

PC 煙 突

— 施 工 編 —

柴 田 孝 治*
井 上 弘**
田 村 悦 徳***
町 田 武†

1. はじめに

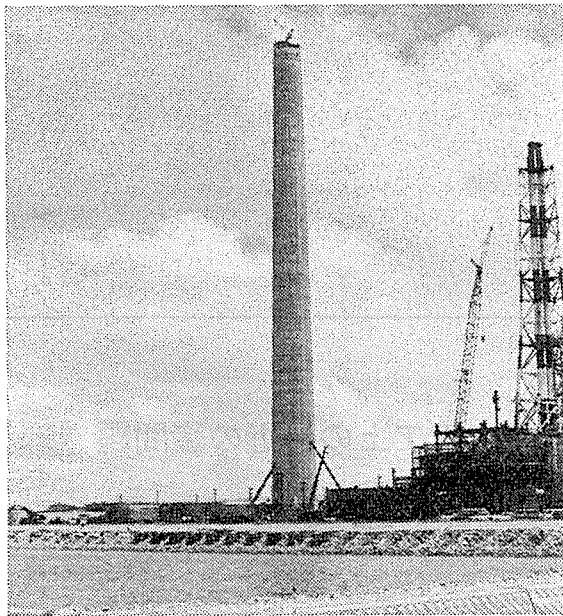
電源開発（株）が、沖縄県石川市に建設中の石川石炭火力発電所（156 000 kW×2 基）の煙突は、我が国初の鉛直方向にプレストレスを導入した鉄筋コンクリート造煙突である。

昭和 59 年 7 月に着工した本工事は、約 1 年を経過した現在、外筒のスリップフォーム工事、緊張工事を完了し、内筒工事を残すのみとなっている。

前号では設計について報告したが、今回は施工について報告する。

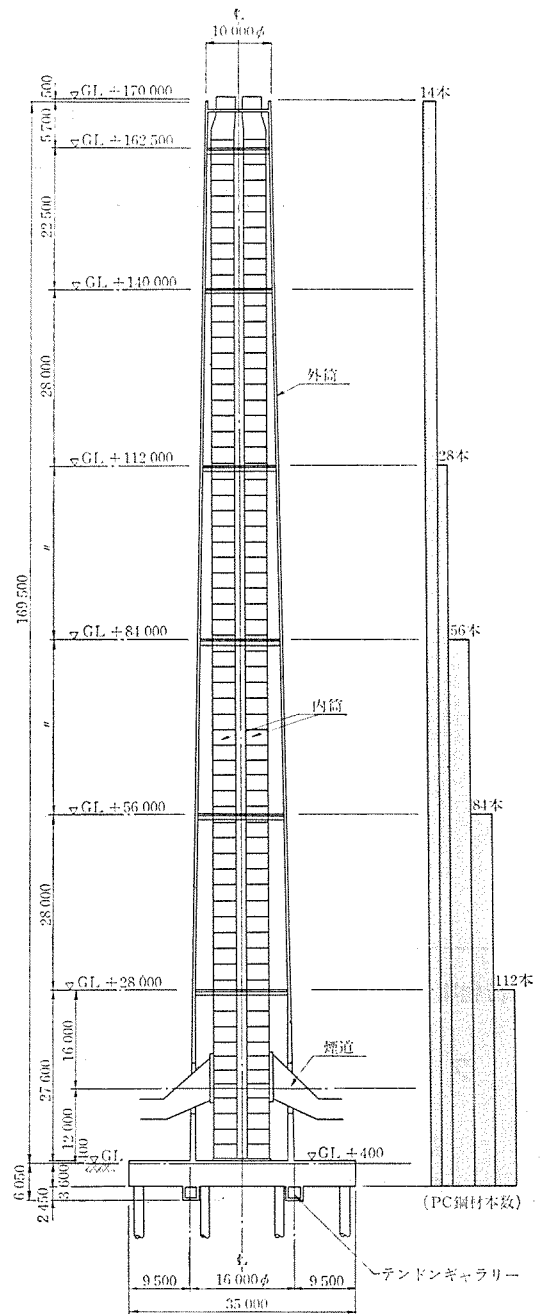
2. 工事概要

工事名称：石川石炭火力発電所 1, 2 号機新設工事
の内煙突新設工事
工事場所：沖縄県石川市赤崎



写真—1 煙突全景

- * 電源開発（株）石川石炭火力建設所所長代理
- **（株）大林組電源開発石川工事事務所所長
- ***（株）大林組東京本社建築技術部課長代理
- † ピー・エス・コンクリート（株）本社土木部工務課課長代理



図—1 筒体断面図

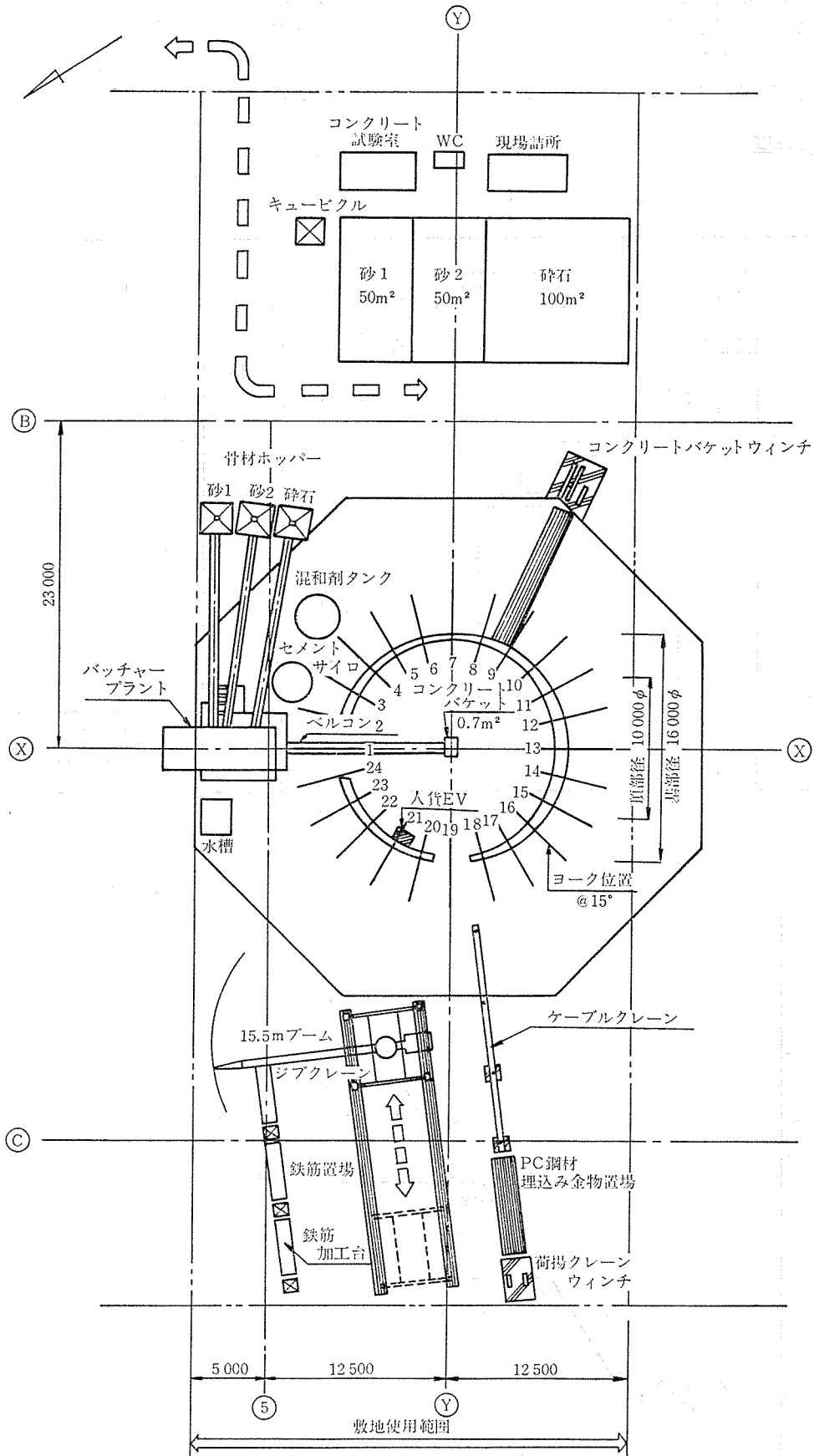


図-2 一般仮設計画図

◇報 告◇

建 築 主：電源開発株式会社
 設計・監理：電源開発株式会社
 施 工：(株)大林組福岡支店
 工 期：昭和59年7月～昭和61年3月

PC 鋼材・シース等のストックヤード，加工場，および
 バッチャープラント，骨材置場を配置した。

外筒は，スリップフォーム工法により施工した。コン
 クリートの打設は，GL+26.5m まではポンプ打ちと
 し，26.5m 以上は，バケツ打ちとした。鉄筋，PC 鋼
 材，金物等の揚重は，300 kg 吊のケーブルクレーンに
 より行った。

3. 一般工事計画

図-2 に示すように，限られたスペース内に，鉄筋・

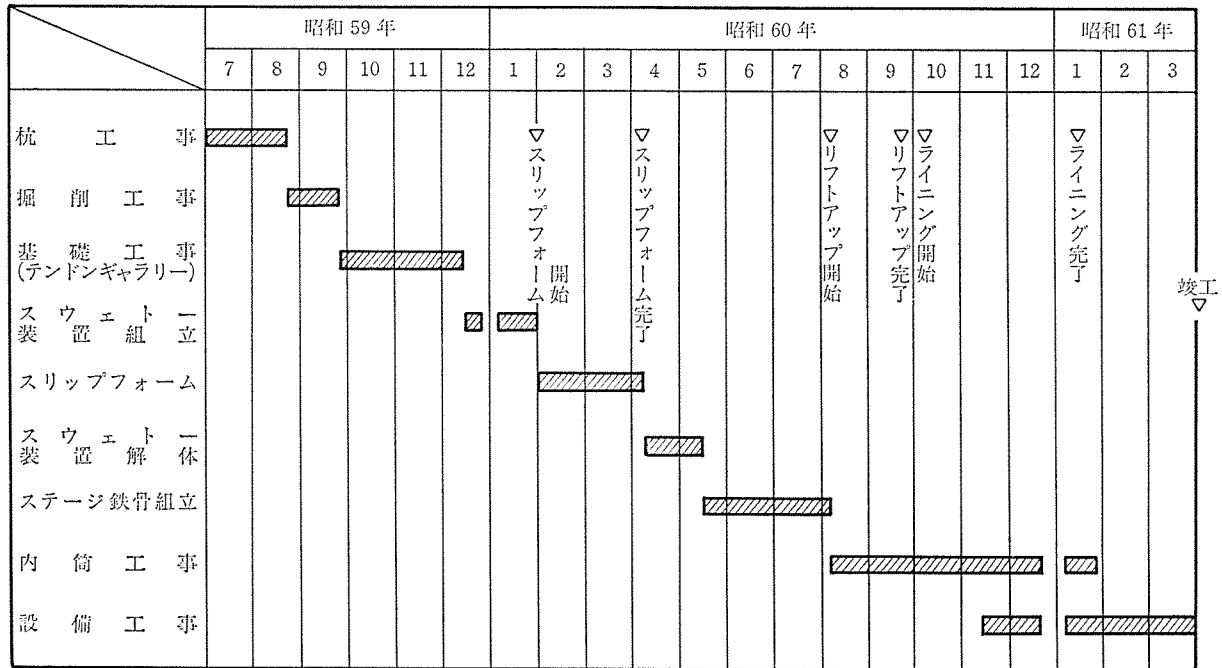


図-3 全体工程表

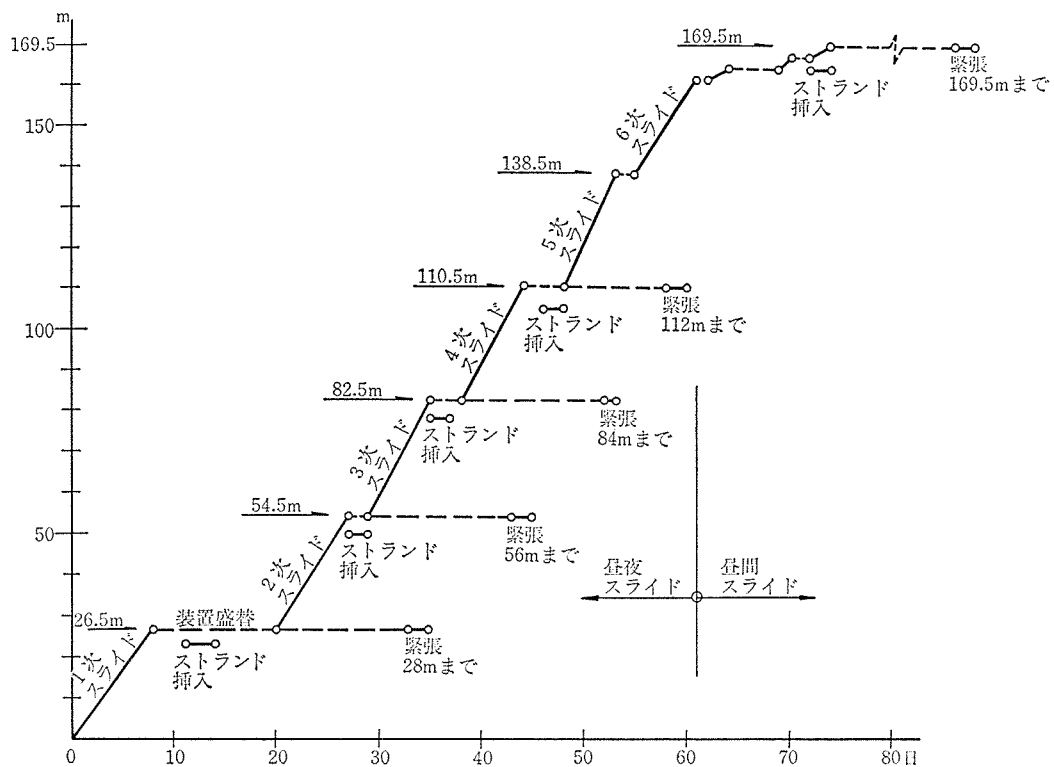


図-4 実施詳細工程表

4. 工程表

図-3 に全体工程表を、図-4 に外筒施工のスリップフォーム工事の実施詳細工程表を示す。

5. 主な使用材料

表-1 に主な使用材料について示す。

表-1 主な使用材料

	項目	仕様	数量
基礎	杭	ベノト杭, $\phi 1.5 \text{ m}$, $l \approx 35 \text{ m}$	40 本
	コンクリート	$F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	4300 m^3
	鉄筋	SD 30	350 t
外筒	コンクリート	$F_c = 300 \text{ kg/cm}^2$	2170 m^3
	鉄筋	SD 35 (主筋), SD 30 (フープ筋)	440 t
	PC 鋼棒	SBPD 95/110 $\phi 32$	47 t
	PC 鋼より線	SWPR 7A $4\phi 15.2$	9 t

外筒コンクリートについての諸元は以下のとおりである。

(1) セメント

普通ポルトランドセメントを使用

(2) 粗骨材・細骨材

粗骨材は本部産砕石を使用。細骨材は本部産砕砂と新川産海砂を洗砂したものを、4:6 の比率で混合したものを使用した。細骨材の塩分の含有量は、0.04% 以下を管理範囲とし、厳重な管理を実施した。現場で洗砂後に測定した値は、0.005~0.01% の範囲に納まっており、ほとんど問題とならなかった。

(3) スランプ

GL+26.5 m~169.5 m は 8 cm を基準としたが、GL+26.5 m 以下では、ポンプ打ち施工のため 12 cm とした。

(4) 調合 (表-2 参照)

(5) 圧縮強度管理

コンクリートの圧縮強度管理は、「JASS 5 T-602 工事現場練りコンクリートの調合強度の管理試験方法」によって行った。

$$k = \frac{1 - 1.282 \frac{V}{100\sqrt{N}}}{1 - 1.64 \frac{V}{100}} = 1.12$$

$$\frac{\bar{X}}{F} = \frac{441}{300} = 1.47 > k$$

$$F = 341 \text{ kg/cm}^2 \text{ (調合強度)}$$

$$\sigma = 25 \text{ kg/cm}^2 \text{ (標準偏差)}$$

$$V = \frac{\sigma}{F} \times 100 = 7.33\%$$

$$N = 47 \text{ 回 (試験回数)}$$

$$\bar{X} = 441 \text{ kg/cm}^2 \text{ (材令 28 日における圧縮強度の平均値)}$$

$$F_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \text{ (設計基準強度)}$$

6. スリップフォーム工事

6.1 スウェーター工法の概要

6.1.1 スウェーター工法

スリップフォーム工法は、工期の短縮、打継ぎ目のないコンクリートを目的として開発された工法で、主として煙突・サイロ・橋脚・水槽・塔状の建物等の鉛直構造物に使用される。

(株)大林組保有の独自のスリップフォーム工法の名称はスウェーター工法である (図-5 参照)。

6.1.2 スウェーター装置の概要

(1) 荷重のながれ

装置および作業時の荷重は、各ヨークごとに配置された上昇用ジャッキ (能力 6 t) を介してロッド ($\phi 32 \text{ mm}$) に伝えられる。

(2) 装置の上昇および直径の伸縮、壁厚の伸縮

上昇用ジャッキによる 1 回の上昇量は 25 mm である。直径および壁厚の伸縮は、他の各々のジャッキで行う。

(3) 型枠パネル

直径の変化に対応する型枠パネルの伸縮は、各ヨーク間に 1 枚ずつ配置されたスライド型枠によって行う。

(4) 壁厚の変化と傾斜角の調整

壁厚の変化と傾斜角の微調整は、各ヨーク毎に配置された型枠調整スピンドルによって行う。

6.2 管理システム

装置中央のセンターリングに連結するスポークワイヤはヨークを通り、星形ビームの先端とセンターリング下部とに連結された回路になっている。このシステムにより、正確な円形を保ちつつ所定の形状を作ることができる。装置の制御および精度管理は、コンピューターで計算された数値管理表に基づいて、中央司令室で集中運転管理されている。

表-2 コンクリート調合表

部位	スランプ (cm)	空気量 (%)	単 位 量					細骨材率 (%)	水セメント 比 (%)
			セメント (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	混和剤 (kg/m^3)		
GL+0.45 m~26.5 m	12	4	320	173	860	960	0.8	48.1	54
GL+26.5 m~169.5 m	8	4	320	168	855	980	0.8	47.5	52.5

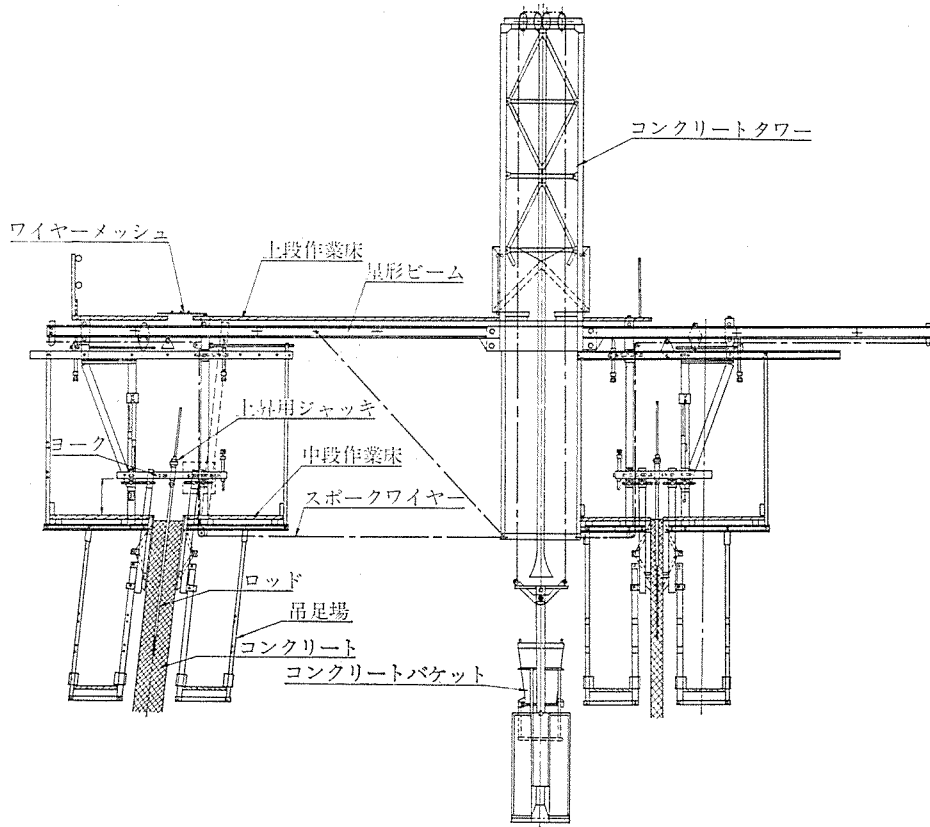


図-5 スウェーター装置

精度の測定は、図-6 に示すように、地上部に設置された2台のレーザー鉛直器と装置に設置された2台のターゲットにより、装置の中心偏位や回転角が常時自動測定され、中央司令室のパソコンで演算されて、ブラウン管に表示される。高さの測定は光波距離計で測定される。

スリップフォーム装置の水平上昇管理は、各ヨークに設置された自動レベルセンサーで管理される。この装置は、中央司令室ですべてのヨークの高さがデジタル表示されるようになっており、ジャッキの高さにバラツキが生じた時、この装置を作動させると、基準より先行しているジャッキは自動的に止まり、低いジャッキのみが行動し、すべてのジャッキを水平状態に復旧させることができる。

また、レベル基準の設定値を変えることにより、装置を水平状態から任意の角度に傾けることができるため、中心偏位の修正にも使用される。

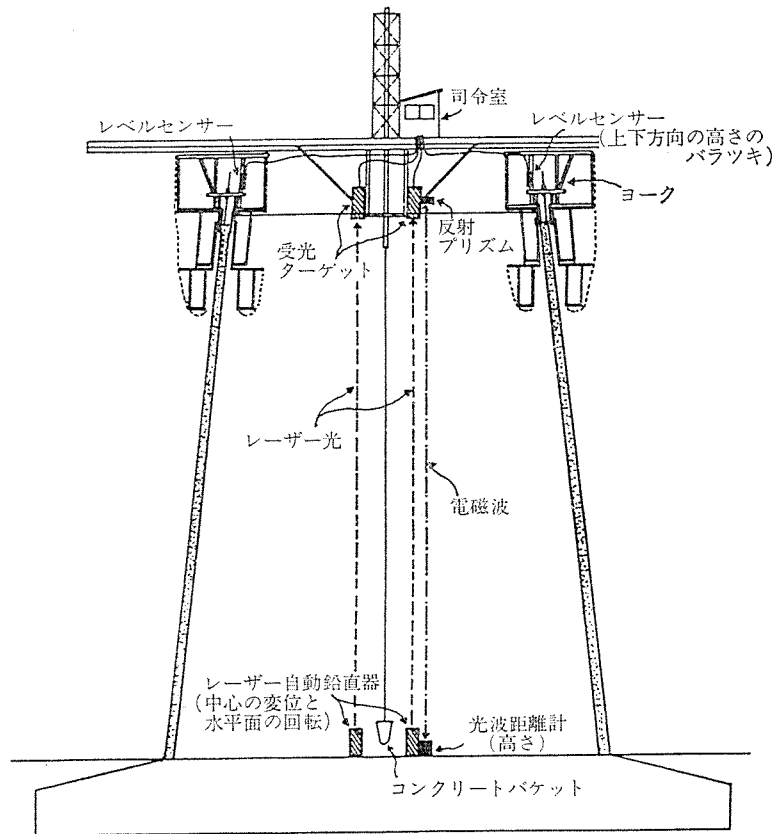


図-6 管理システム図

7. プレストレストコンクリート工事

7.1 PC 鋼材配置工事

7.1.1 PC 鋼材配置計画

PC 鋼材の配置は、開口部，ヨークを逃げた位置で、全断面均等にプレストレスが導入できるように計画し、更に、開口を中心として対称形に PC 鋼材を配置した。また、PC 鋼棒のカップラー位置は、構造上および施

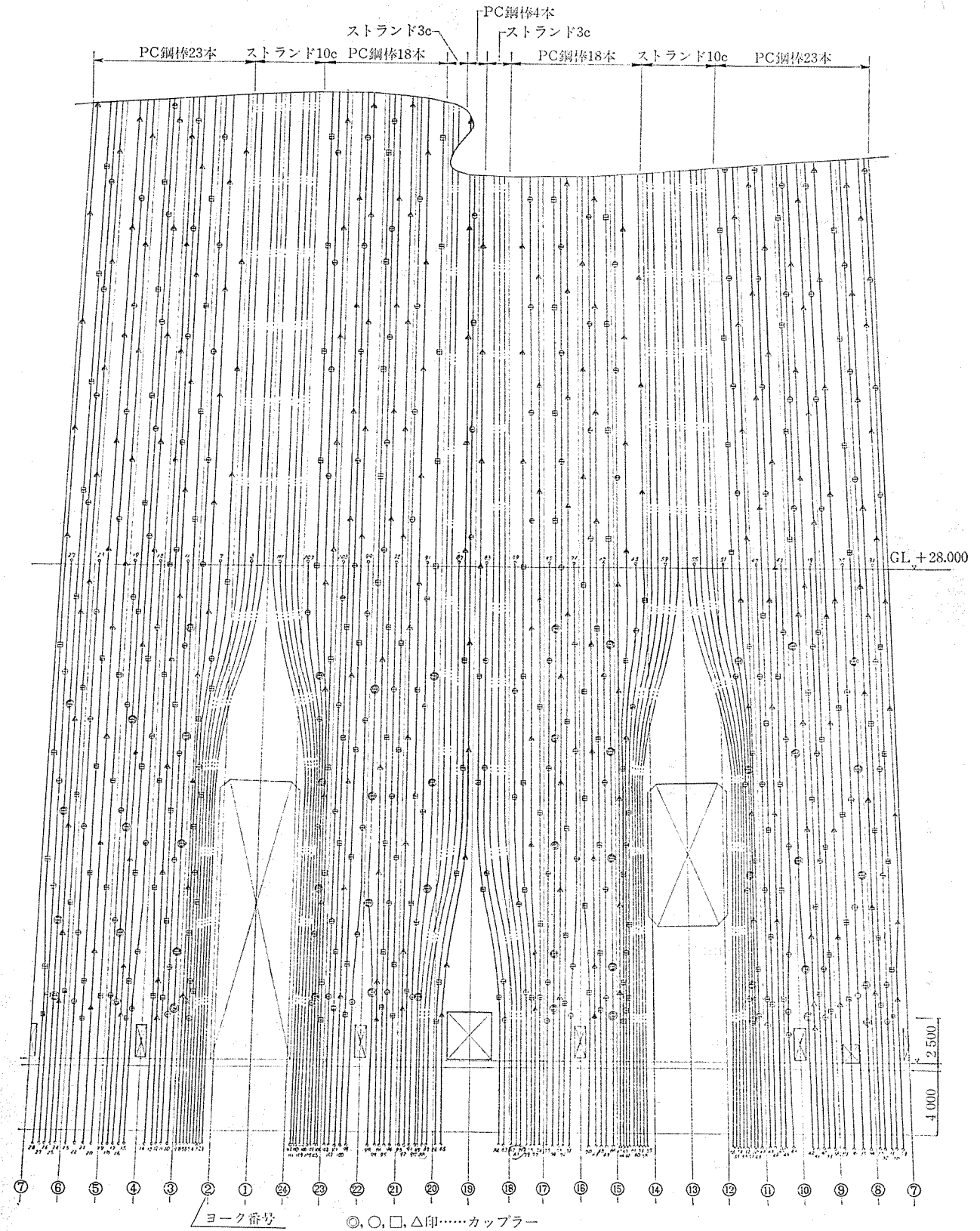


図-7 PC 鋼材配置展開図

工上の理由から同レベルに集中しないように計画した。したがって、配置作業はピーク時でも、12本のPC鋼棒をスライド高さ86cmピッチに建て込んでいけばよく、工数の山崩しが可能となった(図-7参照)。

7.1.2 PC 鋼棒配置工事

(1) PC 鋼棒

テンドンギャラリーの壁のコンクリート打設後、基礎盤下端の型枠に、箱型枠にアンカーグロウクを取り付けた状態で、最初のPC鋼棒を建て込んだ。開口部周辺の不規則配置および塔体の傾きに沿わせるために、仮設鋼材でフレームを組み、GL±0のレベルに±4.5に穴あけしたものを定規として、PC鋼棒の位置を正確にセットした。PC鋼棒の自重は、テンドンギャラリー内に型枠サポートを立てて、これを保持した。

スライド中のPC鋼棒の建方は、上段作業床から作業員4名で行った。前のPC鋼棒の天端が、上段作業床から1~1.5m下がった時点で、PC鋼棒(標準6m)をシースをかぶせた状態で建て込み、カップラージョイントでつないで、上方へのぼして行った。

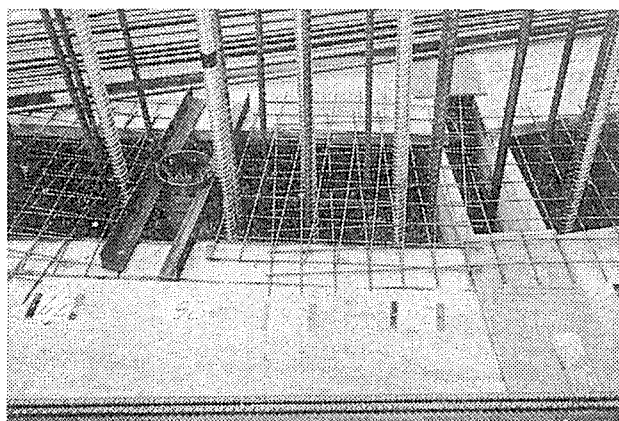


写真-2 PC 鋼棒配置

(2) シース

シースはグラウトの施工性を考慮して若干大きめの内径45mmの亜鉛メッキシースとした。ただし、基礎版内のシースは、配筋中およびコンクリート打設中に傷がつくのを防ぐために、φ48.6mmの鋼管を用いた。

(3) カップラー

カップラーシースは、PC鋼棒の伸び量に応じたカップラーの移動量に合わせて、490, 640, 790, 940mmの4種類を用意した。同じレベルに4種類のカップラーシースが混在し、しかも、カップラーの移動方向が違う(最長PC鋼棒は両引き)のために、ケーブル番号別、色分け等によって識別する方法を採った。

また、カップラーは、コンクリート打設時のパイプレンターの振動や衝撃でゆるむことが考えられたので、カップラー内部にエポキシ樹脂を塗布して、パイブレンテ

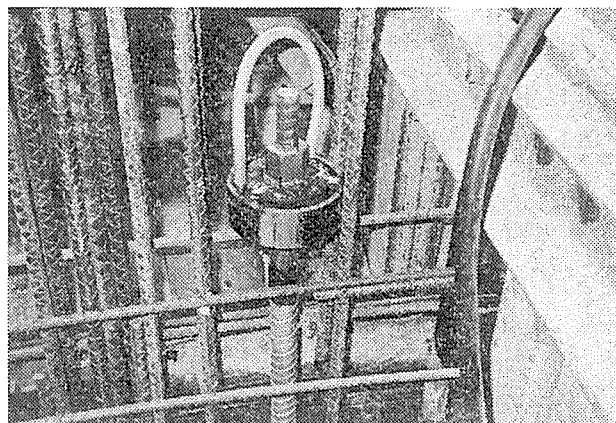


写真-3 固定端

でPC鋼棒をねじ込んだ。

7.1.3 ストランド配置工事

スライド中は、シースのみを配置した。開口部周辺でケーブルが曲線配置となり、ヨークにまたがって配置される場所では、ヨークをかわすまで $l=300\sim 500$ mmのシースをジョイントしていった。

ストランドの挿入は、各段のステージの金物埋込みのためにスライドが中断する2日間で行った。当初は、テンドンギャラリーからプッシングマシンを用いて下から上に向かって挿入する方法をとったが、この方法は56mまでしか通用しなかった。56m以上は、ストランドコイルは地上に置いたままで、ストランドをケーブルクレーンによって、連続的に上段作業床上に引き上げ、プッシングマシンで上方から落とし込む方式をとった。ストランドをアンカーグロウクのウェッジで固定した後、ディスクサンダーで切断した。

7.2 緊張工事

途中の各ステージで止まるPC鋼材の緊張は、テンドンギャラリー内から片引きし、最長のPC鋼材(173m, 14本)は、頂部とテンドンギャラリーとで両引きした。緊張は、スリップフォーム上昇中も、コンクリート強度が 270 kg/cm^2 以上に達した下の部分から順次行った

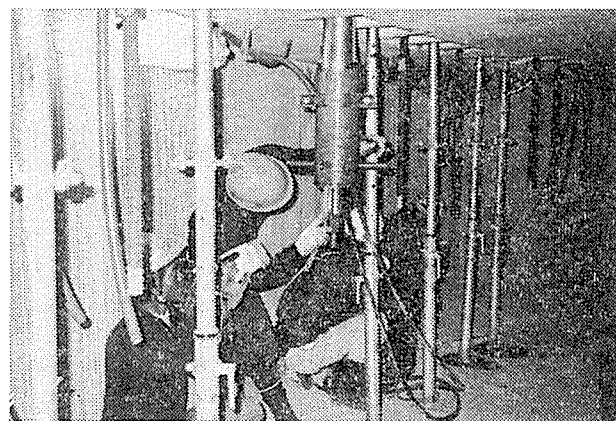


写真-4 PC 鋼棒緊張

(図-4 実施詳細工程表参照)。

設計断面における PC 鋼棒 1 本当りの必要有効緊張力は、 $P_e=45.0t$ であるので、有効率 $\eta=0.85$ より、導入直後の緊張力は $53.0t$ とした。ただし、下部を緊張した後に生じる弾性短縮(上部の PC 鋼材の緊張によるものと、煙突自重によるもの)による緊張力の減少を考慮して、各ステージレベルの PC 鋼棒は、表-3 による値で緊張を行った。

表-3 PC 鋼棒 $\phi 32\text{ mm}$ の緊張力

部 位	緊張力
GL+ 28 m の PC 鋼棒	54.8 t
GL+ 56 m "	54.2 t
GL+ 84 m "	53.8 t
GL+112 m "	53.3 t
GL+169.5 m "	53.1 t

なお、ストランドについては、更にセットロスを考慮した値でもう少し大きめの荷重で緊張した。

また、緊張順序については、緊張力の偏りを避けるために、2組のジャッキを用意して、開口を中心にして対称に、および、全体の円に対して対称に(1本緊張すれば、次はその 180° 反対側を緊張する)プレストレスが導入されるように緊張した。

7.3 緊張管理

緊張管理結果を 表-4 に示す。

表-4 緊張管理結果 (全データ)

	本数(本)	平均値	標準偏差
直線 PC 鋼棒	54	$\lambda=0.0029\text{ 1/m}$	0.00093
曲線 PC 鋼棒	32	$\mu=0.28\text{ 1/rad.}$	0.086
曲線ストランド	26	$\mu=0.16\text{ 1/rad.}$	0.047

GL+28 m の PC 鋼材は、 μ, λ のばらつきが比較的大きいので、これらを除いた緊張管理結果を示すと、表-5 のとおりである。異形 PC 鋼棒の摩擦係数は、当初かなり大きくなることが予想されたが、鉛直方向の緊張のためか、通常の PC 鋼棒程度かむしろ小さめの値を示した。

表-5 緊張管理結果 (GL+56 m 以上のもの)

	本数(本)	平均値	標準偏差
直線 PC 鋼棒	42	$\lambda=0.0028\text{ 1/m}$	0.00049
曲線 PC 鋼棒	21	$\mu=0.28\text{ 1/rad.}$	0.036
曲線ストランド	21	$\mu=0.17\text{ 1/rad.}$	0.029

7.4 グラウト工事

図-8 に示すように、内筒支持のために設けられた 28 m ごとのステージ間で、下から順次グラウトを注入していった。ステージ部分のシースには、下部からのグラウト排出用と次段階の注入用の穴を 1 m 間隔で設けてお

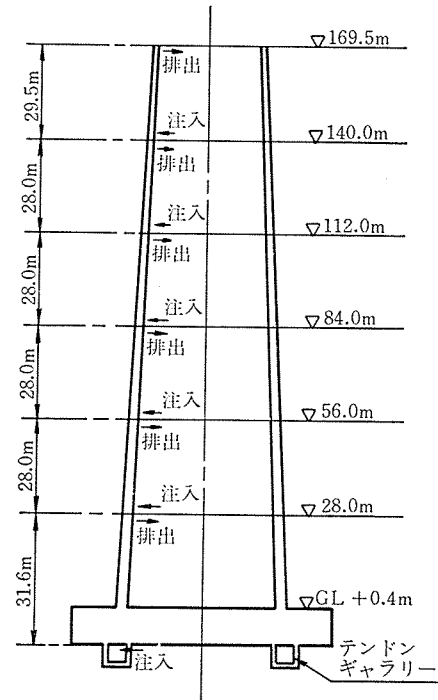


図-8 グラウト施工要領図

いた。最長の 173 m のシースは、この作業を 6 回繰り返してグラウト注入作業を完了した。

使用したグラウトの調査表ほかを 表-6 に示す。沖縄の夏を考慮して流動性が良く、しかも可使時間が長く、ブリージング率が非常に小さいものを使用した。また、コンクリートの細骨材に微量とはいえ、塩分を含んでいるため、グラウトの中に防錆剤 (NR-1900) を混入して、PC 鋼材の防錆対策の一助とした。

表-6 グラウト調査表ほか

① 調合

W/C (%)	セメント (kg)	水 (l)	NR-1900 (l)	GF 700 (g)
38	40	15.12	0.084	400

② コンシステンシー (JA 型)

放置時間	2 分	80 分
3 回の平均	16 秒	21 秒

③ ブリージング率, 膨張率

	50 分 後		3 時間 後		20 時間 後	
	ブリージ ング率 (%)	膨張率 (%)	ブリージ ング率 (%)	膨張率 (%)	ブリージ ング率 (%)	膨張率 (%)
3 個の平均	0	1.4	0.9	4.0	0	4.0

また、グラウト孔の設置は、図-9 に示すように、スチール型枠がスライド通過した後、ゴム製の木コン型枠を取り外してグラウトホースを接続することにより行った。

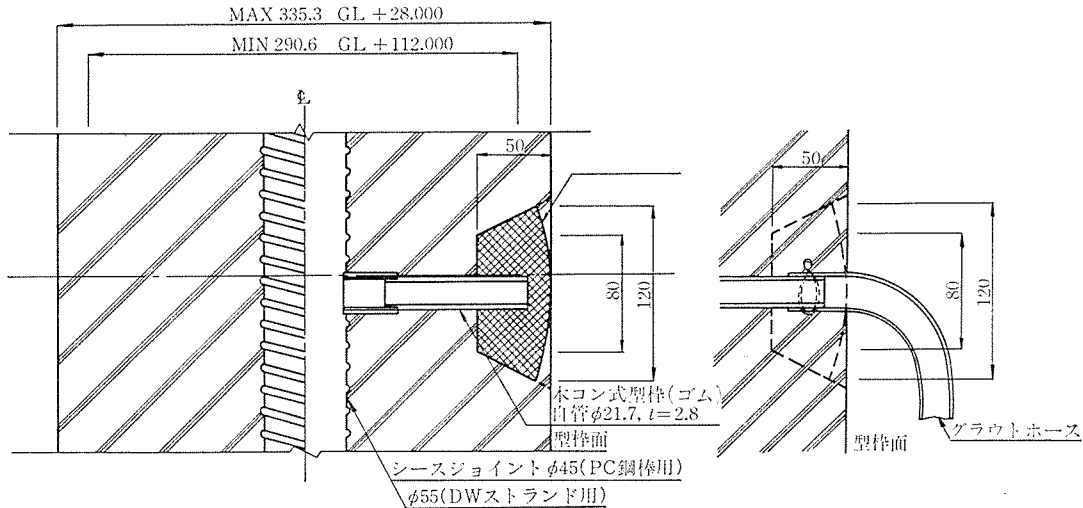


図-9 グラウト孔詳細図

8. 関連実験

今回の施工については、その特殊性から種々の問題点があり、それらを解決するために、いくつかの実験を行った。以下は、それらについて報告する。

8.1 定着具および接合具実験

基礎版コンクリート強度が 240 kg/cm^2 であることと、繰返し荷重に対する検討のために性能試験を行い、有効性を確認した。試験は、建設省住指発第 404 号「プレストレストコンクリート造の緊張材の定着装置及び接合具の有効性の確認について」の趣旨に基づき、同別添 1・別記に示された試験方法および判定基準に従った。

8.1.1 定着具実験

(1) 実験時期および場所

時期：昭和 59 年 8 月～9 月

場所：(株)大林組技術研究所

(2) 試験体

ゲビンデスターブφ32用 $290 \times 400 \times 650 \text{ mm}$ 3 体
ディビダークストランド 6A04 用

$290 \times 400 \times 650 \text{ mm}$ 3 体

試験実施日のコンクリート強度 262 kg/cm^2

(3) 荷重スケジュール

写真-5 に示すように、荷重装置には 200 t 万能試験機を用いた。

0 t から 60 t まで 10 t ピッチで単調増加、続いて PC 鋼材の許容引張荷重 ($P_a = 0.85 P_y$)、 $1.1 \times P_a$ で 5 分間保持、 P_y を経て $0.9 \times P_u$ まで荷重、以後 $0.9 P_u \sim 0.5 P_u$ の間で 50 サイクルの繰返し荷重を行い、その後 $0.95 P_u$ まで荷重を上げて 5 分間保持した。

(4) 試験結果

いずれも定着具に有害な変形、損傷、めり込みはな

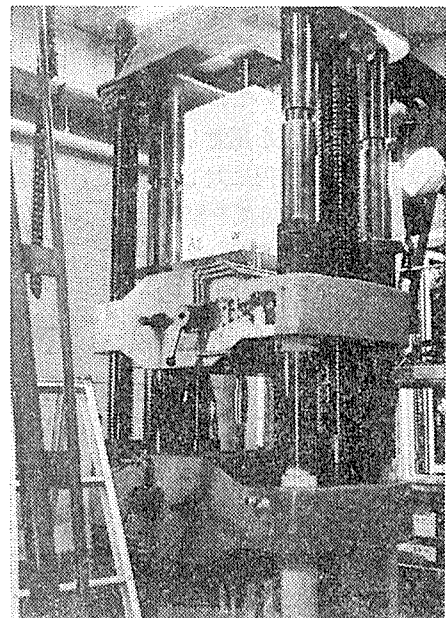


写真-5 定着具試験状況

く、ひび割れ幅も最終的に大きいもので 0.2 mm であり、判定基準を満足した。

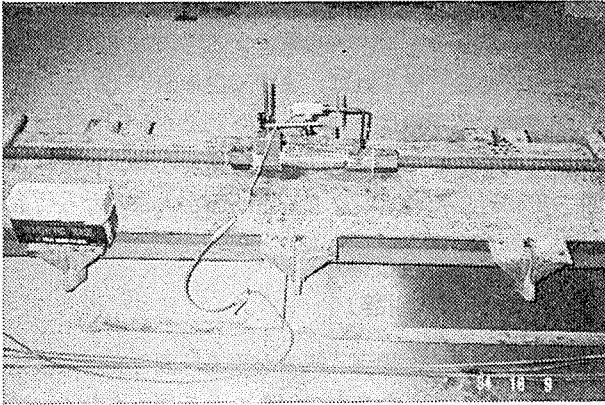
8.1.2 接合具実験

定着具実験と同時期に、住友電工(株)伊丹工場で接合具の実験を行った。試験体は、32 mm 異型鋼棒ゲビンデスターブの接合具であるカップラー 3 体、荷重方法は前項 (3) と同じである。

その結果、PC 鋼材の規格引張荷重 ($P_u = 88.46 \text{ t}$) に至るまで、有害な変形、損傷を生ぜず、カップラーとゲビンデスターブの相対変位は 0.4 mm で、接合部全長にわたる滑りがないことが確かめられた。

8.2 カップラーのゆるみ量およびアンカーグロウクのめり込み量測定実験

今回使用された最も長い PC 鋼棒は 173 m (鋼棒本数



写真一6 PC 鋼棒測定試験状況

30 本, カップラー 29 か所) である。PC 鋼棒緊張時にカップラーのゆるみ量が累加されて, PC 鋼棒の伸び量がみかけ上大きくなることが考えられたので, 測定実験を実施した。

(1) 実験時期および場所

時期: 昭和 59 年 10 月

場所: ピー・エス・コンクリート (株) 久留米工場
100t ロングアバット

(2) 試験体

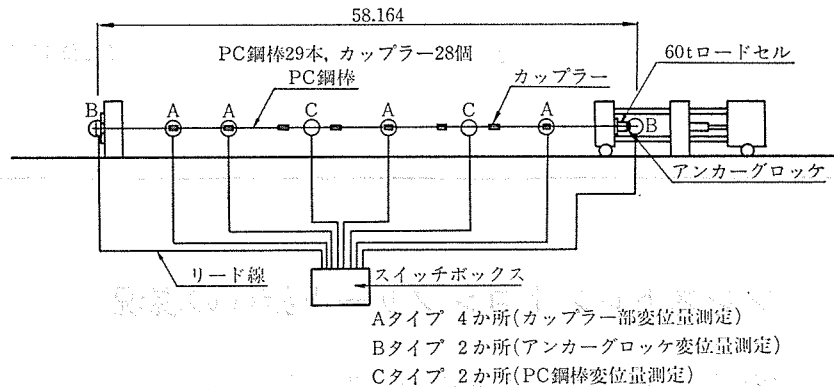
図一10 に示すように, 約 2m の PC 鋼棒 29 本を, カップラーを 28 個で継いで, 全長 58m の試験体を用意した。

(3) 試験方法

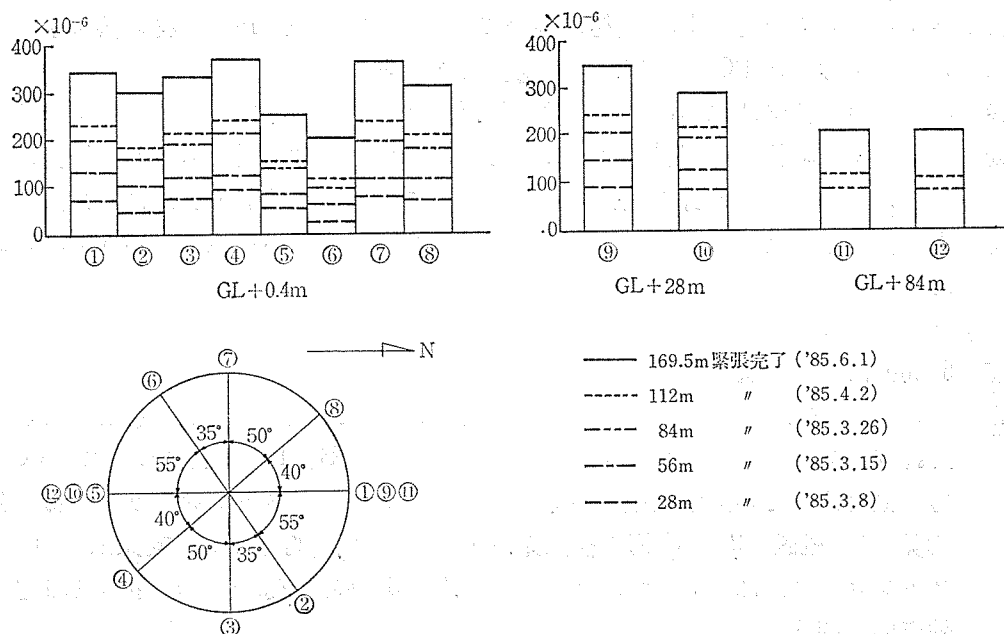
5t を初荷重とし, 10, 15, 20... と 5t ピッチで 60t まで緊張を行って, 各時点でのカップラー間の伸び, アンカークロックのめり込み量および全体の長さを, 変位計を用いて測定した。

(4) 試験結果

カップラー間の伸び量からゆるみ量を算定したもの, および PC 鋼棒全長の実測のび量からカップラー 1 か所



図一10 試験体概要図



図一11 圧縮ひずみ分布図

◇報 告◇

当りのゆるみ量を算定したものは、いずれも1か所当たり0.6mmとなった。また、アンカーグロツケのめり込み量は1.5mmとなった。したがって、実際の緊張管理には、この値を採用した。

8.3 グラウト注入試験

高さ28m、鉛直に配置されたシース内に、グラウトが完全に充てんできるかどうかを確認するために、ピー・エス・コンクリート(株)秦野工場で高さ30mの足場を組んで、グラウト注入試験を行った。

グラウトの調査は7種類としたが、注入圧力は12kg/cm²~6kg/cm²、注入時間は120秒~240秒であった。ブリージング水が頂部へ集まるのが懸念されたが、頂部を透明のビニールホースとして観察した結果、約20cm³程度しか集まらなかった。また、グラウト硬化後、最頂部のシースを切開して充てん状態を観察したが、空隙はほとんどなく、グラウトは十分よく詰まっていた。

8.4 計測実験

外筒のGL+0.4m、28m、84mの位置に計12個のひずみゲージを埋め込んで圧縮ひずみを測定した。その

結果を図-11に示すが、ひずみのレベルとしては、(プレストレスによるもの)+(自重によるもの)+(クリープによるもの)を考慮すれば、まず妥当な値である。なお、測定値に若干のばらつきが見られるが、GL+0.4mの位置は開口部のために、断面が一様でなく、特に⑥は大開口部に近いコンクリート断面が大きくなっており、ひずみが小さくなったものと思われる。

9. おわりに(謝辞)

本煙突の施工は、周到、綿密な施工計画と高度な技術力を要求されたが、今日まで何らのトラブルもなく、順調に進められ、現在内筒工事に入っている。PC鋼棒の緊張工事もほぼ設計どおりの良好な結果を得、グラウト工事も充分満足な施工ができた。

この間における電源開発(株)土木部建築室、(株)大林組技術研究所、その他関係各位の御指導、御協力に深甚の謝意を表します。

【昭和60年6月26日受付】

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート技術の現況

本書は全国七都市で行った第10回PC技術講習会のテキストとして編纂したもので、PC技術の現況と題し、下記に示すとおり内容も豊富なものとなりました。地区によってはテキストの不足を生じた会場もあり、大変な盛況でした。その内容は大きく4項目からなっており、すなわちPCの設計に関する各国の規定、PC鋼材について、建築に関するPC部材の接合法、さらに今度の編纂に最も力点を置いたPC橋の架設工法総覧であります。

特に最後の項は、PC橋梁関係者にとっては、最近の新しい工法も採り入れられていることにより、大変よくまとまった格好の資料になることと思います。掲載資料を欲ばり、頁数が多くなり過ぎた嫌いがありましたが、ご自身の勉強のためにもさることながら社員教育用にも最適かと存じます。ご希望の方は代金を添えて(社)プレストレストコンクリート技術協会(電03-261-9151)宛お申し込みください。

体 裁：A4判 216頁

定 価：5,000円 送 料：800円

内 容：(A)プレストレストコンクリートの設計に関する各国の規定(主としてひびわれ発生許容プレストレストコンクリートについて)。(B)PC鋼材について。(C)PC部材の接合法(その力学的基本特性)。(D)プレストレストコンクリート橋の架設工法総覧、1)概説、2)PC桁の移動架設工法、3)場所打ち工法(支保工)、4)プレキャストブロック工法、5)カンチレバー工法、6)移動支保工、7)押し出し工法、8)PC鉄道橋の架設。