

# 気仙沼燃料タンクの津波対策

## ～ 国内初の津波対応型燃料タンクの施工 ～

伊藤 朋紀\*1・堅田 茂昌\*2・内海 義紀\*3

東日本大震災の津波により破壊された燃料タンクから大量の重油が流出し、気仙沼湾の火災を拡大させた。これらの燃料タンクの再建に着手するとき、耐震性、耐浪性に優れたPCタンクが参考にされた。消防法令では、屋外で危険物を貯蔵、取扱う施設を「屋外タンク貯蔵所」と定義し、安全性を確保する目的で、位置、構造および設備に係る基準が最大容量に応じて定められている。早期の再建が望まれる中、PC壁と鋼製タンクの複合構造が、特定屋外タンク貯蔵所の技術基準への適合の検討や諸手続等に時間を要することから、500 kL以上1000 kL未満の準特定屋外タンク貯蔵所として検討が行われた。本報告は、気仙沼市と地元の石油販売会社とともに建設し、2019年6月に運用を開始した、津波や漂流物の衝突に耐える国内初の「津波対応型燃料タンク」について述べるものである。

キーワード：津波、燃料タンク、PCタンク、耐衝撃性

### 1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災の津波により破壊された燃料タンクから大量の重油が気仙沼湾に流出し、気仙沼湾の火災を拡大させた。この津波で南気仙沼地区にあったタンク23基のうち22基が破壊され、津波で流出した漂流物と重油が長時間燃え続け、風や津波によって火が広がり大火災に至った。

一方、仙台港の船舶給水用に設置されていたプレストレストコンクリートタンク（以下、PCタンク）は、津波により給水用タンク3池が水没し、このうち1池にはPCタンクの壁にコンテナが衝突したが、PCタンク本体に大きな損傷はなかった。

このような事例を踏まえて、津波で破壊された燃料タンクの再建に着手するとき、耐震性、耐浪性に優れたPCタンクが参考とされた。

気仙沼市と地元の石油販売会社とともに、鋼製タンクの周囲をPC壁で覆った、津波や漂流物の衝突に耐える国内初の「津波対応型燃料タンク」を建設し、2019年6月に新型の燃料タンクの運用が開始された<sup>1,2)</sup>。本報告は、気仙沼

に建設された津波対応型燃料タンクの工事報告である。

### 2. PCタンクの概要と耐震性

#### 2.1 PCタンクの概要

一般的なPCタンクは、底版と円筒形側壁とドーム形状の屋根からなり、側壁はPC構造、底版およびドーム屋根はRC構造である。図-1に一般的なPCタンクを示す。

PCタンクの側壁には、内容水の水压によって発生する

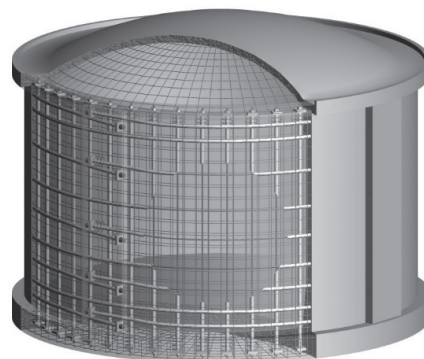


図-1 一般的なPCタンクの概要図



\*1 Tomoki ITO

(株)安部日鋼工業  
技術工務本部



\*2 Shigemasa KATADA

(株)安部日鋼工業



\*3 Yoshinori UTSUMI

(株)安部日鋼工業  
東北支店

円周方向の引張力を打ち消すために、水平方向に PC 鋼材が配置されている。これにより満水状態で壁に 1.0 N/mm<sup>2</sup> 程度の圧縮力を確保するようプレストレスを導入し、ひび割れが生じない構造となっている。PC タンクの耐震性には、円周方向プレストレスの余裕圧縮力が寄与していることが、これまでの研究と解析によって明らかとなっている。また、これらの耐震性等は、鉛直方向にもプレストレスが導入されて圧縮応力が確保されていることに依存している。

## 2.2 PC タンクの耐震性

2011 年の東北地方太平洋沖地震の後、東北 6 県で震度 5 以上を観測（震災直後の発表）した市町村の一部と、調査依頼を受けた東北 6 県以外の 2 池の貯水用 PC タンクに対し、目視による外観調査が実施された<sup>3)</sup>。調査した PC タンク数は 364 池で、損傷がなかった PC タンクは 344 池、機能に影響しない軽微な損傷があった PC タンクは 18 池、機能に影響する損傷があった PC タンクは 2 池であった。この機能に影響する構造的損傷が発生した PC タンクのうち、1 池は盛土地盤が崩れて杭が損傷したため、配水池が傾いて RC 構造の底版より漏水した事例で、もう 1 池は高架水槽の PC タンクを支える RC 造の脚塔が、せん断破壊して PC タンクが落下した事例である。いずれも、水道用プレストレスコンクリートタンク標準仕様書（1980 年）制定前に施工されたものであり、これらの損傷は、PC タンクを支える構造の変状によるものであった。

このように PC タンクの優れた耐震性が広く評価され、その一例として、福島第一原子力発電所内に建設する汚染水貯蔵用 PC タンクの技術的成立性が検討され、2016 年に土木学会より「汚染水貯蔵用 PC タンクの適用を目指して コンクリートライブラリー 144」<sup>4)</sup> が発刊されている。

また、宮城県仙台港では推定高さ 7.2 m の津波が発生し、この津波の影響を受けた船舶給水用 PC タンク 3 池についても調査された。いずれのタンクも電気設備の機能などが喪失していたが、PC タンクの機能は確保され健全であったと評価されている。とくに高砂埠頭 1 号給水タンクは写真 - 1 のとおり、コンテナと推測される流出物の衝突によるものと思われる損傷が確認されているが PC タンクの機能には影響はなく、津波にも強いことが認識された。

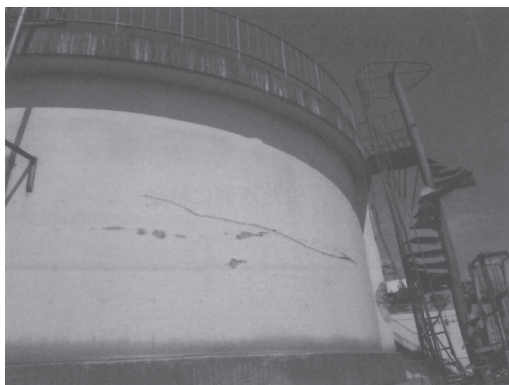


写真 - 1 津波による流出物が原因と思われる損傷

## 3. 再建に向けた課題

### 3.1 燃料タンクの構造

破壊された地上式燃料タンクの再建にあたり、内側が鋼製タンク、外側が PC 壁の構造が検討された。PC 壁と鋼製タンクの複合構造は、覆土式屋外タンクとして、防衛施設のみで採用されていた。この構造形式は、鋼製タンクを鉄筋コンクリートで覆い、更に覆土したものであり、危険物の規制に関する政令第 23 条の特例基準（二硫化炭素のタンク、覆土式タンク等）の適用に限られている。鋼製タンクを PC 壁で覆った場合、開放検査や定期点検時に鋼製タンクの外部確認ができないこと、鋼製タンクの底板や側板が腐食した場合に補修が困難なことが課題として挙げられた。

### 3.2 燃料タンクの容量

燃料タンクは、漏洩、火災爆発が発生すると人的、物的、更に環境面に多大な被害を発生させる恐れがあるため、消防法令で危険物の貯蔵や取扱いについて制限されている。消防法令では、屋外で危険物を貯蔵、取扱う施設を「屋外タンク貯蔵所」と定義し、安全性を確保する目的で、位置、構造および設備に係る基準が最大容量に応じて定められており、最大容量が 1 000 kL 以上の屋外タンク貯蔵所を「特定屋外タンク貯蔵所」、最大容量が 500 kL 以上 1 000 kL 未満の屋外タンク貯蔵所を「準特定屋外タンク貯蔵所」と定義している。

早期の再建が望まれる中、PC 壁と鋼製タンクの複合構造が、特定屋外タンク貯蔵所の技術基準への適合の検討や諸手続等に時間を要することから、準特定屋外タンク貯蔵所として検討が行われた。

## 4. 津波対応型燃料タンクの設計概要

### 4.1 設計方針

再建する屋外タンク貯蔵所に対する地元消防の方針は、「津波が来てもタンク内の燃料を漏らさないことで、タンク以外の配管内の燃料漏れについては除外する」というものであったため、通常では容量 1 万 kL 以上の特定屋外貯蔵タンクにしか義務付けられていない、緊急遮断弁の設置が指導された。

また、地元消防より下記の要求があった。

- 1) コンクリートの底版上に、鋼製タンクを設置する。
- 2) 鋼製タンク底板下面はアスファルトモルタルを施工する。
- 3) 鋼製タンク底部外面には漏液検知管を設置する。

燃料施設側の方針は、「鋼製タンクの腐食部補修が困難なことを考慮し、側板に腐れ代 1.5 mm を見込み、PC 壁に隠れる部分の側板も防食塗装を行う」というものであった。また、PC 壁設置後に水張試験をしても、漏れや変形が確認できないため、燃料タンク設置後、水張試験等消防検査を完了した後に PC 壁で覆うこととした。

### 4.2 PC 壁の検討内容と耐浪性

PC 壁について、次のケースの検討が実施されている<sup>5)</sup>。

- 1) 地震時、津波衝撃作用時の安定性

- 2) 津波衝撃作用時の浮き上がりに対する検討
- 3) 常時、地震時、津波衝撃、漂流物（漁船）衝突荷重作用時 PC 壁の応力検討

津波の浸水深さと流速は、復興庁から条件が提示され、燃料タンク内が空液時においても津波による浮力に対して重量で抵抗する考えに基づき、鉄筋コンクリート製の底板と PC 壁が設計された。PC 壁のプレストレス導入量は、一般の水道用 PC タンクに準じて決定しており、満液状態で壁の円周方向に  $1.0 \text{ N/mm}^2$  程度の圧縮力を確保している。プレストレスコンクリートの非線形性を考慮した解析による PC 壁の耐衝撃性は、200 t クラスの船舶が衝突したときコンクリートにひび割れが発生し、400 t クラスの船舶が衝突したときの壁頂部の変形量は 10 mm と計算された。また、船舶の衝突によって PC 壁が損傷しても、プレストレス構造の特性により残留する変形は少ない。

### 5. 津波対応型燃料タンクの施工概要

本工事の概要を以下に示す。また、概要図を図 - 2 に示す。

- 工 事 名：気仙沼市朝日町津波復興拠点燃油施設基礎  
外工事
- 発 注 者：気仙沼市（産業部 産業再生戦略課）
- 工 事 場 所：宮城県気仙沼市朝日町地内
- 工 期：2018 年 3 月 16 日～2019 年 6 月 28 日
- 工 事 規 模：有効容量 990 kL × 5 基、有効油深 10.4 m、  
PC 防護壁内径 11.056 m（鋼製タンク内径  
11.02 m）、壁厚 0.35 m

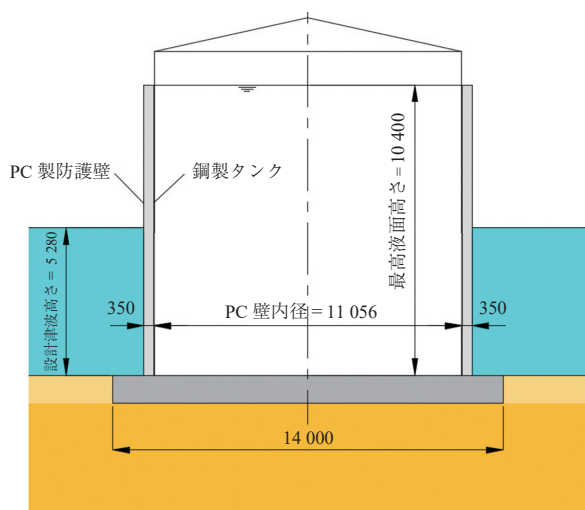


図 - 2 概要図

消防機関と協議された設計方針を踏まえ、鋼製タンクの水張試験後に水抜きせず、水が作用した側板を型枠に利用して、PC 壁のコンクリートを打ち込むこととした。しかし、PC 壁に円周方向プレストレスを導入することで、PC 壁は内側に変形するが、この変形によって、鋼製タンクの円周方向に圧縮力が発生するため、座屈に対する補強が必要となる。そのため鋼製タンクと PC 壁に隙間を設けることとした。隙間は前述した 400 t クラスの船舶衝突を想定した

壁頂部変形量の 10 mm であり、鋼製タンク外側に厚さ 10 mm の緩衝材（写真 - 2）を巻き立てた後、PC 壁を施工することとした。



写真 - 2 緩衝材の設置

また、PC 壁外側の型枠固定のため、スタッドボルトを鋼製タンクに溶接し、セパレータを取り付けたが、本タンク外面はコンクリート打放しのため、美観上、均等にセパレータを配置する必要があった。この際、PC 鋼材、鉄筋、鋼製タンク溶接部、付属物（配管など）との干渉を 3 次元 CAD 上でチェックしている（図 - 3）。その他、施工上の工夫等は文献 6）に記載されているので参照されたい。

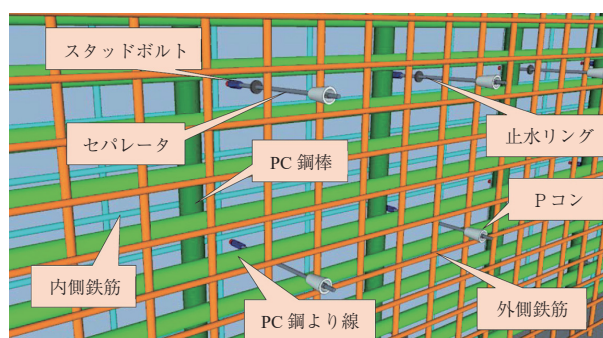


図 - 3 セパレータの干渉チェック図

### 6. おわりに

津波対策として図 - 4 に示すように、本工法のほか、タンクの基礎や防油堤を嵩上げする方法、地下に埋設する方法、洋上に設置する方法などが考えられ、それぞれに利点と課題がある。また、タンク自体に工夫を施す方法として本工法以外には、アンカーボルトなどで鋼製タンクの底板や側板を基礎に点で拘束する方法や、樹脂などで底板と基礎を面で拘束する方法、全体をコンクリートで被覆する方法などがある<sup>7)</sup>。これらのうち、本工法以外は①運用方法が変わる、②容量に制限がある、③漂流物に対する抵抗性が低いなどの課題がある。本工法はコストが高いという課題があるが、どの工法よりも安全性が高いと考える。文献 8) では、津波・防災の研究者や実務者、東日本大震災の被災地で活動する団体・企業等、50 人を超える著者が、



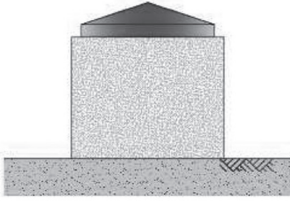
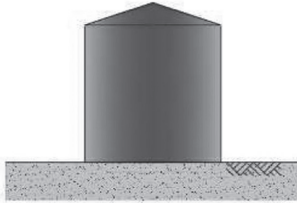


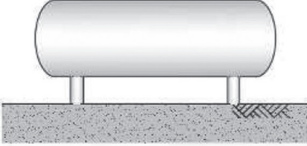

<p>PC 防護壁</p>  <p>特徴：従来の運用方法と同じ、津波、漂流物に対して強い 課題：高価。鋼製タンク外側の腐食代</p>	<p>高台に縦置型</p>  <p>特徴：建設費が安価 課題：受け入れ・払い出しにタンクローリーが必要、発電所の高台移転</p>	<p>地下埋設</p>  <p>特徴：津波に強い。 課題：容量の制限、点検保守、漏洩時の環境破壊</p>
<p>バージ船</p>  <p>特徴：受け入れと払い出しが容易 課題：点検保守、漂流物の衝突、船舶等の衝突</p>	<p>地上・横置型</p>  <p>特徴：津波に耐えた実績がある 課題：容量の制限、漂流物の衝突</p>	<p>地上・コンボルト</p>  <p>特徴：自家用給油所に適している。 課題：容量の制限</p>

図 - 4 津波対策の比較

今後の津波防災・減災のために未来に残すべきメッセージを伝えており、本工法は、同様の災害を2度と起こさないというメッセージに応えるものである。

コスト削減のため、内面の鋼板の省略が考えられる。現状PCタンクの側壁コンクリートは設計基準強度36N/mm<sup>2</sup>、水セメント比45%程度以下であり、緻密なコンクリートとなっており、そのままでも燃油に対する液密性は十分保有していると考えられるが、油分の浸透による耐久性の低下が懸念される。そのため、適切な表面保護を用いれば、鋼板は不要となり、コストが削減する。このような検討により、船の衝突を含めた津波への抵抗が高い本工法の普及が進めば、国土の強靱化に繋がると考える。

最後に、本工事を施工するにあたり、ご指導・ご協力いただきました五洋建設(株)をはじめとする関係者の皆様に謝意を申し上げます。



写真 - 3 再建された燃油施設の全景



写真 - 4 津波対応型燃料タンクの全景

参考文献

- 1) 高橋正樹：漁業の町・気仙沼を支える油槽所の再建～「津波に流されないタンク」の導入を通じた津波被災リスクの軽減～、港湾、第98巻第三号、pp48-49, 2021.3
- 2) 田山 昇, 堅田茂昌, 尾崎智洋：津波や漂流物の衝突に耐える燃料タンクの建設, 産業機械, No.841, pp18-21, 2020.11
- 3) プレストレストコンクリート技術協会：東日本大震災PC構造物災害調査報告書, 2011.12
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー144, 汚染水貯蔵用PCタンクの適用を目指して, 2016.5
- 5) 山田善政：気仙沼における津波対応型燃料タンクの建設について, 危険物保安技術協会 Safety & Tomorrow 118, pp17-28, 2019.11
- 6) 内海義紀, 瀬川陸夫：気仙沼燃油タンクの施工報告, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.128, pp.225-231, 2019.11
- 7) 総務省 消防庁 屋外貯蔵タンクの津波・水害による流出等防止に関する調査検討会：屋外貯蔵タンクの津波・水害による流出等防止に関する中間まとめ(修正後), 2021.3
- 8) 国際津波・沿岸防災技術啓発事業組合委員会：絆 津波からいのちを守るために, 2021.3

【2021年8月24日受付】