

世界初の埋設式LNG地下タンクのPCの設計・施工

根本 光男*1・川村 佳則*2・杉野 文明*3・黒田 正信*4

1. はじめに

発展を続ける首都圏のエネルギー需要に対応するため、東京ガスでは横浜市鶴見区の扇島に新しいLNG基地、扇島工場を建設中である。扇島工場の最大の特徴は、景観の向上と周辺環境との調和をめざして、世界に先駆け初めてLNGタンク全体を地表面以下に埋設したことにある(図-1)。また、この埋設式LNG地下タン

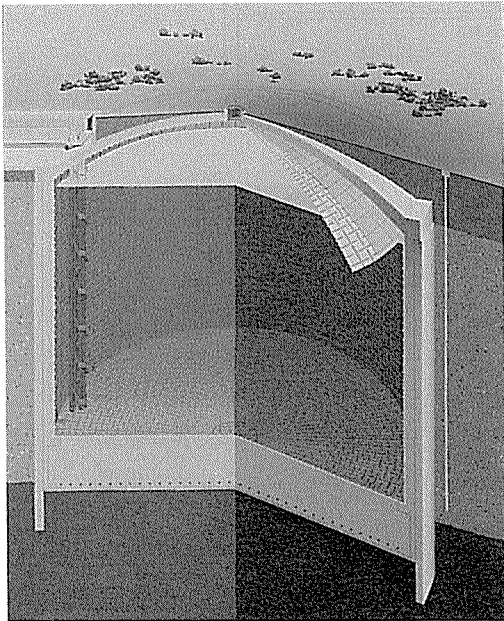


図-1 埋設式LNG地下タンク

クの貯蔵量は世界最大の20万klであり、現在、1基目の埋設式LNG地下タンク(以後、本タンクと称す)の土木工事がほぼ終了した段階である^{1),2),3)}。

本タンクの屋根は内径72.8mのRC製ドームであり、390MN(40000tf)の覆土重量と150MN(15000tf)の自重を支えている(図-2,写真-1)。埋設式地下タンクは、ドームの形状が扁平になればなるほど掘削が少なく済み、コストダウンにつながるため、屋根のライズ・スパン比(高さ/直径比)を従来の鋼製屋根地下タンクの約1/6に比べて1/10へと、より扁平にしている⁴⁾。このため屋根と結合される側壁頂部に大きなスラスト力が発生し、このスラスト力に抵抗するために、側壁頂部には鉢巻状にPC tendonを配置している。このPC tendonには、1本あたりの引張荷重が約10MN

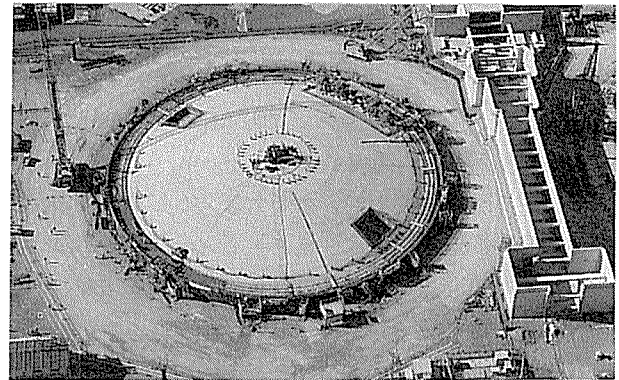


写真-1 埋設式LNG地下タンク工事状況



*1 Mitsuo NEMOTO
東京ガス(株)
生産技術部扇島建設所
課長



*2 Yoshinori KAWAMURA
東京ガス(株)
生産技術部扇島 PG
副課長



*3 Fumiaki SUGINO
清水建設・三井建設共同企業体
所長



*4 Masanobu KURODA
清水建設(株)
土木本部設計第2部
副部長

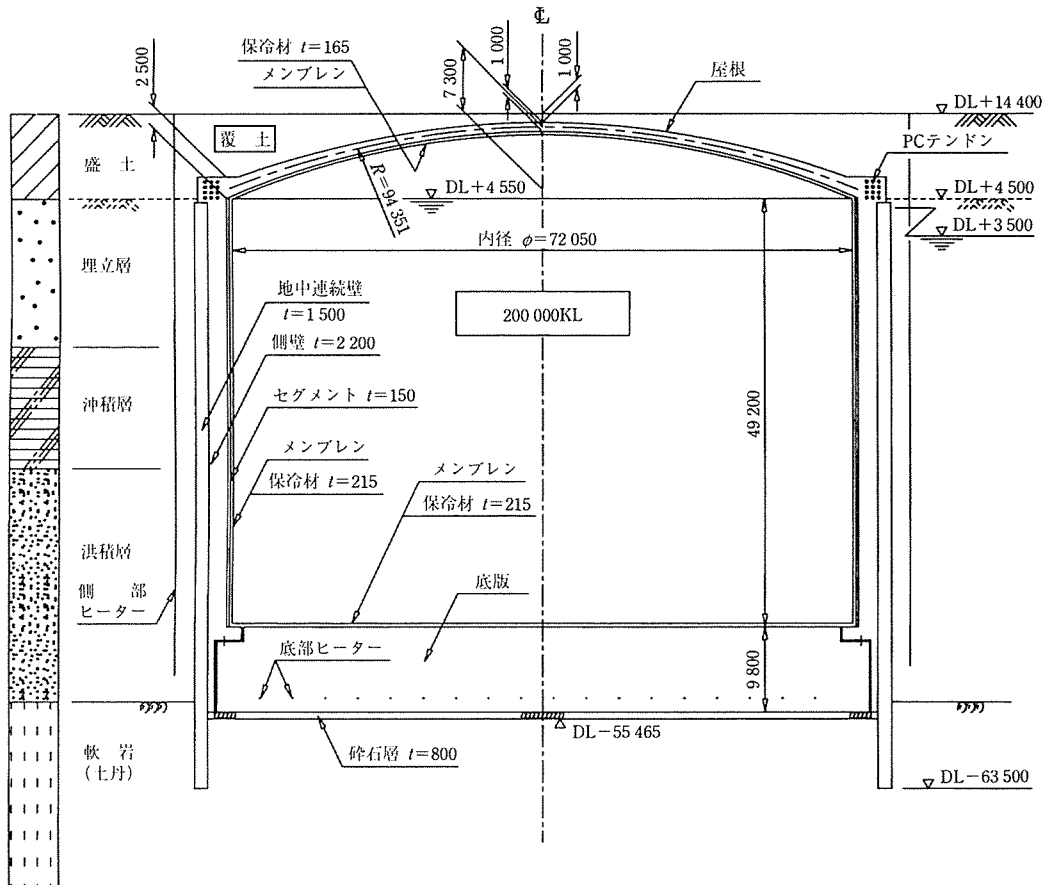


図-2 埋設式 LNG 地下タンク構造概要

(1 000 tf) のケーブルが 24 本使用されており、有効プレストレス力としては全体で 120 MN (12 000 tf) の圧縮力を側壁頂部に与えている。

本タンクは埋設式 LNG 地下タンクとして嚙矢のタンクであり、このような大容量テンドンを使用することにより初めて可能となった構造形式である。今後も、同種の構造物の建設が進むと考えられ、その検討の一助となることを期待し、本タンクについて PC 工事を中心に紹介する。

2. 工事概要

2.1 工事概要

工事名称：東京ガス（株）扇島工場

TL 11 LNG 地下式貯槽工事

工事場所：神奈川県横浜市鶴見区扇島

工期：1993年2月～1998年3月（表-1）

発注者：東京ガス（株）

設計施工：清水建設・三井建設共同企業体

構造形式：屋根 鉄筋コンクリート構造

ドーム屋根形式

底部 鉄筋コンクリート構造

耐水圧強度底版（底部非凍結）形式

側部 鉄筋コンクリート構造

側壁頂部にプレストレス導入

貯槽容量：200 000 kl

PC 定着工法：ディビダーク工法

2.2 工事数量

タンクの主要工事数量を表-2 に示す。

表-1 工事日程

| | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|------|------------|------------|----------------|----------|----------|------|
| 土木工事 | 連壁工 掘削工 | 側壁工 底版工 | PC 1次緊張 屋根工 | PC 2次緊張 | 覆土・付帯設備工 | |
| 機械工事 | | | | 保冷メンブレン工 | 検査工 | |

表-2 構造諸元および主要工事数量

| 部 位 | 構 造 形 式 | 主 要 寸 法 | 仕 様・数 量 | |
|-------|---------------------------------------|---|--|---|
| | | | コンクリート | 鉄 筋 等 |
| 地中連続壁 | 鉄筋コンクリート構造 仮設連壁形式 | 内径 77.2 m 深度 68.0 m 厚さ 1.5 m | $f'_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ (上部は 29 N/mm^2) 25 300 m ³ | SD 345 2 900 t |
| 側 壁 | 鉄筋コンクリート構造 順巻形式 (側壁頂部：プレストレス導入) | 内径 72.8 m 高さ 61.8 m 厚さ 2.2 m | $f'_{ck}=59 \text{ N/mm}^2$ 31 500 m ³ | SD 345 5 000 t (24本-37 S 15.2 B) SWPR 7 BL |
| 底 版 | 鉄筋コンクリート構造 耐水圧強度版形式 | 直径 75.5 m 厚さ 9.8 m | $f'_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$ 42 700 m ³ | SD 345 7 700 t |
| 屋 根 | 鉄筋コンクリート構造 ドーム屋根形式 | 厚さ 1.0~2.5 m 球面半径 94.4 m ライズスパン比 1/10 | $f'_{ck}=29 \text{ N/mm}^2$ 6 200 m ³ | SD 345 1 500 t |

2.3 構造概要

LNG (Liquefied Natural Gas : 液化天然ガス) は -162°C の超低温の液体であり、それを貯蔵する埋設式 LNG 地下タンクは巨大な魔法瓶である。躯体内表面は、断熱のための保冷材と、LNG の液密・気密を確保するための SUS 製メンブレンで覆われている。本タンクはメンブレン内径 72 m、液深 49.2 m の円筒形構造であり、その諸元は図-2、表-2 に示すとおりである。底版は、約 0.6 MPa の水圧を支えるため、厚さ 9.8 m の超大型 RC 円版である。側壁は、厚さ 2.2 m の RC 円筒シェル構造であり、設計基準強度 59 N/mm^2 の高強度コンクリートを採用している。RC ドーム屋根は、内径 72.8 m、ライズ 7.3 m、ドーム球面半径 94.4 m であり、その厚さは中央で 1 m、端部で 2.5 m である。ドーム屋根は側壁頂部に剛結合で固定されており、ドーム屋根のスラスト力に抵抗するために側壁頂部に大容量 PC テンドンを設置している。

また、LNG の冷熱により周辺地盤が凍結する。この

凍結をコントロールするために、側部と底部にヒーターを設けており、側壁頂部の最低温度は PC テンドン位置で -23°C 、ピラスターの PC 定着部で -4°C である。

現在は躯体工事が完了し、保冷材とメンブレン工事を行っているところであり、これらの工事終了後、覆土を行い完成する予定である。

3. PC の設計

3.1 必要プレストレス力

側壁頂部のプレストレス導入目的は以下の 2 点である。

① 側壁頂部のひび割れの制御 (図-3 (a))

覆土重量 W_F 、屋根自重 W_D などによるスラスト力により、側壁頂部円周方向には大きな軸引張力が発生する。この軸引張力により、側壁頂部コンクリートにはひび割れが生じると考えられるが、構造物の剛性確保や耐久性の観点からひび割れを制御するのが良い。そこで、常時において側壁頂部円周方

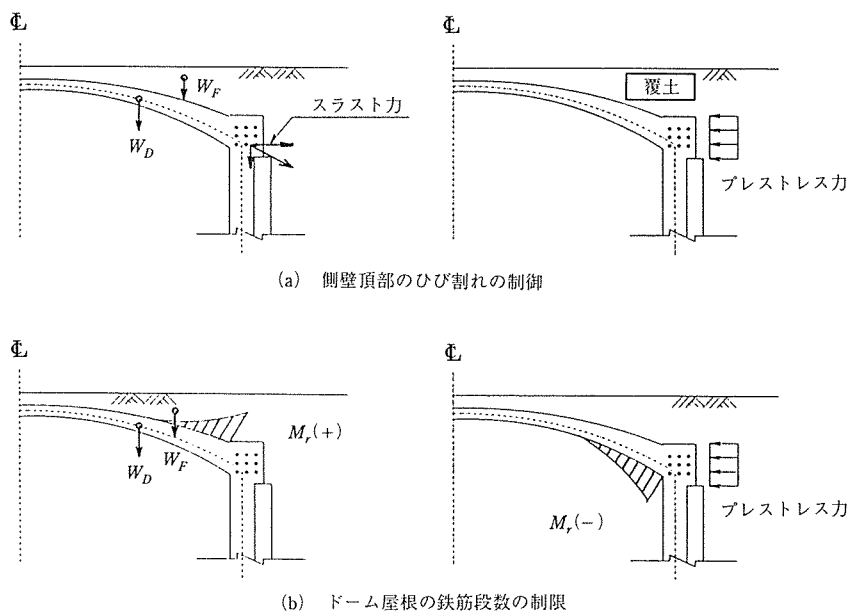


図-3 側壁頂部のプレストレス導入

向が全断面圧縮となるようにした。常時圧縮応力度は、LNG 地下タンクの重要性を考慮し、FIP 指針「低温液化ガス用プレレストコンクリートタンク設計指針(案)⁵⁾」に準じて 0.7 N/mm^2 以上とした。なお、地震時においてはひび割れを許容し、PC テンドンの発生応力度が許容応力度以下になるようにした。

② ドーム屋根の鉄筋段数の制限(図-3(b))

屋根重量、温度荷重、地震荷重などにより、ドーム屋根外周部には大きな上引張曲げモーメント M_r (+) が発生し多量の鉄筋が必要となる。しかしながら、鉄筋の段数を増やすと配筋が密になりすぎ施工が困難となる。また、ドーム屋根の厚さを増やし多量の鉄筋を配筋する方法もあるが大幅なコストアップとなる。そこで、ドーム屋根厚さを増やさず、かつ鉄筋(D 51) 段数が1段で収まるように、上引張曲げモーメントを打ち消すプレストレスを導入した。

これら①、②を満足する必要プレストレス力としては、解析の結果 $P_{req}=116 \text{ MN}$ となった。

3.2 PC テンドンの仕様と配置

プレストレス力は24本のPC テンドンにより導入され、1本のPC テンドンは、JIS G 3536 に規定されるPC 鋼より線7本より 15.2 mm (B種: 低リラクセーション品) の37本組合せとした(表-3)。本タンクの側壁頂部は前述のように低温となる。PC テンドン自体は低温時の強度、伸び、絞りが確認されている⁶⁾が、今回使用するサイズのPC 定着具については未確認であるため、試験によりその低温特性を確認した(次章参照)。

PC テンドンの配置およびピラスター位置を図-4に示す。PC テンドンは 120° 引きであり、24本のテンドンを図に示すようにA、B、Cの3つに区分し、9箇所のピラスターのそれぞれに片側8本ずつ16本を定着した。PC テンドンを 180° 引きで設置する案もあるが、

表-3 PC テンドンの仕様

| テンドンの共通表示 | テンドンの断面積 (mm^2) | 引張荷重 P_u (kN) | 0.2% 永久伸びに対する荷重 P_y (kN) | 伸び (%) | リラクセーション率 (%) |
|--------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|--------|---------------|
| 37 S 15.2 BL | 5 132 | 9 657 以上 | 8 214 以上 | 3.5 以上 | 2.5 以上 |

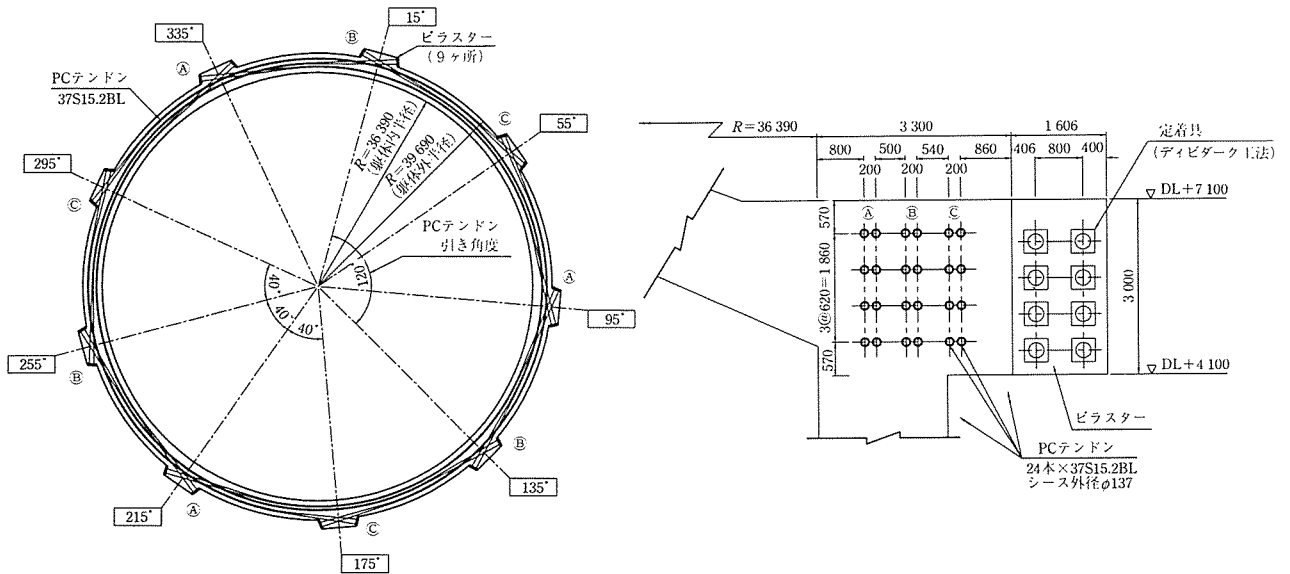


図-4 PC テンドン配置図

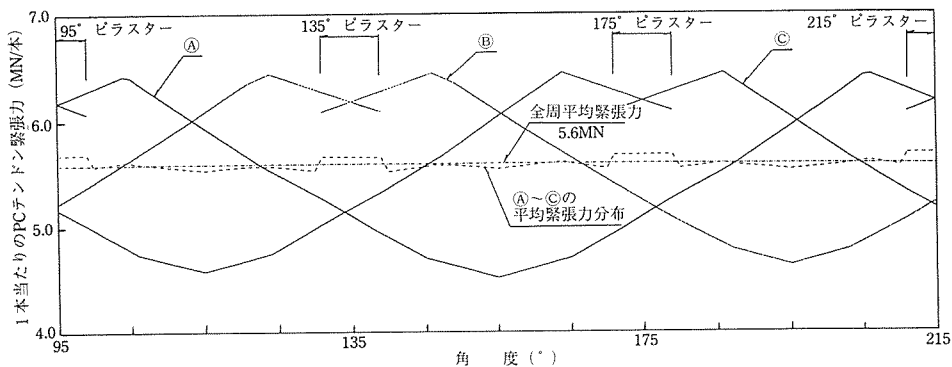


図-5 PC テンドン1本当たりの緊張力円周方向分布図 (A~Cの重ね書き)

摩擦損失の増加により tendon 本数が増え、側壁頂部の断面が大きくなるため、120° 引きを採用した。これらの PC tendon の仕様・配置より、PC tendon 1 本当たりの、プレストレス導入時の緊張力は $P_i=6.7$ MN/本に対し、円周方向分布は図-5 に示すとおり、ほぼ全周均一の緊張力（平均プレストレス力は $P_e=5.6$ MN/本）となっている。さらに、コンクリートのクリープ、乾燥収縮、および PC 鋼材のリラクゼーションを考慮した全体の有効プレストレス力は 120 MN となった。

3.3 PC tendon の発生応力度

プレストレス導入後、PC tendon には覆土荷重や温度荷重などの常時荷重、および地震時荷重が作用する。常時においては側壁頂部円周方向に常に全断面圧縮であり、コンクリートの圧縮応力度の減少分が PC tendon の引張応力度の増分となる。一方、地震時においては、側壁頂部円周方向に引張力が作用するため、PC tendon の引張応力度の増分は鉄筋コンクリートの引張材として計算される。これらの発生応力度を表-4 に示すが、すべて許容応力度以下となった。

表-4 PC tendon の発生応力度

| | 発生応力度 σ (N/mm ²) | 許容応力度*1 σ_a (N/mm ²) |
|---------------------|--|---|
| 覆土前 | 976 | 0.60 $\sigma_{pu}=1$ 130 0.75 $\sigma_{py}=1$ 200 } $\sigma_a=1$ 130 |
| 常時荷重作用時 | 985 | 0.60 $\sigma_{pu}=1$ 130 0.75 $\sigma_{py}=1$ 200 } $\sigma_a=1$ 130 |
| 地震荷重作用時 (ひびわれ許容) | 1 110 | 0.70 $\sigma_{pu}=1$ 320 0.85 $\sigma_{py}=1$ 360 } $\sigma_a=1$ 320 |

*1 「LNG 地下式貯槽指針」による

3.4 ピラスターの補強

PC tendon 定着部では、コンクリートは局部支圧を受け、引張応力が生じる。本タンクでは、これらの局部

的な引張応力を FEM 解析にて算定し、その引張力に見合う補強筋を配置した。ピラスター部の補強筋配置を図-6 に示す。

4. PC システム試験

このような大容量 PC tendon を LNG 地下タンクに適用するのは初めてであり、

- ① 定着工法として採用したディビダーク工法は、このクラスの使用実績が国内にないこと、
- ② ピラスターの PC 定着部分の配筋の施工性とコンクリートの充填性を良くするために、らせん補強筋 D 22 の巻径を「ディビダーク工法設計施工指針⁷⁾」に示される 570 mm から 520 mm へと小さくしたこと、

などの理由により PC システム試験を実施した(表-5)。

試験の結果、常温・低温における定着性能、定着具の配筋補強方法、および施工性について十分な性能を有していることが確認された(写真-2, 3, 4, 5)⁸⁾。

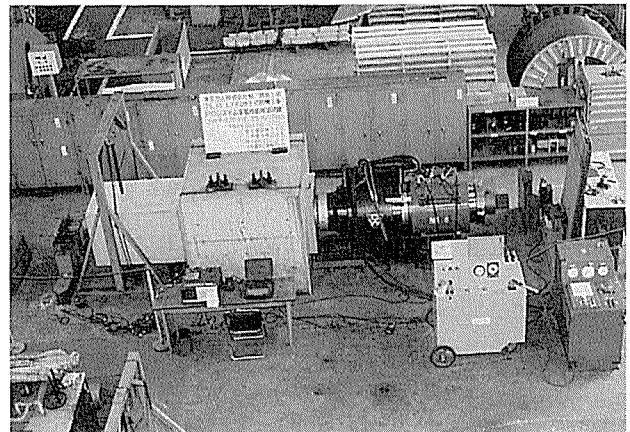


写真-2 定着性能試験状況

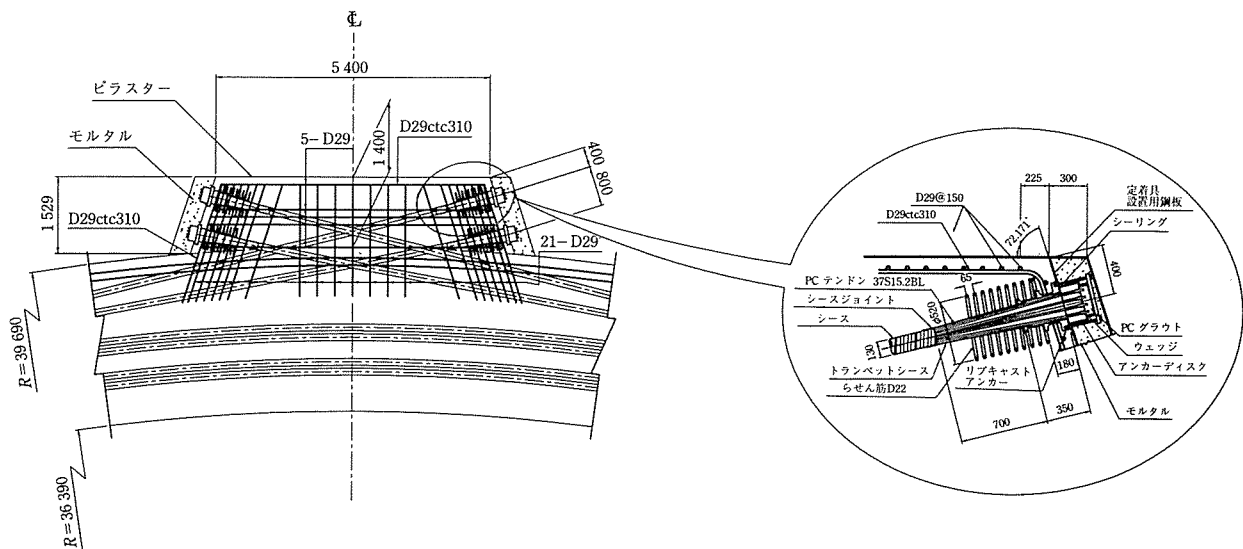
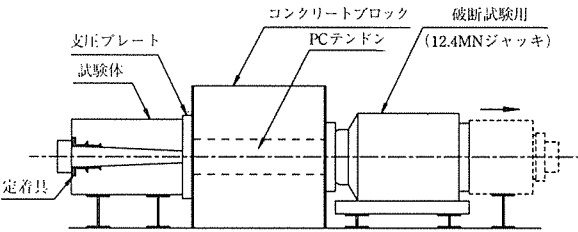
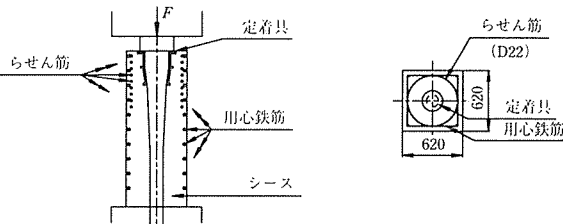


図-6 ピラスター補強図

表-5 PCシステム試験の概要

| 試験目的 | 試験方法 | 試験結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|--------|-----------------------|-----------------------------------|--------|-----------|------|---|-------|------|------|-------------|---|-------|------|------|-------------|---|-------|------|------|-------------|------|-------|------|----|-------------|--------------|---|------|-----|-------------|
| <p>①定着効率の確認</p> <p>②破断時の伸びの確認</p> <p>③定着具の変形・損傷の有無の確認</p> <p>④ウェッジ、ストランドのめり込み量の確認</p> | <p>・テンドン～定着具～コンクリートブロックからなる試験体（常温3体，低温1体）を作成し，ジャッキにより破断まで緊張する。</p> <p>・試験方法はFIP基準*1の「テンドン～定着具の組合せによる静的載荷試験」に準拠する。</p> <p>・低温試験（-10℃以下）の試験方法は常温試験と同様とする。</p>  | <p>・FIP基準により以下を満足した。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>試験の引張荷重 F_{lu} (kN)</th> <th>定着効率*2 $\eta = F_{lu}/F_{pm}(\%)$</th> <th>伸び (%)</th> <th>破断状況 (参考)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">常温試験</td> <td>1</td> <td>9 552</td> <td>96.0</td> <td>5.17</td> <td>PC鋼より線の絞り破断</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9 779</td> <td>98.3</td> <td>5.76</td> <td>PC鋼より線の絞り破断</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>9 757</td> <td>97.4</td> <td>5.55</td> <td>PC鋼より線の絞り破断</td> </tr> <tr> <td>低温試験</td> <td>9 653</td> <td>96.7</td> <td>約5</td> <td>PC鋼より線の絞り破断</td> </tr> <tr> <td>評価基準 (FIP基準)</td> <td>-</td> <td>95以上</td> <td>2以上</td> <td>PC鋼より線の絞り破断</td> </tr> </tbody> </table> <p>*2 F_{pm} : 供試PC鋼より線の引張荷重であり，37本×269kN（供試PC鋼より線の引張荷重試験値）=9953kN</p> <p>・常温試験，低温試験（「LNG地下式貯槽指針」による）のいずれも，定着具には変形・損傷が認められなかった。</p> <p>・FIP基準により以下を満足した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ウェッジのめり込み量およびPC鋼より線の移動が荷重増加に対応すること。 ・0.8 F_{PK} (F_{PK}:規格引張荷重)でウェッジのめり込み量およびPC鋼より線の移動量が荷重保持時間の最初の30分以内で安定すること。 | | 試験の引張荷重 F_{lu} (kN) | 定着効率*2 $\eta = F_{lu}/F_{pm}(\%)$ | 伸び (%) | 破断状況 (参考) | 常温試験 | 1 | 9 552 | 96.0 | 5.17 | PC鋼より線の絞り破断 | 2 | 9 779 | 98.3 | 5.76 | PC鋼より線の絞り破断 | 3 | 9 757 | 97.4 | 5.55 | PC鋼より線の絞り破断 | 低温試験 | 9 653 | 96.7 | 約5 | PC鋼より線の絞り破断 | 評価基準 (FIP基準) | - | 95以上 | 2以上 | PC鋼より線の絞り破断 |
| | 試験の引張荷重 F_{lu} (kN) | 定着効率*2 $\eta = F_{lu}/F_{pm}(\%)$ | 伸び (%) | 破断状況 (参考) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 常温試験 | 1 | 9 552 | 96.0 | 5.17 | PC鋼より線の絞り破断 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 9 779 | 98.3 | 5.76 | PC鋼より線の絞り破断 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | 9 757 | 97.4 | 5.55 | PC鋼より線の絞り破断 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 低温試験 | 9 653 | 96.7 | 約5 | PC鋼より線の絞り破断 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 評価基準 (FIP基準) | - | 95以上 | 2以上 | PC鋼より線の絞り破断 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>①最小中心間隔の確認</p> <p>②最小縁端距離 325 mm の確認</p> <p>③らせん筋 (D 22, 巻径 520 mm) の補強効果の確認</p> | <p>・定着具～コンクリートブロックの試験体3体を作成し，圧縮試験機で載荷する。（試験時コンクリート圧縮強度は $\sigma_c \geq 50.5 \text{ N/mm}^2$）</p> <p>・試験方法はFIP基準の「荷重伝達試験」に準拠する。</p>  | <p>・FIP基準により以下を満足した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・破壊耐力がテンダンの規格引張荷重 F_{PK} の1.1倍以上であること。 ・載荷時のひび割れ幅，ひずみの増大が一定値以内であること。 ・定着具に有害な変形が生じないこと。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>①ジャッキのセットから緊張，定着までの施工性の確認</p> <p>②プッシュスルーマシンによるストランド挿入の施工性の確認</p> | <p>・緊張用ジャッキ（8.4 MNクラス）によってセットし，緊張，定着の施工性を確認する。</p> <p>・100 mのシース ($R=40 \text{ m}$) に37本のストランドをプッシュスルーマシンで挿入し，施工性を確認する。</p> | <p>・施工性に問題のないことを確認した。</p> <p>・内径 $\phi 130$ のシースに37本のストランドをスムーズに挿入することができた。</p> <p>・施工性に問題のないことを確認した。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

*1 FIP : 『Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems』 (June 1993)

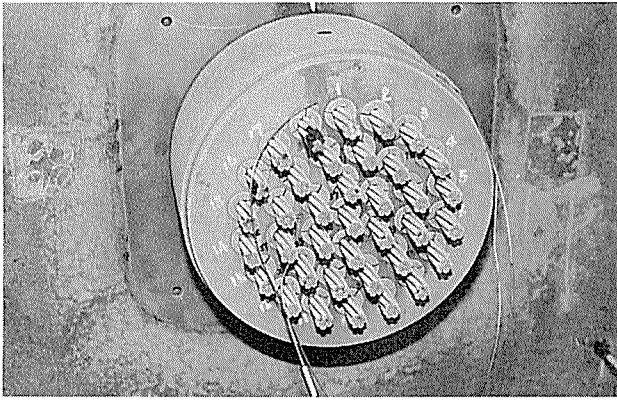


写真-3 定着部状況（写真中、ワイヤーは熱電対）

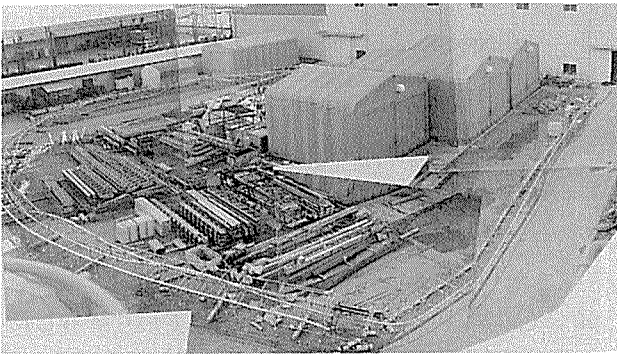


写真-5 テンドン挿入試験状況

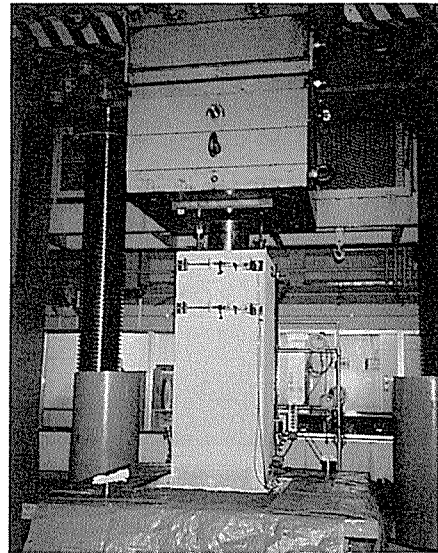


写真-4 定着部補強試験状況

5. PCの施工

5.1 屋根の施工

RCドーム屋根の構築は図-7に示すトラス支保工により行った^{2),3)}。トラス支保工は中央構台と、側壁に

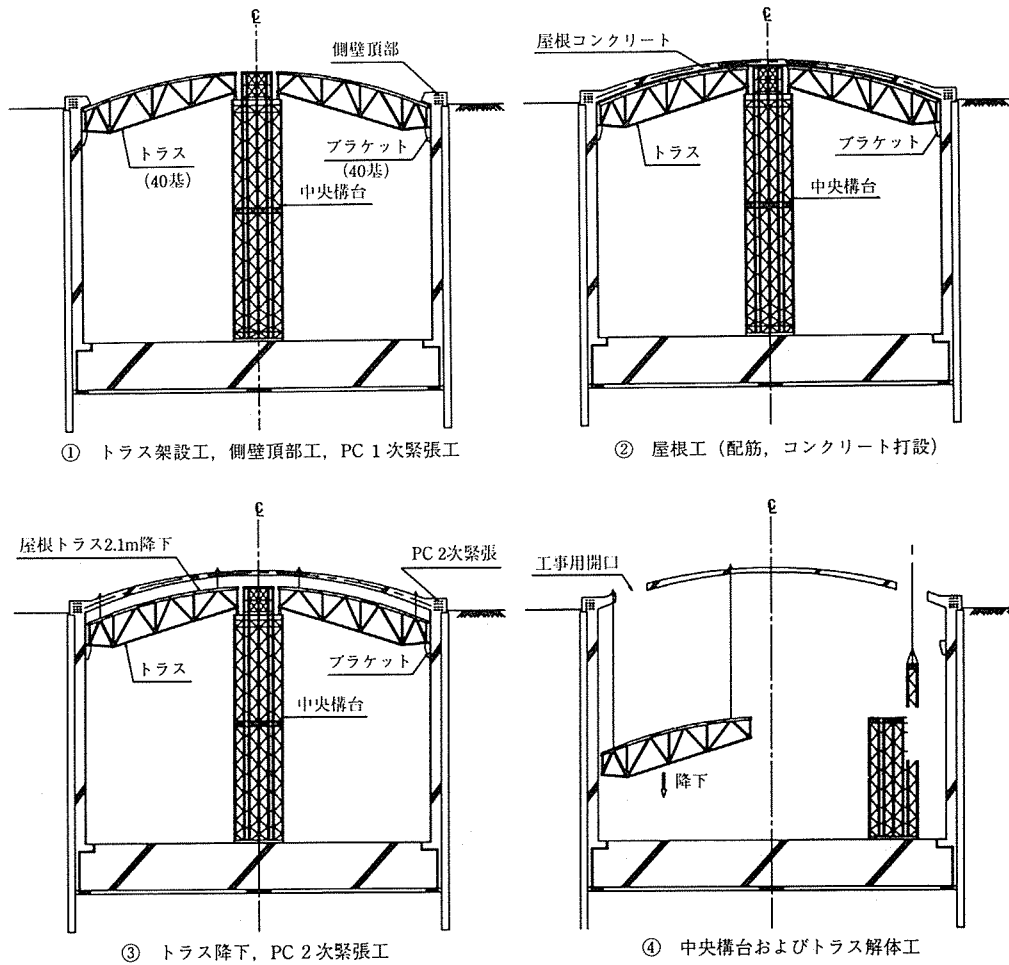


図-7 RCドーム屋根の構築手順

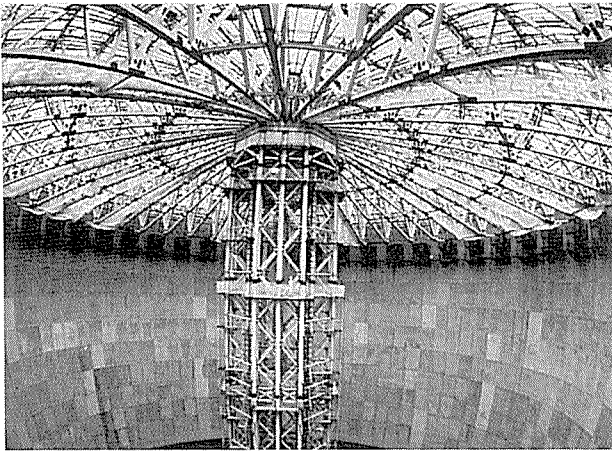


写真-6 トラス支保工

設置したブラケットを支点とした傘状の立体鋼製トラスであり、鋼材重量は約 20 MN (2 000 tf) である (写真-6)。RC ドーム屋根の構築手順は次のとおりである。

① トラス支保工を構築後、トラス上面に型枠を設置

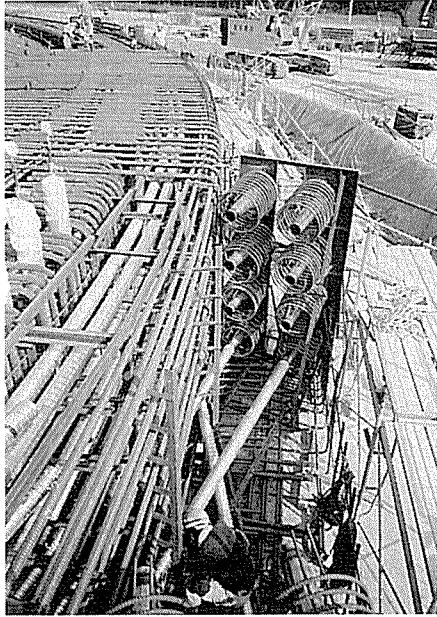


写真-7 シース設置状況

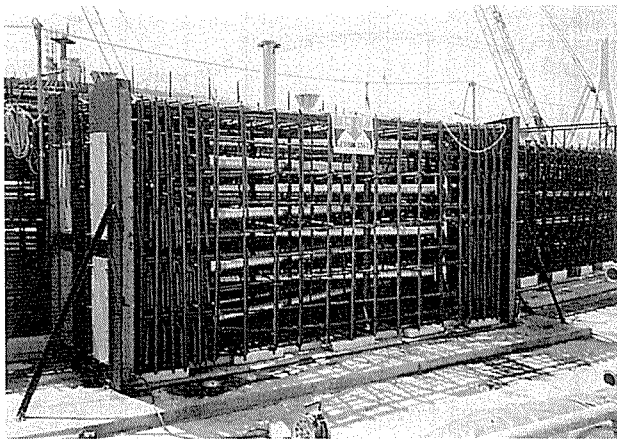


写真-8 鉄筋設置状況

し、側壁頂部ロットを構築した。このロットは側壁と屋根との剛結部であり、鉄筋および 24 本のシース管を設置した後、設計基準強度 $f'_{ck}=59 \text{ N/mm}^2$ の高強度コンクリートを打設した (写真-7, 8)。PC 緊張に必要なコンクリートの強度発現後 (28 日後: 圧縮強度 51 N/mm^2)、全 24 本の PC テンドンのうち 3 本をシース管に挿入し緊張した (1 次緊張)。

② トラス支保工上の型枠面で、屋根の鉄筋を配置し、コンクリート ($f'_{ck}=29 \text{ N/mm}^2$) をドーム外周から頂部に向けて同心円状に連続打設した (写真-9)。

③ 強度発現後 (14 日後: 脱型強度 18 N/mm^2)、トラス支保工を 2.1 m 降下し脱型した。その後、全 24 本の PC テンドンのうち、残りの 21 本をシース管に挿入し緊張した (2 次緊張: 写真-10)。この状態で 2.1 m 降下したトラス支保工を足場として、RC ドーム屋根内面のメンブレン、保冷工を行った。

④ その後、トラス支保工は分割して吊り降ろした後、工事用開口部から外へ搬出する。

側壁および屋根のコンクリート配合を表-6 に示す。

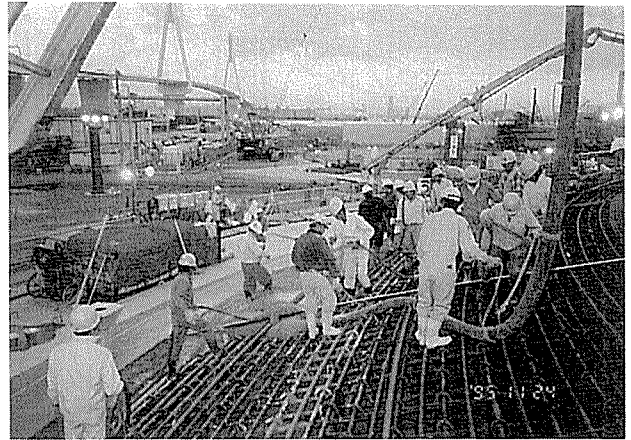


写真-9 屋根コンクリート打設状況

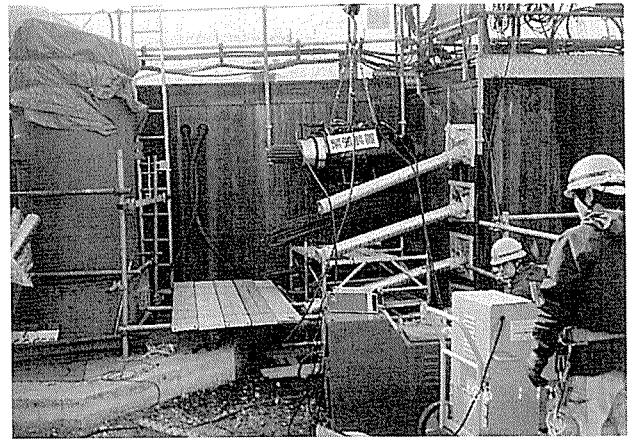


写真-10 PC 緊張工状況

表-6 コンクリートの配合

| 項目 部位 | 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm^2) | 粗骨材の最大寸法 (mm) | スランブまたはフローの範囲 (cm) | 空気量の範囲 (%) | 水・セメント比 W/C (%) | 細骨材率 S/a (%) | 単位量 (kg/m^3) | | | | ベース混和剤 | | 流動化剤 $C \times w_t\%$ | セメントの種類 |
|----------|-------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------|-------------------------|----------------------|------------------|-----------|----------|----------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---|
| | | | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤 I $C \times w_t\%$ | 混和剤 II $C \times w_t\%$ | | |
| 側壁 | 59 | 20 | ベース 10 ± 4 流動化 60 ± 5 | 4.5 ± 1.0 | 31.0 | 41.1 | 130 | 419 | 728 | 1 084 | ヴィンソル 0.040 | MT-150 1.50 | MT 2000 WH 0.4 | フライアッシュ 10% 混入 低発熱型 高炉セメント B 種 |
| 屋根 | 29 | 20 | 10 ± 2.5 | 5.0 ± 1.0 | 45.0 | 44.2 | 144 | 320 | 804 | 1 057 | MT 2000 R 1.30 | - | - | 低発熱型 高炉セメント B 種 |

5.2 PCの緊張時期

側壁頂部に設置するPC tendonの緊張時期は、RCドーム屋根構築後に全数一度に行うケースと、前述のように、分割して行うケースが考えられる。屋根構築後に一度にプレストレスを導入すると、分割導入に比べ、RCドーム屋根へもたらされるプレストレス力が大きくなり、屋根の必要鉄筋量が減るメリットがある。しかしながら屋根型枠脱型時に、屋根自重によるスラスト力により側壁頂部にひび割れが生じる可能性がある。そこで、全24本のうち3本をコンクリート打設前に緊張し、側壁頂部のひび割れ幅を0.1mmに制御した。

5.3 試験緊張

本緊張に先立ち、9本の tendon の試験緊張を行い、現場における摩擦係数 μ と PC tendon の見かけのヤング係数 E_p の測定を行った。試験緊張では、tendon a と b の摩擦測定を行い、tendon c はピラスター部の緊張力調整に使用した (図-8)。

試験緊張では、緊張端および固定端の荷重、伸びを測定した。その結果、摩擦係数は $\mu=0.136$ 、見かけのヤング係数は $E_p=2.14 \times 10^5 N/mm^2$ という結果が得られた。

5.4 本緊張工事

均等にプレストレス力を導入するため、ジャッキ6台

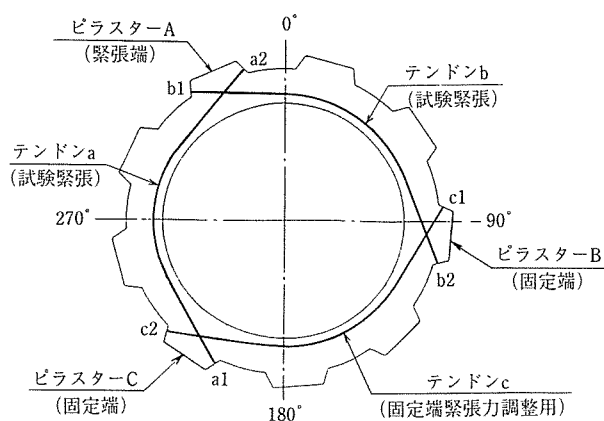


図-8 試験緊張方法

を使用し、120° 分割の3 tendonを同時に両引き緊張した。緊張管理は、パソコンを使用し3 tendon, 6ジャッキのデータを集中管理した。計算伸びに対する実測伸びの差をリアルタイムに求めて管理図を描き、所定の緊張が行われるように管理した。緊張時には以下の3点を管理項目とした。

- ① tendonの実測伸びと、現場摩擦試験によって得られた μ および E_p を用いて算出した計算伸びとの誤差率が許容値 (10%) 以内であること。
- ② 荷重-伸び関係が直線であること (相関係数 > 0.998)。
- ③ セット量が許容セット量 (5 mm) 以下であること。

5.5 グラウト注入工

PC tendonの腐食防止のため、PC緊張後シース管内にグラウト材を注入した。

グラウト材については、片押しで長尺のシース管内にすみずみまで充填できるようにするため、既設工事⁴⁾を参考にしノンブリーディングタイプの高性能グラウト用混和剤 (ポゾリス GF 1700) を使用した。品質管理項目を以下に示す。

- ① コンシステンシー (J₁₄ ロート試験) 流下時間: 3~10秒
- ② 圧縮強度: 20 N/mm² 以上
- ③ 膨張率: 10% 以下
- ④ ブリーディング率: 1% 以下

注入側より内径 25 mm の高圧ホースを用いて片押しで注入し、排出側より均一なグラウト材が流出されるのを確認した。グラウト充填時間としては注入側より排出側まで 35~40分を要した。

6. 施工時計測結果

屋根コンクリート打設、支保工降下、PC緊張さらには覆土施工中の屋根・側壁頂部の挙動を把握し、今後の設計資料を得る目的で屋根鉛直変位および側壁頂部鉄筋計応力の計測を実施中である。計測位置およびこれまで

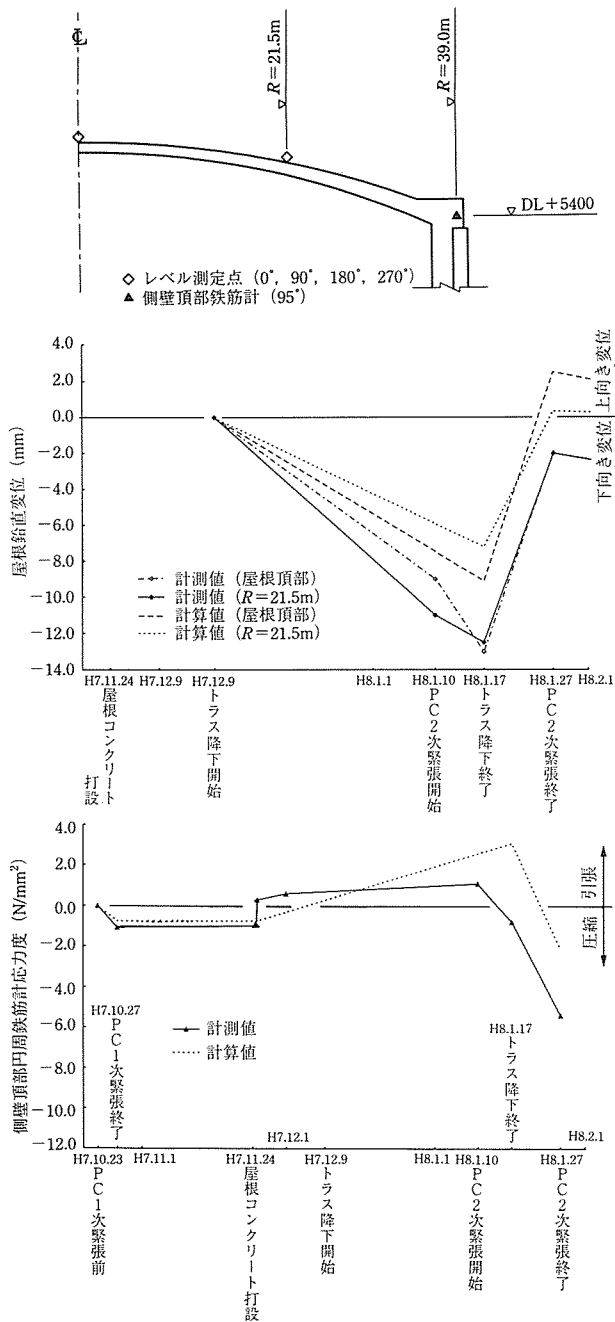


図-9 屋根施工時計測結果

の計測結果を図-9に示す。計測値は計算値とほぼ同じ傾向を示しており、ドーム屋根が弾性体として挙動していることが確認された。

7. おわりに

東京ガスでは四半世紀にわたり、安全に優れ、周辺環境との調和、土地の有効利用が図れる地下タンクの建設に取り組んできた。そして今日、さらに周辺環境との調和を図るべく、安全に地下に埋設する地下タンクを開発し、その第1基目である本タンクが平成10年3月に竣工予定である。このような地下構造物は今後とも増加すると考えられ、本報告がその設計・施工上の参考になれば幸いである。

最後に、本タンクのPCシステムに関わる設計・試験・施工に携わった関係各位に、紙面を借りて深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 前川宏一：20世紀をめざす最新鋭LNG基地，土木学会誌，Vol. 81，No. 7，pp. 6～9，1996
- 2) 清水建設：スーパーゼネコンにおけるビッグプロジェクト技術支援体制，土木施工，Vol. 37，No. 8，pp. 35～44，1996
- 3) 高木貞人ほか：世界初の埋設式LNG地下タンクの施工，土木施工，Vol. 37，No. 8，pp. 4～10，1996
- 4) 高木淳ほか：世界最大20万kl LNG地下タンクの開発と施工，コンクリート工学，Vol. 34，No. 2，pp. 23～32，1996
- 5) FIP GUIDE TO GOOD PRACITCE：Preliminary recommendations for the design of prestressed concrete containment structures for storage of refrigerated liquefied gases (RLG)，1982
- 6) 資源エネルギー庁：LNG地下式貯槽指針，1981
- 7) 土木学会：プレストレストコンクリート工法設計施工指針，コンクリートライブラリー第66号，pp. 29～78，1991
- 8) 住友電気工業株式会社：東京ガス扇島工場TL11 LNG地下式貯槽工事 側壁頂部PCシステム試験結果報告書，1994. 10

【1996年8月19日受付】