

PC タンクの耐震技術

吉岡 民夫*1・横山 博司*2

1. はじめに

PC タンクとは、その強度と内容物保護のためにプレストレスを導入した、一般にはシェルや版から構成されるコンクリート構造物であって、その水平および鉛直断面の形状（円、矩形、楕円、卵形等）、内容物（液体、粒状物、汚泥、危険物等）、設置場所（高架、地上、地中、地下）、使用目的（貯蔵、遮蔽、消化、圧力調整等）などにより、多岐多様である。よって、おのずとその要求される耐震性能も異なる。また、その主たる荷重が異なると、その破壊モードも異なってくるため、耐震計算法も異なってくる。

そもそも PC タンクが地震で被災した例は極めて少ない。宮城県沖地震で山の上に位置した小型のタンクが崩壊したことがある。これはコンクリート壁の表面に PC 鋼材を配置し、緊張後モルタルを吹き付けた特殊な構造であり、モルタルの吹付け技術の欠陥や中性化により、多くの PC 鋼材が既に腐食しており、地震による僅かな荷重増加でも崩壊する状況にあった。また、兵庫県南部地震では、2つの PC タンクが被災した。その一つは震央から遠く離れた古いタンクで、タンク側壁脚部にひび割れが発生し、内溶液が緩慢に流出したものである。その後の調査で、設計上の問題があったことが明らかになり、この場合も地震による僅かな荷重増加でひび割れが発生したものと考えられる。もう一つは淡路島の北淡町に位置する物で、周辺の人家はほぼ崩壊した、震度7地域である。このタンクには、鉛直方向のひび割れが発生し、緩慢な漏水があった。ただし、このタンクは地震以前からひび割れからの漏水があったとのことで、円周方向プレストレスが不足していたことは明らかである。他に200以上のタンクを調査したが、せいぜい雨樋が破損した程度で、ほとんど構造本体には被害はなかった¹⁾。このように、地震により被災したタンクはすべて

問題のあったタンクで、主たる部材がシェルや版から構成される PC タンクは、本来耐震的な構造物であるといつて良いようである。

1.1 断面形状

一般に、タンク構造物はシェル構造や版構造もしくはその組み合わせで作られるために、薄いコンクリート部材の中に PC 鋼材を配置することとなる。よって、偏心を取ることが難しく、軸力でプレストレスを導入する。とくに軸引張力が卓越するシェル構造の場合には、薄い部材であり軸力によるプレストレスを効率的に導入することができる。このようにシェル構造には、プレストレスを有効に作用させることができることより経済性に優れる。

一般に、その水平および鉛直断面が円に近いほど軸引張力が卓越し、矩形の隅角部ではモーメントが卓越することとなる。

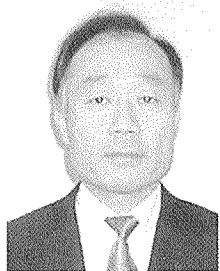
軸引張力によりひび割れが発生した場合、そのひび割れは断面を貫通する危険性があるため、ひび割れ幅もしくは残留ひび割れ幅は制限されなくてはならない。一方、曲げモーメントが卓越する場合、その圧縮領域のためにひび割れが貫通することはない。しかるに、地震時のようにモーメントが交番する場合には、ひび割れが貫通するかどうかについての検討が必要である。

1.2 内容物

PC 容器構造物（ただし原子力遮蔽構造物は除く）の耐震設計における大きな特徴は、上述したように、薄い壁や版で構造物が形成されるために、その躯体慣性力は小さいことである。問題は、中に入っている内容物が地震時にどのような質量効果を発揮するかである。

液体の場合、Housner 理論や速度ポテンシャル理論により、地震時に発生する付加的な動液圧を評価することは容易である。解析的に求められている解は、液体を遮断する壁が剛体とした場合の解であるが、一般に、シェル構造などでは、地震時の変位は小さいと考えられ、とくに壁の変位が動液圧に与える影響を正確に考慮する必要はないと考えられる。有限要素法を用い、内容物も液体要素として評価し、必要な境界条件を与えて動的解析を実施すれば、壁の変形をも考慮した動液圧を評価することも可能である。また、上記の理論にしたがって、内容物を等価な質量で評価し、壁の質量に付加することにより、動的解析を実施することもできる。

動液圧の現象で重要なのは、動液圧が、地震の短周期成分に応答する衝撃圧と、地震の長周期成分に応答する振動圧に区分され、それらは同時には作用しないということである。衝撃圧とは、自由表面にほとんど波立つことなく、



*1 Tamio YOSHIOKA

オリエンタル建設(株) 技術研究所
主席研究員

*2 Hiroshi YOKOYAMA

(株)安部工業所 技術本部
副本部長

液体の質量が側壁に作用する圧力をいい、その値は、自由表面では0で、ある液深より深くなると一定値となる。一般に、高架もしくは地上のPCタンクの耐震設計において、支配的な地震時荷重である。一方、振動圧とは、自由表面の波立ちに起因する動液圧で、自由表面で最大となり、液深が大きくなるにつれ急激に小さくなる。自由表面の固有周期はおおむねその径によってきまり、 \sqrt{D} (D : 内径, m) より少し小さい程度で、数秒のオーダーである。そのように長い周期の波はあまり多くは地震には含まれておらず、地震の後半から終了後に応答し、ゆっくりと波立つ現象をいう。よって、慣性力は小さく、問題となるのは液面動揺(スロッシング)である。新潟地震で石油タンクが発火し、長時間火災にさらされたが、これはスロッシングにより浮屋根が動揺し、側壁に衝突してスパークし、発火したと考えられている。

石炭やセメントは粒状物であって、液体とはまったく異なる挙動を示す。粒状物の地震時の挙動については、いまだよくわかっていないといえるであろう。たとえば、通常の使用状態において、サイロ下端から内容物を排出すると、アーチアクションにより内部に空洞が形成され、それが崩壊して衝撃的な荷重となることがわかっている。これらの現象が地震時にどのように質量効果を発揮するかが定かではない。有限要素法を用いて、内容物を等価質量とばね定数でモデル化し、動的解析することなどが試されている²⁾。

1.3 設置場所

PCタンクは、高架、地上、地中および地下に設置されることがある。高架タンクでは、高架水槽部の質量を評価してやれば、あとは普通の橋脚などと同じように耐震設計することができる。PCタンクで最も多いのは地上タンクで、内容物が地震時にどのように挙動するかが耐震設計上最も重要な問題である。地下タンクでは土圧が主たる荷重であるため、コンクリート部材では圧縮力が卓越するため、プレストレスを導入することは少ない。

円筒形のタンクでは、地震作用方向と直角位置において、地震時に大きな面内せん断力が発生する。通常の形状の水道用円筒形PCタンクで、鉛直方向に十分なプレストレスが導入されている場合、満水状態では鉛直方向プレストレスに起因する圧縮応力が作用しているため、この面内せん断力に起因する最大主応力(引張応力度)がコンクリートの引張強度を超えることはまれで、実務的にはこの検討はあまり重要ではない。一方、地震時土圧が主たる荷重である地下タンクでは、この面内せん断力が最もクリティカルになる可能性が高い。このように、タンクの設置位置によって考慮すべき荷重が異なり、その結果破壊モードも異なるため、それぞれ異なる耐震設計手法を採用しなくてはならない。

1.4 耐震性能

水道用PCタンクでは、後述するように、崩壊による急激な漏水をさけることと、地震後に貯水機能を維持することが求められている。一方、農業用タンクでは、後者は求められていない。また、危険物を貯蔵するタンクでは、当然一滴の危険物も外部に漏洩することは許されない。この

ように、同じPCタンクであっても、要求される耐震性能が異なる。

兵庫県南部地震の場合、配水池はほとんど被災しなかったが、配水網が被災し、結果として給水することはできなかった。また、このような直下型の地震で、被害が狭い範囲に限定される場合、周辺からの緊急水の支援が容易に得られるので、直下型地震に対して貯液性を要求する必要はないかもしれない。一方、海洋型の地震の場合は、広域で被災するため、周辺からの支援を期待できないと考え、貯液性を維持することが重要と考えられる。このように、耐震性能についても、使用目的や対象地震によって異なることがわかる。

1.5 容器構造物の耐震設計概念と耐震計算法

シェルや版から構成される容器構造物の耐震設計をどのように行うべきかについては、十分な議論が尽されているとは考えがたい。たとえば、農業用タンクでL2地震を考慮すべきかどうか議論されたが、兵庫県南部地震の直後ということもあって、結果としては考慮することとなったが、今後の議論が待たれるところである。

兵庫県南部地震の被災後に改定された現在の水道用タンクの耐震設計では、エネルギー一定則を適用しているが、エネルギー一定則とはそもそも一質点系にモデル化できる構造に適用すべき考え方であって、シェルや版構造に果たして適用可能かどうかは議論が必要なところであろう。

この種の複雑な構造において非線形動的解析を用いて設計することは効率的ではなく、安全側の評価であることを確認して、エネルギー一定則を適用しているものである。しかし、現状の耐震設計はPCタンク地震時挙動を正確に把握したものではないことは確かである。

今後の耐震計算法として期待されるのが、等価線形化法による線形動的解析の導入であろう。一般のPCタンクの固有周期はほぼ0.1秒以下と考えられ、剛体としての挙動を示しやすいが、ひび割れにより剛性が低下した場合、長周期化し応答が増大する可能性が高い。ただし、等価剛性をどのように評価すべきかについては、未知の部分も多く、今後の研究が待たれるところである。

2. PCタンクの耐震設計の実際

2.1 PCタンクの特徴と機能

貯水に用いられるプレストレスコンクリート製円筒形タンク(以下PCタンクと記す)は、一般にドーム形式の屋根、側壁および底版からなっている(図-1参照)。通常PCタンクは、側壁のみがプレストレスコンクリート(PC)製で、屋根および底版は鉄筋コンクリート(RC)製である。円筒状の側壁には、図-2に示すように側壁に作用する静水圧とバランスする円周方向プレストレスを与えるPC鋼材が配置されている。そして、側壁鉛直方向にもPC鋼材が配置されているのが一般的である。

貯水用PCタンクの用途としては上水、農水などがある。現在、PCタンクは、それぞれ「水道用プレストレスコンクリートタンク設計施工指針・解説」³⁾(以下PCタンク指針と記す)、および「土地改良事業設計指針 ファームボン

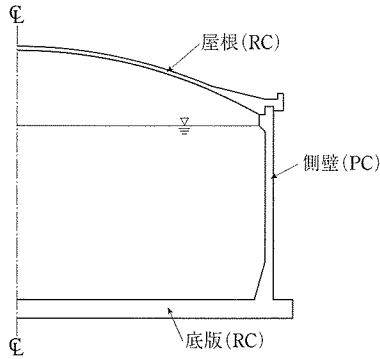


図 - 1 PC タンク一般形状図

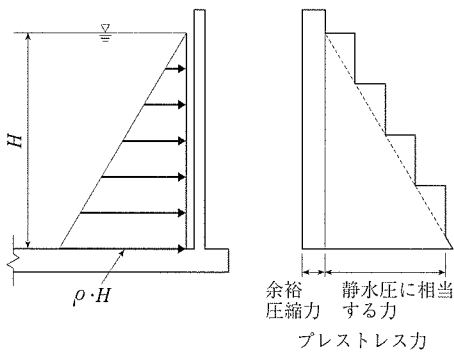


図 - 2 荷重バランス法

ド」⁴⁾ (以下 PCFP 指針と記す) に従い設計・施工されている。両指針共に実績を配慮して適用範囲を 30 000 m³ 以下の容量としている。PC タンク指針では、一般的な形状の PC タンクを“直径に対する水深の比が 1 程度以下のもの”としている。

現在の耐震設計においては、施設の供用期間中に 1～2 回発生する確率を有する地震動レベル 1 (L1)、および発生確率は低いが大きな地震動レベル 2 (L2) が考慮される。PC タンクが地震時に保有すべき耐震水準はそれぞれ表 - 1、表 - 2 に示すとおりである。基本的な耐力性能は同じであるが、PC タンク指針ではライフラインの重要度を配慮し、L2 において“PC タンクの機能保持”すなわち貯水機能保持が規定されている。

以下の PC タンクの耐震設計では“L2 での機能保持”を

表 - 1 地震時に保有すべき耐震水準 (PC タンク指針)

地震動レベル	耐震水準
地震動レベル 1 (L1)	無被害であること。
地震動レベル 2 (L2)	人命に重大な影響を与えないこと。 PC タンクに軽微な被害があっても、PC タンクの機能保持が可能であること。

表 - 2 地震動レベルと耐震性能 (PCFP 指針)

地震動レベル	目標とする耐震性能
レベル 1 地震動	地震後も機能は健全で、補修をしないで使用可能。
レベル 2 地震動	ファームポイントに、水密性を阻害するようなひび割れや目地の開きが生ずることは認めるが、内容水の急激な漏洩による二次災害が発生し、構造物が崩壊するようなことがあってはならない。

規定している PC タンク指針に従いまとめて示す。

2.2 従来の耐震設計と現状

当初、PC タンクは、基本的に 1955 年に土木学会より発行された「プレストレストコンクリート設計施工指針」に基づいて設計されていた。そして、1978 年宮城県沖地震を契機として「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」(PC タンク仕様書) が国内で初めて PC タンクに関する設計施工指針として、1980 年に日本水道協会から発行された。それ以降の PC タンクは、基本的に本仕様書に基づいて設計された。本仕様書での耐震設計は震度法を基本としており、設計水平震度 0.2～0.3 で設計された⁵⁾。

1995 年の兵庫県南部地震により多くの構造物が予想を上回る多大な震災を受けたことにより、各種耐震基準が見直された。本地震による PC タンクの被災は、以下の理由により他の構造物と比較して軽微ではあった。

- 1) 構造物の固有周期が 0.1 秒以下で非常に小さい。
- 2) 耐震的な軸対称の壁体構造である。
- 3) 自重が軽く躯体慣性力の影響が小さい。

しかし、本地震は、従来にない 1G を超える応答加速度を提起するものであり、PC タンクに関する耐震設計も見直しがなされた。その結果、PC タンク仕様書が改訂され、PC タンク指針が日本水道協会から 1998 年に発行された。本指針では、塑性変形能力を考慮した耐震設計法が示され、PC タンクが保有すべき耐震水準が 2.1、表 - 1 で示したように規定され現在にいたっている。

2.3 現状の耐震設計

(1) 設計概要

PC タンク指針で示されている適用範囲の PC タンクの設計は、図 - 3 に示される設計フローに従い設計される。部材の安全性は、常時に関しては許容応力度法により確認し、地震時については地震時に保有すべき性能確保を耐震水準照査により確認する。PC タンクの耐震設計は、地震動レベル 1 および 2 に対して震度法が用いられる。設計震度は、

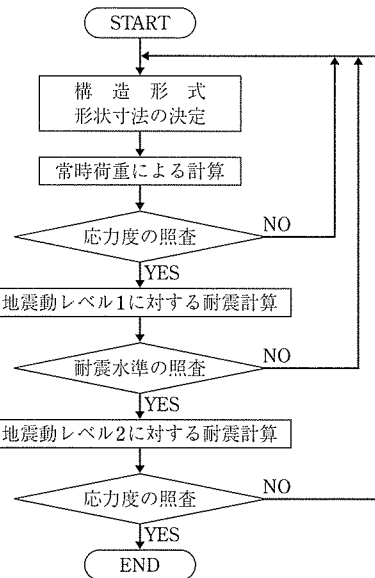


図 - 3 PC タンク設計フロー

地盤種別、PC タンクの固有周期などに応じて求められる。PC タンクの満水時固有周期は飯島・萩原の式⁶⁾により計算される。

耐震設計における断面力解析は、地震動レベル 1 および 2 共に薄肉シェル構造弾性解析を基本としている。これは、とくに地震動レベル 2 において、コンクリートのひび割れおよび変形の非線形性を考慮するが、PC タンクの機能保持を考えれば、断面の一部にひび割れが発生してもコンクリートの全断面を有効として弾性解析によって断面力を算出してよいとの判断による。

(2) 考慮すべき地震の影響

PC タンクの耐震設計で考慮すべき地震の影響としては以下のものがある。

- 1) 地震時の地盤の変位およびひずみ
- 2) 構造物の自重などに起因する慣性力
- 3) 地震時土圧
- 4) 地震時動水圧
- 5) 水面動揺
- 6) 液状化による地盤の側方流動
- 7) 傾斜した人工改変地盤における地盤ひずみ

PC タンクの適用範囲を考慮すると、一般的には、2) 構造物の自重などに起因する慣性力、4) 地震時動水圧が具体的に考慮すべき影響となる。地震時動水圧を算定する方法としては、Housner 法と速度ポテンシャル法が代表的である。

PC タンクに作用する地震時圧力として、弾性変形に起因する圧力やロッキングによる圧力も考えられるが、一般形状の PC タンクでは影響が小さいことより無視してよいとされている。

そして、PC タンクにおいて、長期に空水状態が続くことはないことより、安全性を照査するのは満水時のみでよいとされている。

(3) 地震動レベル 1 (L1) に対する安全性照査

L1 に用いる設計水平震度(Kh_1) は次式により求められる。

$$Kh_1 = C_s \cdot Kh_{01}$$

ここに、

C_s ; 地域別補正係数

Kh_{01} ; 構造物の重心位置における基準水平震度(0.2~0.3)。PC タンクの固有周期、地盤種別などにより定まる

L1 における“無被害であること”という耐震水準を満足することの確認は、具体的には、地震時に発生する断面力を算定し、これにより発生する応力度が、地震時許容応力度(ひび割れが発生しない許容引張応力度)以下であることを確認することにより照査される。

なお、鉄筋が連続していない目地を有するプレキャスト部材を用いる場合には、目地部には引張応力が発生しないように設計する必要がある。

(4) 地震動レベル 2 (L2) に対する安全性照査

L2 に用いる設計水平震度(Kh_2) は、0.3 を下回らないものとし、次式により求められる。

$$Kh_2 = C_s \cdot Kh_{02}$$

ここに、

C_s ; 構造物特性係数で、構造物の応答による減衰と靱性による塑性変形能力の程度において適切に定める係数。一般形状の PC タンクにおいては、 $C_s=0.45$ と定められている。

Kh_{02} ; 構造物の重心位置における基準水平震度。PC タンクの固有周期、地盤種別などにより定まる。

たとえば、固有周期 0.1 秒、I 種地盤の場合、 $Kh_{02}=0.8$ となる。よって、この場合には $Kh_2=0.45 \times 0.8=0.36$ となる。

L2 における“人命に重大な影響を与えない”という耐震水準は、PC タンクが崩壊しないこと確認することにより照査される。すなわち以下の判定により照査する。

$$\text{円周方向について } Q_a / Q_{hc} \geq \gamma_i$$

$$\text{鉛直方向について } M_{ad} / M_d \geq \gamma_i$$

ここに、

Q_a ; 部材保有設計円周方向引張耐力

Q_{hc} ; 地震時発生円周方向軸引張力

M_{ad} ; 鉛直方向設計曲げ耐力

M_d ; 地震時発生鉛直方向曲げモーメント

γ_i ; 構造物係数 (=1.0)

そして、L2 における“PC タンクの機能保持が可能”という耐震水準は、L2 地震動後において PC タンクの水密性が確保されることを確認することにより照査される。本件は、円周方向応答ひずみが円周方向許容ひずみより小さいことを確認することにより照査できる。円周方向許容ひずみには、一般に鉄筋の降伏ひずみが用いられる。円周方向応答ひずみは、図 - 4 に示す、バイリニアリーの円周方向の

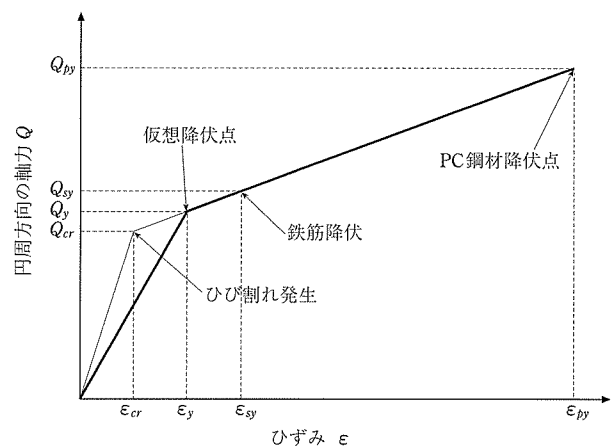


図 - 4 円周方向の軸力—ひずみ曲線図

軸力とひずみとの関係曲線より求められる。

現状の PC タンク耐震設計の特徴は、この“L2 における PC タンクの機能保持”とその照査である“円周方向応答ひずみが円周方向許容ひずみより小さい”にあると考えられる。

ここに示す L2 の規定にあたっては以下の事項が検討されている。

- ① レベル 2 クラスの地震外力に対する線形動的解析；

10 000 m³ のモデルタンクに対して、内容水を軸対称液体要素、ドーム屋根および側壁を軸対称シェル要素とし、内容水と側壁の連成を考慮したモデル化を行い、神戸 NS (1995 年、最大加速度 818 gal) の地震波を入力し、線形時刻歴応答解析が行われた。側壁の変形が最大となる時刻におけるタンクの変形図を図 - 5 に示す。

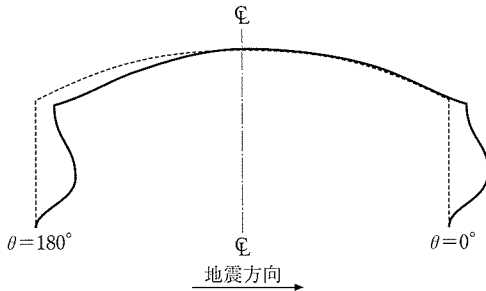


図 - 5 線形動的解析 変形図 (変形最大時)

② レベル 2 クラスの地震外力に対する非線形静的解析；
①と同形状の 10 000 m³ のモデルタンクに対して積層シェル弾塑性解析が行われた。シェル厚方向に 8 層に分割し、コンクリート、PC 鋼材および鉄筋の材料非線形が考慮された。荷重については、常時荷重を初期に作用させ、動水圧等の地震時水平荷重を分布荷重で表現し、これを逐次増加させながら 2G 相当の地震に対する荷重まで増加させた。このときの側壁上端位置における荷重－変位関係を図 - 6 に示す。

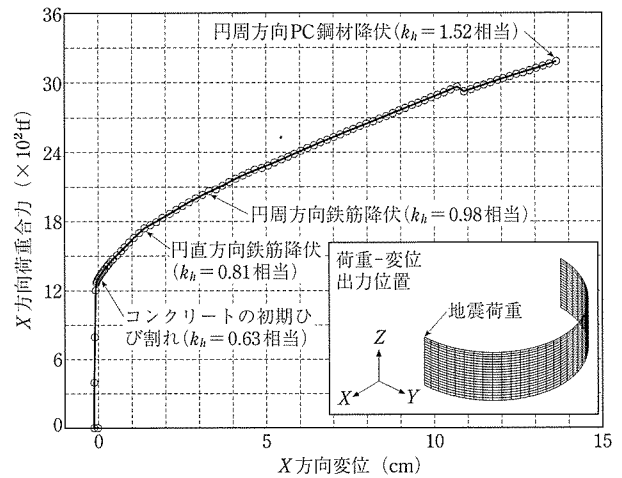


図 - 6 非線形静的解析 側壁上端の荷重－変位関係

上記の①、②の結果に基づき図 - 4 に示す円周方向の軸力とひずみの関係が定められている。

2.4 現状における耐震設計の課題

現状の PC タンク耐震設計特性は L2 における耐震水準とその照査方法にあると考えられる。

本 L2 照査方法による、水深 H と直径 D との比 $H/D = 0.3$ で壁厚 $t = 0.25$ m の側壁下端固定工法の 3 000, 5 000 および 10 000 m³ の PC タンク試算結果を表 - 3 にまとめて示す。

この表より以下のことがわかる。

- 1) 容量が大きいほど地震時の安全性に対する余裕は少なくなる。

表 - 3 地震動レベル 2 試算結果

試算タンク基本データ					
タンク形状 ^{*1)}			タンク固有周期 T (sec)	レベル 2 設計水平震度	
容量	内径	水深			
3 000 m ³	23.8 m	6.8 m	0.036 m	0.36	
5 000 m ³	28.2 m	8.1 m	0.046		
10 000 m ³	35.5 m	10.2 m	0.064		
鉛直方向曲げモーメントに対する検討					
タンク形状	断面力 kN・m/m	設計曲げ耐力 kN・m/m	安全率 γ	判定 ≥ 1.0	
3 000 m ³	12.254	151.797	12.4	OK	
5 000 m ³	27.399	163.528	6.0	OK	
10 000 m ³	55.33	184.919	3.3	OK	
円周方向軸引張力に対する検討					
タンク形状	断面力 kN・m/m	設計引張耐力 kN/m	安全率 γ	判定 ≥ 1.0	
3 000 m ³	194.017	615.501	3.2	OK	
5 000 m ³	289.899	691.367	2.4	OK	
10 000 m ³	481.506	1 206.614	2.5	OK	
円周方向応答ひずみに対する検討					
タンク形状	弾性応答軸引張力 Q_e (kN/m)	部材の仮想降伏荷重 Q_y (kN/m)	応答ひずみ ϵ_r	許容ひずみ ϵ_m	判定 $\epsilon_r \leq \epsilon_m$
3 000 m ³	431.148	701.211	— ^{*2)}	0.001405	OK
5 000 m ³	644.22	712.144	—	0.001405	OK
10 000 m ³	1 070.012	787.259	0.000900	0.001405	OK

*1) タンク形状は、水深／内径 ≈ 0.3

*2) 弾性応答軸引張力 Q_e が、仮想降伏加重 Q_y 以下であるため、応答ひずみの算定は省略。

- 2) 鉛直方向の曲げ破壊耐力より円周方向の軸引張耐力の方が安全性に対する余裕が小さい。
- 3) 10 000 m³での円周方向軸引張耐力の安全率は2.5である。この安全率に対する評価が必要である。L2に対して2.5の安全率は大きいとの判断もできる。
- 4) 円周方向の応答ひずみに関しても許容ひずみに対して余裕がある。5 000 m³以下では応答ひずみは図-4に示す仮想降伏ひずみに達しない。

限られた形状の3例の試算であり、本結果より全体的性状を推定することはできない。しかし、現状のL2に対する照査に関してPCタンクは安全性に対して余裕がある傾向はあると考えられる。

これは、図-3に示すPCタンクの設計フローにおいて一般的なPCタンクであれば、常時荷重により断面、PC鋼材配置などが決定され、耐震設計でそれらに変更されることがほとんどないことによると思われる。また、このことは、2.2で述べたように、“兵庫県南部地震によるPCタンクの被災は他の構造物と比較して軽微ではあった”ことの証でもある。

L2において鉄筋が降伏ひずみに達していないこと（機能保持）が検証されていれば耐力の安全性は確保されていると考えられる。よって、L2における機能保持と耐力の両事象検証の必要性にも疑問もたれる。

これらは、現状のL2照査においてPCタンクの地震時挙動が正確に捉えられていないことによると考えられる。

PCタンク指針には、“複雑な形状や構造を有するPCタンクの耐震設計では、動的解析、非線形特性を考慮した解析の必要性と、一般的なPCタンクでは震度法による設計

で十分である”ことが示されている。しかし、PCタンクに関して複雑な場合における動的非線形解析の実施例はほとんどないと思われる。また、一般的なPCタンクに関して動的非線形解析で地震時挙動、破壊性状を確認した例も数例と思われる。

少ない一般的な形状の動的非線形解析においては、PCタンク指針での照査方法よりも円周方向応答ひずみが小さく、PCタンクは耐震性が高いことが示されている⁸⁾。しかし、一般的な場合の検討例も少なく、特殊な場合の検討例がほとんどないことより、PCタンクの耐震性状を明確するには今後の検討に期待するものである。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：兵庫県南部地震PC構造物震害調査報告書，1995
- 2) 土木学会コンクリート技術シリーズ34：コンクリート構造物の耐震性能証査—検討課題と将来像—，2000
- 3) 日本水道協会：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，1998.5
- 4) 農林水産省構造改善局建設部：土地改良事業設計指針 ファームボンド，1999.3
- 5) 横山，西尾：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，pp.66～70，2000
- 6) 飯島，萩原：円筒シェル水槽の耐震計算について，土木学会誌44巻10号
- 7) プレストレストコンクリート技術協会：PC構造物の耐震設計の現状，1999.2
- 8) 小林，西尾，秋山，鈴木：レベル2地震動を考慮したプレストレストコンクリート製タンクの耐震安全性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.1147～1152，2001

【2002年9月20日受付】



刊行物案内

Seismic Design Code for Prestressed Concrete Structures

(April 2002)

頒布価格（会 員）：1,000 円（送料 400 円）

（非会員）：1,200 円（送料 400 円）