

## 新幹線 PC 橋の拡幅工事 (刈安 Bv の設計と施工について)

馬	場	孝*
原	田	俊明**
坪	井	正克†
田	中	昭義††

### 1. まえがき

愛知県西三河地域は、輸送機器をはじめとする諸産業と、各種の研究教育機関を中心とした高度情報産業地域として飛躍的な発展を期待されている。

東海道新幹線三河安城駅は、そのほぼ中央付近に位置し、他地域との交流路の拠点として近隣都市からのアクセス交通路にも恵まれた安城市に計画され、関係各機関の強力な支援のもと、昭和 63 年 3 月の開業をめざして

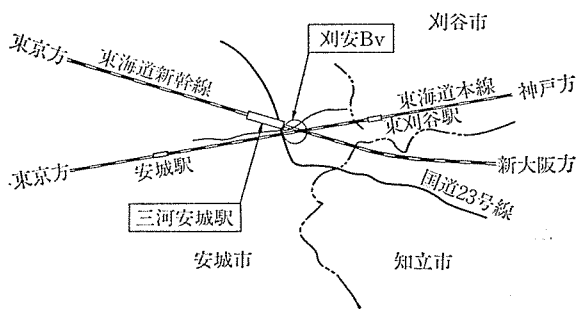


図-1 橋梁位置図

同市二本木町地内に鋭意建設中である (図-1 参照)。刈安 Bv の拡幅工事は、この新駅建設にともない既設新幹線の上下本線の両側に停車線用の副本線を設置するために、既設橋梁の両側に PC 単純桁を拡幅するものである。

本橋の構造的な特徴は、図-2 に示すとおり橋梁周辺の環境条件および既設構造物等の関係から、停車線用の副本線への新設分岐機が架橋位置に近接した位置に設置されるため、橋梁位置が線路分岐区間中になり、既設桁と新設桁を分離構造とすることができず、新設桁を拡幅方式により既設桁と一体構造としたことである。このため新設桁の構造形式決定に当たっては、種々の形式について比較、検討を行った結果、連結横桁で既設桁と一体構造とする方式を採用した。

本工事は営業運転中の新幹線構造物への拡幅工事であり、このような実施例は比較的少ないため、既設桁への横締め孔の削孔と、これに先立つ既設桁の現状調査と確認、新設桁のクリープ進行度確認のためのたわみ測定、連結横桁施工前の既設桁の振動測定、連結横桁への超速

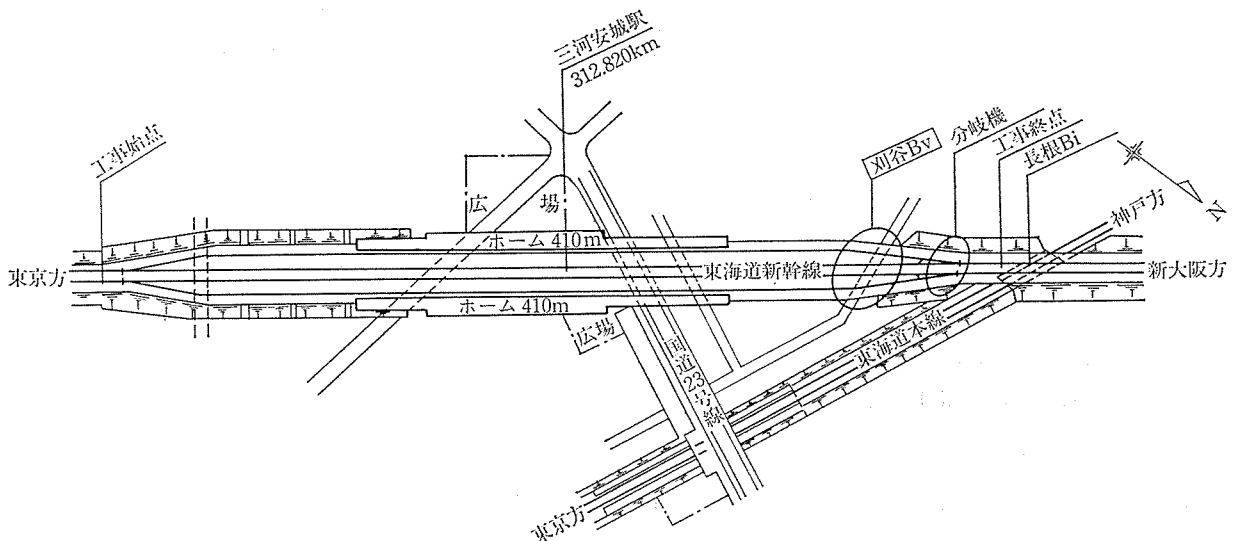


図-2 橋梁配置図

\* 東海旅客鉄道 (株) 建設工事部木土工事課主任技師  
 \*\* 東海旅客鉄道 (株) 建設工事部静岡工区安城支区施設技術主任

† 興和コンクリート (株) 名古屋支店  
 †† 興和コンクリート (株) 当工事現場所長

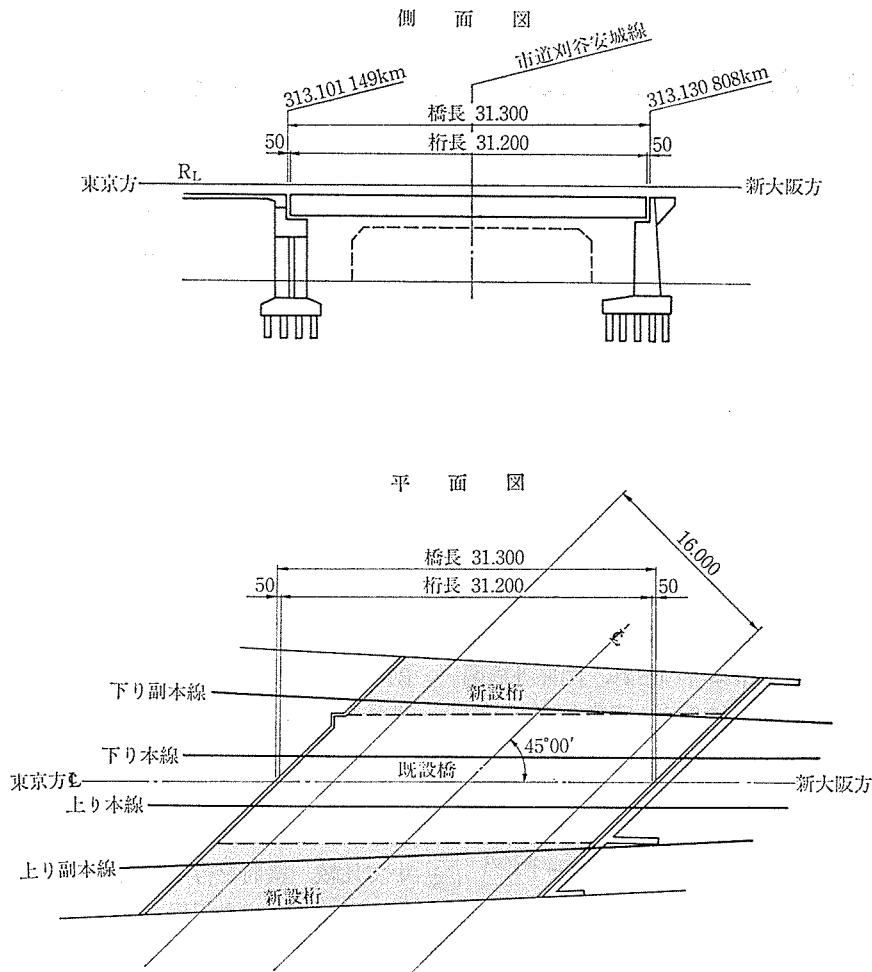


図-3 橋梁一般図

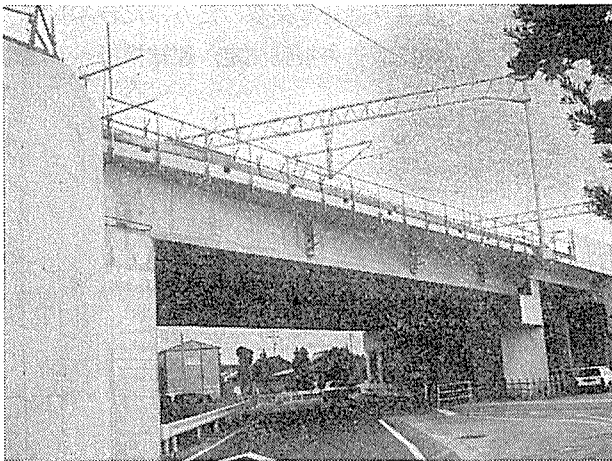


写真-1 川安 Bv 全景

硬コンクリートの使用，など施工の各段階において生じる種々の問題点に対して調査，検討を加えて工事を進めた。

本報告はこの拡幅工事の設計，施工および各種の調査事項の概要について報告するものである（写真-1，図-3 参照）。

## 2. 工事概要

工事名：新幹線三河駅（仮称）四工区川安 Bv

発注者：1期工事 国鉄岐阜工事事務所

2期工事 東海旅客鉄道株式会社建設工事部

工事場所：安城市二本木町地内（市道刈谷安城線）

工期：1期工事 昭和 61 年 9 月～62 年 2 月

2期工事 昭和 62 年 7 月～62 年 11 月

構造形式：PC 単純 I 形桁橋

列車荷重：新幹線 NP-18

橋長： $L=31.300\text{ m}$

既設橋：単線 4 主桁 2 連

新設桁：単線 3 主桁 2 連

斜角：左  $45^{\circ}00'$

定着工法：主方向 フレシナー工法

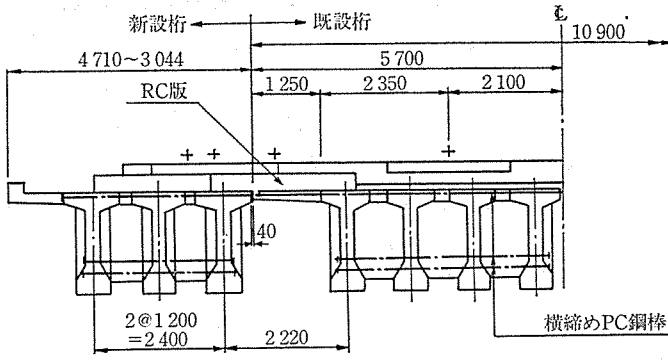
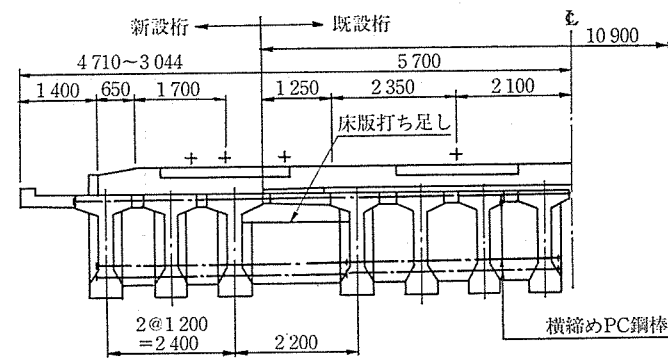
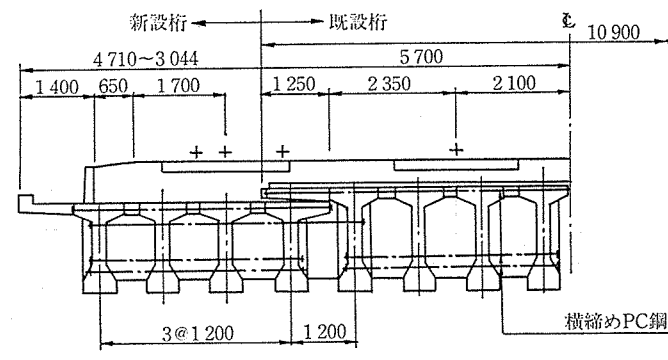
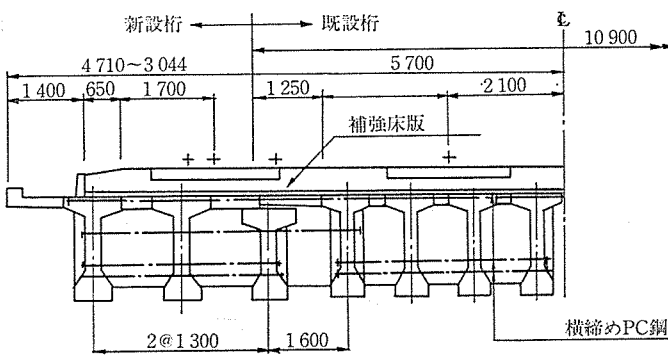
横方向 PC 鋼棒

## 3. 設計概要

### 3.1 拡幅形式の選定

新設分岐機の位置は図-2 に示すように長根 Bi で制

表-1 拡幅案比較表

拡幅形式	横断面図	検討結果
第1案 分離構造		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 所定の道床厚が確保できない。</li> <li>2. RC版支持部の補強が困難である。</li> <li>3. RC版は直接繰返し応力を受けるので耐久性に問題がある。</li> <li>4. 既設耳桁の荷重分担が大きい。</li> </ol>
第2案 一体構造 (床版打足し)		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 活線施工での床版施工が困難である。</li> <li>2. 既設床版先端部の直接支持ができない。</li> </ol>
第3案 一体構造 (4主桁)		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 既設床版先端部を直接支持できる。</li> <li>2. 新旧桁高が異なるため、たわみ差が大きい。</li> <li>3. 版上死荷重が大きくなる。</li> </ol>
第4案 一体構造 (3主桁)		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 既設床版先端部を直接支持できる。</li> <li>2. 施工が比較的容易である。</li> <li>3. 第3案に比べて経済的である。</li> </ol>

◇工事報告◇

約を受け、停車線用の副本線が橋梁区間内でシフトする。このため既設張出し床版には列車荷重が載荷される。また既設桁の横締め PC 鋼棒  $\phi 24$  が張出し床版先端に定着されており、張出し床版の撤去は困難である。拡幅部新設桁の桁配置および連結方法の決定に当たっては、これらのことを考慮して表-1 に示す4案について応力状態および耐久性、施工性などを比較検討した。

検討の結果、既設張出し床版は列車荷重の直接載荷の影響を考慮して新設桁で支持する構造とし、既設桁への拡幅の影響も比較的少ないこと、通常運転の活線施工となるので連結工の施工を最少とすることなどを考慮し、さらに耐久性にも特に問題はないとの判断から第4案を採用した。

3.2 既設桁と新設桁の連結

列車荷重による既設桁と新設桁の横桁間のたわみ差に対する既設張出し床版の補強は、床版上に補強床版を設置して行った。補強床版の検討は単純支持梁とした。横桁部の連結は連結横桁を4か所設けて行った(図-4 参照)。既設橋の中間横桁の配置は、主桁直角方向となっているが、拡幅部の横桁配置は図-5 に示すように斜角方向とした。連結方法は連結横桁中に PC 鋼棒  $\phi 32$  B

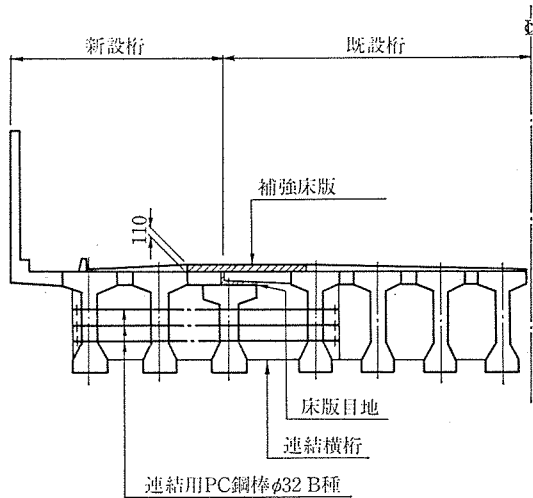


図-4 既設桁と新設桁の連結

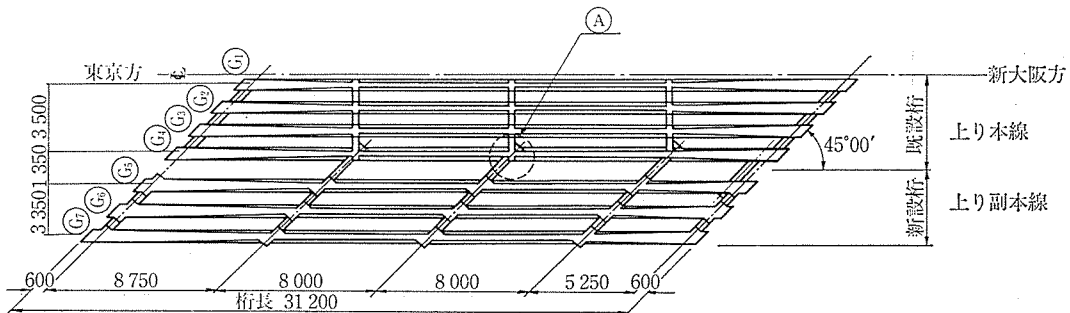


図-5 横桁配置図

種を各3本配置して既設桁の外桁と新設桁の連結を行った(図-6 参照)。既設桁の横桁取付け部は図-7 に示すようにウェブに  $\phi 50$  の削孔を行い、ライナー部を設けて連結用 PC 鋼棒を定着した。

3.3 応力状態の照査

連結前の既設桁および新設桁、連結後の完成系構造についてそれぞれの応力状態を照査した。横組完了後に作用する版上死荷重および列車荷重による断面力は、図-8 に示す任意形格子構造として各々の載荷状態についてもとめた。格子解析の条件としては支点バネおよびねじり剛度を考慮し、また支点沈下の影響についても照査を行った。列車荷重の載荷方法は換算等分布荷重として本線および副本線に、新旧連結後の完成系格子桁のそれぞれの部材に対して断面力が最大となるよう載荷させた。

既設桁の応力状態は、建設当時の設計図および設計計

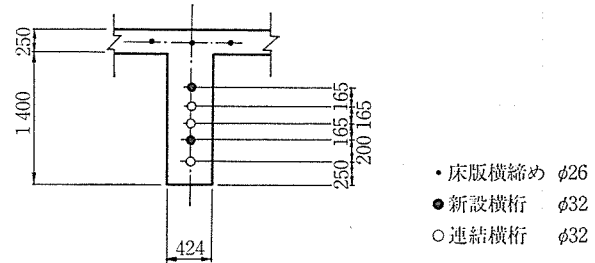


図-6 横締め PC 鋼棒配置図

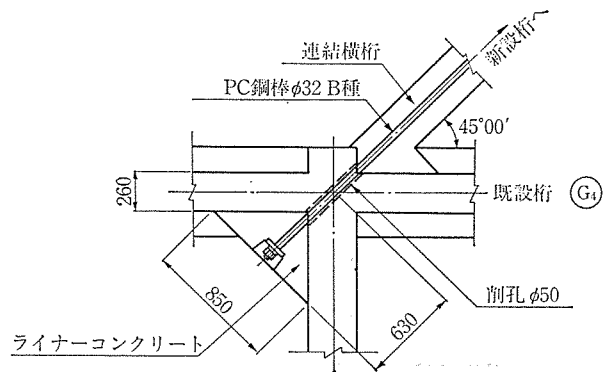
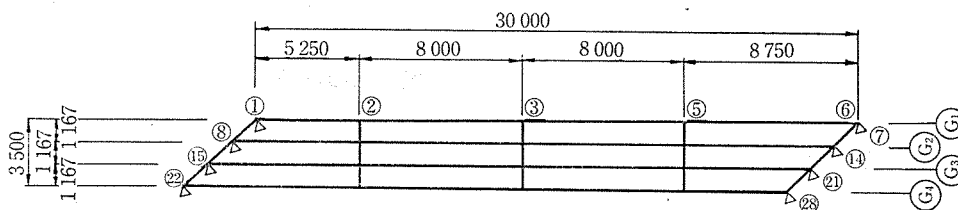
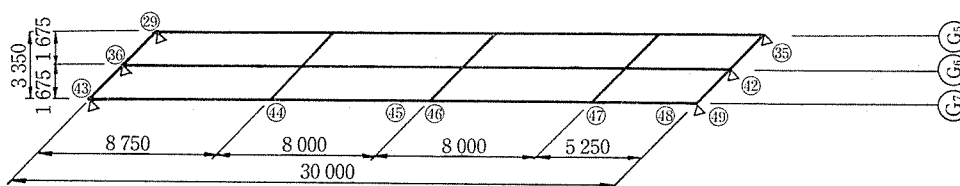


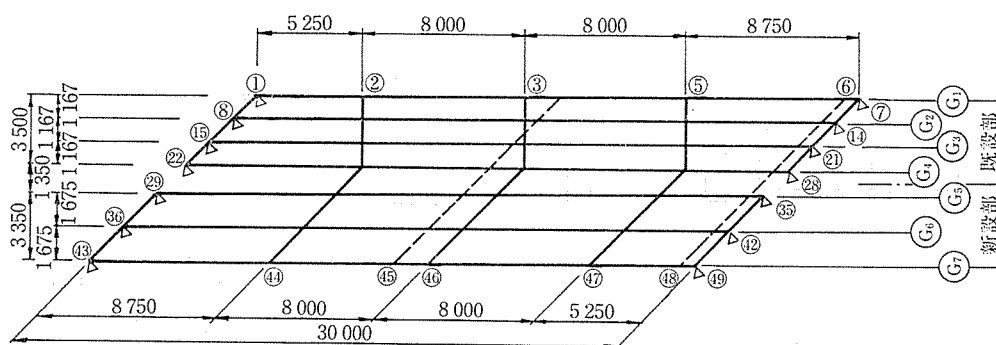
図-7 横桁取付け部 (A部)



a. 既設桁格子モデル



b. 新設桁格子モデル



c. 完成系格子モデル

図-8 格子桁骨組図

算書を参照し、各施工段階に合せて拡幅による影響を調査して安全を確認した。

#### 4. 既設桁の現状調査

本工事のような拡幅工事の場合、施工の各段階において種々の問題点が予測される。したがって本施工に先立ち、既設桁の現状について以下に述べるような調査、検討を行って工事を進めるうえでの判断資料とした。

##### 4.1 たわみの現状測定

本工事のような拡幅工事の場合、新設桁の製作精度は既設橋との連結横桁、および床版の連結工の施工精度に大きな影響を及ぼす。このため新設桁の主桁製作に先立ち、既設橋の主桁および張出し床版部のたわみの現状測定を綿密に行って下げ越し量の決定に反映させ、横桁および床版の連結時に所定の高さとなるよう配慮した。

##### 4.2 PC ケーブル位置の確認

設計図における連結用 PC 鋼棒の位置は、既設桁の設計図をもとに決定したものであり、本施工に当たっては新設桁の主桁製作前に既設桁の PC ケーブル位置を推定し、削孔位置との関係の確認を行ってから新設桁に連結用横締めシースを設置した。PC ケーブル位置の推定方法としては、既設桁に極力損傷を与えないため非破壊による探査方法を検討した。一定厚以上の部材厚を持ったコンクリート中の PC ケーブル等の非破壊探査の方法としては、現在のところ決定的なものは確立されておらず、いずれも実験室での試行の段階にあるのが現状である。したがって本工事の場合も、既設桁の設計図の位置を基本として桁側面に PC ケーブルおよび鉄筋位置のマーキングを行い、非破壊試験器により探査を行ってその結果を確認するという方法をとった。探査方法として

◇工事報告◇

は、

- a) 超音波探査法
- b) 放射線撮影法
- c) 衝撃弾性波法

などが考えられたが、測定条件および部材厚を考慮してc)による方法を採用した。

(1) 衝撃弾性波法

この方法はコンクリート表面にハンマーショックを与えたとき、内部に発生する衝撃弾性波の周波数帯域より50 kHz程度の超音波を検知し、その反射波を受信センサーで受信して、その時間差および波形によりPCケーブル位置を推定する反射測定法である。この装置の構成を図-9に、探査結果の一例を図-10に示す。

(2) 探査結果の考察

この探査結果については、支間中央部の部材厚の比較的薄い区間においてはある程度の確度で推定できたが、支点付近等の部材厚の大きい部分はコンクリートと反射物体の断面比が大きいため、またシース、鉄筋の間隔が小さい区間については反射エコーが複雑となり、残響音等の影響が表れ明確な推定まで至らなかった。今後は一

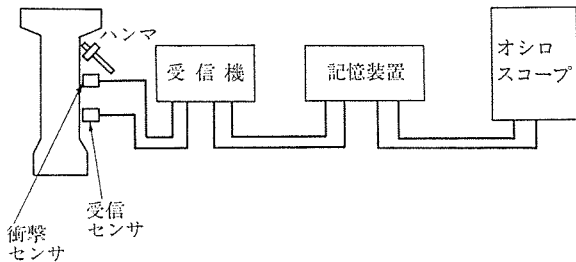


図-9 衝撃弾性波法の構成

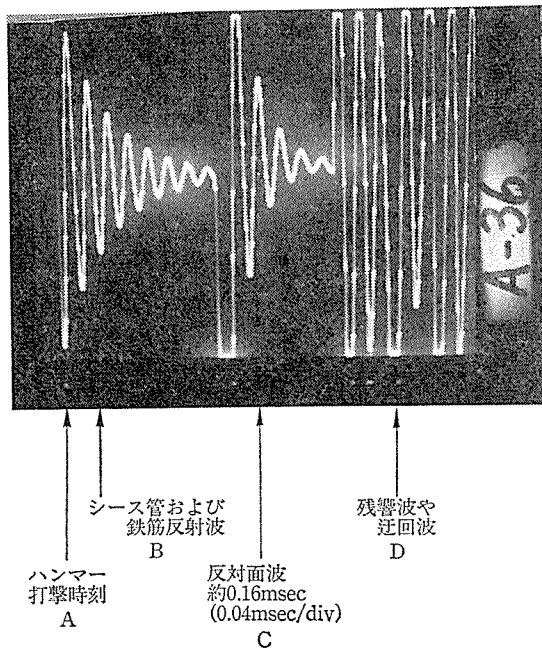


図-10 衝撃弾性波法の一例

定の部材厚をもった桁内部のPCケーブル位置の非破壊探査法の確立が望まれる。

4.3 既設桁の振動測定

既設桁は営業運転中の新幹線橋梁であり、列車通過による振動のため連結横桁のコンクリート施工への影響が予測される。このため施工に先立ち既設桁の振動測定を行って、コンクリート打設、養生等の施工方法の判断資料とした。測定項目としては、既設桁と新設桁の相対変位を支間中央および両支点について行い、既設桁の振動の卓越周波数を支間中央で行った。測定器具は図-11に示すように橋面上の各点に高感度型変位計およびサーボ型低振動数用振動計を配置した。測定方法は図-12に示すとおりとし、上下線の列車通過時に各々3回の測定を行った。測定解析結果の一例を図-13に示す。

測定の結果、既設桁と新設桁の相対変位は最大で2.5 mm、振動の卓越周波数は4.5 Hzであった。この測定結果については既存資料等で検討した結果、この振動状

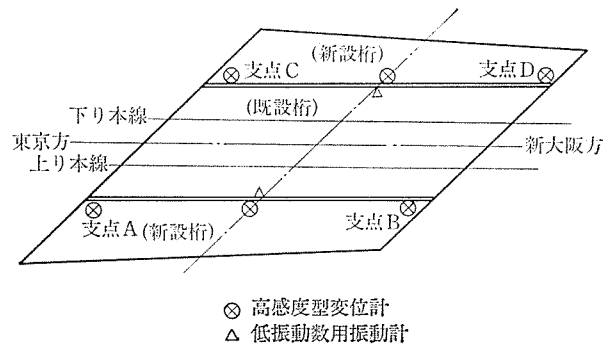
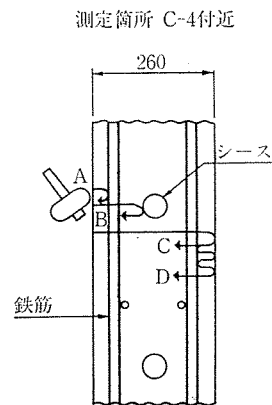
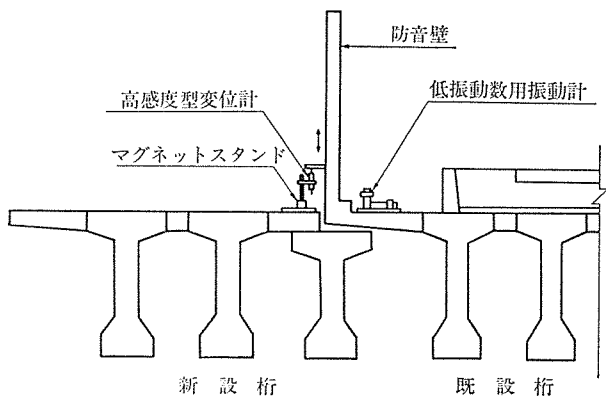
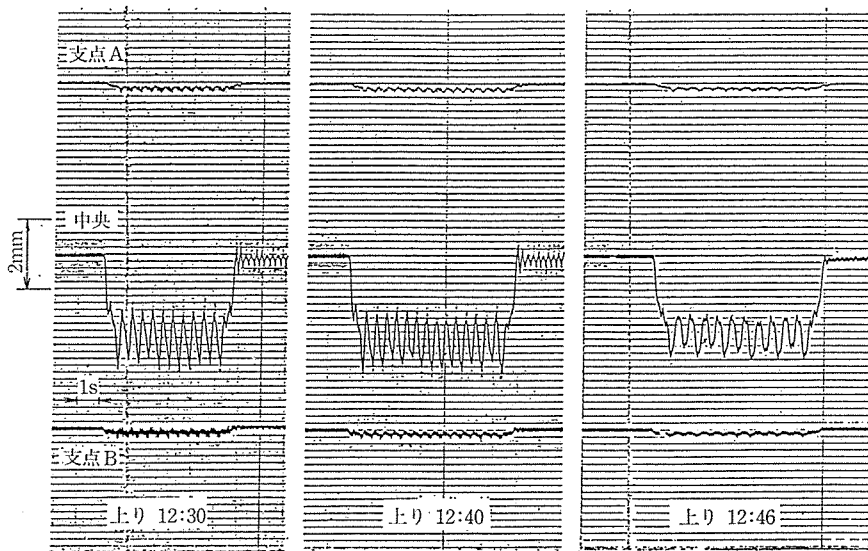


図-11 測定器配置図

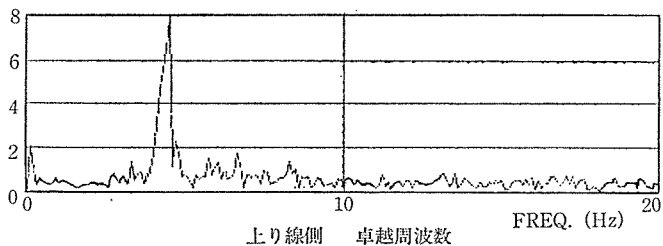
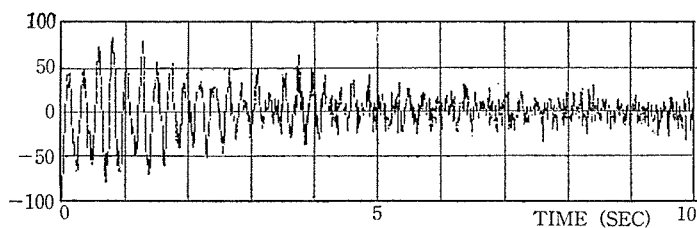




図一12 既設桁の振動測定



上り線側 相対変位



上り線側 卓越周波数

図一13 既設桁たわみ・振動測定結果

態ではコンクリート打設中および養生期間中の列車通過時に、打継目に有害なひびわれが入ることが予測されたので、連結横桁のコンクリート施工は列車停止時間帯の中で行うこととした。

## 5. 施工概要

### 5.1 施工順序

施工順序は、次に示すとおり分割して行った。

1 期工事 (新設桁の橋体工, 道床工, 防音壁工)

2 期工事 (連結工, 道床工, 軌道工)

施工順序のフローチャートを 図一14 に示す。

### 5.2 新設桁の桁製作工, 桁架設工

新設桁の主桁製作は、新設橋の両外側の道路上に支柱式支保工を組み立て、この上に桁製作ヤードを設けて製作台各1基を設置し上下線交互に行った。底板の下げ越し量は既設桁のたわみの現状測定値をもとに、これに荷重およびクリープによる変形を考慮して決定した。連結用横締め用シースの位置は既設桁の探査結果から決定し、あらかじめ新設桁製作時に配置した。緊張管理法は「PC 施工の手引き」(国鉄構設編)により行った。グラウト混和剤にはノーブリージングタイプの「コンベックス 208」を使用した。この混和剤はセメント分散効果が強力でシース内への充填性に優れ、混練り後の凝結遅延効果があるため注入作業が容易である、などの特長があり本工事においても良好な結果を得た。

主桁架設は既設橋の張出し床版下へ新設桁を送り込む関係から、ステンレス板とテフロン板による横取装置を使用して行った。

### 5.3 新設桁のたわみ測定

既設橋梁は完成後 20 年以上を経過しており、既設桁と新設桁の材令差が大きいため、横桁連結後に新設桁コンクリートのクリープ、乾燥収縮による付加応力の発生が考えられる。このため新設桁コンクリート打設後、連結横桁の施工まで6か月間のクリープ進行期間を確保することとし、この期

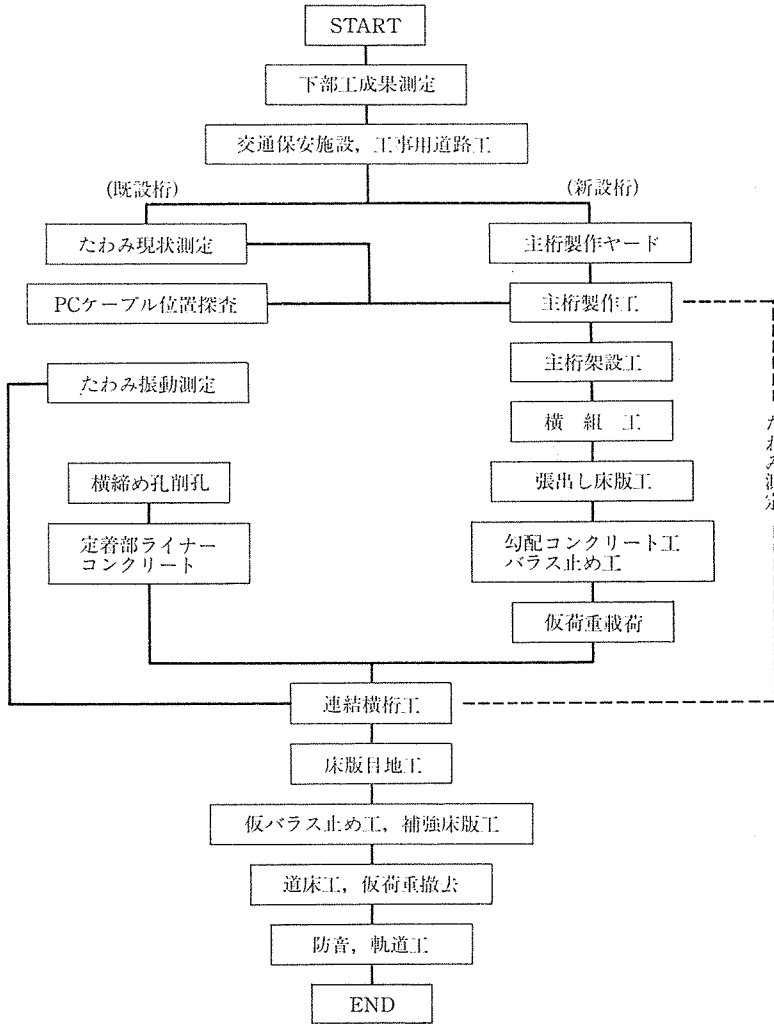


図-14 施工フローチャート

間中、後続作業を行いながら新設桁のたわみ測定を行ってクリープ進行度を確認した。測定方法としては、新設桁は桁製作後、桁架設工、横組工、橋面工等の作業が続くため、桁上縁に測点を3箇所設置して、レベルにより定期的に各3回の測定を行った。測定結果を 図-15 に示す。

このたわみ測定の結果から、実測値の傾向としては、プレストレス導入時の弾性たわみに計算値との差が見られるものの、それ以降のクリープたわみの進行は計算値とほぼ一致した傾向を示した。弾性たわみの差はプレストレス導入時に多少引き越し気味になること、コンクリートのヤング係数に差があること、などが考えられる。材令6か月におけるクリープ進行度は最終値の70%程度と推定され、横桁連結後のクリープ、乾燥収縮による残留たわみの影響は少ないものと考えられた。

#### 5.4 既設桁の横締め孔削孔

連結用 PC 鋼棒配置のための既設桁の削孔作業は、削孔径  $\phi 50$  mm, 最大削孔長 800 mm, 削孔角度  $45^\circ$  であり、列車通過に対する影響を考慮して夜間の列車停止時間帯に行った。既設桁の探査結果にもとづき桁側面にマーキングを行い、

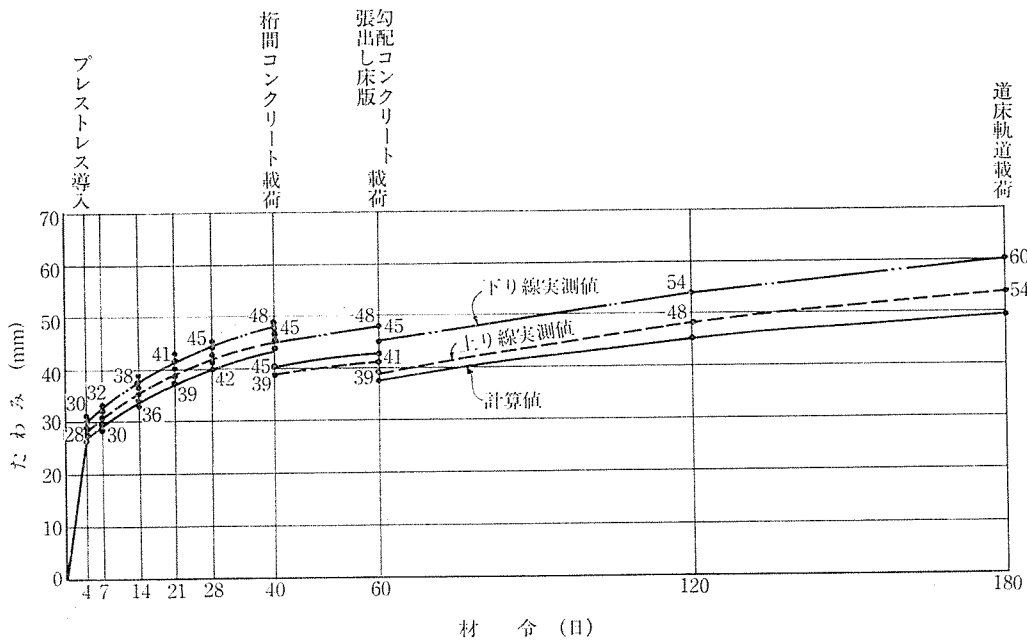


図-15 新設桁たわみ測定結果



コアドリル SP-6 型（ダイヤモンドビット付き）を使用して削孔作業を行った。なお既設桁の PC ケーブルの安全を期するため、金属感知センサーと自動停止装置を電動ハンマードリルに取り付け、 $\phi 13\text{mm}$  の探り孔を削孔位置に先行して削孔し、さらにこのメタルセンサーリールをコアドリルに取り付け、ファイバースコープにより PC ケーブルおよび鉄筋の有無を確認しながら本削孔を行った。削孔作業の機器装置の構成を図-16 に示す。また削孔作業の状況を写真-2 に、削孔状況の確認を写真-3 に示す。削孔の結果は、PC ケーブルに接触するものはなく、削孔位置の変更は行わずに作業を完了した。削孔後のコアは記録資料として全数保管した（写真-4 参照）。

### 5.5 既設桁との連結工の施工

#### (1) 仮荷重の載荷

副本線の道床工の施工は、補強床版工の後作業となるため、既設桁に付加応力が生ずるおそれがある。このため連結横桁の施工に先立ち、道床荷重に相当する仮荷重

を新設桁上に載荷することとした。仮荷重には 図-17 に示すように  $t=22\text{mm}$  の鉄板を使用し、連結横桁および補強床版の施工後、道床荷重の載荷と併行して置換えの形で撤去した。

#### (2) 連結横桁の試験施工

既設桁の振動測定の結果より、連結横桁のコンクリート打設から連結用 PC 鋼棒の緊張力導入までの作業は、列車通過による振動の影響を避けるため、終発列車から

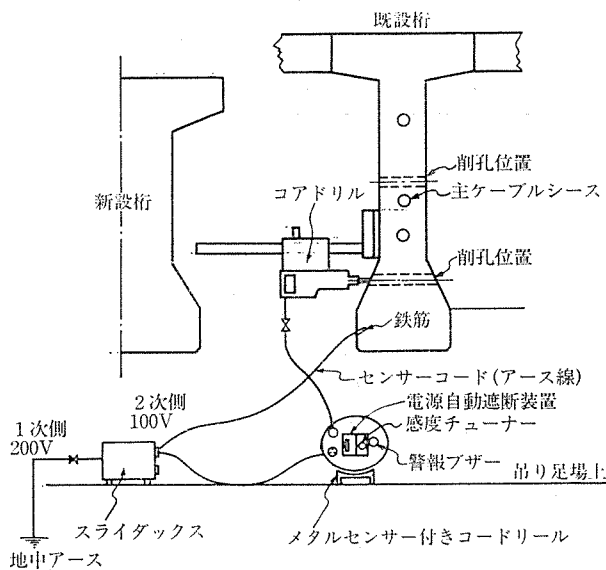


図-16 削孔装置

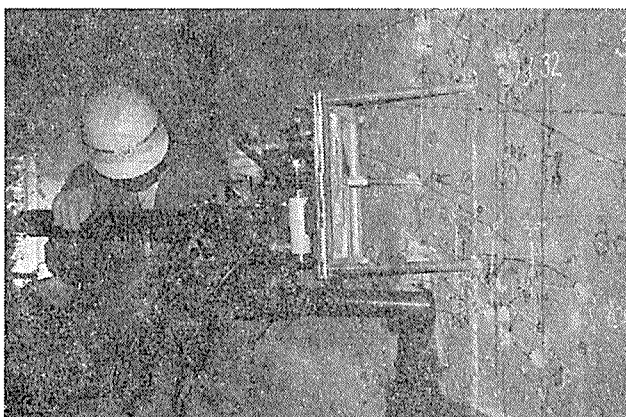


写真-2 削孔状況

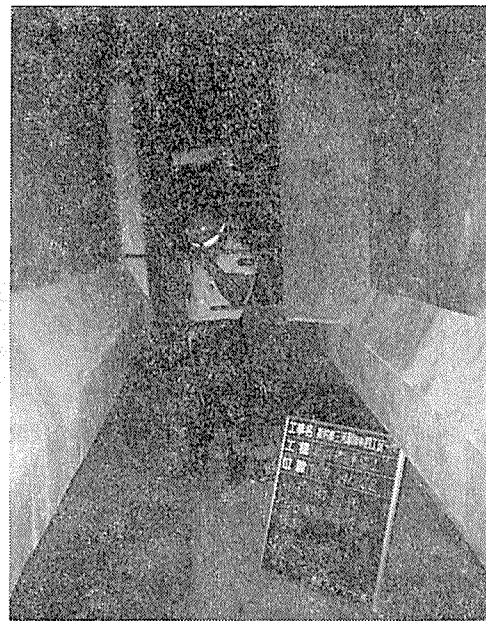
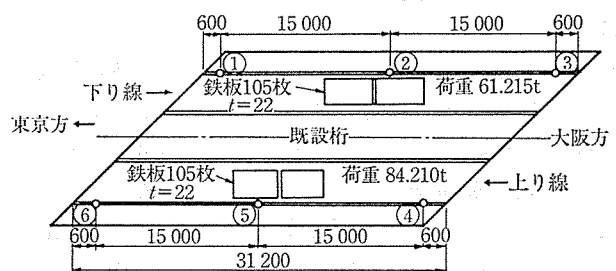


写真-3 削孔状況の確認



写真-4 削孔後のコア



○はたわみ測定点

図-17 仮荷重の載荷

◇工事報告◇

表-2 試験施工の配合

No.	スラブ (cm)	水セメント比 W/C(%)	単位水量 W(kg)	セメント量 C(kg)	S/a (%)	細骨材 S(kg)	粗骨材 G(kg)	混和剤 (kg)	凝結調整剤 (kg)
1	12	36	144	400	42	757	1070	8	0.6
2	18	38	152	400	43	766	1039	8	0.6
3	18	38	152	400	43	766	1039	8	0.6

目標値 { 可使時間：45 分以上の打設作業可能なこと  
 圧縮強度：4.5 時間で 200 kg/cm<sup>2</sup> 以上  
 混練り：移動式コンクリート連続製造プラント車

混和剤：デンカ FT-80  
 凝結調整剤：デンカスーパー専用タイプ

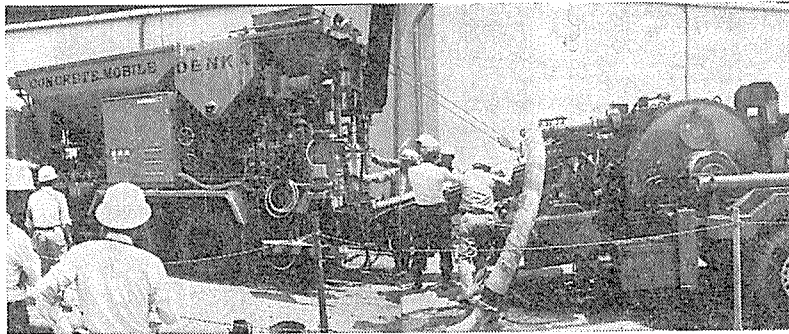


写真-5 試験施工の状況



写真-6 試験施工実大モデル

始発列車までの夜間の列車停止時間帯（約7時間）以内に完了させることとした。このため連結横桁のコンクリートは打設後材令4.5時間でプレストレス導入時圧縮強度  $\sigma_c = 200 \text{ kg/cm}^2$  を確保することが必要となる。さらに現場の作業条件からポンプ圧送（地上7m）となるため、打設作業時間が最低45分程度必要となり、混練り後のコンシステンシーの低下が極力少ないこと、硬化後は普通コンクリートと同等の品質を有すること、などの条件が要求された。これらをもとに連結横桁用のコンクリートを種々の材料について比較検討した結果、緊急工

事等に使用されている超速硬コンクリートを使用することに決定した。

本施工に先立ち、この超速硬コンクリートの本工事への適合性を確認するため、現場内において実大モデルでの試験施工を実施した（写真-5、写真-6 参照）。この試験で確認する項目としては次に示すとおりとした。

- 1) 初期圧縮強度の発現性
- 2) 長期圧縮強度の推移
- 3) 打設作業に対する可使時間
- 4) ポンプ圧送への適応性
- 5) 型枠内への充填性、締固め方法

試験施工の配合は、与えられた初期圧縮強度と可使時間を目標に、事前にメーカーの試験所において試験練りを行い、表-2 に示す3種類を選定した。配合決定の手順は、初期

表-3 超速硬コンクリート試験結果

配合 No.	1	2	3	
試験項目				
コンクリート温	25.5°C	25.0°C	25.0°C	
スラブ値	12.0 cm	20.0 cm	20.0 cm	
可使時間	35 分	50 分	45 分	
モデル型枠内コンクリートの温度変化	Max 55.5°C $\Delta T$ 30.0°C Max 時間 170分	Max 55.0°C $\Delta T$ 30.0°C Max 時間 210分	Max 55.0°C $\Delta T$ 29.0°C Max 時間 200分	
圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	3 時間	220	165	195
	4.5 時間	252	202	220
	6 時間	265	217	226
	7 日	464	413	462
	28 日	551	500	548

注) 養生方法は現場空中養生とした。

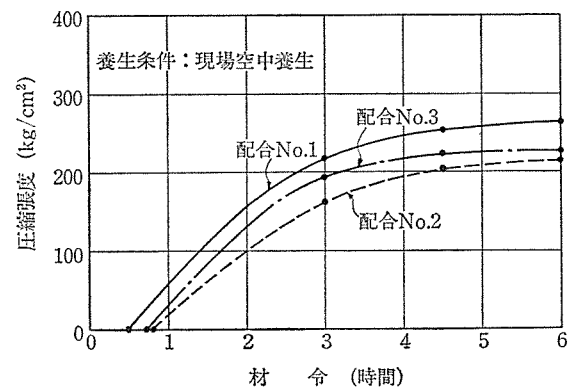
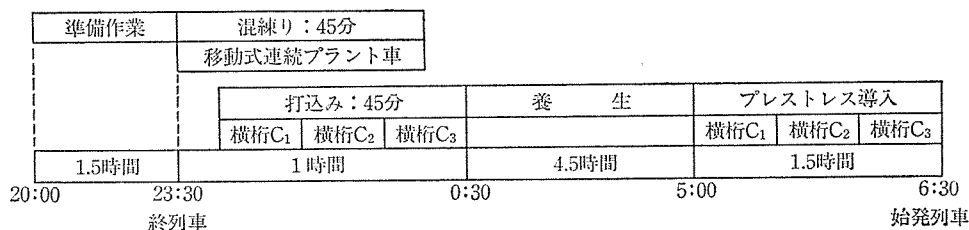


図-18 試験施工の初期圧縮強度



図一19 連結横桁の時間工程

表一4 超速硬セメントの化学成分等

化 学 成 分 (%)											ブレン値 (cm <sup>2</sup> /g)	真比重
強熱減量	不溶残分	二酸化ケイ素	酸化アルミニウム	酸化鉄	酸化カルシウム	酸化マグネシウム	三酸化硫黄	酸化チタン	アルカリ分総量	塩素	4 530	3.04
Ig. loss	In sol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O	Cl		
1.6	0.6	15.4	9.6	2.2	58.3	1.0	9.6	0.3	0.7	0		

強度と水セメント比、およびスランプと単位水量の関係図から示方配合を決定し、現地骨材を使用した試験練りによりコンシステンシーおよび圧縮強度の確認を行い、メーカーの技術資料データにより配合をさらに補正し再度試験練りを行って決定した。試験施工の使用機器は本施工と同じものとし、本施工の圧送条件を水平換算して実大モデルを試験打設した。試験施工の試験結果を表一3に、圧縮強度曲線を図一18に示す。この結果から試験配合 No. 1 の場合でも初期圧縮強度の発現性は十分でありコンシステンシーの低下も少なく、ポンプ圧送性、型枠充填性も良好であることが確認された。

(3) 連結横桁の本施工

本施工は上り線の間中横桁、下り線の間中横桁、および支点横桁の3回に分けて行った。連結横桁の時間工程を図一19に示す。また、使用した超速硬セメントの化学成分等を表一4に示す。このセメントは、ポルトランドセメントをベースとして超速硬性を与えるため急硬性混和剤を配合したもので、技術資料により物理的性質等を確認して使用した。このセメントの特長としては、ブリージングが少なく硬化時の収縮ひびわれの発生が小さい、普通セメントと同系色で既設コンクリートとの違和感がない、などがあげられる。本施工の配合は、試験施工の配合 No. 1 を使用した。施工機器としては下記のものを使用した。

- 混練り：移動式コンクリート連続製造プラント車
  - 圧送：スクィーズ式コンクリートポンプ車
  - 締固め：高周波用型枠振動機
  - 試験機：手動式圧縮強度試験機
- プレストレス導入時圧縮強度も目標値を上回り、新旧

連結用横締め PC 鋼棒の緊張作業も計画どおり予定時間内に終了して連結横桁の施工を完了した。連結横桁に引き続き、列車停止時間帯に新旧床版目地部の施工を無収縮モルタルを使用して行い、さらに既設張出し床版の補強のための RC 補強床版の施工を行い、橋体工を完了した。連結完了後の橋体の状況は、打継ぎ部をはじめ各部について目視により調査を行ったが、有害と思われるひびわれ等の発生も認められず特に問題はなかった。本工事の経験は今後の同種工事での超速硬コンクリート使用の適合性を示したものと考えている。

6. あとがき

本工事は営業運転中の新幹線 PC 橋梁への拡幅工事であり、また市道上の作業であったため施工には多くの問題点があったが、関係各機関のご指導、ご協力のもと無事竣工を迎えることができた。

また、各種の調査、測定結果により拡幅工事に関する有意義な資料を得ることができた。

本報告が今後同形式の拡幅工事の設計、施工の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 「PC 橋拡幅工事の設計と施工」プレストレストコンクリート, Vol. 24, No. 6, Nov. 1982
- 2) 「デンカスーパーセメント技術資料」電気化学工業(株)
- 3) 「連続ミキサによる現場練りコンクリート施工指針」(案) 木土学会
- 4) 「コンクリート構造物に対する非破壊検査技術の適用とその精度」日本技術検査協会

【昭和 62 年 12 月 23 日受付】