

# PC 容器の歴史

堅田 茂昌\*1・西尾 浩志\*2

## 1. はじめに

酒や穀物を貯蔵する容器は、古くは素焼きの器に始まり、のちに樽が発明され今日に至っている。最初の樽は、丸太の内部をくり抜いたものであり、木が乾燥することで割れが生じ、蔓などを巻きつけて補修していた。その後、造船技術の発達とともに木材を加工して帯鉄の輪によって締め付けたと考えられる<sup>1)</sup>。樽は、多くのステープ（側板）を輪（たが）で固定しており、ステープ同士が同一平面で接触し、腹が出た形状を生かしたが断面の半径が大きい方へ移動させることでプレストレスが与えられ、液体を入れても漏れることがない。液体を貯める樽として、海外では、ニューヨークのビル屋上に見られる木製のタンク、国内では醤油工場の木製貯蔵タンク（写真-1）などがあり、ステープを丸鋼で締め付ける構造が見られる。プレストレスコンクリート（以下PC）容器は、ステープをコンクリートに、輪をPC鋼材に置き換えて考えることができ、輪に相当するPC鋼材を締め付けることでコンクリートに圧縮力が導入され水密性が向上する。

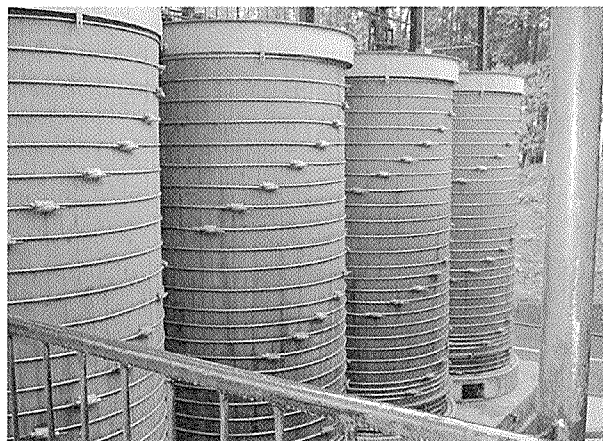


写真-1 醤油工場の木製貯蔵タンク

PC 容器としては貯水槽、処理槽、サイロ、貯油槽、ガスタンク、原子炉格納容器などの実績がある。以前は、鉄筋コンクリート製もしくは鋼製等で造られていた容器構造物だが、コンクリートの収縮や温度の影響を受けて、ひび割れが生じ易く液密性や気密性に欠けること、鋼製では錆の発生防止が必要であるなど問題があった。これらの問題を解決するため、PCの技術が有効であり、関係者の努力と実績が認められたことで各分野で用いられてきた。

日本国内では1957年に初めてのPC貯水槽が建設<sup>2)</sup>されて以来50年の間、多くのPC容器構造物が建設されてきた。以下に、PC容器の50年のあゆみとこれからのことについて述べる。

## 2. PC タンクの実績

昭和20年代 PCに関する技術が日本に導入され、1951年 七尾市 プレテンション単純合成床版道路橋 長生橋が竣工した<sup>3)</sup>。同年に、PCまくら木試験敷設として、各地の本線路に7600本敷設された<sup>4)</sup>。これらに遅れること6年後、国内最初のPC容器（上水道用PCタンク）が建設され、今日にまでに8000基程度の実績があると推定される<sup>5,6)</sup>（図-2）。

PC容器の黎明期において、多様な用途に利用され大型のPC容器も建設されている。以下に、その時期の代表的な工事を年代順に列記する<sup>3)</sup>。

- 1957年 岐阜県山県市（旧 伊自良村）  
上水道用配水池 容量 85 m<sup>3</sup>
- 1958年 横浜市 子安調整池  
（内径 8 m, 高さ 17 m, 764 m<sup>3</sup>）  
東京火力発電所 原水タンク  
（内径 30 m, 高さ 10 m, 7000 m<sup>3</sup>）

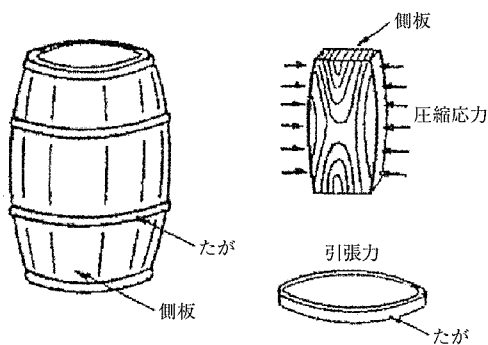
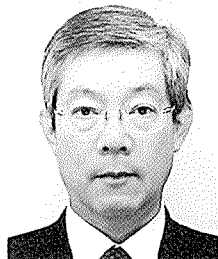


図-1 樽の原理<sup>6)</sup>



\*1 Shigemasa KATADA

(株)安部日鋼工業 技術工務本部  
技術部次長



\*2 Hiroshi NISHIO

(株)安部日鋼工業 常務取締役  
技術部次長

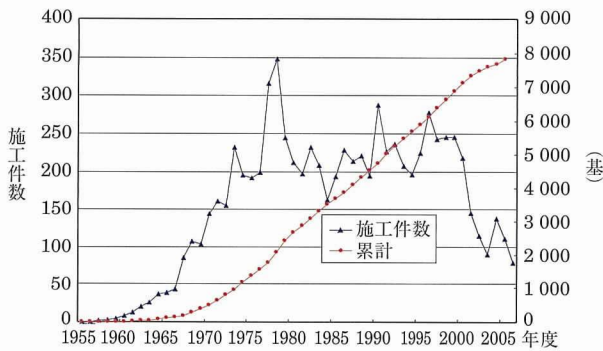


図-2 PC容器の実績推移<sup>6)</sup>

- 1962年 秩父セメント熊谷工場スラリー・ベースン  
(内径20m, 高さ12.5m, 4基)  
小野田セメント 堺SSセメントサイロ  
(内径17.68m, 高さ16.4m, 2基, 容量5500t)  
船橋市高架水槽  
(内径28.2m, 水深8m, 高さ29m, 容量5000m<sup>3</sup>)
- 1964年 神戸市垂水区 配水池  
(内径32m, 高さ19.7m, 容量15000m<sup>3</sup>)
- 1968年 浜松市大原配水池  
(内径73m, 水深3m, 容量12500m<sup>3</sup>)

### 3. 円筒形容器のPC技術と施工の変遷

日本におけるPC技術は、フレッシュナー工法によって始められ、1956年5月に基本特許の有効期限が満了してから2～3の工法が導入された<sup>3)</sup>。これらは、内ケーブル工法によってプレストレスを導入する技術であった。PC容器黎明期には、タンクやサイロのような円周外面にそってPC鋼材でプレストレスを導入する方法として、海外で実績のあった、米国Preload社やスイスBBRVによる外巻き工法が導入された<sup>7)</sup>。本工法は、タンク側壁のコンクリートを打設し、特殊な機械でPC鋼材を緊張しながら巻き付けるものであった。外巻き工法によるPC鋼材の防食は、当時、厚さ30mmの吹付けコンクリートによっており(図-3)、吹付けコンクリートの品質管理、施工技術者の不足などの課題があり、フレッシュナー工法などによるコンクリート壁体

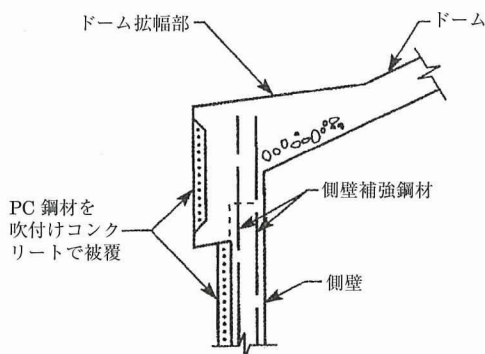


図-3 外巻きタンク側壁断面図<sup>6)</sup>

の内部にシースを配置した内ケーブル工法が主流となってきた<sup>6)</sup>。近年、内ケーブル工法のPC定着柱を省略した工法やPC鋼材を螺旋状に配置した工法が開発され実施されている<sup>8)</sup>。一般に、場所打ち工法による円筒形容器の側壁は、高さ1.8mごとにコンクリートを打設する水平打継ぎが主流だが、黎明期の施工として、鉛直方向に打継ぎを設けた施工も行われていた。PC容器の実績の多くが場所打ち工法であるが、プレキャスト工法としては、1971年に円筒形タンクが施工され、角形としては1997年に福岡県内に(容量3000m<sup>3</sup>, 内寸法27m×14m×9m)施工されている<sup>9)</sup>。

PCタンクの屋根構造は、鉄筋コンクリート製ドームが多く採用されている。数十年の供用を経たPCタンクのドーム屋根に水道水に含まれる塩素の影響等による劣化が確認されたこと、1980年代後半の労働者不足などの問題をかんがみ、空気膜型枠工法(写真-2 エアードーム工法)が開発された。1991年に実際のPCタンクに適用された。また、近年では鉄筋コンクリート製ドームに代わる構造としてアルミドーム(写真-3)が採用されることもある。

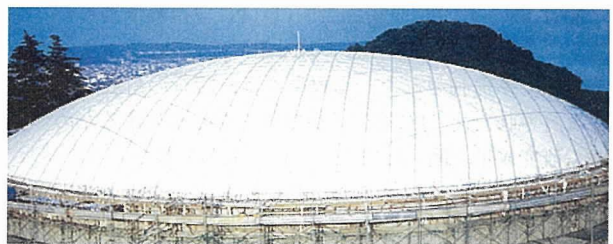


写真-2 エアードーム工法



写真-3 アルミドーム

### 4. PC容器の耐震性

PC容器の実績が増えるに従い、大型のPC容器構造物が計画され施工された。柳又発電所調圧水槽(容量15400m<sup>3</sup>, 内径25m, 水深31.4m 1973年竣工)は、PC容器の優れた水密性、経済性に着目し、従来の水道用タンクに比べ規模が大きいことおよび発電水力設備に関する技術規準の規定にはPC構造に関する条項がないこともあり、模型実験を含む地震時の検討が電力中央研究所技術第二研究所で行

われ、施工においては、鉄筋計を埋設して設計のチェックを行うなどの品質管理が行われた<sup>10)</sup>。

1978年の宮城県沖地震発生時に1968年に外巻き工法で造られ地震前からPC鋼材の腐食が進んでいたPC容器に被害が発生した。これを契機に、日本水道協会に「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書作成委員会」が設置され、1980年3月にPC容器としてわが国で最初の規準「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」が発刊された。これ以後PC容器は、この仕様書に従い設計されるようになった。耐震設計は基本的には震度法によっており、設計水平震度は0.2～0.3程度である。その後、1995年に発生した兵庫県南部地震を経験し、水道施設全般に対する「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版」が改訂された。PC容器に関しては、兵庫県南部地震が直接的な原因で機能に重大な影響を及ぼすような被害はなかったが、構造物全般に対する耐震設計法に準じた基準の見直しが行われ<sup>5)</sup>、「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説 1998年版」が改訂された。以後の地震において、PC容器の機能に影響を及ぼすような被害は確認されていない。

2001年には、PC技術協会内に「PC技術規準委員会」が設置され、2005年11月に「貯水用円筒形PCタンク設計施工規準」が発刊された。本規準には、現行の耐震工法指針が改訂された後、PC容器の耐震性を明らかにするための実験や研究成果(図-4、5)<sup>11)</sup>が取り入れられた。

水道施設全般に対する耐震基準である「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版」が改訂されて以降、2004年の新潟中越地震をはじめ昨年の能登半島地震、新潟中越沖地震など数多くの地震が発生し、構造物全般の新たな被害実態や地震動の観測結果が得られている。また、研究分野でも政府機関、大学、民間企業等において、ハード・ソフトの

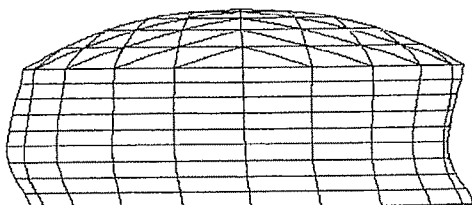


図-4 振動モード図

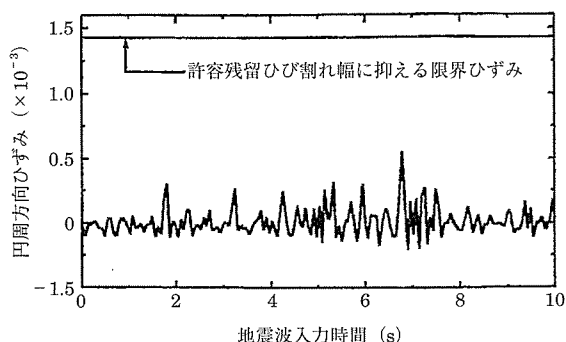


図-5 側壁円周方向ひずみの時刻歴応答

両面での優れた地震工学の研究が進められており、新しい解析技術等も開発されている。このような背景を受け、1997年版指針を補完するとともに、最新の知見を取り入れ、より強い水道システムを構築することを目指して、2006年より日本水道協会に『水道施設耐震工法指針・解説改訂特別調査委員会』が設置され、2009年3月発行を目標に、鋭意、改訂作業が進められている。

## 5. 下水道施設におけるPC容器

下水道施設へのPC容器の適用として、1977年に名古屋市山崎下水処理場内に亀甲形汚泥消化槽(容量3920m<sup>3</sup>、内径15m、液深17m)が建設された。従来の消化槽は鉄筋コンクリート構造であり、ひび割れが生じ、漏液し、臭気もれるなどの問題があった。これらを配慮してPC構造が採用された<sup>12)</sup>。その後、東京都森ヶ崎処理場においてPC消化槽(容量12000m<sup>3</sup>、内径28m、液深19.5m)が建設された。この消化槽においては、収縮や温度などによるひび割れ防止を目的としてプレストレスが導入される設計であった。

従来の汚泥消化槽は直径と側壁高さの比を2:1とした比較的平たい円筒形で、液面が広いためスカムの処理が容易でない。また、汚泥混合のためのかくはんによる対流にはむらを生じやすく、汚泥は不均質になり良好な消化作用は妨げられ、さらには、砂等の固形物が沈着堆積するのでタンク内の定期的な清掃が必要となるなど効率的な運転が困難であった。

卵形の形状は、汚泥の混合性がよく、保温性に優れ、維持管理が容易であるため、ドイツで数多く採用されて良好な実績をあげてきたPC卵形消化槽が注目され、国内では横浜市において1983年に、初めて採用された(写真-4)。当初、壁体の構築はジャンピングフォームのみであったが、大型パネル型枠が導入され、適宜、選択されている。PC卵形消化槽は、全国二十数箇所の処理場で採用され100基以上の施工実績がある<sup>13)</sup>。

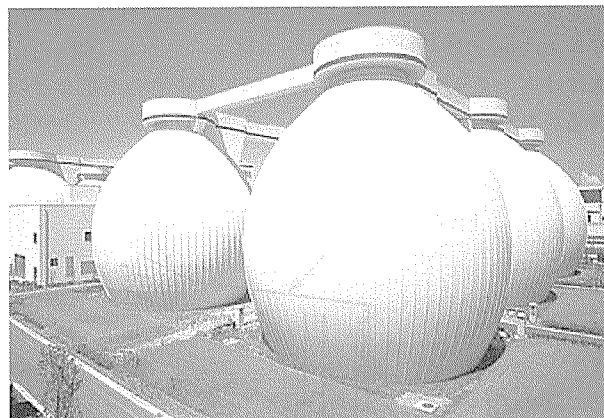


写真-4 PC卵形消化槽<sup>6)</sup>

## 6. PC低温貯槽

燃料ガスは、その容積を1/100に圧縮して貯蔵するため

低温液化される。国内最初のPC低温タンクは、1969年に施工された苫小牧の盛土式低温タンク（容量5100kl、内径24m、壁高13.2m）であった。その後、従来からの地上式金属二重殻貯槽に代わるPC金属二重殻低温貯槽（液化エチレンタンク 容量5300kl、内径22m、壁高20m）が<sup>8</sup>、1979年に建設された<sup>13</sup>）。地上式PC低温貯槽の建設の背景には、第一次オイルショック以後、関係諸官庁および学識経験者の指導の下に耐震性能実験や耐低温特性実験等を行うなどの努力があった。その後、地方都市ガス事業者へのLNG導入を促進する目的で、PCLNG地上式貯槽（写真-5）の安全性、信頼性について実証実験、解析および調査が行われた。技術指針案を作成するため、1988年から2ヵ年計画で、通商産業省より（財）天然ガス導入促進センターが委託を受け、大学、ガス事業者、メーカーに属する研究者および技術者で構成する委員会が設置され、現在の「LNG地上式貯槽指針」が発刊された<sup>14</sup>）。

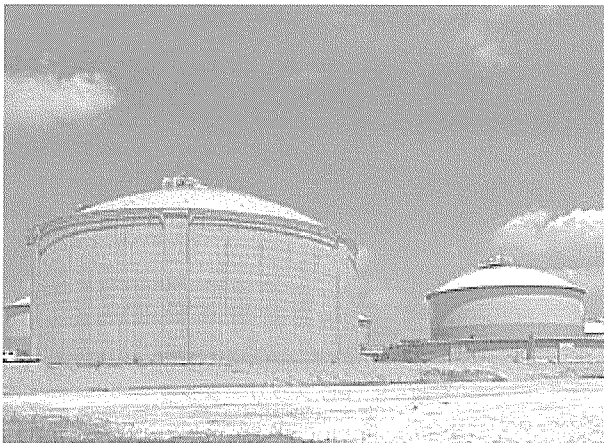


写真-5 18万kl LNGタンク<sup>6)</sup>

## 7. PC製のサイロおよびサージタンク

国内最初のPCサイロとしては、1962年堺市にセメントサイロ（内径17.68m、高さ16.4m、容量5500t）が建設された<sup>3)</sup>。その後、次に代表例を示すような大型のサイロが建設された。これらの側壁部の施工はスリップフォーム工法にて行われた<sup>15)</sup>。

- 1982年 三菱鉱業セメント 苅田セメントサイロ  
容量30000m<sup>3</sup>、内径24.3m、高さ48m
- 1986年 沖縄電力石川石炭火力発電所石炭サイロ  
容量31000m<sup>3</sup>×4基、内径37m、高さ52.5m  
愛媛県 大王製紙 石炭サイロ  
容量20000m<sup>3</sup>×2基、内径30m、高さ43.5m
- 2000年 電源開発（株）石炭サイロ  
容量93000m<sup>3</sup>×8基、内径46.0m、高さ57.3m

電力関係のサージタンクとして、中部電力（株）奥矢作揚水発電用サージタンク（容量15900m<sup>3</sup>、内径16.8～17.8m、水深68m）が1977年に建設された（図-6）。このサージタンクはPC円筒水槽として、日本一の高さを有し、側壁部の施工はスリップフォーム工法にて行われた<sup>16)</sup>。

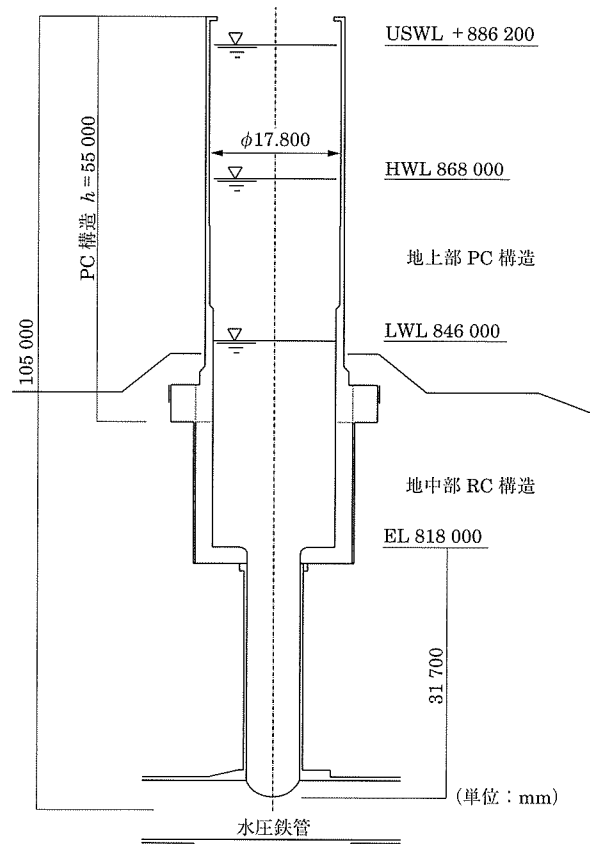


図-6 サージタンク断面図

## 8. PC原子炉格納容器

原子力発電施設のPC容器としては、加圧水型原子力発電のPC原子炉格納容器（PCCV）とガス冷却型原子炉のPC压力容器（PCR/V）がある。国内最初のPC原子炉格納容器として、敦賀発電所2号機（半球形+円筒形、内径43m、高さ約65m、ドーム厚1.1m、壁厚1.3m）が1986年に建設された。その後、関西電力（株）の大飯3号機、4号機など日本国内には6基のPCCVが建設されている。PCCVについては、その重要性から、多くの実験と解析が実施され、耐震性を含め十分な安全性が確認されている<sup>17)</sup>。

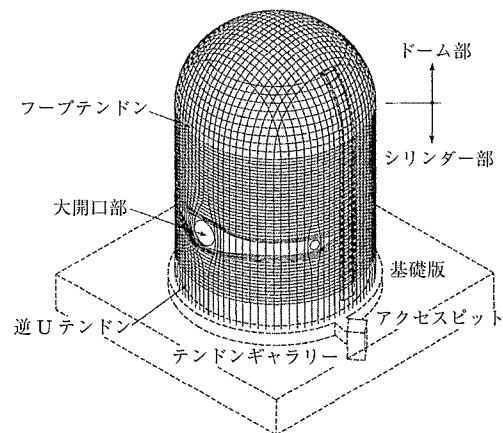


図-7 PCCVのPC鋼材の配置図<sup>6)</sup>

## 9. PC オイルタンク

PC 技術を利用して、1980 年に佐世保において箱形貯油施設（容量 71 300 kl、内寸法 121 m × 85 m × 7 m）が建設された。円筒形の地下式 PC 容器として、1986 年に横瀬オイルタンク（写真 - 6 容量 60 000 m<sup>3</sup>、内径 84.9 m、液深 10.415 m）が建設された<sup>3)</sup>。その後、地下式 PC オイルタンクは、施設の更新に伴う造り替えに採用され、計画的に建設されている。



写真 - 6 オイルタンク

## 10. プレキャスト容器製品

PC 技術を用いたプレキャスト製品は、下水道や農業分野で広く活用されている。

### 10.1 小規模下水道

下水道整備は重要課題であり、とくに、人口 5 万人未満の中小市町村の下水道普及の推進が必要であった。この整備に 300 ~ 1 200 m<sup>3</sup> の小規模下水処理施設が用いられている<sup>18)</sup>。日本下水道事業団は、施工工期の短縮と施設建設費の低減を図るために、PC プレキャスト式円筒形処理槽（写真 - 7）を採用した。1987 年に日本で初めて 440 m<sup>3</sup> の小規模下水処理施設が建設されて以後、230 基以上の処理槽が建設されている。



写真 - 7 小規模下水処理槽

### 10.2 家畜排せつ物の管理施設

家畜排せつ物の管理施設であるスラリータンクについて述べる。近年、農業に起因する環境問題として硝酸性窒素および亜硝酸窒素による地下水汚染が指摘されるようになった。これを受けて 1999 年 11 月「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が施行された。同法

では「管理の適正化」と「利用の促進」のための処置がうたわれ、糞尿の野積みや素掘り貯留の禁止が打ち出された。大規模畜産が多く存在する北海道東部において、家畜排せつ物管理施設としてのスラリータンクが要望され整備が進んでいる。

北海道東部は地震発生確率が高く、近隣地にはラムサール条約に登録された霧多布湿原や阿寒国立公園などの特別自然保護地域が存在する。PC スラリータンク（写真 - 8）は、高い耐震性と液密性を有すること、また、畜産を営む酪農家の受益者負担を軽減するため、イニシャルコストを削減できることから、前述の小規模下水処理槽を参考にして開発された。側壁円周方向 PC 鋼材の配置を、外巻き工法とすることで側壁部材厚を削減できる。PC 鋼材には、耐食性に優れた 2 重被覆のアンボンド PC 鋼材を採用することで黎明期における外巻き工法の問題を解決している。さらに、型枠形状を単純化することでプレキャスト製品の製造コストの削減を行っている<sup>19)</sup>。



写真 - 8 PC スラリータンク

### 10.3 雨水貯留施設

都市型水害の発生を防ぐ雨水流出対策の一つとして雨水貯留施設がある。従来、ダム式や掘込式の構造となっていたが、土地の有効利用を図るため、プレキャスト式地下貯留施設が建設されている。これらにはボックスカルバートタイプとフレームタイプの二つの構造がある。後者の土留壁には、施工時の自立性を考えた L 型部材形式（写真 - 9）と PC 矢板（壁体）形式がある。これらプレキャスト式地

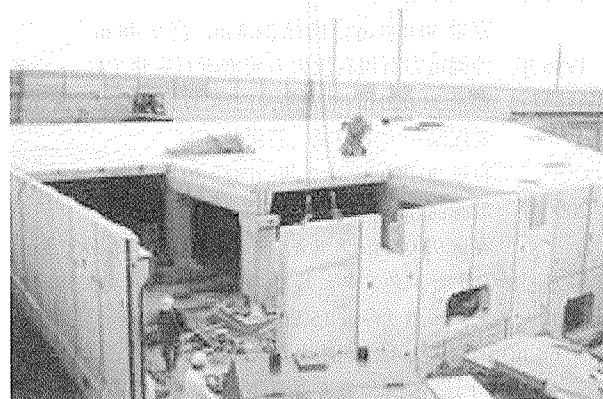


写真 - 9 プレキャスト雨水貯留槽

下貯留施設には、プレキャスト部材同士の接合やスラブ梁スパンを広く確保するなどの目的でPC技術が用いられている。

## 11. これから

国内最初のPC容器構造物が建設されて50年経過した。40年以上供用されたPC容器は約280基、30年以上経過したものは、約2100基と推定される。竣工後の点検等においては、多様な劣化が確認され、これに対して構造および材料の改善を行うことで、供用性と耐久性が高められてきた。

現在までに多くのPC容器構造物が建設されており、PC容器の供用年数を考えれば、維持管理の必要性が増加することは明らかである。数十年経たPCタンクの劣化状況を調査・分析し、PCタンクの耐久性を適切に評価する必要がある。その成果に基づいて適切な維持管理を実施していく必要があり、メンテナンスは今後の重要な技術であると考えられる。

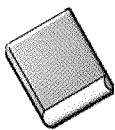
メンテナンスを含め機能と性能に着目した技術向上、開発が実施され、今後も、各種PC容器構造物が発展していくことを期待するものである。

### 参考文献

- 1) 加藤定彦：樽とオークに見せられて、TBSブリタニカ
- 2) 西尾浩志：伊自良村簡易水道PCタンク、プレストレストコンクリート、Vol.35, No.6, p55, 1993
- 3) PC建設業協会：三十年史、1985
- 4) 高原清介：新軌道材料、鉄道現業社、1985

- 5) 西尾浩志：PCタンクに関する技術的動向と展望、プレストレストコンクリート、Vol.41, No.1, p51, 1999
- 6) 横山博司：容器構造物におけるPC技術、プレストレストコンクリート、Vol.46, No.6, p21, 2004
- 7) 猪股俊司：プレストレストコンクリートの設計および施工、技報堂、1957
- 8) PC技術協会：貯水用円筒形PCタンク設計施工規準、技報堂出版、2005
- 9) PC建設業協会：イヤーブック 1997年度版
- 10) 大橋光太郎：柳又発電所調圧水槽の設計と施工について、発電水力、No.123, p3, 1973.3
- 11) 西尾浩志、横山博司、秋山充良、小野雄司、江角真也、鈴木基行：プレストレストコンクリート製タンク側壁のレベル2地震動に対する耐震性能照査、土木学会論文集、Vol.725/V-58, pp.85-100, 2003.2
- 12) 山田雅雄：下水処理におけるPCタンク、プレストレストコンクリート、Vol.20, No.5, p20, 1978
- 13) 堅田茂昌：卵形消化槽の設計・施工、プレストレストコンクリート、Vol.46, No.6, p62, 2004
- 14) (社)日本ガス協会：LNG地上式貯槽指針JGA指-108-02
- 15) 石川：リングビーム式スリップホーム工法による超大型石炭サイロの建設—電源開発橋湾火力発電所—、セメント・コンクリート、No.631, 1999
- 16) ニュース：奥矢作第一発電所PCサージタンク、プレストレストコンクリート、Vol.20, No.5, p66, 1978
- 17) 特集：原子力施設用PC構造物、プレストレストコンクリート、Vol.23, No.1, 1981
- 18) 横山博司、西尾浩志：PC容器の歴史について、プレストレストコンクリート、Vol.42, No.6, p66, 2000
- 19) 堅田茂昌、村井篤：プレキャストタンクの技術開発、プレストレストコンクリート、Vol.49, No.2, p53, 2007

【2008年11月6日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

定 価 4,200 円／送料 500 円

会員特価 3,500 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版