

日本原子力発電敦賀2号機 PCCV のプレストレッシング工事

岩 城 真 一*
 齋 藤 雄 三†
 増 田 博 善††
 長 崎 文 磨†††

1. ま え が き

諸外国では、歴史的にも実績を有するプレストレストコンクリート（以下 PC）技術はその特性を生かし、一般構造物のみならず海洋や原子力等の構造物にも、それが広く利用されている。我が国において、最近、原子力施設にこの PC 技術を取り入れた構造物が初めて完成した。日本原子力発電（株）敦賀発電所2号機用 PC 製原

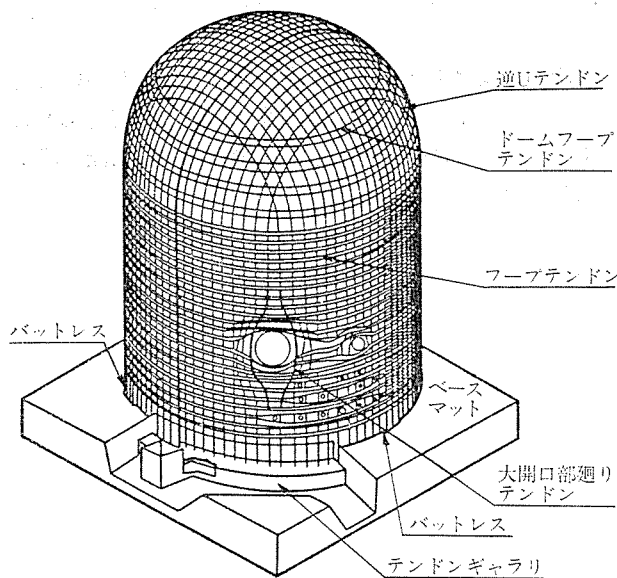


図-1 テンドン配置概念図

子炉格納容器（以下 PCCV）がそれである。

この PCCV には、プレストレッシング（以下 PS）システムとして、BBRV 工法による大緊張容量テンドン（規格耐力、1035 t/テンドン）が用いられ、しかもコンクリート躯体とは付着のないアンボンド方式で使用されている。また、PCCV は原子力設備のうちでも、安全性確保という観点から特に重要な構造物であるため、多くの厳しい規準を満たす必要があった。

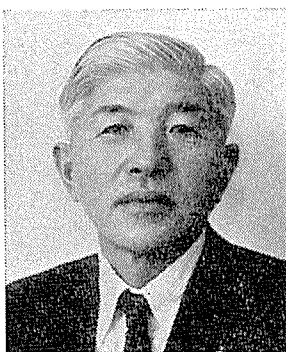
本報告はこの PS システムについて、テンドン配置設計、システム部品の製作、防錆（食）処理、施工機器、緊張管理、品質管理や品質保証をも含む一貫したシステムとして確立された PC 技術の一端を、当 PCCV において、いかに具現化したかを述べたものである。

なお、この PCCV と同形式の PCCV における概念的なテンドン配置を図-1 に示す。

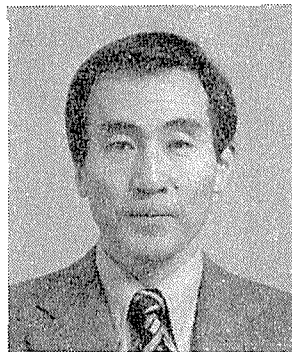
2. 概 要

BBRV 工法は PC 鋼線端を冷間加工した、ボタンヘッドで定着することで一般に知られている。その特質から定着機構が機械的で確実であり、これは、アンボンド方式として使用する場合、すべての力をテンドン端で支持せねばならないので重要なポイントとなる。またテンドン長が予め定まっているので、精度の高い緊張力の導入が期待できる。

これらの機能的な特質は、従来から使用されている



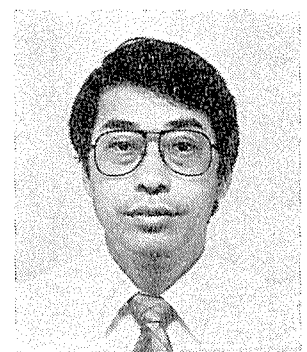
* Shin-ichi IWAKI
 三菱重工業（株）神戸造船所鉄構部



† Yuzo SAITO
 ピー・エス・コンクリート（株）原子力事業部



†† Hiroyoshi MASUDA
 ピー・エス・コンクリート（株）土木部



††† Fumimaro NAGASAKI
 ピー・エス・コンクリート（株）原子力事業部

BBRV 工法と同様であるが、当 PCCV に使用された PS システムについて、特に、原子力構造物として要求される精度、耐久性、品質保証という観点から、特徴的なものをいくつか記すと次の点があげられる。

- 1) テンドンには低リラクセーション PC 鋼線を用い、大緊張容量のものとしている。
- 2) 一般に使用されている BBRV 工法では、アンカヘッドはネジ定着であるのに対し、このテンドンではシム定着としている。
- 3) 定着金物、特にアンカヘッドについては、アンボンド方式で使用するため、導入緊張力保持の要となるもので、低温環境下においても、ぜい性破壊に対して安全性が高いもの（ -28°C でシャルピー吸収エネルギー値が、 $vE_{-28}=4.8\text{ kg}\cdot\text{m}$ 以上：3 個の供試体の平均値）とするため、使用鋼材は新たに開発されたものを用いている。
- 4) 大容量テンドンを曲線配置した場合、緊張時にはそれを構成する PC 鋼線間に応力差が生ずるため、その差を極力少なくする処置として、テンドン製作時に 8m に 1 回のひねりを与えるツイスト加工を施し、それに対処している。
- 5) テンドンはアンボンド方式として使用するので、2 重防錆（食）システムを採用している。まず、テンドンは確実な品質管理のできる工場で作製、保管

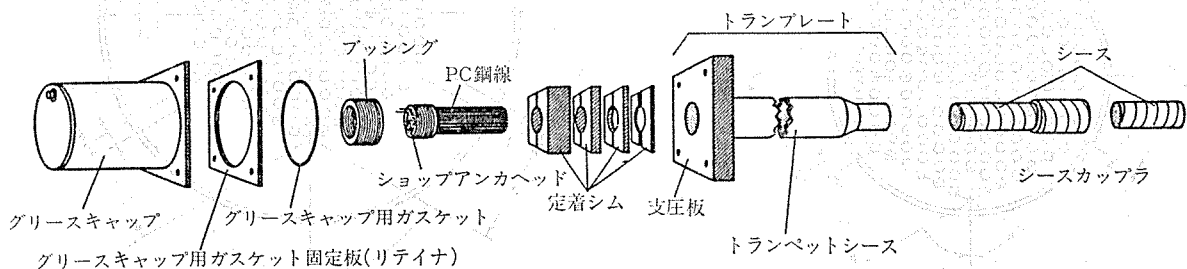
されるが、保管期間が 1 年以上にわたるものもあるため、長期保管が可能な一時防錆処理を施している。さらに、コンクリート躯体完成後、いつでもテンドンの導入緊張力や錆の状態の監視が容易にできるように、充填防錆材（グリース状のもの）を用いて永久防錆処理をしている。

- 6) PC 構造物の生命であるプレストレス力の把握は特に重要である。緊張力を精度よく導入するとともに、緊張管理を合理的に処理するため、計測器とパーソナルコンピュータを組み合わせ、緊張力と伸びを電氣的に自動入力させ、コンピュータ処理できるプログラムを開発し集中管理を行っている。
- 7) 原子力の分野では一般的であるが、通常の PC 技術では必ずしも十分とはいえなかった品質保証システムを整備し、材料の購入、製造から現場施工に至るまで、一貫した保証活動を行っている。

表-1 テンドン諸元

PC 鋼材の力学特性	$\sigma_{pu} \geq 165\text{ kg/mm}^2$ $\sigma_{py} \geq 145\text{ kg/mm}^2$
リラクセーション (40 年後)	4.0% 以下
テンドン構成 (BBRV 工法)	163 本- $\phi 7\text{ mm}$
単位重量	49.33 kg/m
断面積	62.72 cm^2
テンドン保証破断荷重	$P_u=1035\text{ t}$
シース	内径/外径 140/152 (mm)
内断面積	154 cm^2

ショップアンカ側における各部品の組立て



フィールドアンカ側における各部品の組立て

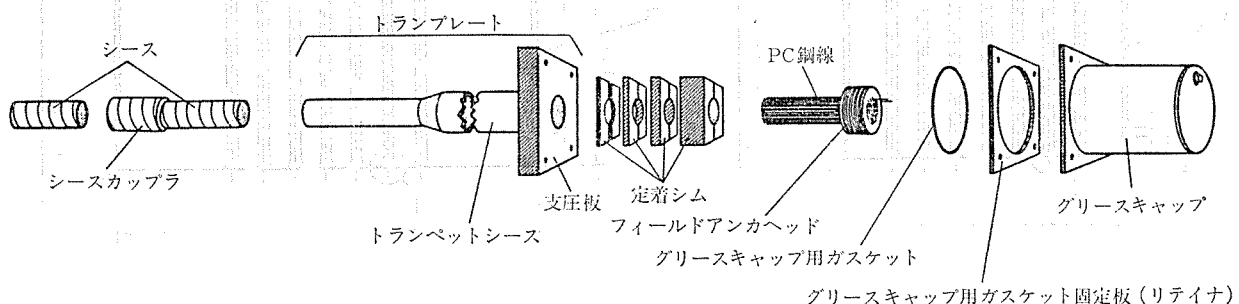
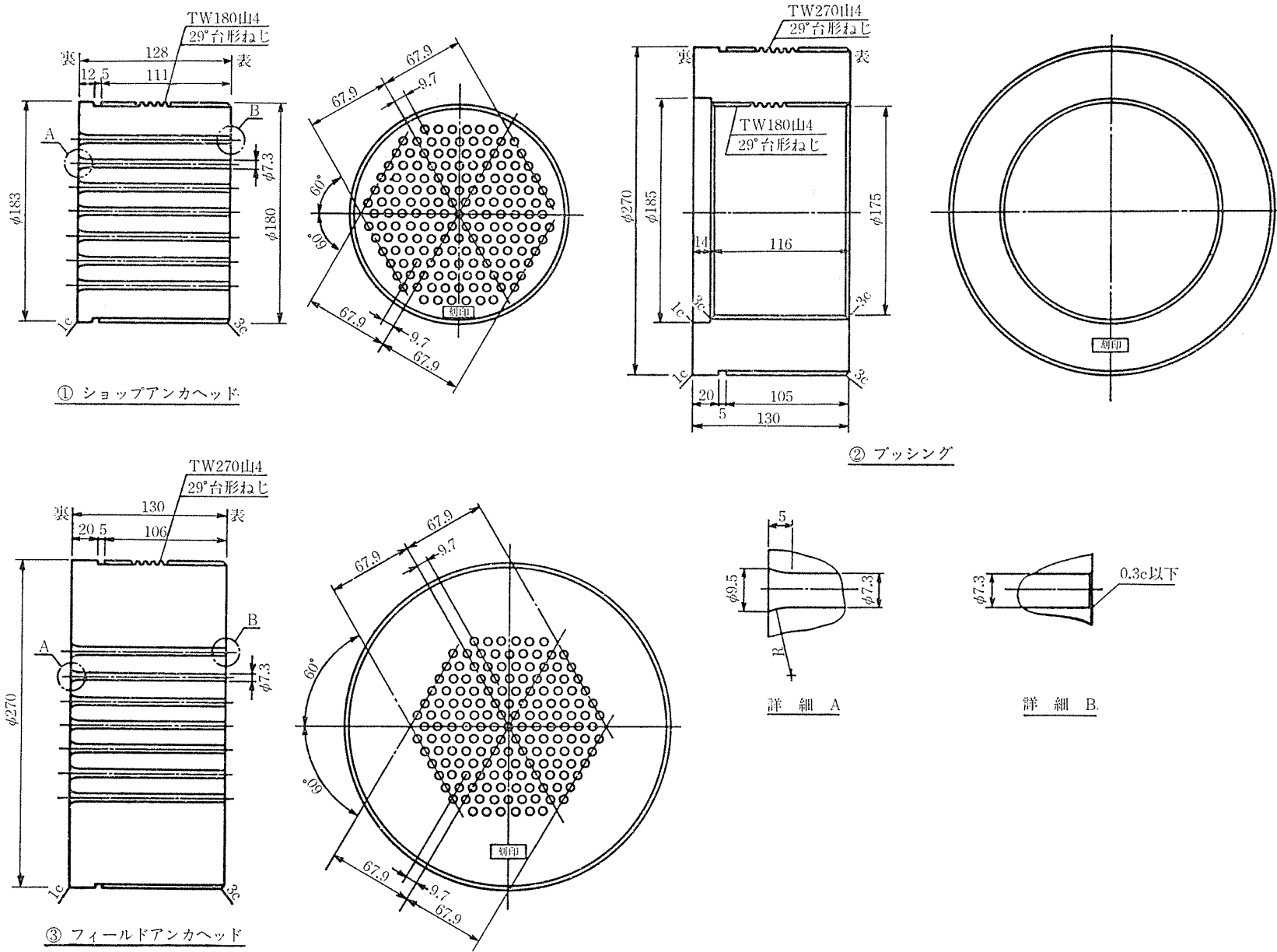


図-2 PS システム部品組立図



以上、主要点をいくつか挙げてみたが、これらについて以下に実際的な内容を報告する。

なお、PS システムを構成する各部品の組合せを図—2 に、また、その必要諸元を表—1 に示しておく。

3. PS システム部品

PS システムの各部品は、図—2 に示すように組み立てられる。また、これらの各部品の材質、形状は表—2 に示すとおりである。

3.1 アンカヘッド

アンカヘッドの詳細な寸法を図—3 に示す。

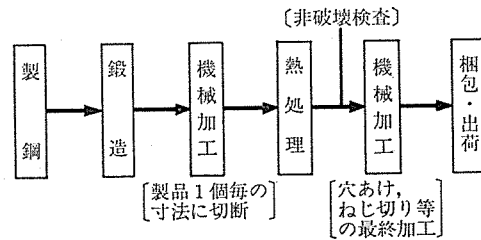
(1) アンカヘッド材料の開発

アンカヘッド材料には、大きな引張力（プレストレス力）を受けるボタンヘッドを支持するための、高い強度と硬度が要求されるが、それに加えてネジ部等の鋭い形状変化部分があるため、切欠きじん性の優れたものが要求される。

米国の PCCV で通常使用されている BBRV 工法のアンカヘッド材は、JIS の SCM 440 相当であるが、米国におけるトラブル例の経験を反映し、かつ我が国の低温ぜい性値を規定した基準に適合する、新たな材料を開発した。この材料は所定の硬さ（Rockwell, C 硬さ 36 ±2）と、低温ぜい性値を満足させるものであり、これらの相反する性質の接点を求めるため、種々の検討を行った。各種の試験の結果、ニッケルクロムモリブデン鋼

表—2 PS システムの各部品

部品名	材質	形状寸法 (mm)	備考
PC 鋼線	SWPR1	φ7	低リラクセーション材
ショップアンカヘッド	SNCM 439 改良材	φ180×t128	
フィールドアンカヘッド	〃	φ270×t130	
ブッシング	〃	φ270×φ175×t130	
支圧板	SM 50 CN	570□×t100	溶融亜鉛めっき
トランペット	STPG 38	200 A, 150 A	sch 20, 溶融亜鉛めっき
シム	SM 58 Q, SM 50 CN, C, SM 50 A	290×145 t=100, 50, 22, 12, 6, 3.2	
シース	SPGC	t=0.6, 内径 φ140	Z27
シースラップ	〃	t=0.6, l=320	Z27
連結部	FSGP	8×4	レジューサー, 溶融亜鉛めっき
グリーンキャップ	SGP SS 41	450 A, 560□×t25, l=570 755	溶融亜鉛めっき
ガスケット	ネオブレン	φ15	
ガスケット固定板	SS 41	560□×t9	溶融亜鉛めっき



図—4 アンカヘッドの製作フロー図

に特殊な熱処理を施した JIS SNCM 439 相当品を採用した。

(2) アンカヘッドの製作

アンカヘッドの製作フローを図—4 に示す。製造過程の中で特徴的な事項を以下に記す。

- 1) 熱処理後加工することによって、非常に精度の高い製品を造り出すことができる。また、機械加工前に非破壊検査を行うことができる。
- 2) 各製作工程の中で防錆材の塗布、梱包等防錆に関する管理を厳重に行った。

3.2 PC 鋼線

PC 鋼線については、JIS に規定された引張強さの約 10 kg/mm² アップのものを使用した。この使用については JIS の解説に述べられているので、仕様として解説級という表示をしている。また、リラクセーションについては 40 年後でも 4% 以下となるような仕様を設けている。さらに、ボタンヘッド成形、低温ぜい性、遅れ破壊等に対する性能についても、多くの検討が加えられた結果をもとに、製造仕様が決定された。

3.3 その他の部品

その他の部品についても、各々の性能を確保するため種々の検討がなされ、健全性を確認したうえで使用された。

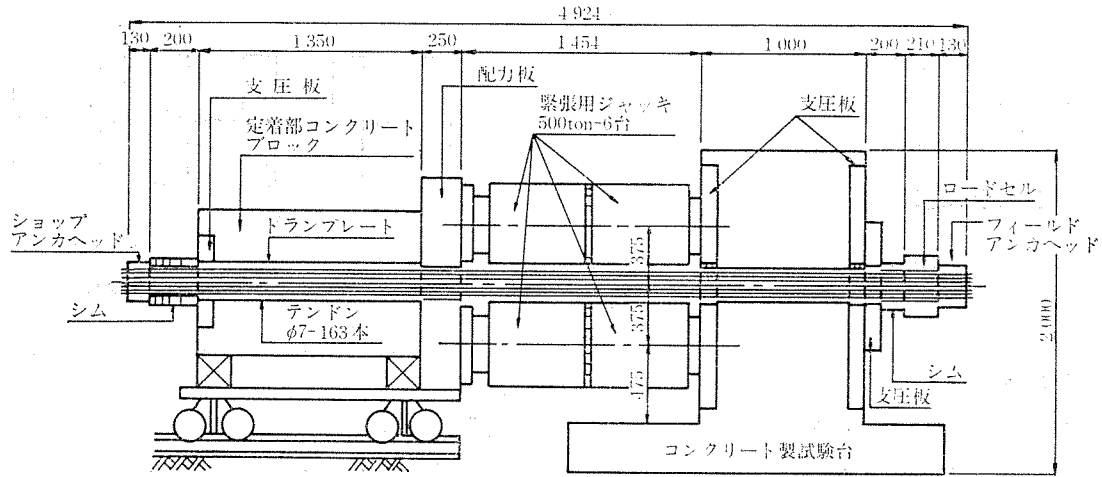
4. PS システムの保証試験

4.1 保証試験

敦賀発電所 2 号機 PCCV に用いるテンドンシステム (PC 鋼線束および定着具) の保証試験として通商産業省資源エネルギー庁の原子力発電所用コンクリート格納容器技術基準 (案) により次の試験を行い、その健全性を確認した。

(1) 静的引張試験

実際に使用するテンドンシステム部品 (BBRV 工法, 163 本-φ7 mm 用) と同仕様のものを用いて破断試験を行い、テンドンが規格荷重 (1 035 t) に耐えることおよび定着具が所定の性能を有すること、またそのときの破断ワイヤ数が 2% 以下であることを確認した。試験装置の概要を図—5 に示す。



図—5 静的引張試験装置（低サイクル疲労試験装置兼用）

(2) 低サイクル疲労試験

実際に使用するテンドンシステム部品と同仕様のものを用い、規格荷重の 40%~80% の荷重範囲で 50 回の繰返し载荷を行いテンドンが破断しないことを確認した。試験装置は静的引張試験と同じものを用いる（図—5 参照）。

(3) 高サイクル疲労試験

実際に使用するテンドンシステム部品と同仕様のもの、ただし PC 鋼線束については 10% 以上の断面積を有するもの、今回は 163 本×19% = 31 本を用いて規格荷重の 60% から 66% の荷重範囲で 500 000 回の繰返し载荷を行い PC 鋼線が破断しないことを確認した。

4.2 試験結果

各試験ともすべての規格および基準を満足し PCCV 用テンドンシステムとして健全なものであることが実証された。表—3 に試験結果を示す。

5. テンドン製作工事

テendonは部位により区分すると、シリンダ部円周方向に配置されるフープテンドン、ドーム部円周方向のドーム部フープテンドン、シリンダ部とドーム部を鉛直方向に配置される逆Uテンドンの3種類に大別される（図—1 参照）。なお、製作したテンドンの仕様を表—4 に示す。

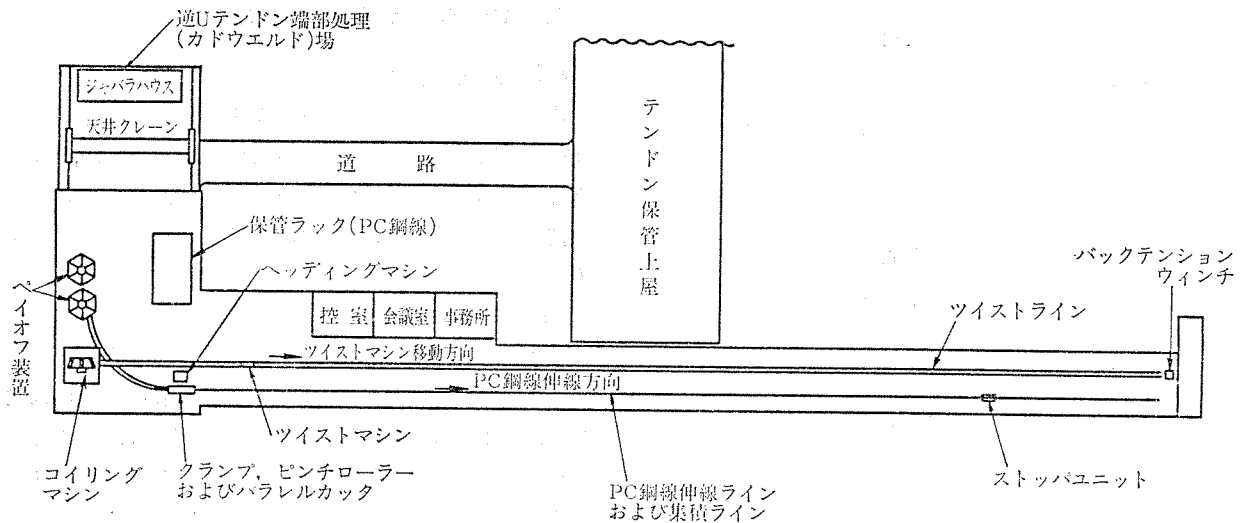
5.1 テンドンの製作・検査

(1) テンドン製作工場

テendonは岡山県倉敷市に建設されたテendon製作工場にて造られた。図—6 にテendon製作工場の全体図を示す。

(2) 材料の受入れ保管

テendonを構成する主要材料（PC 鋼線、ショップアンカヘッド、一次防錆材）は受入れ時にその都度材料検査証明書の確認を行った。PC 鋼線およびショップアンカヘッドは専用ラックに防錆紙で梱包されたまま保管した。一次防錆材（輸入品）は使用最小必要ドラム缶数を専用倉庫から随時テendon製作工場に搬入し使用した。



図—6 テendon製作工場

表-3 PS システム 保証試験結果

	静的引張試験			低サイクル疲労試験			高サイクル疲労試験		
	項目	基準	仕様または結果	項目	基準	仕様または結果	項目	基準	仕様または結果
供 試 材 料	PC 鋼線 (7mm) 引張荷重 (P_u)	6350 kgf 以上	6400~6900 kgf	PC 鋼線 (7mm) 引張荷重 (P_u)	6350 kgf 以上	6400~6900 kgf	PC 鋼線 (7mm) 引張荷重 (P_u)	6350 kgf 以上	6400~6900 kgf
	同上降伏荷重 (P_y)	5600 kgf 以上	5650~6300 kgf	同上降伏荷重 (P_y)	5600 kgf 以上	5650~6300 kgf	同上降伏荷重 (P_y)	5600 kgf 以上	5650~6300 kgf
	PC 鋼線本数	1000 tonf 容量 (=163 本- ϕ 7 mm)	163 本- ϕ 7 mm	PC 鋼線本数	PC 鋼線全断面積の 10% 以上 (17 本以上)	163 本- ϕ 7 mm	PC 鋼線本数	PC 鋼線全断面積の 10% 以上 (17 本以上)	31 本- ϕ 7 mm
	PC 鋼線断面積	同上	$A=62.72 \text{ cm}^2$	PC 鋼線断面積	同上	$A=62.72 \text{ cm}^2$	PC 鋼線断面積	同上	$A=11.93 \text{ cm}^2$
	テンドン長さ	2.5 m 以上	5.115~5.117 m	テンドン長さ	2.5 m 以上	5.115~5.117 m	テンドン長さ	2.5 m 以上	4.700 m
	定着金物	1000 tonf 容量 (=163 本- ϕ 7 mm 用)	163 本- ϕ 7 mm 用	定着金物	PC 鋼線全断面積の 10% 以上を定着できる定着具	163 本- ϕ 7 mm 用	定着金物	PC 鋼線全断面積の 10% 以上を定着できる定着具	163 本- ϕ 7 mm 用
所 定 性 能	破断荷重	1035 tonf 以上	1135~1203 tonf	繰返し荷重	上限荷重 $0.8 P_u$	828 tonf	繰返し荷重	上限荷重 $0.66 P_u$	130 tonf
	降伏荷重	912.8 tonf 以上	1035~1080 tonf		下限荷重 $0.4 P_u$	414 tonf		下限荷重 $0.60 P_u$	118 tonf
	破断時伸び	2% (98.5 mm) 以上	3.79~5.23%	計算伸び	—	上限 31.3 mm	計算伸び	—	上限 24.8 mm
	破断ワイヤ本数	2% (3 本) 以下	0		—	下限 15.6 mm		—	下限 22.6 mm
	定着金物	過度の変形を起こさないこと	残留変形無し	繰返し載荷時間	—	4~8 分/サイクル	繰返し載荷時間	240 cpm	240 cpm
	全供試体数は 4 体	繰返し回数	—	繰返し回数	50 回	50 回	繰返し回数	50 万回	50 万回
		テンドン	—	テンドン	ワイヤ破断無し	破断せず	テンドン	ワイヤ破断無し	破断せず
定着金物		過度の変形を起こさないこと	残留変形無し	定着金物	過度の変形を起こさないこと	残留変形無し	定着金物	過度の変形を起こさないこと	残留変形無し
試験場所	神奈川県秦野市曾屋字曾屋原 100 ビー・エス・コンクリート (株) 秦野工場			同 左			兵庫県伊丹市昆陽北 1-1-1 住友電気工業 (株) 伊丹製作所		
試験日	昭和 59 年 10 月 23 日, 25 日			昭和 59 年 10 月 18 日, 19 日			昭和 59 年 10 月 1~2 日, 4~5 日		

表-4 テンドンの仕様

テンドンの種類	種別	本数	テンドン長さ	備考
フープテンドン	シリンダ部 円周方向	135	$l=98\sim 100\text{m}$	
ドームフープテンドン	ドーム部 円周方向	27	$l=71\sim 98\text{m}$	
逆Uテンドン	鉛直方向	90	$l=142\sim 162\text{m}$	

5.2 PC 鋼線切断長の決定

テンドンの PC 鋼線切断長さは下記の要領により決定した。

(1) フープテンドン (シリンダ部, ドーム部とも)
テンドン製作工場で作られたテendonは再加工なしに現場で挿入, 緊張するので, すべてのダクト長を測定し, その値を用いて各々のテンドン長を決定した。

(2) 逆Uテンドン

テンドン挿入後, テンドン先端部に溶着したカドウェルド引張治具部を切断するため, その部位で長さの調整ができること, ドームコンクリート終了後ダクト長を測定し工場製作していたのでは工程上無理があるので, 逆Uシース配置完了後に代表的な 10 テンドンのダクト長を測定し, その値からすべての逆Uテンドンの工場製作長さを決定した。

5.3 テンドンの製作手順

テンドンの製作は次の手順で行った (図-7 参照)。

- 1) PC 鋼線を伸線し切断する。
- 2) 切断した PC 鋼線を一次防錆材 (ビスコノラスト 1702) に浸漬する。
- 3) ショップアンカヘッドに PC 鋼線を通し, ボタンヘッド加工を行う。
- 4) 163 本のボタンヘッド加工を終了した後, 8.0m の間隔で1回のツイストを与えると同時に, 再度一次防錆材を噴霧する。このとき, ツイストにより PC 鋼線束の端が砲弾の形に変形する (ツイストコーンと称する)。この形状を測定し, ツイストが正しく行われたことを確認する (写真-1, 2)。
- 5) ツイストされたテendonをコイルングマシンを用いて, 内径 2.1m のコイルに巻き取り, 一次防錆材を再度塗布した後, 梱包し保管する (写真-3)。

5.4 テンドンの端部処理

テンドン挿入のため PC 鋼線束の引込み側端部に次のような端部処理を行った。

- 1) フープテendonはテendon挿入直前, 現地においてケラムスグリップ (ネット状引張治具) を装着した (写真-4)。
- 2) 逆Uテendonはテendon製作時に, テendon先端部に引張金具をカドウェルド溶着し取り付け (写

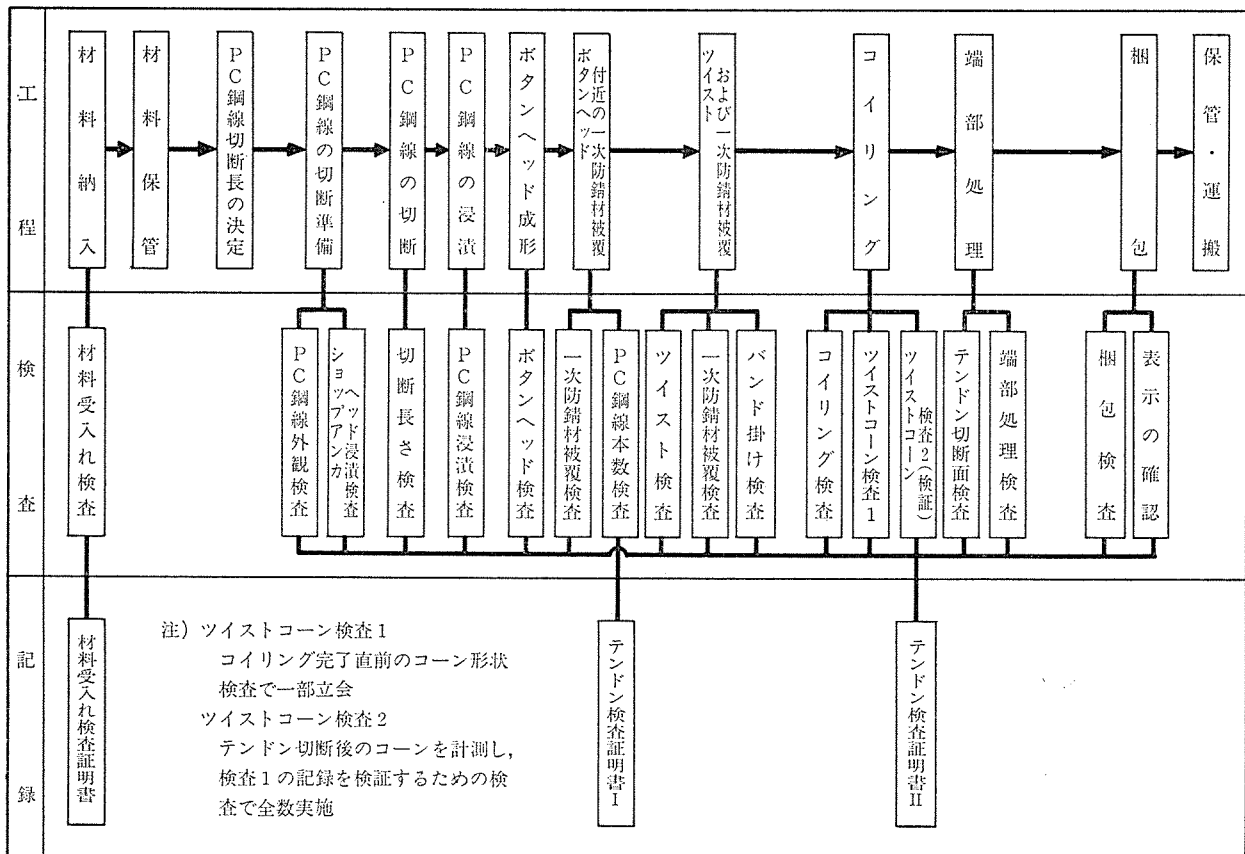
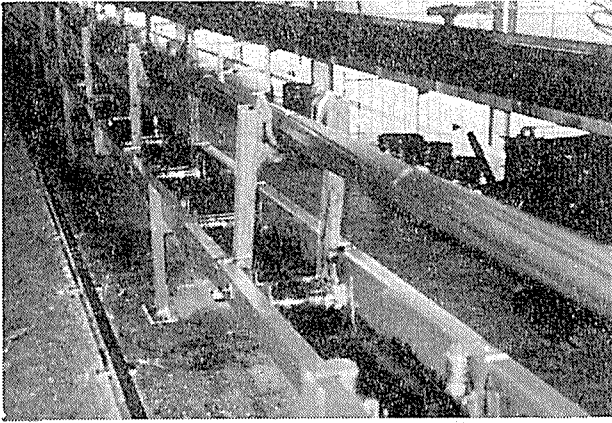
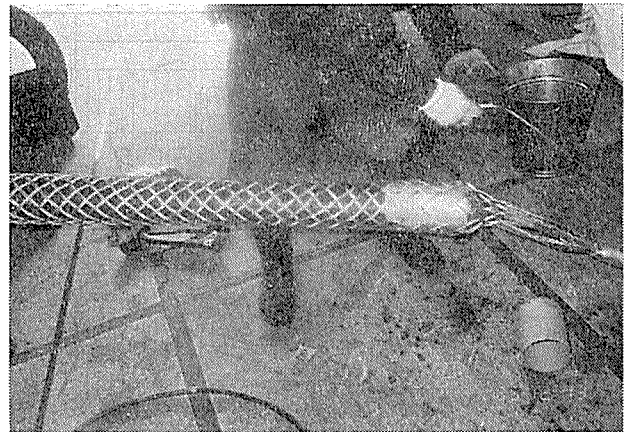


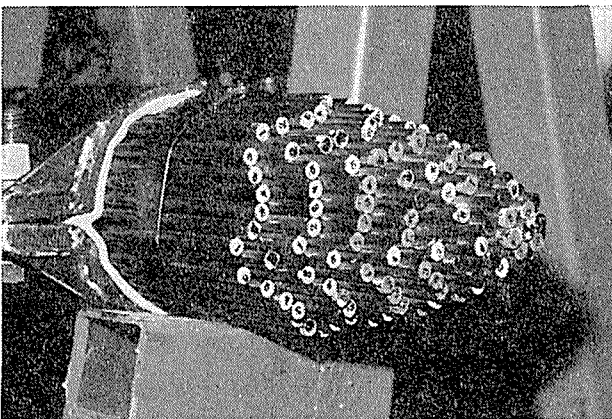
図-7 テンドン製作フロー図



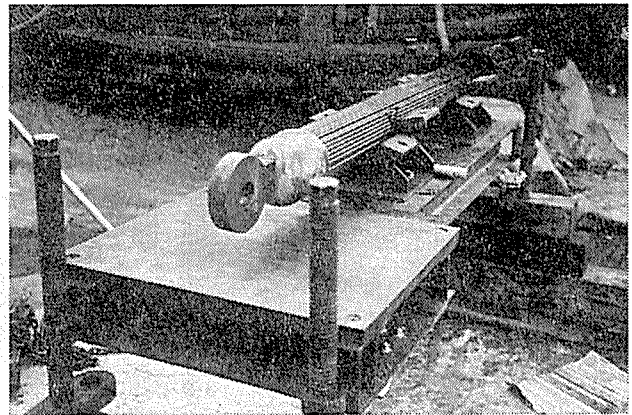
写真—1 ツイストされたテンドン



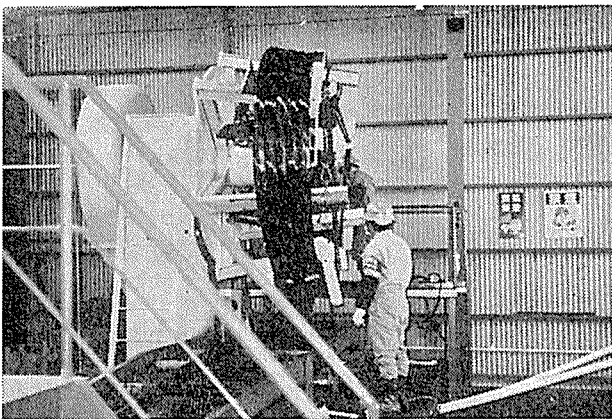
写真—4 ケラムスグリップの装着（フープテンドン）



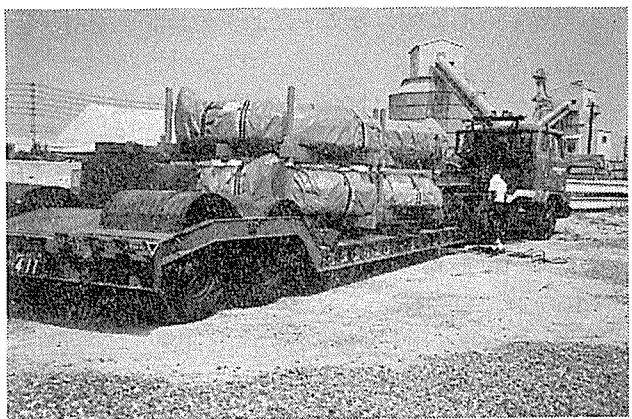
写真—2 ツイストコーンの形状



写真—5 カドウェルドにより引張金具の取付け（逆Uテンドン）



写真—3 テンドンのコイリング



写真—6 テンドンの積込み

真—5)。

5.6 テンドンの運搬

テンドンはトレーラを用いてテンドン製作工場より現地へ運搬した（写真—6 参照）。

6. 挿入・緊張・グリース工事

6.1 工 程

挿入・緊張・グリース工事の実施工程を図—8 に示す。

6.2 挿入工事

テンドン製作工場で作成したテンドンを、トレーラで運搬し、現地タービン建屋に特設したテンドン仮置場所に仮置保管した。テンドンは所定の挿入順序に従い、順次現場に搬入し挿入した。テンドン挿入手順は、下記に示すとおりであるが、その手順図を図—9, 10 に示す。

- 1) テンドン仮置場所より挿入位置まで小運搬する。
- 2) テンドンをアンコイラにセットする（ショップ側）。

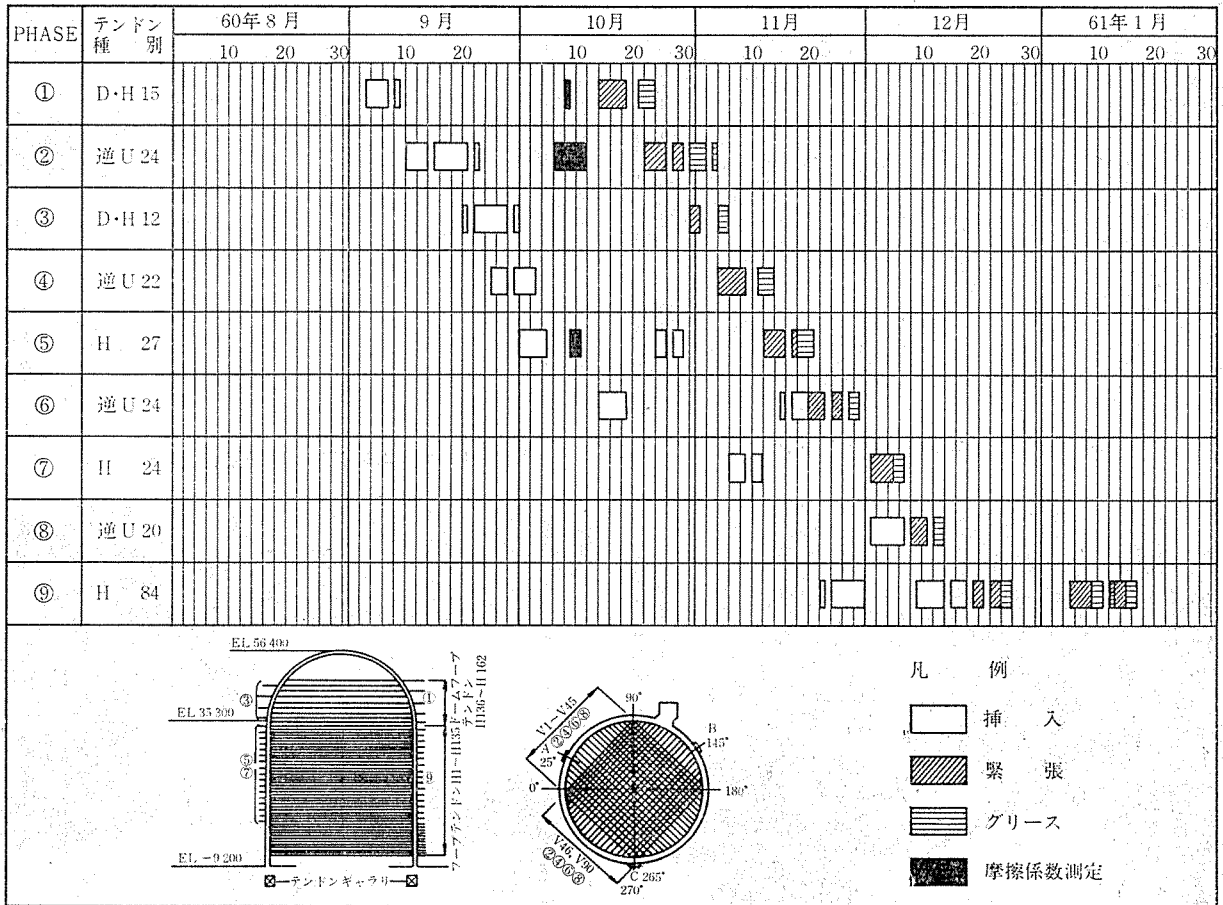


図-8 実施工程

- 3) フィールド側のタガーによりテンドンを引き込む。
- 4) フープテンドンはケラムスグリップを取り外す。逆Uテンドンはカドウェルド部を切断する。
- 5) フィールドアンカヘッドをセットし、ボタンヘッドニングを行う(写真-7)。

6.3 緊張工事

(1) 概要

まず、摩擦係数測定試験を行い、得られた摩擦係数 (μ, λ) と、PC鋼線の見かけのヤング係数 (E) を用いて、各テンドンの伸出し長を計算しておく。緊張作業を行い、その時のテンドンの伸びを測定する。

所定荷重 ($0.85 P_y, 773t$) まで過緊張した時のテンドンの伸びと、定着した時の荷重が、許容値内にあるかどうかを検査の対象とした。また、過緊張時のテンドンの伸びの計算値に対する誤差： $\delta(\%)$ と、テンドンの数本毎の δ の平均値： $\bar{\delta}$ を

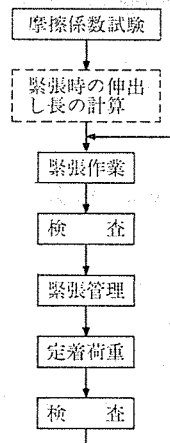


図-11 緊張工事フロー図

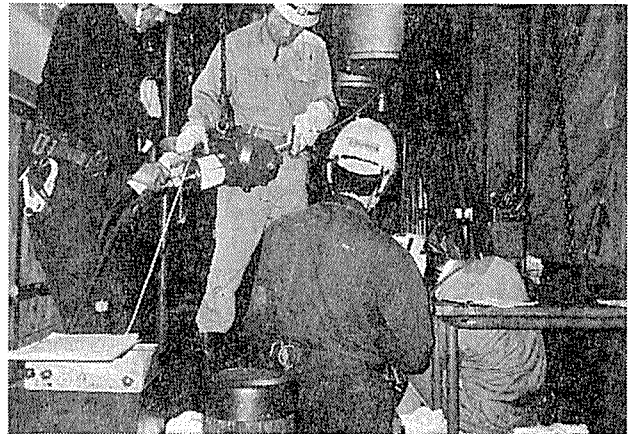


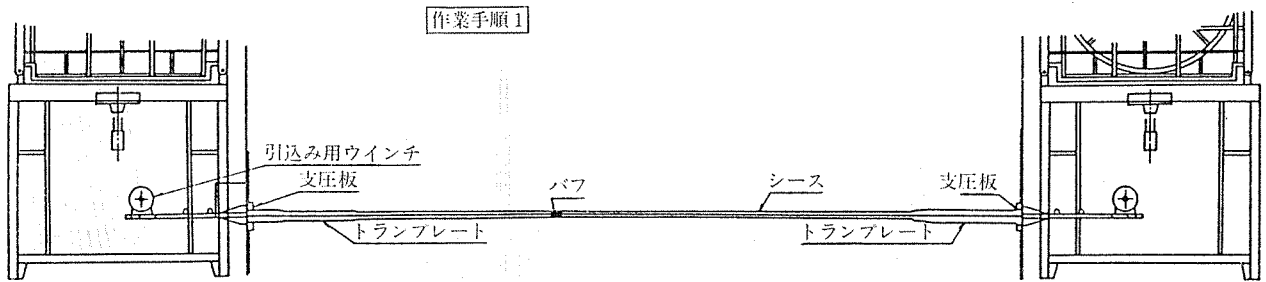
写真-7 現場でのボタンヘッド作業

求め、管理図に描き、緊張が正しく行われるように管理する(図-11 参照)。

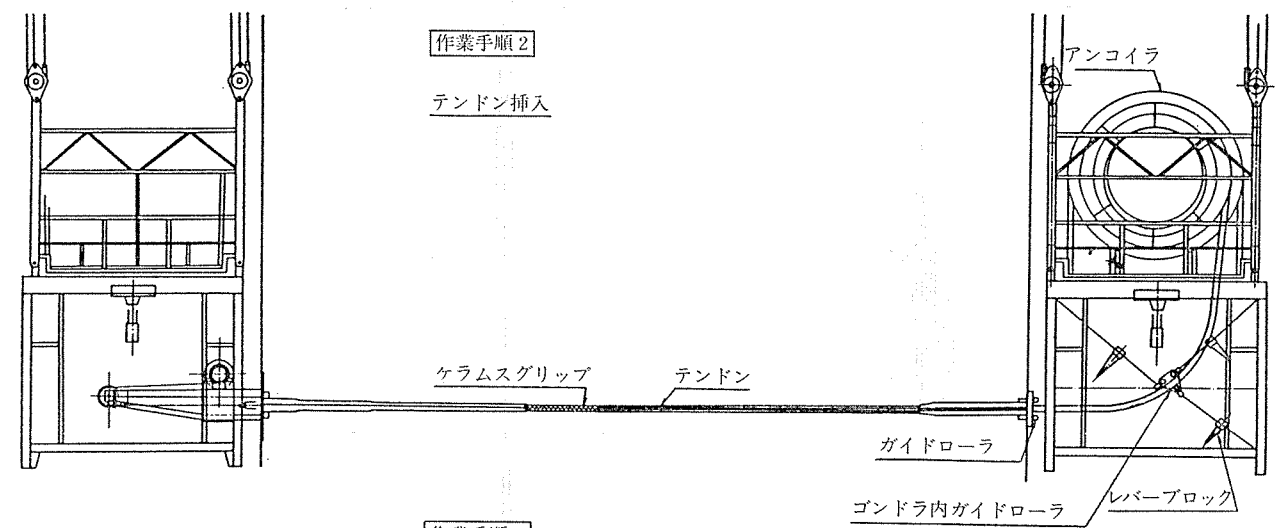
(2) 摩擦係数測定試験

a. 摩擦係数測定試験により、摩擦係数 (μ, λ) および、見かけのヤング係数 (E) を求める。求めた摩擦係数が、設計上の摩擦係数より小さいことを確認する。また、緊張時の伸出し長の計算には、求めた摩擦係数と見かけのヤング係数を使用し、テンドンの長さは、実際の

1. フープテンドンダクト内の清掃

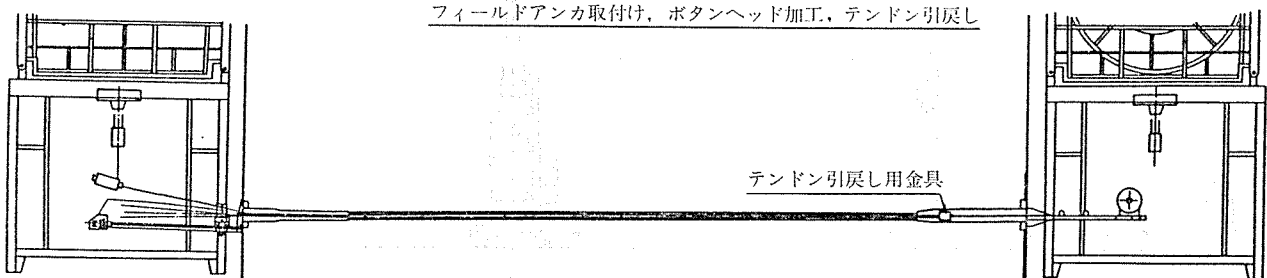


2. フープテンドン挿入



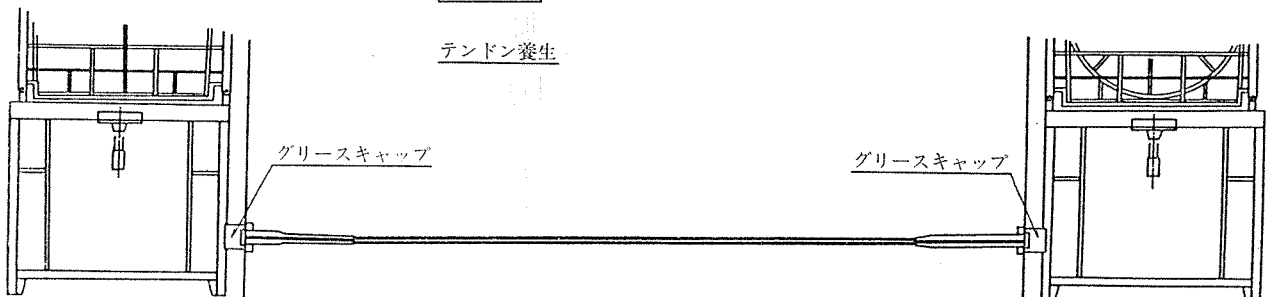
作業手順 3

フィールドアンカ取付け、ボタンヘッド加工、テンドン引戻し



作業手順 4

テンドン養生



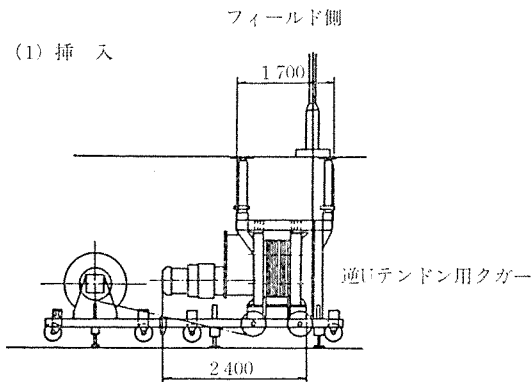
図—9 フープテンドン挿入手順図

1. 逆Uテンドングクト内の清掃

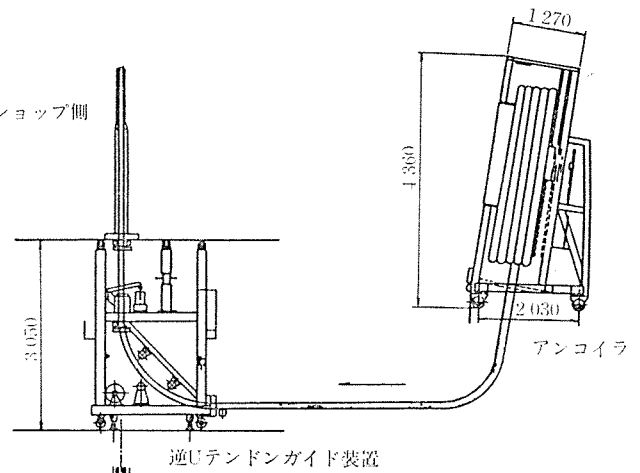
フープテンドンに同じ

2. 逆Uテンドン挿入

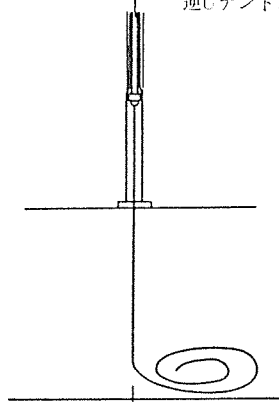
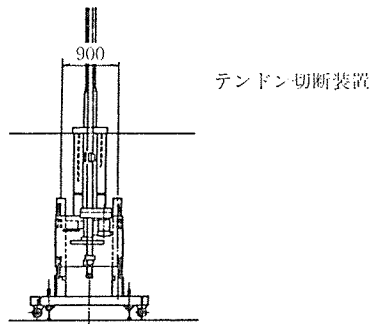
(1) 挿入



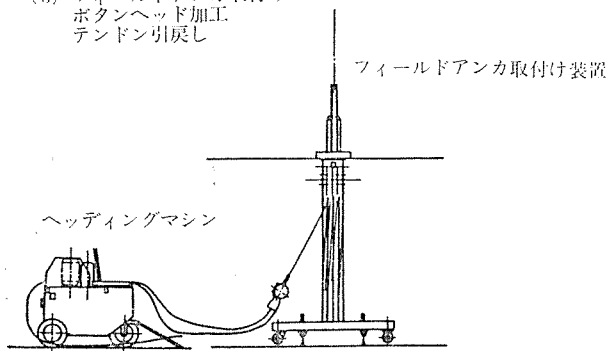
ショップ側



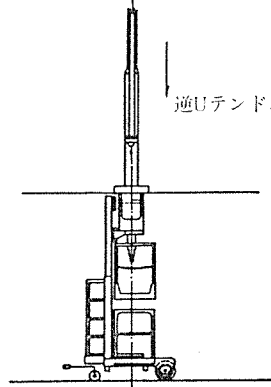
(2) テンドンの切断



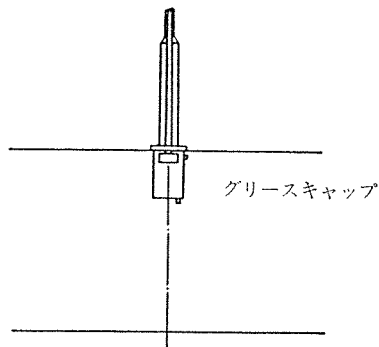
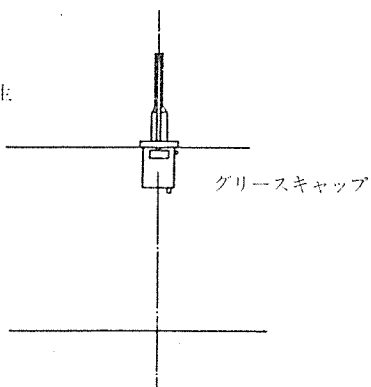
(3) フィールドアンカ取付け
ボタヘッド加工
テンドン引戻し



逆Uテンドン引戻し装置



(4) テンドン養生



図—10 逆Uテンドン挿入手順図

テンドン長を使用した。

b. 試験に用いるテンドンは、次の条件により選定した。

下記 ①, ②, ③ に適合するフープテンドン, 逆Uテンドンを各1本ずつ, 計6本を試験対象とした。

- ① 機器搬入口廻りを通る角度変化の大きいもの。
- ② 主蒸気および主給水配管貫通孔の周辺を通る角度変化がそれほど大きくないもの。
- ③ ほとんど角度変化のないもの。

c. 試験は、2台の緊張ジャッキ（ロードセルと伸び計組込み）をテンドンの両端にセットした後、片方を緊張端とし、もう一方を固定端として両端の荷重およびテンドンの伸びを測定するという、通常の摩擦係数試験の方法によって行った。

d. 測定データの解析は、従来行っている最小自乗法による方法で行った。なお、FIP で提案された新しい方法でも解析し、妥当性について検証を行った。

FIP 案：1984 年 8 月、FIP 委員会において提案された方法で、除荷時の荷重、伸びも測定することにより、テンドン1本毎に、摩擦係数 (μ, λ) および、見かけのヤング係数 (E) を求めている。

e. 解析結果

6本のテンドンの試験結果から、摩擦係数 (μ, λ) および見かけのヤング係数を以下のように決定した (表-5 参照)。

表-5 摩擦係数試験結果

測定順序	テンドン番号	緊張方向	P (t)	α	dL (mm)	L (mm)	E (kg/cm ²)
1	V50	F	500	4.004	708	149 336	2.078×10 ⁶
2	V62	F	395	4.947	705	161 481	2.045×10 ⁶
3	V70	F	532	3.397	826	162 219	1.922×10 ⁶
4	21H61	F	473	5.062	446	98 775	2.032×10 ⁶
5	12H37	F	443	4.483	440	98 378	2.129×10 ⁶
6	21H133	F	473	3.850	447	98 186	2.152×10 ⁶

$\lambda=0.00045 \quad \mu=0.09735$

$\Sigma E=1.236 \times 10^7 \quad \Sigma (E' - E)^2=3.34436 \times 10^{10} \quad E'=2.060 \times 10^6$

$\sigma=8.178 \times 10^4$

$\mu=0.09735/\text{rad}$

$\lambda=0.00045/\text{m}$

$E=2.06 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

(3) 緊張順序

テンドンの緊張はフェーズを9つに区分して順次行った (表-6 参照)。なお、フープテンドンでは、シリンダ部を2周する3本のテンドンを1グループとして、ほぼ同時に緊張した。逆Uテンドンでは、四角形をなす4本のテンドンを1グループとして、そのうち、対称に配置してある2本を、ほぼ同時に緊張した (図-12 参照)。

(4) 緊張作業

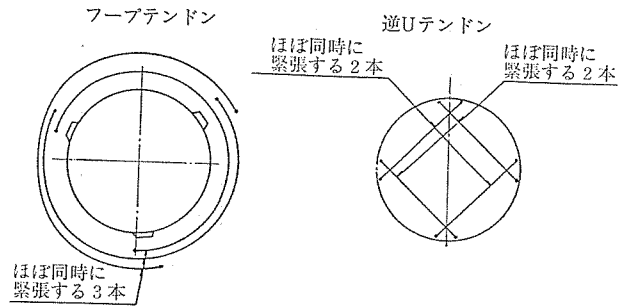


図-12 同時緊張テンドン説明図

緊張作業は、PCCVの外側、バットレスに近接した場所に設けられたPS作業司令室から各作業班へ指示を行い、作業を進めた。作業手順は下記に示すとおりであるが、その要領図を 図-13 に示す。

- 1) テンドン両端に緊張ジャッキを取り付ける (写真-8)。
- 2) データ通信線、通話装置の確認を行う。
- 3) PS 作業司令室の指示に従い、緊張荷重を上げ、伸出し長の計測を行う。
- 4) 所定緊張力 (773 t) まで緊張し、必要なシムを挿入する。
- 5) シムに荷重をはずけた後、定着荷重の確認を行う。

(5) 緊張管理

a. 緊張管理システム

所定緊張力に至るまでの緊張力とテンドン伸出し長に関する緊張管理は、PS 作業司令室に設置されたパソコン、計測器を用い、自動的に行った。緊張管理システムの使用機器の配置を 図-14 に示す。

b. 緊張に用いた管理基準

緊張管理の指標には、次式で求めた $\delta(\%)$ を用いた。

$$\delta(\%) = \frac{(\text{実測伸出し長}) - (\text{計算伸出し長})}{(\text{計算伸出し長})} \times 100$$

1本毎の δ の管理限界 $\pm 10\%$ (図-15)

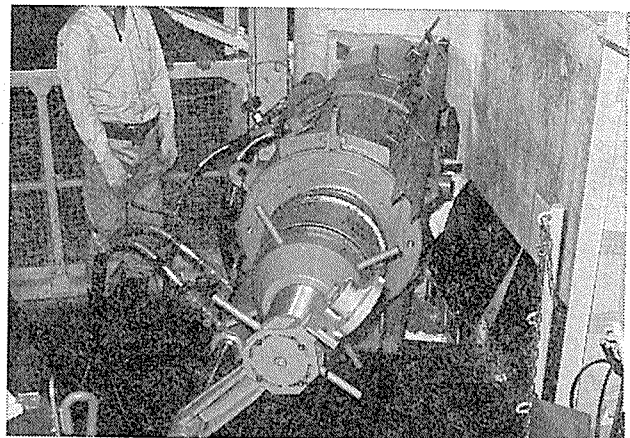
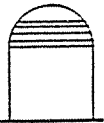
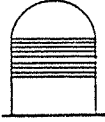

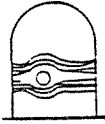
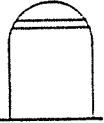
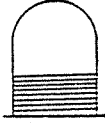

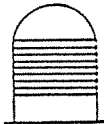

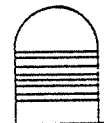

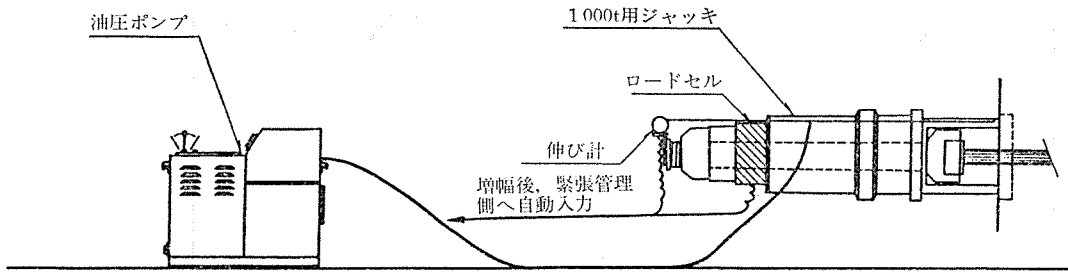


写真-8 緊張ジャッキの取付け

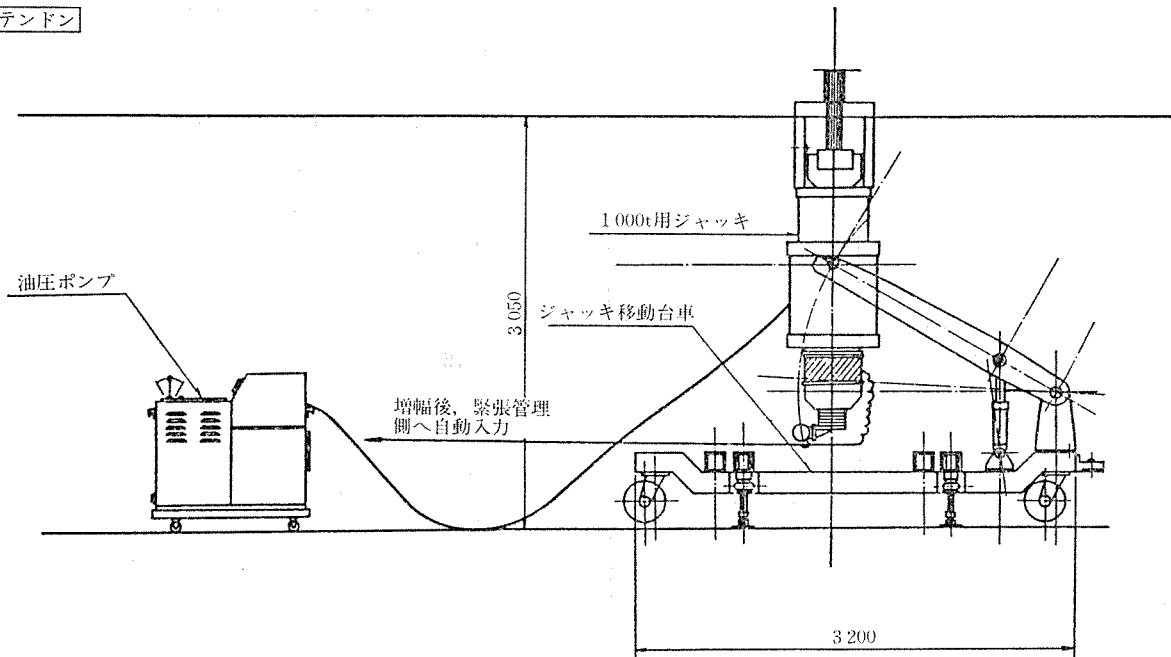
表—6 緊張順序概要

PHASE	テンドンの種類	概略図	緊張順序	PHASE	テンドンの種類	概略図	緊張順序
1	ドームフープテンドン 15本		最下段のドームフープテンドンから頂部に向かい、3本を1グループとして、1グループおきに緊張する。	9	フープテンドン 27本		シリンダ上部からベースマットに向かい、3本を1グループとして、1グループおきに、機器搬入口の上側まで PHASE 5 と PHASE 7 の真中を緊張する。 (シリンダ上部完了)
2	逆Uテンドン 24本		外側から中央部に向かい、左右対称に3本おきに中央まで緊張する。	9'	フープテンドン 21本		機器搬入口の上側から下側へ、3本を1グループとして、1グループおきに、PHASE 5 と PHASE 7 の真中を緊張する。 (シリンダ中部完了)
3	ドームフープテンドン 12本		頂部からベースマットに向かい、PHASE 1 の残りのドームフープテンドンを3本を1グループとして緊張する。	9''	フープテンドン 36本		機器搬入口下側からベースマットに向かい、3本を1グループとして順番に緊張する。 (シリンダ下部完了)
4	逆Uテンドン 22本		外側から中央部に向かい、左右対称に3本おきに中央まで PHASE 2 の真中を緊張する。				
5	シリンダフープテンドン 27本		シリンダ部最上部からベースマットに向かい、3本を1グループとして、3グループおきで、機器搬入口の下側まで緊張する。				
6	逆Uテンドン 24本		外側から中央部に向かい、左右対称に3本おきに PHASE 2 と PHASE 4 の中間を緊張する。				
7	フープテンドン 24本		機器搬入口の下側よりシリンダ上部に向かい、3本を1グループとして、3グループおきに PHASE 5 の真中を緊張する。				
8	逆Uテンドン 20本		外側から中央部に向かい、左右対称に3本おきに中央まで残りの逆Uテンドンを緊張する。				

フープテンドン

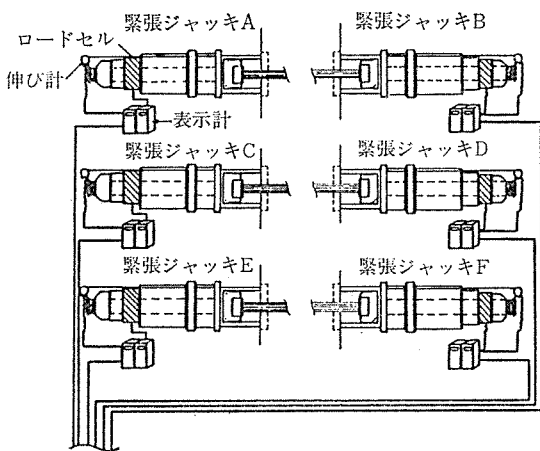


逆Uテンドン

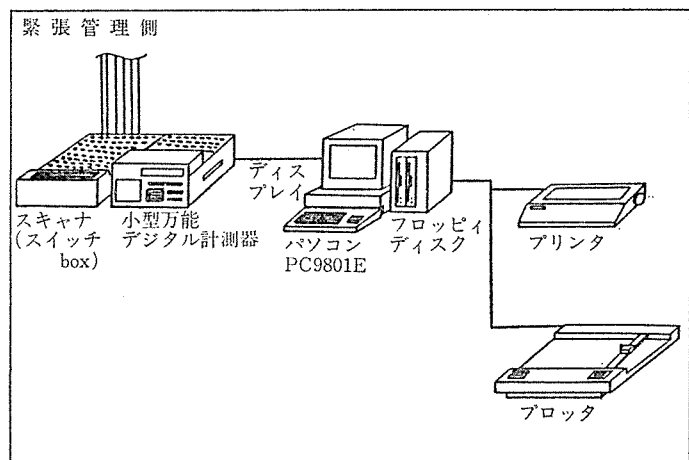


図—13 緊張作業要領図

緊張側

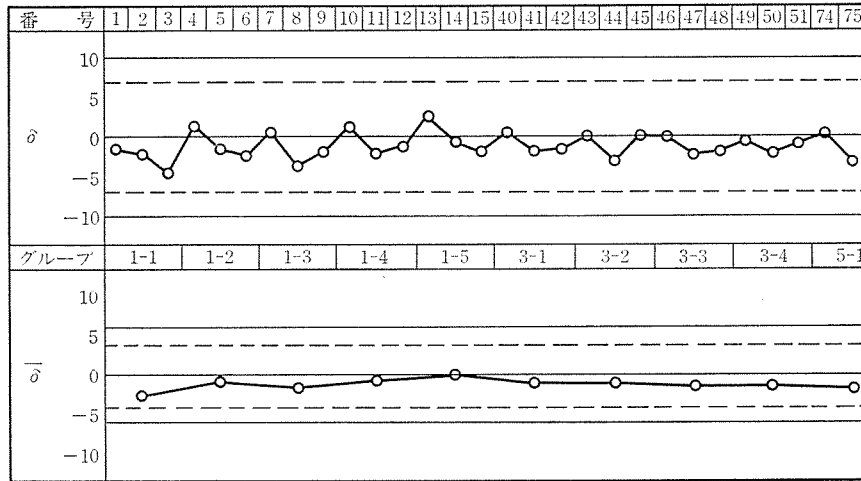


写真—9 タンクローリーによるグリースの搬入



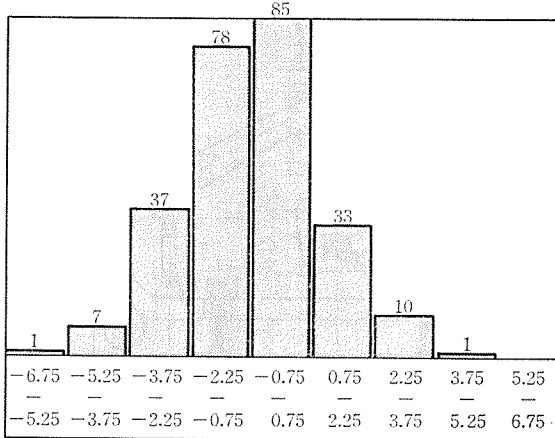
写真—10 グリースの注入

図—14 緊張管理システムの使用機器の配置



図—15 緊張管理グラフ

PHASE 1+2+3+4+5+6+7+8+9
ヒストグラム (N=252)



$\bar{X} = -0.69367$ $1\sigma = -2.35767 \sim 0.97033$
 $X_{max} = 4.15281$ $2\sigma = -4.02167 \sim 2.63433$
 $X_{min} = -5.89769$ $3\sigma = -5.68567 \sim 4.29833$
 $\sum X = -174.80500$
 $\sum X^2 = 816.25100$
 $\sigma = 1.66400$

図—16 δ(%) のヒストグラム

グループの δ の管理限界

フープテンドン (n=3 本) ±6%

逆Uテンドン (n=4 本) ±5%

(6) 緊張結果

δ の範囲は、-5.9%~+4.2% の範囲にあり、その分布は、ほぼ 0% を中心とした正規分布となっている (図—16 参照)。

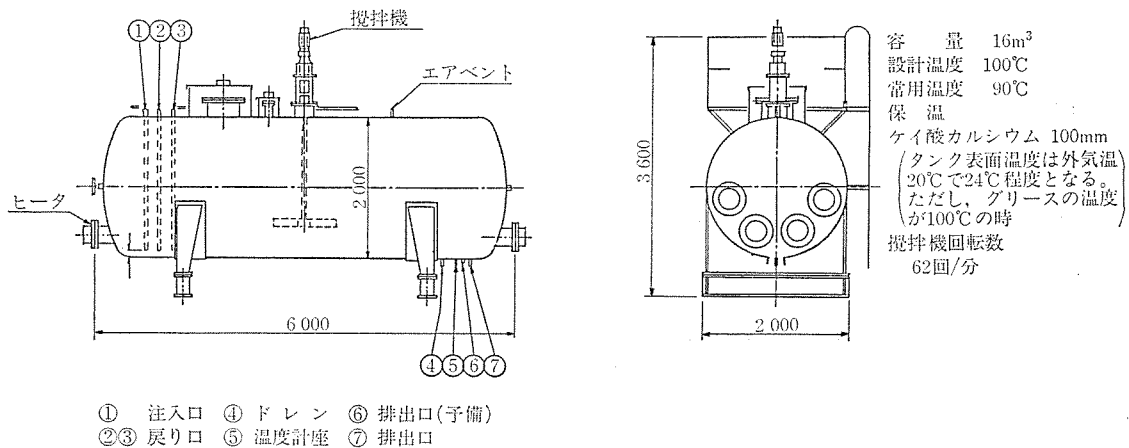
この結果より、正しくプレストレスが導入されたと判定できた。

6.4 グリース注入工事

(1) グリースの搬入

グリース (ビスコノラスト 2090 P-4) は米国から輸入し神戸で溶解加熱したものを、保温装置のついたタンクローリで運搬し、現場内に設置した貯蔵タンク (16 m³ × 2 基、加熱装置付き) にて保管した (図—17)。

グリースの現場タンクへの移送は、グリース注入工程に合わせて随時行った (写真—9)。



① 注入口 ④ ドレン ⑥ 排出口(予備)
 ②③ 戻り口 ⑤ 温度計座 ⑦ 排出口

図—17 グリース貯蔵タンク図

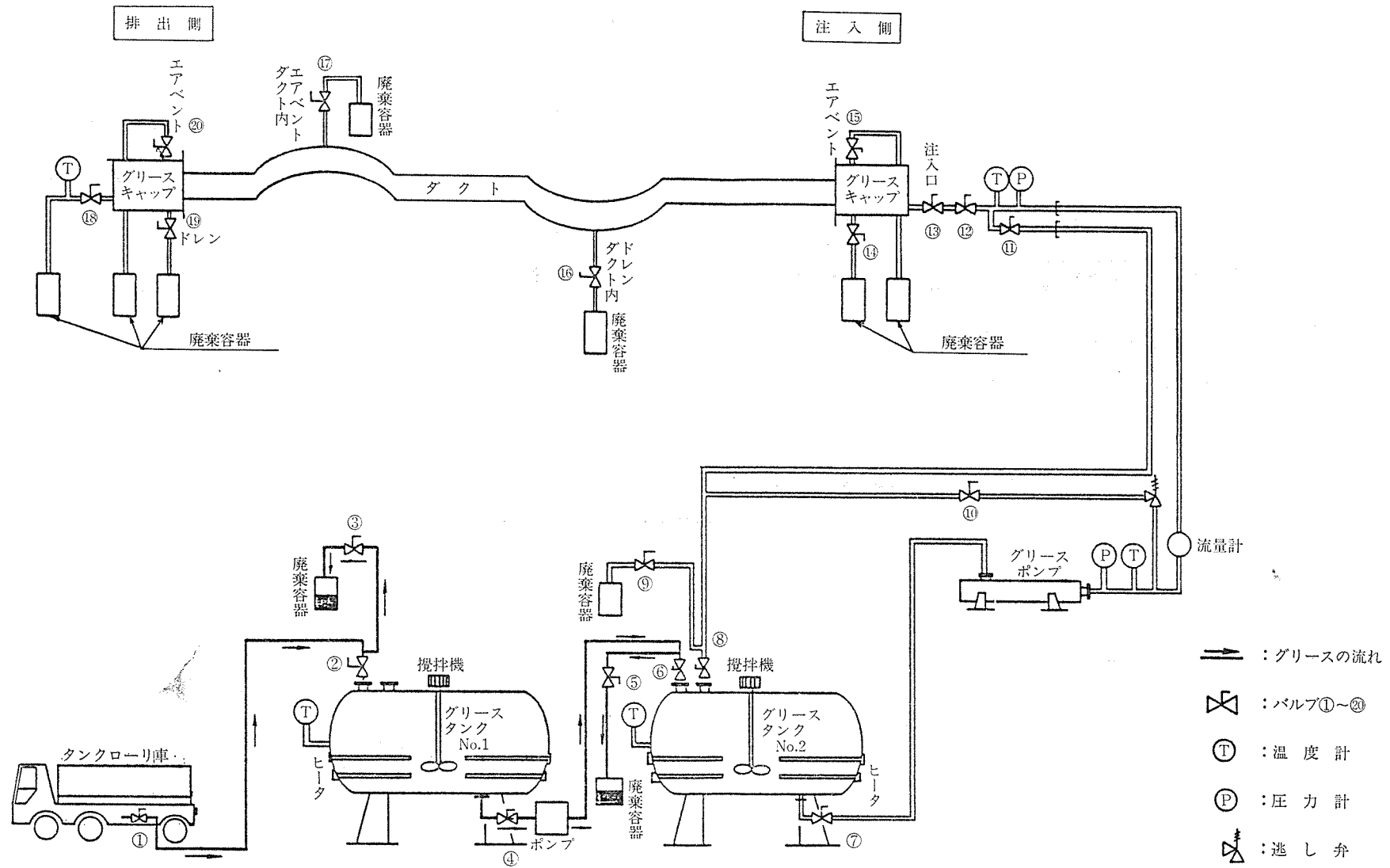


図-18 フォームテンドングリージング説明図

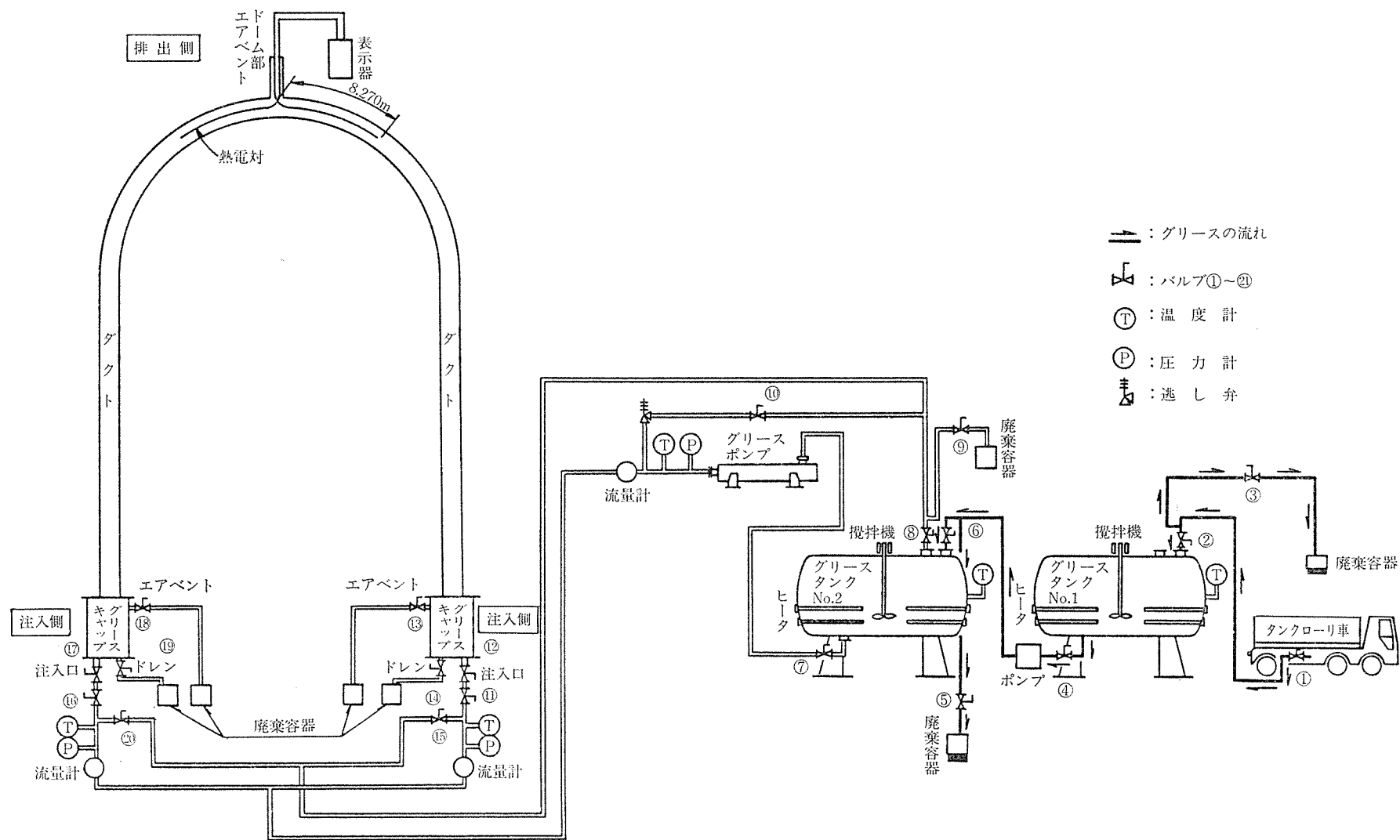


図-19 逆Uテンドングリージング説明図

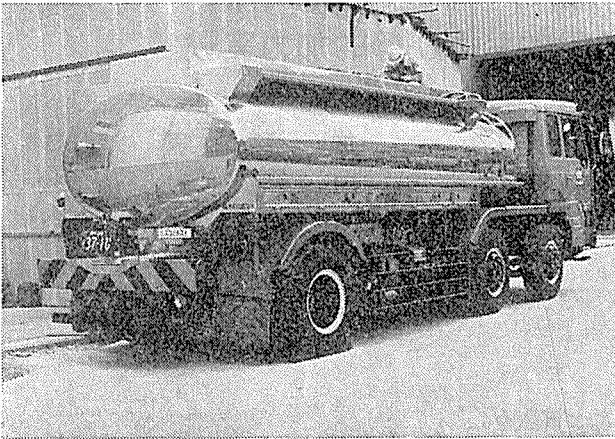


写真-9 タンクローリによるグリースの搬入

(2) グリースの注入

緊張完了後、グリースキャップを取り付け、グリースを注入する(図-18, 19, 写真-10)。

フープテンドンでは片側から注入し、反対側のグリースキャップから排出した。逆Uテンドンでは両側のグリースキャップから同時に注入し、ドーム頂部に設けたエアイベントから排出した。

グリースは、注入側の温度を $80^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ とし、排出側では 50°C 以上で清浄なグリースが排出したことを確認して栓を閉じた。この時、排出したグリースの汚れはほとんど認められなかったが、廃棄されたグリース量は $10\sim 20\text{ t}$ /テンドンであった。

7. あとがき

従来、PC 構造物といえば橋梁一辺倒というイメージであったが、近年、PC 技術の利用は原子力発電所や石油掘削用人工島等の特殊構造物にも範囲を拡大している。このため、これまでに経験してきた PC 技術のみでは対処しきれない部分も多々生じている。もちろん、各種の技術革新に伴う材料、機器等の利用はいうまでもないが、土木や建築の分野に限定されない幅広い対応が要求される。例えば、原子力構造物では品質保証システム

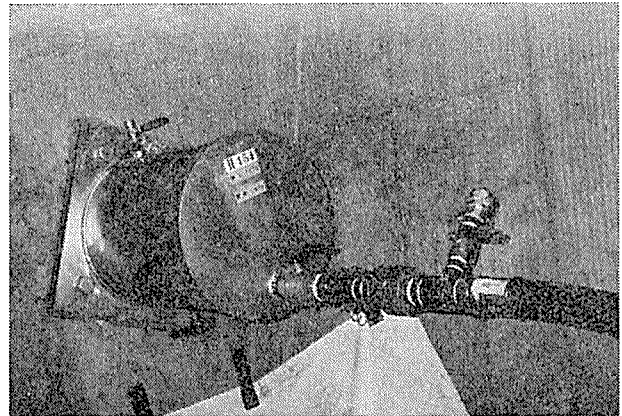


写真-10 グリースの注入

の確立がその一つであろう。本稿では、誌面の関係上この点に直接触れず、工事の内容を総括的に紹介する程度に止まらざるを得なかったが、この工事を通してその一端を知ることができた。今後の PC 技術の新しい方向付けとなるものと確信する。

最後に、本工事にあたって検討段階から完成に至るまで、御指導、御協力をいただいた関係各位に紙面をお借りして感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 通産省資源エネルギー庁：解説原子力設備の技術基準，電気新報社刊，1981年3月
- 2) 通産省資源エネルギー庁：原子力発電用コンクリート格納容器に関する技術基準(案)，1981年11月
- 3) 日本規格協会：日本工業規格(JIS規格)各種
- 4) PC技術協会：プレストレストコンクリート，Vol. 23, No. 1, Jan. 1981
- 5) FIP Commission：Tensioning of Tendons, Force-Elongation-Relationship, State of the Art Report, Draft, 1984
- 6) 猪股俊司：緊張材引張力と伸びとの関係，プレストレストコンクリート技術講習会テキスト，PC技術協会刊，1985年
- 7) 佐藤ほか：PC製原子炉格納容器におけるPSシステム定着金物の開発，三菱重工技報，Vol. 19, No. 4
- 8) 斎藤，岡：BBRV-1000t テンドンの開発，第25回研究発表会講演概要集，PC技術協会，1985年11月1日