

## PS コンクリートの国産工法 M. D. C. によって 製作したポストテンション桁の曲げ試験報告

吉 村 善 臣  
須 川 昭

### 1. ま え が き

現在わが国で実施されている、プレストレスト コンクリートは、すべて外国で発明された工法がそのまま輸入されたものであって、残念ながら、わが国独特の国産工法はまだ発見されない。しかしながら欧米の一流国はどこでもそれぞれ独自の工法をもっていて、わが国における、このようなことはおよそ例のないことである。従ってわが国でも、国内で自由に実施することができ、かつ現在行なわれている外国工法に比較して、勝るとも劣らないような新工法は発見されないものかと、多年研究せられ、またその実現が切望されていた。その待望久しき国産工法が発見されたのである。名づけて Metallic Double Cone 工法と呼ぶ。詳細は土木学会誌第 44 巻第 6 号（昭和 34 年 6 月発行）19～26 ページを参照せられたい。

先般この工法により、実験的に矩形断面  $20 \times 50$  cm、桁長 8.0 m、支間 7.4 m の試験桁を製作し、これに対する荷重試験を、九州鋼弦コンクリート KK 山家工場において実施した。本文はその結果を報告するものである。

### 2. M. D. C. 工法の概略

まずはじめに M. D. C. 工法の概略について述べる。この工法は、引張材として PC 鋼線群を用い、 $12-\phi 5.0$  mm、 $12-\phi 7.0$  mm 等のケーブルとして利用することはフレッシュ工法と全く同様であるが、鋼線群の数は必ずしも 12 本に限定されることなく、その数は自由であり、また特に異なる点は鋼線群の定着装置にある。

PC 鋼線の定着方法は、鋼線群をこう着する金属楔を鋼線の套管内に収納し、套管と金属楔は引張力を加えることによって、さらにまた楔作用を生ずるように構成し、いわゆる二重楔作用によって鋼線群を套管にこう着し、この套管内に引張用鋼棒をねじ込み、この引張用鋼棒を介して引張力を作動させる。一方套管外側にはネジを設けて、これにナットを取りつけ、套管に引張力が加えられて、鋼線群が延伸を生じつつ套管にこう着されると、套管はそのままストレス導入母体に定着されるよう

になっている。こうして引張力の加えられた套管のナット締めによって、ストレスを母体に導入したのち、套管内部ならびにシース内にセメント注入を施してこの硬化を待ち、ナットを取りはずして、はじめてストレス導入の全作業を終るのである。

要するに金属製楔の二重楔作用により鋼線群をこう着し、B. B. R. V. 工法と同一の引張定着方法によってストレスを導入するのであって、フレッシュ工法と B. B. R. V.

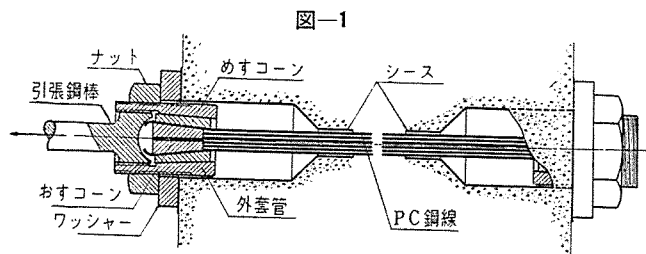
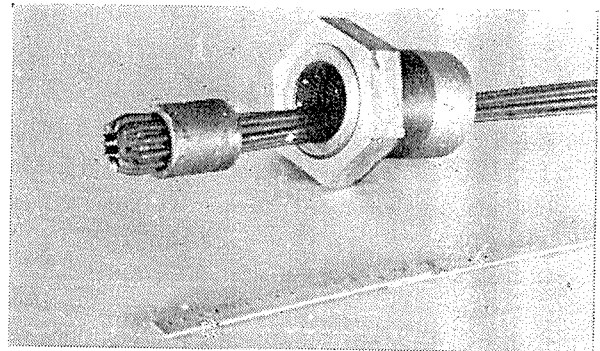
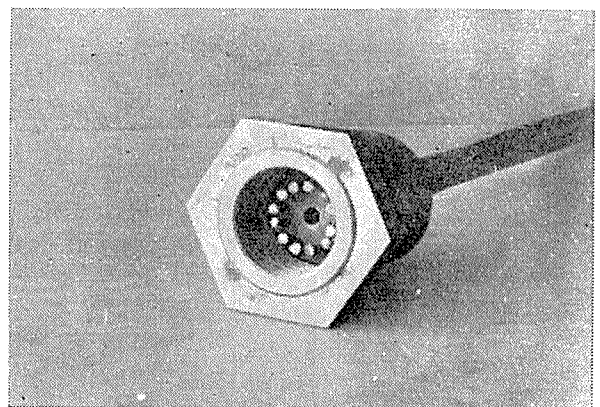


写真-1 M. D. C. 組立順序



このとき PC 鋼線の先端は写真に示すように内側に屈曲させておく

写真-2 M. D. C. 組立後の状態



この後、引張鋼棒をねじ込み、引張力を作動させる

工法との利点をあわせ備えると同時に、両工法の欠点を完全に補なって、理想的なPC鋼線定着装置を実現したものである。いまその構造詳細を図面によって示せば、図-1の左の図は引張用鋼棒をねじ込み、引張力を作動させた図、右の図は引張力の加えられた套管を母体にナット締めして引張用鋼棒を取り去った図である。

PC鋼線とその定着装置の組立順序および組立後の状態を写真-1, 2に示す。

### 3. 試験の目的および方法

M.D.C. を用いる場合のPC鋼線とコンクリートのすべりあるいはこう着性については、すでに数度の実験を行ない十分信頼できる結果を得ているので、今回はこのM.D.C. を用いて試験桁を製作し、現場工事に実用する場合の適合性を確かめ、さらにプレストレス導入によるたわみを測定した。しかるのちにシース内にグラウトを施工し、計算上のひびわれ荷重に達するまで荷重試験を行なってき裂の有無を確かめ、またたわみの測定も行ない理論値と照合した。

この試験荷重によるたわみの測定は次の2つの場合について行なった。

- 1) グラウト完了後 M.D.C. のナットを取りはずさないまま測定する。
- 2) グラウト完了後 M.D.C. のナットおよび座金を取りはずして、グラウトによるPC鋼線の付着と、コーン底部の圧縮抵抗によって、桁の曲げに抵抗しうるかどうかを検査するために、たわみを測定した。

### 4. 試験桁

試験桁は図-2に示すごとく断面  $20 \times 50$  cm の矩形断面で桁長 8.0 m, 支間 7.4 m である。その種類は 5 mm ケーブル供試体 1 本, 7 mm ケーブル供試体 1 本を製作し、ケーブル本数は前者が 3 本, 後者が 2 本である。桁中央断面の性質は表-1 のとおりである。

表-1 供試体断面の性質

種類	区分	$A$ cm <sup>2</sup>	$y_c'$ cm	$y_c$ cm	$I$ cm <sup>4</sup>	$Z_c'$ cm <sup>3</sup>	$Z_c$ cm <sup>3</sup>
5 mm ケーブル供試体	①	1000	25.0	25.0	208 300	8 330	8 330
	②	973	24.7	25.3	203 600	8 250	8 040
	③	1028	25.3	24.7	212 900	8 420	8 620
7 mm ケーブル供試体	①	1000	25.0	25.0	208 300	8 330	8 330
	②	968	24.7	25.3	205 200	8 310	8 110
	③	1037	25.3	24.7	211 500	8 360	8 570

- ① コンクリート全断面
- ② ①よりシース孔を引いたもの
- ③ グラウト完了後①にPCケーブル換算断面を加えたもの

### 5. 荷重および測定の方法

図-3のごとく試験桁の中央および両支点付近に3個のダイヤルゲージを配置して、プレストレス導入によるたわみを測定した。さらにグラウト完了後、中央に

図-3

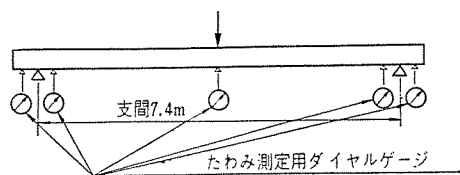
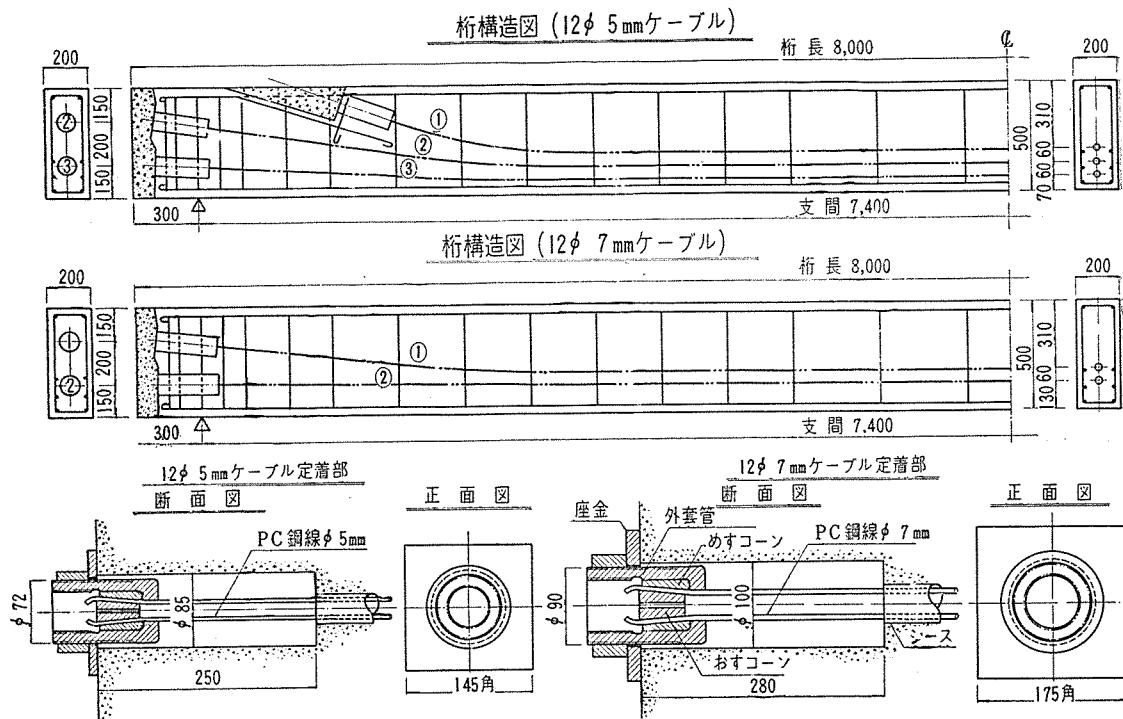


図-2



報 告

30 t オイル ジャッキを乗せて 1 点集中荷重として載荷し、この場合のたわみを測定した。

6. プレストレス、自重による曲げモーメントおよび応力度、合成応力度

(1) プレストレス導入条件

- a) PC 鋼線のレラクゼーションによる損失 5%
- b) コンクリートの 28 日圧縮強度 500 kg/cm<sup>2</sup>
- c) コンクリートのプレストレス導入強度 400 "
- d) コンクリートの弾性係数 4.0 × 10<sup>5</sup> "
- e) コンクリートのクリープ係数  $\phi = 2k$   $k = 1.25$
- f) コンクリートの乾燥収縮度  $\phi = 12.5 \times 10^{-5}$

以上の値を用いてプレストレスを計算した。

(2) PC 鋼線の緊張力

供試体区別	プレストレス導入時		終極有効値	
	kg/mm <sup>2</sup>	t/cable	kg/mm <sup>2</sup>	t/cable
5 mm ケーブル	104.3	24.6	84.38	19.9
7 mm ケーブル	94.5	43.6	76.38	35.2

(3) 自重による曲げモーメント

$$M = \frac{1}{8} \omega l^2 = \frac{1}{8} \times 240 \times 7.4^2 = 164\,000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

(4) プレストレスおよび自重による曲げ応力との合成

		M kg·cm	Z' cm <sup>3</sup>	Z cm <sup>3</sup>	プレストレス導入直後		有効	
					$\sigma'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>
5 mm 供試体	自重	164 000	8 240	8 040	+20.0	- 20.4	+20.0	- 20.4
	プレストレス		"	"	-32.0	+186.0	-25.2	+150.5
	合成				-12.0	+165.6	- 5.5	+130.1
7 mm 供試体	自重	164 000	8 310	8 110	+19.7	- 20.2	+19.7	- 20.2
	プレストレス		"	"	- 4.4	+187.0	- 3.4	+149.1
	合成				+15.3	+166.8	+16.3	+128.9

7. 設計荷重、ひびわれ荷重、破壊荷重

(1) プレストレスによる下縁応力度と荷重による曲げ下縁応力度との和が 0 になる荷重を設計荷重とする。

(2) ひびわれ荷重は下縁のコンクリートの曲げ引張応力度が 60 kg/cm<sup>2</sup> になる荷重とする。

(3) 破壊荷重は PC 鋼線の引張による破壊荷重をとる。

	区 分	曲げモーメント kg·cm	荷 重 kg
5 mm ケーブル供試体	設 計	1 122 000	6 060
	ひびわれ	1 640 000	8 870
	破 壊	3 810 000	20 600
7 mm ケーブル供試体	設 計	1 110 000	6 000
	ひびわれ	1 619 000	8 750
	破 壊	3 970 000	21 500

各荷重は中央 1 点集中荷重として計算したものである。

8. 締付応力の計算

摩擦および弾性変形による応力の損失は次の条件により計算する。

(1) 摩擦によるもの

- a) ケーブル シース間
  - 長さに対し  $\lambda = 0.004$
  - 角度変化に対し  $\mu = 0.3$

- b) ケーブルとコーンおよびジャッキ間 4%

(2) 桁の弾性ひずみによるもの

- コンクリートの弾性係数 3.5 × 10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>
- PC 鋼線の弾性係数 20.0 × 10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>

以上の値を用いて桁端部の応力および伸びを計算した値は次のとおりである。

種 別	ケーブル番号	中央部応力	桁 端 部		伸 び
			kg/cm <sup>2</sup>	t	
5 mm ケーブル	3	108.2	121.9	28.7	34.0
	2	106.2	115.7	27.3	42.0
	1	104.3	111.3	26.2	41.0
7 mm ケーブル	2	97.4	105.5	48.7	38.1
	1	94.5	100.0	46.2	36.8

注：伸びの計算は片締めによるものとし全長の伸びの値

9. 締付試験結果

締付試験結果は図-4、図-5 に示すごとく、計算値にきわめてよく一致している。総括すれば次のようである。

ケーブル番号	桁端引張力		伸 び		
	計算 t	実測 t	計算 mm	実測 mm	差 mm
5-3	26.2	26.2	41.0	40.5	-0.5
5-2	27.3	27.3	42.0	41.0	-1.0
5-1	28.7	28.7	34.0	32.5	-1.5
7-2	46.2	46.2	36.8	39.0	+2.2
7-1	48.7	48.7	38.1	41.0	+2.9

フレシナー コーンの締付けの場合等に生ずるおすコーンのすべりは、本工法の場合にはナット締めとなるのでほとんど生じない。また伸びの計算値と実測値との差は -1.5, +2.9 mm であったが、これは摩擦係数の値、特にジャッキ間およびジャッキとコーンの間の摩擦係数の値の誤差によるものと思われる。

10. ケーブル緊張によるたわみおよび試験結果との比較

(1) プレストレスによるたわみの計算には PC ケーブル巻上げによる曲げモーメントの変化を考慮して、弾性荷重の方法によりたわみを計算した。この結果は図-6 に示す。

(2) 自重によるたわみ

図-4 締付試験

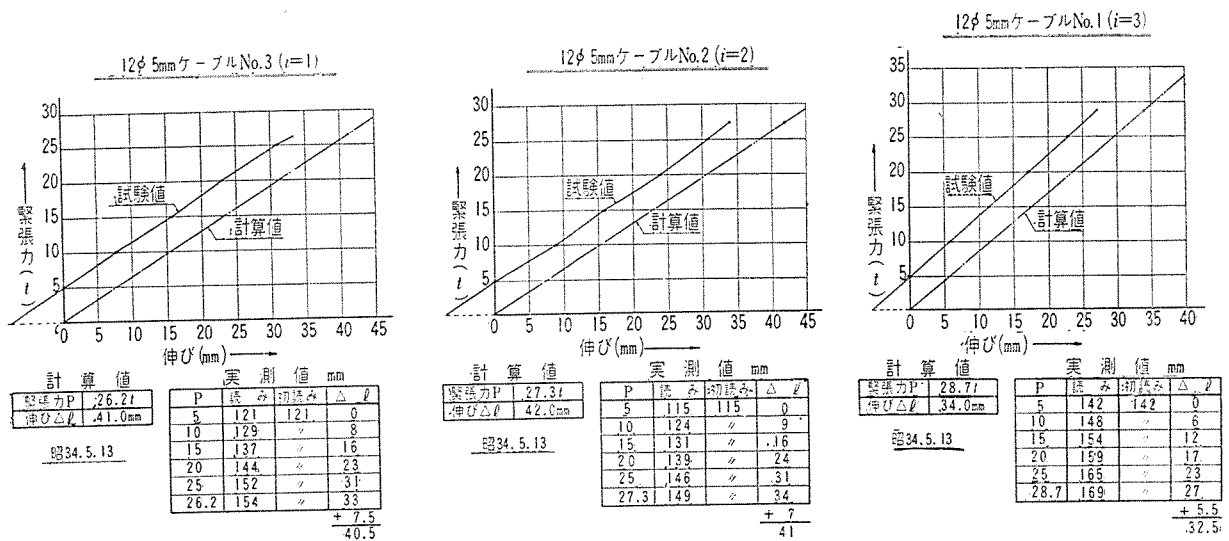


図-5 同 上

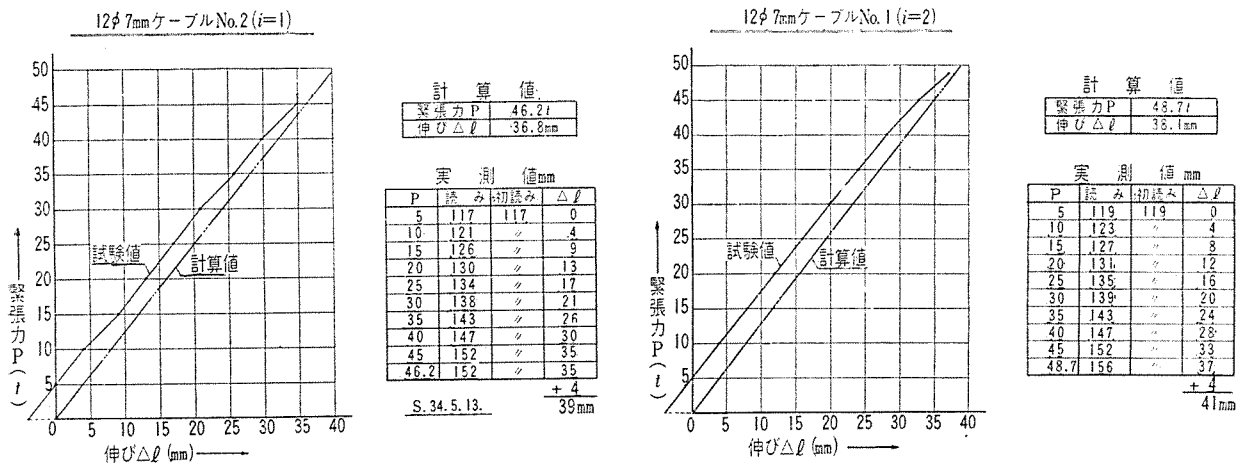
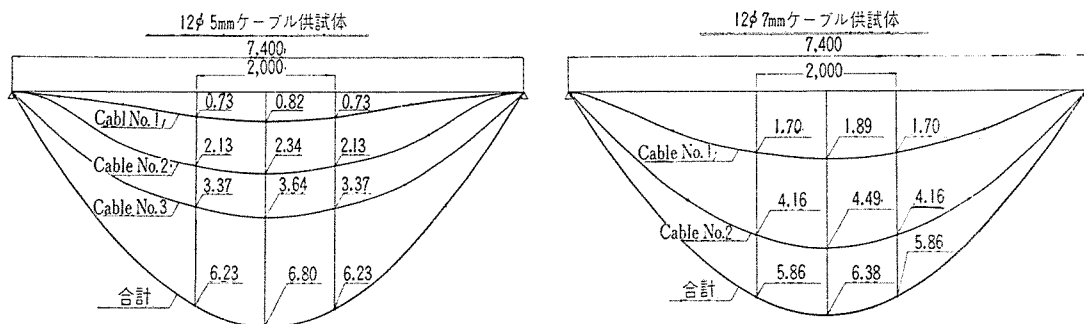


図-6 プレストレスによるたわみ (たわみ単位 mm)



中央点

$M=164\ 000\ \text{kg}\cdot\text{cm}$  たわみ係数  $C=9.6$

$$\delta = \frac{ML^2}{CEI} = \frac{164\ 000 \times 740^2}{9.6 \times 400\ 000 \times 203\ 650} = 0.115 = 1.15\ \text{mm}$$

(3) 試験値との比較

プレストレス導入によるたわみの測定は支間を 7.4 m とし、支点位置のダイヤルゲージすえつけは困難であるため、支点より各 12, 15 cm 外側にすえつけてたわみ

の測定を行なった。その結果は 図-7, 8 のとおりである。もちろんこの値は自重と合成されたものである。桁中央点におけるたわみを計算値と実測値について比較すると次のとおりである。

区 分	計 算 値			実 測 値	差
	プレストレス	自 重	合 成		
5 mm 供試体	6.80 mm	1.15 mm	5.65 mm	6.05 mm	0.40 mm
7 mm 供試体	6.38 "	1.15 "	5.23 "	8.55 "	3.32 "

図-7 12φ5mm 供試体ケーブル緊張によるたわみ

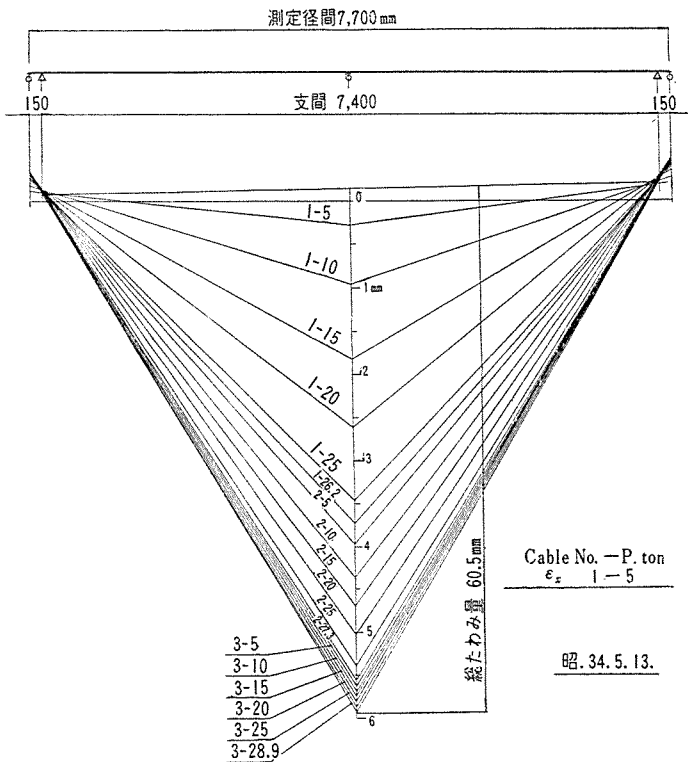
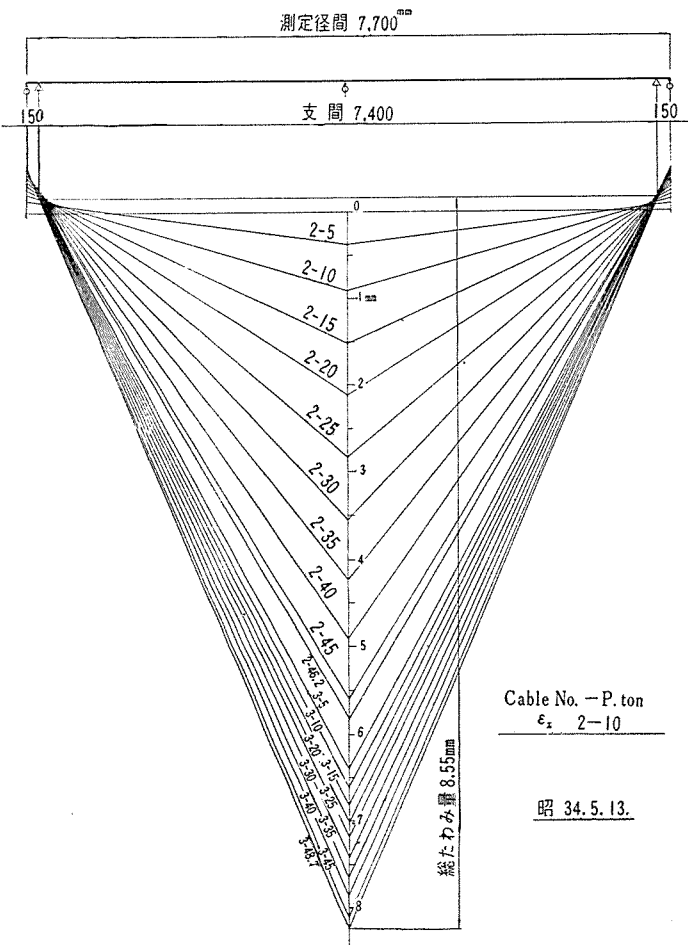


図-8 12φ7mm 供試体ケーブル緊張によるたわみ



計算値との誤差は、5 mm ケーブル供試体では 0.40 mm であり、7 mm ケーブル供試体では 3.32 mm であった。プレストレスによるたわみは供試体の導入時の材令、すなわち弾性係数に非常に大きな関係があり、本試験では材令の古い 5 mm 供試体では、割合によく合っているが、材令の若い 7 mm 供試体では誤差が大きかった。

### 11. 荷重試験

ケーブル緊張試験完了後シース間にグラウトを施工し、30 t 油圧ジャッキを用いて荷重をかけ、前と同様なたわみの測定を行なった。この場合も支間は 7.4 m とし、ダイヤルゲージ 3 個を用い、桁中央点 および 左右支間の内側それぞれ 28 cm の点に配置した。積載範囲はひびわれ荷重までとした。すなわち 1 点集中荷重で

5 mm 供試体 8 870 kg (9.0 t まで載荷)

7 mm 供試体 8 840 kg ( " )

である。

#### (1) 集中荷重によるたわみの計算値

$$\delta = \frac{Ml^2}{CEI} \text{ たわみ係数 } C=12 \quad M = \frac{Pl}{4} = 185 P$$

$$= \frac{185 \times 740^2 P}{12 \times 400\,000 \times 212\,960} = 0.0991 P \text{ cm/t}$$

#### (2) 実測値

荷重によるたわみの実測はコーンのナットを締付けたまま 3 回行ない、次にコーンのナットを取りはずして、PC 鋼線とグラウトおよびコーン部とグラウトの付着によって、プレストレスを伝達させて載荷試験を 3 回行なった。その結果はいずれの場合も計算値とよく合致している。試験結果の代表的なものを 図-9, 10 に示す。またひびわれ荷重の計算値はそれぞれ 8 870 kg および 8 840 kg であるが、各供試体とも実際には 9 t まで載荷したが肉眼によるひびわれは全然発見されなかった。以上の試験結果が示すように、たわみの点からも、またひびわれの点からも、なんら大きな変化が認められないことから推察して、グラウト完了後ナットを取りはずして回収しても、実用上支障がないことが判明した。

### 12. むすび

以上、M.D.C. 工法によりプレストレスを導入する方法に関し、実際に桁を製作してストレスを導入し、さらにこの桁に試験荷重を施して、そのたわみを測定した結果について述べたが、試験設