

PC 容器の発展の経緯 と現状

仙 洞 田 将 行



Masayuki SENDODA
興和コンクリート(株)
東京支店工事部工事課長

1. はじめに

我が国でプレストレストコンクリート(PC)の技術が西欧より導入されてから既に30年を経過している。当時、日本国有鉄道を中心とした橋梁構造物の研究が活発に行われ、しばらくしてから建築分野を含めてPC技術の応用がいろいろな構造物に採用されてきた。その一つとして水道用タンクなどの容器類にも、PC技術が有利であるために大いに研究・実験がなされた。PC技術が水を貯める容器にとって有利なことは、応力を導入することによって、コンクリートが水密性を保ち、容器の形も自由に選定できるということである。それまでは容器の分野は、鋼製のものかRC構造のもので、内側に防水工を施すことで水密性を確保してきた昭和37~38年ごろからPC容器の研究開発が進められ、実績も大いに進展する結果となった。

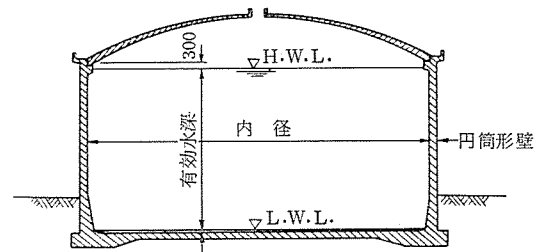


図-1 PC タンクの断面図例

PC技術による容器は、形状と使用目的により下記のような目的別分類をすることができる。

- ① 水道用に用いるコンクリート製タンク(貯水槽)
- ② 穀物および飼料用のサイロとセメントサイロ
- ③ 原油備蓄用PCタンクとLPGタンク
- ④ プレストレストコンクリートを応用するプール
- ⑤ 水力発電用のサージタンク
- ⑥ 下水道用に用いる消化タンク
- ⑦ 原子力発電用のPC压力容器とPC格納容器
- ⑧ その他の容器類(石油運搬用バージと浮き防波堤)

ここでは主として、我が国のPCタンクの発展の経緯と現状について考えてみる。

2. 我が国のPCタンクの施工の経緯

日本におけるPCタンクの施工実績は、上水道用の貯水槽を筆頭に、飼料用サイロ、セメント用サイロ、最近では、生コンの骨材用のサイロや水力発電用のサージタンク等に著しい結果が発表されている。プレストレストコンクリート建設業協会の年報から、昭和30年代より今日までの、プレテンとポステンを含めたPCタンクの施工実績をまとめると、図-2のとおりである。

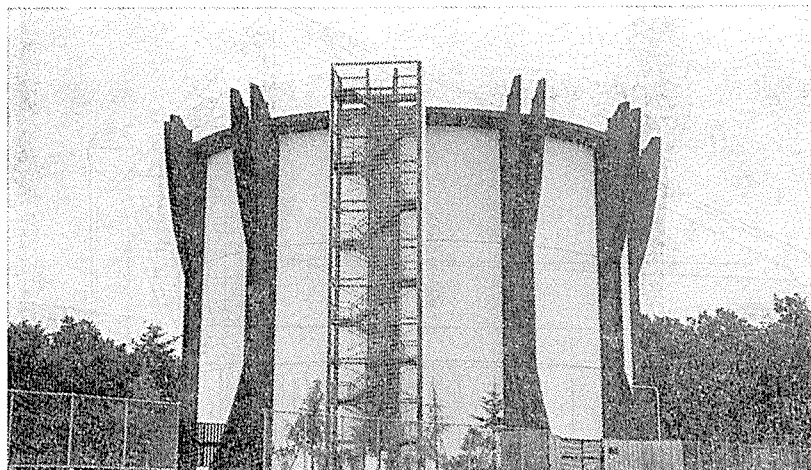


写真-1 水沢市の配水池

それで見ると、昭和 32 年に初めて PC タンクの施工が 2 件実施された。施工金額は 412 万円となっており、物価の上昇が 26 年間で大幅に考えられるが、現在では 5 000 m³ 程度の規模 であると考えても、初期の頃としては他工法のタンクと比較しても小さい方ではなかったかと考えられる。

ちなみに、昭和 56 年の施工実績は、受注件数は 197 件、施工したタンクの容積の総計は 89 326 m³、受注金額

は 143 億円という実績となっており、いかに PC 工法を用いたタンクの施工量が伸びているかが理解できる。

この実績の増加は、PC 技術を用いたタンク類が水密性に富んだ構造であり、施工後のメンテナンスが他の工法で施工したものより安価で安全性を確保できる有利性によるものと思われる。

3. PC タンクの技術的な特徴

プレストレストコンクリートのタンク、サイロは、円周方向はもちろん、

必要に応じて鉛直方向にもプレストレスを与えるのでコンクリートの硬化収縮、乾燥収縮による引張応力はもとより、使用する内容物の内圧によって生ずる壁体の引張応力に応じたプレストレスを導入することが可能であり、圧縮応力が常にコンクリート内部に残留する構造形に設計できるため、コンクリートに亀裂を生じないことはもちろん、高度の水密性を永久に保てる利点がある。

また、容器の形状でプールにもなり貯水槽ともなる。

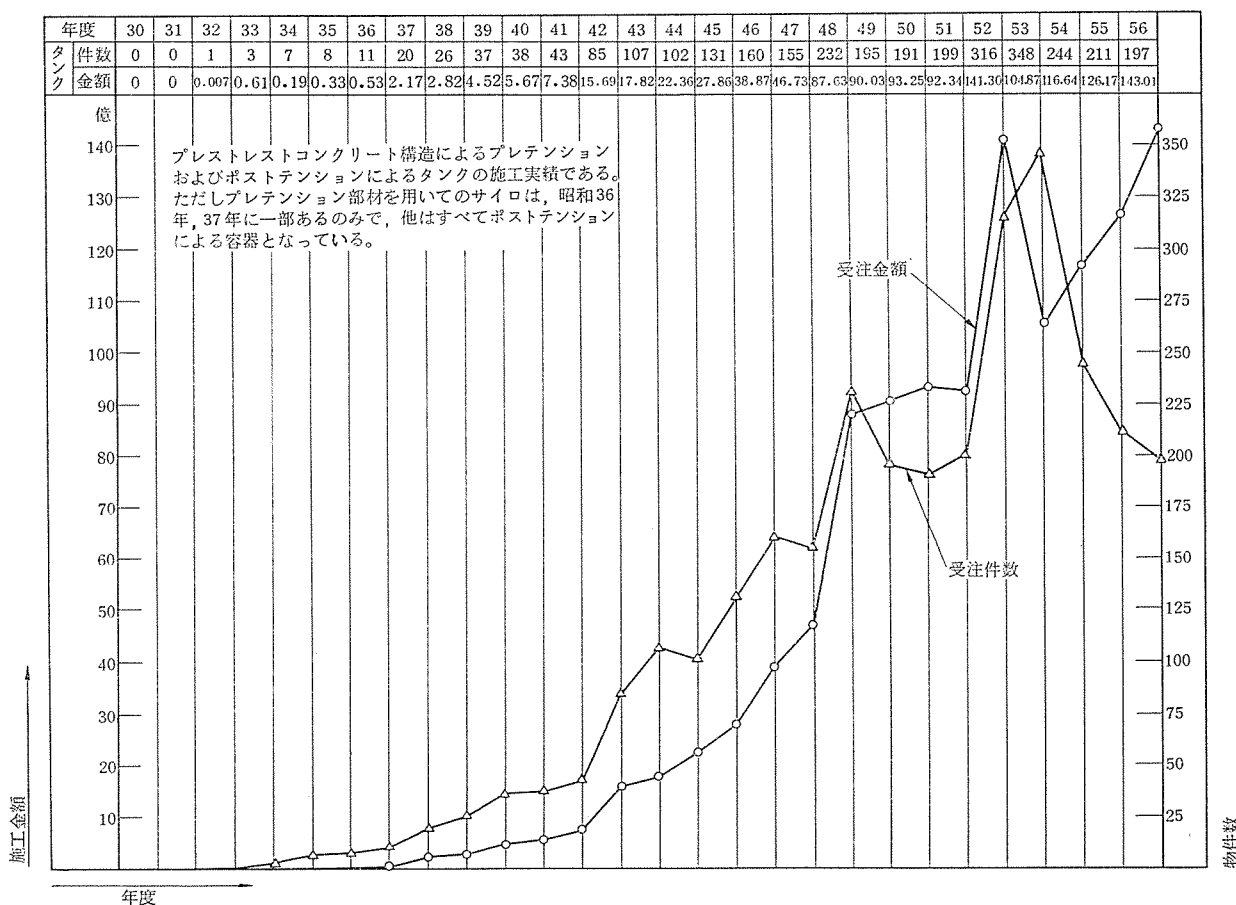


図-2 我が国における PC タンクの施工実績

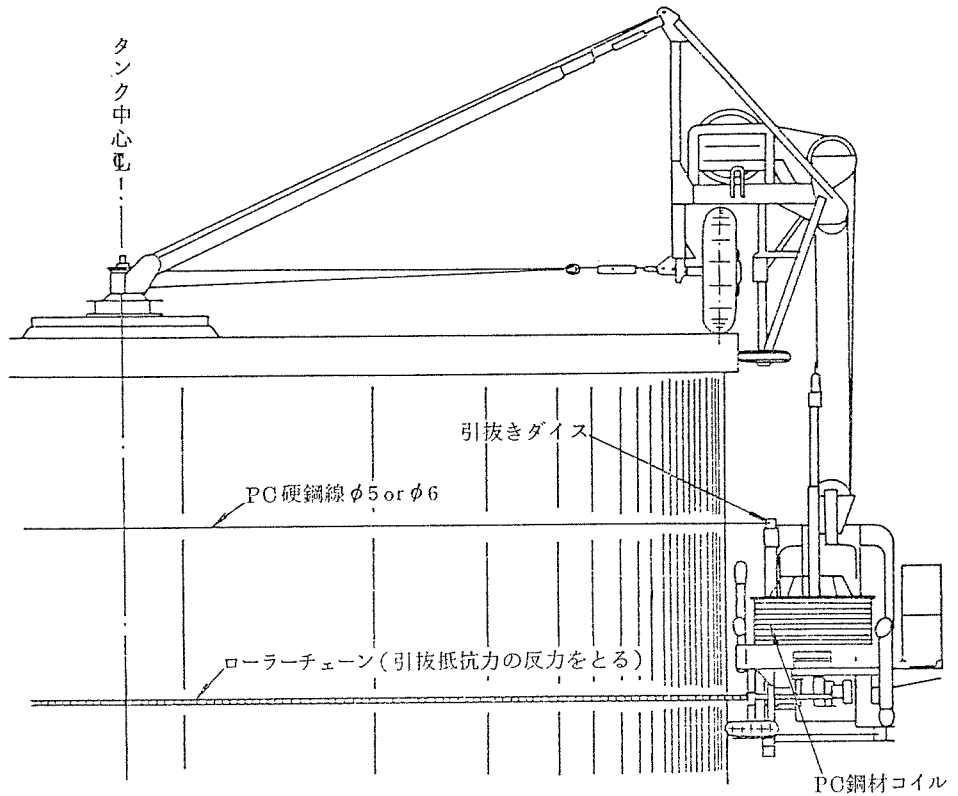


図-3 PC 鋼材巻付け機械および巻付け要領図

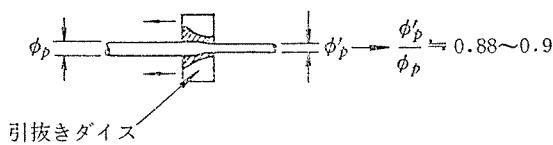


図-4 引抜きダイス

したがってプレストレストコンクリートの応用は、水密性が必要な構造物には、大いに効果を発揮できるものである。

先に分類した、PC 工法を用いた容器類については、西欧はじめ米国において、既に多くの研究と実績が発表されている。その中で特に我が国の環境条件にマッチしたものが技術導入されて現在に至っている。

PC タンクの設計上では、円形断面の場合、応力導入の方法として、外巻き工法と内締め工法とがある。

① 外巻き工法 (プレロード工法) : 昭和 35 年に国際コンクリート株式会社がアメリカから技術導入した工法である。この工法は、RC 構造のタンクの築造過程上で、図-3 に示すような機械システムによって、壁面の外側より PC 鋼材を緊張しながら巻き付けていく工法である。そしてタンクが完成後、外側の PC 鋼材をモルタル等の吹付けによって防錆の処理を行うものである。

② 内締め工法 : 本工法は、外巻き工法とほぼ同時期に我が国に導入されたものである。これは、円形タンクの壁内に、フレキシブルな PC 鋼材を使用して、壁体のコンクリート強度が所定強度に達した時応力を導入する

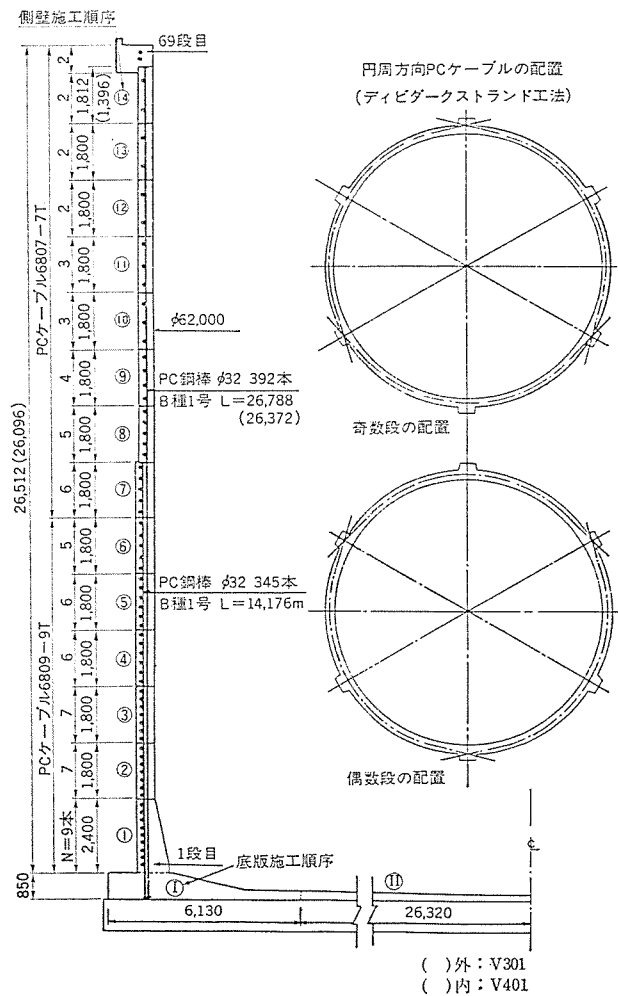


図-5 PC 鋼材配置およびコンクリート施工区分

()外 : V301
()内 : V401

工法である。フレッシュ工法を始めとして、BBRV 工法、安部ストランド工法、その他クサビ型碇着方法を採用すれば、いずれの工法によっても可能である。コンクリート壁体の内部にシースを通し、シースのなかに PC 鋼線または PC ストランドを通し、これをジャッキによって緊張し碇着する方式である。

ストレスを導入する方式によって2つの工法が考えられるが、外巻き工法は PC 鋼線が連続してストレスを導入するのに対して、内締め工法は円周を4等分または6等分して、その等分点にそれぞれ定着装置を配置し断続的に PC 鋼材が使用されている特徴がある。

次に側壁の支持形式は、水道用 PC タンクの標準仕様書に基づいて3種類の代表的形式の例をあげると、下記のとおりである。

(1) 自由支持の場合の構造形式

自由支持は、底版に対して側壁の回転および水平方向の変位を許す側壁下端と底版の結合方法である。この理想的な自由支持は、鉛直方向の曲げモーメントは発生しない。現実には材料の変形拘束による曲げモーメントが発生するので、その処置をする

(2) ヒンジ支持の場合

底版に対して、側壁の回転を許す側壁下端と底版との結合方法で、その構造の例は 図-7 のとおりである。

(3) 固定支持の場合

固定支持は、底版に対して、側壁の回転および水平方向の変位を許さない側壁下端と底版との結合方法で、一般的なタンクでは底版がわずかな回転を生じる。したがって、弾性固定とか摺動固定と呼ばれる場合もある。

4. PC タンクの現状

PC タンクの利用実態と使用された現況から、いままで施工された完成写真を例にあげてタンクの建設の現状を考えてみる。

上水道用の貯水槽としての目的で建造される PC タンクは、都市の水道をより有効に生かすために、建設場所は地形を利用して都市内の丘の上とかあるいは原水の近くでしかも、地形の高い地域を選んで建設することが、水道用の配水池として、建設費のコストダウンに通ずるものである。しかし、地方都市のように地形条件が満たされているところは少なく、配水池として自然水頭を利

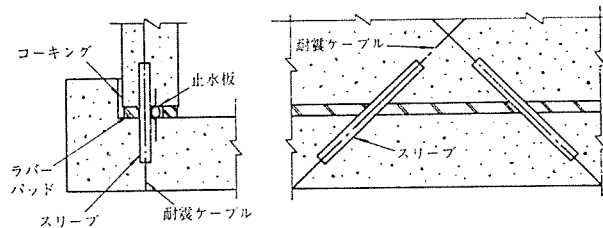


図-6 自由支持の例

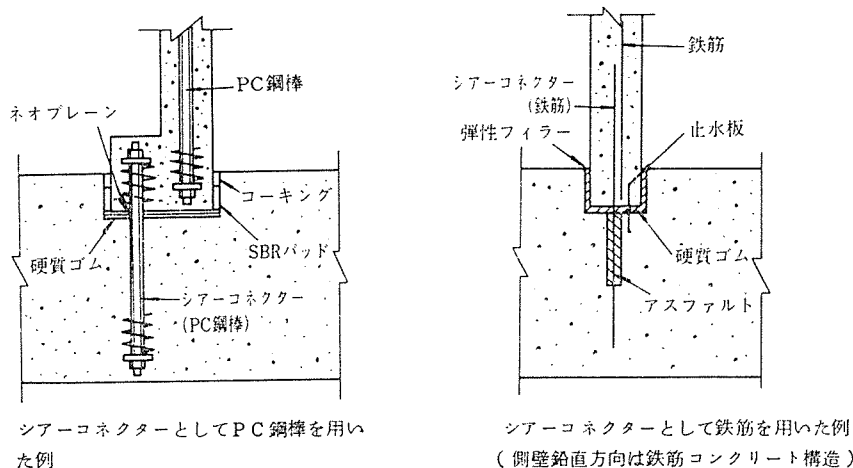


図-7 ヒンジ支持の例

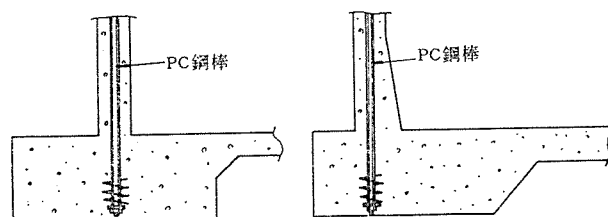
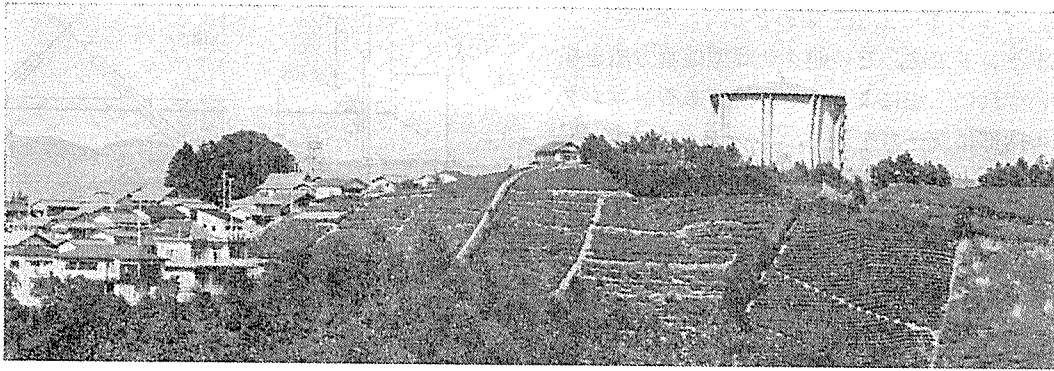


図-8 固定支持の例

用できないところは、都市環境にあわせた高架水槽が建設されることが多くなってきた。

ところで、都市計画全体をながめてみると、その街の自然環境にマッチしたシンボルマークが必要になってくると思う。高架水槽などは、その目的を充分満足させるものである。西欧で見る、街なみのコンクリートタワーは、目的を十分発揮させたうえで、自然環境を破壊せず、街のシンボルとして調和のとれたものである。我が国における地方都市の PC タンクもそのように都市のシンボルとなっているように考えられる。例えば PC タンクが市民の水がめとして急激に建設が始められた昭和37年頃をみてみると、この年代は、東海道新幹線の高架橋工事が土木分野の PC 部門における主流となって施工量が急増していった時代である。それは市街地における環境対策が市民の中で叫ばれて、鋼構造物より PC 構造物が、生活環境条件を少しでも満足することで優位であったからである。



写真—2 清水市にある配水池



写真—3 瀬戸市にある配水池

上水道用の PC 高架水槽とか貯水槽および配水池等が増大してきた主な理由は、前述したとおり、鋼性のタンクや RC 構造のタンクより、以下の点で優れているからである。

- 1) 形状が自由に選定でき、用途に適合する設計が可能である。
- 2) 建設費および維持費が他に比較して経済的である。
- 3) 強度、耐久性、不浸透性等を確保でき、安全性をそなえている。

歴史的に見ると、欧米で数多くの貯水用のタンクが、まず鉄筋コンクリートによって築造されたが、亀裂の問題が生じ、ついで鋼製タンクが用いられたが、さびと腐

食の欠点が発生し、いまや PC タンクがさかんに築造されているのは、日本における現況と全く同様である。

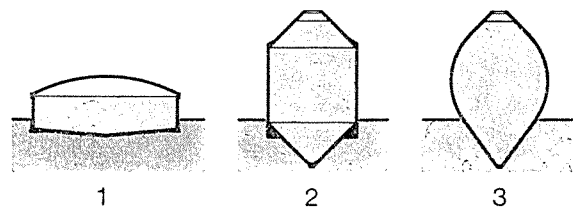
PC タンクは、ひびわれを生じないし、建設工程の短縮によりコストダウンされたうえ、メンテナンスの問題が比較的なく、当然構造物の寿命が半永久的であると考えるにふさわしいわけである。しかし、昨今の塩害における PC 構造物の疲労強度のこと、あるいは地震対策に対しては、昭和 53 年 6 月 12 日に発生した宮城沖地震において PC タンクが全壊した状況等、他国にない立地条件の差異があるので、今後 PC 技術を発展させるためにはこの方面の研究が必要である。

5. 下水道用 PC タンクと原子炉 PC 圧力容器の現状

欧米では既に PC 技術を多目的に応用している。下水道用の汚染処理槽などもその一つで、研究・開発が盛んである。

形状についてみても、円筒形容器がその使用目的上最良の形式であるとは限らないわけであるから、時には球形のもの、中間部は円柱でその上下両端に円錐形シャーレを付けるものなどの開発がされている。現在では、図—9 に示すような形状が検討されている。

1950 年以来、西ドイツのディビダーク社における実績のうちほとんど 90% が卵形タンクである。また、大陸型はヨーロッパ大陸で主として施工されているが、



図—9 消化タンクの形状

1. アングロ・サクソン型
2. 大陸型
3. 卵形

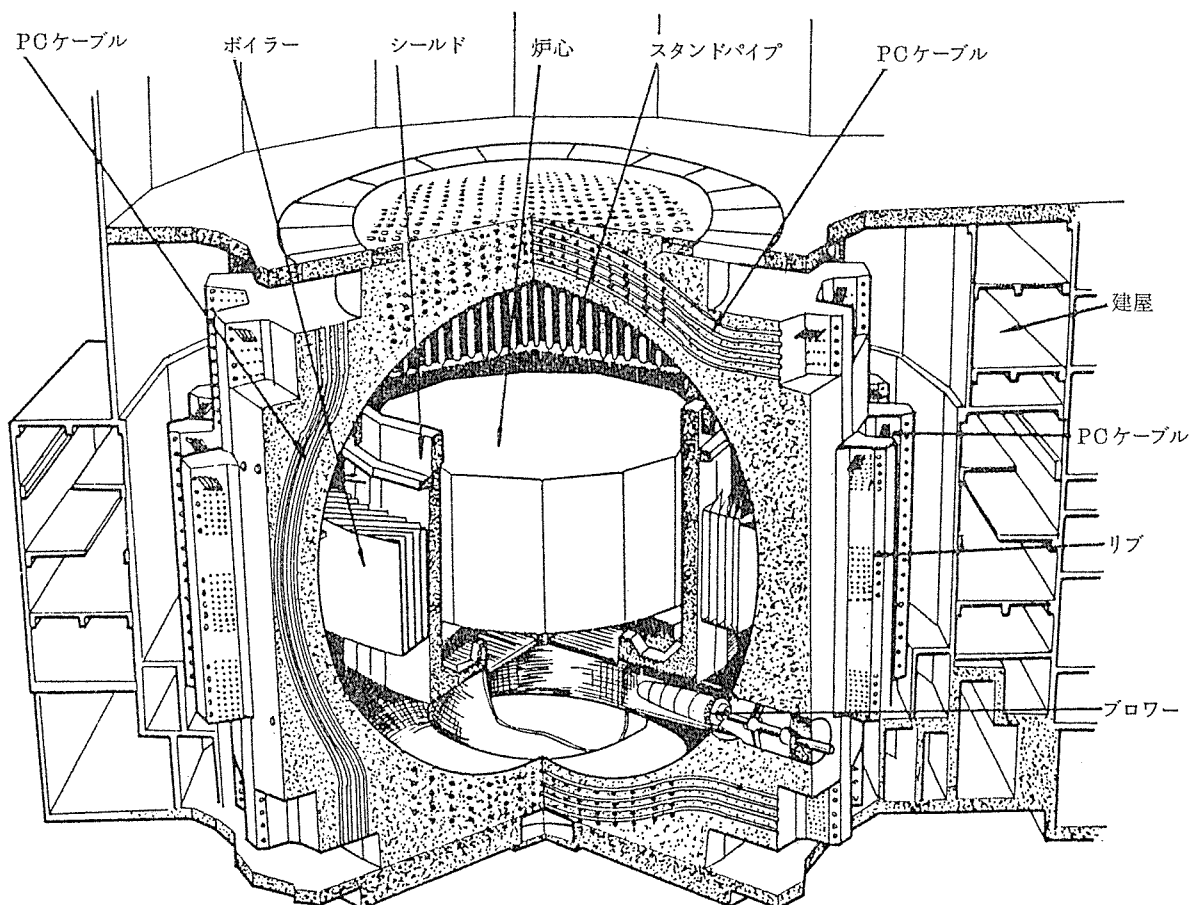


図-10 Wylfa 発電所 PCPV

1950年代に初めてアメリカのカンザス州にこの型が建設されている。

1, 2の形状名は、それぞれ多く施工されている場所からつけられたものである。

我が国においても既に昭和52年名古屋市の山崎下水処理場で汚泥消化PCタンクの工事実績がある。

次に、世界的に活発な建設に入っている原子炉PC圧力容器についてみる。この分野は特にヨーロッパでは1958年にフランスのG-2, G-3に採用されて以来盛んに利用されており、今後日本においても当然採用されることが予想される。既に、敦賀市にPCの圧力容器の1号基(運転開始, 昭和45年3月)が建設されており、今後その優位性が理解され、活発な建設時代が来ることはまちがいないと思われる。つまりPC技術を用いたの格納容器は、安全性と経済性の観点から種々有利な点があるからで、その主な理由としては、次の事柄があげられる。

PC構造によれば、容器の直径、内容積および設計内圧の最適値の選定を広範囲に行うことができる。PC鋼材およびコンクリートが応力導入時に最大応力を受けるので、材料の安全性がチェックできるとともに、運転前

の構造安全性試験に際し、鉄筋コンクリート構造のようにひびわれを発生させて性能を落とす恐れがない。また、通常運転時にコンクリートは完全な圧縮応力状態にあって、ひびわれのない美観と、安全性に優れた構造物として設計できることなどが、PC格納容器に採用される主たる要因である。

図-10は、1968年に完成したイギリスのWylfa発電所のPCPVの断面を示したものである。

今後、日本においても、欧米にまけない技術開発が進められ、PC技術が原子炉格納容器など多種にわたって使用されるよう努力しなければならないであろう。

6. あとがき

以上述べてきたように、プレストレストコンクリートの技術を容器の分野で生かすことは、大変将来性のあることではあるが、特に日本においては、まだ歴史の緒についたばかりとも言え、今後の技術開発と研究に負うところが大きい。

ここで採りあげた下水道分野の消化タンク、原子炉格納容器を始めとし、原油備蓄用タンク、LNGタンク、更には海洋構造物の分野の浮き防波堤、原油運搬用パー

ジなど、省資源・省エネを考えると、これらプレストレストコンクリート構造物は、その目的を達成するに最適な工法である。しかし、コンクリート構造物も決してメンテナンスフリーではない。今後、設計規準の見直しも必要だし、なおかつ細心の注意を払った設計と、そして心ある施工をすることが、永久構造物たりうる条件となると思われる。

参 考 文 献

- 1) プレストレストコンクリート建設業協会年報（昭和 30 年～57 年まで）
 - 2) プレストレストコンクリート, Vol. 16, No. 6, Vol. 20, No. 5, Vol. 24, No. 3, Vol. 24, No. 6
 - 3) 水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書(昭和 55 年 3 月)
 - 4) フレシネー工法によるプレストレストコンクリート製容器, FKK 資料, No. 7
 - 5) PC 工法の応用 (鹿島出版会)
- 注) PC タンクの写真は、株式会社安部工業所の提供によりました。

◀刊行物案内▶

第 23 回 研究発表会講演概要

体 裁：B 5 判 62 頁
 定 価：1 500 円 送 料：250 円
 内 容：(1)高強度 PC 鋼より線の諸特性について、(2) PC 鋼材定着部の終局強度設計法に関する基礎的研究、(3) 逆対称曲げをうけるアンボンド PC 梁の曲げ解析、(4) アンボンド PC 梁断面の曲げ破壊耐力略算法について、(5) 横拘束コンクリートによるアンボンド PC 部材の力学的性質改善、(6) PC III 種の鉄筋応力の測定、(7) 緊張管理に関する統計的考察(1)、(8) 同前(2)、(9) プレストレストコンクリート部材の変形性状に関する研究(その IV 変形性状の定量化)、(10) 同前(その V 既往の設計式との比較検討)、(11) 矩形開口を有するプレストレストコンクリート部材の強度と変形性状に関する実験的研究(その 1 無補強部材の性状)、(12) 同前(その 2 補強部材の性状)、(13) PC 版の耐衝撃性向上に関する研究、(14) 円形スパイラル補強筋を用いたプレストレストコンクリート住宅(その 1 設計について)、(15) 同前(その 2 実験的検討)、(16) PCR 工法の結合部に関する実験、(17) PRC はりの長期曲げ性状について、(18)「特別講演」設計者の意図と PC の基本(省略)、(19) 滑りゴム沓及びソールプレートの各種確認試験、(20) SPC 合成構造による三郷浄水場、(21) プレストレストコンクリート造円筒壁の水平加力実験、(22) 長大ケーブルのグラウト注入試験、(23) 低温下に於ける RC および PC 円環体の熱応力に関する研究、(24) セグメントによるトンネルライニングの緊張システムの開発、(25) バイプレ方式による PC 桁の設計について、(26) 400 t デイビダークストランド工法の開発、(27) PC ボックスカルバートの設計施工、(28) 門崎跨道橋の設計施工の概要とたわみの測定結果、(29) 豊後橋の施工について