

## 実桁定着部のプレストレス導入時のひずみについて

橋 口 隆\*  
入 江 晃 弘\*

## 1. はじめに

新潟市と新発田市を結ぶ新新バイパスは、海老ヶ瀬 IC～東港 IC 間を供用（一部、暫定 2 車線供用：昭和 63 年末現在）しており、現在、競馬場 IC～蓮野 IC 間の完成 4 車線化および蓮野 IC～新発田 IC 間の暫定 2 車線供用に向け施工中（昭和 63 年末現在）である（図—1 参照）。

その新新バイパスの豊栄 IC 橋の主桁（中央径間）の定着工法として、アメリカで開発された「アンダーソン工法」が採用された。

この工法は、鋼製ソケット（めすコーン）とアルミニウム合金プラグ（おすコーン）、定着具背面補強用のスパイラル筋（異形 PC 鋼棒：SBPD 130/145）からなるくさび形式 PC 定着工法である。

アンダーソン工法は、土木学会で 2 年にわたり（昭和 59 年 5 月～昭和 61 年 4 月）調査研究がなされ、その成果が土木学会コンクリート・ライブラリー第 60 号「アンダーソン工法設計施工要領（案）」として刊行されている。

土木学会における定着部の調査は、定着具を含む角柱体（定着具の最小縁辺距離の 2 倍を一边とした正方形断面をもち、定着具背面から一边の 2 倍以上の長さを確保したもの）による載荷試験を中心としたものであった。

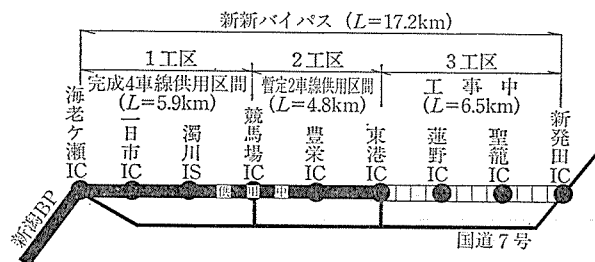
実桁定着部では、定着部モデル実験の場合に比べて各定着具に載荷される荷重（導入緊張力）は小さいものの、同一定着面に数個の定着具を定着する（以下、群定着という）ため定着部相互の影響や、プレストレス導入に伴って生じる支点反力の影響等も受ける。今回、以上のようなことを考慮してプレストレス導入時に定着部周辺のひずみ測定を行ったので、その結果をここに報告する。

## 2. 工事概要および調査概要

## 2.1 工事概要

工事名称：豊栄 IC 橋上部製作工事  
工事箇所：新潟県豊栄市木崎切尾山  
道路規格：第 3 種第 1 級

\* ピーシー橋梁（株）技術本部技術部



図—1 新新バイパス概略図

橋梁等級：1 等橋 (TL-20, TT-43)

橋梁形式：ポストテンション方式 PC 単純 T 桁 (3 連)

橋 長：87.0 m (23.35+37.8+23.35)

幅 員：総幅員 21.5 m, 車道幅員 2 @ 9.5 m

## 2.2 調査概要

定着部周辺のスパイラル筋・グリッド筋・橋軸方向鉄筋・スターラップ筋にひずみゲージを貼り、プレストレス導入時のひずみを測定し、モデル実験値との比較を行った。

調査対象は、実桁の C1・C3・C5 ケーブルとし、C3 ケーブルについて重点的に調査し、C1・C5 ケーブルについて補助的に行った。

以下に調査した項目を示す。

1. ソケットのめり込み量
2. スパイラル筋のひずみ
3. グリッド筋のひずみ
4. 橋軸方向鉄筋のひずみ
5. スターラップ筋のひずみ

ひずみゲージは、スパイラル筋に 36 か所、グリッド筋に 6 か所、橋軸方向鉄筋に 10 か所、スターラップ筋に 18 か所設置した。

## 3. 調査報告

## 3.1 調査の目的

実桁定着部では、モデル実験の場合に比べて各定着具に載荷される荷重は小さいが、群定着による他の定着部荷重（緊張力）の影響やプレストレス導入に伴って生じる支点反力の影響等が加味される。それで、アンダーソン工法によるプレストレス導入時に定着部周辺のひずみ

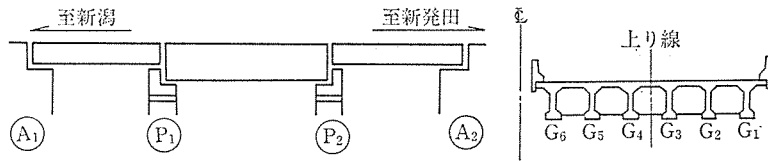


図-2 調査対象概略図

表-1 主桁のコンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの目標値 (cm)	空気量の目標値 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 $S/a$ (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 $W$	セメント $C$	細骨材 $S$	粗骨材 $G$	混和材ポゾリス No. 70
25	8±2.5	4.0±1	38	34.8	155	408	607	1 171	1.28

表-2 打設時コンクリート諸元

スランブ	空気量	温度
8.5 cm	4.5%	17.0°C

表-3 荷重ステップ

ステップ番号	緊張ケーブル	緊張力 (tf)	マンメータの読み (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	C 1	0	0
2		15	50
3		30	100
4		45	150
5		60	200
6		75	250
7		90	300
8		105	350
9		120	400
10		141	470
11	C 2	0	0
20		144	480
21	C 3	0	0
30		138	460
31	C 4	0	0
40		129	430
41	C 5	0	0
50		129	430

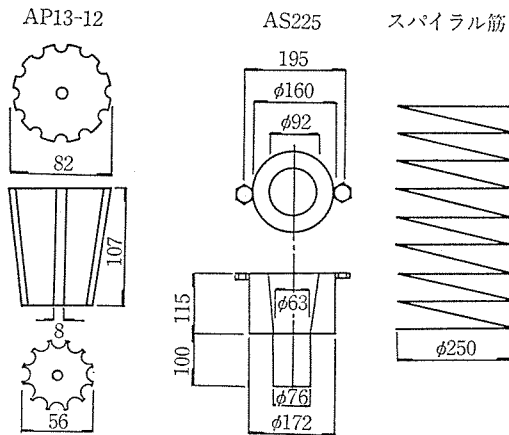


図-3 ソケット・プラグの形状寸法

測定を行い、定着部モデル実験値と比較検討し、実桁におけるアンダーソン工法定着部の健全性、およびスパイラル筋による補強効果について確認するものである。

### 3.2 調査対象

今回測定を行ったものは、中央径間 ( $P_1 \sim P_2$ ) の上り線  $G_2$  桁の新発田市 ( $P_2$ ) 側定着部である。調査対象概略図を 図-2 に示す。

また、桁に使用された材料の諸元は、以下のとおりである。

#### (1) コンクリート配合

設計基準強度は、 $\sigma_{28} = 400 \text{ kgf/cm}^2$  で、主桁のコンクリート配合を 表-1、コンクリート打設時の諸元を表-2 にそれぞれ示す。

#### (2) PC 鋼材

PC 鋼材は、JIS G 3536 SWPR 7 A 12  $\phi$  12.4 mm を使用した。

#### (3) 定着具

定着具は、ソケット：AS 225、プラグ：AP 13-12 お

よびスパイラル筋：径 11.1 mm (50 mm ピッチで 8 巻) を使用した。それぞれの形状寸法を 図-3 に示す。

### 3.3 測定実施状況

測定実施時の状況は、以下のとおりである。

場 所：新潟県豊栄市木崎切尾山

豊栄 IC 橋 桁製作ヤード内

実施日：昭和 62 年 11 月 24 日

プレストレス導入時のコンクリート強度は、 $\sigma_6 = 400 \text{ kgf/cm}^2$  であった。

測定は、すべてプレストレス導入時に行い、その時の載荷荷重ステップは、15 tf ピッチ (引張装置マンメータの読みで  $50 \text{ kgf/cm}^2$  毎) および緊張管理グラフで決定



写真-1



写真-3

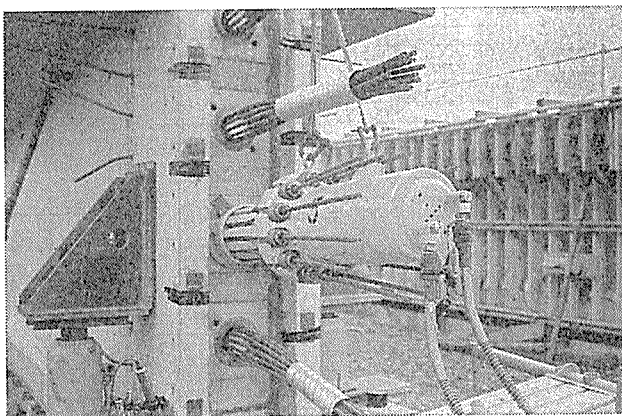


写真-2

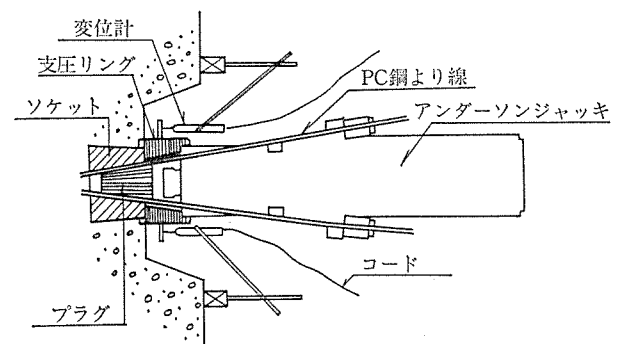


図-4 ソケットのめり込み量測定状態図

した最終緊張力とした。表-3 に荷重ステップを示す。また、桁端配筋状態および測定状況を写真-1, 2, 3に示す。

### 3.4 調査内容および結果

#### 3.4.1 ソケットのめり込み量

緊張作業時には支圧リングがソケットを覆ってしまうため、直接めり込み量を測定することができない。そこで、各ケーブル緊張時に支圧リングと周辺コンクリート表面の変位差を測定し、これをソケットのめり込み量とした(図-4 参照)。測定の結果、めり込み量の最大値は、C5ケーブルの0.45mm ( $P=129.0$ tf)であった。

コンクリート強度、部材厚、周辺の鉄筋量さらに施工精度(端面形成)の影響等があるため、めり込み量が何mmまでなら良いとの判定はできないが、荷重-変位曲

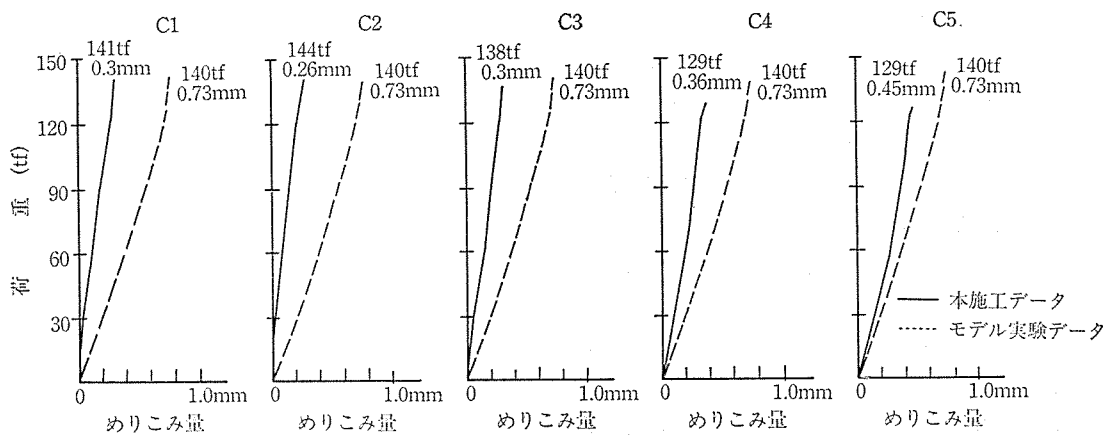


図-5 ソケットのめり込み量

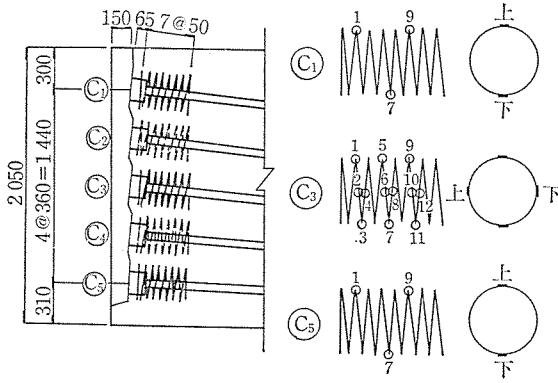


図-6 スパイラル筋のひずみ測定位置

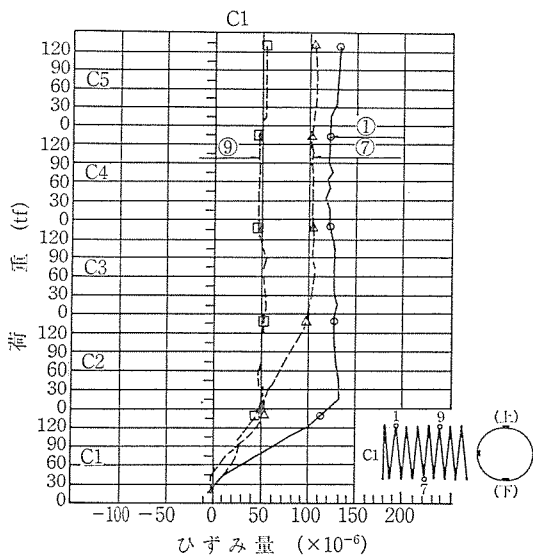


図-7 C1 ケーブルスパイラル筋ひずみ量

線（図-5 参照）は直線的傾向の範囲内にあり、モデル実験値と比べても小さな値であるため、十分健全な状態であることを確認した。

またこのとき、表面ひび割れの発生は見られなかった。

### 3.4.2 スパイラル筋のひずみ

各ケーブル毎に定着部補強のため配置されている異形PC 鋼棒スパイラル筋のうち、C1、C3、C5ケーブルについてスパイラル筋のひずみ測定を行った。スパイラル筋ひずみ測定位置を 図-6、C1、C3、C5ケーブルのスパイラル筋のひずみ測定結果をそれぞれ表-4、5、6 および 図-7、8、9 に示す。

スパイラル筋のひずみ量は、最大でも  $200 \times 10^{-6}$  に達しておらず、この値は、スパイラル筋に用いられている材料 (SBPD 130/145) の降伏点の約 3% 程度であった。モデル実験（背面支圧の最も厳しい AS 125 のデータ）では、 $0.6 P_u$  でのひずみが  $240 \times 10^{-6}$ 、 $0.7 P_u$  では  $500 \times 10^{-6}$  程度であったが、豊栄 IC 橋においては、

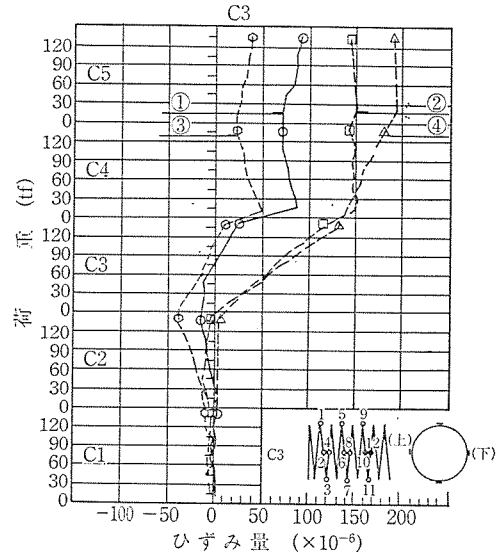


図-8 (1)

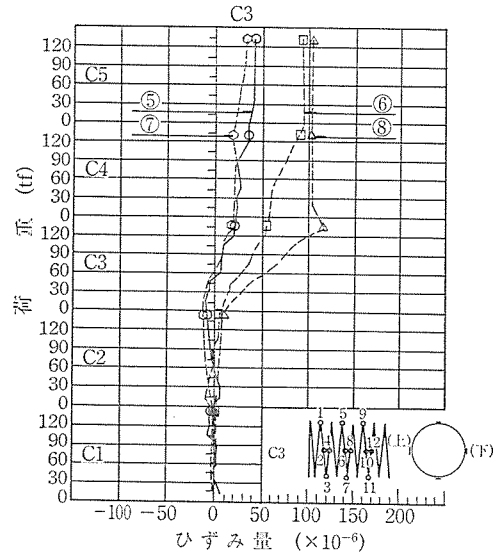


図-8 (2)

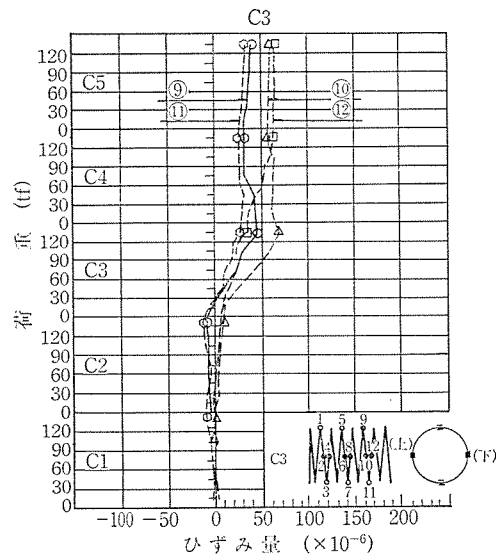


図-8 (3)

図-8 C3 ケーブルスパイラル筋ひずみ量

表-4 C1ケーブルスパイラル筋ひずみ量

STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )

荷重ステップ		10		20		30		40		50	
緊張力 (tf)		141 (C1)		144 (C2)		138 (C3)		129 (C4)		129 (C5)	
C1ケーブル	測点①	250	115	298	125	296	122.5	295	120.5	301	128.5
		-20		-48		-51		-54		-44	
	測点⑦	34	51.5	49	100	48	106	44	103	50	106
		69		151		164		162		162	
	測点⑨	-1	46.5	1	51	-4	45	-6	41.5	5	52.5
		94		101		94		89		100	

表-5 C3ケーブルスパイラル筋ひずみ量

STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )

荷重ステップ		10		20		30		40		50	
緊張力 (tf)		141 (C1)		144 (C2)		138 (C3)		129 (C4)		129 (C5)	
C3ケーブル	測点①	6	1.5	6	-15.5	11	24.5	-6	69.5	-4	87
		-3		-37		38		145		178	
	測点②	1	-7.5	-2	-2	15	115	3	143.5	3	146.5
		-16		-2		215		284		290	
	測点③	6	-1.5	4	-38	1	13	-9	23.5	-4	40.5
		-9		-80		25		56		85	
	測点④	-1	-0.5	-1	4.5	1	129.5	8	182.5	10	187.5
		0		10		258		357		369	
	測点⑤	0	-4	9	-12.5	17	20	8	33	19	51
		-8		-34		23		58		83	
	測点⑥	-1	0.5	0	8.5	11	116.5	4	102	5	103.5
		2		17		222		200		202	
	測点⑦	6	-4.5	4	-18.5	10	19	10	21.5	12	32.5
		-15		-41		28		33		53	
測点⑧	3	0.5	-1	6.5	-4	56.5	4	92.5	8	96	
	-2		14		117		181		184		
測点⑨	2	-3.5	5	-7.5	13	44.5	7	32.5	14	44	
	-9		-20		76		58		74		
測点⑩	-4	0.5	-1	14.5	15	72	11	59.5	12	64.5	
	5		30		129		48		117		
測点⑪	2	-4	4	-11	11	32.5	0	29.5	12	36	
	-10		-26		54		131		60		
測点⑫	3	-1	-1	6	-6	38.5	-3	63.5	2	70.5	
	-5		13		83		130		139		

表-6 C5ケーブルスパイラル筋ひずみ量

STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )

荷重ステップ		10		20		30		40		50	
緊張力 (tf)		141 (C1)		144 (C2)		138 (C3)		129 (C4)		129 (C5)	
C5ケーブル	測点①	7	1	3	-0.5	4	0	6	9	38	173.5
		-5		-4		-4		12		309	
	測点⑦	-5	-5.5	-7	-9.5	-9	-12	-15	-14	4	51
		-6		-12		-15		-13		98	
	測点⑨	-6	-5.5	1	-4.5	-6	-7.5	3	10.5	40	87.5
		-5		-10		-9		18		135	

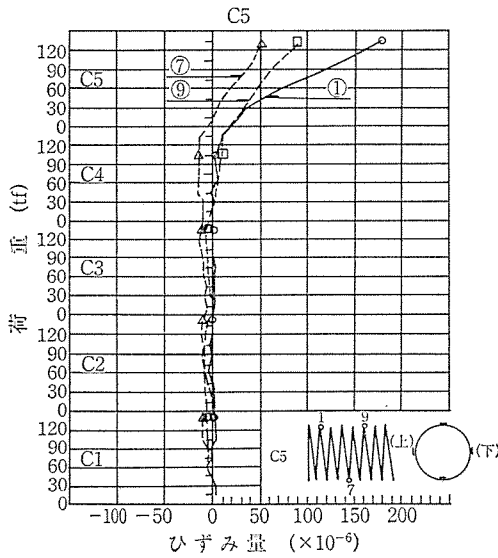


図-9 C5 ケーブルスパイラル筋ひずみ量

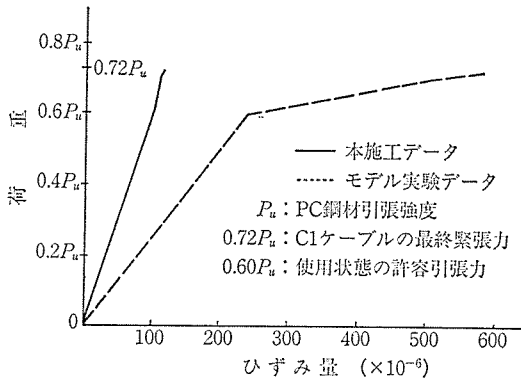


図-10 スパイラル筋ひずみ量 (モデル実験値との比較)

0.6  $P_u$  が  $100 \times 10^{-6}$  しかなくモデル実験値の約 40% のひずみ量であった。図-10 にモデル実験値と比較したグラフを示す。

また、今回の測定で得た定着部周辺の挙動について以下に述べる。

- 1) C1 ケーブルの⑦点でC2 ケーブル緊張時に引張ひずみが増大した。これは、⑦点がC2 ケーブルに近い下側に位置しているため、C2 ケーブル緊張による周辺コンクリートのひずみが⑦点に加味されたものと考えられる (図-7 参照)。
- 2) C3 ケーブルのスパイラル筋にC3 ケーブル緊張前に上下では引張ひずみ、左右では圧縮ひずみが生じている。これは、C1, C2 ケーブル緊張によって生じた支点反力により、コンクリート断面に鉛直方向圧縮ひずみが生じたためであり、同時に水平方向引張ひずみも生じているのがわかる (図-8 (1) 参照)。

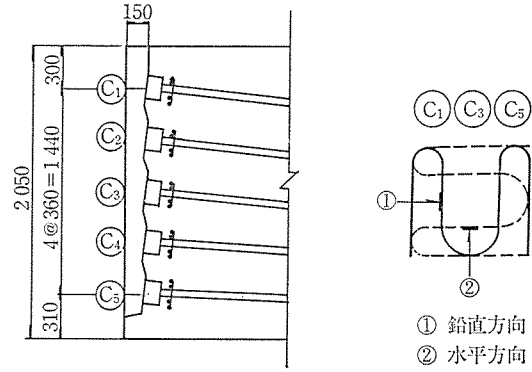


図-11 グリッド筋ひずみ測定位置

表-7 グリッド筋ひずみ量

		STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )				
荷重ステップ		10	20	30	40	50
緊張力 (tf)		141 (C1)	144 (C2)	138 (C3)	129 (C4)	129 (C5)
C1 ケーブル	測点①	88	73	65	60	60
	測点②	132	156	150	153	152
C3 ケーブル	測点①	6	21	120	114	118
	測点②	-14	-2	32	9	28
C5 ケーブル	測点①	9	21	1	-1	176
	測点②	-7	-2	0	3	178

なお、緊張時から桁架設までの支点反力は、C3 ケーブルの上下にアンカーを取ったブラケットにより受けている。

- 3) C1, C3 ケーブルのスパイラル筋で、ソケット背面に近い位置の引張ひずみが、次のケーブル (C2, C4) 緊張までに増加している。これは、プラグの定着により、支圧面が支圧リングからソケットの背面に移ったこと、および定着によりソケットの円周方向の引張ひずみ (ふくらみ) が生じたためと思われる (図-7, 図-8 (1) 参照)。

### 3.4.3 グリッド筋のひずみ

グリッド筋は、ソケットの背面から約 10 cm の位置にあり、ひずみゲージをC1, C3, C5 ケーブルのシースに近い鉄筋のソケット背面と向かい合う面に貼り付け測定した。グリッド筋のひずみ測定位置を 図-11 に、測定結果を 表-7 および 図-12 に示す。

グリッド筋に引張ひずみが生じていることは、この位置が割裂域内にあることを示していることがわかるが、ひずみ量としては、最大  $180 \times 10^{-6}$  程度であった (図-12 参照)。

スパイラル筋で囲まれた部分のコンクリートは、周辺拘束により強度・剛性が大きくなり、引張応力の発生が抑制される。また、スパイラル筋のひずみも小さいことから、荷重に対する周辺拘束も大きく、今回の桁では、スパイラル筋の補強のみで十分だったと思われる。

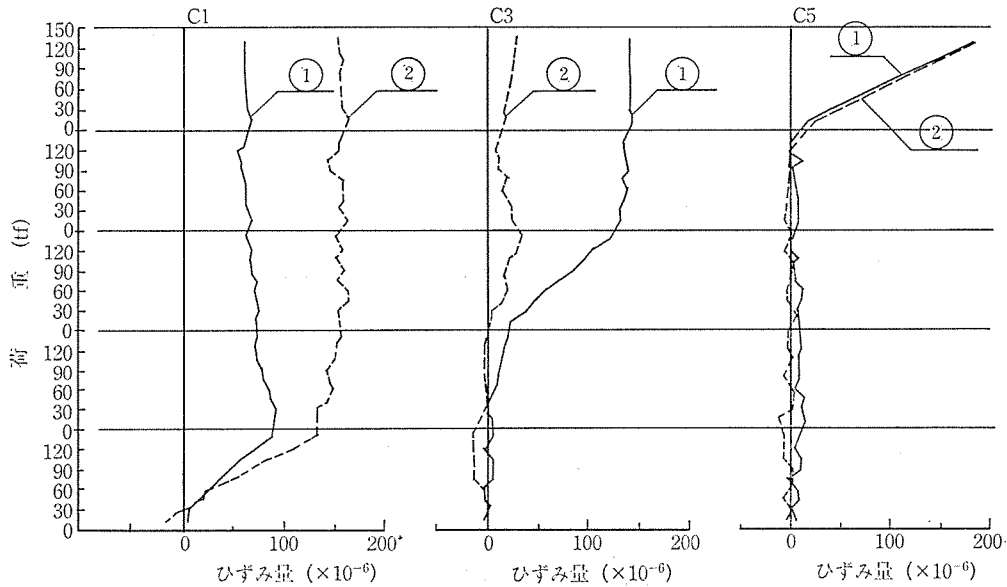


図-12 グリッド筋ひずみ量

3.4.4 橋軸方向鉄筋のひずみ

C1, C3, C5 ケーブルの左右に長さ 1 m の鉄筋を橋軸方向に配置し、鉛直方向圧縮力に伴う曲げの影響がでないよう、鉛直断面下側にひずみゲージを貼り付け測定した。橋軸方向鉄筋のひずみ測定位置を 図-13、測定結果を表-8 および 図-14 に示す。

橋軸方向鉄筋に生じた圧縮ひずみは、同位置のコンクリートひずみとほぼ同じと考えられる。

鉄筋のひずみ量からコンクリートの応力度 ( $\sigma_c$ ) を算出すると以下ようになる (ただし、コンクリートのヤング係数を  $E_c=3.25 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  とする)。

- ・ C1 ケーブルのソケット背面 8 cm の位置で  
 C1 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 28 \text{ kgf/cm}^2$   
 C5 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 36 \text{ kgf/cm}^2$
- ・ C3 ケーブルのソケット背面 8 cm の位置で  
 C3 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 42 \text{ kgf/cm}^2$   
 C5 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 44 \text{ kgf/cm}^2$
- ・ C3 ケーブルのソケット背面 33 cm の位置で  
 C3 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 66 \text{ kgf/cm}^2$   
 C5 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 80 \text{ kgf/cm}^2$
- ・ C5 ケーブルのソケット背面 8 cm の位置で  
 C5 ケーブル緊張直後  $\sigma_c \approx 42 \text{ kgf/cm}^2$

設計計算上のプレストレス導入直後における支点断面のコンクリート応力度は、桁上縁で  $29.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、桁下縁で  $69.9 \text{ kgf/cm}^2$  となっている。

ここでプレストレスの分布状態を考えると、ソケット背面 8 cm の位置ではウェブ側表面にあまり分布していない。また、ソケット背面 33 cm の位置ではウェブ側表面に達しているものの、鉛直方向の全断面には分布して

図-13 橋軸方向鉄筋のひずみ測定位置

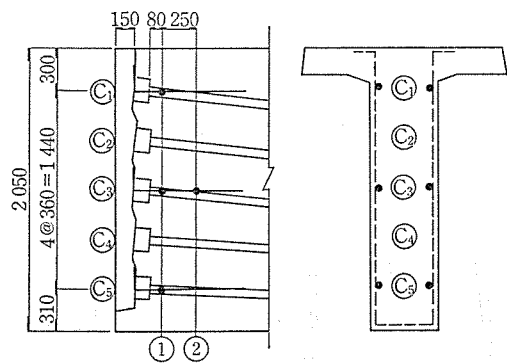


表-8 橋軸方向鉄筋ひずみ量

荷重ステップ		STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )				
		10	20	30	40	50
緊張力 (tf)		141 (C1)	144 (C2)	138 (C3)	129 (C4)	129 (C5)
C1 ケーブル 測点①	左	-70	-108	-117	-109	-105
	右	-103	-124	-122	-132	-119
C3 ケーブル 測点①	左	-5	-20	-135	-226	-142
	右	2	-32	-124	-123	-128
C3 ケーブル 測点②	左	-13	-68	-198	-226	-234
	右	-20	-78	-212	-246	-253
C5 ケーブル 測点①	左	9	8	2	-12	-120
	右	-2	1	-4	-27	-141

いないと推定でき、アンダーソン工法定着具の応力伝達も通常の分布と同様に考えれば良いことがわかる。測定値と応力分布の仮定状態を 図-15 に示す。

3.4.5 スターラップ筋のひずみ

桁端のスターラップ筋 (5本) の内側にひずみゲージを貼り付け測定した。スターラップ筋のひずみ測定位置

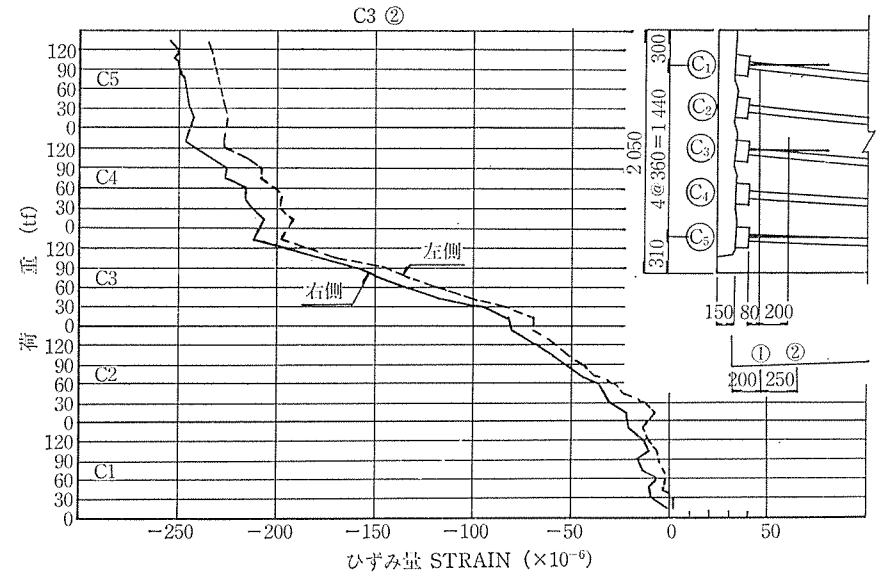
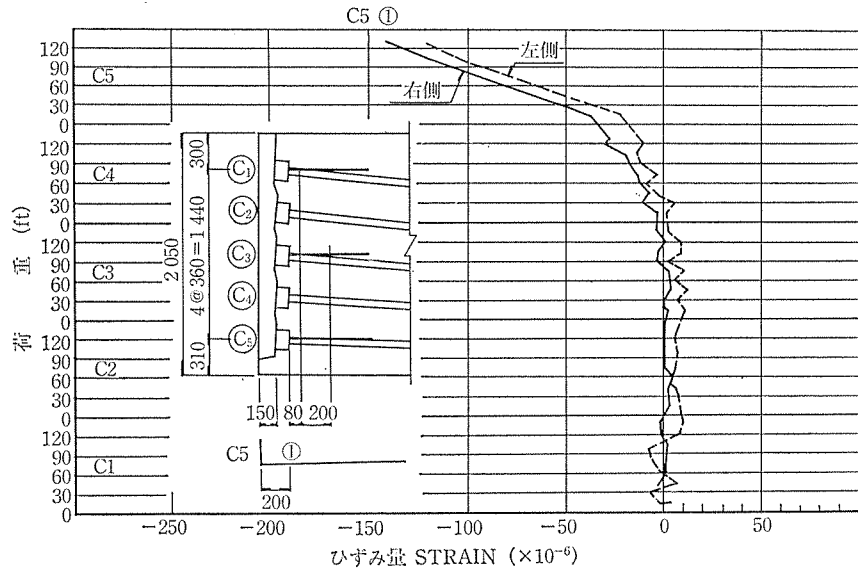
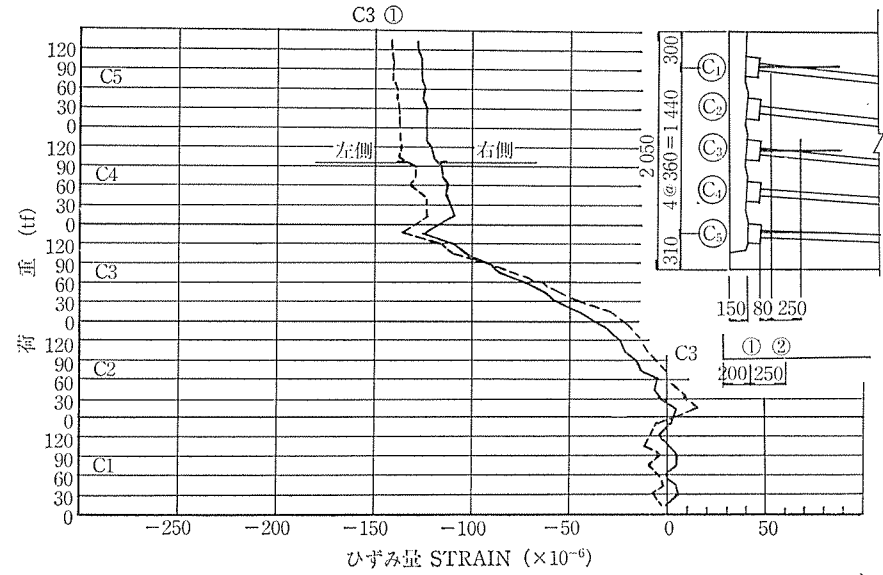
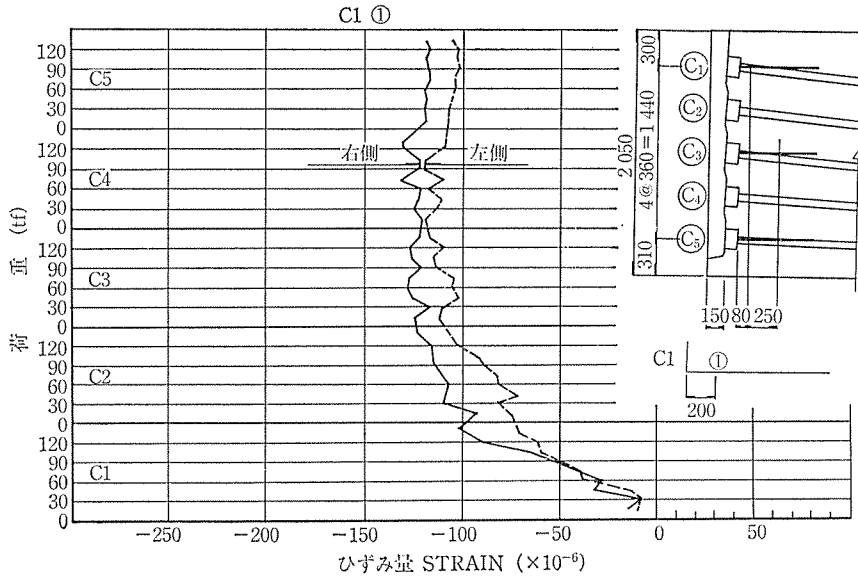


図-14 橋軸方向鉄筋ひずみ量



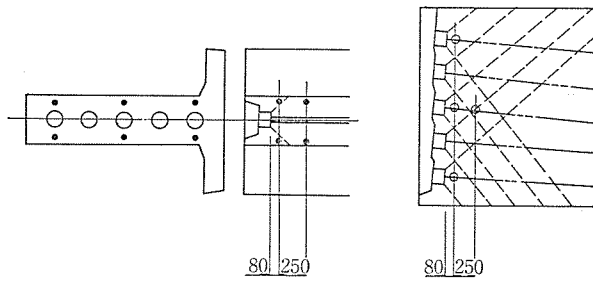


図-15 測定値と応力分布の仮定状態

を 図-16, 測定結果を 表-9 および 図-17 に示す。  
ひずみゲージの測定位置には鉛直圧縮の影響と水平方向の引張ひずみによる影響が考えられるが、その絶対量が小さい ( $+60 \times 10^{-6} \sim -120 \times 10^{-6}$ ) ことから問題はないと思われる。また、モデル実験値と比較しても今回の

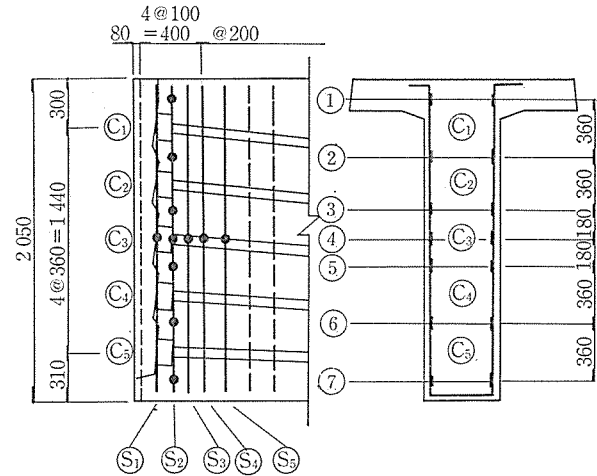


図-16 スターラップ筋のひずみ測定位置

表-9 (1) S 2 スターラップ筋のひずみ

STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )

荷重ステップ		10		20		30		40		50	
緊張力 (tf)		141 (C 1)		144 (C 2)		138 (C 3)		129 (C 4)		129 (C 5)	
測点 ①	左	12	7.5	10	6	2	-4	-4	-7	10	1.5
	右	3		2		-6		-10		-7	
測点 ②	左	-10	-24.5	-37	-53.5	-38	-55	-40	-58.5	-25	-40
	右	-39		-70		-72		-77		-55	
測点 ③	左	-3	-11	-72	-80	-101	-106.5	-119	-116.5	-78	-83.5
	右	-19		-88		-112		-114		-89	
測点 ④	左	3	-0.5	-20	-23	-29	-24.5	-8	5.5	32	42.5
	右	-4		-26		-20		19		53	
測点 ⑤	左	-8	-4.5	-7	-4.5	-51	-45.5	-41	-40	-20	-12.5
	右	-1		-2		-40		-47		-5	
測点 ⑥	左	0	-4.5	4	-1	-51	-45.5	-33	-40	-4	-12
	右	-9		-6		-40		-47		-20	
測点 ⑦	左	-4	-9.5	-2	-6.5	-10	-12	-16	-17.5	3	-1
	右	-15		-11		-14		-19		-5	

表-9 (2) 測点④におけるスターラップひずみ量

STRAIN ( $\times 10^{-6}$ )

荷重ステップ		10		20		30		40		50	
緊張力 (tf)		141 (C 1)		144 (C 2)		138 (C 3)		129 (C 4)		129 (C 5)	
S 1	左	19	11.5	-18	-17	-101	-104.5	-119	-116.5	-23	-27.5
	右	4		-16		-108		-114		-32	
S 2	左	3	-0.5	-20	-23	-29	-24.5	-8	5.5	32	42.5
	右	-4		-26		-20		19		53	
S 3	左	-11	-11	-29	-43.5	-18	-29.5	-32	-32	-26	-22
	右	-11		-58		-41		-32		-18	
S 4	左	-8	-13.5	-18	-18	33	33	28	29	39	41
	右	-19		-18		33		30		43	
S 5	左	-11	-12	-13	-13.5	31	31	32	31.5	33	34
	右	-13		-14		31		31		35	

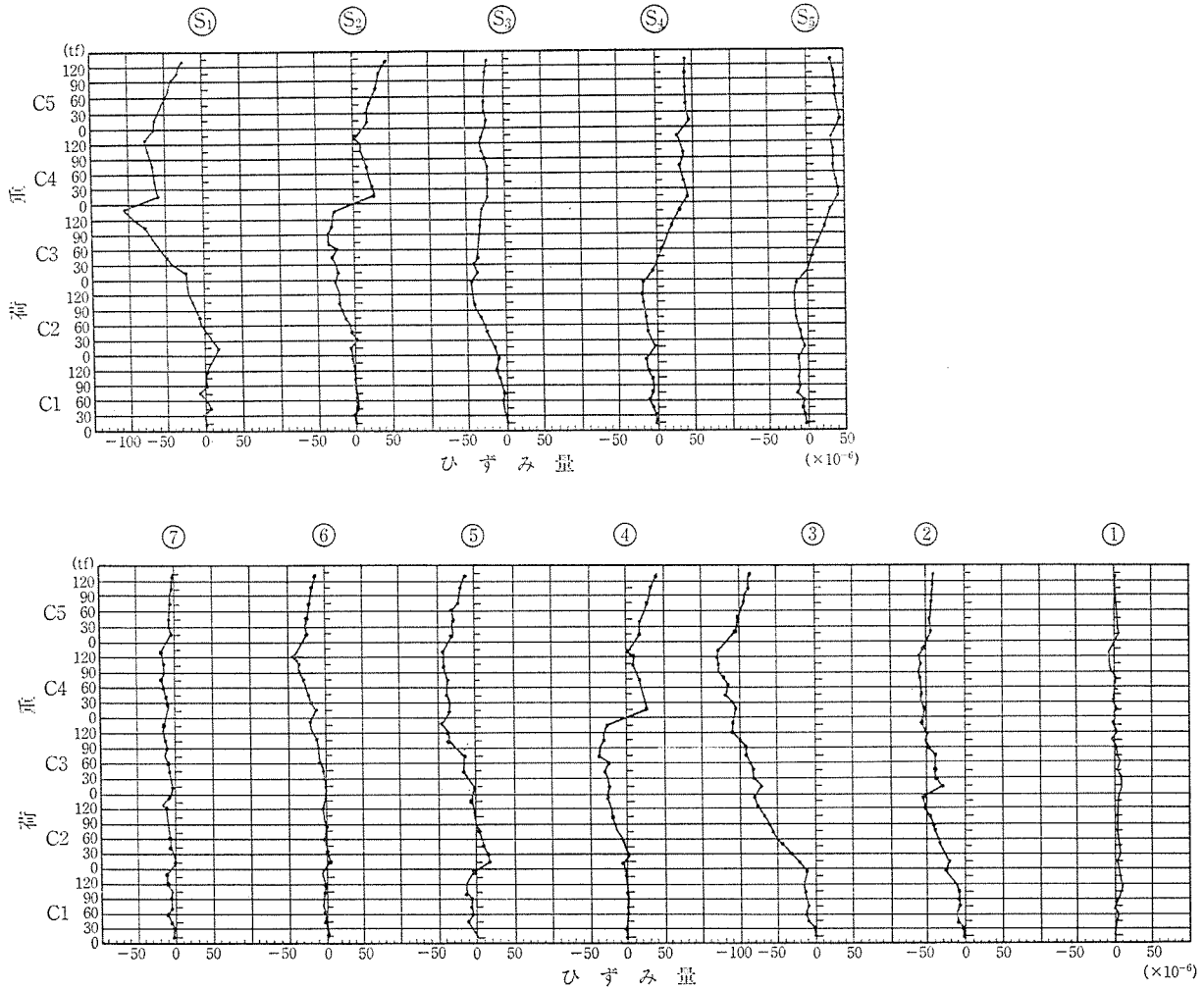


図-17 スターラップ筋のひずみ量

値は非常に小さく（図-18 参照），支点反力による鉛直方向圧縮力のため，腹部側面に生じるはずの引張ひずみが相殺される結果となって安全側の状態をつくりだしている。

#### 4. あとがき

定着部周辺の応力状態の調査研究は，一般的にはモデル実験が主体となっている。

定着部モデルと実桁定着部のプレストレス導入時の応力状態は，群定着・支点反力の影響等で，直接的には比較することはできないが，今回の調査で測定されたひずみ量は，すべてモデル実験の値より小さく応力分布状態も良好であった。

特に，定着部周辺の補強は，スパイラル筋のひずみが小さかったので，スパイラル筋の補強で十分と考えられる。

また今回の調査が，一般橋梁のプレストレス導入時の応力の把握並びにスパイラル筋を用いた定着部補強方法の応力分布状態を知るうえの一助になれば幸いである。

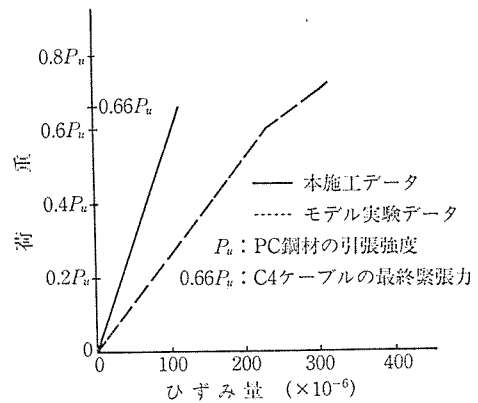


図-18 スターラップ筋のひずみ量  
（モデル実験値との比較）

最後に，今回の調査研究に御指導・御協力してくださった新潟国道工事事務所の方々に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート・ライブラリー，第60号，アンダーソン工法設計施工要領（案）（昭和61.9）

【1988年12月26日受付】