

(61) PC外槽低温貯槽の設計について

大成建設 (株) 岡本剛治
 大成建設 (株) 今井義明
 大成建設 (株) 齊藤 勉
 大成建設 (株) 宮内雅美

1.はじめに

近年、エネルギー関係の需要増大に伴い、石油化学業界、石油業界を中心に、L P G、液化エチレンのプラントあるいは供給基地の増設計画および建設の必要性に迫られている。

このような状況の中、液化ガス低温貯槽の一形式として、外槽をプレストレストコンクリート（以下、P Cと略）、内槽を金属で構成したP C外槽低温貯槽が注目を集めている。

本報は、当社が現在、ゼネラル石油 (株) 川崎工場内に建設中のP C外槽式低温L N Gタンクの設計について、その設計概念を報告する。

本貯槽の特徴として、構造的には、内槽が金属、外槽がP C製の2重殻タンクであり、P C製の外槽は、防液堤としての機能を有する。従来は貯槽より離れて設けられていた防液堤を貯槽に接近させたため、上部に金属製の屋根を設けることができ、液が直接大気に触れることを防止できるものである。

また、内容液が低温 (-4.5℃) であるため、温度荷重による影響が顕著であり、設計面においても考慮が必要となった。

2.一般構造寸法

P C外槽低温貯槽の一般構造図を図-1に示す。

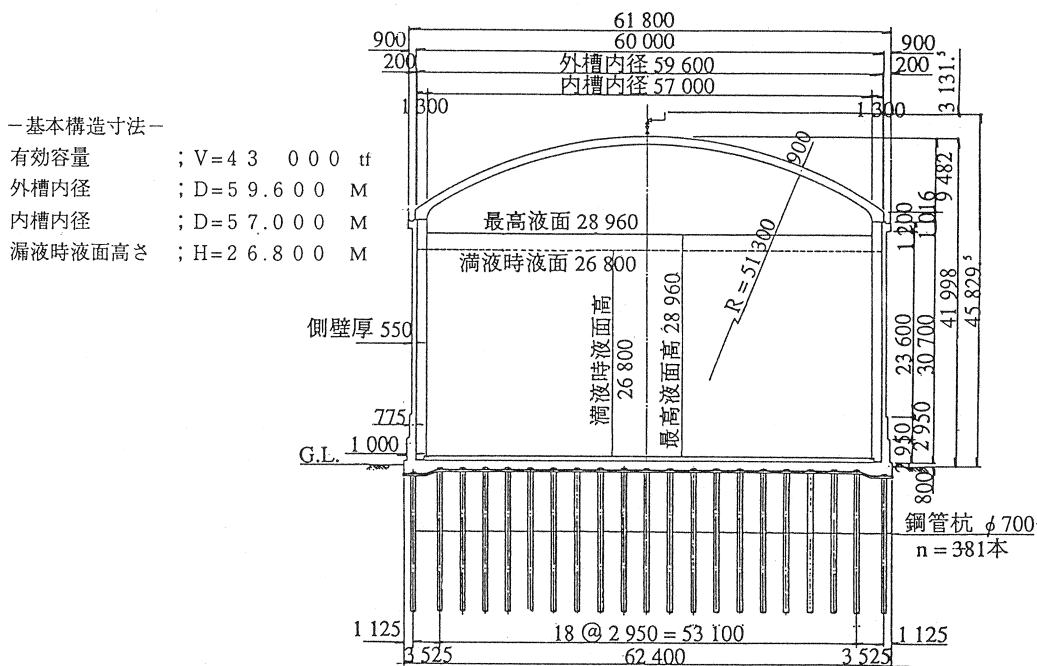


図-1 一般構造図

3.設計フロー

PC外槽の設計は、以下に示す2つのステップに分けて行う。(設計フローを図-2に示す。)

(ステップ1)

側部のPC側壁と底部の基礎スラブとに分けて行う。この場合、PC側壁の設計は円筒形のPC構造物で下端固定とし、理論解により行う。本ステップでは、主要荷重(プレストレス力、液圧、自重等)により、PC鋼材配置等を決定する。

また、上部工反力を算定し、杭の設計(杭種、杭配置)を行う。

(ステップ2)

本ステップにおける構造解析は、PC側壁と基礎スラブを一体(剛結合)のものとして、図-3に示す解析モデルを用いて軸対称回転シェルFEM解析を行う。尚、温度荷重による断面力は、コンクリートのひびわれによる剛性低下を考慮して、構造全体の剛性を1/2にして算定している。

また、温度荷重については、PC側壁と基礎スラブを一体としたモデルに対して、熱伝導解析を行う。

3.設計検討

設計検討は、PC側壁及び基礎スラブとも1)許容応力度法による設計、2)終局耐力の検討をそれぞれ行った。

1)許容応力度法による設計

以下の5ケースについて検討する。

1. 通常運転時
2. 温度荷重作用時
3. 試験時
4. 地震時
5. 漏液時

設計上、PC側壁は、上記荷重組合せケースのうち、1~4にたいしては、PC構造として考える。すなわち、プレストレスを考慮して、コンクリートに生じる圧縮応力度、引張応力度がそれぞれ許容値を満足するように設計し、これにより側壁コンクリートのひびわれ発生の確率を小さくして、長期使用状態における部材の耐久性を高めた。

また、5.漏液時に対しては、PRC構造として設計する。これは、漏液時には、漏液圧に加えて、低温液化プロパンによりコンクリートに大きな温度応力が発生するため、漏液時に対してもPC構造として設計するこ

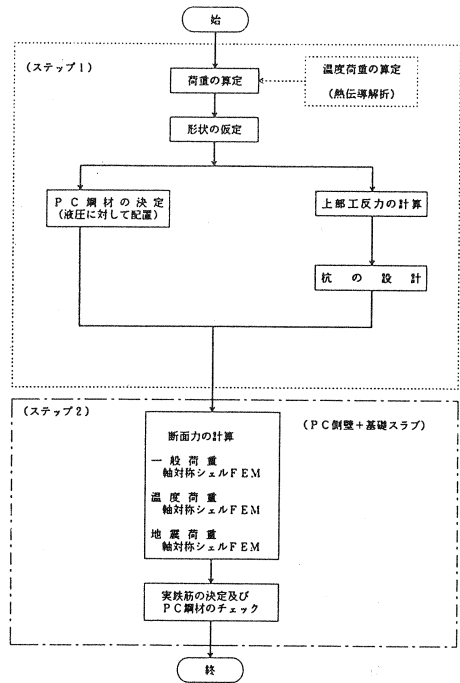


図-2 設計フロー

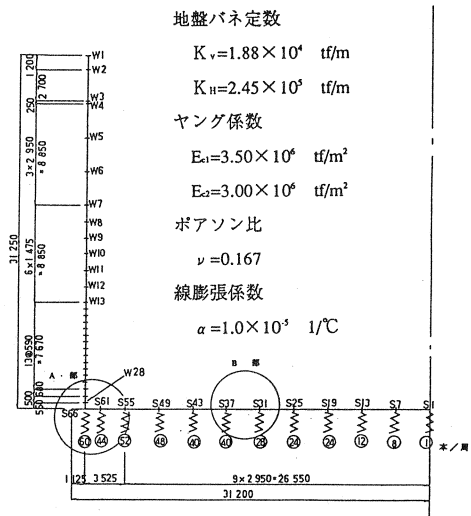


図-3 構造解析モデル

とは、むしろ不経済な設計となるからである。したがって、コンクリートの引張強度を無視し、プレストレスを考慮したRC計算（PRC構造として計算）を行って鉄筋量を算定し、この鉄筋で対処するものとする。この場合、PC側壁の内側表面にひびわれの発生を許した設計となるが、貫通ひびわれになることはなく、液密性は保持されると考えられる。

尚、基礎スラブについては、荷重組合せケースの全ケースに対して、通常のRC構造として設計を行う。

2) 終局耐力の検討

PC側壁及び基礎スラブとも以下の2ケースの異常時について安全性を確保する。

1. 漏液+地震時；漏液時にさらに地震力を受ける状態
2. 漏液直後；静液圧の2倍の液圧を受ける状態

本PC外槽の耐震設計にあたっては、以下に示す状態において地震を受けた場合にも、機能を損なわず安全であるように設計を行った。

- ①地震時；PC外槽は地震時に躯体の慣性力を受ける。
- ②漏液後地震時；内溶液が貯槽より漏れてPC外槽が満液となった場合、地震時に躯体の慣性力及び動液圧を受ける。

PC外槽の耐震設計は、貯槽の場合と同様にPC外槽の応答を計算した上で、「高圧ガス設備等耐震設計基準」に準じて、設計震度を設定し、これに伴う慣性力や動液圧等の地震荷重の算定を行い、応力計算を実施して、貯槽と同等以上の安全性を有するように設計している。

また、②の場合については、神奈川県「平底円筒形可燃性ガス低温貯槽設置基準」に準じ、①の場合の設計震度を1/2にして解析を行った。

4. PC鋼材配置

漏液時に、PC側壁には、内容液による静液圧によりフープテンションが発生する。従って、発生するフープテンションを打ち消すために、円周方向プレストレス力が必要となる。一般の水道用タンクでは、余裕圧縮力として10 kgf/cm²を考慮するが、本件においては、温度荷重による影響を考慮して余裕圧縮力の更に15%程度の割増しを考慮した。

上記の理由で円周方向プレストレスを導入するため、静液圧が作用しない場合には、図-4に示すようにPC側壁付根に外側引張となる鉛直方向曲げモーメントが発生する。そこで、一般の水道用タンクでは、部材厚を変化させることで、軸線を変化させ、外側引張に対処している。

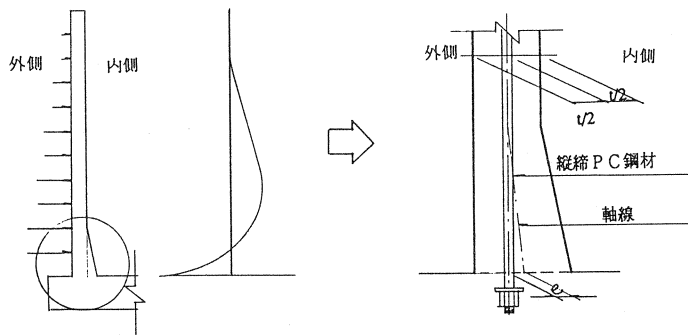


図-4 鉛直方向曲げモーメント及び軸線の変化

しかしながら、本件においては、図-5に示すように通常時(温度荷重なし)と、通常時(温度荷重作用時)、漏液時(夏)で鉛直方向曲げモーメントによって引張応力が異なった側で発生する。そこで、図-6に示すようにPC鋼材を軸線配置し、PC鋼材による圧縮力のみで抵抗することとした。

なお、本件においては鋼材の低温特性および導入力を考慮し、PC鋼材としては、PC鋼より線を使用した。定着工法は、VSL工法で、特に鉛直方向の定着工法は、Lタイプ(ループ定着)を採用した。(図-7)

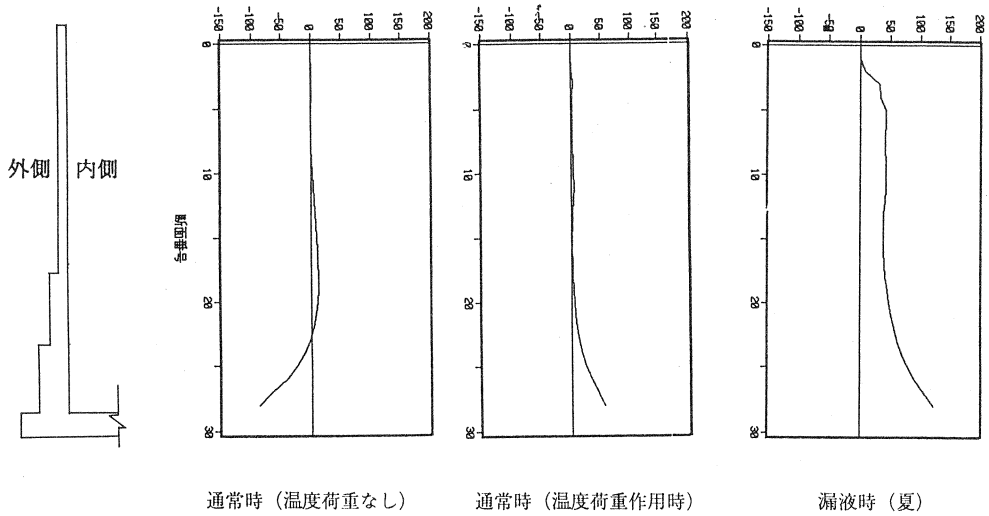


図-5 断面力図(鉛直方向曲げモーメント; 単位 tm/m)

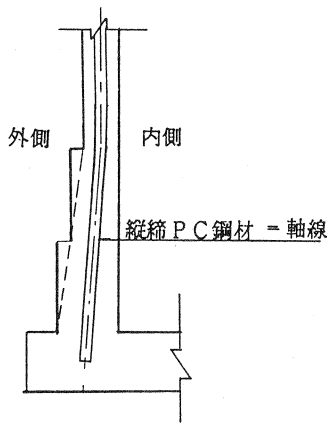


図-6 PC鋼材配置図

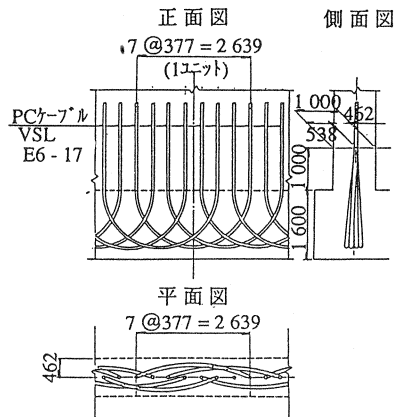


図-7 ループ定着

5. 今後の課題

今後の課題として、温度荷重に対する断面剛性の評価方法がある。本件においては、断面剛性を1/2にすることで対処したが、今後は、材料の非線形性を考慮した温度解析を行い、剛性を評価する必要がある。