

PC 鋼棒定着部の強度について

百 島 祐 信*
 船 越 稔**
 青 柳 征 夫**

1. ま え が き

PC鋼棒定着部の設計に関しては従来かなりの研究が行なわれており、これらの研究結果に基づいて現在定着部の設計施工が行なわれている。しかしながら従来行なわれてきた理論的研究の多くは二次元載荷状態についてのもが多く、実際に問題になる三次元載荷については満足すべき研究が行なわれていない。またコンクリートを用いた実験研究もその数が少ない。したがって各国の示方書ともこの問題に関しては十分な規定あるいは指針を示していない状態であり、新しい定着方式については実験によって安全性を確かめるように定められている場合が多い。

この報告は、PC鋼棒定着部の設計施工に関する基礎的資料をうることを目的に約110個の定着ブロック供試体を造り、これをナットを介して定着具をアムスラー試験機により加圧して破壊試験を行なった結果をとりまとめたものであって、特に試作されたDywidag方式φ27mm PC鋼棒用グロッケン型定着具の定着効果の比較検討および定着ブロックのひびわれ荷重の算定について述べたものである。

2. 試 験 方 法

(1) 使用材料

1) コンクリート

大部分の供試体は、材令3~7日において試験を行ない、試験時のコンクリートの圧縮強度は220~350 kg/cm²であった。コンクリートの配合は14種であって、セメントはアサノ普通あるいは早強セメントを用い骨材の最大寸法寸は25mm、水セメント比は0.38~0.41でポゾリス No. 5 あるいは No. 8 を用い、スランプは3~6cm 空気量は3%前後であった。なお一部に人工軽量骨材を用いたコンクリートをも用いた。

2) 定 着 具

定着具は図-1に示すようにDywidag φ27mm 鋼棒用旧型定着具およびグロッケン型の新型定着具、Dywidag 新・旧型とそれぞれ外縁寸法の等しい厚さの異なる

平板、およびφ22mm 鋼棒定着用平板を用いた。その他載荷板全面を加圧するため厚さ20mmの各種大きさの正方形鋼板を用いた。

(2) 載荷方法

載荷方法は図-2に示すようにDywidag および平板定着具を用いた場合には実際の状態に近くなるように供試体にはシースを配置し、ナットを介してアムスラー試験機により定着具を加圧した(ナット載荷)。また比較試験として載荷板全面を均等に加圧した供試体グルー

図-1 実験に用いた定着具

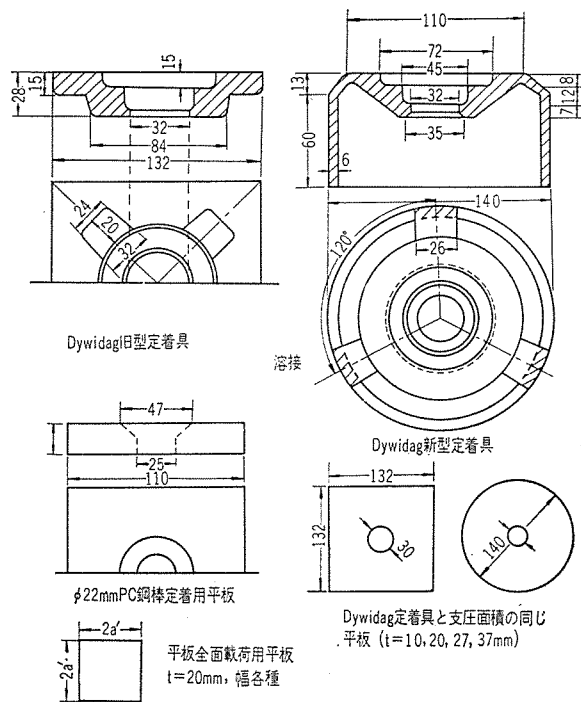
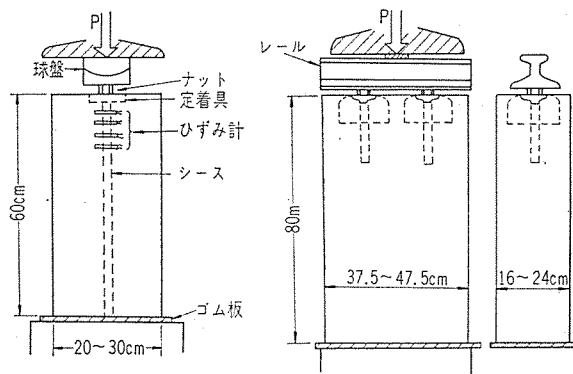


図-2 載荷方法



* 鹿島建設KK技術開発部

** 東京大学大学院

プもある（全面載荷）。いずれの場合も試験機台座と供試体底面の間にグリースを塗った硬質ゴム板をそう入し摩擦を少なくするようにした。供試体側面には定着具の直下に水平方向にワイヤー ストレイン ゲージを貼り、荷重の増加にともなう伸びひずみを読み表面に発生するひびわれを判定した。一部の供試体には内部に埋込みゲージを配置し内部の伸びひずみ分布を測定した。

(3) 供 試 体

定着具および載荷板はあらかじめ型わくに釘で固定しコンクリートを打込み、脱型後供試体中に埋込まれるようにした。供試体の断面寸法は定着具を断面の中心に1個配置した場合、20×20 cm, 24×24 cm, 28×28 cm および 20×30 cm の4種で高さはいずれも 60 cm である。図-2 に示したように定着具を2個左右対称に配置した場合には定着具の中心間隔を 16, 17.5, 19 cm と変化させ、定着具中心とコンクリート縁までの距離を 8~14 cm に変化させた。この場合 Dywidag 新型定着具を主として用い、供試体の高さは 80 cm とした。

3. 実験結果

ひびわれは供試体側面において上面から定着具直下約 0.7a (a は供試体断面の長辺の幅の 1/2) の距離の位置に垂直方向に発生し、このひびわれが荷重の増加とともに

に上下に伸長した。表面における割裂伸びひずみの最大になる位置は定着具の種類、載荷板の幅 (2a') とブロックの幅 (2a) の比 a'/a に関係なく上面からほぼ 0.7a の位置になっていた。しかし内部の伸びひずみが最大になる位置は a'/a が小さくなるにしたがって上面に近くなるということが認められた。ひびわれの発生する荷重は定着部に補強鉄筋を配置しても補強がない場合とほとんど変わらないが、ひびわれの進行が若干遅れ、ひびわれの数が多くなるということが認められた。

破壊は a'/a が小さいほど、またコンクリートの強度が大きいほど急激に生じ、全面載荷および Dywidag 新型定着具を用いた場合には載荷板あるいは定着具の背面に明らかな逆ピラミッドができることが認められた。軽量コンクリートのブロックのひびわれおよび破壊荷重は同程度の圧縮強度の普通コンクリートのブロックに比べいちじるしく小さく、破壊も急激に生じた。

実験結果の一部は表-1 に示すようである。この表において定着具を2個用いた場合の荷重は定着具1個当りの荷重を示している補強鉄筋欄の例えば 3-φ 10 MT は φ 10 mm の異形鉄筋 (σ_{sy}≒3500 kg/cm²) をわく状に3段に配置したことを示し、4-φ 6 SP とは有効巻数4の φ 6 mm のらせん鉄筋を配置したことを示している。

補強鉄筋比は

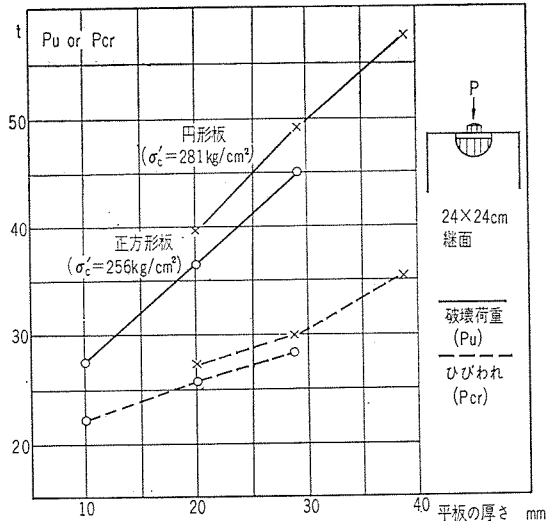
表-1 実験結果の一部

供試体 No.	断面寸法 (cm)	定着具*	補強鉄筋	補強鉄筋比 (%)	試験時材令 (日)	コンクリート強度 (kg/cm ²)		ひびわれ荷重 (t)	破壊荷重 (t)	破壊ひびわれ	
						引張	圧縮				
3	20×20	D.W			4	25.4	256	38	56.7	1.49	
26	"	"	3-φ 10 MT	1.16	3	25.7	348	41	72.3	1.76	
11	"	D.W.N			4	21.4	238	34	53.5	1.57	
26	"	"	3-φ 10 MT	1.16	3	25.7	348	45	72.9	1.62	
38	"	RP-27			5	25.3	256	29	44.6	1.54	
60	"	a'/a=0.35			6	25.7	269	21.3	32.1	1.51	
106	"	"	5-φ 6 SP	0.71	6	24.2	256	23.5	37.0	1.57	
107	"	"	5-φ 6 MT	0.71	6	24.2	256	22.3	35.5	1.59	
5	24×24	D.W			5	25.1	287	45	66.5	1.43	
25	"	"	3-φ 10 MT	0.81	3	25.7	348	46	86.6	2.06	
8	"	D.W.N			7	24.3	274	41	60.5	1.48	
27	"	"	3-φ 10 MT	0.81	3	25.7	348	46	90.5	1.97	
9	"	φ 22用平板			4	21.4	238	30	37.6	1.25	
30	"	"	4-φ 6 2 SP	0.78	3	25.7	348	35	59.6	1.70	
28	20×30	D.W.N			3	25.7	348	38	75.2	1.98	
定 着 具 2 個											
71	16×37.5	D.W.N			5	24.4	251	24.5	48.0	1.96	e**=17.5 cm
85	"	"	3-φ 10 MT		5	25.0	252	26.5	54.5	2.06	"
79	20×41.5	"			5	25.4	252	38.5	53.9	1.40	"
83	"	"	3-φ 10 MT		5	25.0	252	37.2	60.2	1.62	"
32	24×40	"			6	24.3	276	32	65.4	2.04	e=16 cm
40	"	"	3-φ 10 MT		7	25.7	243	32.5	68.8	2.12	"

* D.W.; Dywidag 旧型 D.W.N.; Dywidag 新型 a'/a=0.35; 全面載荷 (載荷板幅と断面の辺の比が 0.35)

** e; 定着具中心間隔

図-3 平板の厚さとひびわれ、および破壊荷重の関係



鉄筋断面積の総和
(断面の長辺の幅) × (短辺の幅)

をあらわしている。

4. 実験結果の検討

(1) 定着具の設計計算上の有効幅

一般にPC鋼棒をナットで定着具に定着する場合、ナット直下の定着具背面に支圧応力が集中するため、定着具背面全面に支圧応力が均等に作用していると考えることができない。例えば図-3に示すように定着ブロックのひびわれおよび破壊荷重は定着板の厚さによっていちじるしく影響を受けることがわかる。したがって支圧応力が均等に作用すると考えられる定着具の仮想幅、すなわち有効幅を実験的に求めておけば定着部の設計において便利になると考えられる。またこの有効幅を用いて各種定着具の定着効果を比較することができると考えられる。

本実験では平板全面載荷供試体の場合、載荷板背面において支圧応力が均等に作用しているので、この供試体グループのひびわれおよび破壊荷重から実験式を導き、ナット載荷の場合における定着具の有効幅を求めた。すなわち圧縮強度 230~350 kg/cm² の全面載荷正方形断面の供試体グループの実験結果から実験式として

ひびわれ荷重について

$$\frac{\sigma_t' A_c}{P_{cr}} = 0.649 - 0.602 \frac{a'}{a}$$

破壊荷重についてはコンクリートの圧縮強度および引張強度を関数に入れる、つぎのような実験式が実験結果によく合うことが認められた。

$$\frac{\sigma_b'}{\sigma_c'} = \frac{P_u}{4 \sigma_c' (a')^2} = 0.9 + 2.14 \left\{ \frac{\sigma_t'}{\sigma_c'} \left[\left(\frac{a'}{x} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{0.818}$$

ここに P_{cr} : ひびわれ荷重

P_u : 破壊荷重

σ_c', σ_t' : コンクリートの圧縮および引張強度

σ_b' : 支圧強度

a' : 載荷板の幅の 1/2

a : ブロックの幅の 1/2

$A_c = 4 a^2$ ブロックの断面積

ナット載荷した正方形断面の供試体のひびわれおよび破壊荷重、コンクリートの強度等を上式に代入すれば a' が定まり $2a'$ すなわち定着具の有効幅を推定することができる。このようにして求めた本実験に用いた各種定着具の有効幅の平均値を表-2に示した。ナット載荷した供試体は全面載荷における実験式を導いた場合と同様にコンクリートの圧縮強度が 230~350 kg/cm² のものを選んで有効幅を算定した。

表-2 定着具の有効幅

定着具	ひびわれ有効幅 (d_{cr})	破壊有効幅 (d_u)	実際の定着具幅 (D)	$\frac{d_{cr}}{D}$	$\frac{d_u}{D}$
D.W.旧	12.9	12.0	13.2	0.978	0.908
D.W.新	12.7	11.6	12.4	1.024	0.936
φ22 mm 平板	8.8	8.5	11.0	0.800	0.772
PL-37 mm	10.5	10.6	12.4	0.847	0.855
PL-27 mm	8.7	8.8	12.8	0.680	0.687
PL-20 mm	6.2	6.0	12.7	0.489	0.472

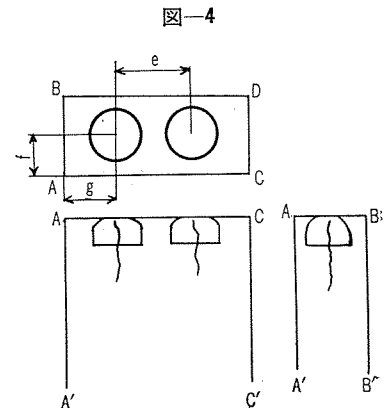
この表から、Dywidag 定着具は旧型新型ともプレートに比べいちじるしく有効比 $\left(\frac{\text{有効幅}}{\text{実際の定着具幅}} \right)$ が大きいことがわかる。特に新型は実際の定着具幅が旧型に比べ小さいにもかかわらず有効幅は旧型と実用的にはほとんど同一であって、定着具の背面全面を有効と考えてさしつかえないことがわかる。すなわち溶接された鋼管が短い合成柱のような働きをし、鋼管終端部で支圧応力がほとんど均等になっているものと思われる。プレートの有効幅はコンクリートの強度および作用する荷重によっても影響されると考えられるが本実験の範囲ではナットの外径とプレートの厚さの2倍を加えた値がほぼ有効幅になっていた。

(2) Dywidag 新型定着具の中心からコンクリート縁までの許容距離

Dywidag 工法

では、定着具の配置は、定着具の中心からコンクリート縁までの距離 (Randabstand—縁距離) によって制限されている。

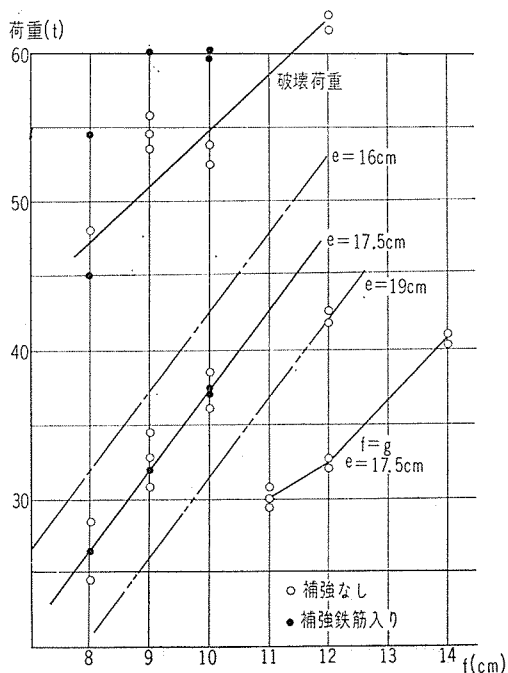
定着具を単独に配置した場合と近接



する定着具がある場合では、割裂引張力が異なるため許容縁距離を変える必要がある。本実験では図-4に示すように定着具間隔 (e) および縁距離 (g, f) を変化させ圧縮強度を $240 \sim 260 \text{ kg/cm}^2$ とし、定着具を対称に2個配置した供試体を造り、プレストレス導入時の強度を 260 kg/cm^2 に想定し、許容縁距離を求めた。実験の結果 $g=f$ とした供試体では隣の定着具による割裂引張力の一部が加わるため、ひびわれ荷重は同一の縁距離を有する定着具を単独に配置した正方形断面の供試体より小さく、図-4に示す AA', BB' 面に垂直ひびわれを生じ破壊した。しかし、 $g=f+2 \text{ cm}$ とした供試体では長手方向と直角の方向の割裂に対するひびわれ耐力が増し、隣の定着具の影響により割裂引張力の一部が相殺されるため、定着具を単独に配置した場合よりひびわれ荷重は増大し、AA', CC' 面において定着具直下に生ずる垂直ひびわれにより破壊した。定着具の中心間隔を $16 \sim 19 \text{ cm}$ とした限りでは定着具の中間にひびわれを発生することはなかった。

縁距離とひびわれ荷重および破壊荷重の関係は図-5に示すようである。定着具の中心間隔 $e=17.5 \text{ cm}$, $g=f+2 \text{ cm}$ とした供試体の実験結果から f とひびわれ荷重の関係はほぼ直線によってあらわしてさしつかえないと思われる。 $e=19 \text{ cm}$ および $e=16 \text{ cm}$ については若干の実験結果を根拠に図-5に示すような推定線をえた。本実験において定めたひびわれ荷重はストレインゲージの読みから判定したものであって肉眼で認められるひびわれが発生する荷重より $10 \sim 15\%$ 小さく、しかも破壊に対して 1.5 程度の安全度があることなどを考慮すれば

図-5 ひびわれ荷重および破壊荷重と縁端距離の関係



P C 鋼棒の緊張作業中の許容緊張力よりひびわれ荷重が大きくなるように許容縁距離を定めれば十分であると考えられる。 $\phi 27 \text{ mm}$ P C 鋼棒 80/105 鋼および 95/120 鋼の緊張作業中の許容緊張力はそれぞれ 37.4 t および 44.4 t と定められているので、これらの荷重における水平線と縁距離—ひびわれ荷重直線の交点を基準にしてプレストレス導入時のコンクリートの強度が 260 kg/cm^2 および 200 kg/cm^2 の場合における許容縁距離の一応の目安として表-3, 表-4 の値をとれると考えられる。 200 kg/cm^2 の場合については引張強度を 20 kg/cm^2 とし、ひびわれ荷重は引張強度に正比例すると考えて推定した。ただし導入時の圧縮強度が 260 kg/cm^2 の場合の引張強度は 25 kg/cm^2 と仮定した。

表-3 圧縮強度 260 kg/cm^2 の場合の定着具中心からコンクリート縁までの許容距離

定着具中心間隔 (cm)	定着具中心からコンクリート縁までの許容距離 (f) cm		備 考
	SBPC 80/105	SBP 95/120	
16	9	10.5	$g \geq f+3 \text{ cm}$
17.5	10	11.5	$g \geq f+2.5 \text{ cm}$
19	11	12.5	$g \geq f+2 \text{ cm}$

注：引張強度を 25 kg/cm^2 以上とする。

表-4 圧縮強度 200 kg/cm^2 の場合の定着具中心からコンクリート縁までの許容距離

定着具中心間隔 (cm)	定着具中心からコンクリート縁までの許容距離		備 考
	SBPC 80/105	SBPC 95/120	
16	11	12.5	$g \geq f+3.5$
17.5	12	13.5	$g \geq f+3$
17	13	14.5	$g \geq f+2.5$

注：引張強度を 20 kg/cm^2 以上とする。

$\phi 10 \text{ mm}$ の異形鉄筋 ($\sigma_{sy} \approx 3500 \text{ kg/cm}^2$) の補強鉄筋をわく状にして定着具下端から 5 cm ピッチで3段配置した場合、破壊荷重は 6 t 程度大きくなっており無筋の場合と破壊に対する安全度が同じになるようにすれば許容縁距離を約 1.5 cm 減少させうるが、過大なひびわれを避ける必要から上述のように定着部を補強した場合には表に示した許容縁距離を 1 cm 減少させるのがよいと思われる。

(3) ひびわれ荷重算定方法について

Guyon¹⁾, Iyengar²⁾ などの二次元理論によって三次元載荷の場合割裂ひびわれ荷重を計算すると実験値に比べかなり危険側の結果を与え、 $\frac{\text{実験値}}{\text{計算値}}$ は 70% 程度であった。なお二次元載荷モルタル供試体の実験結果と比較しても Iyengar の厳密理論によるひびわれ荷重は一般に実験値より大きくなるのがわかった。

三次元載荷の場合にも応用される Siever's^{3),4)} の理論によってひびわれ荷重を計算値と比較した結果 図-6 に示すように、正方形断面の場合、 $\frac{\text{実験値}}{\text{計算値}}$ は a'/a が増すにしたがって減少することが認められる。しかし、破壊荷重とひびわれ荷重の比は a'/a が増すにしたがって増大している。したがって $\frac{\text{破壊荷重}(P_u)}{\text{ひびわれ荷重の計算値}(P_{cr,c})}$ は 1.5 程度で a'/a にかかわらずほぼ一定値になっている。

つぎに供試体内部に発生すると思われるひびわれを基準にした荷重と Siever's の理論値との比較を行なった。図-7 は正方形断面で $a'/a=0.5$ とした供試体の内部と

図-6 表面ひびわれ荷重 (P_{cr}) と Siever's の理論による計算値 ($P_{cr,c}$) との比および P_u/P_{cr} と a'/a の関係

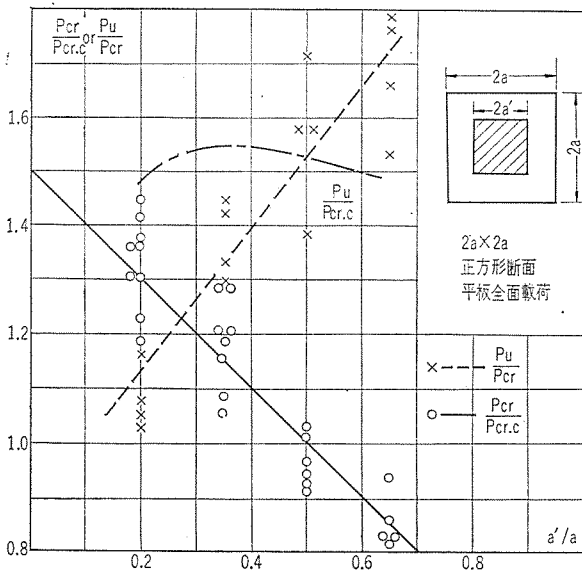


図-7 $a'/a=0.5$ の正方形断面供試体における内部および表面の伸びひずみ分布

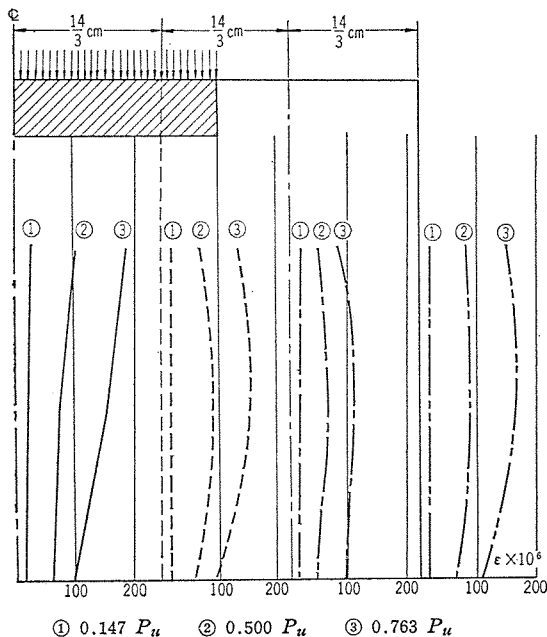
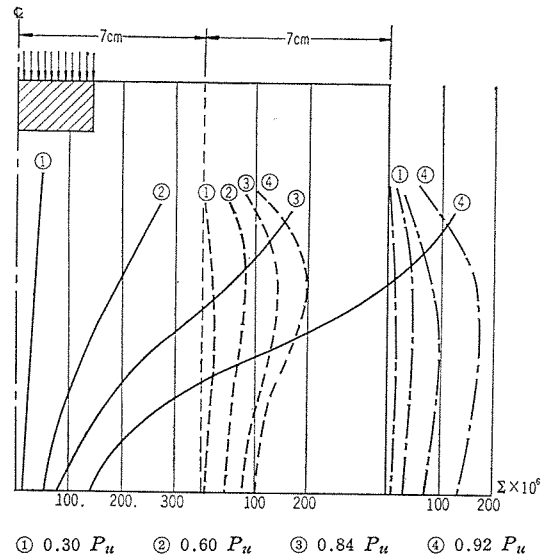


図-8 a'/a の正方形断面供試体における内部および表面の伸びひずみ分布



表面の伸びひずみの分布を示したものである、このように載荷板の面積が大きいと、内部と表面のひずみ分布の差はほとんどないことがわかる。しかし、図-8 のように載荷板の面積が小さくなり $a'/a=0.2$ になると内部における供試体の軸線上の伸びが表面に比べいちじるしく大きくなっている。

表面ひずみが最大になる位置と同一水平断面における供試体の軸線上のひずみが表面にひびわれを生ずると考えたひずみになったときの荷重を内部ひびわれ荷重と定義すると、内部ひずみの測定結果から表面ひびわれ荷重と内部ひびわれ荷重の比はほぼ $1.5-b'/b$ (載荷板の幅と供試体断面の短辺の比) であらわせることがわかった。この簡単な関係を用いて実験で得られた表面ひびわれ荷重から内部ひびわれ荷重を推定し Siever's の理論と比較すると表-5 に示すように比較的よく一致していることがわかる。なお Siever's の理論によれば前に述べたように定着ブロックが無筋の場合、破壊荷重とひびわれ荷重の計算値の比は a'/a に関係なくほぼ一定値 1.5 程度であった。また二次元載荷についても Siever's の理論は若干安全側のひびわれ荷重を与えることも確かめた。したがって P C 鋼棒定着部のひびわれ荷重の算定には Siever's の近似理論を用いるのが実用的であると思われる。

表-5 Sievers の理論による $\frac{P_{cr,i}}{P_{cr,c}}$ の統計値

供試体グループ	資料個数	平均値	標準偏差%
平板全面載荷	30	1.00	6.44
Dywidag 一個	15	1.04	8.03
平板ナット載荷	17	0.94	12.80
D.W.および平板2個載荷	24	1.02	6.20

5. ま と め

本研究の結果えられた結論を要約すれば、実験の範囲内でつぎのことがいえると思われる。

1) PC 鋼棒定着具の有効幅（背面に支圧応力が均等に作用していると考えた仮想幅）は定着具の構造によっていちじるしく異なり、例えば Dywidag $\phi 27$ mm 鋼棒定着用の 新型定着具の有効幅は 実際の定着具幅の 95% 程度であったが、 $\phi 22$ mm 鋼棒定着用平板(厚さ 22 mm)では 80% 程度であった。

2) Dywidag $\phi 27$ mm 鋼棒新型定着具は、定着ブロックのひびわれおよび破壊荷重に関する限り、旧型と同程度の信頼性を期待できるものと思われる。新型定着具を用いる場合、相隣る定着具の中心間隔と定着具中心からコンクリート縁までの許容距離としては 表-3, 4 に示した値を目安にすればよいであろう。

3) 定着ブロックの ひびわれ荷重を 従来よく用いられてきた Guyon などの二次元理論によって計算するとか

なり危険側の結果を与えることが認められた。一般に三次元載荷の場合、ブロック内部にまずひびわれが発生し、この内部ひびわれ荷重は Siever's の三次元近似理論によって与えられるひびわれ荷重と比較的よく一致していた。

参 考 文 献

- 1) Guyon. Y., : "Prestressed concrete" John Wiley and sons, I.N.C., N.Y,
- 2) Iyengar. K.T. : "Two-Dimensional Theories of Anchorage Zone Stresses in Post-Tensioned Prestressed A.C.I., Proc Beams' Vol. 59, No. 10, Oct. (1962)
- 3) Siever's. H. : "Die Berechnung von Auflagerbänken und Auflagerquadern von Brückenpfeilern" Der Bauingenieur, Vol. 27, No. 6, Jun. (1952)
- 4) Siever's. H. : "Über den Spannungs Zustand in Bereich der Ankerplatten von Spanngliedern vorgespannter Stahlbetonkonstruktion" Der Bauingenieur, Vol. 31, No. 4, April (1956)
- 5) 坂・六車・鈴木 : Dywidag 工法の定着板効果に関する実験的研究, 住友電工, 第 72 号

1964.9.2・受付

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)