

# Dywidag 工法の緊張について —方法と管理—

百 島 祐 信\*  
小 林 勲\*

## 1. ま え が き

プレストレスを正確に導入することは、PC構造が成立する上の第一条件であることは論をまたない。したがって各工法とも、おのおの特色のある緊張の方法を実施して、その正確を期している。

Dywidag 式の PC 工法は数年来その施工例も増加しているが、この工法における緊張作業が、他工法と細部において異なっており、長所を数多く有しているので、この方法と特長を簡単に紹介する。

Dywidag 工法の緊張作業を特色づける第一の要素は、プレストレスの導入に太径の PC 鋼棒を用いていることであり、この鋼棒は転造されたネジを有し、これによって定着、接続が実施できることにある (図 1~3)。

PC 鋼棒を用いてプレストレスを導入する場合には、つぎのような有利な点がある。

- 1) 鋼材の断面積の誤差が小さく、またネジによる定着であるため鋼棒の伸びによるプレストレスの確認と修正が容易である。
- 2) 鋼棒に縦振動を与えてプレストレスング中の摩擦力を相当程度減少せしめうる。
- 3) グラウトする前は、プレストレスをいつでも変えることができる。

以上の諸点によりプレストレスの管理はきわめて容易であるから、支保工上で施工する場合はもちろん、いわゆる Freivorbau (張出し架設) においてもプレストレスを正確に導入しうるものである。

さいわいにして、昨年東海道新幹線の PC 桁の施工 (写真-1)、渋谷高架橋の施工

\* 鹿島建設 KK 技術開発部 PC 課

図-1 定着具グロッケによるアンカー

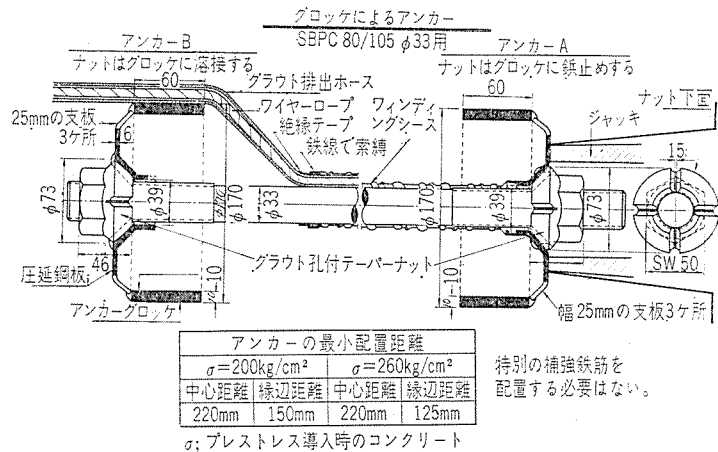


図-2 プレートによるアンカー

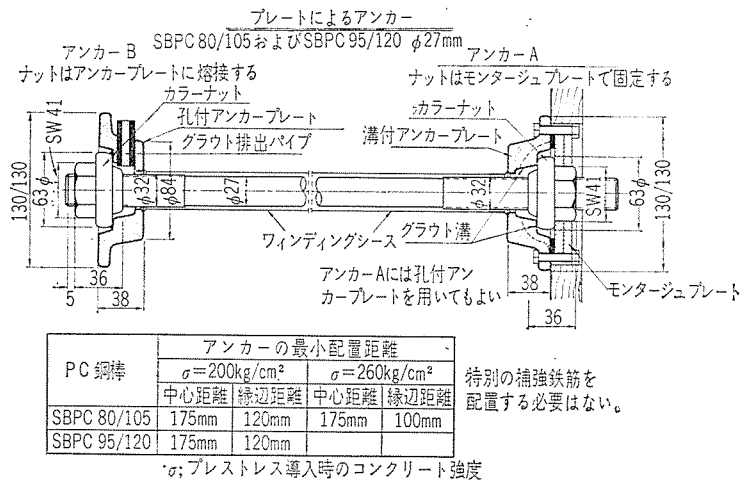


図-3 カップラ 継手

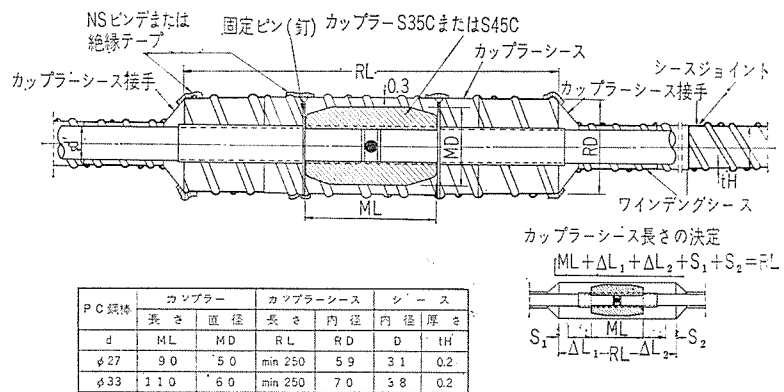
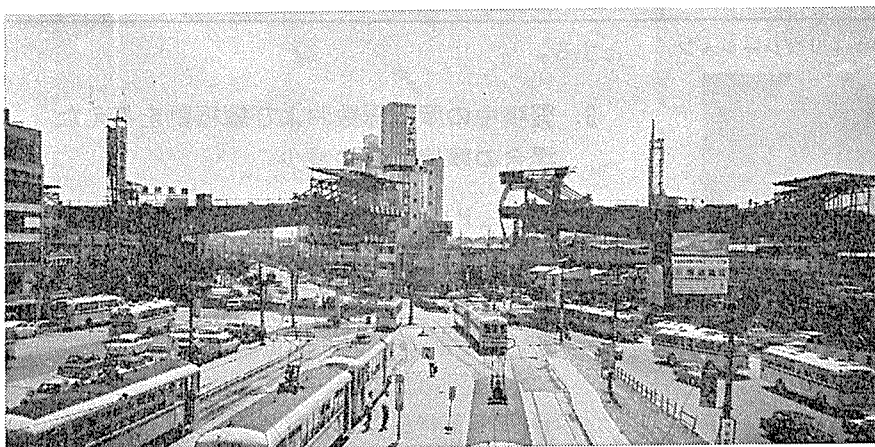


写真-1 東海道新幹線のPC橋



写真-2 首都高速道路渋谷高架橋



(写真-2)に際して、諸種の試験を実施する機会を与えられたので、その結果を報告する。

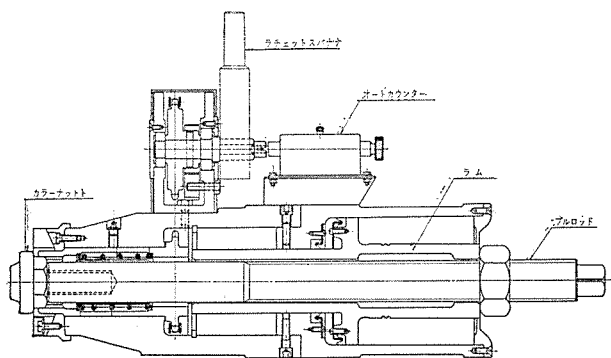
## 2. 緊張作業方法と管理

### (1) 緊張作業用具

緊張作業には Dywidag ジャッキ、ポンプ、ユーバースタントメッサー、ダイナモメータを用いる。

Dywidag ジャッキ(図-4)はセンターホール ジャッキで、カラーナットの回転数から緊張中の鋼棒の伸び量を 1/10 mm の精度で表示するオート カウンターがついている。

図-4 Dywidag ジャッキ



ユーバースタントメッサー(図-5)は、緊張前後の鋼棒の突出量を測り、その差から緊張による鋼棒の伸びを測定する道具である。精度は 1/10 mm まで読める。

ダイナモメータは、ジャッキおよびポンプのキャリブレーションに用いる荷重計である(写真-3参照)。

### (2) 緊張作業の管理

緊張はジャッキに装着したオートカウンターの読みによる PC 鋼棒の伸びと、マノメータの指度により、プレストレスと伸びの関係にある程度注意しながら実施する。

もし、摩擦が大きくて所定の伸びをうる前に鋼棒の引張力が計算値を越える場合は、鋼棒に縦振動を与えて摩擦を減少させて鋼棒引張力を落し、緊張作業をくり返して所定の伸びをうる。鋼棒に縦振動を与える方法は、プルロッドの先にキャップをかぶせて、大ハンマーで数回打撃を与える(写真-4)。

以上の緊張作業の記録を表-1 に示す緊張値表に記録する。

鋼棒に縦振動を与えて摩擦を減少させることができる

図-5 ユーバースタントメッサー

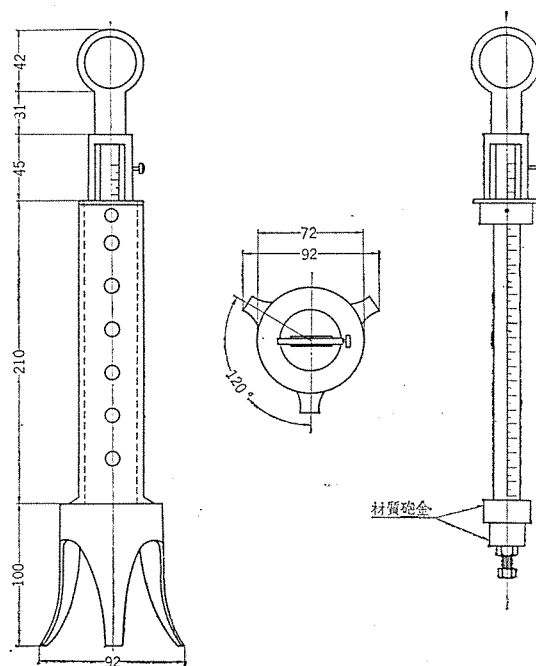


表-1 緊 張 値 表

工事名 那珂川橋梁  
鋼棒断面積  $A_p=5.39 \text{ cm}^2$

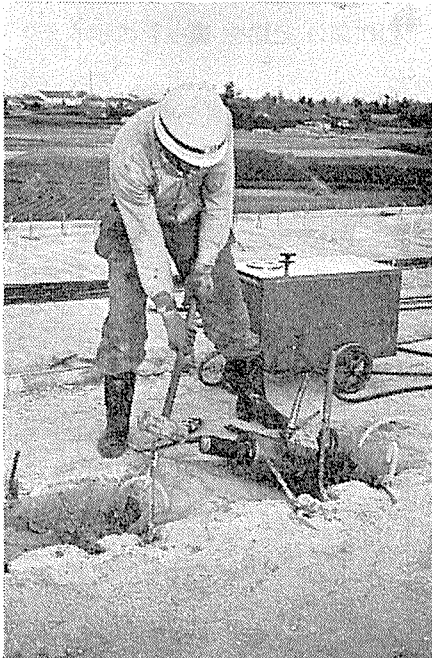
緊張箇所 IIブロック 上流側  
緊張年月日 38年9月30日 立会技術者 工 藤

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15
鋼棒 No.	緊張 順序 No.	緊張 応力 $s_p$ t/cm <sup>2</sup>	緊張部 長さ $l_s$ m	鋼棒の 伸び $\Delta l_{sp}$ mm	コンクリ ートの弾 性変形 $\Delta l_{cp}$ mm	計算による 伸び合計 $\Delta l_{cp} + \Delta l_{sp}$ mm	規定に よる割 増 $\Delta l_z$ mm	計算による伸び 合計および割増 $\Delta s_{lp} + \Delta l_{cp} + l_s$ mm	伸び測定値		導入さ れた伸 び mm	圧力計読 み kg/cm <sup>2</sup>	引越 し戻 し mm	備考	グラ ウト
									緊張前	緊張後					
8	1	5.36	13.30	34.8	1.7	36.5	2.0	38.5	12.7	51.4	38.7	37.3 38.3	4.0		○
7	3	"	"	"	"	"	"	"	11.5	50.0	38.5	33.8 28.3	"		○
14	5	"	14.80	38.7	1.9	40.6	"	42.6	14.1	57.1	43.0	35.8 33.3	4.3		○
13	7	"	"	"	"	"	"	"	11.7	54.5	42.8	34.3 28.8	"		○
18	9	"	16.60	43.4	2.1	45.5	"	47.5	10.6	58.3	47.7	34.3 28.3	4.8		○
17	11	"	"	"	"	"	"	"	15.1	62.8	47.7	34.3 28.8	"		○
23	13	"	33.60	85.8	3.8	84.6	2.5	92.1	10.7	102.7	92.0	32.3 31.3	0		○

写真-3 ダイナモメータによるジャッキのキャリブレーション とする。



写真-4 打撃操作による摩擦の減少効果



ので、P C鋼棒の伸びにより導入プレストレスを確認することを原則としている。この場合、許容作業誤差は、  
鋼棒1本につき +3% ~ -2%  
支保工施工の場合、約20本1組につき } +2%  
Vorbau 施工の場合、1施工区分ごとに } ~0%

### 3. 緊張中の摩擦係数および縦振動を与えた場合の摩擦係数の減少

摩擦によるP C鋼棒引張力の変化は次式によって計算される。

$$P = P_0 e^{\mu(\alpha + r l)}$$

$\mu$ : 角変化1ラジアン当りの摩擦係数

$\alpha$ : 角変化(ラジアン)

$r$ : P C鋼材長さ1m 当りの角変化(ラジアン/m)

$l$ : P C鋼材の長さ(m)

$P$ : P C鋼材のジャッキの位置の引張力

$P_0$ : 設計断面におけるP C鋼材の引張力

上式の係数を Dywidag 社の設計施工規準 (Zulassungsbescheid des Spannverfahrens Dywidag 1961) ではつぎのように規定している。

- ① 角変化に関する係数  $\mu=0.26$
- ② 長さに関する係数  $r$  は 表-2 による。

表-2 摩擦の長さに関する係数  $r$

スペーサーの間隔	P C鋼材長さ1m 当りの角変化 $r$ ラジアン/m
2.50 m	0.0087
1.80 m	0.0052

- ③ P C鋼棒に縦振動を与えて摩擦を減少した場合、十分な測定がなされ摩擦の減少が確認されたときには、 $\mu$  は 表-3 に示す値まで減じて計算してよい。

表-3 鋼棒に縦振動を与えたときの摩擦係数  $\mu$

P C鋼材の長さ $l$	摩 擦 係 数 $\mu$
$l \leq 30 \text{ m}$	$\mu=0.15$ まで減じてよい
$30 \text{ m} < l \leq 40 \text{ m}$	$\mu=0.15$ と $\mu=0.26$ の間を比例配分した値まで減じてよい
$l \geq 40 \text{ m}$	$\mu=0.26$ 以下には減じられない

これに対し、新幹線 PC 橋および渋谷高架橋において、 $\phi 27$  mm の鋼棒を用いて行なった緊張試験の結果と比較してみる。緊張試験は 図-6 の装置で、緊張端（写真-5）および非緊張端（写真-6）の鋼棒の引張力  $P_1, P_2$  および緊張による鋼棒の伸び  $\Delta l$  を測定した。

この緊張試験の結果を表-4、図-7、図-8 に示す。

図-6 緊張試験測定装置

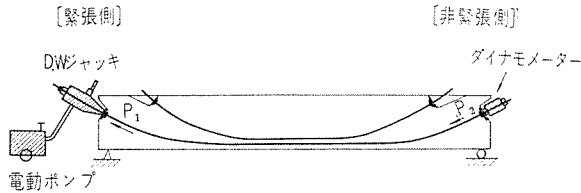


写真-5 Dywidag ジャッキおよび電動ポンプによる緊張作業

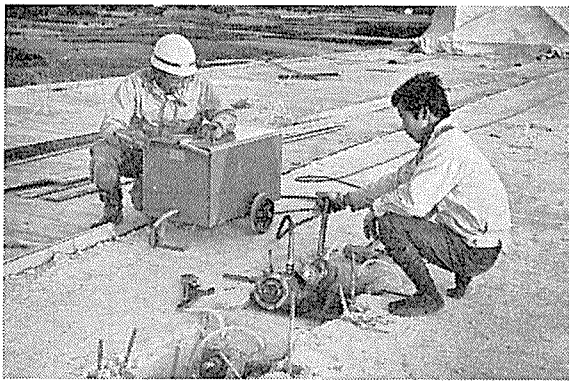


写真-6 非緊張端のダイナモメータによる鋼棒引張力測定



これより緊張中の平均摩擦係数  $\mu=0.32$ 、その管理限界（3シグマ法による）は  $\mu=0.19\sim 0.45$  である。この緊張の最後に鋼棒に縦振動を与え摩擦を減少した場合、平均摩擦係数  $\mu=0.07$ 、その管理限界  $\mu=0\sim 0.17$  である（図-9 参照）。

これらの結果により Dywidag の規準を検討して見ると  $\mu=0.26$  で計算した場合にも、縦振動を与えなければ

図-7 緊張試験測定記録の一例

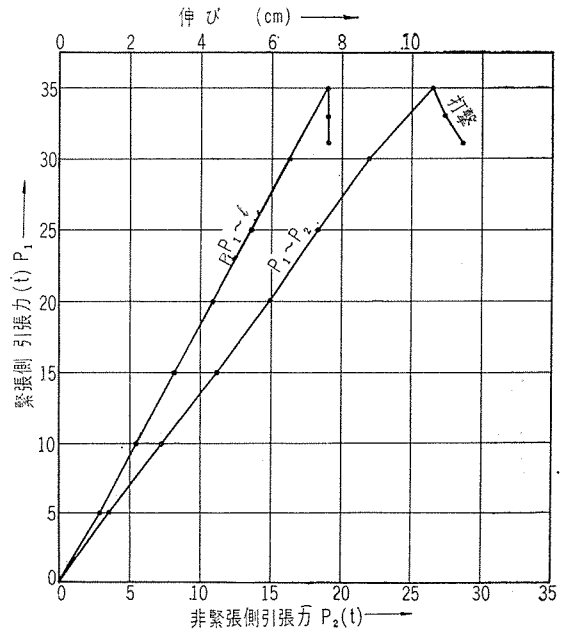


図-8 PC 鋼棒とシースとの間の摩擦係数  $\mu$

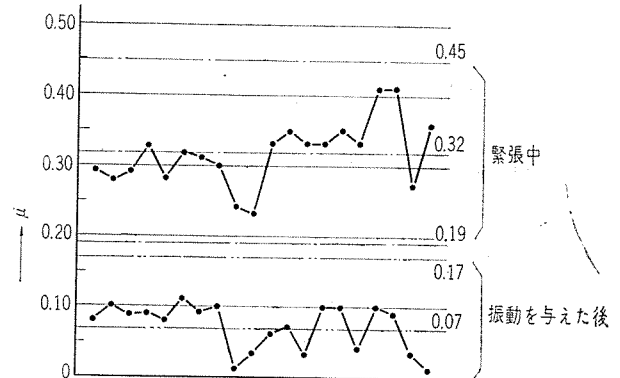
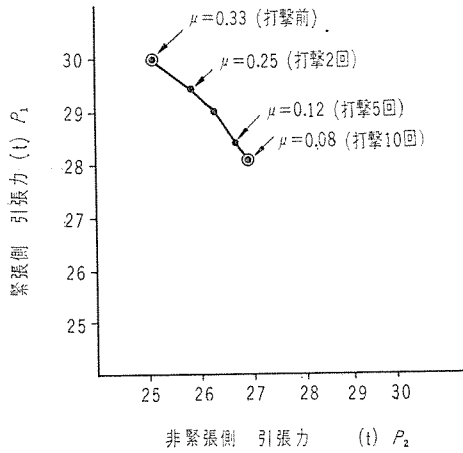


表-4 緊張試験によって測定した摩擦係数  $\mu$  および PC 鋼棒のヤング係数  $E$

橋名	第2三宅川橋 $l=35$ m				安間川橋 $l=35$ m				早川橋 $l=30$ m				芳川橋 $l=30$ m				渋谷高架橋 $l=45+81+45=171$ m				平均
鋼棒番号	C1	C5	C15	C18	C3	C11	C13	C18	C2	C20	C40	C46	C2	C15	C20	C39	C313	C316	C307	C320	
鋼棒長 $l$ (m)	23.86	27.48	31.10	34.70	20.26	27.48	34.70	34.70	15.22	30.69	30.43	30.35	15.22	30.69	30.69	30.51	25.45	23.40	28.25	28.25	—
$\alpha+rL$	1.028	1.076	1.122	1.152	0.996	1.076	1.152	1.152	0.784	0.822	0.546	0.438	0.784	0.822	0.822	0.550	0.665	0.735	0.495	0.495	—
摩擦係数 $\mu$	0.29	0.28	0.29	0.33	0.28	0.32	0.31	0.30	0.24	0.23	0.33	0.35	0.33	0.33	0.35	0.33	0.41	0.41	0.27	0.36	0.32
打撃を与えた時の $\mu$	0.08	0.10	0.09	0.09	0.08	0.11	0.09	0.10	0.01	0.03	0.06	0.07	0.03	0.10	0.10	0.04	0.10	0.09	0.03	0.01	0.07
PC 鋼棒のヤング係数 $E$ (t/cm <sup>2</sup> )	2010	2030	2055	2060	2070	2040	2080	2080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2050

ば、この値にならない場合がある。土木学会のPC指針ではPC鋼棒の  $\mu=0.25$ ,  $\lambda=0.003$  と与えられているが、この値も同様のことがいいうるのではないかと思われる。

図-9 打撃を与えた時の摩擦係数の変化



また、縦振動の効果について、現在までの試験の結果は、ほとんどの場合  $\mu=0.10$  以下となっている。したがってDywidagの規準に示されている値は十分に安全側と考えられる。また、この試験は、PC鋼棒の長さ20mから35mまでのものについて行なったのであるが、この範囲では、長さの差によっては、振動の効果にいちじるしい差を認められない。

東北本線那珂川橋梁で、長さ49mの鋼棒の振動による摩擦の減少効果を盛岡工務局で実施された結果でも  $\mu=0.05$  ということが確認されているので、40m以上の場合の  $\mu=0.26$  という値は十分に安全側にあるものと思われる。さらに長い鋼棒についての試験は今後機会を見て実施したいと思っている。

いずれにせよ、縦振動をPC鋼棒に与えて摩擦力をコントロールできるということは、計算した引張力で、計算した伸びをうることができるので、PC鋼棒のプレストレッシングの管理を容易にしている。

#### 4. PC鋼棒のヤング係数

設計計算ならびに緊張計算に用いるPC鋼材のヤング係数は  $E=2100 \text{ t/cm}^2$  としている。

これに対し、前述の緊張試験の結果を表-4からみると、見掛けの平均ヤング係数は  $E=2050 \text{ t/cm}^2$  であった。

つぎにこの鋼棒の製造工場(住友電工伊丹工場)で130本の資料について行なった試験成績の平均ヤング係数は  $E=2070 \text{ t/cm}^2$  であった。しかし、この試験法は実際の緊張のように長い鋼材を用いて試験したのではなく、強度試験に付随して短い供試体で測定されたもの

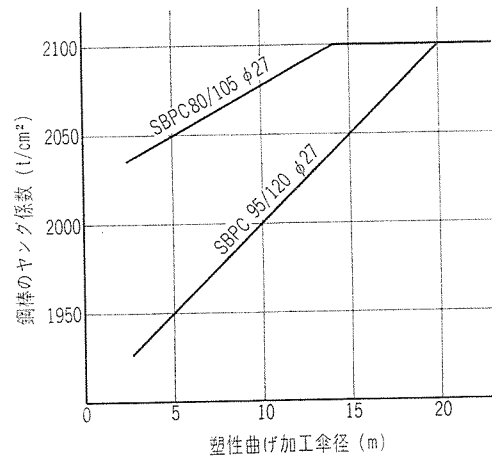
なのでばらつきが非常に大きい。

緊張試験からえられた見掛けのヤング係数は、現場測定なので測定誤差が非常にふくまれやすい。

そこで、試験成績表の値、あるいは緊張試験の値と緊張計算に用いる値  $E=2100 \text{ t/cm}^2$  との間に3%以上の差がある場合には緊張値を修正する。もし、鋼棒のヤング係数を大きく見積ってしまうことは、緊張不足となるが、コンクリートのクリープによる鋼棒応力度の損失については過大評価していることになるなどの設計上の問題もふくんでいる。したがって鋼棒のヤング係数の決定には、実際の施工精度も考慮すべきであり、いたずらに鋼棒のヤング係数をそのつど修正することは不要と思われる。

PC鋼棒を塑性曲げ加工した場合はヤング係数が若干減少する。住友電工で実施した試験にもとづき塑性曲げ加工したPC鋼棒を緊張する場合には図-10に示すヤング係数を用いて鋼棒の伸びを算出する。

図-10 塑性曲げ加工した鋼棒のヤング係数



#### 5. PC鋼棒の断面積の誤差

鋼棒平行部の直径の公差およびそれによる断面積および伸びへの影響を示したのが表-5である。公差が  $\pm 0.5 \text{ mm}$  と相当に大きいので、もし断面積に2%以上の差がある場合には修正を要するとDywidagの規準には規定している。そこで、使用した  $\phi 27 \text{ mm}$  のPC鋼棒についてみると平均直径の規格との差は  $+0.01 \text{ mm}$  であった。規格との直径差の範囲は  $+0.18 \sim -0.20 \text{ mm}$  で公差内であり、断面積の誤差は1.5%以内であった。

張出し架設の場合は鋼棒を何本も連結するので、断面

表-5 鋼棒直径の公差による影響

公称径	棒径	公差	公差による断面積の差	公差による伸びの差
27mm	26.2mm	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 3.9 \%$	$\pm 3.8 \%$
33	32.2	$\pm 0.5$	$\pm 3.1 \%$	$\pm 3.0 \%$

積の変動による影響はほとんど無視してよいと思われる。

### 6. PC 鋼棒の定着具のゆるみ

PC 鋼棒定着具のゆるみはネジ定着であるから、ごくわずかであり、くさび定着のようなゆるみによる応力度減少の問題はない。しかし、緊張による伸び量は定着具のわずかのゆるみ量も考慮する。

Dywidag の規準では、定着具のゆるみを図-11にもとづき1ヵ所につき0.5mmと規定している。これに対し、実際緊張による1900ヵ所の定着具のゆるみを測定

図-11 定着具のすべり (Dywidag 緊張作業規準より)

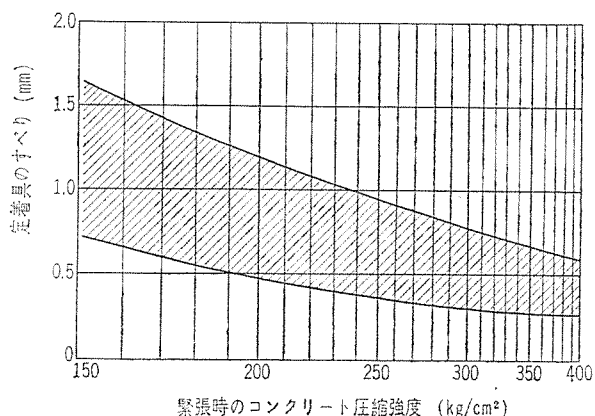


図-12 緊張側定着具のすべり

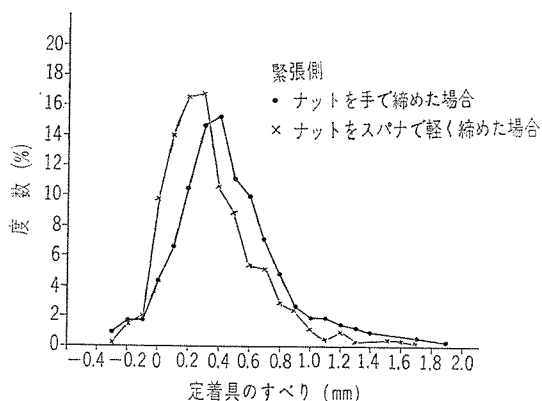
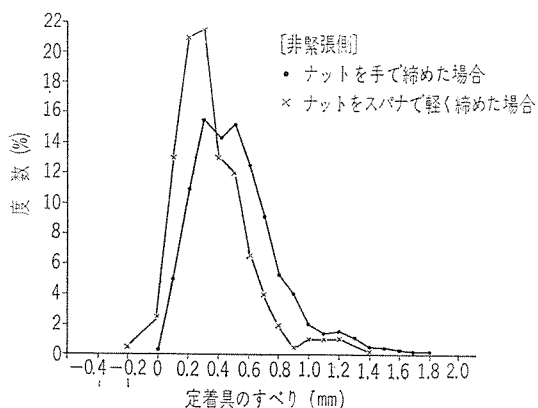


図-13 非緊張側定着具のすべり



した結果を図-12、図-13に示す。非緊張側の定着具のゆるみの測定は、ユーバスタントメッサを用いて緊張前後の鋼棒の突出し量の差からゆるみを算定した。緊張側の定着具のゆるみは、ジャッキのオートカウンタからの伸びと、ユーバスタントメッサからの伸びとの差をゆるみとした。なお、緊張前のナットの締め方を、手で締める場合とスパナを用いて、軽く締めた場合の両者について行なった。その結果は、表-6のとおりで、定着具のゆるみは平均0.4mm程度である。しかし、その測定値のばらつきは大きかった。したがって、ナットの定置には十分注意して確実に行なう必要があり、スパナを用いて軽く締めつける方がよいと思われる。

表-6 定着具のすべり

ナットの締め方	緊張側	非緊張側	平均
手でしっかりと締める	0.47mm	0.52mm	0.50mm
小道具で軽く締める	0.34	0.35	0.35
平均	0.41	0.44	0.42

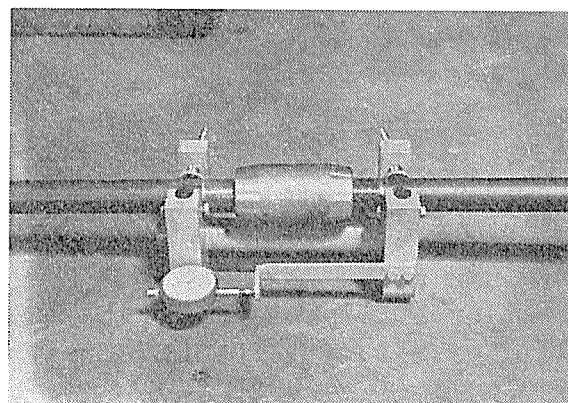
### 7. PC 鋼棒の接続具のゆるみ

PC 鋼棒を接続するカップラー (接続具) のゆるみも緊張による伸び量に加えなければならない。ネジの公から生ずるカップラーと鋼棒のネジ間の遊びは0.5mmであるが、これについて各種測定した結果をつぎに示す。

住友電工において、カップラーと、鋼棒のネジ間の遊び測定試験を写真-7の装置で行なった。試験方法は鋼棒をカップラーで連結後、まず鋼棒をカップラーの中に押し込むようにして標点をマークする。つぎに鋼棒を手で引っぱって標点間の伸びを測って、これをカップラーと鋼棒のネジ間の遊びとする。10ヵ所の資料について測定した結果は、図-14(a)に示すとおりで、カップラー1ヵ所につき、平均0.14mmのネジ間の遊びで相当小さな値であった。

つぎに、首都高速道路、渋谷高架橋のピロン吊り鋼棒

写真-7 接続具 (カップラー) のゆるみ測定





の連結部（カップラー）を利用して、同じくカップラー部のネジ間のゆるみを測定した。測定方法は 図-15 に示すように、鋼棒をカップラー連結したのち、カップラーの両側にナットをカップラーに密着するようにスパナで締めつける。この鋼棒に約 30 t の緊張力を与えたのち、ナットとカップラーの間に生じたすき間、 $\Delta l$  を測るため、ナットを回転させ、その回転量からゆるみを算定する。34 個のカップラーについて測定した結果は、図-14 (b) に示すとおりで、カップラー 1 ヲ所に平均 0.14 mm のネジ間のゆるみが認められた。

図-14 接続具（カップラー 1 個）のゆるみ

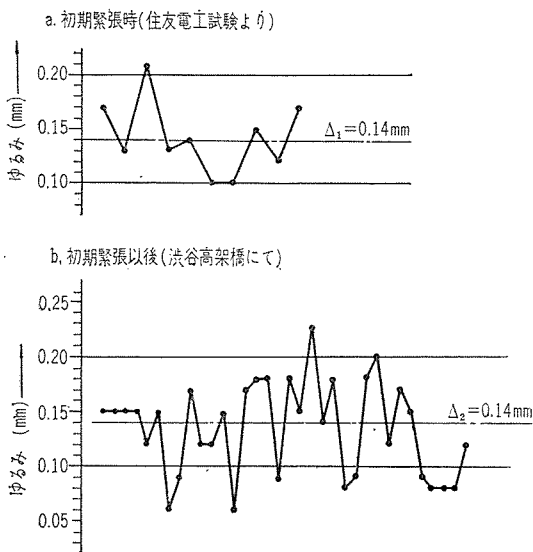
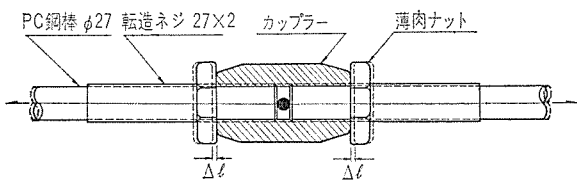


図-15 薄肉ナットを用いたカップラーのゆるみ測定法



ここで注意すべきことは、前者は緊張前から、約 1 t 程度の初期緊張力までに生じたネジ間の遊びであり、後者は始めにスパナで緊張しているので、初期緊張力以後のネジ間のくい込みと考えられるので緊張時のカップラー部のゆるみは、両者の合計とみなせる。

これに対し、カップラー部は断面が増大しており、カップラーで連結された鋼棒全体の伸びは、カップラーのゆるみを無視した場合、減少するはずである。カップラー部の長さ 9 cm、直径 5 cm とすると緊張力 30 t に対する伸び減少量は、 $\Delta l = 0.24 - 0.07 = 0.18 \text{ mm}$  である。これについて、住友電工において 写真-8 の装置でカップラー 5 ヲ所で連結した鋼棒の緊張による伸び測定を行なった結果を 表-7 に示す。これによると、カップラー連結した鋼棒と、カップラーなしの鋼棒とに緊張による

伸びの差がない。ただし、この伸びは緊張力 5 t を原点とした測定であるから、緊張初期のネジ間の遊びはふくまれていない。したがって、カップラー連結しても全体の伸びに差がなかったということは、先の計算のカップラー部の断面増大による伸び減少量と初期緊張力以後のネジ間のくい込み量とがほぼ等しいことを示している。

写真-8 カップラーで連結した鋼棒の緊張による伸び測定

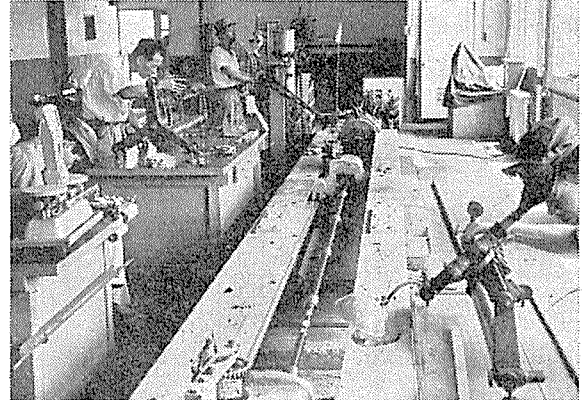


表-7 カップラーで連結した鋼棒の緊張による伸び測定

供 試 体	荷重 t	標点間 距離 m	No.	カップラ ーなし mm	カップラ ー5個つ き mm
φ 27 mm SBPC 80/105	35.0	4.00	1	12.42	12.33
			2	12.52	12.60
			平均	12.47	12.465
φ 27 mm SBPC 95/120	42.0	4.00	1	14.69	14.75
			2	14.67	14.72
			平均	14.68	14.735
φ 33 mm SBPC 80/105	44.0	3.80	1	9.60	9.60
			2	—	9.50
			平均	9.60	9.55

したがって、ネジ公差を考慮してカップラー 1 個につき 0.5 mm のゆるみを考慮すれば、十分余裕のある値と思われる。

### 8. 緊張時のコンクリート圧縮強度

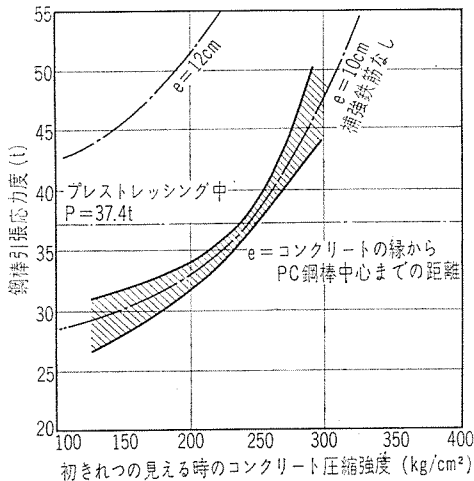
プレストレスを与えて良いときのコンクリート圧縮強度は 図-16 に示す Dywidag 社の試験結果にもとづいて 図-1、図-2 のように規定している。これに対し、プレストレス コンクリート設計施工指針 19 条 (2) および 60 条にしたがって定着具背面のコンクリート応力度を計算すると 表-8 のようになる。

Dywidag の規準にもとづいて、実際の緊張を相当数について行なったが、特に定着部にきれつあるいは異常を認めたものが全くなかった。

なお、この定着具に対する試験も実施したので別な機会に報告したい。

図—16 緊張により定着部に生ずる初きれつとコンクリート圧縮強度

定着具：アンカープレート  
鋼 棒：SBPC 80/105 φ 27 mm



9. む す び

この報告に示すとおり Dywidag 社の提示している施工規準は、きわめて合理的であり、Dywidag 工法で実施している緊張作業は、簡単な作業で比較的正確なプレストレスを導入することができる方法であるといえる。最後に Dywidag 工法の緊張試験にご指導を賜った

表—8 アンカープレート (SBPC 80/105 φ 26 用) の緊張時のコンクリート圧縮強度

鋼棒中心とコンクリートの縁まで	e=10 cm	e=12 cm	備 考
分布面積 $A_c$	$20^2=400 \text{ cm}^2$	$24^2=576 \text{ cm}^2$	$A_c=(2R)^2$
$\sqrt[3]{\frac{A_c}{A_1}}$	1.33	1.51	
$\sigma_{ca}=\sigma_{ca}''/\sqrt{\frac{A_c}{A_1}}$	282 kg/cm <sup>2</sup>	248 kg/cm <sup>2</sup>	P C 指針60条
Dywidag 規準	260 kg/cm <sup>2</sup>	200 kg/cm <sup>2</sup>	

作用荷重  $P=0.9 \sigma_{py} \cdot a=0.9 \times 8000 \times 5.19=37400 \text{ kg}$   
 支圧作用面積  $A_1=13^2=169 \text{ cm}^2$   
 支圧応力度  $\sigma_{ca}'''=P/A_1=221 \text{ kg/cm}^2$   
 一部緊張時の支圧応力度 (P C 指針第19条)  
 $\sigma_{ca}''=1.7 \sigma_{ca}'''=1.7 \times 221=375 \text{ kg/cm}^2$

国鉄新幹線給局 小寺技師, 齋藤氏, 静岡幹線工事局 村上技師, 名古屋幹線工事局 村上技師, 首都高速道路 宮崎副参事, ならびに試験の実施にご協力頂いた現場の担当者各位に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Zulassugsbesheid des Spannverfahrens Dywidag, 1961
- 2) 土木学会：プレストレス コンクリート設計施工指針
- 3) 齋藤 昇：プレストレスの管理のための提案と報告 (プレストレス コンクリート第5巻第6号)
- 4) 住友電気第 80 号 住友 P C 鋼棒について




育英橋(大阪府)  
3 径間連続曲線函形  
R=90 m

## ピーエスコンクリート設計施工並に製作

# 日本ピー・エス・コンクリート株式会社

顧 問 加賀山之雄
顧 問 稲浦鹿蔵
取締役社長 有馬義夫

本 社 福井県敦賀市泉 1 2 5 号 2 番地

東京営業所 東京都千代田区大手町 1 丁目 4 番地 (大手町ビル 3 階 362 号室)

大阪営業所 大阪市北区堂島上 2 丁目 39 番地 (毎日産業ビル別館 5 階)

名古屋営業所 名古屋市中村区広井町 2 丁目 54 番地 (交通ビル 5 階 52 号室)

福岡営業所 福岡市天神町 3 番地の 1 (福岡三和ビル 6 階)

電話敦賀 1 4 0 0 (代)

電話東京 201-8651 (代)

電話大阪 361-7797

電話名古屋 54-6536

電話福岡 74-9426