

投稿論文

投稿くださる各位へのお願い

1. なるべく大勢の方々に投稿頂くため原稿枚数は、投稿原稿、依頼原稿とも規定以内(7. 参照)といたします。なお原稿料は規定枚数で打切りとなりますのでご了承ください。

2. 添付図はトレース(線図のみ墨入れ)または第2原図を原則とします。青図添付の場合は墨入れトレース代の一部負担を願いますので予めご了承ください。

3. 執筆者は依頼原稿の場合を除き正会員に限ります。したがって未加入者の場合は予め手続きいたしますのでその旨お申し出ください。

4. 本機関紙は現在、複数制編集委員による特集号形式としており、それぞれ特定のテーマによる依頼原稿が先行するため、投稿原稿は延期される傾向にありましたが、年間発行6冊のうち、2冊程度は投稿原稿による機関誌を予定し、また特集号でも数点は掲載余地を残すようにいたしますので、今後は投稿後半年以内には掲載されます。

5. 別刷は規定により50部を論説、報告、資料に限り贈呈いたします。それ以上希望される場合は実費増刷となりますので、原稿の表紙に部数をご記入願います。

6. 報告の投稿には必ず英文タイトル、英文著者名をつけてください。

7. 投稿原稿の制限枚数は次のとおりです。

論	説	刷上り6ページ(協会原稿用紙36枚、ただし図表、写真含む)以内
報	告	// 8 // (// 48枚 //) //
資	料	// 4 // (// 24枚 //) //
工事	ニュース	// 1 // (// 6枚 //) //
質	疑	応答 // 0.5 // (// 3枚 //) //
読	者の	声 // 0.5 // (// 3枚 //) //

新しいプレストレッシングシステムの開発・改良

—SSPC 工法—

鈴 木 誠 之*
 小 林 晋 爾**
 須 方 正 文***

1. はじめに

最近、我が国においても原子力発電所の格納容器にプレストレストコンクリート構造が採用されはじめている。

プレストレストコンクリート製格納容器 (PCCV) では、健全性確認のための tendon の抜取り検査、プレストレス緊張力を測定するためのリフトオフ試験などを定期的実施することによって、品質を保証することが義務づけられている。こうした特殊な作業に対処するために、従来のジャッキにはなかった特殊な機能を有した新しいジャッキシステムの開発が望まれている。

SSPC 工法 (清水式ストロングホールド工法) は、スペインで開発されたくさび方式のプレストレス工法、ストロングホールド工法を基本として、清水建設 (株)、東京製綱 (株) の二社が、PCCV にも適用できるように特殊な機能を付加した新しいジャッキシステムとして開発、改良を行ったものである。

以下に、SSPC 工法のシステムの特長と、本工法を用いて行った、PC 蓄熱水槽塔での実験工事について、その概略を紹介するものである。

2. SSPC 工法の特長および開発・改良

ストロングホールド工法は、基本的な特長として、

- ① ケーブルの挿入、つかみ、緊張、解放、再緊張、クサビの油圧による圧入およびラムの戻りが完全に自動化されている。
 - ② 前づかみ方式であるため、ケーブルの余長は短くて済み、他工法に比べて著しく短いグリースキャップですむため、極めて経済的である。
- また、着脱に要する作業も容易で、施工性に優れている。
- ③ 油圧によるくさびの圧入機構を有しているため、定着時のセットロス量が小さい。

などの、他工法にない、優れた特長を有している。

図-1 に、マルチタイプジャッキの機構図を示す。

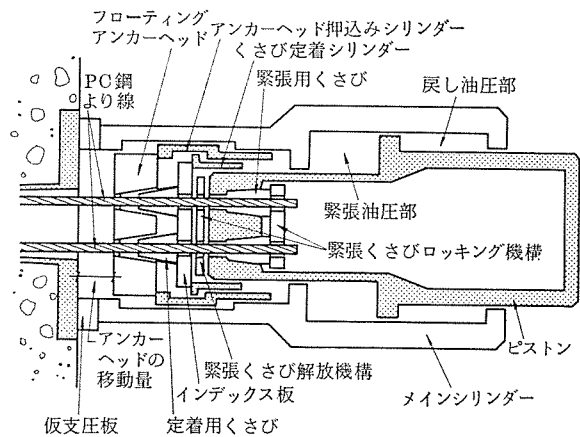


図-1 マルチジャッキ機構図

そこで、清水建設 (株) および東京製綱 (株) では、これらのストロングホールド工法の基本的特長を生かしたうえで、さらに、PCCV への PC 工事にも充分対応できる新しい諸機能をもったジャッキシステムの開発・改良をめざした。

新しい機能としては、

- ① 定着端部コンクリートに働く過大な局部応力を軽減するための「フローティングアンカーシステム」
- ② いったん、緊張、定着したケーブルを、供用時検査などの目的で、緊張力を解除するための「ディテンションシステム」
- ③ マイクロコンピュータを用いて、緊張管理を自動的に行う「自動緊張管理システム」

の3つであり、これらの諸機能を組み込んだシングルストランド用ジャッキおよびマルチストランド用ジャッキを試作、開発した。

(1) フローティングアンカーシステム

図-2 のようにジャッキを装着して PC ストランドを緊張すると、その伸延にしたがってアンカーグリップ (ヘッドとくさび) がフローティングスペースに浮上する。ジャッキを緩めることにより、この浮上量だけスト

* 清水建設 (株) 原子力部

** 清水建設 (株) 研究所

*** 東京製綱 (株) エンジニアリング部

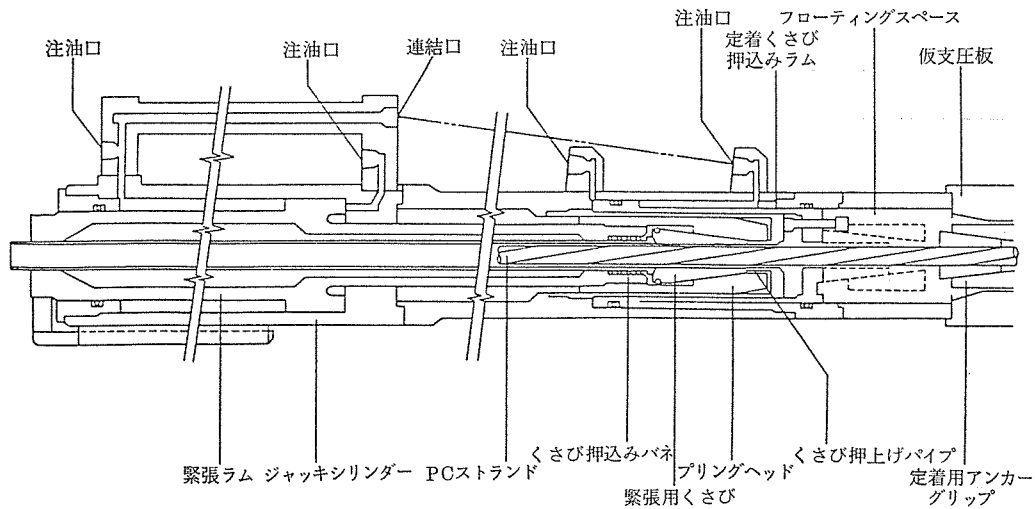


図-2 ジャッキの機構

ランドの緊張力を減少させることができる。このように鋼材の緊張時にアンカーヘッドを浮上させ、必要に応じて除荷できる機構をフローティングアンカーシステムという。

PC 鋼材の緊張にさいして、シースの波打ちおよび角度変化により鋼材とシース間に摩擦が生じ、図-3 に示すような設計断面に所定の荷重 (P_N) を導入するため

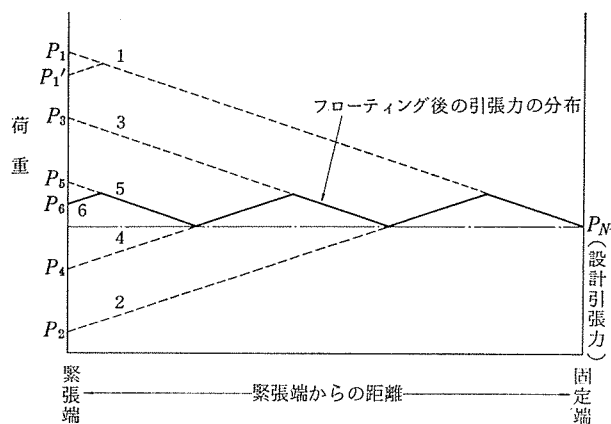


図-3 フローティングによる荷重の変化

には、緊張端で P_1 の緊張力をあたえなければならない (これが通常のくさび定着でセット量により P_1' まで荷重は低下する)。これをフローティングアンカーシステムにより、除荷 (P_2)→緊張 (P_3)→除荷 (P_4)→緊張 (P_5)→定着 (P_6) のように緊張、除荷を繰り返す、ケーブルの張力をコントロールできるように合理的な応力状態とすることが可能で、同時に定着端部の健全性が向上する。

フローティングアンカーシステムは、概念としては従来よりあったが、今回はそれを実証したものである。一般にテンドンの角度変化が大きく摩擦損失の大きい PC-

CV や、その他、サイロ、水槽、タンクなどの円筒形構造物に効果を発揮すると期待される。

(2) ディテンションシステム

PCCV で一般に義務付けられている使用中検査 (In-Service-Inspection, I.S.I.) に対応して、PC 鋼材の長期安全性の確認や取替えを要求される場合は、いったん緊張定着された PC 鋼材の緊張力を除荷 (ディテンション) する必要がある。一般にくさび定着方式の場合、さらに過緊張すれば定着くさびは浮き上がってくるが、この状態で鋼材の張力をゆるめると、定着くさびが再びアンカーヘッド内にめり込み、定着されてしまい、除荷ができない。したがって除荷にさいしては定着くさびを取り外すか、なんらかの方法でくさびがアンカーヘッド内にめり込まないようにする必要がある。今回考案したディテンションシステムはジャッキの前部に組み込まれているストロークの長い定着くさび押し込みラムを利用する方法で、このラムにあらかじめボルトを埋め込んでおいた定着くさびを連結カプラーを介して取り付け、ラムの移動によりくさびを引き上げ、鋼材の除荷時にくさびがアンカーヘッド内にめり込まないようにしてある。その方法手順を 図-4、図-5 に示す。

(3) 自動緊張管理システム

PC 工事における緊張管理は、荷重と伸びを各段階ごとに測定、記録し、グラフ上にプロットしながら進めていく。したがって、緊張作業は測定のために数回中断され、緊張完了までに長時間を要し、また伸び測定はスケール等によるため精度向上には限界がある。また緊張管理データの記録、整理も煩雑である。そこで緊張管理の省力化と精度の向上を目的としてマイクロコンピュータを利用した荷重、伸びの測定、記録、プロット、引止め線の確認という一連の作業を自動化する自動緊張管理シ

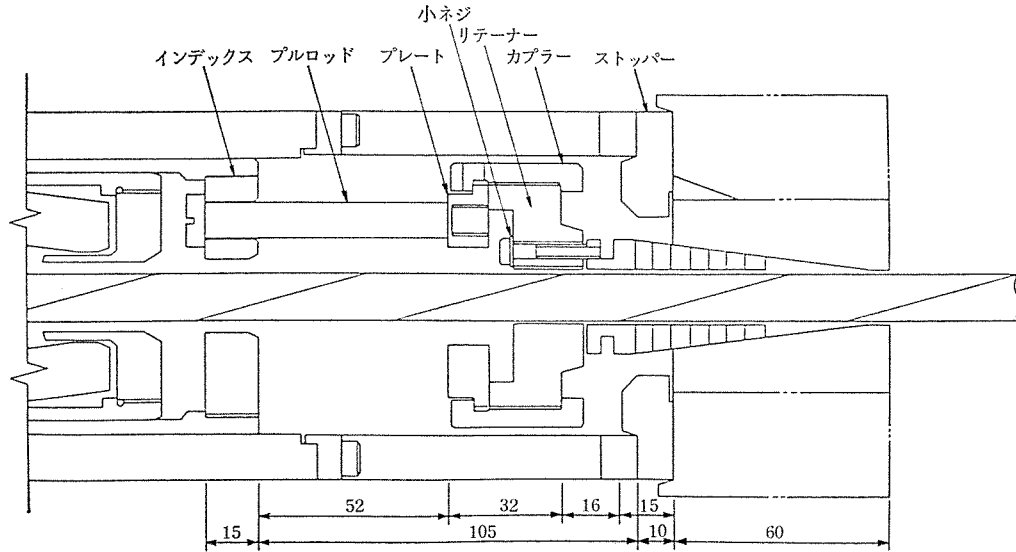


図-4 ディテンション機構

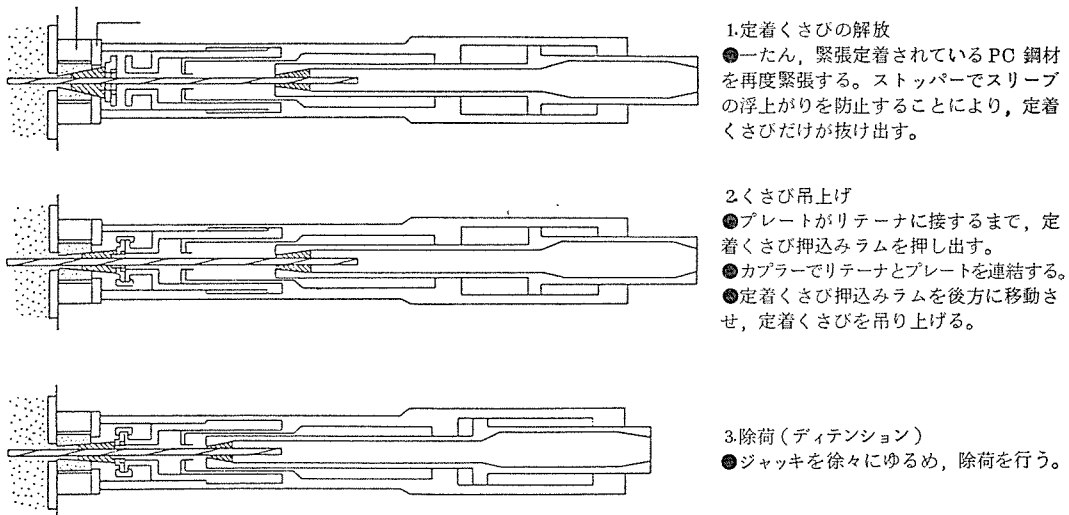
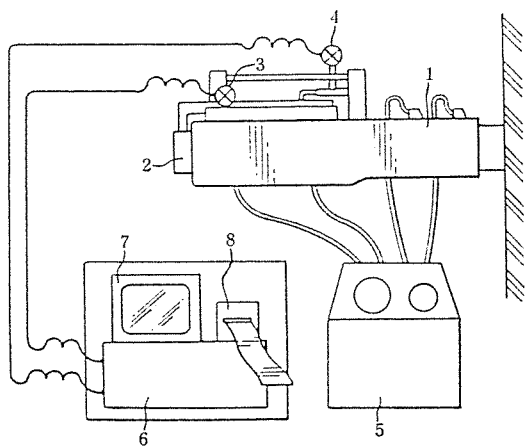


図-5 ディテンションニング



- 1.....油圧ジャッキ
- 2.....ラム
- 3.....変位ポテンシオメーター
- 4.....油圧ポテンシオメーター
- 5.....ポンプ
- 6.....マイクロコンピュータ
- 7.....モニターテレビ
- 8.....グラフィックプリンタ

図-6 自動計測システムの概要

システムを開発した (図-6 参照)。

このシステムは、テンドンの長さ、角度変化、摩擦係数、補正值などを入力データとしてマイコンにインプットし、管理限界線、引止め点を演算させ、ジャッキに取り付けた油圧および変位ポテンシオメータにより得られるテンドンの緊張力、伸び量を自動計測させ、これらの関係を全荷重段階にわたって図形処理し、ブラウン管上に緊張管理グラフをディスプレイしながら管理する。これは SSPC 工法の一つの特徴である。PCCV の I.S.I. 対応に要求されるディテンションシステムや、リフトオフ荷重の測定に対しても、極めて効率的な管理が可能である。

なお、緊張作業終了後は、緊張管理グラフをハードコピーすることによって、緊張工事記録として利用することができる。

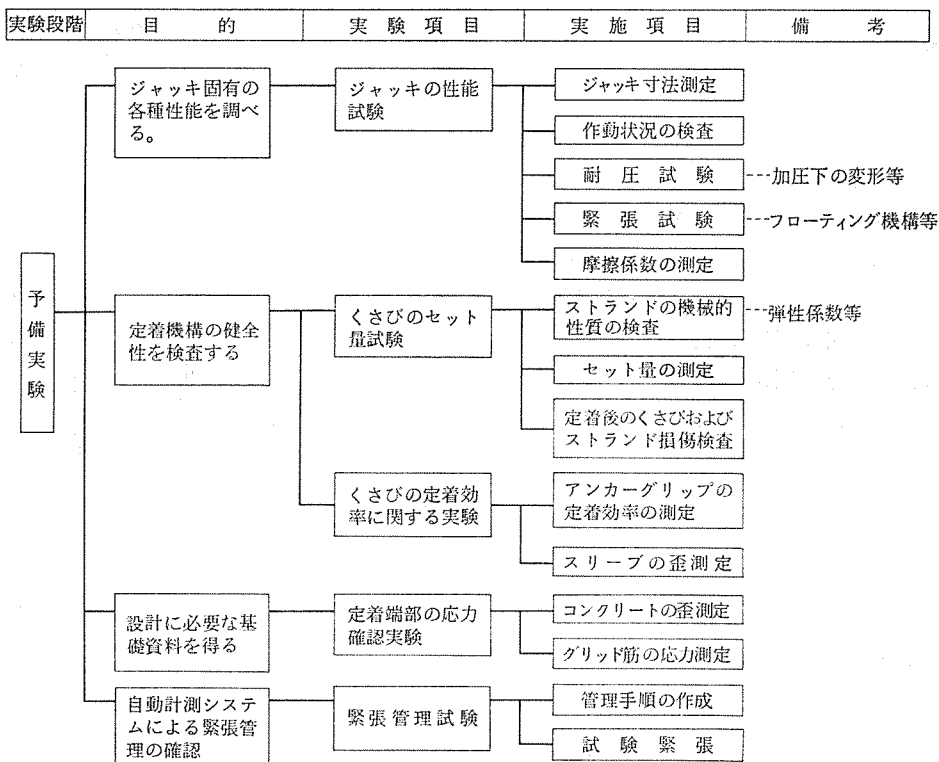


図-7 予 備 実 験

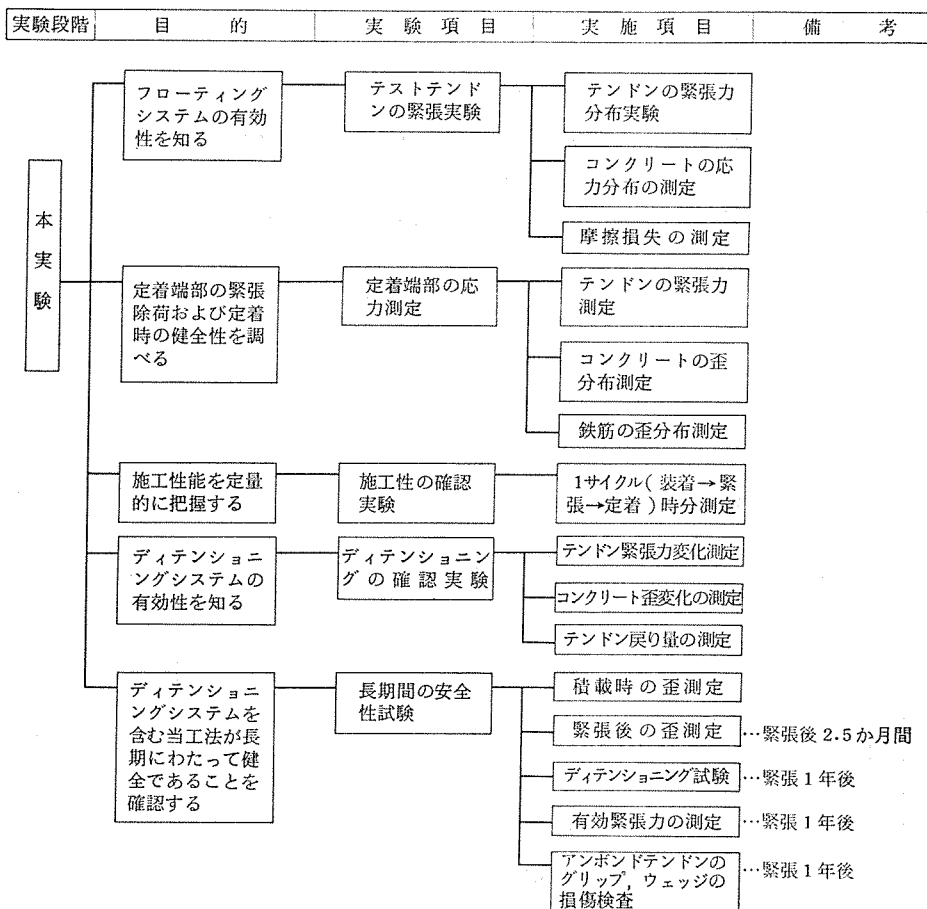


図-8 本 実 験

3. 確 証 実 験

前述の諸機能を有する SSPC ジャッキシステムを用いて各種性能実験を行った。

この実験は、開発されたジャッキシステムを用いて、システムの安全性、健全性、施工性などを確認するために行われたものであり、実験の内容は、予備実験と、本実験とからなっている。予備実験では工法の基礎資料を得るため、ジャッキの性能、定着機構の健全性などについて、また本実験では、蓄熱水槽塔、フープ方向テンドンを用いて、設計・施工に関する性能確認実験を行ったものである。

図-7、図-8 に実験項目を示す。

ここでは、主として PC 蓄熱水槽塔での実験工事を通して行なった各種、性能確認実験について述べる。

図-9 に、PC 蓄熱水槽塔の概略図を示す。

3.1 フローティングアンカーシステム

フローティングアンカーシステムの原理、ジャッキの機構についてはすでに述べたところであるが、今回、初めての試みとして、その定量データを、実験の PC 工事によって取得したものである。

図-10 は、PC ケーブルを、緊張、除荷、再緊張、定着したときの円周方向の緊張力分布状況を示している。

テストテンドン (C-1 テンドン) において、ポンプ油圧 P を $P=0 \rightarrow 200 \rightarrow 50 \rightarrow 150 \text{ kg/cm}^2$ と変化させることによって、再緊張時 $P=150 \text{ kg/cm}^2$ において、初緊張時 $P=200 \text{ kg/cm}^2$ に相当するほぼ均等なフープ方向緊張力が得られた。これは、定着端部応力を軽減しつつ、設計断面に所要のプレストレスが導入できることを

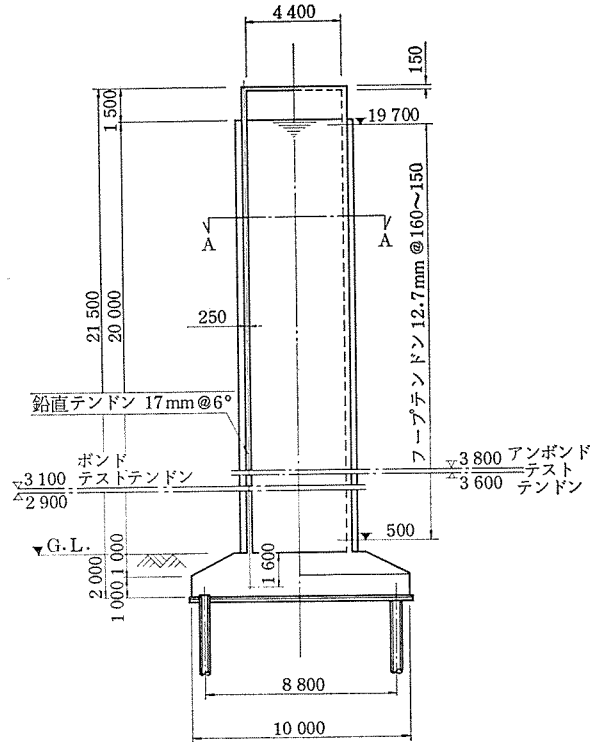


図-9

実証したものである。また、その軽減の大きさは、くさびセットロスによるものに比してきわめて大きいことから、フローティングアンカーシステムの有効性が確認できた。

3.2 ディテンションシステムの確認

いったん緊張、定着されたテストテンドンを用いて、試作ジャッキの連続操作により緊張力を低減して行った。このとき、コンクリートおよび PC ストランドに生じていた応力は解放されていることが、応力分布測定結

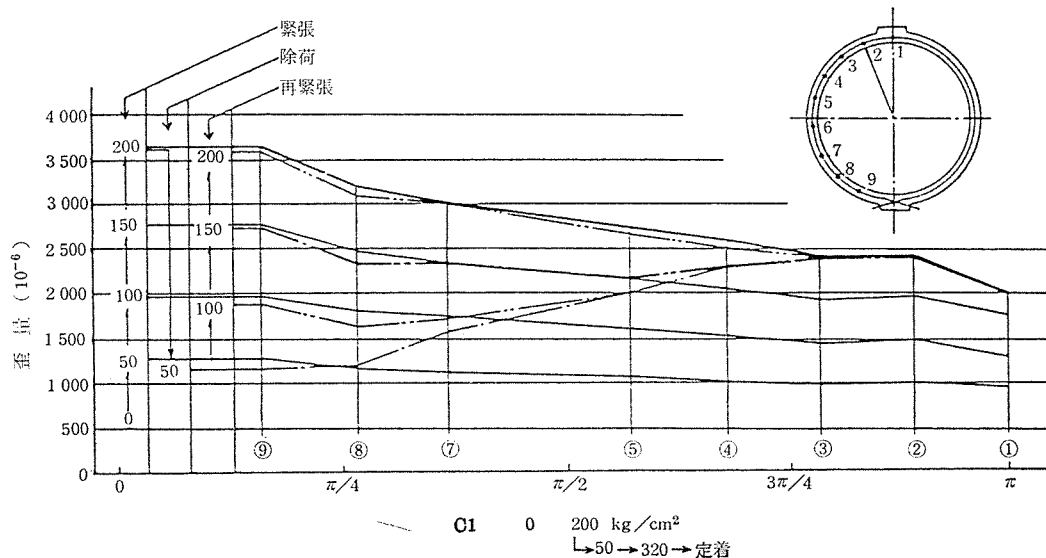


図-10

果から読み取れた。この結果、テンドンの除荷はきわめてスピーディかつ容易に行うことができ、ディテンションシステムが正しく機能することが確認された。

また、自動緊張管理システムによって、荷重-伸びグラフのプロット状況より、その勾配が急に変化するときの荷重をもって、「リフトオフ荷重」とみなすことができることから、今後、PCCV の I.S.I. 対応などに対しても、十分な精度でディテンション作業ができることが確認された (図-11 参照)。

3.3 自動計測システムによる緊張管理手法の確認

この工事では、すべて自動計測システムによる緊張管理を行った。そのアウトプットの一例を図-12 に示す。

なお従来の方法による緊張管理も併用したが、このシステムの妥当性が裏付けられた。このシステムによれば、

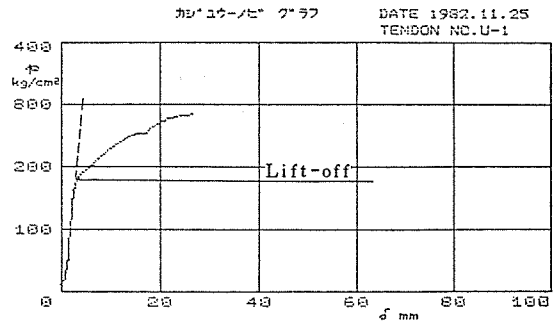


図-11 荷重-伸びグラフ

従来方法に比べてきわめて短時間に信頼性の高い測定結果がわずかな労力で得られ、しかも緊張管理データの整理のための作業も少なく、連続緊張作業の可能性

ケーブル 1本ノットノ カンリス

コンシメイ ; PC TOWER
 date ; 81.9.17
 モンチョウ アシヨ ; HOOP
 ケーブルノ シュルイ ; 12.7
 ケーブル No. ; 58
 モンチョウ シェンシヨ ; 64
 sm (u=0) = 124.6 kg/cm2
 d (u=0) = 43.2 mm
 sm (u=0.4) = 420 kg/cm2
 d (u=0.4) = 93.8 mm
 umax = 0.52
 umin = 0.08
 ヒキトメ <Eρ> = 1.90566 kg/cm2
 0.85 sy = 320 kg/cm2
 オペレーター ; Y.

カシユウ ◆ ノヒ リスト

モンチョウリョク (kg/cm2)	ノヒ 1 (mm)	ノヒ 2 (mm)	2(da+db) (mm)	total (mm)
50	10	10	0	10
100	16.2	15.9	1.3	10.8
150	13.6	11.6	2.7	22.4
200	20.1	17.5	4.1	33.5
250	27.2	24.4	5.5	46.2
300	32.2	30	6.9	55.4
321	34.1	34.7	7.4	61.4

サイシュウ モンチョウリョク ; 321 kg/cm2
 ノヒノ ホセイリョク(m) ; 12 mm
 センノヒリョク ; 74 mm
 ミュー ; 0.34

モンチョウ カンリス

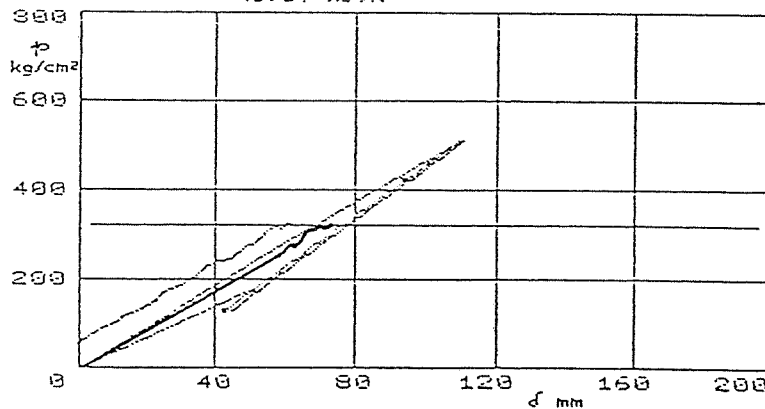


図-12

の確認ができ、緊張管理作業の合理化が達成できる見通しがたった。

3.4 構造物としての安全性の確認

ストロングホールド工法を用いた PC 蓄熱塔の安全性を確認するため、工事の各工程ごとにフープ方向コンクリート応力度を計測し、解析値との比較検討を行った。

図-13 にプレストレス導入によるコンクリート応力度を示す。実測値と解析値との比較を行うと、プレストレス力による応力は、実測値/解析値=1.10~1.18 となる。一方、満水時の水圧によっても、構造物は安全サイドとなっていることが確認された。

なお、緊張定着後1年を経過した時点での有効緊張力をアンボンドテンドンについて測定したデータを図-14 に示す。定着直後の緊張力 P_0 と1年後の有効緊張力 P_e との比を、プレストレス有効率 η とし、 $\eta = P_e/P_0$ をテンドン長さ方向に沿って積分すると、 $\eta = 0.92$ であった。

緊張1年後の有効プレストレスは、設計値 $\eta = 0.85$ をクリアしている。

3.5 アンボンドテンドンの有効性

アンボンドテンドンの摩擦係数は、ボンドテンドンに比べ、きわめて小さいことはよく知られている。今回の実験ではフープ方向に 720° (2周) のアンボンドテンドンを設置し、その緊張力分布を測定した。その結果を図-15 に示すが、角変化 2π の位置においても魔擦による緊張力の損失はきわめて少なく、使用 PC 鋼材量は減少する。

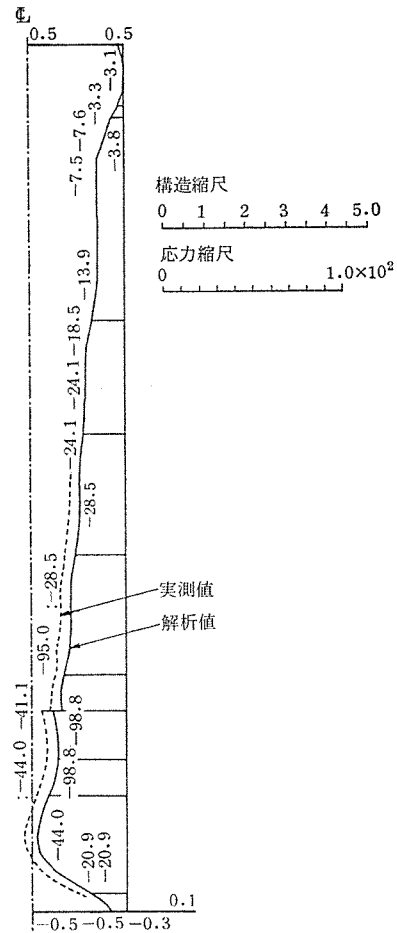


図-13 プレストレス導入による面内応力度

図-16 に、今回得られたアンボンドケーブルの摩擦係数を示す。打込み油圧との関係について示してある。

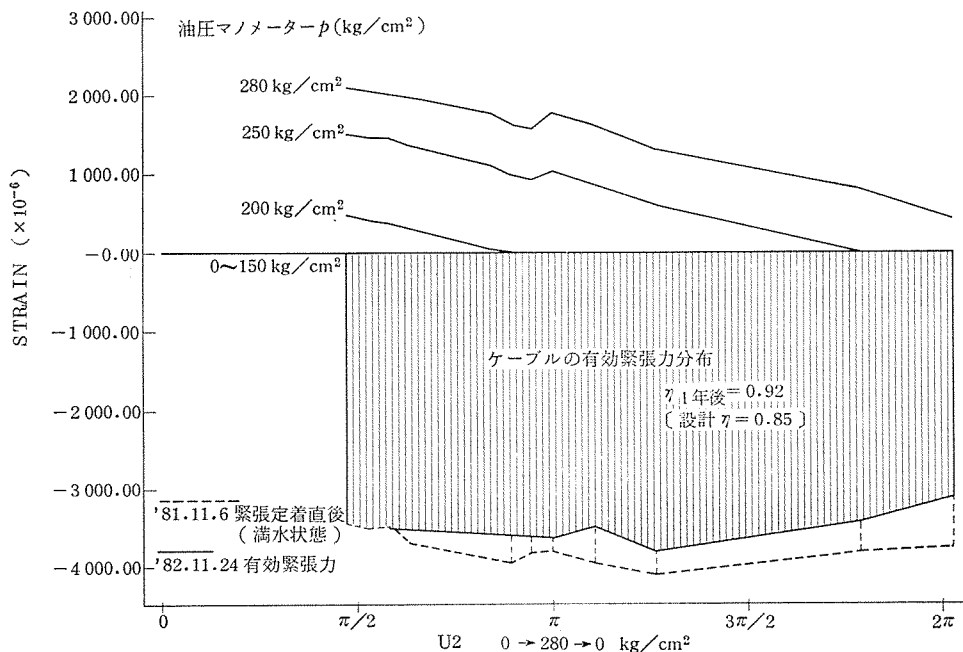


図-14 テンドンの緊張力分布状況

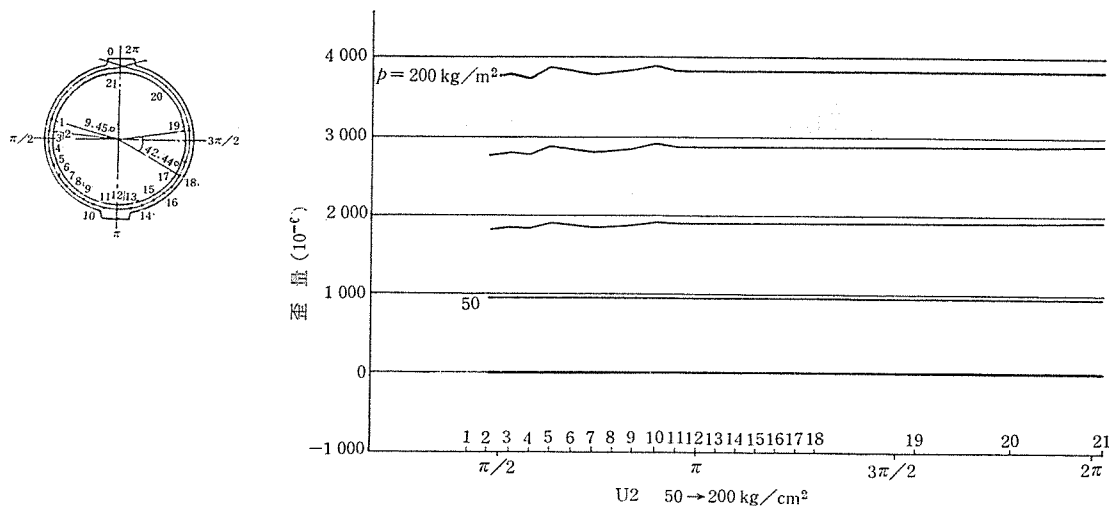


図-15 アンボンド Tendons の緊張力分布

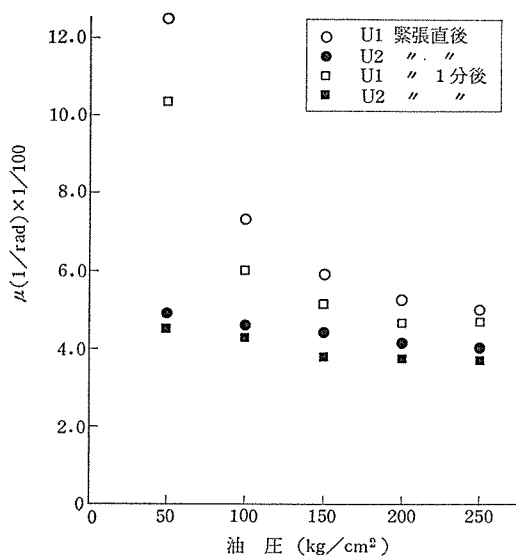


図-16 摩擦係数測定結果

円筒形構造物のように角変化の大きい構造物の場合、アンボンド Tendons を用いることが、施工性、経済性の面でもきわめて合理的であることが確認された。

4. おわりに

プレストレストコンクリート製原子力格納容器などの大型特殊構造物でのプレストレス作業に充分対応できる新しい機能をもったプレストレスシステムの開発、改良について報告した。

基本的性能の確認、実際の PC 工事を通しての各種機能の確認もほぼ当初の予定どおり確認することができた。「フローティングアンカーシステム」については、定性的な確認はできたものの、設計手法に取り入れるまでの定量的な把握までには至らなかった。今後の課題として残された問題点の一つである。また、「ディテンションシステム」、「自動緊張管理システム」については、その有効性、優秀な施工性が確認されたが、今後さらに実用化に向けて多くのデータ蓄積が望まれる。

最後に、本実験を行うにあたり、貴重な御助言をいただいた方々に深く感謝する次第であります。

【昭和 58 年 4 月 21 日受付】

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート橋の設計・施工上の最近の諸問題

体 裁：A 4 判 116 ページ

定 価：1500 円 送 料：450 円

内 容：(1) PC 橋の施工開始前の諸問題、(2) PC 橋の工事ならびに施工管理について、
(3) 新しい PC 設計方法について、(4) 最近の話題の橋梁

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