



★ 業務紹介 ★

地下タンク貯蔵所のタンク室等躯体に係る 構造計算書作成上の留意点

土木審査部

1 はじめに

近年、震災等に備え、非常用発電設備を長時間運転することができるように、地下タンク貯蔵所の容量を増加し、その際に建物敷地の制約等からタンク室が地下深く設置されたり、また維持管理の容易さ等からタンク室の上部と地盤面の間に地下空間を設けたりと、地下タンクの設置形態が多様化しています。

こうした背景を受け、平成30年4月27日付け消防危第72号通知及び同日付け消防危第73号通知が発出されました。

72号通知は、タンク室上部に地下空間を有する地下タンク貯蔵所に関する執務資料であり、73号通知は、地下タンクとタンク室の一般的な構造例が示された平成18年5月9日付け消防危第112号通知の改正通知です。

これらの通知では、次のような記載があります。

- 「地下深くに設置されるタンク室や上部に地下空間を有するタンク室等は、112号通知で示す構造例では想定していない設置形態であるため、タンク室については、個別の設置条件に応じた構造計算等により、地下タンク貯蔵所の技術基準に適合していることを確認する必要がある。この際は、平成17年3月24日付け消防危第55号通知を参考にするとともに、必要に応じ第三者機関の評価資料を活用されたい。」

こうした通知の発出を受け、当協会では、縦置き円筒型地下タンクのみならず、タンク室上部に地下空間を有する横置き円筒型地下タンクのタンク室等躯体の構造安全性も対象として、平成30年5月より、新たな地下タンク評価業務を開始しました。

これまでの申請案件をみると、タンク室等躯体の構造は、建築系の設計者がビル等の建築物と併せて設計しており、設計者が地下タンク貯蔵所における消防法令上の技術基準を十分把握していないため、設計書の修正を求めるケースが多かったです。

これまでに依頼した設計書の修正点を振り返ると、その内容は、ある程度同じ傾向にあります。

本稿では、これまでの評価実績から、タンク室等躯体の構造計算書内で特に多くみられた修正点について紹介し、構造計算書作成上の留意点として分かりやすく解説することとします。

2 タンク室に関する消防法令上の技術基準

本機関誌 (Safety&Tomorrow) の192号 (9月号) でも紹介しましたが、タンク室に関する消防法令上の技術基準は、危規則第23条の4及び危告示第4条の50において、次のように規定されています。

【危規則第23条の4の概説】

- タンク室の構造は、当該タンク室の自重や水圧・土圧等の「主荷重」と地震の影響等の「従荷重」によって生じる応力及び変形に対して安全であること。また、「主荷重」及び「主荷重と従荷重の組合せ (主荷重+従荷重)」により生じる応力は、許容応力以下でなければならない。

【危告示第4条の50の概説】

- 主荷重に対して：(鉄筋) = 材料の規格最小降伏点 (又は0.2%耐力) の60%の値
(コンクリート) = 設計基準強度 (21N/mm²以上) を3で除した値
- 主荷重+従荷重に対して：上記のそれぞれの許容応力度に1.5を乗じた値

このように、消防法令においては、タンク室等躯体に使用する材料（鉄筋・コンクリート）に発生する応力（発生応力）が、鉄筋及びコンクリートのそれぞれが持つ強度から求める許容応力以下であることを確認する方法とされています。

【消防法令上の確認項目】

鉄筋及びコンクリートのそれぞれにおいて

$$\text{発生応力（単位：N/mm}^2\text{）} \leq \text{許容応力（単位：N/mm}^2\text{）}$$

上記内容を少し分かりやすく解説します。

一般的に、鉄筋を配したコンクリート（鉄筋コンクリート）構造物は、構造計算する際に、奥行き1m幅の「梁（はり）」に見立てて（モデル化して）、安全性を検討することがあります。地下タンク貯蔵所のタンク室等躯体も同様に、壁やスラブを梁にモデル化し、構造計算を実施する場合があります。

図1に、梁にモデル化した鉄筋コンクリート構造物のイメージ図を示しますが、荷重（外力）を受けると、構造体にひずみが生じ、構造体内部に、曲げモーメント（単位：kN・m）という断面力（内力）が発生します。同時にせん断力等も発生しますが、ここでの解説は省略します。

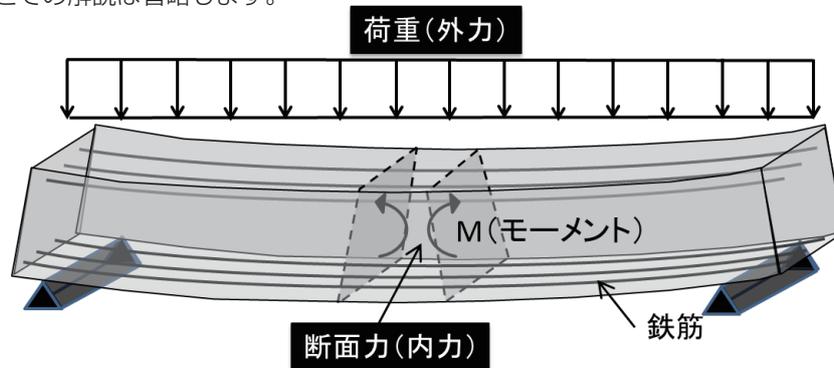


図1 鉄筋コンクリート構造物に発生する曲げモーメントのイメージ

図1の場合、上から荷重（外力）を受けた梁は、下側には曲げモーメントによる曲げ引張力が、上側には曲げモーメントによる曲げ圧縮力が発生します。引張力に対しては下側の鉄筋が、圧縮力に対しては上側のコンクリートが抵抗するとして設計します。

消防法におけるコンクリート構造物の安全性の照査方法は、この鉄筋とコンクリートに発生する曲げ引張力と曲げ圧縮力に対して、それぞれが耐え得るか否かを確認する方法です。

このイメージ図を図2に示しますが、曲げモーメントにより発生する引張力から、鉄筋の単位面積当たり（mm²）に発生する最大応力（単位：N/mm²）を算出し、鉄筋が持つ許容応力度（危告示第4条の50の規定）と比較します。

また、曲げモーメントにより発生する圧縮力から、コンクリートの単位面積当たり（mm²）に発生する最大応力（単位：N/mm²）を算出し、コンクリートが持つ許容応力度（危告示第4条の50の規定）と比較します。

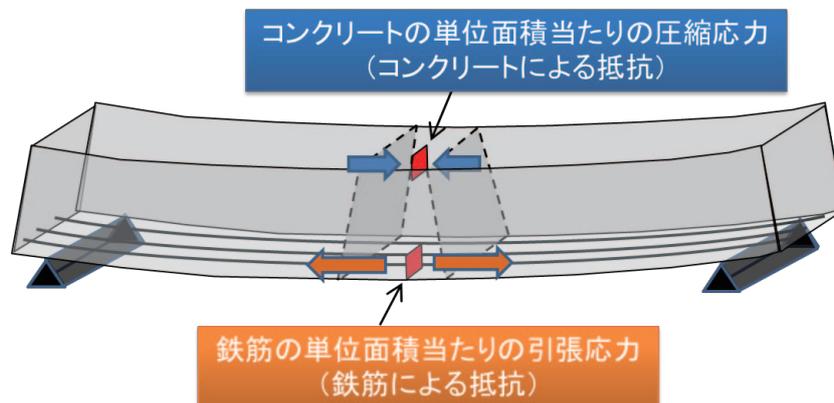


図2 消防法による安全性照査のイメージ

3 タンク室等の構造計算書作成上の留意点

一般的に、行政的な観点から構造物の技術基準をみると、人間が出入りする内空構造物には建築基準が、それ以外の構造物には土木の技術基準が適用されています。石油タンク等は、使用中は人間の出入りが無いため、土木の技術基準が多く取り入れられていますが、地下タンク貯蔵所のタンク室についても同様に、土木の技術基準に基づいて、許容応力度等が規定されています。

これまでの申請案件をみると、建築系の設計者は、地下タンク貯蔵所のタンク室等躯体を設計する際に、建築系の指針等に基づいて設計しているケースが多くみられます。

建築系の基準と土木系の基準とで、本質的に大きく異なるものではありませんが、建築系の指針等に基づいてタンク室等躯体の構造物を設計すると、設計書の修正が必要になる場合があります。

次の3点は、建築系の指針等に基づいて設計されたことにより、構造計算書の修正を求めた内容ですが、平成30年度から開始した本評価業務においては、ほぼ全ての案件で、以下3点の修正を依頼しています。

- ①安全性照査方法の修正（理由：安全性照査における単位系の違いから）・・・3. 1で解説
- ②照査項目の追加（理由：照査項目が不足していることから）・・・3. 2で解説
- ③許容応力度の修正（理由：許容応力度が間違っていることから）・・・3. 3で解説

ここから、建築系の指針と消防法令の安全性照査方法の違いを示しながら、タンク室等躯体の構造計算書作成上の留意点を解説します。

3. 1 安全性照査における単位系の違い

建築系の設計者が参照する指針の一つに、日本建築学会が発行する「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」があります。この規準の2010年版第13条（以下「RC規準第13条」という。）には、梁の曲げに対する検討方法が示されています。

【RC規準第13条の概説】

○梁の長期荷重に対する使用性の検討では、「長期許容曲げモーメント \geq 長期設計曲げモーメント」であることを確認すること

○梁の引張鉄筋比が釣合鉄筋比以下のときは、許容曲げモーメントは、次式によることができる

$$M = at \cdot ft \cdot j \quad \dots \dots \dots \text{(式1)}$$

M：許容曲げモーメント

at：引張鉄筋断面積

ft：引張鉄筋の許容引張応力度

j：梁の応力中心距離で $7/8 \cdot d$ としてよい

d：梁の有効せい

これをみると、梁の安全性の検討は、式1により許容曲げモーメントを算出し、発生曲げモーメントが許容曲げモーメント以下であることを確認する方法とされています。

このことは、第2節の図1で解説した構造体内部に発生する断面力（単位：kN・m）で比較することを意味します。

一方、消防法令における照査方法は、第2節の図2で解説したように、材料（鉄筋・コンクリート）が持つ性能で安全性を検討することとされており、それぞれの材料の単位面積当たりに発生する引張応力と圧縮応力（単位：N/mm²）を算出し、材料が持つ許容応力度と比較する方法とされています。

【ポイント】

このように、安全性の照査方法は、建築系の指針等では「断面力」で検討し、消防法令の基準では材料の「応力度」で検討するという違いがあり、「単位系が異なる」ということに留意する必要があります。

3.2 照査項目の不足

一般的に、曲げを受ける梁は、引張力も圧縮力も発生しない中立軸を境に、引張側と圧縮側とに分けることができます（図3）。鉄筋とコンクリートの強度比や各条件により異なりますが、作用する荷重を除々に大きくすると、鉄筋、もしくはコンクリートのどちらかが先に許容応力に達します。

コンクリート構造物は、引張側の鉄筋を過大にし、コンクリートが先に許容応力に達するように設計すると、鉄筋の配筋やコンクリート打設といった施工が困難になるとともに不経済な設計となるため、一般的に、鉄筋が先に許容応力に達するように設計されます。

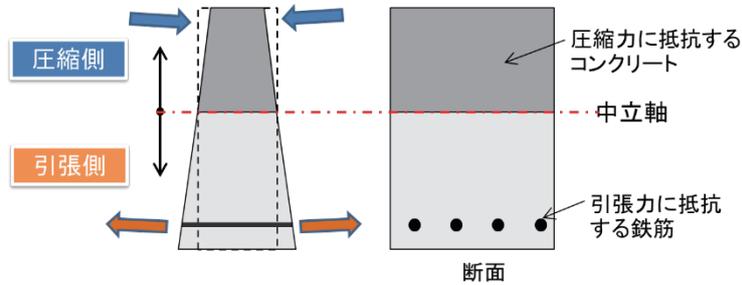


図3 梁の断面

前述したRC規準第13条では、式1によることができるのは、「引張鉄筋比が鈎合鉄筋比以下のとき」とされていますが、これを簡単に言うと、「鉄筋が、コンクリートより先に許容応力に達する場合は、式1を適用してもよい」ということを意味します。

従って、RC規準第13条の式1による検討では、引張鉄筋比が鈎合鉄筋比以下で、かつ、鉄筋側の安全性が確認できれば、梁の安全性は担保されるため、コンクリートに対する安全性照査が省略されます。

こうした安全性照査に対する考え方は、全く間違ったものではありませんが、前述したように、消防法令においては、圧縮側のコンクリートについても、発生応力が許容応力以下であることを確認することとされています。

また、これまで申請されている構造計算書において、RC規準第13条により検討されているケースでは、式1を適用できる前提条件の「引張鉄筋比が鈎合鉄筋比以下である」ことを確認されないまま式1による鉄筋のみの検討が実施されているケースが多くあります。

当協会では、消防法令に規定された基準に基づき、適切に構造評価を実施し、基準に適合しているか否か確認する必要があると考えていることから、申請者に対しては、圧縮側のコンクリートに対する検討も追加検討するようにお願いしています。

【ポイント】

このように、建築系の指針に基づいて構造計算書を作成すると、圧縮側のコンクリートに対する安全性の照査が実施されない（照査項目が不足する）状況が発生しますので、消防法令に規定された基準を十分に把握・確認することに留意する必要があります。

3.3 許容応力度の違い

地下タンク貯蔵所のタンク室に使用される材料（鉄筋とコンクリート）の許容応力度は、危告示第4条の50に、表1のとおり規定されています。なお、これ以降、分かりやすい表現として、主荷重時は「常時」、主荷重 + 従荷重時は「地震時」と記載します。

表1 消防法令における材料の許容応力度

材料	主荷重(常時)	主荷重+従荷重(地震時)
鉄筋(引張)	規格最小降伏点の60%	常時の1.5倍
コンクリート(圧縮)	設計基準強度(F_c)の1/3	常時の1.5倍

上記の許容応力度は、消防法令においては、地下タンク貯蔵所のみならず、鉄筋コンクリート造の「防油堤」や屋外タンク貯蔵所の一形態となる「地中タンク」も同様とされています。

この基準は、橋や高架の道路等、土木構造物の技術指針として制定されている「道路橋示方書・同解説（社団法人 日本道路協会）」と同様とされています。

一方、建築基準法や前述したRC規準では、許容応力度は表2のとおりとされています。なお、鉄筋については、材質の一部を記載しています。

表2 建築基準法等における材料の許容応力度

材料	材質	常時	地震時
鉄筋(引張)	SD295A	195N/mm ²	295N/mm ²
	SD345	215N/mm ²	345N/mm ²
コンクリート(圧縮)	—	設計基準強度(F_c)の1/3	常時の2.0倍

次の表3は、表1（消防法）と表2（建築基準法等）を比較する形式で、常時における許容応力度を示し、表4は地震時を示しています。

表3 常時における材料の許容応力度

常時/地震時	常時	
関係法令	消防法	建築系の基準
鉄筋(引張)	規格最小降伏点の60%	規格最小降伏点の66%程度
コンクリート(圧縮)	1/3 F_c	1/3 F_c

表4 地震時における材料の許容応力度

常時/地震時	地震時	
関係法令	消防法	建築系の基準
鉄筋(引張)	常時の1.5倍 (規格最小降伏点の90%)	規格最小降伏点の100%
コンクリート(圧縮)	常時の1.5倍 (1/2 F_c)	常時の2.0倍 (2/3 F_c)

表3及び表4の比較表を、具体的な材質でもって示すと許容応力度の違いが明確になります。表5は、鉄筋の材質を「SD295A」、コンクリートの設計基準強度（ F_c ）を「 24N/mm^2 」と仮定して、比較したものです。

表5 許容応力度の比較 (単位: N/mm^2)

常時/地震時	常時		地震時	
	消防法	建築系の基準	消防法	建築系の基準
鉄筋(引張)	177	195	266	295
コンクリート(圧縮)	8	8	12	16

表5に示すように、消防法令における許容応力度は、建築系の基準と比較して、小さめの値が設定されています。つまり、消防法令は、建築系の基準より厳しい基準となっています。

これまで評価申請された構造計算書では、建築系の許容応力度で設計されているケースが非常に多く、設計書の修正等に多くの時間を要しています。

【ポイント】

許容応力度を間違えて設定すると、構造計算のやり直しのみならず、躯体断面寸法の変更や鉄筋の径や配置の変更等の修正が必要となる可能性がありますので、消防法と建築系の基準とで「許容応力度が異なる」ということに留意する必要があります。

4 さいごに

本稿では、消防法令と建築系の基準との違いを紹介し、今後の構造計算書作成上の留意点を解説しました。

本稿で紹介した構造計算書の修正内容は、ほとんどの申請案件で指摘しており、建築系の設計者にはまだ十分に、消防法の基準が理解・把握されていない状況を実感している次第です。

当協会としては、危険物施設である地下タンク貯蔵所のタンク室等躯体の構造安全性は、消防法令で規定された内容に基づいて、適切に安全性を評価する必要があると考えています。

また、当協会からの評価結果報告書は、消防本部等へ設置許可申請される際の添付資料として活用されることから、中立的な立場の審査機関として、申請者には、適切な評価結果を記載した報告書をもって報告する責務があると考えています。

本稿で紹介した留意点を踏まえた構造計算書とすることにより、評価に要する期間は、十分に短縮できると考えますので、今後、地下タンク貯蔵所のタンク室等躯体の構造計算書を作成する際には、本稿を参考にいただければ幸いです。

最後に、消防本部の皆様におかれましては、本稿で紹介した当協会の地下タンク貯蔵所の評価業務に対する考え方や取組み、また申請される構造計算書には修正点が多い実情をご理解いただき、是非、当該評価業務を活用していただけるよう、申請者に対するご指導をお願い申し上げます。