

3次元光弾性実験による材端応力について

戸 塚 学

1. 緒 言

材端で緊張されたポストテンション式プレストレストコンクリートでは、材端の表面に集中力が働くため材端からある範囲以内の部分では、材軸方向応力 (σ_x とする) は曲線状分布から徐々に直線状分布へと変化してくる。また、この範囲では材軸と直角方向の応力 (σ_y とする) も存在し、かつ、この範囲内のある部分では引張応力となるから、この値がコンクリートの許容引張応力度を超える場合には、その範囲に対し材端面と平行な鉄筋を配置して補強しなければならない。著者はこのようなプレストレス力 (P とする) によって生ずる材端応力の、緊張材配置形状が材軸に平行な直線の場合と、曲線の場合との2つの場合について、 σ_y , σ_x の分布状態、および部材の上側縁、下側縁、材端表面の応力分布状態などを、応力凍結法を用いて3次元光弾性実験によって求めた。

2. 実験過程

(1) この実験におけるPC部材のモデルの材料にはエポキシ樹脂を用いた。この樹脂は加工性に富み、かなり乱暴な加工にたえられ、また、加工時におこるひずみも適当な温度による焼鈍によって全部除去され、クリープもほとんどおこすこともなく、光弾性実験材料として多くの利点がある。

(2) 実験バリの各断面は図-1に示すように1型から4型までの4種類とし、ハリにはプレストレス力を導

入するための孔をあけ、緊張材配置形状が直線のときは下側縁から5mm、曲線の場合には部材の中央において下側縁から5mm、材両端において上側縁から5mmになる円弧とした。この曲率半径は50.5cmである。各型バリの各断面諸係数は表-1に示す。

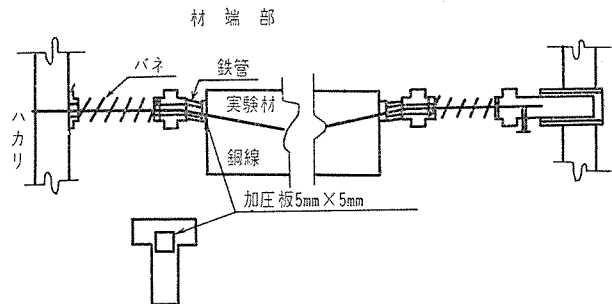
表-1

係数 ハリ	A(mm)	I(mm ⁴)	K _上 (mm)	K _下 (mm)	e(mm)
1 型	174.0	5 986.9	4.4	2.8	7.2
2 型	192.0	7 433.4	4.4	3.4	6.3
3 型	210.0	8 628.4	4.4	3.9	5.6
4 型	228.0	10 384.0	4.6	4.6	5.0

A: 断面積, I: 断面2次モーメント, K: コア半径
e: 部材の中央の断面における偏心距離

(3) プレストレス力導入は図-2に示すように、各ハリの緊張材配置孔に径1.5cmの銅線を通し、定着端

図-2 緊張力導入方法



表面には5×5mmの鉄板を加圧版として、所要のプレストレス力まで引張って行った。この図は緊張材が曲線配置の場合であるが、直線の場合もこの方法と同じである。応力凍結はこのようにハリにプレストレス力を作用させたまま、空気恒温槽の中で130°C×2時間熱を与え、その後の温度降下速度は樹脂の物理的性質の変る転域温度90°Cまで5°C/h行い、それ以下の温度からは放冷とした。

(4) プレストレス力は各ハリとも500gであり、供試体数は図-1のハリ断面の4種類のハリについて緊張材配置形状が直線および曲線のそれぞれ2つの場合、合計8本である。光弾性実験からの応力解析は、ハリの応力凍結後X方向、すなわち材軸方向(図-3)に緊張材配置孔を中心としてスライスを切り取り、ヤスリで表面

図-1 ハリ断面 (単位 mm)

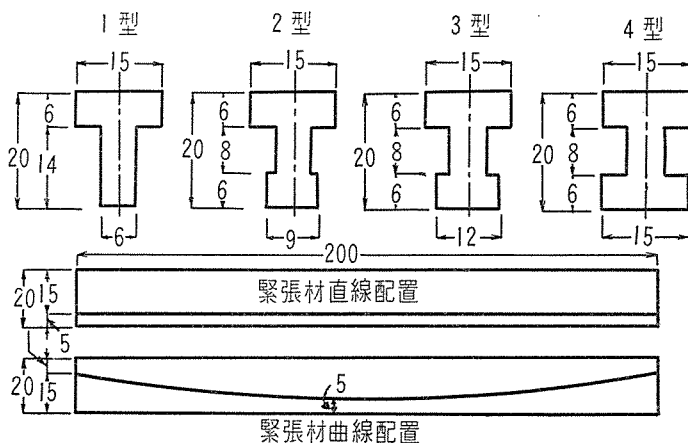
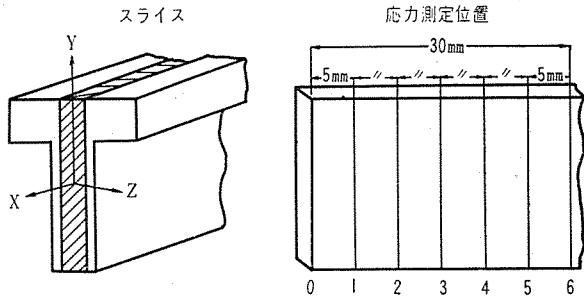


図-3 スライスと応力測定位置



をていねいに仕上げ、その面に垂直に偏光を通し等色線 $\{\sigma_x - \sigma_y\}$ の主応力差}縞から σ_x および σ_y の値をそれぞれ求めた。また等色線の値は1/3 フリンジくらいまで測定した。そうして応力測定のために材端表面 図-3 から5mm ずつの断面を0,1,2,4,5,6,面と区分した。なお使用した光弾性実験材料のフリンジ値は0.0336 kg/mm²である。

3. 実験結果および考察

写真-1 には1型ばりの緊張材配置形状が直線、およ

写真-1 (a) 等色線写真
緊張材直線配置

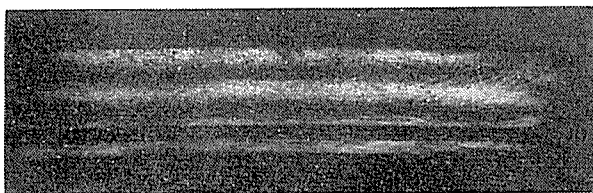


図-4 各断面の分布 (緊張材直線配置)

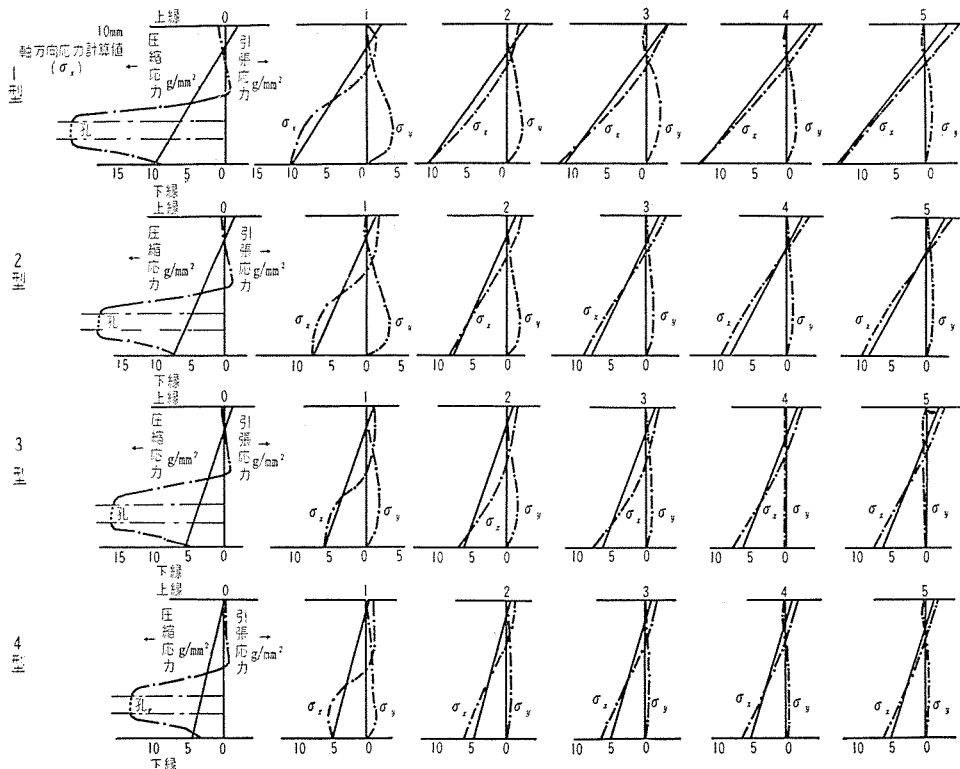


写真-1 (b) 緊張材曲線配置



び曲線の2つの場合の実験から得た、等色線の部材半分の写真を示す。

(1) 緊張材配置形状が直線の場合

各型バリの材端表面に平行なる各断面の σ_x および σ_y の分布を 図-4 に示す(この図の各断面における圧縮、引張力方向、および応力値単位は材端表面すなわち0面と同じである)。これによると各型バリの同断面の応力分布状態の増減の傾向は大体同じであり、 σ_x の曲線状分布は断面が、部材中央部に近づくにしたがい徐々に直線状分布へと変わりゆく、4面からはほとんど直線状分布となる。また σ_y の分布は断面が部材中央部に近づくにしたがって小さくなるが、一般には4面から5面の間ではほとんど分布の変化はみられなくなり、かつ、各断面における σ_y の最大値は大体プレストレス力の作用軸上(P軸とする)に生ずることがわかる。材端表面の応力分布状態についてのべると、各型バリとも加圧版付近に集中して大きな圧縮応力を生じ約0.5×ハリ高の位置で圧縮応力は0になり、さらにこの位置をはなれて上縁に近づくると引張応力を生じ、かつ、1,2,3,型においては上

端縁近くで僅少であるが、再び圧縮応力が生じた。また、図-4 に各断面の σ_x の計算値による分布も示してある。この値は次の式によって求めた。

$$\sigma_x = \frac{P}{A} \pm \frac{P(e+\delta)}{I} y$$

δ : 実験によって各断面位置に生じたハリのため量(上側方向たわみ正)

y : 断面の重心軸から上側縁、および下側縁までの距離

このことは、この実験において、各型バリの部材中央位置(材端

から材長の 1/2 の位置) でのたわみ量がプレストレス力の導入位置である断面の偏心距離と比較して、割合に大きく生じたので、同一のハリでも断面の位置が材端から部材中央部に近づくとともに、 σ_x の値も徐々に増大してくることが考えられるからである。表-2 は各型ハリの部材中央位置のたわみ量を示す。

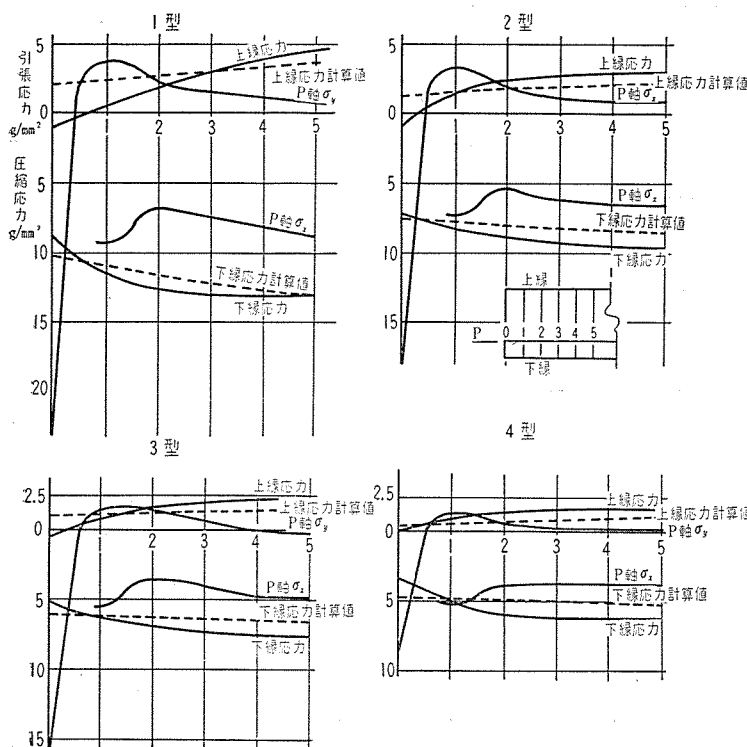
この実験値および計算値による 2 つの σ_x の分布が割合に接近してくる断面の位置は、各型バリとも一般に 4 面、すなわち材端からハリ高と同じ距離にある断面である。

表-2 ハリのたわみ量(mm)

1 型	2 型	3 型	4 型
5	3	2	2

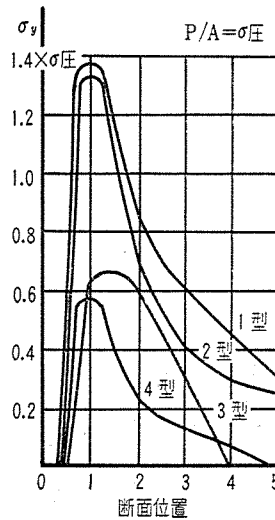
いま、各型バリの P 軸上に生じた σ_x, σ_y の分布と、部材の上側縁下側縁に生じた σ_x の実験値および計算値の分布状態を図-5 に示す(この図の圧縮、引張応力軸、および応力値単位は 1 型と同じである)。各型バリとも P 軸上の σ_x 、および σ_y の最大値は 1 面の所に生じ、 σ_y は各型バリとも材端に近づくにしたがって大体材端表面と 1 面との中間点から引張応力が圧縮応力へと変ってゆく。また 3 型バリを除いては、2 面における σ_y の値は 1 面の 1/2 くらいとなり急速に減少し、それからは大体直線的にスムーズな減少の傾向がみられる。 σ_x についても 1 面から 2 面に移るとき、やや急速な減少の傾向がみられ、そこから 3 面、4 面へと行くにしたがって若干の増加がみられる。このことから、この実験における緊張材定着によって部材内部におよぼす影響は、各

図-5 材軸に平行な各面の応力分布(緊張材直線配置)



型バリとも大体 1 面付近が一番大きいものと思われる。縁応力の分布については、上側縁、および下側縁の応力は材端に近づくにしたがって、徐々に部材中央部の応力より小さくなっていく。この実験値による縁応力分布の応力減少の位置は各型バリ、引張、圧縮応力の場合とも材端から約 0.65×ハリ高の所である。また、各型バリの断面積(支承面積)でプレストレス力(500g)を割った値すなわち平均プレストレスと P 軸上の σ_y との比較を図-6 に示した。これによると 1 型、2 型バリの 1 面における σ_y の値は 3 型、4 型の約 2 倍であるが、各型バリ(3 型を除く)の材端からの σ_y の値の増減は大体同じ傾向となっている。このような各型バリにおける σ_y の値の差は、加圧版の寸法は各型バリとも同じであるが、断面諸常数、特に加圧版位置の断面重心軸からの距離の相違や、加圧版直下付近における局部集中強圧の大きさの相違などによって、 σ_y の分布に与えられる影響が異なることによって生ずるものと思われる。

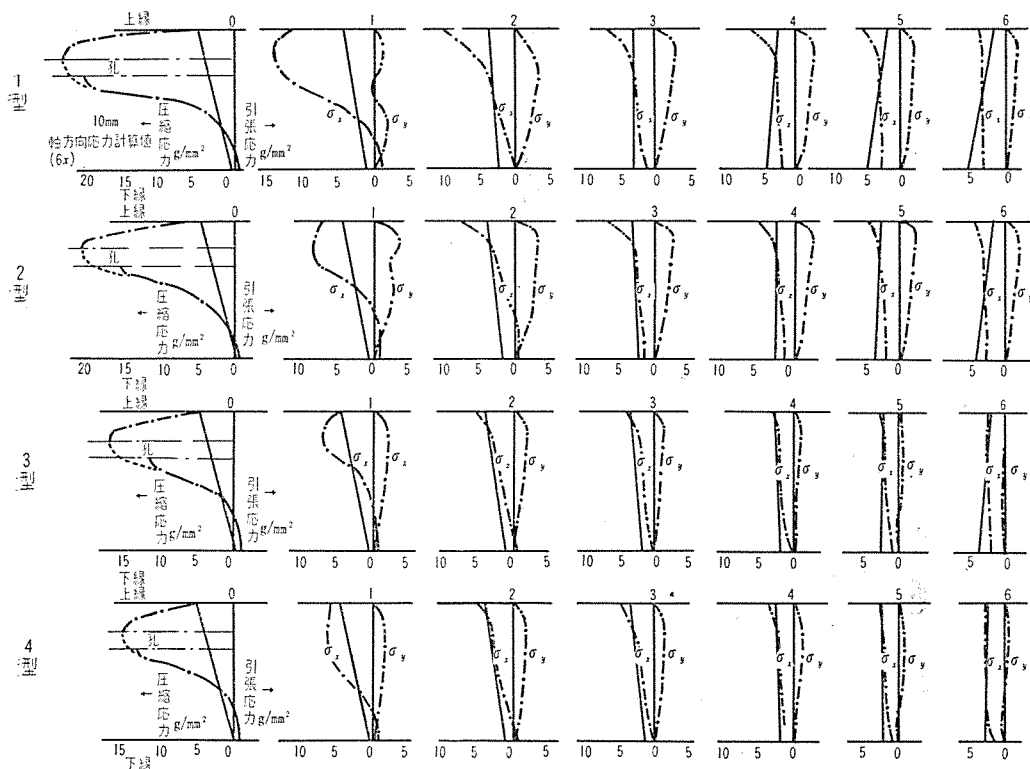
図-6 平均プレストレスとの比較



(2) 緊張材配置形状が曲線の場合

各型バリの各断面の σ_x 、および σ_y の分布は図-7 に示す。このときの各型バリの同断面の σ_x 、および σ_y の分布は前記(1)と同じ共通した増減の傾向がみられるが、この場合には σ_x の曲線状分布は大体 6 面において直線状分布となる。また、各型バリの各断面における σ_y の最大値は大体上側縁から 5 mm 以内の点に生じ、かつ、5 面と 6 面との σ_y の分布にはほとんど変化がみられない。材端表面の応力分布は前記(1)と同様に加圧版の付近に集中して大きな圧縮応力が生ずるが、緊張材配置孔の上側縁と下側縁の値は異なっている。そうして各型バリとも下側縁から約 0.3×ハリ高の所で 0 になり、かつ、その点をすぎると引張応力となる。この場合も各型バリとも同一傾向の応力分布となったが、前記(1)の場合に比較してそれほど複雑な曲線状分布とはならない。また、図-7 には各断面

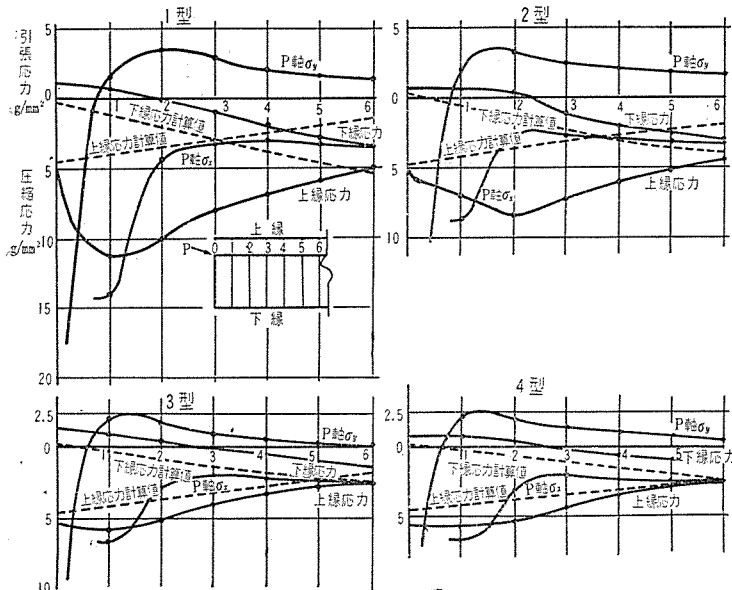
図一七 各断面の応力分布 (緊張材曲線配置)



の σ_x の計算値による分布も示してあるが、この場合には実験によって各型バリのたわみ量がそれほど大きく生じなかったため、前記 (1) の σ_x の計算式のハリのたわみ量 δ を無視した式によって求めた。この実験値および計算値による2つの σ_x の分布を比較すると、1型ハリにおいてやや大きな相違がみられるが、一般に断面の位置が5面から6面に近づくにしたがって接近してくる。いま、各型バリの材端表面に作用するプレストレスの作用位置を通る材軸と平行な面(Pとする)に生じた σ_x, σ_y

のときと異なって各型バリとも1面、および2面の間での σ_y の変化はごくわずかであるが、 σ_x は1面から2面の間において大きく変化している。縁応力の分布については、各型バリとも上側縁の場合には、計算値の分布より大きく、下側縁の場合には計算値の分布より小さくなる。そうして、実験値による上側縁の応力分布は一般に材端から約 $0.3 \times$ ハリ高の位置で最大応力値を生じ、その位置から材端に近づくにしたがって応力値は急速に減少し、その応力の減少値はハリの下部フランジ面積が大きくなるほど小さくなり、計算値による応力分布に接近してくる。また、実験値による下側縁の応力分布は各型ハリとも材端では引張りとなるが、材端から約 $0.7 \times$ ハリ高からの位置からは圧縮に変わってゆく。そうして、この下側縁の応力分布の場合には、下部フランジ面積が大きくなっても、計算値の応力分布に接近しなくなる傾向はみられない。

図一八 材軸に平行な各面の応力分布 (緊張材曲線配置)



いま、各型バリの部材中央位置 (材端から) 表一三 部材中央位置の縁応力

応力 g/mm^2	型				
	1型	2型	3型	4型	
実験値	下側縁	9.22	7.21	4.90	3.46
	上側縁	-2.00	-1.32	-0.80	-0.34
計算値	下側縁	10.22	7.39	5.8	4.59
	上側縁	-1.88	-1.09	-0.64	-0.21

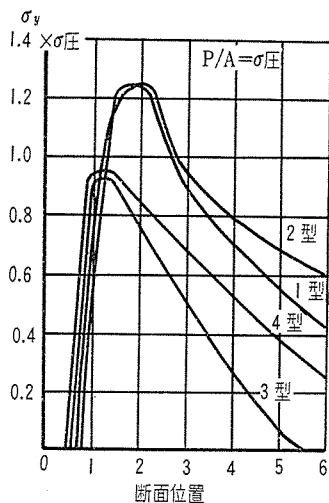
+ : 圧縮 - : 引張り

ら材長の 1/2 位置)における実験値, および計算値の縁応力を表-3 に示す。

図-9 は前記 (1) と同様の平均プレストレスと, 各型ハリにおける P 軸上の σ_y の値を比較して示す。この図表によると 1 型と 2 型とは σ_y の値の増減する傾向は同じであり, 3 型と 4 型とは同様に同じ傾向にあることが認められる。

このような各型バリの σ_y の増減の差は前記 (1) と同様の影響のほか, 緊張材配置形状が曲線であるためにプレストレス力が材軸と平行な分力と, 直角な分力とに分けられるので部材内部においてはせん断応力が生じること, ならびに同一バリであっても, 各面に作用するプレストレス力の位置の変化などの影響がいちじるしく関係して生じたものと思われるが, 今後のより以上の実験によって確かめたいと思っている。

図-9 平均プレストレスとの比較



4. 結 言

光弾性実験法による前記の実験から, 材端で緊張されたポストテンション方式 PC 材の定着域付近の各応力状態について, 次のことが判明した。

(1) σ_x の曲線状分布が直線状分布に変る断面の位置は材端からの範囲が, 緊張材直線配置の場合は $1.0 \times$ ハリ高の距離であった。

(2) 緊張材配置が直線および曲線の 2 つの場合とも, 材軸方向の最大の σ_y の分布は大体 P 軸上に生じ, かつ P 軸上の最大引張値は材端から $0.25 \times$ ハリ高から $0.4 \times$ ハリ高の範囲に生じた。また同一型のハリに, かつ大きさ等しいプレストレス力を導入する場合に緊張材直線配置より曲線配置の方が P 軸上の σ_y の分布は大きい。

(3) 緊張材曲線配置の場合には上側縁, および下側縁の σ_x の分布と計算値の分布とは, やや大きな相違がみられた。

終りに光弾性実験について日頃御指導を頂いている東京大学航空研究所の河田幸三博士に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- M. Fröcht : photo-elasticity (1949)
- 坂 静雄・六車 照 : 鋼棒使用ポストテンション型 PC の定着応力に関する研究 (日本建築学会論文報告集 55 号)
- Y. Guyon : プレストレスト コンクリート (日本語版)
- 戸塚 学 : 光弾性実験法による P.S. コンクリートの研究 (日本建築学会論文報告集 93 号)

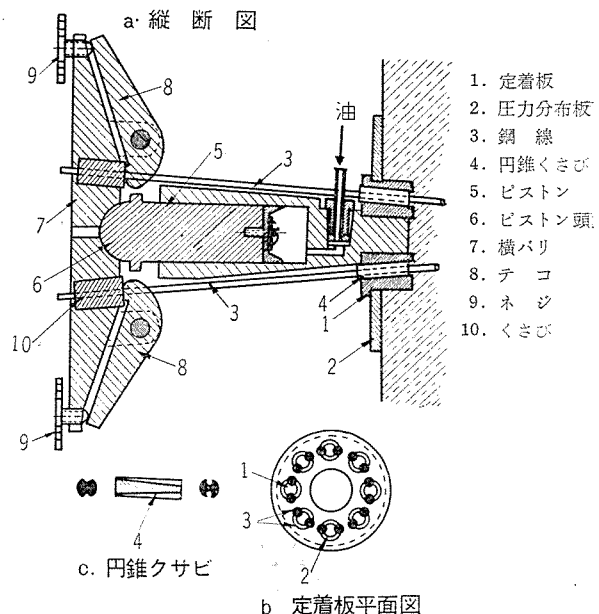
(著者 : 神奈川県工業試験所)

イ タ リ ー の P C 工 法 (Morandi)

わが国に導入されている PC 工法は, Freyssinet (フランス), Magnel (ベルギー), Leonhardt (ドイツ), BBRV (スイス), Dywidag (ドイツ), 等があるが, 欧州には, このほかにまだわが国に紹介されない多くの工法がある。その中の一つ, イタリアの Morandi 工法を紹介しよう。

鋼線を緊張するジャッキは, 図のようなもので, 円筒形くさびで定着する。緊張は 4 本ずつ同時に行なわれるので 4, 8, 12, 16 本の鋼線束を用いることができる。この工法によって床面積 1500 m^2 の食堂の屋根がローマの兵営に建設されたほか, 多くの $30 \sim 40 \text{ m}$ 程度の小支間の橋梁が施工されている。そのほかイタリアには Rinaldi 工法というのもある。

(建設省土木研究所 中村正平)



すぐれた引抜技術

最新の冷間圧延!

当社は冷間引抜PC鋼線・PC鋼より線のメーカーとして最高品質を誇っております。異形PC鋼線はわが国で唯一の最新設備、ワイヤ・コールドローリング・ミルによって造られ、次のようなすぐれた特徴をもち御好評を得ております。

- ①付着長が極めて短くなりますからブリテンション工法においても太径のPC鋼線が使用できます。
- ②さび付けしなくとも充分な付着が得られます。
- ③載荷重におけるひびわれの間隔を少なくすることが出来ます。

スズキ、PC鋼線
スズキ、PCより鋼線

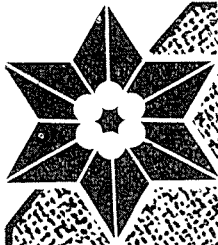
異形PC鋼線

鈴木金属工業株式会社

本社 東京都北区袋町2-1430
電話 (901) 4176 (代)

名古屋支店 名古屋市中村区新名古屋ビル南館
電話 (55) 1798

東京製網製品



PC WIRE & STRAND

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)