

瀬田川橋梁の設計と施工

野 口 功*
尾 坂 芳 夫**
石 黒 吉 男***

1. ま え が き

東海道本線草津～京都間は、東海道とならんで草津線の列車が運転され、その列車回数は現在 212 回/日に達しており、特に通勤時間帯のうち、7時 30 分から8時 30 分の列車回数は 14 回（平均時隔 4.5 分）に達している。今後の東海道新幹線の列車増発による東海道本線の優等列車の減少を考慮しても、なお中距離快速電車の増発により、線路容量の 180 回/日を大幅に越えることが予想される。したがって、今後の列車増発に対応するために、この区間を 2 線増設して複々線化し、東海道本線の使命である幹線輸送はもちろんのこと、京阪地区のベットタウンの 1 つである湖東地区の通勤輸送力を増強する必要がある。以上のような目的を持って、東海道本線草津～京都間の線増工事は、第 3 次長期計画の一環として昭和 40 年より工事に着手された。

本線増工事にともなって新設される瀬田川橋梁は、取付部分の用地買収その他の関係で、旧線の線路敷を利用することにした。現在の営業線の瀬田川橋梁は、昭和 25 年に防災上の理由から建設されたもので、線路変更される前の橋梁は現在の橋梁よりも上流側（琵琶湖側）にあり、現在は廃線となっている。なお、現在の瀬田川橋梁は支間 22.3 m の上路鉸桁 11 連よりなっており、中央の 2 径間は船の航行のために桁高が低くなっている（図-1）。

2. 基本計画

(1) 支間割

建設省近畿地方建設局と支間割について協議の結果、橋脚中心間隔 45 m 以上にする事となった。現在線の上路鉸桁は、支間 22.3 m、橋脚中心間隔 23.0 m であるので、船の航行を考慮して、現橋脚を 1 本ずつ飛んで、

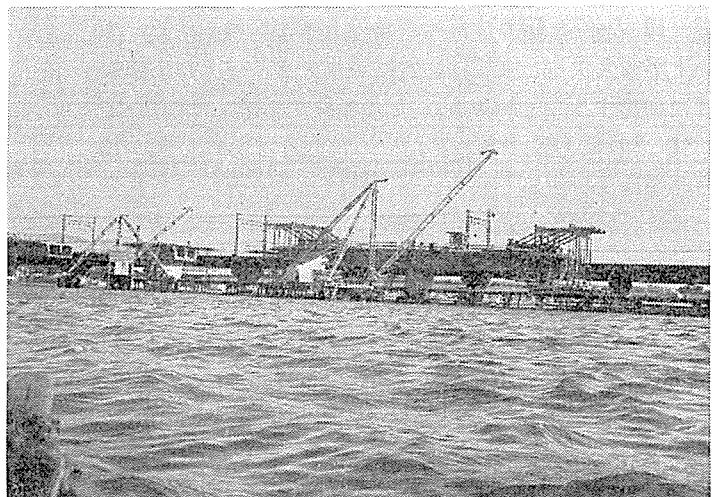
46.0 m の橋脚中心間隔にし、橋台の位置は堤防護岸まで広げることにしてつぎのような支間割に決定した。

$$45.65 + 46 + 46 + 46 + 48.8 \text{ m}$$

(2) 桁高の制限

橋梁架設地点は、琵琶湖観光船の航路になっているため、橋脚 3 P の両側の桁下空頭は、平均水位より 4.3 m 以上必要である。起点方の取付部は腹付盛土区間である

写真-1 橋脚の左右に張り出し架設中



が、終点方の取付部は石山駅構内に入るため、現在線と新設増設線の施工基面高が、大体等しくなければならない。また、橋梁の全長に渡りレベル区間とすることは取付部の工事数量が大きくなるので、橋梁区間に縦断勾配（起点方より 4.5 % の勾配で上がり、橋脚 3 P より 10 % の勾配で下がる）を入れて取付部の施工基面高を下げ、全体の工事数量を少なくして工事費の低減を図り、桁高を約 2.50 m とした。

(3) 地 質

地層構成は、地表面下約 2 m の深度まで有機質をふくんだ粘土質の沈泥であるが、深度 2 m 以下は洪積層の粘土と砂ならびに砂利の互層より成っている。図-2 に示す土質柱状図にみられるように、深度約 15 m 付近に N 値 40 以上の砂層があるのでこれを支持層とした。中間の粘土層は、南部粘土層と呼ばれ洪積層に属して、そ

* 鉄道建設公団
** 国鉄構造物設計事務所
*** 国鉄東京工事局

写真-2 側径間のコンクリートを支保上で打設

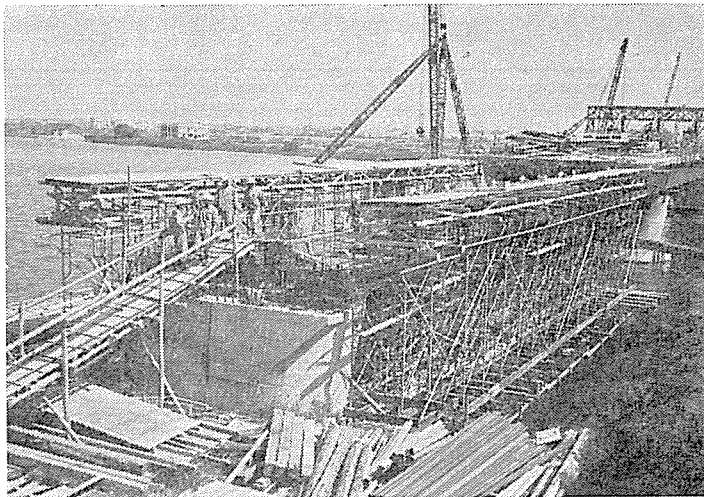
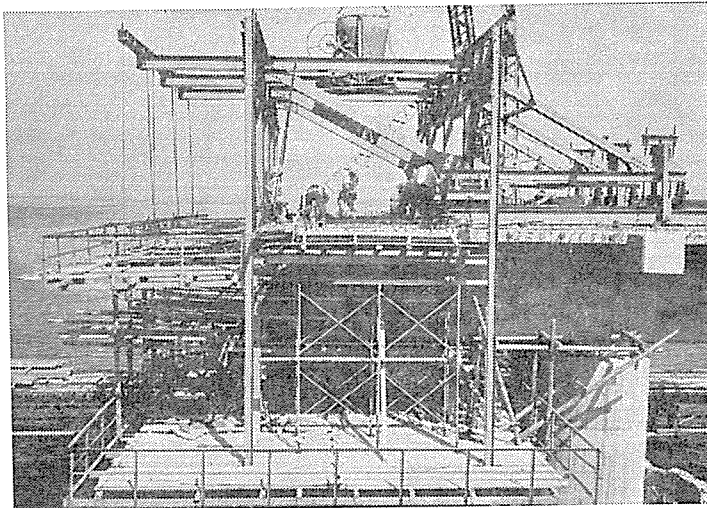


写真-3 フォルパウワーゲンの側面



- 4) 支 間 : 45.65+3×46.0+48.8 m
- 5) 軌道構造 : 50 kN レール, 有道床
- 6) 縦断勾配 : 4.5%, 10%
- 7) 架線電柱 : 電柱を桁に取付ける。

(2) 下部構造

下部構造の橋脚4基と橋台2基は、直径7mの円に外接する八角形断面の潜函により設計施工された。潜函の長さは15m, 18m, 20mの3種類ある。地震時安定計算は8角形断面を円形断面に置換えて行ない、構造計算

表-1 地震時安定計算表

	橋 台	橋 脚 P2・3
鉛 直 荷 重	1 086.3 t	1 536.5 t
水 平 荷 重	659.6 t	492.8 t
作用モーメント	2 433.5 t・m	4 460.9 t・m
最大水平反力度	23.6 t/m ²	20.2 t/m ²
水平抵抗土圧	25.6 t/m ²	22.4 t/m ²
最大底面反力度	171.5 t/m ²	214.2 t/m ²
地震時許容支持力度	291 t/m ²	291 t/m ²

(断面計算)でこれを補正している。地震時安定計算は表-1に示してあるとおりで、これらの数値はテルツァギ修正式とメイヤーホフ公式とで求めた許容支持力以下の数値である(表-1)。

(3) 5 径間連続桁

ディビダーク工法にてPC桁を架設する場合に桁の構造として、中央ヒンジの連続ラーメン、連続ラーメン、連続桁の3種類が考えられる。連続桁は施工時に静定構造であるが、完成と同時に4次の不静定構造になるため、系の相異による曲げモーメントの差により、PC鋼材の使用量が若干増加するが、クリープと活荷重によるたわみが少なく、またクリープ量が予想と異なったときでも桁に折れ角が生じないため、本橋梁も鷺の巣川橋梁と那珂川橋梁と同じように完全連続桁とすることにした。

5径間連続桁であるので完成時は4次の不静定構造であるが、片持ばり架設時は静定構造である。施工途中の系と施工完了後の系の相異により、施工途中に作用している荷重(自重とプレストレス P_0)は、施工完了後にコンクリートのクリープにより時間とともに徐々に変化する。その変化量は次式により表わされる。

$$X_\phi = (X_L - X_B) \times (1 - e^{-\phi})$$

X_L : 支保工上で一度に単体的に連続桁を作った場合に作用している力

X_B : 張出し架設中に作用している力

ϕ : クリープ係数、本設計において $\phi = 1.35$ と仮定した。

(4) シ ュ ー

本橋梁の全死荷重は6827t、地震時水平力は1710tであるため、1ヵ所の固定橋脚や橋台でこの大きな水平力を取らせることが難しいので、全水平力を4基の橋脚と2基の橋台に分散させることにし、シューはすべて可動シューを使用することにした。桁中央の2Pと3Pの橋脚には鋳鋼のすべりシューを使用し、桁端の1Aと2Aおよび1Pと4Pの橋脚にはベアリングプレートの付いたシューを使用している。2種類の可動シューを使い分けた理由は、コンクリートのクリープと乾燥収縮が桁中央を中心にして収縮することを期待して、橋脚2Pと3Pには摩擦係数の大きい鋳鋼シューを使用し、完成後の常時の温度変化による桁の伸縮が桁端において、約2cmあることなどを考慮して1A, 1P, 4P, 2Aにはベアリングプレートの付いたシューを使用している。

鋳鋼シューの摩擦係数: 0.2

ベアリングプレートのシューの摩擦係数: 0.05

図-5 桁架設図

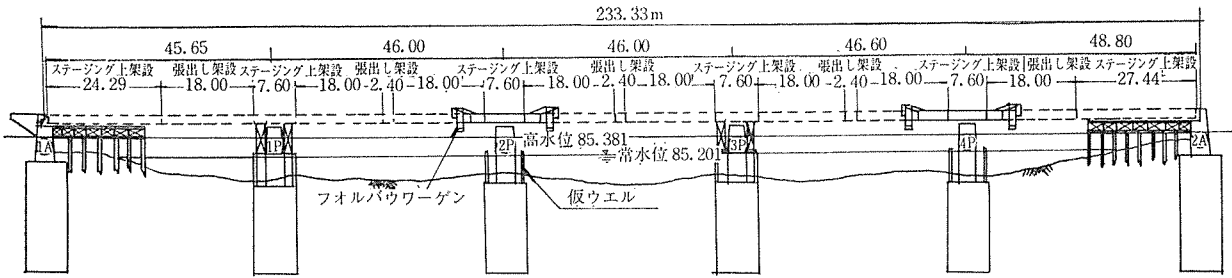


図-6

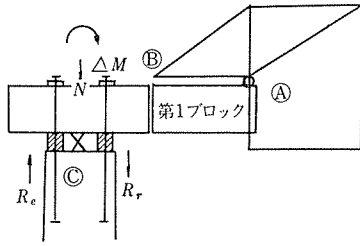
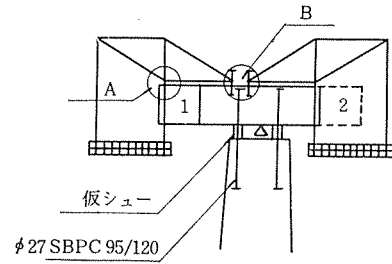


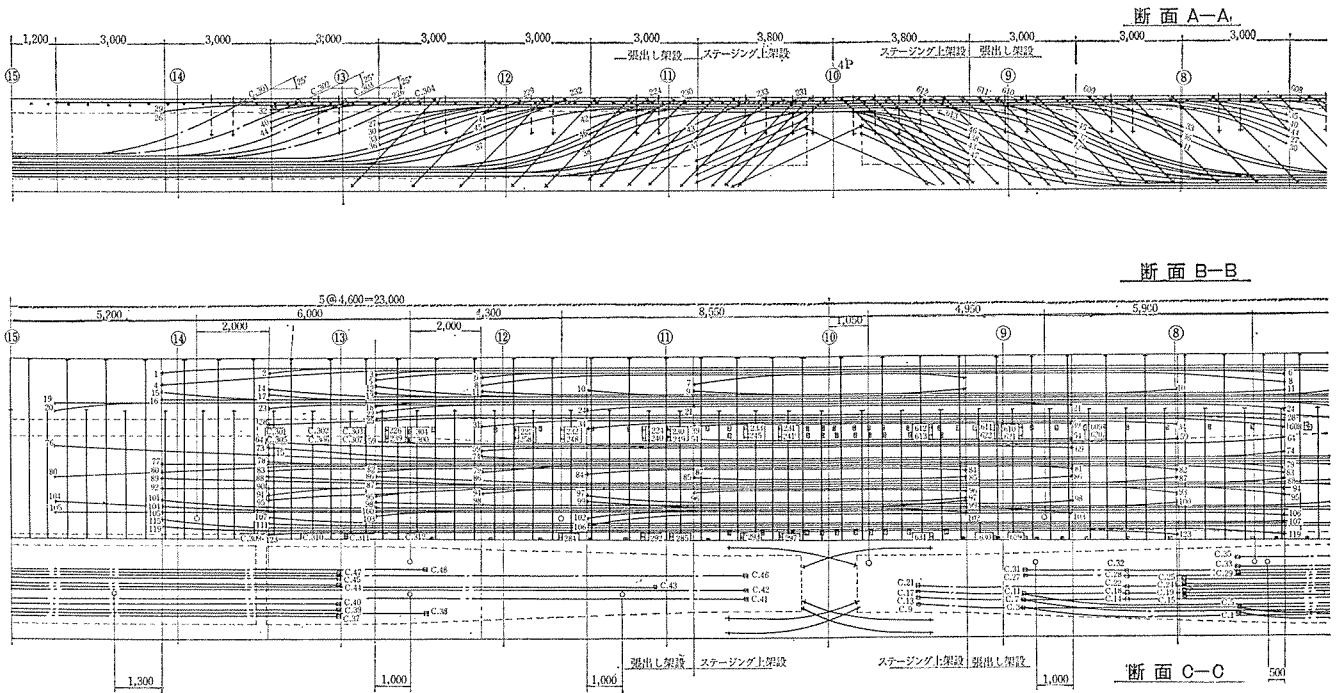
図-7



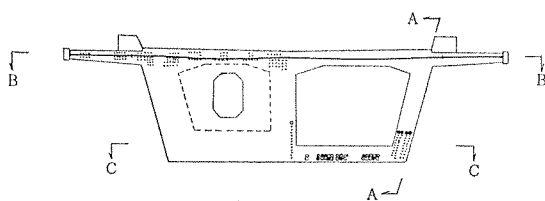
φ27 mm の 2 種鋼棒 (対称ねじにより接続) を、横締めおよび斜締め鋼棒には φ27 mm の 3 種鋼棒 (非対称ねじ) を使用している (表-2, 3)。

4. 施 工

図-8 P C 鋼 棒



断面図



(1) ディビダーク工法

本橋梁は、中間 4 基の橋脚上に仮ウエルを基礎とする支保工上で 7.6 m の長さのコンクリートを打設したのち、その両側にフォルバウアーゲンと称される鋼製の移動式作業足場を用いて 1 ブロック 3 m ずつ、おのおの 18 m を張り出し架設を行ない、両側径間は約半分ずつ起点方 24 m、終点方 27 m を支保工上にて架設した(図-5)。

表-2 PC鋼棒の品質

種 類	記 号	引張強度 (kg/mm ²)	降伏点応力度 (kg/mm ²)	伸 び (%)
PC鋼材2種 (ディビダーク2種)	SBPC 80/105	105 以上	80 以上	7.0 以上
PC鋼材3種 (ディビダーク3種)	SBPC 95/120	120 以上	95 以上	6.0 以上

表-3 PC鋼棒の寸法

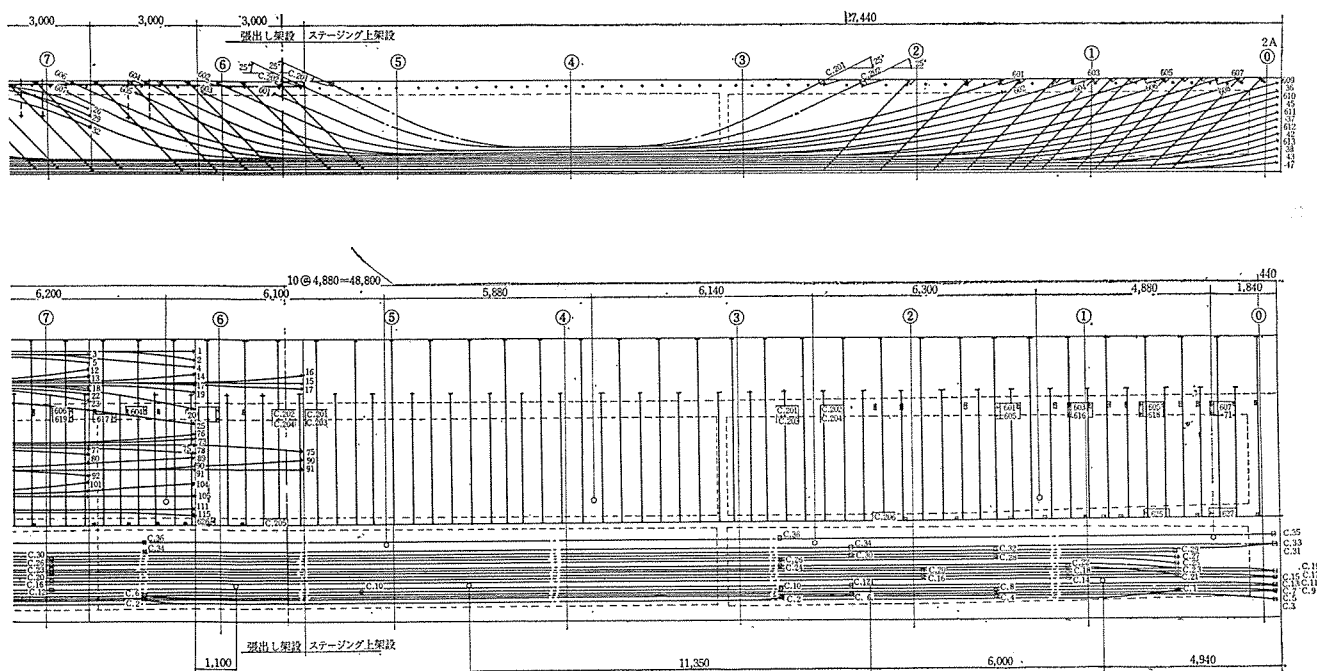
種 類	Pの C呼び 鋼径 (mm)	平行部		ね じ 部				応力 断面 計算積 (cm ²)	伸 び断 の面 積 (cm ²)
		棒 径 (mm)	公 差 (mm)	ピ ッチ (mm)	有効径 (mm)	等 級	種 類		
2種	27	26.2	±0.5	2.0	25.701	3級以上	対 称	5.19	5.39
	33	32.2	±0.5	3.0	31.701	3級同等以上	非対称	7.89	8.14
3種	27	26.2	±0.5	2.0	25.701	3級同等以上	非対称	5.19	5.39

フォルバウワージェンには、ワージェン本体、作業足場、型わくおよび打込んだコンクリートにより、1フレームにつき図-7のA点には64.8t、B点には-28.9tの

おのおの37tで緊結した。

コンクリート打ちが終了したら、大体48時間後コンクリートの圧縮強度が240kg/cm²以上になったときに

配 置 図



荷重が作用する。これに対してA点には100tジャッキをそう入して下向き力を受け、B点には2種のPC鋼棒2本を入れて上向き力を受けるようになっている。しかし、実際にはB点が上方に動くのを防止するためにあらかじめPC鋼棒には、おのおの16tずつの力を加えて既設の桁と緊結した。

張り出し架設は、左右1ブロックずつ交互に行なうた

側面の型わくをはずし、コンクリートにプレストレスを与える。型わくはすべてワージェンによって与えられているので、移動にさいしてはワージェンとともにつぎのブロックまで簡単に前進させられる。ワージェンの移動にあたっては、C点のジャッキ、B点のPC鋼棒をゆるめ、ワージェン本体をレールの上におろし、レール上をつぎのブロックまで移動させ、同様の作業をくり返して順次張り

報 告

出し架設を行なった。張り出し架設は1ブロック 7~8日のサイクルにて行ない、1ブロックの工程は、表-4のようであった。その他にPC鋼棒の曲げ加工、シースカブせ、アンカープレート取り付け作業は別に常時行っていた。

(2) コンクリート

コンクリートはレディミクストコンクリートを使用した。橋脚上の柱頭部および側径間のステージング上にて打設するコンクリートには、普通ポルトランドセメントを、ワーゲンによる張り出し架設を行なった部分には早強ポルトランドセメントを使用した。細・粗骨材とも野洲川産のもので、混和剤としては遅延効果のあるセメント分散剤を使用している。コンクリートの設計強度は、 $\sigma_{28}=400 \text{ kg/cm}^2$ であるので、変動係数 10%として目標強度 $\sigma_{28}=440 \text{ kg/cm}^2$ とした。示方配合と現場試験練りの結果は 表-5 のとおりである。

(3) グラウト

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、混和

表-4

作業内容	1	2	3	4	5	6	7日
ワーゲン移動	—						
PC鋼棒配置	—	—	—				
鉄筋組立	—	—	—				
型わく立込み	—		—	—			
コンクリート打設					—		
養生						—	—
プレストレスング							—

剤としてはポゾリス No. 8 とアルミニウム粉末を用いている。標準配合を 表-6 に、現場試験練りの結果は 表-7 に示すとおりである。グラウトのコンシステンシーは気温やセメントなどにより異なるので、水セメント比は所要のコンシステンシーが得られる範囲内で、できるだけ小さくするように、そのつど試験によって決定して行なった。グラウトの品質管理は1ブロックごとに流出場から試料を採取し、流下時間、膨張率および強度試験を行なった。

(4) プレストレッシング

プレストレスング作業前には、ダイナモーターを用いてジャッキおよびポンプのキャリブレーションを行ない、別に作成した緊張値表の指示するところにしたがってプレストレスを導入した。PC鋼棒の引き留めの誤差はディビダーク工法設計施工指針に定められた許容範囲に入るようにし、各断面ごとに管理図を作成した。なお、設計においてはプレストレスの量が -5% であっても許容応力内にあるようにしてあったが、実際には -3% を越えるものはなかった。

(5) たわみ

桁の各点はコンクリートのクリープと乾燥収縮が終了したのち、所定の高さになるように桁を製作しなければならない。したがって、コンクリートを打設する前に、型わくをあらかじめ算出した値だけ上げ越しておく必要がある。本橋梁において生ずる桁の中央点のたわみは大體つぎのとおりである。

張り出し架設中の自重によるたわみ +25 mm

表-5

セメントの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (W/C)	絶対細骨材率 (%)	混和材プラスチメント (c×%)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
								3日	7日	28日
早強セメント	25	5	4.5	384	39	40	0.2~0.3	295	391	455
普通セメント	"	"	"	"	37	40	"	202	323	441

表-6

流下時間 (秒)	膨張率の範囲 (%)	水セメント比 (%)	ポゾリス No. 8 (c×%)	アルミ粉 (c×%)	圧縮強度 (kg/cm ²) (型わく方法)	
					7日	28日
6~20	0~5	40	0.25	0.007	150以上	200以上

表-7

水セメント比 (%)	流下時間 (秒)	膨張率 (%)	ブリーディング率 (%)		圧縮強度 (kg/cm ²)		グラウト温度 (°C)
			3時間後	20時間後	7日	28日	
40	8	0.9	0.7	0	277	—	24

張り出し架設中のプレストレスによるたわみ -37 mm

施工時と完成時の系の相異によるたわみ (自重のみ) +15 mm

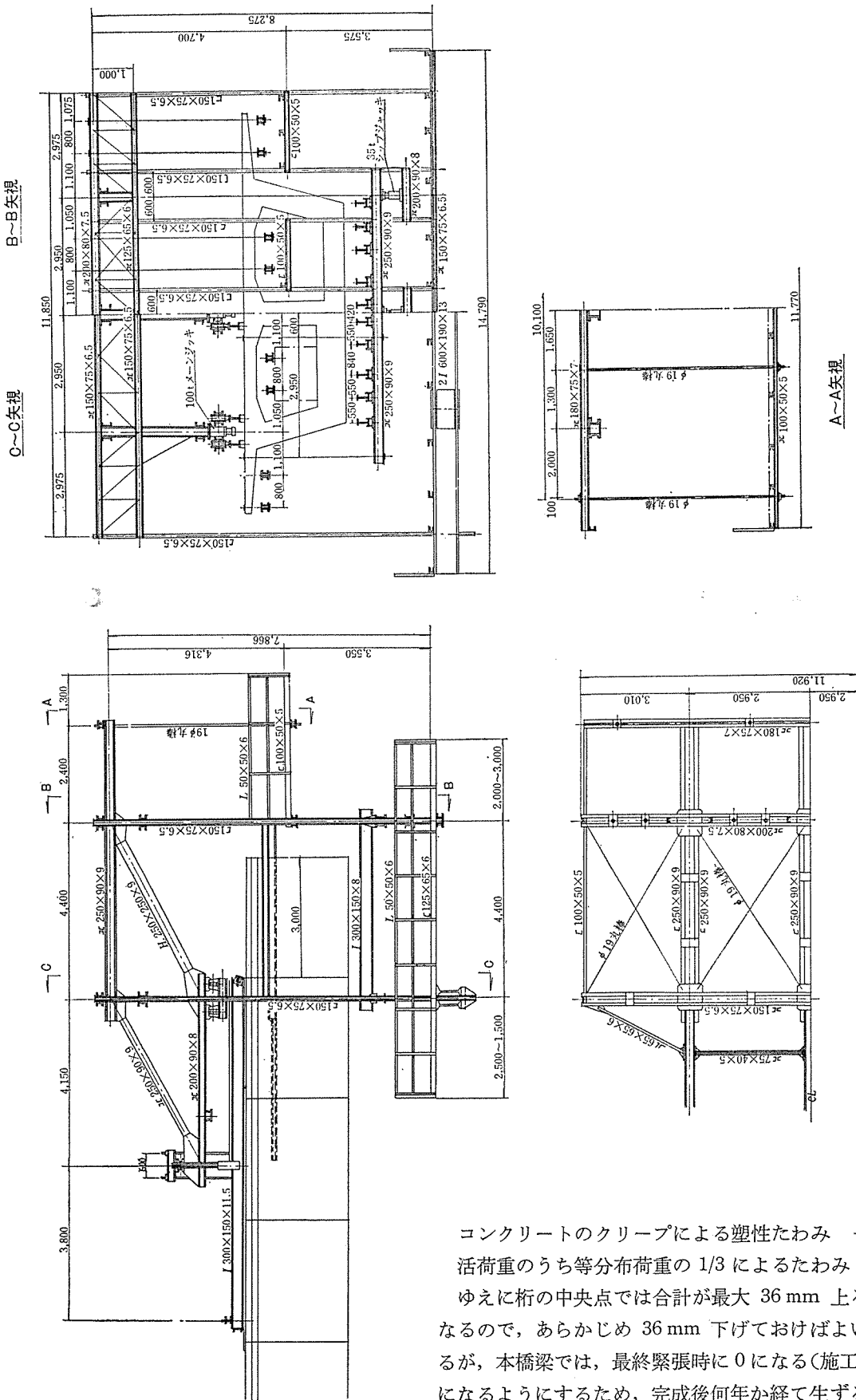
施工時と完成時の系の相異によるたわみ (プレストレスのみ) -23 mm

コンクリートのクリープと乾燥収縮によるプレストレスの減少によるたわみ +8 mm

連結後導入するプレストレスによるたわみ -12 mm

静荷重によるたわみ +5 mm

図-9



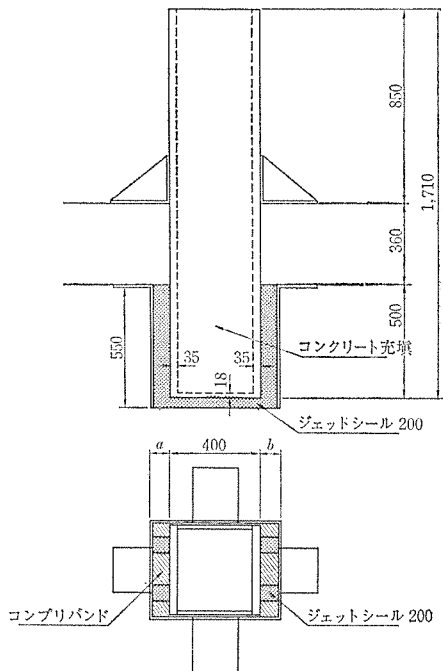
コンクリートのクリープによる塑性たわみ -20 mm
 活荷重のうち等分布荷重の 1/3 によるたわみ +3 mm
 ゆえに桁の中央点では合計が最大 36 mm 上ること
 になるので、あらかじめ 36 mm 下げておけばよいので
 あるが、本橋梁では、最終緊張時に 0 になる(施工計画高)
 になるようにするため、完成後何年か経て生ずるたわみ
 は別として、-24 mm のたわみに対して橋面を 24 mm

下げて施工した。なお張り出し架設中のワーゲンの使用と撤去による弾性変形には別に考慮した（図-8, 9）。

5. ストッパーのてん充材の試験

ストッパーの突起と橋脚に埋めこんだ箱との間げきは緩衝と防水のために 図-10 のようにジェットシール

図-10 ストッパー詳細図



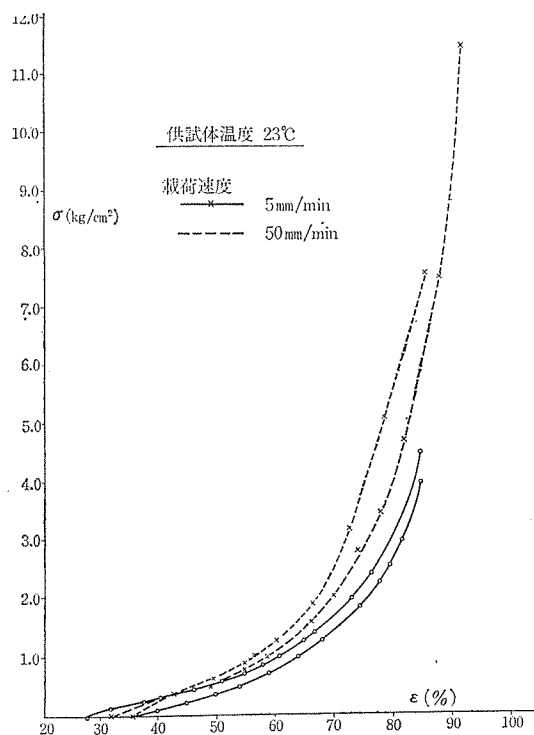
200 とコンプリバンドをてん充した。てん充材としては、使用に先立ち ジェット シールコールド 170, チオコークHと材料の比較試験を行なったが、ジェット シール 200 は他の材料に比して伸び率, 施工性, 復元性ともによかったのをこれを使用することにした。

ジェットシール 200 の伸び率は 700 %以上あったが、100 %伸びを 10 回くり返した後は 550 %で破断した。本橋のストッパーでは、上記間げきの温度変化、クリープなどによる開きが、最初セットしたときの間げきの 3 倍以下になるように定めた。

圧縮に対してはてん充材の幅を大きくするほど同じひずみに対しててん充材粒子の横方向移動量が大きくなり、したがって鋳との接着面のはく離、材料の破断を生じやすいので、図-10 にみるように幅を 7 cm 以下におさえた。鋳との接着面のはく離に対する強度を高めるために、ストッパーの突起、箱の接触面にはエポキシ樹脂系のチオコーク用プライマーを塗布した。

面積 10 cm×10 cm, 厚さ 5 cm のジェットシール 200 を鋼鋳ではさんで圧縮試験を行なった結果を 図-11 に示す。応力-ひずみ曲線は、図にみるように載荷速度によっても異なるし、その他に温度、材料の形状、拘束条

図-11 ジェットシール 200 の圧縮試験



件によっても影響される。温度が低いほど抵抗は大きくなるが、本材料に関しては 5°C で 30°C に比して同じひずみに対する応力が 20~30 %高い程度であった。これに比して拘束条件の影響は大きいことが想像される。

ストッパーの間げきは、てん充材の圧縮ひずみ 70 %がを越えないように定めた。こうして決定したセット時のストッパーの間げき量は最小 4 cm, 最高 11 cm であった。

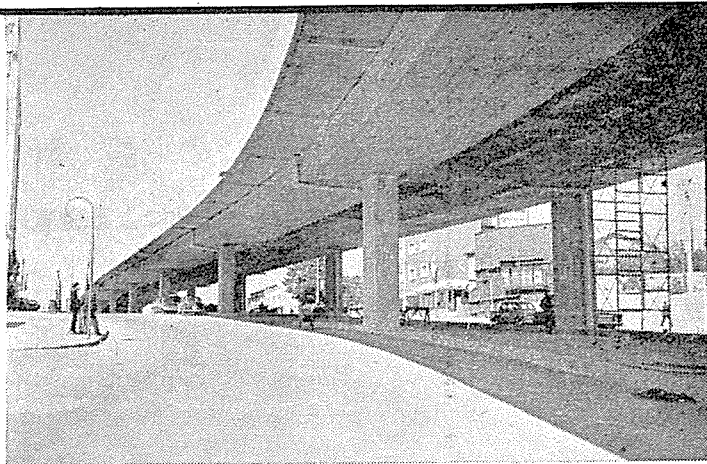
6. あとがき

支間 45 m クラスの鉄道橋に作用するモーメントは道路橋の支間 60 m クラスのモーメントに大体ひとしい。支間 60 m クラスの張り出し架設については道路橋で多くの施工実績があるが、鉄道橋にはない。ディビダーク工法の経済性から考えると、張り出し架設の距離が長くなればなるだけ有利になってくるので鉄道橋も支間 60 m クラスの PC 桁について検討すべきであると思われる。本橋梁においては桁高が制限されているので、斜引張応力を取らせるために斜締め PC 鋼棒を使用した。この斜締め鋼棒にはシースをういずに、アスファルト系の乳剤を塗布した。現場試験の結果は長さ 3.5 m につき 1~4 t の摩擦損失があった。摩擦損失がばらついたのは鋼棒組立中に物を落してはく落ちた部分もあったので、乳材の材料についても以後検討してゆきたい。

最後に、本報告の作成にあたって、小寺重郎、内藤豊章両氏の協力を謝意を表します。 1967.5.31・受付



首都高速道路
2号線高架橋
(3径間連続PC函
ラーメン橋)



ピーエスコンクリート設計施工並に製作 日本ピー・エス・コンクリート株式会社

顧問 加賀山之雄 顧問 稲浦鹿蔵 取締役社長 有馬義夫

本社	福井県敦賀市泉125号2番地	電話敦賀 1400(代)
東京営業所	東京都千代田区大手町1丁目4番地(大手町ビル3階362号室)	電話東京 201-8651(代)
大阪営業所	大阪市北区堂島上2丁目39番地(毎日産業ビル別館5階)	電話大阪 361-7797
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町2丁目54番地(交通ビル5階52号室)	電話名古屋 54-6536
福岡営業所	福岡市天神町3番地の1(福岡三和ビル6階)	電話福岡 74-9426
北陸営業所	福井県敦賀市泉125号2番地	電話 敦賀 1400

東京製網製品



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
BBR工法鋼線
多層鋼より線 (19,37本より)

製造元 東京製網株式会社
発売元 東網商事株式会社

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電話 (211) 2851 (大代表)