

直接基礎PCタンク底版の断面力計算法

A PRACTICAL METHOD TO ANALYZE CIRCULAR GROUND FLOOR OF PRESTRESSED
CONCRETE CYLINDRICAL TANK SUPPORTED ON GROUND

吉岡 民夫* 大谷 悟司* 高西 照彦**

by Tamio YOSHIOKA, Satoshi OHTANI, Teruhiko TAKANISHI

This paper shows that a circular ground floor of prestressed concrete cylindrical tank should be analyzed as circular plate on elastic foundation with non-uniform thickness instead of very accustomed approximation with beam-on-elastic-foundation analysis. The circular plate can be modeled as a wedge-shaped beam cut out from the circular plate. The wedge-shaped beam model has rotational springs which work longitudinally and simulate circumferential rigidity of the circular plate. An easily available computer program for plane-frame analysis can be used to evaluate moments of the wedge-shaped beam with non-uniform thickness. Numerical results calculated with our proposal closely agree with exact results. This proves that the equivalent wedge-shaped beam model for the circular ground floor proposed here is adequate.

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下PCと略す）円筒形タンクは、上水道における配水池、下水道における汚泥消化タンク、農業用かんがい施設、石油やLNG等のエネルギー貯蔵施設、石炭やセメントの貯蔵サイロにと、多分野で数多く建設されてきた^{1), 2)}。

一般のPCタンクは、屋根、側壁および底版から構成されているが、側壁と底版とは剛結されていると考えてよい構造のものが圧倒的に多く、それがわが国のPCタンクの特徴の一つになっている。屋根は半開角が30°程度のドームシェルのもが最も一般的で、側壁は直立円筒シェルであり、これらはおのの軸対称シェル理論に従って厳密な断面力の計算が行われている。一方、直接基礎としての底版は、本来、弾性地盤上に設置された円形底版として取り扱われるべきであるが、わが国のPCタンクの設計基準の一つである「水道用PCタンク標準仕様書」（日本水道協会、昭和55年、以下「標準仕様書」と云う）によれば、「直接基礎の場合、弾性床上的のりとして解いても良い」ことになっており、従来から、PCタンクの円形底版については、これを弾性地盤上の等幅ののりに置換することによって、近似的な解析がなされている。

わが国のPCタンク底版は、一層式底版と二層式底版に分けることができる。一層式底版は地盤の上に直接底版を設置したものであり、二層式底版は地盤の上に基礎版と呼ばれるコンクリート版を設置し、これをいわば人工地盤として、さらにその上にタンク底版を設置したものである。「標準仕様書」が作成された当

* オリエンタル建設（株）技術部 （〒102 千代田区五番町5）

** 工博 九州工業大学 工学部・設計生産工学科 （〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1）

時は、二層式底版が数多く建設されていた。
 この場合、(i) 地盤上に設置される基礎版は等厚であること、(ii) 側壁から伝達されるモーメントは底版で、鉛直力は基礎版でそれぞれ別々に受け持つとして近似的に取り扱っても、底版の断面力に対する計算誤差は僅少であることなどから、基礎版を半径方向を軸とする弾性地盤上のはりとして解析しても、実務設計上特に問題になるようなことはなかったといえる。しかし、近年、主として経済上の観点から、一層式底版が多く用いられるようになったが、この場合には、(i) 底版の厚さが一般に半径方向に異なっていること、(ii) 側壁下端での断面力はすべて底版が受け持つとして取り扱わなくてはならないことなどから、底版を従来通り、弾性地盤上のはりとして解析することには問題があるという指摘がなされるようになった。

本論文は、上記の問題点を解決するための一方法を提案し、その有用性を示すことを目的としている。

2. 現行設計法の問題点

現行の設計法である「標準仕様書」における、直接基礎としての底版の設計法に関して、検討を要すると思われる問題点を挙げるとすれば、以下の通りである。

いま、図-1に示すような、一層式底版を有する側壁下端固定支持構造の実規模PCタンク（容量=15,000 m^3 ）について考える。同図から

明らかなように、PCタンクの底版は一般に側壁から外側に僅かに張り出しているが、その張り出し量はタンクの径に比べると十分小さいので、「標準仕様書」では底版に生ずる断面力を求めるのに、その張り出しを無視し、さらに、底版をその中心と側壁断面の図心とを両端とする弾性地盤上の等幅で等厚のはりに置換して、はりの外端部に側壁下端における断面力（通常、鉛直力および曲げモーメント）を外力として載荷したときの当該置換はりに生ずる断面力を算定し、これを底版の断面力として採用している。この場合、同時に、底版に加わる水圧などの等分布荷重によって生じる底版の沈下は一樣であり、したがって底版には曲げモーメントは生じないという仮定がなされている。しかし、弾性地盤上のはりに対しては、その長さは僅かであっても、上記の張り出し部分をはりに加え、さらに、張り出し部の弾性地盤による弾性反力を考慮すれば、このときはりには無視することができない程度の曲げモーメントが生ずるものと考えられる。この点に関する検討を行うために、図-1に示したPCタンクが満水状態にあるときのタンク底版に生じる曲げモーメントを、次の3通りの場合について求め、Case 3の結果を高精度解とみなして、Case 1およびCase 2の結果をCase 3の結果と比較して論じた。なお、各ケースに対するタンク底版の構造モデルおよび外荷重を図

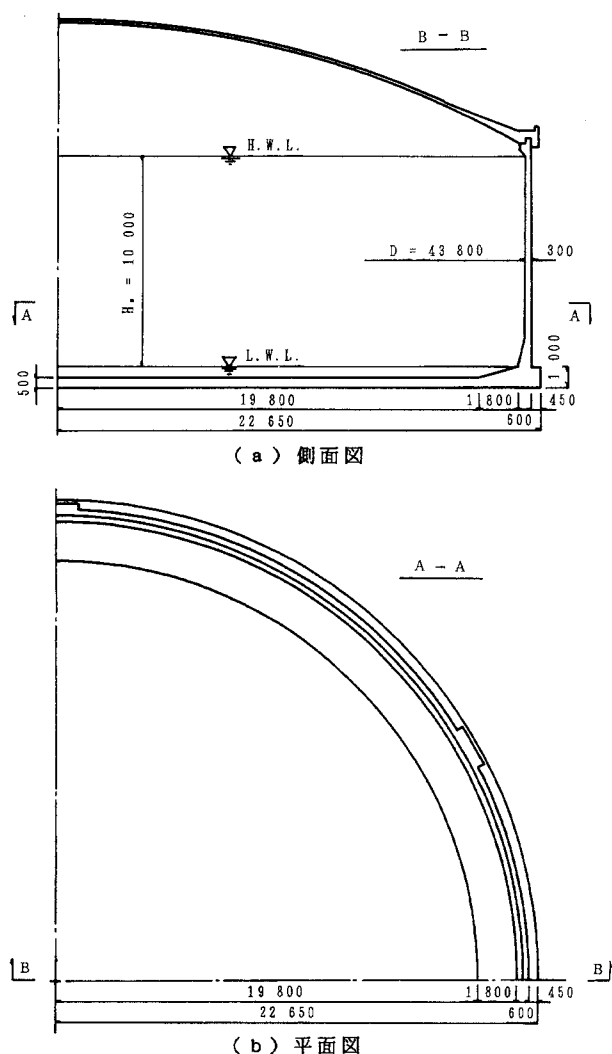


図-1 実規模PCタンク（容量=15,000 m^3 ）（単位 mm）

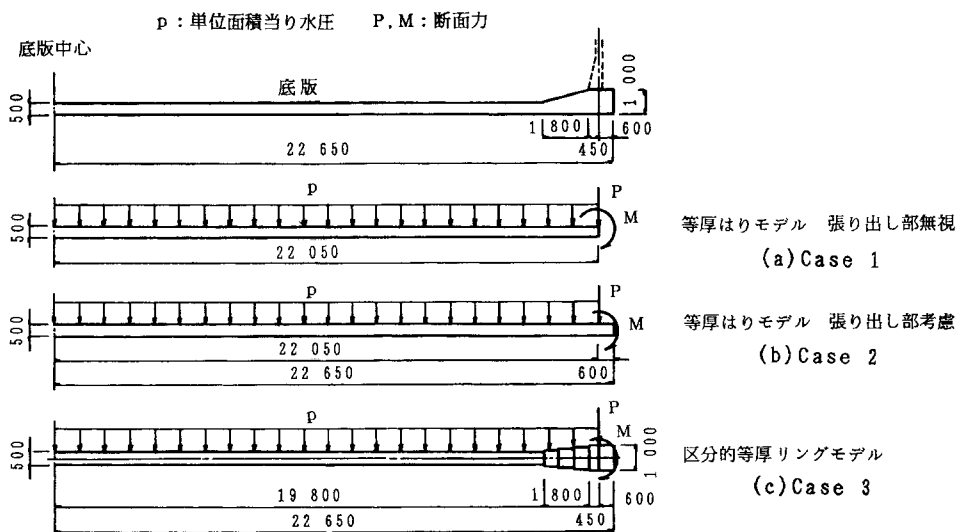


図-2 底版の構造モデルおよび外荷重 (単位 mm)

-2 に、材料定数などの計算条件を表-1 に示す。

Case 1 : 構造系は「標準仕様書」に示された通りに、タンク底版を、張り出し部を無視した弾性地盤上の等幅で等厚のはりに置換したもの。置換はりの高さは底版の中央部の厚さに等しいとした。

外荷重としては、側壁下端の断面力と底版

に加わる静水圧とを考慮し、前者ははりの外端部に、後者ははり全体にわたって一様に載荷した。

解法は、弾性地盤上のはりに対する解析解に従った。

Case 2 : 構造系はタンク底版を、張り出し部を考慮した弾性地盤上の等幅で等厚のはりに置換したもの。置換はりの高さは底版の中央部の厚さに等しいとした。

外荷重としては、側壁下端の断面力と底版に加わる静水圧とを考慮し、前者ははり上の側壁断面の図心位置に、後者は張り出し部と側壁下端部の肉厚の半分を除いて、はり全体に一様に載荷した。

解法は、弾性地盤上のはりに対する解析解に従った。

Case 3 : 構造系はタンク底版を、次章の (B-2) で示すように、区分的に等厚の円版とリング状版とから成る円形の版に置換したもの。区分数は図-2 (c) に示すように、円版 1 個、リング状版 5 個の 6 分割とした。底版でその厚さが直線的に変化する部分については、これを 3 つの等厚のリング状版に分割した。その厚さは当該部分の底版厚の平均値とした。

外荷重としては、側壁下端の断面力と底版に加わる静水圧とを考慮し、前者はリング状版上の側壁断面の図心位置に、後者は張り出し部と側壁下端部の肉厚の半分を除いて、円形の版全体に一様に載荷した。

解法は、次章の (B-2) で述べる解析方法に従った。

Case 3 の結果を高精度解とみなすためには、その精度に対する保証がなされていなければならない。そこで新たに、底版厚が直線的に変化する部分について、区分数を Case 3 の 2 倍にとって 6 つの等厚リング状版に分割した場合について、次章の (B-2) の方法によって版の曲げモーメントを求めた。この結果を Case 3 の結果と比較すると、両者の曲げモーメントの間には高々 0.2 % の差しか生じてないことが判った。これ

表-1 計算条件

はりの弾性係数 E (tf/m ²)	2.8×10^6
ポアソン比 ν	0.2
側壁下端の曲げモーメント M (tfm/m)	-9.756
側壁下端の鉛直力 P (tf/m)	15.627
水圧 p (tf/m ²)	10.0
地盤反力係数 K_s (tf/m ³)	855.5

はCase 3の結果が十分な精度を有していると思なしてもよいことを示すものである。したがって、本論では以後Case 3の結果を高精度解として採用することにした。

上記の3ケースに対する計算結果を図-3に示す。同図より、Case 1の半径方向曲げモーメント M_r の最大値はCase 2および3の場合の約2倍に達していることが判る。このような差は、底版の張り出し部分の存在を考慮したかどうかによって生じたものと考えられる。すなわちこれは、P C円筒タンク底版の解析に際しては、底版の張り出し部分の存在を考慮して、その曲げモーメントを算出する方が合理的であることを示唆するものである。次に、Case 2と3の半径方向曲げモーメント M_r を比べてみると、一部で前者の方が後者より僅かに小さくなっているところがある。このことは、Case 2によって求めた M_r を用いて底版を設計した場合には、それは多少危険側になる

恐れがあることを示すものであるといえよう。

また、現行設計法においては、一般に円周方向の曲げモーメント M_θ が考慮されていないが、Case 3の結果を見ると、底版端部において、 M_θ の最大値は M_r のそれを越える場合があることが判る。このような結果が生ずる原因としては、底版の端部付近において、底版は側壁に近づくほど厚くなっており、側壁との接合部では、中心部における厚さの2倍に

も達していることが挙げられる。なお、円形底版をCase 1および2におけるように、これを単に弾性地盤上のはりに置換した構造モデルによって解析したのでは、理論上その結果から、版の円周方向の曲げモーメント M_θ の値を得ることができないのは明かである。

以上のことから考えると、側壁付近で版厚が厚くなるように変化する直接基礎P Cタンク底版の断面力の解析に際して、これを底版の円周方向の剛性をまったく無視した弾性地盤上のはりに置換して取り扱うことは、必ずしも妥当であるとは云い難いと思われる。

3. 本解析法の概要

軸対称構造物である円筒タンク底版が、一様な弾性地盤上に設置されて、それが軸対称な荷重を受ける場合の底版の断面力については、(A)底版の厚さが一様なときにはその解析解を導くことによって、(B)底版の厚さが半径方向に異なっているときには、近似的に底版をいくつかの等厚の円形リングに区分した後、(B-1) FEMを用いることによって、あるいは(B-2)円形リングに対する解析解を算出し、これに各リング端における連続の条件を適用することによって、いずれもその値を求めることができる。しかし、(A)の方法については、解がKelvin関数になるためにその数値計算が面倒であることと荷重項の積分が既知の関数で表せないときには数値積分をしなければならないこと、(B-1)の方法については平板を対象としたFEM解析に従う必要があり、パーソナルコンピュータを用いるにしても、それは平面骨組構造解析に比べると一般により面倒であること、(B-2)の方法については(A)の場合と同様な理由のほかに、さらに各リング端における連続の条件の表示式が煩雑であることなどのために、上記の方法にはいずれも、誰でもがそれを手軽に利用できるとは云い難いという短所があるように思われる。

本論では、まず、一層式底版を有する直接基礎P C円筒タンクの底版の断面力を求めるのに、原則的には従来の取り扱い方に従って、これを半径方向を軸とする弾性地盤上のはりに置換して解析を行うが、そのとき、はりとして円版からその中心を先端に持つように切り取ったくさび形の部分を選び、さらにそのはりに

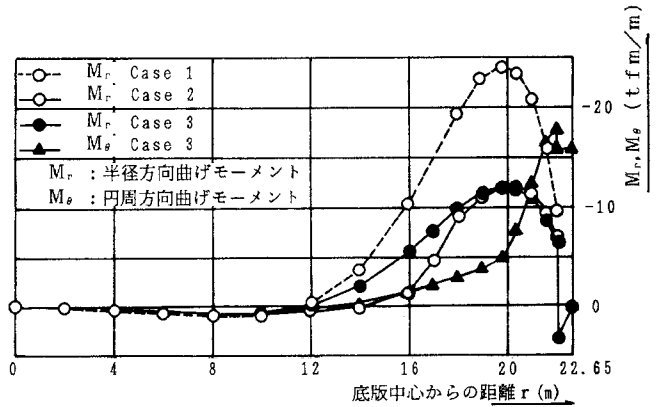


図-3 構造モデルの相違による曲げモーメントの相違

新しく軸方向に回転ばねを付加することによって、底版の円周方向の曲げ剛性の影響を考慮することができるよう、従来より高い精度を有する解析方法について述べた。本方法によれば、理解することが容易で、誰でもが手軽に利用できる平面骨組構造解析プログラムを用いることによって、弾性地盤上の円形底版の断面力を容易に求めることができる。つぎに、実規模の直接基礎P C円筒タンクを取り上げて、その底版の断面力を、上記(B-2)の方法を用いて精度よく求めた場合と、本論の方法によって近似的に求めた場合とを比較することによって、本論の方法を用いたときに生ずる底版の断面力の誤差に対して、いろいろ検討を行った。

4. 弾性地盤上の円版に対する置換はりモデル

軸対称な外荷重を受ける弾性地盤上の円版に対する応力解析を行うに際して、円版からその中心を先端に持つくさび形の部分(図-4参照)を切り取って、適当な条件の下に、これを変断面はりとして解析したときに、得られた断面力が元の円版のそれと等しくなるという、そのような条件を、

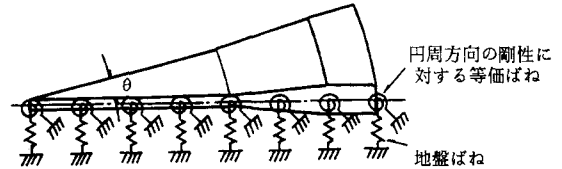


図-4 くさび形はりモデル

見いだすことができれば、弾性地盤上の円版の解析を手軽に行うことができ、非常に便利である。

円版は半径方向の剛性を持つと同時に、円周方向にも剛性を持っているので、円版から切り取ったくさび形のはり(以下これをくさび形はりモデルと呼ぶ)で、円版の力学的な性質を表現するためには、円版の持っている円周方向の剛性を何らかの形でこのくさび形はりモデルに付与してやる必要がある。本論では以下に示すように、この円周方向の剛性を、くさび形はりモデルの軸方向に作用する回転ばねに置換して付与することによって、円版が荷重を受けたときの力学的挙動を、くさび形はりモデルのそれによって近似しようとするものである。

(1) 置換はりモデル

弾性地盤上の等厚円版あるいはリング状版の変形を支配する弾性方程式は、版の鉛直変位を w とすれば、次式のように表される³⁾。

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 w}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{dw}{dr} + \frac{k_s}{D} = \frac{p}{D} \quad (1)$$

ここに、 r は円版の中心からの距離、 p は単位面積当たりの上載荷重、 k_s は弾性地盤の単位面積当たりの地盤反力係数、 D は版の曲げ剛性で、版厚を t 、弾性係数を E とすれば、

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

と書くことができる。ここに ν はポアソン比である。

さて、円版から切り取ったくさび形のはりに対する基礎方程式は、くさび形はりのたわみを $\bar{w}$ とすると

$$\frac{d^4 \bar{w}}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 \bar{w}}{dr^3} + \frac{k_s}{\bar{D}} = \frac{p}{\bar{D}} \quad (3)$$

のように得られる。ここに、 $\bar{D}$ はくさび形はりの単位幅当たりの曲げ剛性で、

$$\bar{D} = \frac{E \cdot t^3}{12} \quad (4)$$

と表すことができる。いま、式(1)と式(3)とを比較することによって、式(1)の左辺第1項と第2項は、円版の半径方向の曲げ剛性の影響を表す項であると考えても良いことが判る。

つぎに、式(1)の左辺の第3項と第4項は、円版の円周方向の曲げ剛性の影響を表す項であると考えら

れる。そのことを示すために、これらの項を以下のように変形する。

$$-\frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{dw}{dr} = -\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right) \quad (5)$$

いま、中心角 θ のくさび形の部分 (図-4 参照) について考えることにして、上式に $D r \theta$ を乗ずると

$$-\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r^2} D \cdot \theta \frac{dw}{dr} \right)$$

を得るが、これは

$$\frac{d}{dr} \left\{ \frac{D}{r^2} r \cdot \theta \left(-\frac{dw}{dr} \right) \right\} \quad (6)$$

と書くことができる。 $\phi = -dw/dr$ は円版の半径方向のたわみ角を表すので、式 (6) の $\{ \}$ 内を

$$M_\theta = k_\theta \cdot r \cdot \theta \cdot \phi \quad (7)$$

とおけば、 k_θ は

$$k_\theta = \frac{D}{r^2} \quad (8)$$

と書くことができ、これは単位面積当たりの回転ばねのばね定数を表すと考えることができる。したがって、単位の中心角 ($\theta=1$) を持つくさび形の部分について考えれば、式 (7) の M_θ は、式 (9-b) を参照して、それは円版の円周方向の曲げモーメントの主要項に等しいことが判るので、式 (8) の k_θ は円版の円周方向の曲げ剛性に等価な回転ばねのばね定数を表していると考えてもよいであろう。

結局、以上のことから、図-4 に示すように、円版から切り取ったくさび形はりモデルに、式 (8) で表される回転ばねを付加することによって、弾性地盤上の円版に対する等価解析モデルを構成することができることになる。その際、くさび形はりモデルに対する単位幅当たりの曲げ剛性としては、式 (2) の D を用いればよい。

円版の半径方向および円周方向の曲げモーメントは、次式のように表される。

$$M_r = -D \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dw}{dr} \right) \quad (9-a)$$

$$M_\theta = -D \left(\nu \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right) \quad (9-b)$$

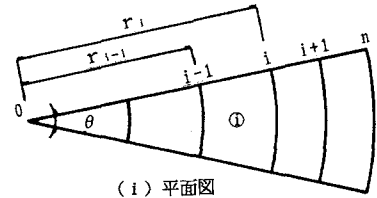
式 (9-a) から $d^2 w/dr^2$ を求めて、これを式 (9-b) に代入することによって

$$M_\theta = \nu \cdot M_r - \frac{D}{r} (1-\nu^2) \frac{dw}{dr} \quad (10)$$

を得る。

くさび形はりモデルの解析によって得られる曲げモーメント $\bar{M}_r$ は、はりの幅 $r \theta$ に対するものであるから、この $\bar{M}_r$ から円版に対する単位長さ当たりの半径方向曲げモーメント M_r を求めるには、この $\bar{M}_r$ を $r \theta$ で割ればよいことになる。すなわち、

$$M_r = \frac{\bar{M}_r}{r \cdot \theta} \quad (11)$$

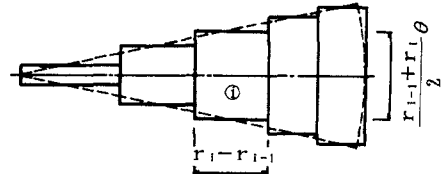


(i) 平面図

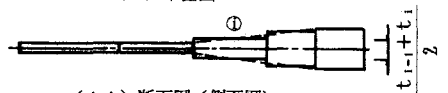


(ii) 断面図 (側面図)

(a) くさび形はりモデル



(i) 平面図



(ii) 断面図 (側面図)

(b) (a) に対する置換はりモデル

図-5 くさび形はりモデルと区分的等断面置換はりモデル

円周方向の曲げモーメントについては、式(10)を用いることによって、いま得られた M_r とたわみ角 $\phi = -dw/dr$ とを使ってこれを求めることができる。すなわち

$$M_\theta = \nu \cdot M_r + \frac{D}{r}(1-\nu^2)\phi \quad (12)$$

なお、ポアソン比を0としてよい場合には、くさび形はりモデルの解析における単位幅当たりの曲げ剛性としては、式(2)の D の代わりに式(4)の $\bar{D}$ を用いればよい。また、曲げモーメントについては、式(11)および式(12)において $\nu=0$ とすればよい。

(2) くさび形はりモデルの解析

弾性地盤上にあるくさび形はりモデルが鉛直荷重を受けた場合に生ずる断面力の解析解を求めることは、非常に面倒であり、それは一般に困難である。そこで本論では、くさび形はりをさらに次のようにモデル化することによって、近似的な解析を行った。

図-5(a)(i)および(ii)に示すように、円版から中心角 θ で切り取ったくさび形はりを半径方向に n 個に分割する。分割点の半径を、両端点を含めて $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$ とし、その分割点(以下節点と呼ぶ)に番号0, 1, 2, ..., n を付す。さらに節点 $i-1$ および i ではさまれる要素を要素①とする。このとき各要素は図-5(b)(i)に示すように等幅とし、その幅は要素両端節点での弧長の平均値とする。また、各要素は図-5(b)(ii)に示すように等厚とし、その厚さは両端節点での版厚の平均値とする。

くさび形はりモデルに付加する回転ばね k_θ は、要素の各節点に集中ばねとして付加することにし、そのばね定数は以下のようにして定める。

単位面積当たりのばね定数は式(8)で表されるので、中心角 θ を有するくさび形はりの半径 r の周上における周長 $r\theta$ に対するばね定数は

$$k_\theta \cdot r \cdot \theta = \frac{D}{r}\theta \quad (13)$$

となる。要素①の両節点 $i-1$ および i に付加する集中回転ばねのばね定数 ${}_iK_{i-1}$ および ${}_iK_i$ は次式によって定めた。

$${}_iK_{i-1} = \int_{r_{i-1}}^{\frac{r_{i-1}+r_i}{2}} k_\theta \cdot r \cdot \theta \cdot dr = \frac{E}{96(1-\nu^2)}(t_{i-1} + t_i)^3 \log \frac{r_{i-1} + r_i}{2r_{i-1}}\theta \quad (14-a)$$

$${}_iK_i = \int_{\frac{r_{i-1}+r_i}{2}}^{r_i} k_\theta \cdot r \cdot \theta \cdot dr = \frac{E}{96(1-\nu^2)}(t_{i-1} + t_i)^3 \log \frac{2r_i}{r_{i-1} + r_i}\theta \quad (14-b)$$

当然のことながら、くさび形はりモデル全体系における節点 i に付加すべき集中回転ばねのばね定数 $\bar{K}_i$ は要素①および要素①+1の節点 i におけるばね定数を加算することによって、次式から求められる。

$$\bar{K}_i = {}_iK_i + {}_{i+1}K_i \quad (15)$$

上記のことから、くさび形はりは区分的に等断面の n 個のはりから成る構造系に置換され、その各節点に付加すべき回転ばねのばね定数が、式(15)のように与えられたことになる。いま、新しく置換された構造系を区分的等断面はりモデル(以下、簡単のために置換はりモデルと略称する)と呼ぶことにすれば、この置換はりモデルが弾性地盤上に設置されて、これに鉛直荷重が加わった場合については、現在広く手軽に利用されている平面骨組構造解析プログラムを用いることによって、それは容易に解析することができる。

置換はりモデルの解析によって得られた節点 i の曲げモーメント $\bar{M}_{r,i}$ から、円版の半径方向の曲げモーメントを求めるには、式(11)を参照して、次式を用いればよい。

$$M_{r,i} = \frac{\bar{M}_{r,i}}{r_i \cdot \theta} \quad (16-a)$$

また、円周方向のそれは、式(12)を参照して、上式の $M_{r,i}$ と置換はり系のたわみ角 ϕ_i とを用いて

$$M_{\theta, i} = \nu \cdot M_{r, i} + \frac{D}{r_i} (1 - \nu^2) \phi_i \quad (16-b)$$

から得られる。なお、ポアソン比が0の場合には上式において $\nu=0$ とすればよい。

5. 数値解析結果と考察

前章までに述べたモデル化の方法が妥当であるかどうかを検証するために、図-1に示した実規模PCタンクを対象にして、それが満水状態の時に生ずる底版の曲げモーメントを、(i) 3章で述べた(B-2)の方法を用いて、(ii) 本論で提案した区分的等断面置換はりモデル(置換はりモデル)を用いてそれぞれ算出し、(i)の結果を高精度解として、両者の結果を比較した。

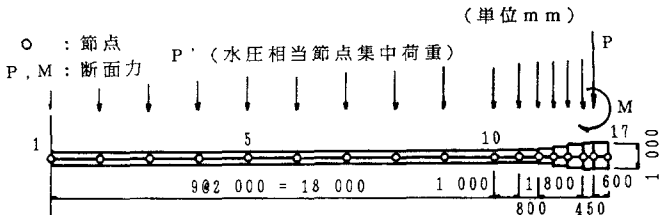


図-6 底版に対する区分的等断面置換はり

上記(i)の場合の底版に対する計算モデルとしては、既に2章中で示したCase 3と全く同じもの、すなわち区分的等厚リング状版からなる円版を採用した。したがって、この場合はCase 3と全く同じモデル化と解析方法に従っている。以後この(i)の場合を改めてCase 3と呼ぶことにする。上記(ii)の場合に対する計算モデルとしては、図-6に示すように、底版から切り取ったくさび形はりを、16個の等断面のはり要素からなる区分的等断面はりに置換したものを採用した。この置換はりモデルの各節点には底版の円周方向の曲げ剛性に等価な回転ばねが付与されているが、そのばね定数としては式(14)、(15)によって算出した値を用いた。また、弾性地盤の弾性を表現する地盤反力ばねについても、それは当該置換はりモデルの各節点に集中して作用するとして取り扱った。そのばね定数の値は、集中回転ばね定数を求める場合と全く同様な方法に従って算出した。

上記(i)の円版および(ii)の置換はりモデルに対する材料定数としては、表-1に示す値を用いた。

底版に加わる外荷重としては、上記(i)の円版に対しては図-2(c)および表-1に示す値を採用した。上記(ii)の置換はりモデルに加わる外荷重についても(i)の場合と全く同じものを採用したが、ただこの場合、水圧 p に対しては図-6に示すように、これを分布荷重としてではなく、集中荷重として置換はりモデルの各節点に加えた。集中荷重の値は、集中回転ばねのばね定数を求める場合と全く同様な方法によって算出した。なお、本来、分布荷重をそれと等価な節点集中荷重に置換したときには、当該節点には集中荷重の他に集中モーメント荷重が同時に作用することになるが、本論の場合、後者のモーメント荷重については、それは微小であるとして無視することにした。

数値計算においては、材料のポアソン比の変化が結果に与える影響をみるためと、従来の簡易計算法ではポアソン比を0とする場合が多いことを考慮して、次の4つの場合について、それぞれ底版の曲げモーメントを求めた。

Case 3 : 上記(i)の円版で、ポアソン比を $\nu=0.2$ とした場合(第2章のCase 3と同じである)。

Case 4 : 上記(i)の円版で、ポアソン比を $\nu=0.0$ とした場合。

Case 5 : 上記(ii)の置換はりモデルで、ポアソン比を $\nu=0.2$ とした場合。

Case 6 : 上記(ii)の置換はりモデルで、ポアソン比を $\nu=0.0$ とした場合。

Case 3とCase 4の結果を、それぞれポアソン比が0.2および0.0の場合に対する高精度解として、上記の4つの場合の結果を互いに他と比較した。

なお、曲げ剛性としては、Case 5に対しては式(2)の D を、Case 6に対しては、式(4)の $\bar{D}$ を用いた。

得られた結果を、図-7 にまとめて示す。Case 5 および 6 における各節点の曲げモーメントの値については、集中モーメント荷重が作用する節点 16 を除く他のすべての節点において、その両側の要素の当該節点に関する曲げモーメントの値の平均値を採用した。

図-7 から、次のようなことがいえる。

(a) 円版の半径方向曲げモーメント M_r については、同じポアソン比に対して、高精度解 (Case 3 および 4) と置換はりモデル (Case 5 および 6) の結果が、それぞれ互によく一致している。

(b) 円版の円周方向の曲げモーメント M_θ についても同様に、同じポアソン比に対して、高精度解 (Case 3 および 4) と置換はりモデル (Case 5 および 6) の結果が、それぞれ互によく一致しているといえるが、ただ、ポア

ソン比が大きい場合 ($\nu=0.2$) には、円版の端部付近において両者に多少の差が生じていることが判る。しかし、その差は最大で 2.5% に過ぎない。

(c) 円版の円周方向の曲げモーメント M_θ については、ポアソン比が異なる場合の結果を比べてみると、円版の端部に近い部分において、両者の間に差が生じており、ポアソン比の大きい方が M_θ の値が大きくなっている。この差は、主として式 (16-b) の右辺第 1 項に基づくものである。

以上のことから、本論で提案した置換はりモデルを用いれば、P C 円筒タンクが静水圧を受けた場合に、その底版に生ずる半径方向および円周方向の曲げモーメントを、いずれも実務設計上十分な精度で容易に算定することができるといってもよいであろう。本置換はりモデルにおいては、底版材料のポアソン比を考慮した曲げモーメントの算定ができるので、従来の弾性地盤上の等断面はりを用いる場合に比べて、はるかに精度の良い結果を得ることができると云えよう。

なお、本論においては荷重条件として、軸対称荷重の場合のみを取り上げて、この場合に対する近似解析法について述べたが、非軸対称荷重の場合に対する近似解析法については現在研究中である。

6. 結論

本論では、P C 円筒タンクが静水圧を受けたときに、その底版に生ずる断面力を、容易にしかも精度よく求めることができる新しい計算モデルの提案を行った。この計算モデルは、タンクの円形底版から切り取ったくさび形のはりを、さらにいくつかの区分的に等断面の要素からなるはりにモデル化し、これに底版の円周方向の曲げ剛性に等価な回転ばねを付加したもので構成されている。この区分的等断面置換はりモデルを用いて、円版の半径方向および円周方向の曲げモーメントを算出し、高精度解と比較した結果、両者の値はよく一致することが明らかにされた。このことから、本論で提案した上記の計算モデルの妥当性と有用性とが示されたと云ってもよいであろう。

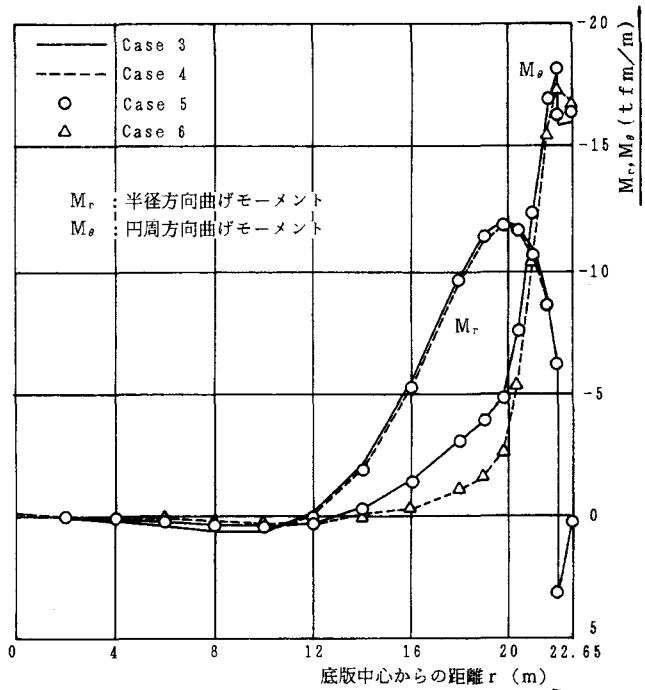


図-7 底版の曲げモーメント

参考文献

- 1) 鈴木素彦、吉岡民夫：上水用 P C タンクの現状と問題点、プレストレストコンクリート、Vol. 20 No. 5, pp 5～13, 1978年10月
- 2) 池田尚治：P C 円形構造物の現況、最近のプレストレストコンクリート構造物と30年の歩み、プレストレストコンクリート技術協会、pp. 41～40, 1986年6月
- 3) Markus, G: Theorie und Berechnung rotationssymmetrischer Bauwerke, Werner-Verlag

(1991年9月30日受付)