

図-2 塩津橋梁全体図

底版厚さは、端支点および中央径間中央で 25 cm とし、中間支点については、山科方中間支点は 60 cm、その他の中間支点は 40 cm とし、途中の変化はすべて 2 次曲線を用いた。

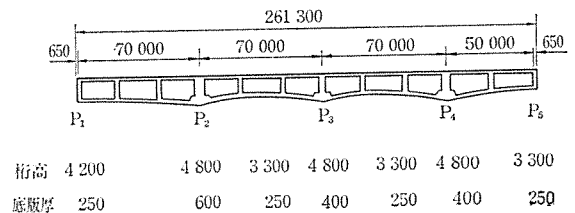


図-3 桁高および底版厚

2. 設計について

(1) スパン割

スパン割は、河川および国道管理者と協議の上、河川横断部分については、橋脚を堤内に配置すること、また、国道横断部分については、交通に支障のないよう配慮した。これらの条件より、スパンは、山科方より 70 + 70 + 70 + 50 m と決定した。

一般に側径間部は、力学的にも、美観上からも中央径間の 70% 程度が望ましい。したがって、本橋梁の山科方側径間は、50 m 程度が理想的であるが、上記の立地条件より、いくぶん長めのスパンとなった。

(2) 桁高および底版厚

中間支点の必要桁高は、3 か所とも多少異なるが、主として美観上の理由により平均的な値として 4.8 m に統一した。これによる断面の過不足は、底版厚さで調整することにした。端支点および、中央径間中央は、それぞれ必要に応じて、山科方端支点は 4.2 m、敦賀方端支点と中央径間中央は 3.3 m とし、桁高の変化はすべて 2 次曲線を用いた。

(3) ブロック割

ワーゲンの性能より、1 ブロックのコンクリート重量を、95 t 以下となるよう、1~4 ブロックは 2.7 m、5 ブロックより 20 ブロックは 3.0 m とした。また柱頭部の支保工部分は、ワーゲンの据付けが可能な長さより 8.0 m とし、中央連結部は 3.2 m とした。

(4) 断面力および鋼棒配置

一般に、張出し架設を行う場合、施行中の力学系と、完成系の力学系が異なる。完成後、コンクリートのクリープにより、施工順序にしたがって計算された断面力は、完成系で計算された値に近づいて行く。その最終変化量は、次式であらわされる。

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

X_{ϕ} : 断面力の最終変化量

X_L : 完成系での断面力

X_B : 施工順序にしたがって計算した断面力

ϕ : クリープ係数

以上のことを考慮し、本設計では、活荷重の載荷時期をクリープが 1/2 進行したときと考え、その時点の応力度と、クリープがすべて終了した場合の応力度と 2 つの

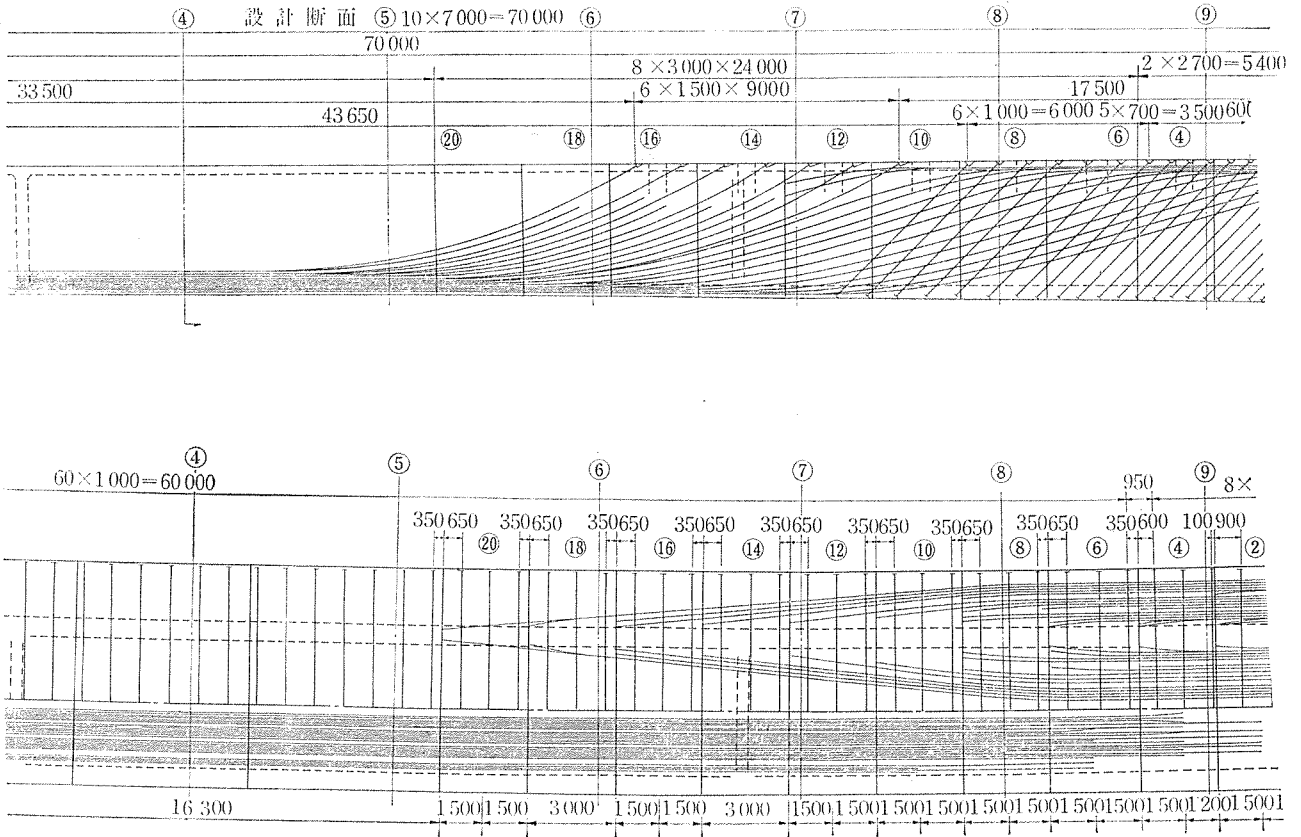


図-4 塩津橋梁

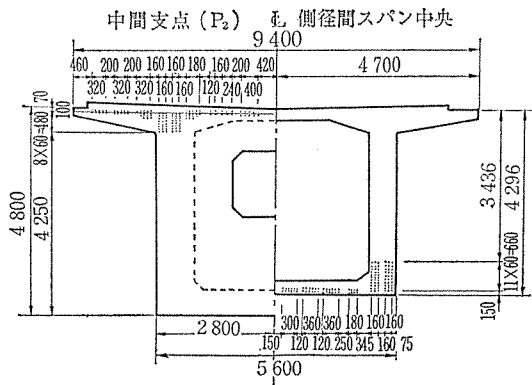


図-5 鋼棒配置

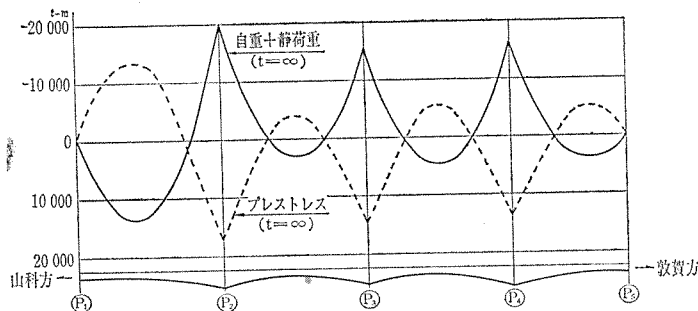


図-6 曲げモーメント図

ケースについて検討した。

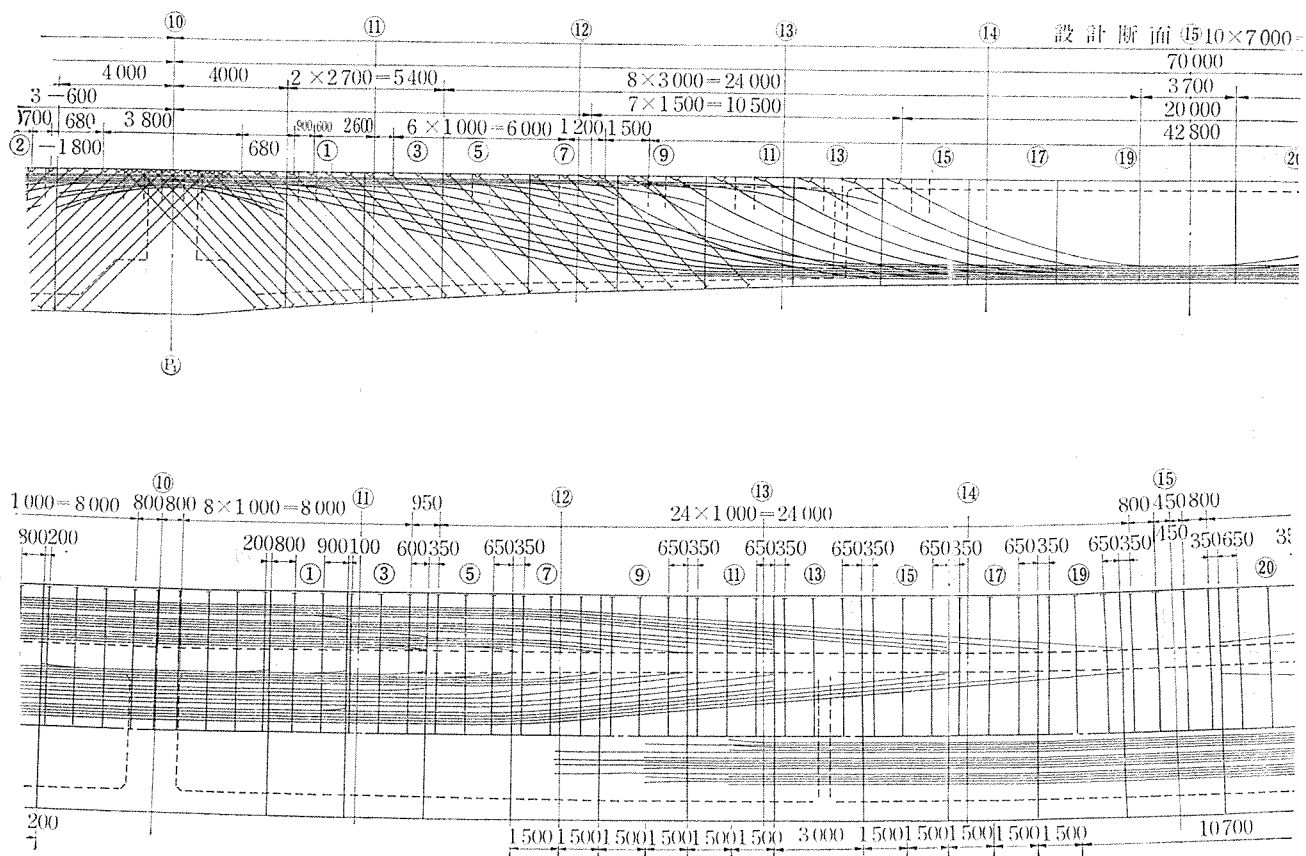
山科方側径間は、立地条件より、通常より長いスパンとなっているため、支間中央に、非常に多くの鋼棒が必要となり、その配置については、種々比較検討の結果 図-4 および 図-5 のとおり決定した。なお曲げモーメントは 図-6 に示すとおりである。

(5) 横方向の設計

桁は箱形断面であり、横方向の検討は、箱桁をボックスラーメンとして解析し、隅角部のハンチの影響を考慮して、剛域を定め、たわみ角法により断面力を算定した。なお、上床版はプレストレスト コンクリート、主桁と底版は鉄筋コンクリートである。

(6) その他

本橋は $R=800$ m の曲線桁である。このため、ねじりモーメントについて検討する必要がある。しかし曲げねじりについては、曲率が大きく箱桁の剛性も大きいのでその影響は微少だと思われる、したがって、単純ねじりによるせん断応力度を検討した。ただし主方向断面力算定用の支間長は曲線長を用いた。計算の結果、最大ねじりせん断応力度は 2 kg/cm^2 であり、ねじりを考慮した許容せん断応力度の範囲内にあるため、特に補強



鋼 棒 配 置 図

の必要はなかった。

下部工の沈下による影響は、基礎の支持状況より、中間支点が単独に 1 cm 沈下した場合について検討した。沈下による最大応力度は、 -11 kg/cm^2 となり、他の荷重との合成応力度は -5 kg/cm^2 となったが、必要な引張鉄筋は、すでに配置されている配力筋でカバーできるため特に補強はしなかった。

本橋梁は連続桁であり、橋脚上の支承はすべて可動シユであるから、張出架設を行うには、橋脚と柱頭部を仮固定し、仮のラーメン構造としなければならない。とくに、山科方側径間は、中央径間に対して桁断面が大きいので、 2400 t-m のアンバランスモーメントが作用するので、 $\phi 27 \text{ mm}$ ディビダーク 3 種鋼棒 12 本を用いて主桁と橋脚を連結し抵抗させた。

3. 施工概要

(1) 張出し架設の順序

柱頭部は、ブラケットを用いた支保工上で施工し、図-7 (a) に示すように P_2 、 P_4 橋脚より 4 台のワーゲンで、左右交互に 1 ブロック (3 m) ずつ張り出し施工を行った。 P_2 、 P_4 の張出し架設終了後、図-7 (b) に示すように、 P_3 の張出し架設と、側径間支保工部を同時

に施工した。側径間の支保工は、ペコサポートを使用した。

P_3 張出し架設と側径間支保工部が終了後、中央連結部は吊支保工により 2 か所同時に施工し連続桁を完成した。

(2) 1 ブロックの主要作業

表-1 は、1 ブロック施工の主要作業とサイクルタイムを示しているが、以下にその概要を記す。

a) 鋼棒配置 柱頭部および側径間支保工部分については、鋼棒を定められた正しい位置にセットするため、2.5 m 間隔に鋼棒スペーサーを作成した。

また、張出し架設部分については、施工断面ごとに妻

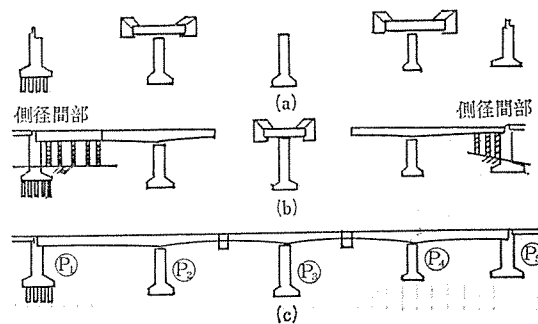


図-7 張出し仮設図

表-1 張出し架設標準サイクル

日時	1	2	3	4	5	6	7
作業	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18
ワーゲン移動据付	□						
型わく、鉄筋、鋼棒	□	□	□	□			
コンクリート打込				□			
養生				—————			
緊張							□
ワーゲン移動準備							□

型わくを加工し、鋼棒位置を確保した。なお、使用鋼棒は、ディビダーク3種（SBPR 95/120 φ27）で、横締め鋼棒の間隔は 1.0 m である。

b) コンクリート打設と養生 コンクリートは早強セメントを使用し、設計基準強度は 400 kg/cm² でその示方配合は表-2 のとおりである。

表-2 コンクリート配合条件

設計基準強度	粗骨材最大寸法	スラブの範囲	最大水セメント比
400 kg/cm ²	25 mm	5±2 cm	37%

コンクリートの打設は、すべてコンクリートポンプ車を使用した。ポンプ車は“TCP 30-35”を使用し、水平距離 50 m、鉛直距離 25 m を圧送した。

本橋架設地点では、冬季の最低気温は -10°C となるので、養生はジェットヒーターを用いて保温養生を行った。夏季の最高気温は 30°C に達するため養生シートと散水による養生を行った。この結果緊張可能な圧縮強度 ($\sigma_c = 260 \text{ kg/cm}^2$) を得るに要する養生期間は、夏季で約 2 日、冬季で 2~3 日程度であった。

c) 緊張作業 あらかじめ、キャリブレーションにより調整されたディビダークジャッキと油圧ポンプにより所定のプレストレスを導入する。導入力は緊張値表にもとづき、鋼棒の伸びとポンプ圧力の両方を用いて管理を行った。

d) 上げ越し 張出し架設をする場合は、各施工段階、作業段階（コンクリート打設、プレストレス導入など）により主桁のたわみ量が増加する。したがって、各施工段階におけるたわみ量を算定し、型わくセット時の高さを決定する必要がある。本橋梁では、施工中のたわみとしては、自重プレストレスおよび施工中荷重（ワーゲン荷重、中央連結部吊支保工荷重）の弾性たわみを、主桁完成後のたわみとしては、鋼棒応力度減少、および静

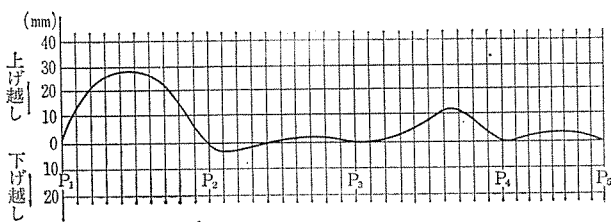


図-8 施工終了時上げ越し量

荷重の弾性たわみ、自重プレストレス、鋼棒応力度減少、および静荷重の塑性たわみを考慮して、上げ越し量を定めた。連続桁完成後からクリープ終了時までのたわみに対する上げ越し量を図-8 に示す。

e) 施工時応力 張出し施工を行う場合施工中の応力度は、その施工段階ごとに変わるので、おのおの施工状態に応じて応力度の検討を行った。本橋梁の場合、P₂ 桁の 6, 7 ブロック付近施工時で部材圧縮部（中間支点下側）で最大 9 kg/cm² 程度の引張応力度が一時的に生ずる。これに対して引張りの生ずる部分に、必要鉄筋量を配置して補強した。

4. 支承構造

支承の構造は全支点とも橋軸方向の水平移動と回転が自由な可動シュー（ベアリングプレートシュー）とストッパー（粘性を利用したダンパー）から成り、静的な桁の挙動、たとえば温度変化・乾燥収縮・クリープなどによる桁の伸縮に対しては抵抗せず、地震時水平力による動的な挙動に対してはストッパーの粘性抵抗により各支点の支承条件は半固定の状態となる。このストッパーの設計を行うにあたっては、構造全体の地震時の動的解析が必要であり、本橋梁では TRIAL 計算によって最適な形状を定めた。

(1) ストッパーの構造

図-9 に示すように鋼製の内箱と外箱から成り、内箱は桁の下面に、外箱は橋脚の天端に埋込む。外箱には粘性材料（瀝青材に樹脂系の添加材を混合したもの）が充填され、内箱との空げきを満たしている。内外の箱がある速度をもって相対的に移動すれば、すなわち、桁と橋

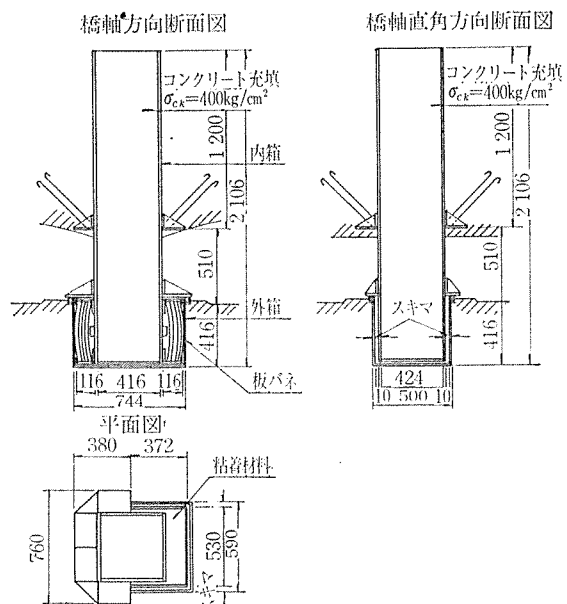


図-9 ストッパー詳細図

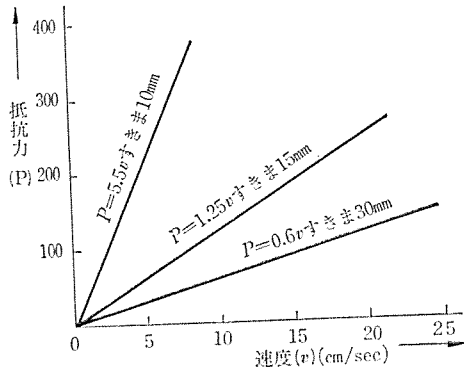


図-10 粘性係数

脚が相対変位すれば粘性材の粘性抵抗により、桁と橋脚の間に力の伝達が生じる。

(2) ストッパーの粘性特性

粘性抵抗は、粘性材料そのものの粘度によって変わるが、内箱と外箱の橋軸直角方向の間げき（これをすきまと呼ぶことにする）の大きさによる。この特性を知るために、実物大のストッパーを用いて、すきま量を変化させて室内実験を行い 図-10 に示す結果を得た。

図-10 によるとすきまが大きくなれば粘性係数は小さくなる。たとえばすきま 10 mm に対し 3 倍の 30 mm のものは粘性係数が約 1/9 になっている。

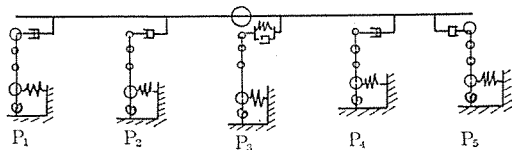
本橋梁は地質の状況により橋脚の高さが異なっている (図-2 参照)。したがって、剛性も異なり、低い橋脚は、剛性が大きくなる。すなわち、もし、桁と橋脚を固定すれば橋軸方向の水平力に対して、剛性の大きい橋脚の負担する割合は大きくなる。このように水平力の集中を防ぎ、すべての橋脚に均等に分散させるため剛性の大きい橋脚上にはすきまの大きいストッパーを用いた。本橋梁では、各支点のストッパーのすきまを表-3 に示す値とした。

表-3 各橋脚の剛性とすきま

	剛性 ×10.4 t/m	すきま mm
P ₁	2.37	10
P ₂	2.54	10
P ₃	2.04	10
P ₄	3.58	15
P ₅	5.90	30

(3) 解析とその結果

動的解析の理論の詳細については、参考文献 4), 5), 6) などを参照していただくとして、その基本は、次に示す微分方程式の解を求めることである。



入力地震波(MURORAN1968.S.16N-S)

図-11 解析モデル

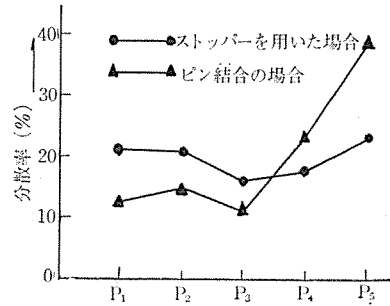


図-12 分散率の比較

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = P(t) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 M : 質量マトリックス

C : 減衰マトリックス

K : 剛性マトリックス

$P(t)$: 外力ベクトル

X : 変位ベクトル

なお本橋梁では、図-11 に示す解析モデルを用いた。式 (1) の、減衰マトリックス C は、系全体の減衰性と、ストッパーの粘性による減衰定数から成っており、外力 $P(t)$ は、地質の類似性から、1968 室蘭 NS 最大 200 gal を用いた。

応答計算を行った結果求められた橋脚天端での粘性抵抗力の最大値を 図-12 に示す。

図-12 は、桁と橋脚をピンヒンジで結合した場合と、ストッパーを用いた場合が比較してあるが、前者の場合には、剛性の大きい P_4, P_5 の橋脚にかかる水平力の割合 (分散率と呼ぶ) が大きくなって、水平力の集中現象が見られるが、後者の場合は集中が緩和され、ほぼ均等に分散されていることが分る。

このようにストッパーを用いることにより、連続桁の地震時水平力を、おのおのの橋脚にほぼ均等に分担させることができる。したがって、スパンの長大化にともなう地震時水平力の増大に対して、有効な処理方法であると思われる。

(4) 動的解析による断面力

動的解析の結果、地震力による橋軸直角方向曲げモーメントは 図-13 のとおりである。この断面力に対する水平方向応力度を計算し、鉛直方向応力度と合成した結果、上スラブ張出し部分に引張鉄筋として D 19 mm が 40 本必要となった。

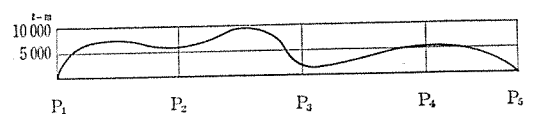


図-13 動的解析による応答曲げモーメント図 (橋軸直角方向)

(5) ストッパーの施工

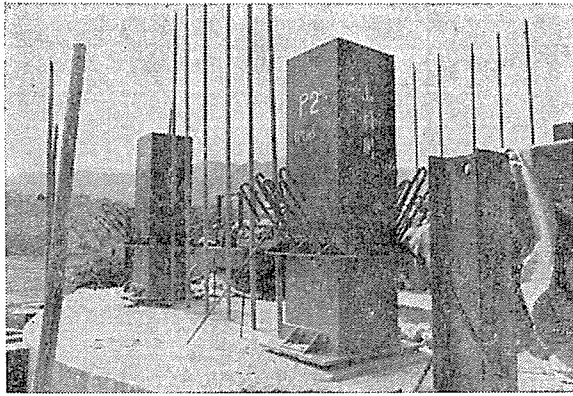


写真-2

表-4 ストッパー移動量の時間経過

(単位: mm)

	P ₁		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅	
	25 135		25 85		10 10		85 25		115 25	
据付時	25	135	25	85	10	10	85	25	115	25
クリープ乾燥 収縮完了時	92	68	53	57	10	10	57	53	68	72
温度変化 +30℃	71	89	42	68	10	10	68	41	86	54
地震時振幅 (+30℃の時)	10		12		9		26		35	
地震時スト ッパーの間隔 (200gal)	61	99	30	80	1	19	94	15	121	19

前述のように本橋梁は曲線橋であり、主桁は常時固定の方向に伸縮するのでシュー、ストッパーは P₃ 橋脚（常時固定）方向に据付けた。また据付時には PC 桁のクリープ量や乾燥収縮量による短縮を計算してあらかじめ偏心させなければならない。表-4 はその変位量と時間経過による変化を示したものである。地震時の橋軸方向最大相対変位量（ストッパーの内箱と外箱の移動差）は 35 mm(P₅) であるが、一番余裕の少ない P₃ のストッパーでも数 mm の間隔があり、内箱と外箱が接する

ことはない。

シューストッパーの据付けは、橋脚頭部を箱めきして、所定の方向にセットした後、モルタルを注入した。モルタルは無収縮性のタスコンを混和し、注入に際しては気泡が混入しないようグラウトポンプを用いて入念に施工した。グラウトの配合は表-5 のとおりである。

表-5 シューグラウトの配合

セメント	100 kg
砂	112.5 kg
水	52.9 kg
タスコン	12.5 kg
ボゾリス	281 g
水/(セメント +タスコン)	47%
フロー値	270 mm

おわりに

ストッパーを用いた橋梁は、他にも第2木曾川橋梁、太田川橋梁などがあるが、桁のずれ止めやダンパーとしての効果の他に水平力の分散効果を積極的に取り入れた橋梁は、本橋梁が最初と思われる、ストッパーの特性についての研究は、最近多く行われている。

たとえば、第2木曾川橋梁では、実橋の強制振動試験を行っており、本橋梁でも室内模型実験を試みて、種々の興味ある事柄を得ることができた。この模型振動実験でえた成果は参考文献に掲げてあるので参照されたい。

参考文献

- 1) 窪田元恢：湖西線塩津橋梁の施工，鉄道土木，Vol. 15，No. 12.
- 2) 小寺重郎：橋の耐震設計について，土木技術，Vol. 26，No. 3.
- 3) 窪田・前原：塩津橋梁の支承構造，土木技術，Vol. 28，No. 9.
- 4) 岡本瞬三：現場技術者のための振動学，オーム社
- 5) 土木学会編：地震応答解析と実例
- 6) 猪瀬・上原：コンピューターによる橋梁と構造の振動解析，森北出版

1974.3.15・受付

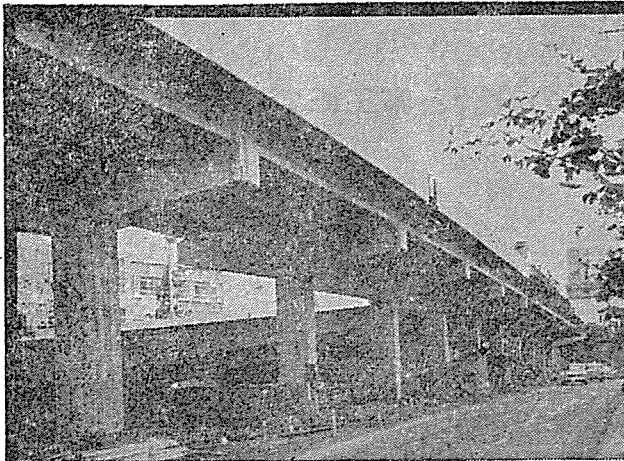
工事ニュース提供のお願い

工事ニュースは、現在どこで、どんな PC 構造物が作られているかを知る上で非常に参考になり、また関心をもって読まれていることは会員諸兄の知るところですが、編集委員の守備範囲内だけではすべての工事を網羅することはできません。

現場におられる会員諸兄から、是非現在このような工事がここまで進行している、または完成したといったニュースを、簡単な文章と、写真・図面等を添付されたうえで協会誌編集委員会あてお寄せ下さいますようお願い致します。特にむずかしい規定はありません。採用の分には薄謝を呈します。

送付先：東京都千代田区麹町 1 の 10 の 15 紀の国やビル

(社)プレストレスト コンクリート技術協会編集委員会 電話 03 (261) 9151



首都高速度道路高架橋

プレストレスト
コンクリート
建設工事 フレシナー工法
MDC工法

設計・施工
部 材
製造・販売

豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本社 愛知県豊田市亀首町向イ田65 電話 0565(45)1888(代)
 名古屋販売本部 名古屋市中村区笹島町1-221-2 電話 052(581)7501(代)
 東京販売本部 東京都港区西新橋2-16-1 電話 03(436)5461~3
全国タバコセンタービル2階
 工場 豊田工場, 海老名工場



温海バス 登陸橋

プレストレストコンクリート

構造物の設計・施工
(BBRV・フレシナー・SEEE工法)

製品の製造・販売
(けた、はり、パイル、マクラギ、版類)

ASC 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	☎ (03) 918-6171
札幌支店	札幌市中央区北5条西5丁目2番地(住友生命ビル)	☎ (011)241-5121
東京支店	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	☎ (03) 918-6171
名古屋支店	名古屋市中区錦3丁目2番31号(栄町ビル)	☎ (052)961-8780
大阪支店	大阪市北区万才町4番3番地(浪速ビル)	☎ (06) 313-0751
仙台営業所	仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)	☎ (022)25-4756
建築営業所	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	☎ (03) 918-6171
福岡営業所	福岡市博多区博多駅前1丁目3番地(八重州博多駅前ビル)	☎ (092)441-9131
静岡事務所	静岡県掛川市富部	☎ (05372)2-7175
広島事務所	広島市立町1番20号(広島長銀ビル)	☎ (0822)48-3185
美唄工場	美唄市字美唄1453の65	☎ (01266)3-4305
幌別工場	幌別市千歳町130番地	☎ (01438)5-2221
掛川工場	静岡県掛川市富部	☎ (05372)2-7171
京都工場	京都市南区久世東土川町6	☎ (075)922-1181