

山陽自動車道・平木橋 (PC 上部工) 工事の設計と施工

仙 洞 田 將 行*
 中 野 和 義**
 橋 村 隆***
 広 瀬 晴 次†

1. ま え が き

本橋は山陽自動車道と中国横断自動車道とのジャンクション部に架設される本線橋であり、上り線が5径間および下り線が6径間の連続中空床版橋である。

施工方法はフレシネーの接続具(モノグリップカップラー)を用いたケーブル接続具、図-5)を使用した支保工式の段階施工である。施工段階数について検討した結果、Aラインが3段階で、Bラインが4段階となった。構造形式には多点固定支持を採用して地震時の水平力を

分散させた。その他本橋のもうひとつの特色は、横断方向に支承位置を内側に寄せた形式のため、各支点横桁に横締めケーブルを使用したことである。本橋の設計および施工の主な特色について報告する。

- 1) 発注者：日本道路公団広島建設局西広島工事々務所
- 2) 工 期：昭和 58 年 12 月～昭和 60 年 2 月
- 3) 工 法：フレシネー工法
- 4) 施 工：興和コンクリート(株)

2. 設 計

2.1 設計条件

形 式：5 径間連続中空床版橋 (Aライン)

6 径間連続中空床版橋 (Bライン)

支 間：(24.7+25.5+23.2+25.5+24.7)m, Aライン

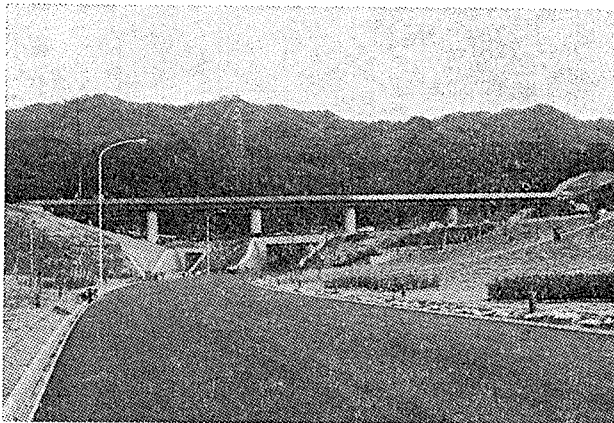


写真-1 橋梁全体 (側面)

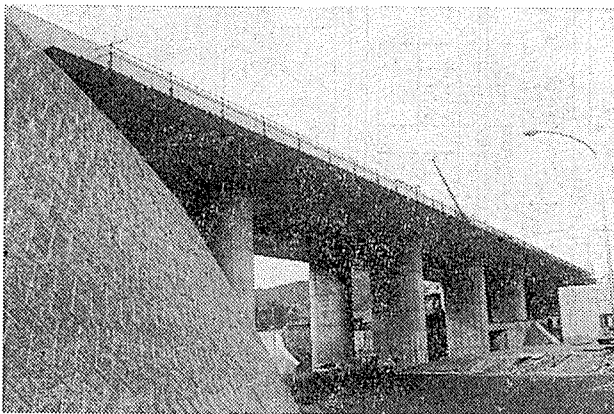


写真-2 橋梁全体 (下から撮影)

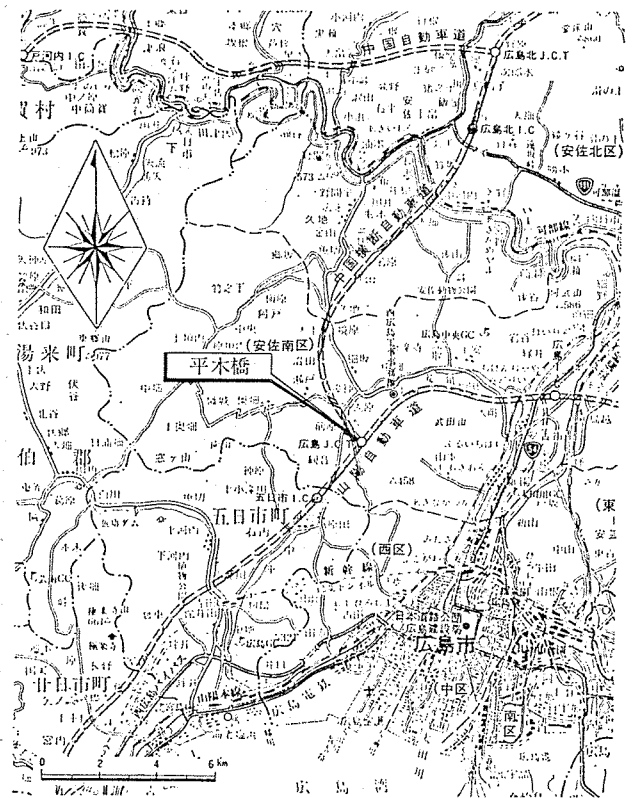


図-1 位置図

* 興和コンクリート(株) 工事部次長
 ** 興和コンクリート(株) 大阪支店設計課課長代理
 *** 興和コンクリート(株) 名古屋支店工事課課長代理
 † 極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術部

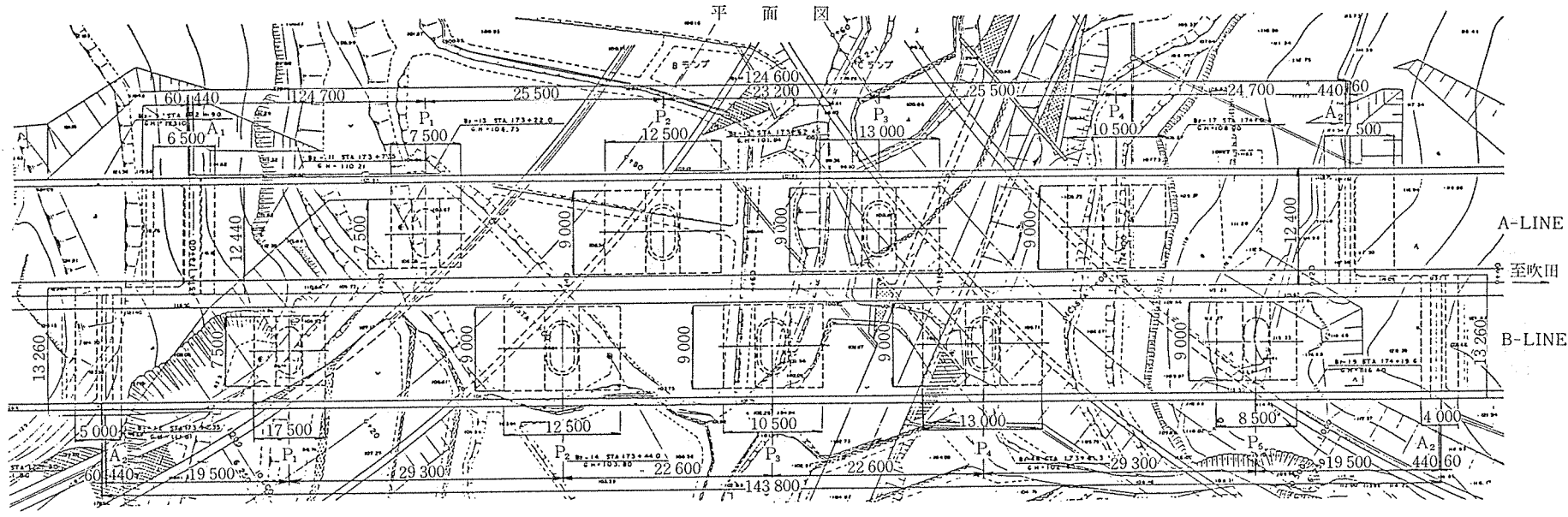
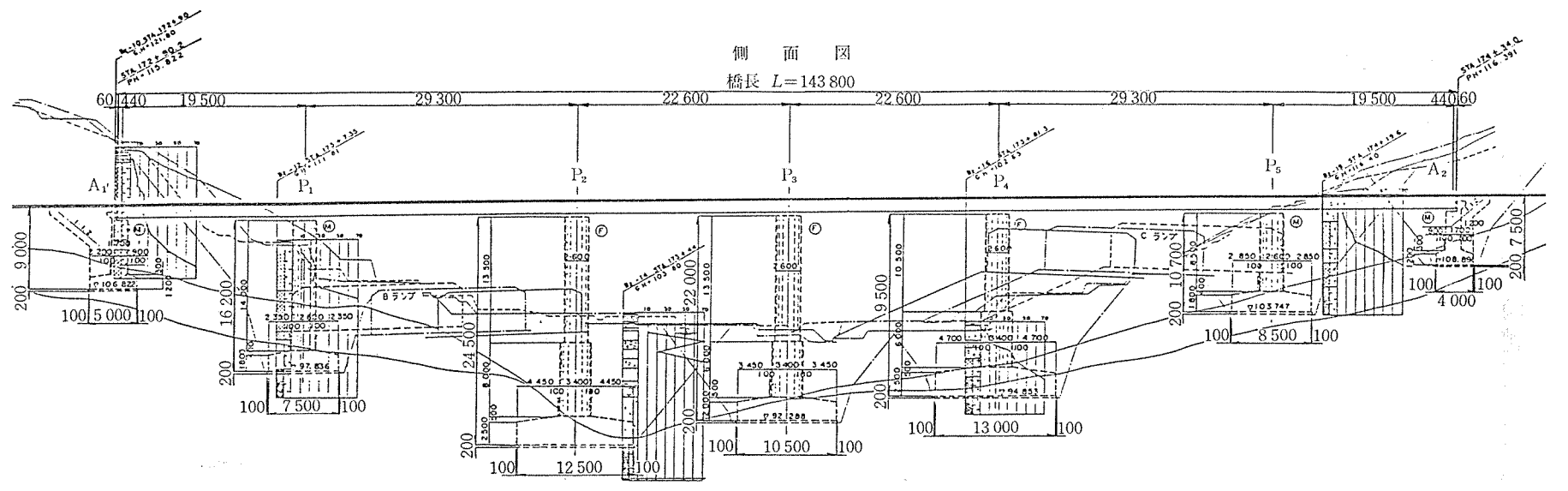


図-2(a) 全体一般図

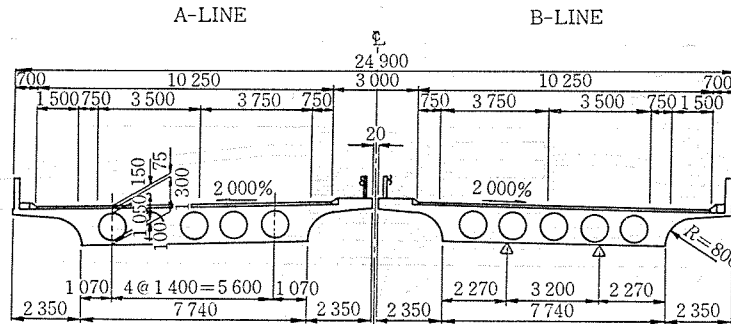


図-2 (b) 上部工標準断面図

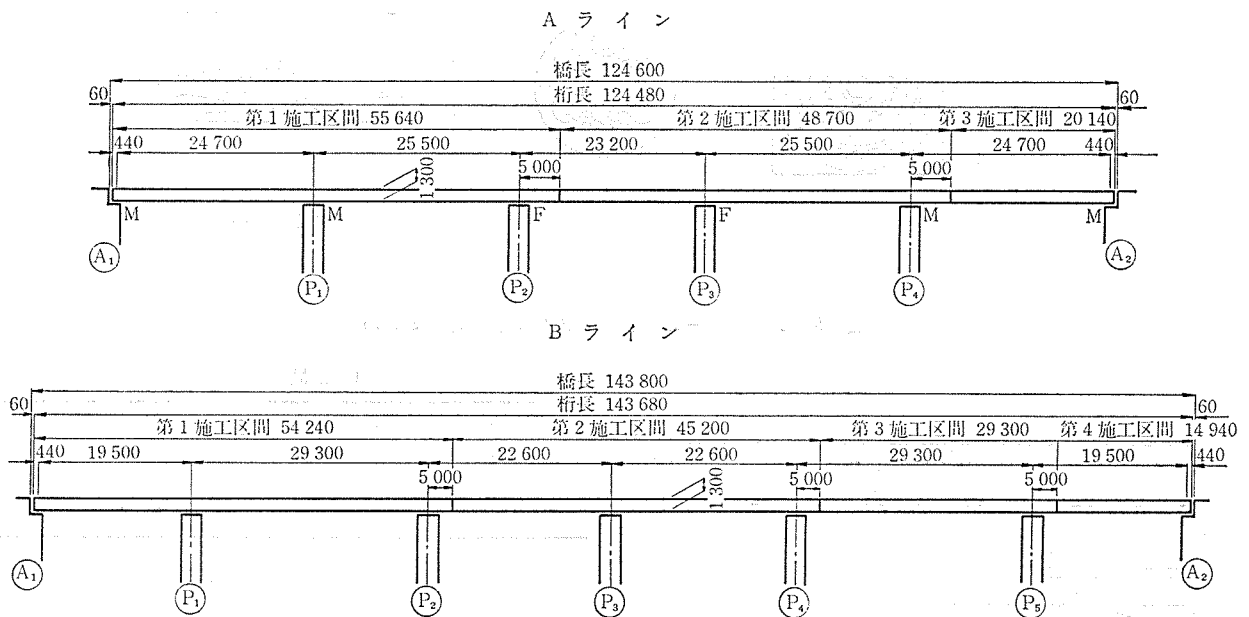


図-3 スパン構成図

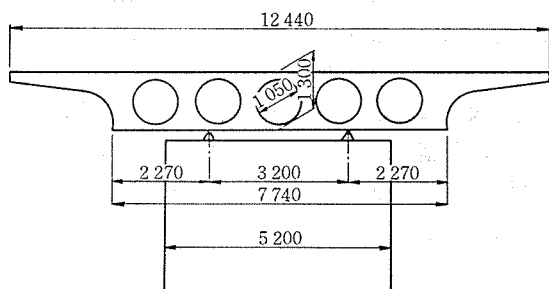


図-4 主桁断面図

(19.5+29.3+22.6+22.6+29.3+19.5) m,

Bライン

桁 高: 1.300 m

有効幅員: 10.25 m

斜 角: 90 度

活 荷 重: TL-20, TT-43

衝撃係数: $i=10/(25+l)$

水平震度: $k_H=0.24$ (支 承 設 計 用)

支 承: B.P.A 金属支承

主要材料:

コンクリート $\sigma_{ck}=350 \text{ kg/cm}^2$ 2 228 m³

PC 鋼より線 12 T 12.4 mm 縦締め 56.4 t

PC 鋼線 12 ϕ 7 mm 横締め 7.1 t

鉄 筋 SD-30 189.7 t

2.2 使用鋼材の選定

主桁ケーブルは次の条件を満たす鋼材であるフレシネーケーブル 12 T 12.4 を使用した。

- 1) 接続が可能でその施工が容易なケーブル
- 2) 接続部の前後付近においてケーブル形状が変化(角変化)するため容易に曲げ変形をするケーブル
- 3) 主桁の断面力に対して効果的なケーブル配置とするケーブルのスペースが小さい。したがってケーブルの使用本数を少なくするために1本当りの所要引張力の大きいケーブル

2.2 段階施工に伴うクリープによる二次応力の計算

コンクリートの連続桁を分割して段階施工する場合、各施工段階毎に構造系が変化するため、桁自重および導入プレストレスなどの持続荷重による前施工段階構造系

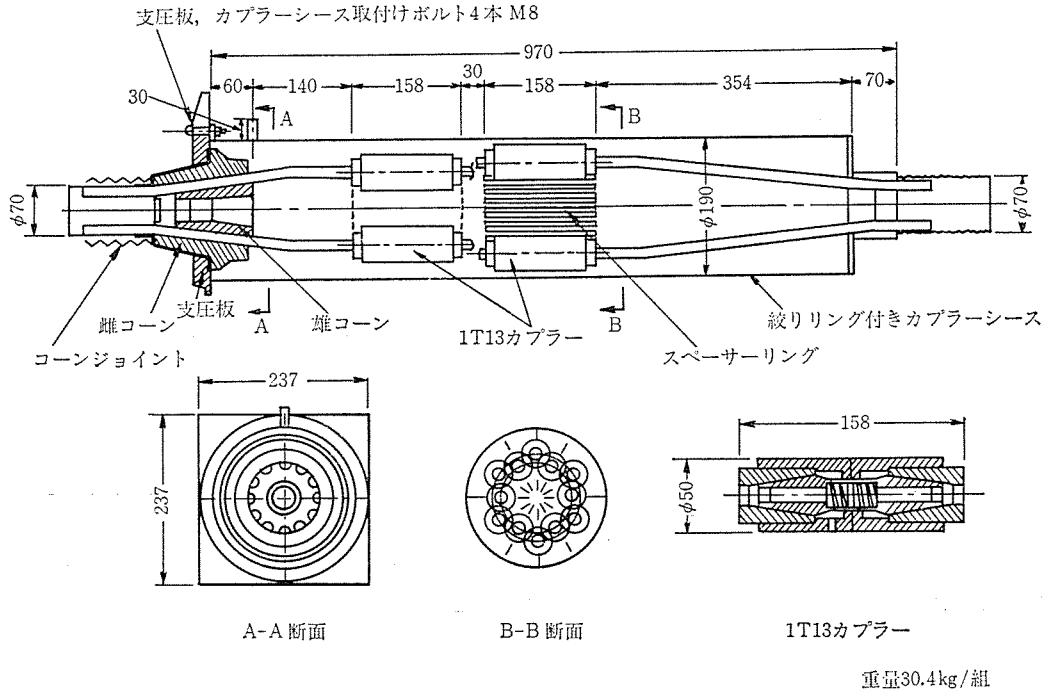


図-5 フレシネーケーブルモノグリップ型 12T13

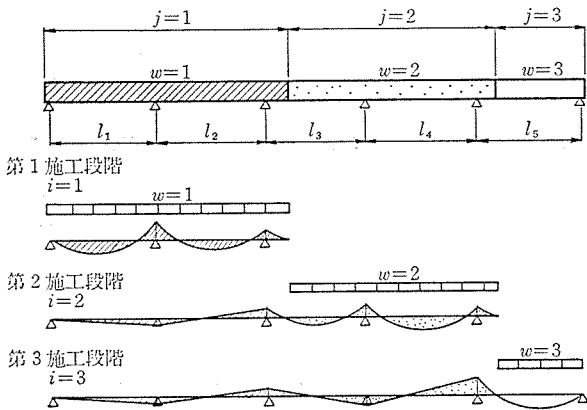


図-6 施工段階図

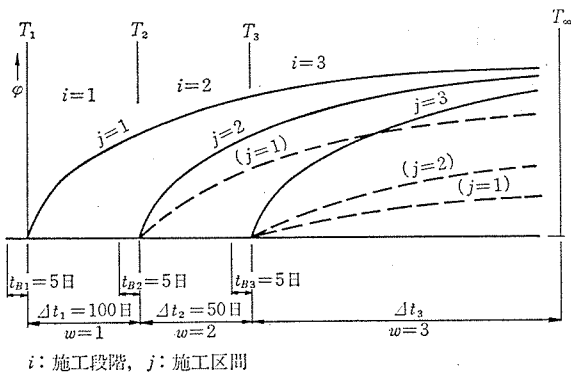


図-7 クリープ曲線

におけるクリープ変形が拘束されることにより二次応力が発生する。この二次応力についてAラインの計算結果を報告する。

表-1 区間クリープ係数

	第1施工区間	第2施工区間	第3施工区間
第1施工段階	$\varphi_{11}=1.05$	—	—
第2施工段階	$\varphi_{21}=0.09$	$\varphi_{22}=0.81$	—
第3施工段階	$\varphi_{31}=1.16$	$\varphi_{32}=1.49$	$\varphi_{33}=2.30$

第1施工段階：第1施工区間のプレストレス導入から第2施工区間の支保工撤去直前まで
 第2施工段階：第2施工区間のプレストレス導入から第3施工区間の支保工撤去直前まで
 第3施工段階：第3施工区間のプレストレス導入から最終まで

各施工段階におけるクリープ変形拘束に伴う二次応力の計算は、各施工区間毎にクリープ係数が異なるため各施工区間毎に部材剛度補正し、クリープ係数を統一した(1)式により求めた。

$$\Delta R_m = (\bar{R}_m - R_m) \cdot (1 - e^{-\varphi_{i1}}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

\bar{R}_m : 図-8 に示す剛度分布を有した i 段階分を一括施工したと仮定した場合の持続荷重による
 ③ 支点の反力

R_m : i 段階の分割施工における ③ 支点の持続荷重による反力

φ_{i1} : 第1施工区間の第 i 段階における区間クリープ係数

第2施工段階および第3施工段階の二次応力計算結果を表-2 および 表-3 に示す。

二次反力による曲げモーメントを図-9 に示す。

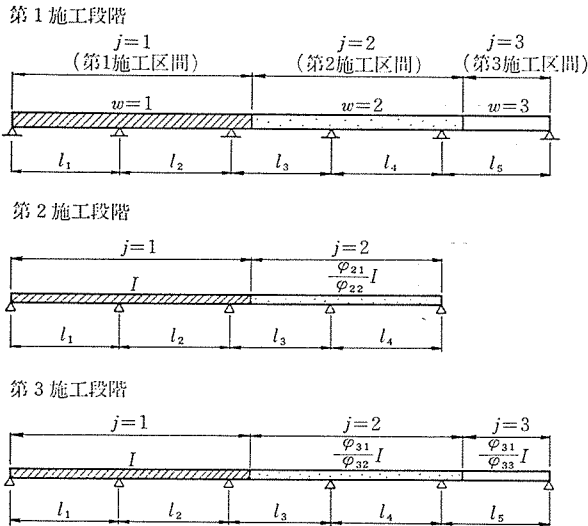


図-8 曲げ剛度補正図

表-2 第2施工段階における二次反力

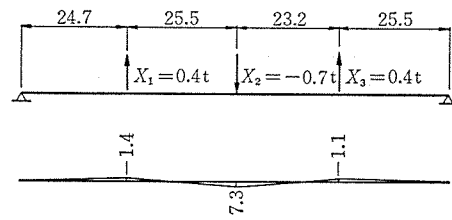
支点 No.	$\bar{R}(t)$	$R(t)$	φ_{21}	$\Delta R(t)$
P ₁	482.1	477.0	0.09	0.4
P ₂	498.3	506.6	0.09	-0.7
P ₃	460.4	456.1	0.09	0.4

表-3 第3施工段階における二次反力

支点 No.	$\bar{R}(t)$	$R(t)$	φ_{31}	$\Delta R(t)$
P ₁	479.3	477.3	1.16	1.4
P ₂	501.5	506.1	1.16	-3.2
P ₃	464.8	455.7	1.16	6.2
P ₄	510.6	521.8	1.16	-7.7

主な静荷重による各施工段階毎に合成した曲げモーメントを 図-10 にて各荷重別に示す。クリープ変形拘束に伴う二次モーメントについて、分割位置に近接した支点位置 (P₂, P₄) は、初段階施工時において端支点位置で曲げモーメントが生じていないため大きな二次モーメントが生じた。また後で施工する P₄ 側は残存クリープ量が多いため二次応力も大きくなっている。しかしクリ

第2施工段階の二次モーメント図



第3施工段階の二次モーメント図

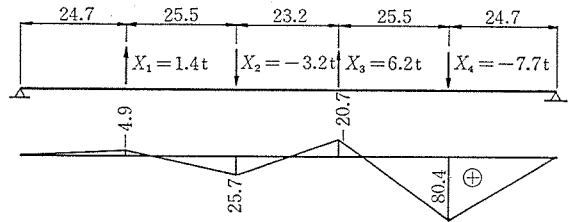


図-9 二次モーメント図

ープ変形拘束に伴う二次モーメントは主荷重による曲げモーメントに比べて小さい結果となった。

2.3 多点固定支持に起因する二次応力の解析

本橋のAラインおよびBラインは、橋梁中央部に2点固定支承および3点固定支承を有した5径間および6径間の連続桁構造である。したがって温度変化およびコンクリートの乾燥収縮以外に、プレストレスによる弾性変形およびクリープ変形が拘束されて主桁に二次応力が生じる。本橋における二次応力の計算式および計算結果について報告する。

コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による二次応力は、次のとおりの条件から求めた。

- 1) 固定支点の橋脚部において、主桁下縁のコンクリートおよび乾燥収縮による移動量が橋脚天端の移動量に等しいとした。
- 2) コンクリートのクリープによる二次応力の「ひず

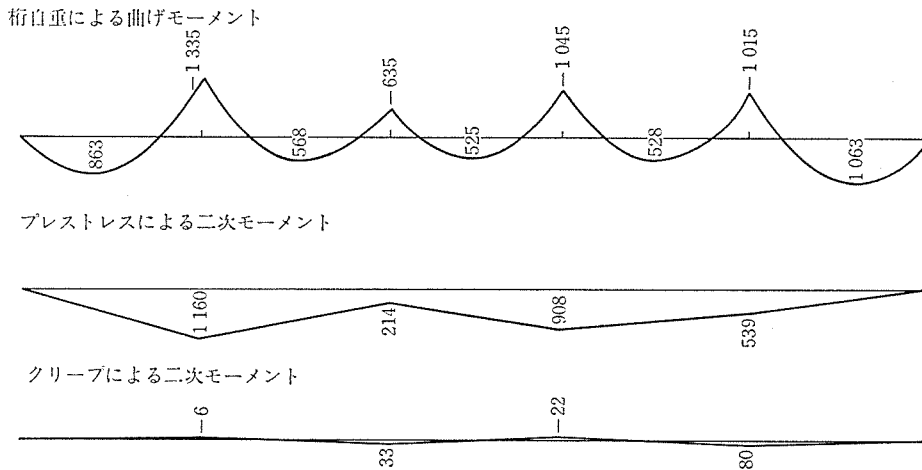
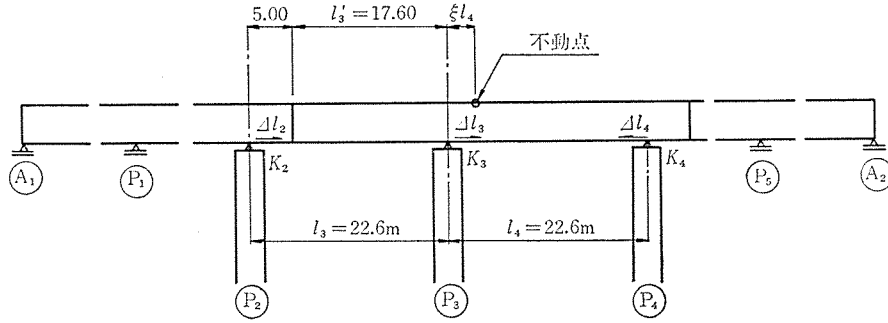


図-10 静荷重による曲げモーメント図 (Aライン)



K_m : 橋脚の水平バネ

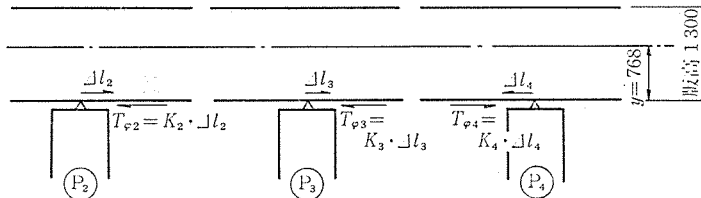
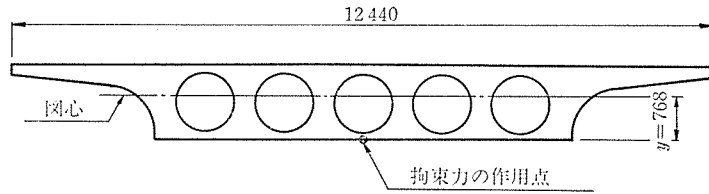


図-11 二次応力の作用位置

み」に対する二次クリープの影響を考慮した。

- 3) コンクリートの乾燥収縮の進行率がクリープの進行率に比例すると仮定した。
- 4) 下部工のコンクリートのクリープを無視した。

以上の条件を基にコンクリートのクリープおよび乾燥収縮による拘束力は次式により算定した。

① 二点固定の場合 (Aライン)

$$T_{\varphi_2} = T_{\varphi_3} = \frac{1}{al_3} \left(\int_{l_1} \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl + \frac{\varepsilon_s l_3}{\varphi_{\infty}} \right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{al_3 K_2 K_3}{al_3 K_2 K_3 + K_2 + K_3} \varphi} \right) \dots (2)$$

② 三点固定の場合 (Bライン)

$$T_{\varphi_2} = \frac{1}{al_3} \left\{ (1 - f k_2) \left(\int_{l_1} \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl + \frac{\varepsilon_s l_3}{\varphi_{\infty}} \right) + f k_4 \left(\int_{l_1} \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl + \frac{\varepsilon_s l_4}{\varphi_{\infty}} \right) \right\} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_2 al_3}{1 + K_2 al_3} \varphi} \right)$$

$$T_{\varphi_4} = \frac{1}{al_4} \left\{ \int_{l_1} f k_2 \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl + \frac{\varepsilon_s l_3}{\varphi_{\infty}} \right\} + (1 - f k_4) \left(\int_{l_1} \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl + \frac{\varepsilon_s l_4}{\varphi_{\infty}} \right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_4 al_4}{1 + K_4 al_4} \varphi} \right) \dots (3)$$

ここに、

K_2 : P_2 橋脚の水平バネ (橋脚天端を単位長さだけ移動させる力)

K_3, K_4 : P_3, P_4 橋脚の水平バネ

$$a = \frac{1}{E_c A_c} \left(1 + \frac{y^2}{r^2} \right)$$

r^2 : 回転半径の2乗 = $\frac{I_c}{A_c}$

$$f = \frac{(1 + K_2 al_3)(1 + K_4 al_4)}{K_2(1 + K_4 al_4) + (1 + K_2 al_3)(K_3 + K_4 + K_3 K_4 al_3)}$$

$$k_2 = \frac{K_2}{1 + K_2 al_3}, \quad k_4 = \frac{K_4}{1 + K_4 al_4}$$

$\int_{l_1} \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl$: 持続荷重により l_3 区間における主桁下縁の弾性短縮量

表-4 拘束力の計算結果

	Aライン	Bライン	
K_2	6 227 t/m	5 089 t/m	φ_{∞} : コンクリートのクリープ係数終局値 = 2.3
K_3	8 000 "	6 727 "	
K_4	—	8 135 "	
l_3	23.2 m	22.6 m	
l_4	—	22.6 "	ε_s : コンクリートの乾燥収縮率 = 20×10^{-5}
a	$2.085 \times 10^{-7} 1/t$	$2.085 \times 10^{-7} 1/t$	
T_{φ_2}	27.3 t	46.0 t	
T_{φ_3}	27.3 "	12.3 "	
T_{φ_4}	—	58.3 "	

$$\int_{l_1} \frac{\sum \sigma_{cD}}{E_c} dl : \text{持続荷重により } l_1 \text{ 区間の同短縮量}$$

E_c : コンクリートのヤング係数
 ϵ_s : コンクリートの乾燥収縮率

Aラインの2点固定における拘束力およびBラインの3点固定における拘束力の計算結果を表-4に示す。

常時に作用する拘束力としては本橋の場合、支保工上にてプレストレスを導入したためにコンクリートのクリープおよび乾燥収縮の変形拘束のほかに、プレストレスによる弾性変形拘束によっても拘束力が生じる。常時の拘束力による主桁下縁に作用する引張応力度は下記のとおり 2~4 kg/cm² である。

① Aライン (P₂~P₃ 径間)

弾性変形拘束に伴う拘束力 $T=4.9$ t
 常時に作用する拘束力 $\Sigma T=4.9+27.3=32.2$ t

$$\sigma_c = -\left(\frac{T}{A_c} + \frac{T y}{z}\right) = -\left(\frac{32\,200}{75\,070} + \frac{32\,200 \times 76.8}{1\,853.700}\right)$$

$$= -1.8 \text{ kg/cm}^2$$

② Bライン (P₃~P₄ 径間)

弾性変形拘束に伴う拘束力 $T=14.2$ t
 常時に作用する拘束力 $\Sigma T=14.2+58.3=72.5$ t

$$\sigma_c = -\left(\frac{T}{A_c} + \frac{T y}{z}\right) = -\left(\frac{72\,500}{74\,347} + \frac{72\,500 \times 76.8}{1\,807.700}\right)$$

$$= -4.1 \text{ kg/cm}^2$$

Bラインは3点固定支持の採用により、主桁下縁における拘束二次応力度が -4.1 kg/cm² 生じる。これは全設計荷重による応力度のうち約 10% 強占めているが、地震時における橋軸方向の水平力を3橋脚に分散させる効果を有している。

2点固定および3点固定における拘束力とそれによる主桁の応力度は、固定支持の橋脚の高さが高ければ水平

バネが小さくさがり拘束力も小さくなる。また固定支持区間長が長くなれば拘束力も大きくなる。Bラインの場合固定支持区間が2径間 45.2m あり、下部工の水平バネも比較的大きかったために主桁下縁に大きな応力度が生じた。

3. 施 工

3.1 施工概要

図-3のスパン構成図に示すとおり、Aラインは3段階、Bラインは4段階の支保工上での現場打ち分割施工である。プレストレスはA、Bラインとも第1施工段階は両引き緊張し、第2施工段階以降はフレシネーの接続具(モノグリップ型カプラーを用いたケーブルの接続具、図-5)を使用し、片引き緊張施工である。工事工程表は図-12に示す。

3.2 ケーブル接続具

フレシネーカプラーモノグリップ型接続具は北陸自動車道「金沢高架橋」の施工で多く使用された接続具である。モノグリップ型カプラーの施工要領は図-13に示す。

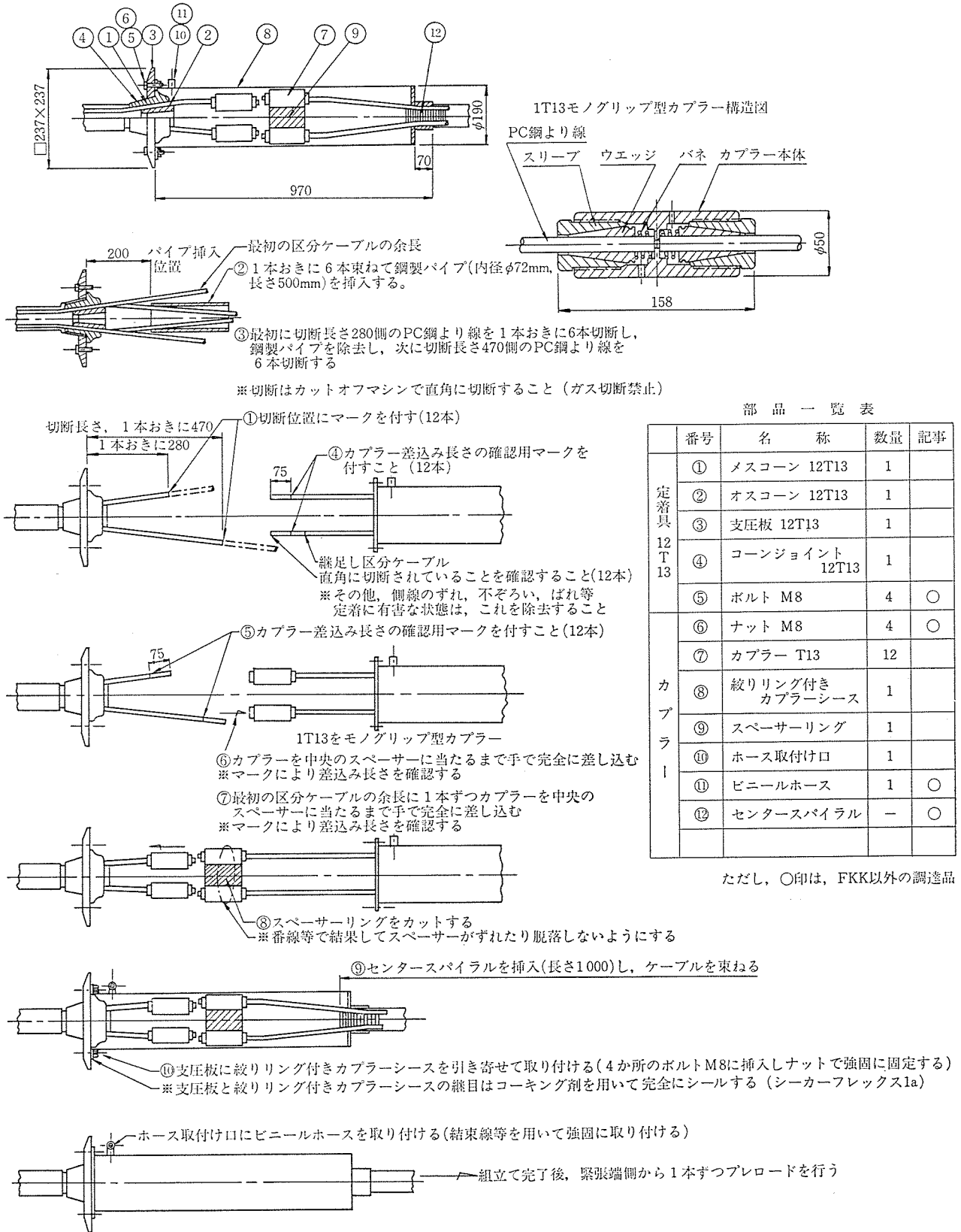
3.3 緊張管理

設計では緊張側におけるPC鋼線引張応力度を $\sigma_{pi}=125$ kg/mm² とし、摩擦係数 $\mu=0.3$ で各断面が検討されている。固定端または不動点を基準に $\mu=0.4$ および $\mu=0.2$ の摩擦係数で桁端の緊張力を各々算出するが、摩擦係数が $\mu=0.3$ 以上の場合は、各断面とも設計値以上のプレストレスが得られるけれど、 $\mu=0.3$ 未満の場合は緊張端に近づくほど設計値に対して不足する。したがって本橋のように設計断面が多数あるため $\mu=0.3$ 未満の場合は $\mu=0.3$ の時のPC鋼線応力度 $\sigma_{pi}=125$

工事区分	59.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	60.1	2	備考	
詳細設計	[Shaded]															
施工計画	[Shaded]															
準備工	[Shaded]															
Aライン橋体工	[Shaded]															
	[Shaded]														C(7/16)	第1段階
	[Shaded]														C(9/22)	2 #
	[Shaded]														C(10/19)	3 #
Bライン橋体工	[Shaded]															
	[Shaded]														C(8/3)	第1段階
	[Shaded]														C(10/6)	2 #
	[Shaded]														C(10/26)	3 #
	[Shaded]														C(11/6)	4 #
橋台バラベツト	[Shaded]														A ₁	
	[Shaded]														A ₂	
付属物	[Shaded]															

図-12 工事工程表

構造図

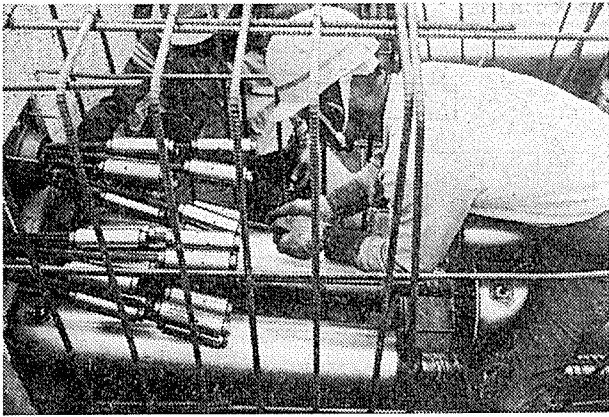


部品一覧表

番号	名称	数量	記事
定着具 12T13	① メスコーン 12T13	1	
	② オスコーン 12T13	1	
	③ 支圧板 12T13	1	
	④ コーンジョイント 12T13	1	
カプラー	⑤ ボルト M8	4	○
	⑥ ナット M8	4	○
	⑦ カプラー T13	12	
	⑧ 絞りリング付きカプラーシース	1	
	⑨ スペーサーリング	1	
	⑩ ホース取付け口	1	
	⑪ ビニールホース	1	○
	⑫ センタースパイラル	-	○

ただし、○印は、FKK以外の調達品

図-13 フレシネーカプラーモノグリップ型 12T13 の施工手順図



写真—3 モノグリップカプラーの施工状況

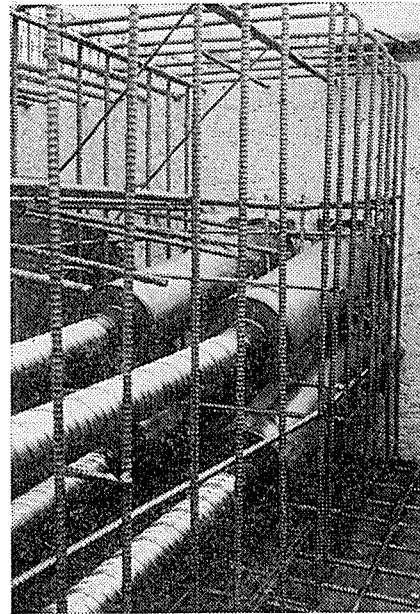
kg/m² を桁端に導入した。摩擦係数 $\mu=0.3$ 以上の場合は、第1施工区間の試験緊張で得られたヤング係数 E_p を引止め線として緊張力を決定する。

摩擦係数 μ の管理限界は前施工区間までのデータを基に3シグマ法にて算出した μ 値で管理した。

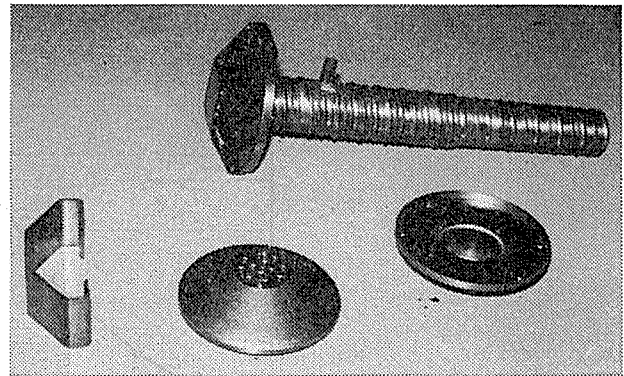
第2施工区間以降は、接続具による継足し緊張のため緊張すべき鋼線が短く摩擦が少ない場合は、前施工区間に定着されたコーンが抜け出すため、最終緊張力付近にて伸び勾配が少し横に折れるがそれを無視し、直線部の延長線から最終緊張力を決定した(図—14)。

またクサビのめり込み量に相当する分だけ緊張力が低下するので伸び量に加算して管理した。すなわち E_p 直線をめり込み量 δ だけ平行移動した(図—15)。

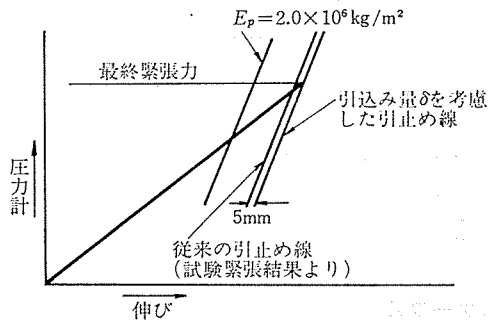
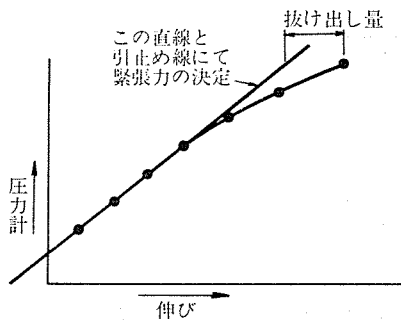
施工区間が短い区間(Aラインの第3施工区間、Bラインの第3、第4施工区間)はPC鋼線とシーストの摩擦が小さいため、緊張力が前施工区間まで及ぶ。したが



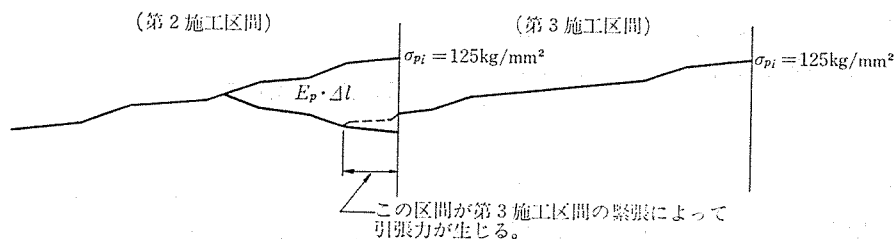
写真—4 モノグリップカプラー取付け終了



写真—5 デッドアンカー部品 (12φ7)

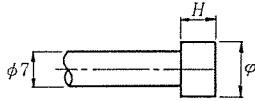


図—14 最終緊張力の決定図



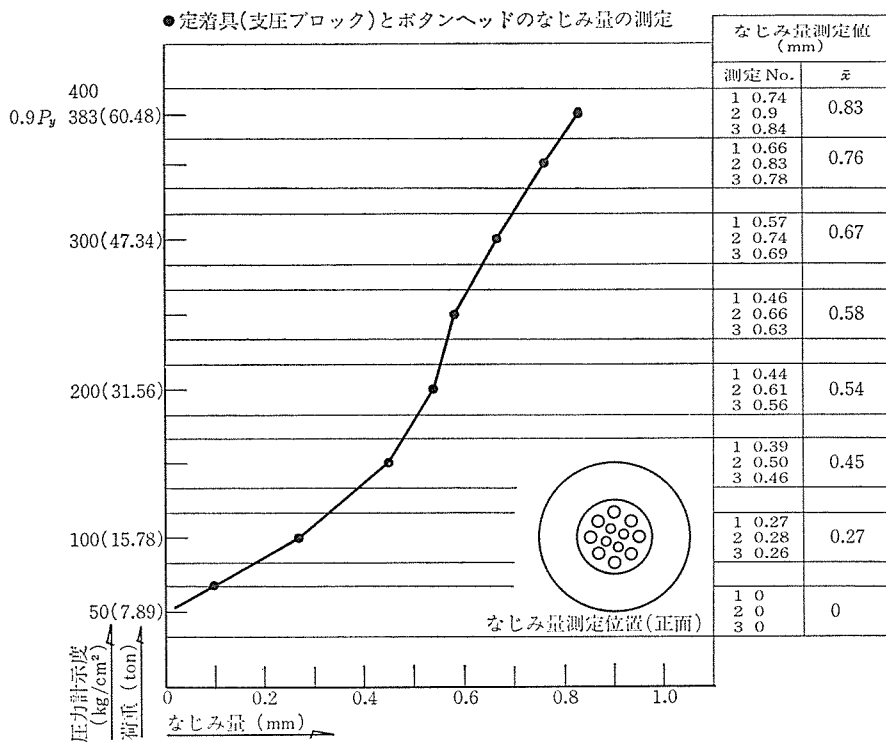
図—15 鋼線引張応力度図

表-5 ボタンヘッドの形状寸法測定



試験前												
PC鋼線 測点	No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H (mm)	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
φ (mm)	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6

破断試験後												
H (mm)	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
φ (mm)	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6



ってグラウトは次の施工区間の緊張作業を済ませてから注入をしなければ、グラウト後のPC鋼線の一部区間に引張力が及ぶ(図-15)。したがってグラウトは全施工区間の緊張が終了してから、一括して注入をした。

3.4 横締めケーブル

本橋の支点は金属支承を使用した2点支承で、横断方向に内側へ寄せた構造である。そのためにフレシネーケーブル12φ7を22本使用して補強したので、主桁側面の円弧部に横締め定着部の型枠施工およびその跡埋め施工の問題が生じた。それについて次のとおり施工した(図-16)。

1) 外側の壁高欄側にはボタンヘッド式のデッドアンカーを使用し、中央分離帯側からのみ片引き緊張して、外側の跡埋め施工をなくして外観を良くした。

2) 定着部の型枠も鋼製を使用して床版上部に注入孔を設け、注入孔より無収縮モルタルを注入する方法を採用した。

フレシネー12φ7mmのデッドアンカー施工について、日本道路公団では本橋が最初の施工実績に当たるため、極東鋼弦コンクリート振興(株)でPC鋼線のボタンヘッドに対する強度試験を実施し確認のうえ使用した。

4. あとがき

フレシネーのモノグリップカプラー型接続具を用いた分割施工の使用実績は、昭和51年に北陸自動車道金沢高架橋の施工で多く使用された。金沢高架橋は移動支保工を使用した施工法であり、各施工段階の施工サイクル

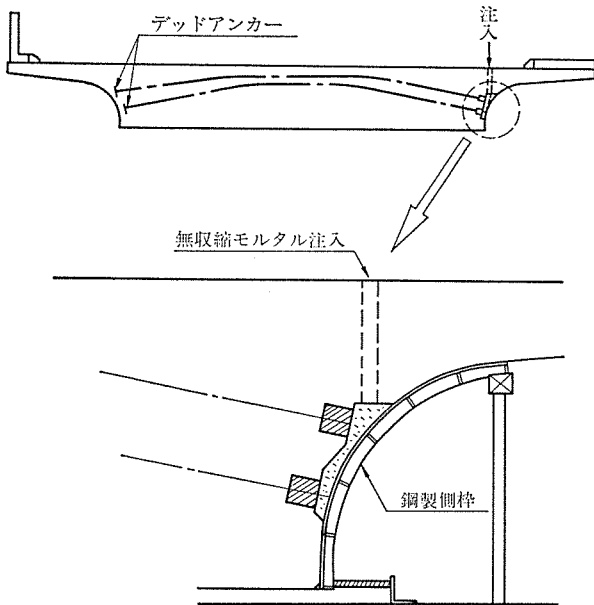


図-16 横締め定着部跡埋め施工図

も一定であるが、本橋は支保工を用い、各施工区間長が異なるために施工サイクルも不規則になった工事である。一般的な支保工上で不規則な施工サイクルの分割施工例として、設計および施工の特徴について報告した。

なお、本橋の設計・施工に際し、日本道路公団広島建設局構造技術課、および西広島工事事務所第1構造工事区の諸氏には、多岐にわたり御指導たまわり紙面を借りて心からお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 北陸自動車道金沢高架橋 PC 施工研究会編、金沢高架橋工事誌

【昭和 60 年 5 月 15 日受付】

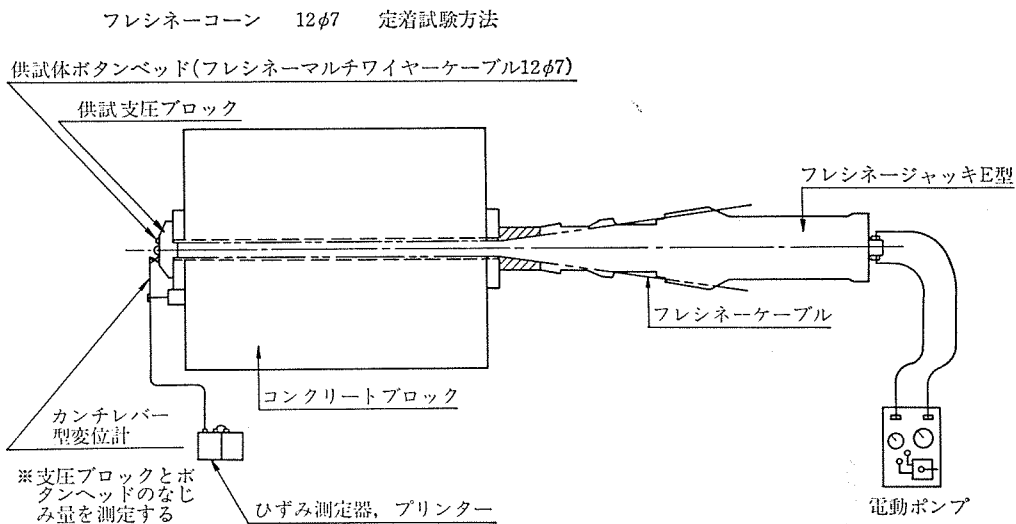


図-17 ボタンヘッドの試験装置

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート橋の設計・施工上の最近の諸問題

体 裁：A 4 判 116 ページ
 定 価：1500 円 送 料：450 円
 内 容：(1) PC 橋の施工開始前の諸問題、(2) PC 橋の工事ならびに施工管理について、
 (3) 新しい PC 設計方法について、(4) 最近の話題の橋梁
 お申込みは代金を添えて、(社)プレストレストコンクリート技術協会へ