1に、配合条件を表-2に示す。

旧柱の打替えコンクリートおよび鋼板巻立てコンクリートにおいては、ブリーディングに伴うレイタンス発生の抑止や沈下を補償する適切な膨張量を確保する必要がある。また、型枠内へ締め固めせずに確実に充填するための流動性や高所落下に伴う材料分離抵抗性、巻立て鋼板内とH形鋼および既設柱部間の狭い間隙を通過する性能が必要である。

強度特性としては、材齢3日程度に仮支柱を撤去できる強度発現が必要である。

### 5. 2 使用材料と配合

コンクリートの製造は、三宮駅と上沢駅では異なるプラントを使用した。

使用材料を表-3に、配合を表-4に示す。材料の組み合わせは、打設が少量で多数回になるため、プラントの製造および品質管理ができるだけ容易となるよう配慮した。このため、自己充填性を得るためには、多量の粉体または分離低減剤が必要となるが、新たな計量設備や貯蔵用サイロを必要としない普通ポルトランドセメントのみを粉体に使用し、分離低減剤はブリーディングを抑制できる程度に抑えた。また、高性能AE減水剤は、各プラントで常用する製品を使用した。分離低減剤および膨張剤は少量であるため、練混ぜ時のミキサに直接手投入した。

膨張剤は打設後に所要の膨張量を得よう運搬時間と打設時間を考慮して膨張開始時間を制御する必要がある。また、ブリーディングがなくても、コンクリートは硬化収縮や圧密によりわずかに沈下する。プラントAの室内試験におけるコンクリートの膨張率の経時変化を図-5に示す。これにより、膨張開始時間がより遅いタイプ1の膨張剤を採用した。膨張剤の添加量については、コンクリートの膨張率のばらつきを考慮し、沈下を補償するための目標膨張率が1%程度となるよう各プラントで膨張率の試験を行い決定した。

表-1 コンクリートの要求性能

要求性能	品質項目	材料および配合上の対応策
逆打面の一体化	・材料分離抵抗性 ・流動性 ・膨張性 ・強度特性	・分離低減剤の利用 ・高性能AE減水剤の利用 ・膨張剤の利用 ・結合材量の増大
自己充填性	・流動性 ・材料分離抵抗性 ・間隙通過性	・高性能AE減水剤の利用 ・微粉末量の増大 ・粗骨材量の減少

表-2 コンクリートの配合条件

設計基準強度 $f'_{ck}$ ( $N/mm^2$ )	強度管理材齢と 供試体養生方法	空気量 %
24	材齢3日、現場封緘養生	2±1.0

表-3 使用材料

材 料	記号	プラント	規 格、性 状 等
セメント	C	A B	普通ポルトランドセメント、比重3.16
細骨材	S	A	海砂(児島産)+砕砂(牡鹿産) 混合比5:5 比重2.58、粗粒率2.77
		B	海砂(室木産) 比重2.57、粗粒率2.50
粗骨材	G	A	砕石(牡鹿産) 最大寸法2.0mm 比重2.61、実績率61.8%
		B	砕石(牡鹿産) 最大寸法2.0mm 比重2.62、実績率58.9%
高性能AE減水剤	SP	A	ポリカルボン酸系(T社)
		B	ポリカルボン酸系(K社)
分離低減剤	Vis	A B	セルロース系特殊ブリーディング抑止剤
膨張剤	A $\ell$	A B	逆打用アルミ系特殊膨張剤

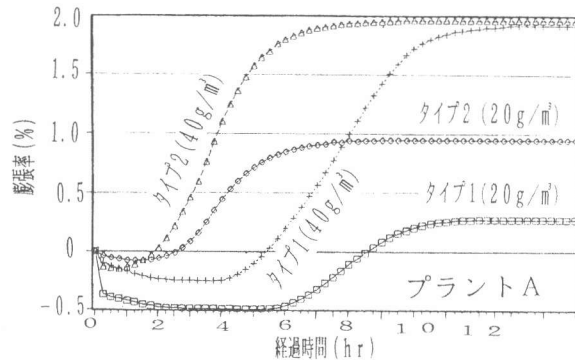


図-5 膨張剤のタイプと膨張率の経時変化

表-4 膨張高流動コンクリートの配合(材料は表-3による)

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 ( $kg/m^3$ )				混和剤			
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	Vis	A $\ell$	SP	
37	53	185	500	866	783	0.40	0.03	10.0	プラントA
						0.40	0.02	12.0	プラントB

### 5.3 コンクリートの品質項目と試験方法

コンクリートに要求される品質項目とそれを評価するための試験項目、基準値、試験方法を表-5に示す。

スランプフローは、厳しい充填条件を考慮し下限値を65cmとした。

復興車両による大渋滞のため、運搬や打設中のフレッシュコンクリートの流動性が低下することが懸念された。このため、現場到着時に高性能AE減水剤を現場で後添加し、流動性を保持させることとした。

### 5.4 コンクリートの品質特性

実機練り混ぜ試験における一連の品質試験結果を以下に示す。

#### (1) 流動性と分離抵抗性

図-6にスランプフローの経時変化を示す。

製造45分後に少量の高性能AE減水剤を後添加しているが、製造後2時間以上経ても65cm以上の高い流動性を保つことを確認した。

また、参考として材料分離の程度を把握するためのOロート時間[3]と50cmフロー時間(スランプフローが50cmまで広がる時間)の測定を行った。図-7、8に試験結果を示す。

Oロート時間は、プラントA、Bそれぞれ12秒、20秒程度のコンクリートの粘性が高い領域でほぼ安定し、50cmフロー時間も同様であることから、スランプフローが65~72cmの高い流動性のもとでも十分な分離抵抗性を有するものと考えられる。

なお、ブリーディング水の発生はなかった。

#### (2) 空気量

図-9に空気量の経時変化を示す。

空気量は1.4~3%の範囲で安定している。

#### (3) 圧縮強度

封緘養生の圧縮強度試験結果を図-10に示す。24N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度となる材齢は3~4日となることを確認した。

なお、施工時の仮支柱の撤去は、全打設日において、現場封緘養生供試体により強度を確認した後実施した。

表-5 コンクリートの品質項目(荷卸時)と試験方法

品質項目	試験項目	基準値	試験方法	試験頻度
流動性	スランプフロー	65~72cm	土木学会規程「水中不分離性コンクリートの設計施工指針」	1台目および随時
	ブリーディング率	ブリーディングの発生がないこと	JIS A 1123 コンクリートのブリーディング試験方法	1回/日
分離抵抗性	スランプフローの目視検査	材料分離がないこと	スランプフロー試験における目視検査	1台目および随時
膨張性	膨張率	1%程度(0.5~2.0%)	φ12.5×25cmモールドおよび高感度変位計による	1回/月
強度特性	圧縮強度	封緘養生材齢3日24(N/mm <sup>2</sup> )	φ10×20cmモールドおよび重り2t/m <sup>2</sup> による拘束[2]	1回/日

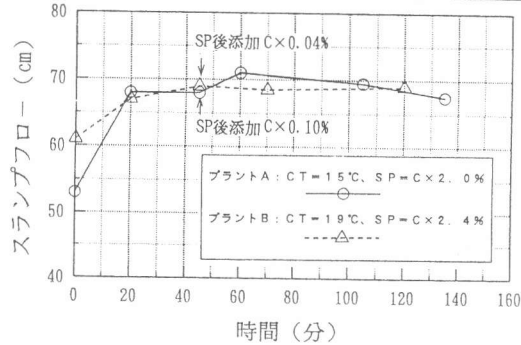


図-6 スランプフローの経時変化

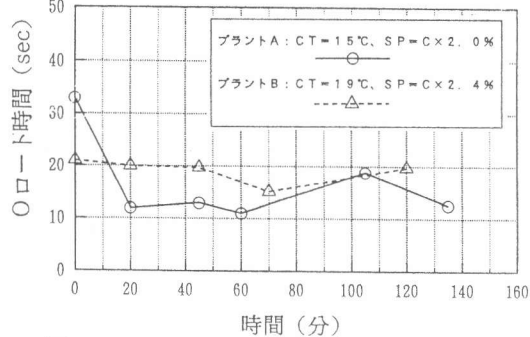


図-7 Oロート時間の経時変化

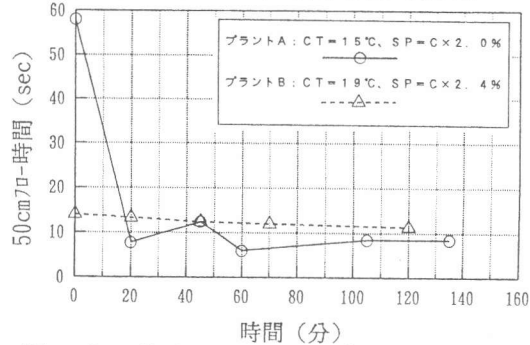


図-8 50cmフロー時間の経時変化

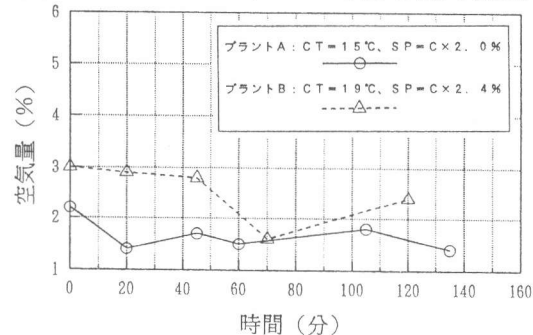


図-9 空気量の経時変化

#### (4) 膨張特性

一般にアルミ粉末添加率と膨張率との関係には温度依存性があり、コンクリート温度が高くなると膨張率が大きくなる傾向がある。このため、1ヶ月に1回程度の自由膨張率試験を実施し、所要の膨張量を得るため、膨張剤量を調整した。図-11に膨張剤添加量と自由膨張率との関係を示す。

#### 5.5 施工状況

コンクリートは地上のポンプ車から、地下2階まで、5Bの配管で圧送した。配管の最長は実長190mであり、打設速度は、柱の切り替えに要する配管の段取り替えなどもあり、数 $\text{m}^3/\text{hr}$ ~10数 $\text{m}^3/\text{hr}$ であった。コンクリートの打設総量は、三宮駅は16回の打設で約120 $\text{m}^3$ 、上沢駅は12回の打設で約190 $\text{m}^3$ となった。

柱上部のコンクリートの投入口の形状を写真-2に示す。投入口は高さ20cm以上のコンクリートヘッドがかかるように打ち上げ、翌日張出し部分をはつり落とした。

#### 6. まとめ

- ①震災により被害を受けた地下鉄駅舎のRC柱の打ち替え部分と、打ち替え後の柱をH形鋼と鋼板で巻き立てた狭隘な空間内部を、膨張性高流動コンクリートを用い、直接法による逆打ち工法で復旧した。
- ②震災時に使用できるプラントの限られた条件から、プラント常用の材料を主体に、少量の分離低減剤および膨張剤を用いる配合とした。
- ③製造後2時間以上、高い流動性と材料分離抵抗性を保持し、打設後に膨張を開始するよう膨張開始時間を制御し、支保工撤去のための早強性を有することができた。

#### 参考文献

- [1] 竹田宣典, 近松竜一, 十河茂幸, 芳賀孝成: 薄肉RC壁に自由落下で打設できる超流動コンクリートの検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No. 1, pp.125-130、1992.6
- [2] 熊谷勝弘, 高橋守人, 青木茂, 十河茂幸: 吊橋主塔基礎コンクリートの大深度逆打ち施工での品質向上の研究、土木学会論文集、No.504/VI-25, pp.23-32, 1994.12
- [3] 三浦律彦, 近松竜一, 十河茂幸: ロート流下試験法による超流動コンクリートの品質判定に関する一考察、超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集、pp9-16, 1993.5

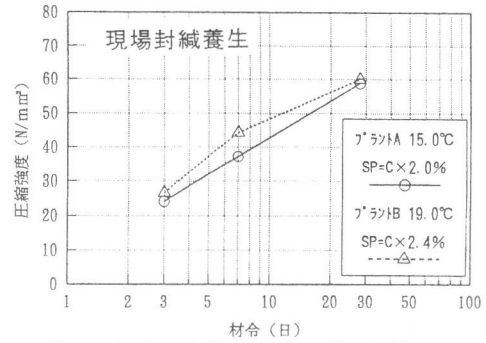


図-10 圧縮強度の発現状況

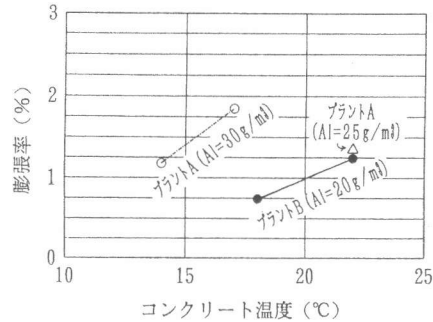


図-11 コンクリート温度と膨張率

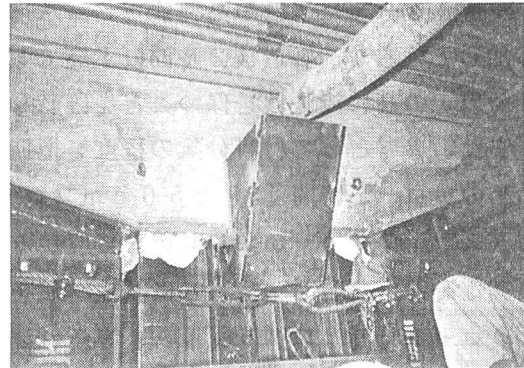


写真-2 コンクリート投入口の状況