

## 原子力施設におけるプレストレッシングシステム

齋 藤 雄 三\*

### 1. ま え が き

最近、我が国においても原子力施設、特に原子力発電所の原子炉格納容器に、プレストレストコンクリート(PC)構造が適用されることとなり、関係業界では話題となっている。

PC構造の原子力構造物といえ、PC原子炉容器(PCRV)またはPC圧力容器(PCPV)とPC原子炉格納容器(PCCV)が、まず頭に浮かぶ。そしてこれらについて欧米ではかなり以前から研究がなされており、PCPV(以下PCRと同義語として扱う)はPCCVに比して約10年前に実現して以来、約25年の実績を有している。この間種々の技術的な改善や開発がなされ、今日に至っていることは周知のとおりである。さらに今後の動向を見てみると、一つの方向が第8回FIP大会(ロンドン)での「コンクリート圧力容器と貯蔵容器」に関するセミナーで示されており、十分な検討と研究が推し進められよう。

そこでこれを機会に、PC構造物の主要材料の一つであるプレストレッシング(PS)システムについて、特に原子力構造物(PCPVやPCCV)との関連でまとめてみた。ただし、諸外国の実績をすべて調べることは不可能に近いので、日本に導入されているPSシステムで過去にPCPVやPCCVに使用実績があり、1 tendon 当たりの引張強度が500t以上となる tendon を有する定着工法に限定した。なお、1 tendon 当たりの引張強度として500t以上に限定した理由は、一般に構造上と経済性の観点から大容量にした方が有利となるといわれ、使用されるからである。

### 2. PS システム

原子力構造物、特にPCPVまたはPCCVへのPSシステム(応力導入方式)には、従来からPCの橋梁などに利用されていると同様なポストテンションシステムと、PCタンクなどの円形構造物に使用されるワインディングシステムがある。

#### 2.1 ポストテンションシステム

我が国で使用できるポストテンションシステム、

\* ピー・エス・コンクリート(株)技術部主任研究員

すなわち tendon 定着工法としては、近年導入された工法も含めると20工法足らずあるが、レオンハルト工法のような特殊なものを除いては、500t以上の容量の tendon 使用実績はない。もちろん原子力構造物へのPC構造の適用例もないが、諸外国におけるPCPVでの実績を調べた結果、工法別に分類すると表-1に示すとおりとなった。なおこの表では tendon 容量はすべてが500t以上に限定していない。またPCCVでの定着工法の採用状況はPWR(加圧水型軽水炉)用のものに限定すれば表-2に示すとおりである。

表-1 定着工法別 PCPV 基数一覧表

定着工法名 国名	CCL	BBRV	Freysinet	SEEE	Coyne	不明	計
イギリス	8	2	4	—	—	—	14
フランス	—	1	—	3	2	—	6
アメリカ	—	1	—	—	—	2	3
スペイン	—	—	1	—	—	—	1
ドイツ	—	1	—	—	—	—	1
計	8	5	5	3	2	2	25

表-2 定着工法別 PWR 用 PCCV 基数一覧表  
(建設中、発注済みも含む)

定着工法 国名	BBRV	Freysinet	VSL	SH	Stron-ghold	その他不明	計
アメリカ	43	—	7	2	—	7	59
フランス	—	28	—	—	—	—	28
スペイン	2	2	—	—	2	3	9
ベルギー	—	3	—	—	—	—	3
スウェーデン	3	—	—	—	—	—	3
台湾	—	2	—	—	—	—	2
イタリア	—	—	—	—	—	2	2
スイス	2	—	—	—	—	—	2
計	50	35	7	2	2	12	108

(注) ボタンヘッド定着は BBRV 工法に含む。また tendon 容量 500t 以下も含む。

では、表-1や表-2で示された工法のうち、我が国に導入されている工法で、500t以上の容量の tendon システムを有するものについてまとめたものが表-3である。この表で各種の tendon について単純な比較ができるように、 tendon 規格耐力という欄を設け、500tから tendon 最大耐力まで棒グラフ状に示し、PC鋼材はPC鋼線をφ7mmは6.35t/本、PC鋼より線については、7本より12.7mmは18.7t/本、7本より15.2mmは26.6t/本、7本より17.8mmは39.5t/本として換

表-3 容量 500 t 以上を有する定着工法一覧表

定着工法名	国内実施権者	開発国	システム 型式名	定着方式	使用 PC鋼材	テンドン構成	テンドン規格耐力 (SWPR 7B 相当で換算)		
							鋼材径	500t	1000t
BBRV	白石基礎工事 (株) (日本BBR ビューロー)	スイス	D,F-Type (写真-3)	ボタン ヘッド	PC鋼線	~(242-φ7)	φ7		421本 242本 2673t
CONA			CONA- Multi (写真-4)	くさび		~5505(55-12.7) ~3706(37-15.2)		12.7 15.2	
CCL	(株)シー・シー・ エル・ジャパン	イギリス	Multi force (写真-5)	くさび	P C 鋼 よ り 線 (7 本 よ り)	4W(~30-12.7) 7W(~42-15.2) 7W(~28-17.8)	12.7 15.2 17.8		
Freyssinet	極東鋼弦コン クリート振興 (株)	フランス	Mono- Group (写真-6)	くさび		~55K13(55-12.7) ~61K15(61-15.2) ~37K18(37-17.8)	12.7 15.2 17.8		91本 2420t
SEEE	新構造技術(株)	フランス	FU-Type (写真-7)	圧着 グリップ		~530(20-15.2)	15.2		
SH		アメリカ	SH-Type (写真-8)	くさび		~54-5(3× 18-12.7)	12.7		
Stronghold	東京製鋼(株)	スペイン	S-Type (写真-9)	くさび		~5-85(85-12.7) ~6-55(55-15.2) ~7-19(19-17.8)	12.7 15.2 17.8		
VSL	大成建設(株)	スイス	E-Type (写真-10)	くさび		~5-55(55-12.7) ~6-55(55-15.2) ~7-31(31-17.8)	12.7 15.2 17.8		

算した。なお点線で示したものは主として斜張橋用の吊材として開発されたものであることを付記しておく。

2.2 ワインディングシステム

このシステムは元来水タンク用に開発されたものの原理を発展させて大容量化したもので、円筒状のコンクリートシリンダー壁に PC 鋼材 (PC 鋼線または PC 鋼より線) を緊張しながら、円周に沿って巻き付けていく方式である。巻き付け方法はシリンダー壁外周に一定の間隔をおいて、一層だけ巻いていく方法、外周に溝をつくりその溝に何層も巻き付ける方法、一層毎にモルタルを吹き付けその上にさらに重ねて巻いていく方法がある。

このシステムは主に PCPV に使用されるが、実績としてはあまり多くないので、以下にその代表的な工法名を挙げるにとどめ、その一例として図-1 にその概要側断面と写真-1 に全景を示しておく。

- 1) プレロード工法
- 2) Tayler Woodrow 工法
- 3) BBRV 工法
  - a) BW 2000 型 (張力 2.0t)
  - b) SW 8500 型 (張力 8.5t)
- 4) DYKMANS 工法
  - a) DYK I 型 (張力 7.7t)

- b) DYK II 型 (張力 9.1t)
- 5) GA 工法 (張力 18.1t)
- 6) Jack Crom 工法

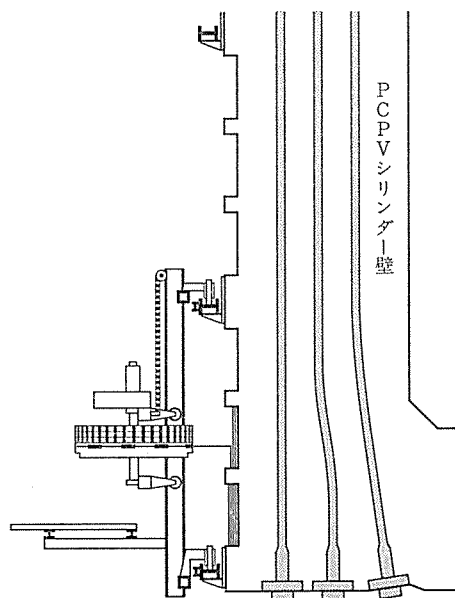


図-1 ワインディングシステムの一例 (側断面図)

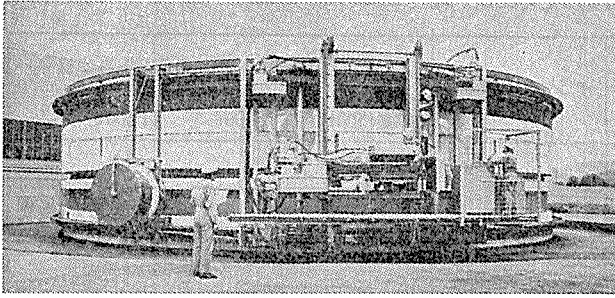


写真-1 ワインディングシステムの一例 (SW-8500 型)

### 3. 定着方式

前節で述べた PS システムのうちポストテンションシステムは、言い換えれば定着工法そのものである。すなわち、個々のシステムの特徴が各々の定着工法のノウハウであるといってもよからう。そのため各々の工法にはその特色を生かす独特の装置なども用意され、特に緊張作業にはそれに伴って種々の方法が存在する。そこで表-3 に示した工法についてまず定着方式を説明する。

#### 3.1 PC 鋼線の定着方式

500t 以上の tendon を大容量 tendon ということにするが、この種のもので PC 鋼線を用いているのは、BBRV 工法のみである。表-1、表-2 で明白なように原子力構造物への適用実績の最も多いこの工法は、必ずしも大容量のものばかりではないが、PC 鋼線からなる tendon である。しかも、これらの大半は緊張後セメントグラウトを注入するボンド方式ではなく、防せいグリースなどを充填するアンボンド方式で使用されている。これは PCCV 完成後、発電所の運転中にも tendon

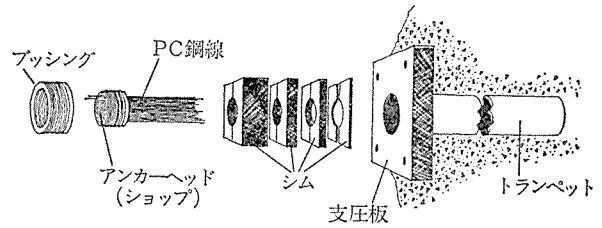


図-2 PC 鋼線のボタンヘッド定着機構

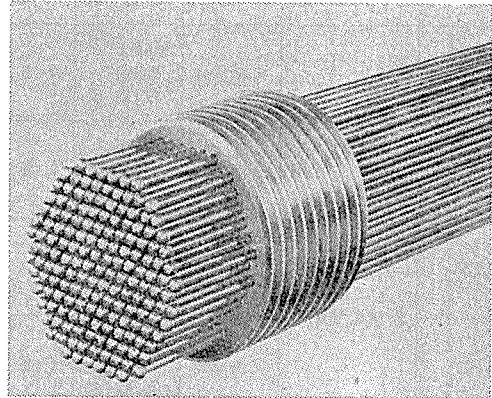


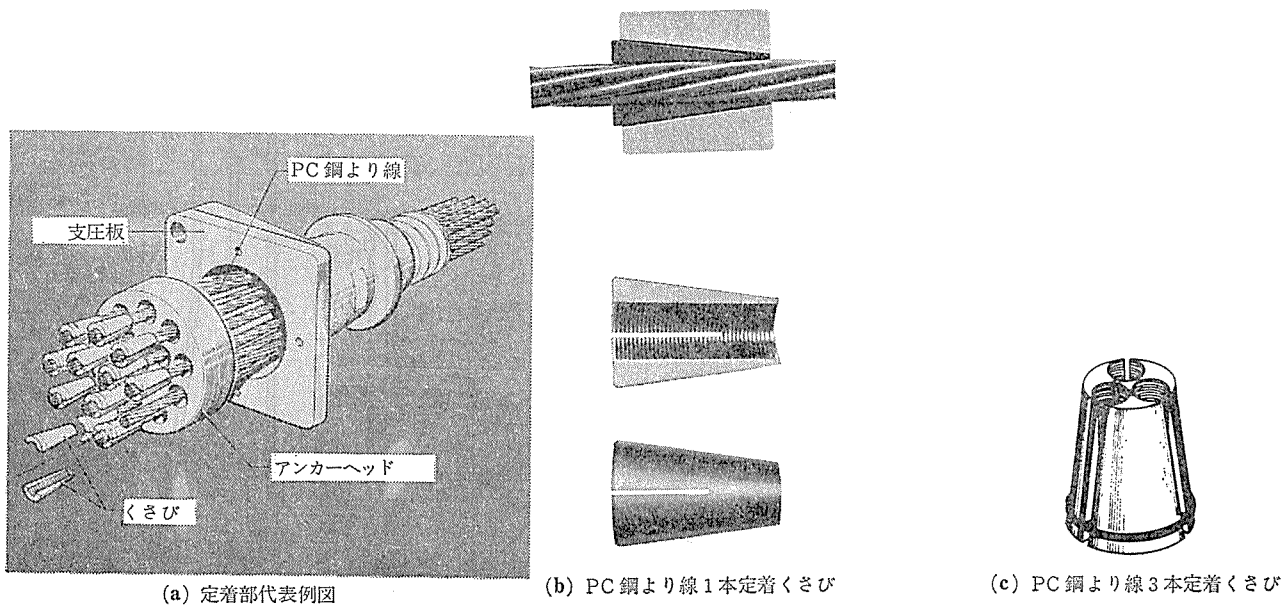
写真-2 PC 鋼線端のボタンヘッド (163-φ7mm)

の状況を監視し、その健全性を確認することを可能にしている。そして、それに最も機能的なのが BBRV 工法 (PC 鋼線使用) であったからであろうことは実績から明らかである。

この BBRV 工法は 図-2 および 写真-2 からわかるように、PC 鋼線端を特殊な機械で所定形状に冷間加工したボタンヘッドで、アンカーヘッドを介して定着される。

#### 3.2 PC 鋼より線の定着方式

表-3 から明らかなように、PC 鋼より線の定着は



(a) 定着部代表例図

(b) PC 鋼より線 1 本定着くさび

(c) PC 鋼より線 3 本定着くさび

図-3 PC 鋼より線の定着機構

大半がくさび定着である。すなわちこれらの定着は原理的には同じものと言える。その原理を説明すると大略以下のようなものである。

図-3 (a) はある定着工法の説明図であるが、これで一般的な定着の理屈が説明できる。定着具はアンカーヘッド(定着盤ともいう)とウェジ(くさび)からなり、アンカーヘッドには PC 鋼より線をつかむウェジの入る孔が開けられている。通常、1組のウェジで1本の PC 鋼より線が図-3 (b) のように定着されるが、SH 工法のように3本の PC 鋼より線を図-3 (c) のような1組のウェジで定着するものもある。

だが各工法には共通なものもあるように思えるが、これが全く異なっている。例えばウェジの形状、寸法、分割数など各々別で、それとともにアンカーヘッドの形状、寸法やこのウェジの納まる孔も各工法まちまちであ

る。したがって他工法の部品を転用することは一般にできない。

上記のような一般的な PC 鋼より線の定着原理以外に、SEEE 工法のように図-4 に示すような PC 鋼より線端に圧着グリップを装着したり、BBRV 工法の一部にボタンヘッドを加工して定着するものもある。また Freyssinet 工法では、現在橋梁などで使用されている12本の PC 鋼より線を同時に定着する、いわゆるフレシネーコーンを用いて、大容量テンドンを分割定着する方法もある。

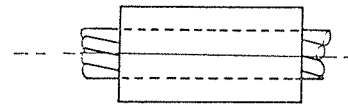


図-4 圧着グリップ(PC 鋼より線端にスリーブをかぶせ、ダイスを通して圧着したもの)

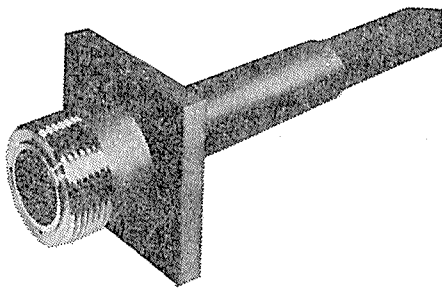


写真-3 ボタンヘッド定着 BBRV 工法 TYPE-D or F (163-7)

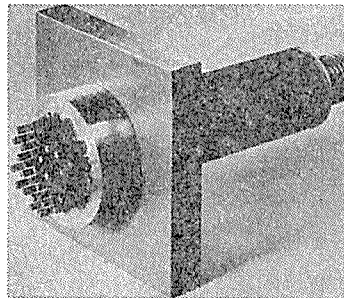


写真-4 くさび定着 CONA 工法 CONA-Multi 3105 (31-12.7)

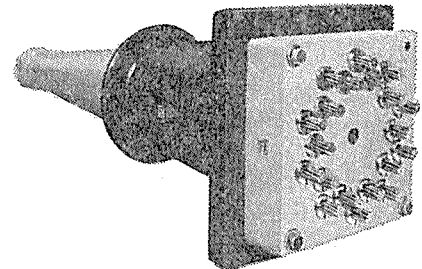


写真-5 くさび定着 CCL 工法 Multiforce 5 W (20-17.8)

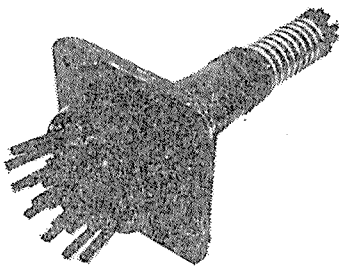


写真-6 くさび定着 Freyssinet 工法 Mono Group 19K15 (19-15.2)

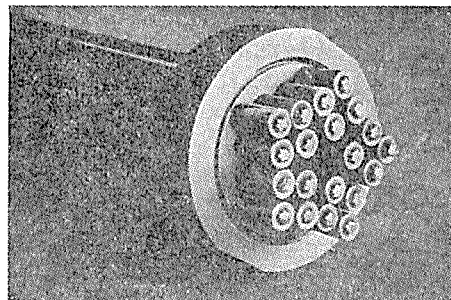


写真-7 圧着グリップ定着 SEEE 工法 FU-530 (20-15.2)

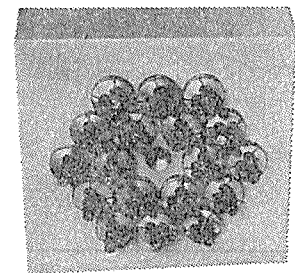


写真-8 くさび定着 SH 工法 SH 54-5 (54-12.7)

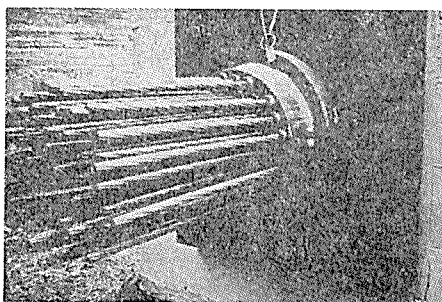


写真-9 くさび定着 Stronghold 工法 S 5-55 (55-12.7)

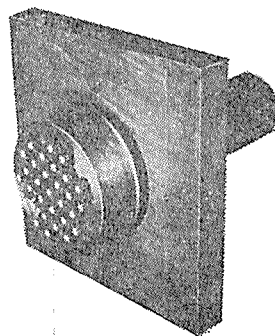


写真-10 くさび定着 VSL 工法 E 5-31 (31-12.7)

## 施 工

なお、原子力構造物への利用実績で2番目に多い Freyssinet 工法は、緊張後セメントグラウトを施すボンド方式がほとんどであることを付記しておく。

### 4. 緊張および伸び固定方法

前記 3. で述べた定着方式に次いで、緊張方法とテンダンの伸び固定方法についても簡単に説明を加えておく。大容量テンダンでは当然 PC 鋼材本数も多くなるので、各工法は各々独特な緊張装置を用意しており、作業の確実さと容易さを考慮して工夫がなされている。同時にそれはテンダンの伸びの固定方法とも関連を持っている。しかし、各々の工法において細部では異なる緊張装置なども定着方式同様、基本的原理は大差ないと言えよう。そこで表-3 で示した工法についてその原理を単純にまとめてみると、表-4 のような分類もできる。この表について少し説明を加えておく。

#### 4.1 伸び固定方法

ナット（ブッシングともいう）による場合とは 図-5 に示すように、支圧板よりコンクリート側のトランペット内部にあり、テンダン端部に余長を残して定着（ボタンヘッド、圧着グリップ、ウェジなどで）されているアンカーヘッドを、余長部分またはプルロッドを利用して外に引き出してきてナットを装着して、支圧板に固定する方法である。

シムによる場合とはアンカーヘッドは支圧板の外側にあるようにし、緊張による伸びであいたスペースに挟みものをする方法である。

くさびによる場合とは支圧板の外側に密着させたアンカーヘッドを介して引き出された PC 鋼材をそのままウェジで固定するものであり、くさび+シムの場合はそれにシムの使用を組み合わせたものである。

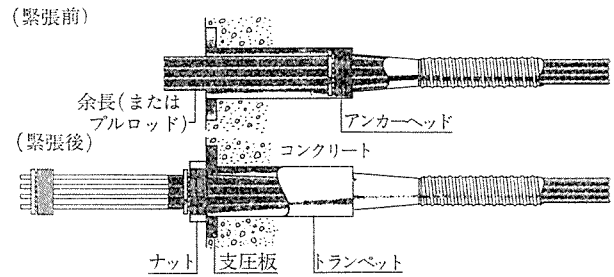


図-5 ナット（ブッシング）による伸び固定法

#### 4.2 緊張方法

ジャッキの使用の仕方によりテンダン端部の余長の取り方が多少異なってくる。例えばジャッキシリンダー前面仮定着と表示したのは、原理的には 図-6 に示すようにジャッキ内部に仮定着されるので、余長は短くてよいが定着部分が目視で確認できない。シリンダー背面仮定着とはこれと逆で、図-7 に示すようにジャッキの外側に仮定着される。またプルロッドを使用する方法は定着器具を含む緊張材端がネジ加工されたテンダン（PC 鋼棒や BBRV 工法など）の緊張に、従来から用いられ、一般にセンターホールジャッキを使う方法と全く同じ原理である。したがって大容量のテンダンではこれが大型化

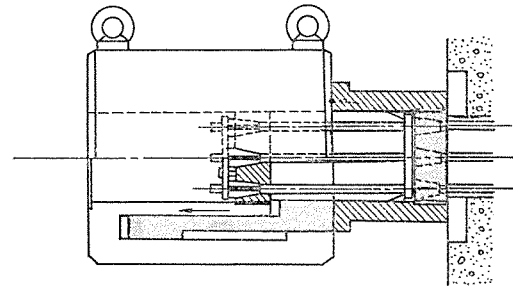


図-6 緊張ジャッキ概念図 (1) シリンダー前面仮定着方式

表-4 定着工法別緊張および伸び固定法一覧表

定着工法名	システム型式	方法	伸び固定方法				緊張方法(ジャッキ)			摘 要
			ナット	シム	くさび	くさび+シム	シリンダー 前面仮定着	シリンダー 背面仮定着	プルロッド 用	
BBRV	D, F-Type		△	○			△	○	PC 鋼線	
CONA	CONA Multi		△		○	△	○	○	PC 鋼より線	
CCL	Multi force				○				〃	
Freyssinet	Mono Group				○		○		〃	
SEEE	FU-Type		○				○		〃	
SH	SH-Type				○		○		〃	
Stronghold	S-Type				○		○		〃	
VSL	E-Type				○	△		○	〃	
備 考			図-4 参照				図-5 参照	図-6 参照	プルロッドはアダプターによりアンカーヘッドと接続	

(注) △印は一般的でないが使用も可能であるものを示す。

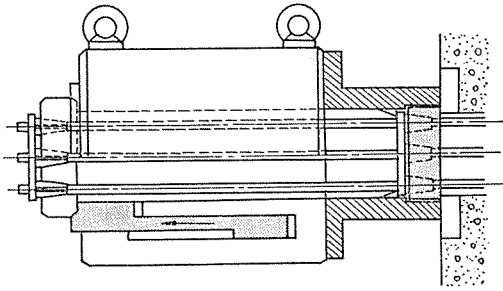


図-7 緊張ジャッキ概念図(2) シリンダー背面  
仮定着方式

したものと考えればよいが、そのために改良を要する部分も当然あり、その点の工夫がされている。またプルロッドを使用する方法は考え方によっては、ジャッキシリンダー前、背面仮定着の中間的な方法として扱えるのは少々考えれば納得できよう。

### 5. あとがき

以上、我が国に導入されていて原子力構造物に使用実績のある大容量ポストテンショニングシステムについて紹介かたがた報告した。しかしこのシステムが我が国で即使用できるかとなると、それは別問題である。これは国内における使用実績、部品の製造、緊張装置の入手などの問題もさることながら、原子力施設での材料という点で安全理念に対する考え方である。すなわち、品質保

証という観点から要求される条件を満たすべく、各種の管理方法について我々の業界は不慣れであることだ。しかし、このことはいずれ経験し、資料を解明し、技術的な基準が確立されれば充分対応できることは言うまでもないが、また早急に対処できる態勢づくりも望まれる。

最後に、紙面の関係上総括的な説明に終始し、実際の各工法特有な資料やデータ類が報告できなかったことをお詫びし、今後機会を得て詳しい紹介ができることを望む次第である。

### 参 考 文 献

- 1) Seminar on Concrete Pressure Vessels and Strage Vessels, Proceedings of 8th Congress of the FIP Part 3, May, 1978
- 2) Post Tensioning Manual 1976, Post Tensioning Institute
- 3) 原子炉用 PC 鋼材と定着工法, 昭和 52 年 7 月改訂, 神鋼鋼線工業(株), 技術資料 No. DRY 76-02
- 4) 原子炉用格納容器への BBRV 工法, 1978.4, ビー・エス・コンクリート(株) 技術資料
- 5) FKK フレシネー工法施工基準 昭和 55 年版, 極東鋼弦コンクリート振興(株)
- 6) VSL, Prestressing in Nuclear Reactor Construction, October 1975, Losinger Ltd. (VSL International)
- 7) 各社カタログ (BBRV 工法, CCL 工法, Freyssinet 工法, SEEE 工法, SH 工法, Stronghold 工法, VSL 工法)

### ◀ 刊行物案内 ▶

## 穴あき PC 板設計施工指針・同解説

体 裁 : B 5 判 128 頁 ビニール製の表紙で現場持ち歩きに便利  
 定 価 : 1800 円 (会員特価 : 1600 円) 送 料 : 450 円  
 内 容 : 1. 総則 2. 材料および許容応力度 3. 部材の設計 4. 構造設計  
 5. 接合部の設計 6. 施工 (含取付・補修等)  
 お申込みは代金を添えて, (社) プレストレストコンクリート技術協会へ