

新定着装置の開発と性能試験

池田 永 司*
林 三 雄**
浜 戸 昇***

1. はじめに

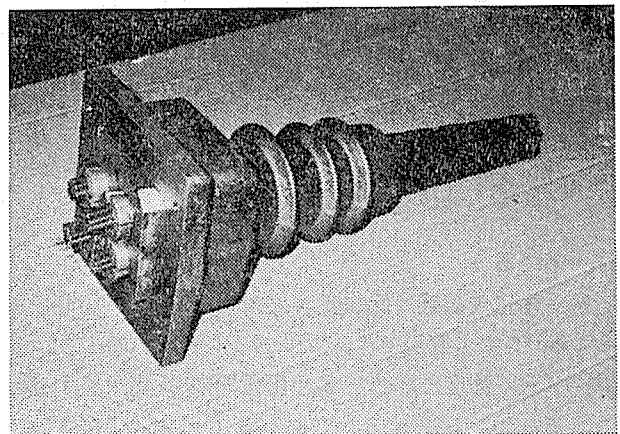
近年、建築分野におけるプレストレストコンクリート構造には、告示改正、PRC 構造の実用化等大きな変化が起きている。それに伴い、従来その安全性を主に施工実績に頼っていた定着装置の見直しが行われることになり、現在その作業が（財）日本建築センターにおいて進められている。それによれば今後建築構造物に使用される定着装置は、同センターの評定を受けていることが必要となる。

このような法・規準上の流れとともに、最近の PC 構造物では定着工法を選定するうえで、ケーブルの大型化、経済性追及、あるいは定着部おさまりの改善等、種類の要望が出されてきている。しかも今後は比較的低強度のコンクリート ($F_c=210\sim 300\text{ kg/cm}^2$) への適用も考えていかねばならない。

こうした現状を踏まえて当社では独自の定着装置の開発を手がけ、ここ数年種々の性能試験を行いながら実用化に向けて検討を進めてきた。その結果、必要な標準的仕様も確立することができ、また FSA 工法 (Four Strands Anchor 工法) として上記建築センターの評定も無事パスすることができたので、これまでの成果をここに報告する。なお今回報告する定着装置は、当社で計画している表—1 に示す工法シリーズの一つであり、その他の定着装置についても順次開発・実用化を図るよう現在検討を進めている。

2. 定着装置の概要

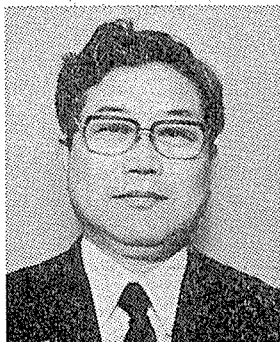
2.1 定着装置の特徴



写真—1 定着具外観

FSA 工法の定着装置の構成を図—1 に示す。この工法の特徴は以下のとおりである。

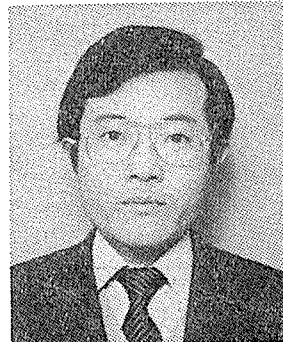
- 1) ケーブルは 4 本の PC 鋼より線により構成される。
- 2) 緊張は 4 本の PC 鋼より線の同時緊張とし、定着は楔方式とする。また楔は緊張後圧入し、定着時のもどりを小さくしている。
- 3) 定着具は埋込み型となっており、キャストイング周壁よりの応力伝達をはかれるよう工夫されている。したがって定着具は比較的コンパクトであり、おさまりのよい設計ができる。
- 4) 定着具廻りに拘束スパイラル筋を巻いているため、定着具と拘束コンクリートが一体となって定着機能を果たし、確実性を増している。
- 5) アンカーヘッドおよび楔はキャストイング内へおさまるよう工夫されており、したがって部材端面よりの突出が小さく、端部処理等の施工は容



* Eiji IKEDA
ピー・エス・コンクリート(株)
東京支店建築部長



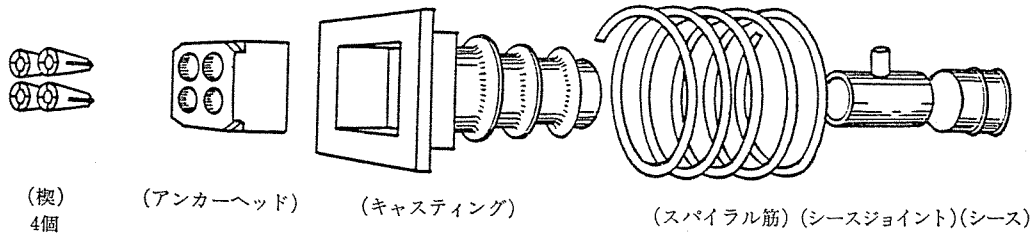
** Mitsuo HAYASHI
ピー・エス・コンクリート(株)
東京支店建築部技術課長



*** Noboru HAMATO
ピー・エス・コンクリート(株)
東京支店建築部技術課

表—1 FSA 工法シリーズ

定着具名	使用 PC 鋼材	引張荷重 (t)	降伏荷重 (t)	プレストレス導入時 (t)	定着完了時 (t)
4 T 12.7 用	7 本より 12.7 mm (SWPR 7 B)	74.8	63.6	54.06	50.88
4 T 15.2 用	7 本より 15.2 mm (SWPR 7 A) 〃 (SWPR 7 B 相当)	92.4 106.4	78.8 90.4	67.00 76.84	63.04 72.32
4 T 17.8 用	19 本より 17.8 mm (SWPR 19)	158.0	134.4	114.24	107.52
4 T 19.3 用	19 本より 19.3 mm (SWPR 19)	184.0	158.0	134.30	126.40
4 T 21.8 用	19 本より 21.8 mm (SWPR 19)	233.6	202.0	171.70	161.60



図—1 定着装置の構成

易である。

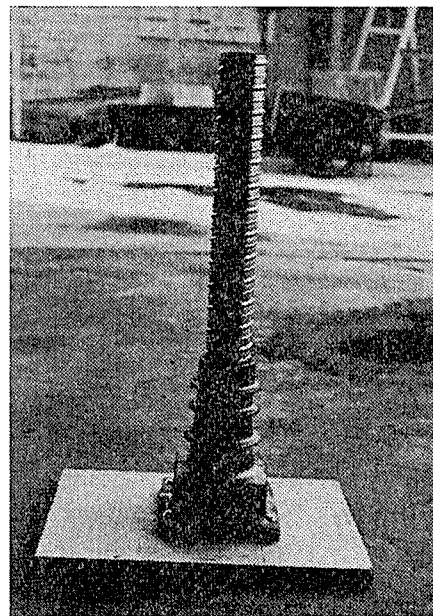
- 6) 本定着装置は低強度コンクリート ($F_c < 300 \text{ kg/cm}^2$) にも適用でき、プレストレス導入時のコンクリート強度に応じて最小配置間隔が定められている。
- 7) コンクリート打設時にはキャストイングのみを型枠に取り付け、通線後アンカーヘッド、楔を所定位置にセットする。定着装置に関わる施工は比較的容易である。

2.2 定着装置の仕様

4 T 15.2 用の定着装置で使用できる PC 鋼材を表—2 に示す。また 4 T 15.2 用の定着具各部件の形状寸法を図—2 に示す。

キャストイングは複雑な形状に対応できるよう鋳鉄製とし、アンカーヘッドおよび楔は鋼製、スパイラル筋は普通丸鋼としている。

定着具の最小配置間隔は、表—3 に示すようにプレストレス導入時のコンクリート強度に応じて定めており、特に指定のない場合は $F_{ci} = 200 \text{ kg/cm}^2$ として定める。また本定着装置を使用する場合、拘束スパイラル筋のほかに割裂補強筋を必要とし、補強筋計算を省略した場合は標準仕様に従った配筋を行う必要がある。



写真—2 定着具のセッティング

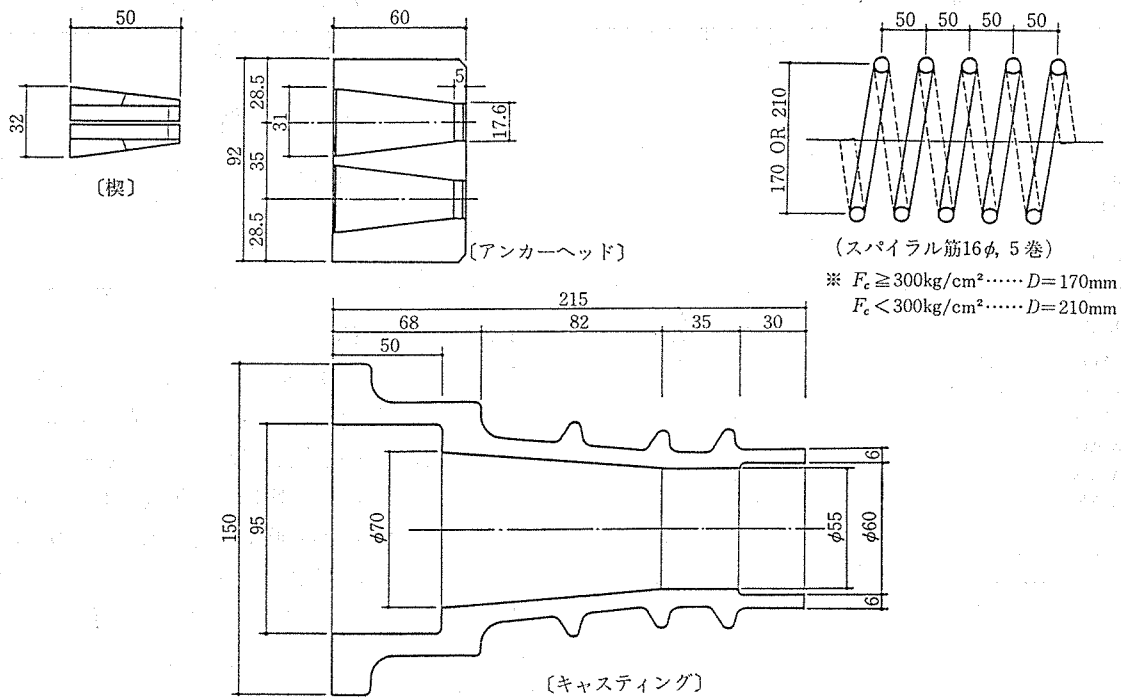
PC 鋼材の定着時もどり量は、性能試験の結果、 $\delta =$ 約 5 mm であり、ばらつきも少なく、設計上この程度の量を見込めばよいと考えられる。

2.3 拘束スパイラル筋

本定着装置では、定着体の一部として拘束スパイラル

表—2 適用 PC 鋼材

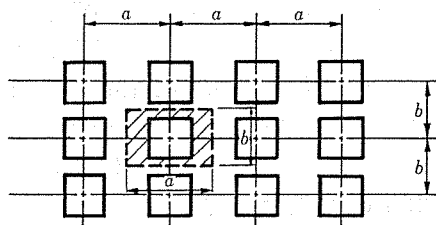
呼 称	公称断面積 (mm ²)	単位重量 (kg/km)	降伏点荷重 (kg)	引張荷重 (kg)	伸 び (%)	リラクゼーション値 (%)
SWPR 7 A 7 本より 15.2 mm	138.7	1 101	19 700 以上	23 100 以上	3.5 以上	3.0 以下
SWPR 7 B 相当 7 本より 15.2 mm	138.7	1 101	22 600 以上	26 600 以上	3.5 以上	3.0 以下



図—2 定着具の形状寸法

表—3 定着具の最小配置間隔
($F_c \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ または SWPR 7 A 使用の場合)

導入時強度 F_{ci} (kg/cm^2)	A_c (cm^2)	$a=b$ の場合 (cm)
$200 \leq F_{ci} < 240$	729	27×27
$240 \leq F_{ci} < 270$	506	22.5×22.5
$270 \leq F_{ci} < 300$	400	20×20
$300 \leq F_{ci}$	324	18×18



$a \times b \geq A_c$
ただし、 $a, b \geq 18 \text{ cm}$

筋を配置している。これはキャストイングの外観がやや楔型となっており、したがってその楔作用を打ち消し、拘束されたコンクリートが一体となって定着機能を発揮できるよう考慮したことによる。

スパイラル筋に拘束効果を期待するには、その巻径を定着具の対角距離以内とし、また所定の鉄筋量を確保してその応力を低く抑えておく必要がある。本定着装置ではそれらの試算を行い、巻径、鉄筋径、ピッチ等を定め、試験によって実証を行った。

3. 性能試験

3.1 試験の概要

ここに報告する定着装置は構成、形状等すべてにわたって全く新しい装置であり、実用化するにはその性能を十分把握し、安全性・確実性を保証しておく必要がある。殊に本定着装置のような埋込み型ものは解析が容易でなく、したがってそれは標準仕様の最も不利な場合を対象とした試験に頼らざるを得ない。

試験は冒頭で述べたごとく、現在定着装置の評定義務化の一環として性能試験の方法が確立しており、今回はそれに準じて実施した。

準拠した規準を以下に示す。

- 1) プレストレストコンクリート造の緊張材の定着装置および接合具の有効性の確認について
—建設省住指発第 404 号 昭 58.12.28
- 2) プレストレストコンクリート造設計施工指針
—日本建築センター 1983 年
- 3) プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説
—日本建築学会 1975 年

なお上記 1) によれば、試験は以下の 2 つに大別され、今回はそれに従って実施した。

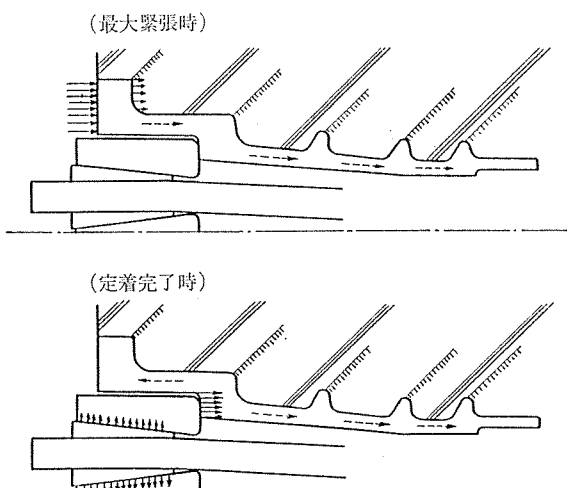
- A 試験：定着具と緊張材間の定着性能を調べるための試験
- B 試験：定着具とコンクリート間の定着性能を調べるための試験

また今回の試験では本定着装置の標準仕様を確立するために種々の比較試験を同時に行っているため、その主要なものについては合わせて報告する。

表—4 試験体の種類

項目	シリーズ 記号	試験体 形状	コンクリ ート導入 時強度	スパイ ラル筋 巻き径	割 裂 補強筋 鉄筋径	加力方法
キャ ス テ ィ ン グ お よ び 定 着 部 コ ン ク リ ー ト の 試 験	LOOS	270×270	200 未満	無	無	定 着 時
	LAOS	"	"	17 cm	"	"
	LBOS	"	"	21 cm	"	"
	LCOS	"	"	24 cm	"	"
	LAAS	"	"	17 cm	D 10	"
	LAAP	"	"	"	"	最大緊張時
	LABS	"	"	"	D 13	定 着 時
	LOAP*1	"	"	無	D 10	最大緊張時 & 定着時
	HSAOS	190×270	300±30	17 cm	無	定 着 時
	HSAAS	"	"	"	D 10	"
	HSABS	"	"	"	D 13	"
	HWAOS	450×270	"	"	無	"
HWAAS	"	"	"	D 10	"	
HWABS	"	"	"	D 13	"	
*2	JHABS	270×270	300 以上	"	"	最大緊張時 & 定着時

*1 定着板による表面載荷を行う試験体
*2 アンカーヘッドおよび楔の試験



図—3 緊張力の伝達機構

表—5 試験体製作グループ

シリーズ	製 作 試 験 体
1	LOOS, LAOS, LBOS, LCOS, LOAP
2	LAAS, LAAP, LABS
3	HSAOS, HSAAS, HSABS, HWAOS, HWAAS, HWABS, JHABS

表—6 コンクリートの配合

シリーズ	粗 骨 材 最大寸法 (mm)	スラ ンプ (cm)	空 気 量 (%)	水 セ メ ン ト 比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量			
						水 (kg/m³)	セメント (kg/m³)	細 骨 材 (kg/m³)	粗 骨 材 (kg/m³)
1, 2	25	12 (13.5) (14.8)	4 (4.6) (2.7)	51.6	42	162	314	777	1072
3	25	8 (9.0)	4 (3.1)	36.0	38	158	439	673	1083

() 内は実績値を示す

表—7 コンクリート材料試験結果

シリーズ	試験材令 (日)	圧縮強度 (kg/cm²)	ヤング係数 (kg/cm²)	ポアソン比
1	27~30	181~190 (186)	1.63×10 ⁵	0.184
2	51~53	167~165 (166)	1.32×10 ⁵	0.178
3	B 試験用	20~24	306	2.12×10 ⁵
	A 試験用	44~47	349	2.36×10 ⁵

3.2 試験体

試験体の種類を表—4に示す。試験体は各ケース3体とした。なお試験体の長さはすべて $L=50$ cm とし、スパイラル筋、割裂補強筋は以下のものを使用した。

スパイラル筋：16φ (SR 24)，5巻，ピッチ 5 cm
割裂補強筋：(SD 30)，3巻，ピッチ 10 cm

表中加力方法が2種類あるのは、最大緊張時と定着完了時では図—3に示すごとく、緊張力が伝達される機構が両者で異なるため、両者ともに安全性を確認しておく必要上実施したものである。

試験体は測定工程を考慮して表—5に示すグループに分けて製作した。各グループのコンクリートの配合を表—6に、コンクリート強度等の測定値を表—7に示す。

3.3 試験の方法

3.3.1 A試験の方法

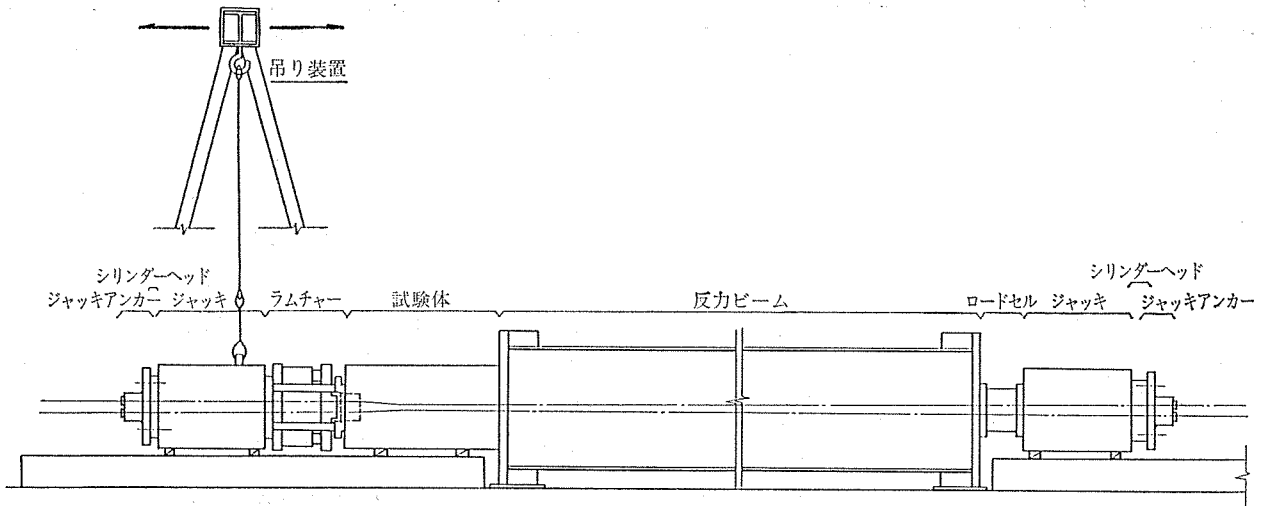
今回の試験では、A試験を次の2種類に分けて実施した。

A-1 試験：主に許容緊張力時の定着性能を調べるために行ったもので、コンクリートに標準的仕様によって定着具等を埋め込んだ試験体により、図—4に示す試験装置を用いて、実際にケーブルを緊張・定着することによって行った。使用 PC 鋼材は、SWPR 7B 相当品である。

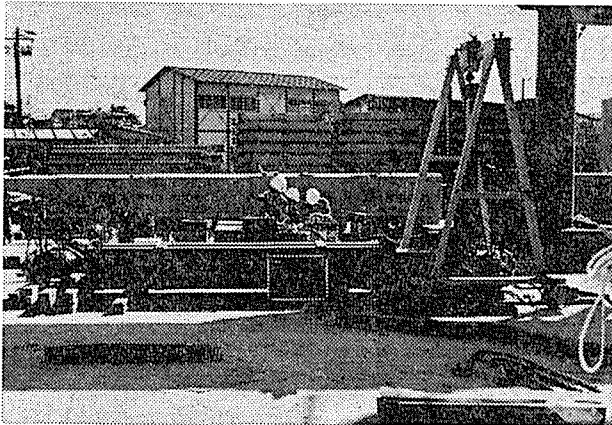
なお、楔の圧入は、1試験体につき $P_w=1.4$ t, 4.2 t, 7.0 t の3ケースについて調べた。

測定は PC 鋼材の伸び量、もどり量、損失力等について行った。

A-2 試験：主に PC 鋼材の耐力域における定着性能を調べるための試験で、ケーブル両端にアンカーへ



図—4 A-1 試験要領



写真—3 A-1 試験状況

ッド・楔よりなる試験体をセットし、ケーブルをPC鋼材の破断まで緊張加力することによった。測定はその間のPC鋼材の伸び、すべり、楔のめり込み等について行った。

3.3.2 B試験の方法

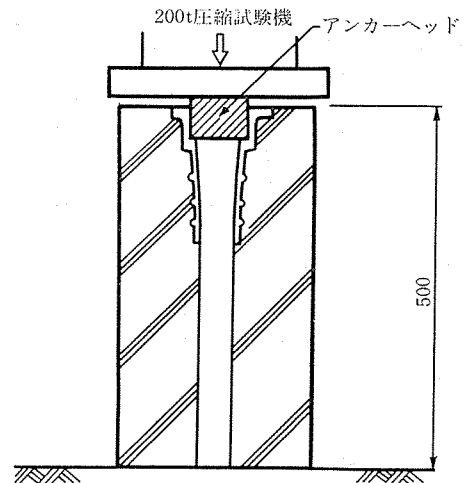
B試験は定着具とコンクリート間の定着性能を調べるための試験で、今回はコンクリートにキャストを埋め込んだ試験体に対し、アンカーヘッドを介して圧縮試験機により直接加圧することによった。図—5に加力要領を示す。なお加力は試験体破壊までの単調载荷とした。

測定は以下の項目について行った。

- 1) 試験体表面ひずみの測定 (全試験体)
- 2) スパイラル筋ひずみの測定 (LAOS, LBOS, LCOS)
- 3) 割裂補強筋ひずみの測定 (LAAS, HSAAS)
- 4) 試験体材軸直交方向変形の測定 (全試験体)

3.4 試験の結果

3.4.1 A試験の結果



図—5 B試験加力要領



写真—4 B試験状況

表—8 A-1 試験測定結果

ゲイス	測定項目	JHABS-1	JHABS-2	JHABS-3	平均
1	楔圧入力 (t)	1.4	1.4	1.4	1.4
	最大緊張力 (t)	76.5	76.5	76.3	76.4
	導入力 (t)	53.2	47.8	47.7	49.6
	損失力 (t)	23.3	28.7	28.6	26.8
	導入力/緊張力 (%)	69.5	62.5	62.5	64.9
	戻り量(mm)	10.9	12.2	12.3	11.8
2	楔圧入力 (t)	4.2	4.2	4.2	4.2
	最大緊張力 (t)	76.5	76.5	76.3	76.4
	導入力 (t)	65.9	66.9	66.7	66.5
	損失力 (t)	10.6	9.6	9.6	9.9
	導入力/緊張力 (%)	86.1	87.5	87.4	87.0
	戻り量(mm)	5.2	4.6	4.9	4.9
3	楔圧入力 (t)	7.0	7.0	7.0	7.0
	最大緊張力 (t)	76.5	76.5	76.8	76.6
	導入力 (t)	67.6	66.6	69.0	67.7
	損失力 (t)	8.9	9.9	7.8	8.9
	導入力/緊張力 (%)	88.4	87.1	89.8	88.4
	戻り量(mm)	4.7	4.8	3.8	4.4
4	楔圧入力 (t)	1.4	1.4	1.4	1.4
	最大緊張力 (t)	94.5	94.3	94.3	94.4
	導入力 (t)	65.5	57.6	58.4	60.5
	損失力 (t)	29.0	36.7	35.9	33.9
	導入力/緊張力 (%)	69.3	61.1	61.9	64.1
	戻り量(mm)	8.3	10.9	12.9	10.7

A-1, A-2 試験を通じて楔, アンカーヘッド, キャスティングの損傷, および PC 鋼材のすべりは全く見られず, 所定の判定基準に対し満足できる結果が得られて安全性が実証できた。

表—8 に楔を圧入した時の導入力, 損失力の測定結果を示す。圧入力 $P_w=4t$ レベル以上で導入有効率は 87% 確保されており, ほぼ満足な圧入効果が得られた。なお圧入力をそれ以上大きくしても効果が上がらないことが本試験では示された。

同表に PC 鋼材のもどり量の測定結果を示す。もどり量は所定の圧入力 ($P_w \geq 4t$) のもとで約 5mm 程度に抑えられることが判明した。

A-2 試験からは楔, アンカーヘッドは PC 鋼材の破断まで十分安全であることが確認できた。なお PC 鋼材の実引張強度と規格引張強度の間にほとんど余裕がなく, PC 鋼材は規格引張強度の約 95% ほどで楔端で破断に至っている (表—9, 図—6)。

楔のめり込みは, 許容緊張力の荷重段階で平均 2.9mm, 規格降伏荷重段階で平均 3.5mm であった。

3.4.2 B試験の結果

(1) 試験体表面ひずみの性状

代表的な試験体 (LAAS, LAAP, HSAAS) の表面ひずみ分布の結果を図—7 に示す。

スパイラル筋も割裂補強筋もない LOOS 試験体を除き, 全試験体ともに許容緊張力 $P=0.85P_y$ 程度までは

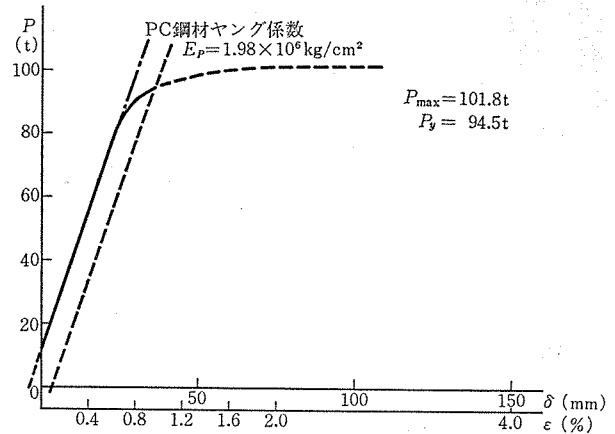
ひびわれも微少で履歴性状, 分布性状とも安定した挙動を示した。また引張ひずみが最も大きくなる部分は, 低強度および高強度コンクリートとも深さ 10~15cm にあることが示された。

(2) スパイラル筋のひずみ性状

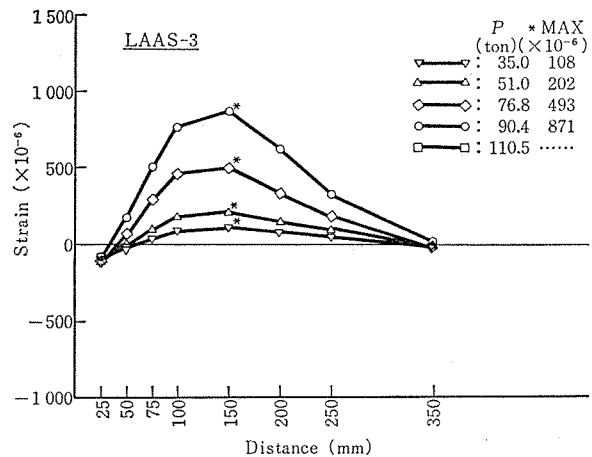
スパイラル筋のひずみ履歴, 分布の一例 (LAOS) を図—8 に示す。圧縮力が許容緊張力 $P=0.85P_y$ 程度までは各試験体とも弾性的挙動を示し, LAOS, LBOS 試験体ではそれ以後もひずみの増大は顕著でない。LCOS 試験体は他者に比べ最大荷重も大きく, スパイラル筋が降伏点に達したポイントも見られた。スパイラル筋の最大ひずみおよび応力度を表—10 に示す。

表—9 A-2 試験測定結果

試験体 No.	降伏点荷重			引張荷重		
	規格値 (t)	実験値 (t)	対規格値比	規格値 (t)	実験値 (t)	対規格値比
1	90.4	94.5	1.045	106.4	101.8	0.957
2		91.5	1.012		98.4	0.925
3		91.2	1.009		102.3	0.961
平均		92.4	1.022		100.8	0.948



図—6 A-2 試験 PC 鋼材荷重-変形履歴



図—7 (1) 試験体表面ひずみ分布 (LAAS)

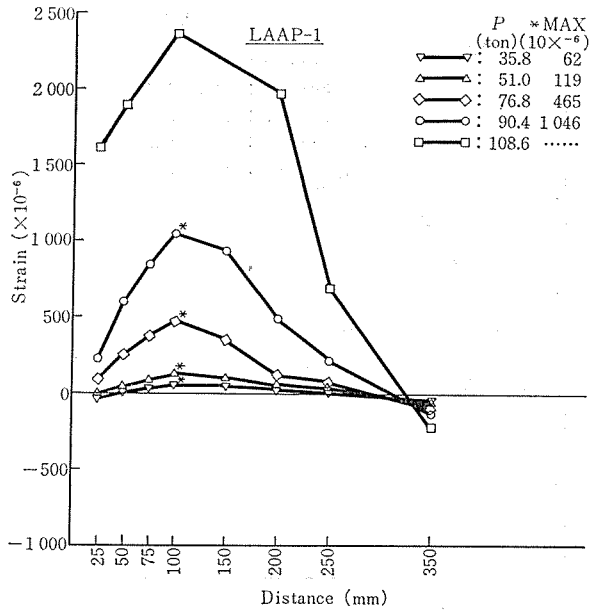


図-7 (2) 試験体表面ひずみ分布 (LAAP)

ひずみの最大位置は分布性状からみて、深さ 10~16 cm にあると考えられる。

(3) 割裂補強筋のひずみ性状

割裂補強筋のひずみ履歴、分布の一例 (LAAS) を図

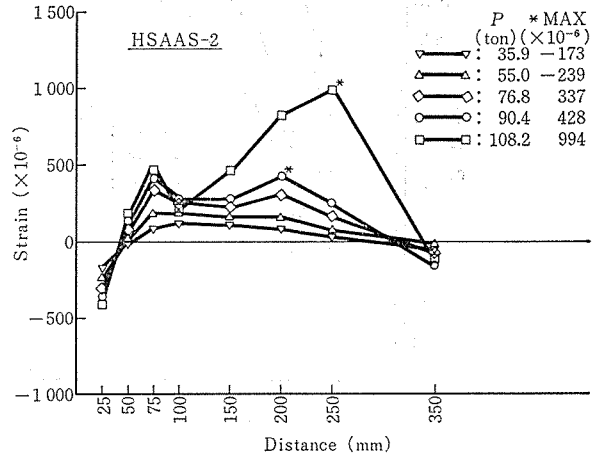


図-7 (3) 試験体表面ひずみ分布 (HSAAS)

表-10 スパイラル筋のひずみ・応力度

試験体	荷重段階	載荷荷重 (t)	ひずみ (μ)	応力度 (kg/cm ²)
LAOS	0.85 P _y	76.8 76.8	263 } 255 247 }	552 } 536 519 }
	MAX	86.5 87.0	466 } 421 376 }	979 } 885 790 }
LBOS	0.85 P _y	76.8 76.8	196 } 203 210 }	412 } 426 441 }
	MAX	87.5 98.2	289 } 375 460 }	607 } 787 966 }
LCOS	0.85 P _y	76.8 76.8	241 } 227 213 }	506 } 477 447 }
	MAX	125.5 134.0	1065 } — 破断 }	2237 } — — }

表-11 割裂補強筋のひずみ・応力度

試験体	荷重段階	載荷荷重 (t)	ひずみ (μ)	応力度 (kg/cm ²)
LAAS	0.85 P _y	76.8 76.8	278 } 309 339 }	584 } 648 712 }
	P _y	90.4 90.4	450 } 489 527 }	945 } 1026 1107 }
	MAX	105.0 110.5	1104 } 1168 1231 }	2318 } 2452 2585 }
HSAAS	0.85 P _y	76.8 76.8	263 } 288 313 }	552 } 605 657 }
	P _y	90.4 90.4	440 } 448 456 }	924 } 941 958 }
	MAX	108.2 110.3	1054 } 986 917 }	2213 } 2070 1926 }

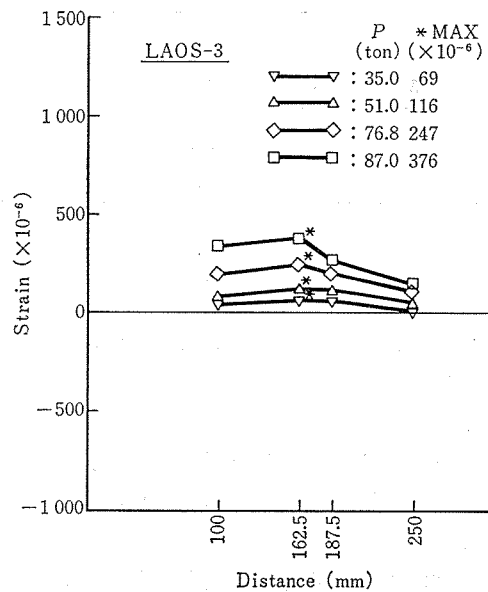
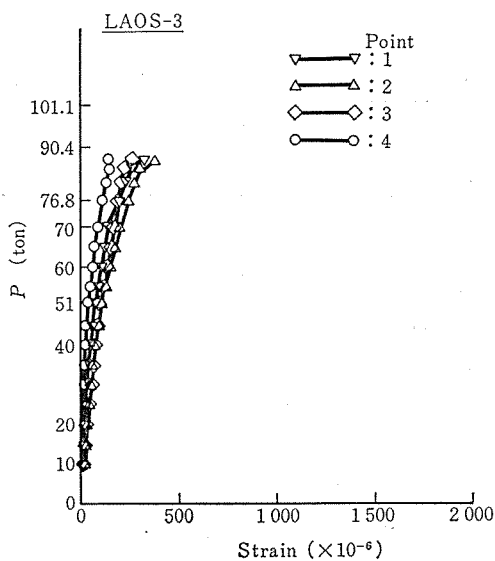
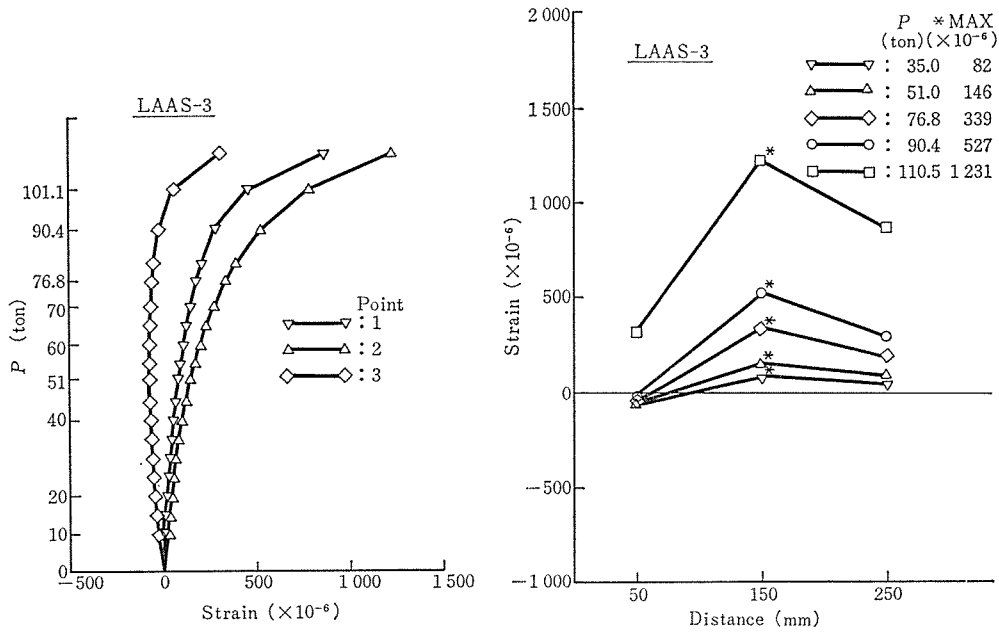


図-8 スパイラル筋のひずみ履歴・分布



図—9 割裂補強筋のひずみ履歴・分布

表—12 試験体のひびわれ幅

(単位: mm)

試験体記号 No.	0.85 P _y		0.9 P _y		P _y		0.95 P _u	
	目視結果	変形量測定結果	目視結果	変形量測定結果	目視結果	変形量測定結果	目視結果	変形量測定結果
LAOS 1	—	—	—	—	0.10	—	破	壊
LAOS 2	0.10	—	0.15	—	破	壊	破	壊
LAOS 3	—	—	0.05	—	破	壊	—	—
LAAS 1	—	0.06	—	0.07	0.05	0.10	—	0.20
LAAS 2	—	0.05	—	0.07	0.10	0.14	—	0.33
LAAS 3	—	0.04	—	0.05	2.10	0.06	—	0.10
LAAP 1	—	0.05	—	0.07	0.15	0.13	—	0.23
LAAP 2	—	0.04	—	0.04	0.05	0.07	—	0.14
LAAP 3	0.05	0.04	—	0.06	0.10	0.10	—	0.22
HSAOS 1	—	0.08	—	0.10	—	0.15	破	壊
HSAOS 2	—	0.10	—	0.13	破	壊	破	壊
HSAOS 3	0.05	0.12	—	0.16	破	壊	—	—
HSAAS 1	—	0.10	—	0.12	—	0.16	—	0.22
HSAAS 2	—	0.09	—	0.11	—	0.15	—	0.24
HSAAS 3	—	0.07	—	0.08	—	0.12	0.05	0.22
HWAOS 1	—	0.06	—	0.08	—	0.14	破	壊
HWAOS 2	—	0.11	—	0.14	—	0.19	破	壊
HWAOS 3	—	0.57	—	0.65	—	0.91	破	壊
HWAAS 1	0.05	0.06	—	0.06	0.08	0.10	—	0.27
HWAAS 2	—	0.06	—	0.07	—	0.10	—	0.37
HWAAS 3	0.08	0.07	—	0.11	—	0.17	破	壊

—9 に示す。ひびわれの発生が予見される $P=0.85 P_y$ 時以降、ひずみ増大がみられ補強筋として効き始めていることがわかる。また分布性状からみて補強筋は深さ 10~25 cm 程度に配置するのが妥当と考えられる。

割裂補強筋の最大ひずみ、応力度を 表—11 に示す。

(4) 試験体のひびわれ性状

代表的な試験体のひびわれ発生荷重を 図—10 に示す。またひびわれ幅を 表—12 に示す。表中変形量測定結果

の値は標点間に発生したひびわれの幅のトータル値である。

標準的仕様に従って補強した試験体は、HWAAS-3 試験体を除き、ひびわれに関して満足できる結果が得られた。HWAAS 試験体は 2 体の定着具を同時圧縮する試験体で、その No. 3 は偏荷重の影響が見られたものである。

(5) 試験体の破壊性状

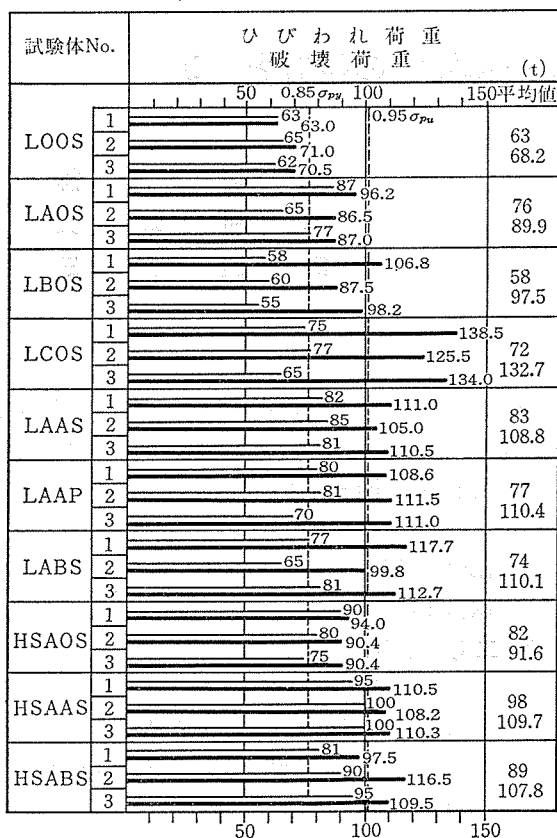


図-10 試験体のひびわれ・破壊荷重

代表的な試験体の破壊荷重を 図-10 に示す。同図に
合わせて目視によるひびわれ発生荷重を示す。

試験体の破壊性状に関し、以下の結果が得られた。

- ① スパイラル筋の巻径が大きいほど耐力は増大。殊に巻径が定着具の対角距離より大きく、定着具の見付面積の2倍の面積をもつ LCOS 試験体では無拘束試験体比で約 1.95 倍に達している。スパイラル筋は拘束筋としてよりもむしろ割裂補強として作用している。
- ② 補強試験体は、無補強試験体比で約 1.2 倍の耐力増大がみられた。なお補強筋量の差 (D 10, D 13) による相違は本試験では確認できなかった。
- ③ 低強度コンクリートの場合と高強度コンクリートの場合では各々の配置間隔の元でほぼ同等の耐力を有する。
- ④ 表面載荷のタイプに比べ、耐力向上は確実で、LAAS 試験体と LOAP 試験体でコンクリート強度の相違に対する換算を行うと、約 1.5 倍の耐力増大がみられた。ただし両者の定着具の見付面積は同一としている。
- ⑤ 補強試験体では補強筋に沿っているとみられる水平亀裂がみられた。
- ⑥ 破壊後の内部状態の観察の結果、スパイラル筋内

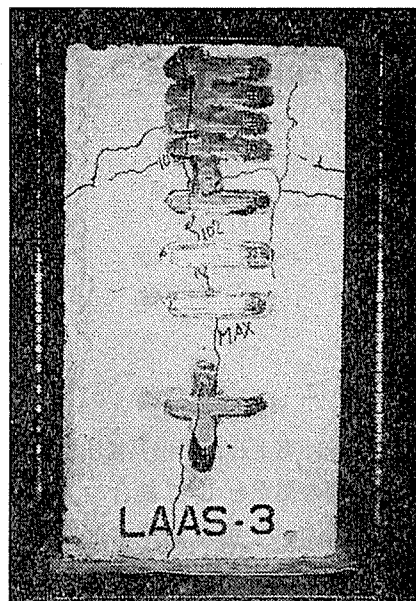


写真-5 試験体破壊状況

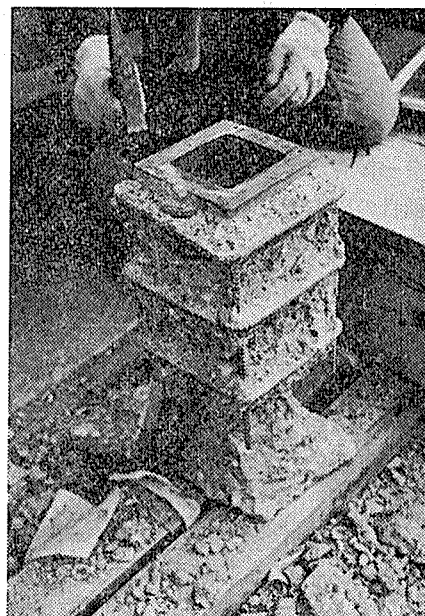


写真-6 試験体内部状況

部のコンクリートは健全であることが示された。

4. おわりに

以上報告を行った A 試験, B 試験およびそれに付随した比較試験を通じ、本定着装置の安全性が確認され、性能もある程度量的把握ができた。建築センターの評定も得られたので今後は施工性等を追及しながら改良を加え、実績を積み上げていく方針である。

なお冒頭で述べたごとく、今後 FSA 工法をシリーズとして研究開発を進める予定であり、その成果があがり次第再度報告を行いたい。