

## (51) PCタンクの側壁下端部ハンチ形状の決定手法

(株)安部工業所 技術本部技術部 正会員 ○井上 浩之  
 (株)安部工業所 技術本部技術部 正会員 今尾 勝治  
 (株)安部工業所 技術本部技術部 郭 朝光  
 (株)安部工業所 技術本部技術部 正会員 西尾 浩志

### 1. はじめに

プレストレストコンクリートタンク(以下PCタンクという)は、昭和32年に日本で初めて開発・施工されて以来、多くの水道事業体に採用され、全国各地で配水池等に使用されている。水道用PCタンクに関しては、昭和55年に「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」(以下「水プ標準仕様書」という)が社団法人日本水道協会から発表され、その後はこの仕様書に従って設計施工されている。水道用PCタンクでは、側壁下端の構造形式を固定支持とした場合、構造的および経済的理由により、側壁下端の厚さを内側に増加させる(この部分をハンチという)ことが一般的である<sup>1)2)</sup>。また、この構造のPCタンク側壁の設計に関しては、適切なハンチ形状を採用すれば、側壁下端および側壁中間モーメント最大断面の2断面について検討を行えば十分である。従って、標準的PCタンクの設計ではこの2断面について検討を行うのが一般的である。一方、ハンチ形状が適切でない場合は、側壁中間モーメント最大断面よりもハンチ上部断面の方がクリティカルになる場合もあり、その場合はハンチ上部断面の検討も必要となる。しかしながら、ハンチ上部断面の断面力を解析解にて算出するのは困難である。

本文では、適切なハンチ高さおよびハンチ幅の決定を、図により簡便に行えるような手法を提案している。また、これによりハンチ形状を決定すれば、従来からの、側壁下端断面および側壁中間モーメント最大断面の2断面による解析解に基づく設計が適用できる。

### 2. PCタンク側壁設計の現状と問題点

PCタンクの側壁については、下端を固定支持とした場合、側壁下端内側にハンチを設けるのが一般的である。高架タンク、大型タンクおよび特殊な形状のタンクを除き、標準的PCタンクの設計については、「水プ標準仕様書」に示される解析解による解法にて断面力を算出するのが一般的である。タンク空水時においては、円周方向プレストレスにより、一般には図-1に示すような鉛直方向曲げモーメント分布が側壁に生じる。このため、側壁下端断面(M0h)および、側壁中間モーメント最大断面(Mm)の2断面について、解析解により断面力を算出し、検討するのが一般的である。ここで、ハンチの影響を考慮した側壁下端の鉛直方向曲げモーメントは、一定壁厚として求められた側壁下端鉛直方向曲げモーメントに壁厚増加の影響を考慮した係数を乗じて算定している。こうして求められたM0hおよびMmにより、側壁に生じる引張応力度を許容値以内に抑えるように、側壁鉛直方向にプレストレスを導入している。ハンチ形状が適切な場合は、図-1に示すような曲げモーメント分布となるが、ハンチ形状が適切でない場合は、図-2に示すような曲げモーメント分布とな

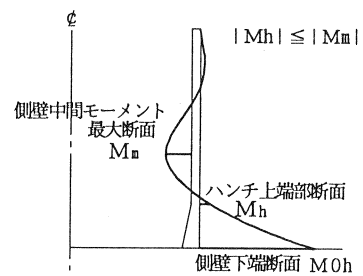


図-1 空水時側壁鉛直方向曲げモーメント分布図 (ハンチ形状が適切な場合)

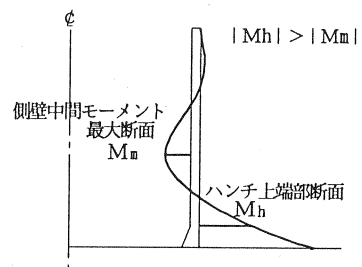


図-2 空水時側壁鉛直方向曲げモーメント分布図 (ハンチ形状が適切でない場合)

ることもある。標準断面部に関する必要鉛直方向プレストレス量は、ハンチ形状が適切で図-1のような曲げモーメント分布であれば、一般にはMmの値で決定される。しかしながら、ハンチ形状が適切でない図-2のような曲げモーメント分布になると、このプレストレス量は、Mhの値で決定されることになる。ところで、この場合、MhはMmより大きくなるため、ハンチ形状が適切な場合に比べ、不経済になることが考えられる。また、ハンチ上端部断面（Mh）の検討が必要となるため、手間もかかることになる。

### 3. 解析モデルおよび検討方法

#### 3.1 解析モデル

表-1 解析モデルのタンク形状一覧（内径、壁高、壁厚） 単位：m  
（表中の値は壁厚を示す）

| 壁高 \ 内径 | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5       | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.30 |
| 10      | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
| 15      | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
| 20      | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.60 |

基本的に、表-1に示す44種類のタンク形状（内径、壁高および壁厚）それぞれについて、ハンチ高h'を0.9、1.2、1.5、1.8mの4種類、ハンチ幅t'をt、t/2、0（t：壁厚）の3種類、計12種類のモデルの解析を行った（記号については図-3を参照）。なお、壁厚については、最小厚を0.25mとし、「水プ標準仕様書」に示されている算定式をもとに算出した。解析は、軸対称薄肉シェル要素を用いた有限要素法により行った。材料定数は、コンクリート強度 $\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$ 、コンクリートヤング係数 $E=2.95 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.2とした。拘束条件は下端完全固定とし、壁高=水深と仮定した。

3.2 検討方法

#### (1) Mh/Mmの検討

一般に、満水時は円周方向プレストレス力と水圧がバランスし、側壁に発生する鉛直方向曲げモーメントは小さいが、空水時には水圧が作用せず、鉛直方向に曲げモーメントが発生する。よって、空水時、すなわち円周方向プレストレスのみが作用する場合の、側壁鉛直方向曲げモーメントを検討することにより、タンク形状によって、MhとMmの比（Mh/Mm）がどのような傾向を示すかを把握した。図-3に本検討における荷重図を示す。

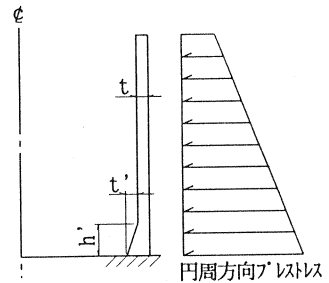


図-3 Mh/Mmの検討における荷重図

#### (2) ハンチ上端部断面における応力度の検討

空水時（円周方向プレストレスおよび鉛直方向プレストレスが作用した場合）の、ハンチ上端部断面応力度を算出し、検討した。図-4に本検討における荷重図を示す。ここで、作用させる鉛直方向プレストレス量は、各々のタンクにおいて、「水プ標準仕様書」で規定されたプレストレスコンクリート側壁満水時の許容引張応力度 $0\text{kgf/cm}^2$ 、空水時の許容引張応力度 $7\text{kgf/cm}^2$ を満足する量を算定し、それを用いた。ただし、5.に示すような方法で適切なハンチ高およびハンチ幅が簡便に決定できる図を作成することが目的であるので、(1)の解析結果も参照し、ハンチ上端部断面応力度が、 $0\text{kgf/cm}^2$ を大きく上回ることが明らかなモデルおよび、 $-7\text{kgf/cm}^2$ を大きく下回ることが明らかなモデルについては、解析を省略した。また、ハンチ幅が0の検討は行っていない。

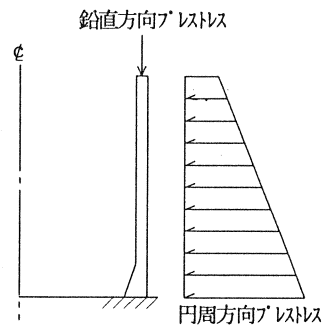


図-4 応力度の検討における荷重図

### 4. 検討結果

#### (1) Mh/Mmの検討結果

Mh/Mmの検討結果のうち、代表的なものを図-5に示す。この図は、各モデルにおけるハンチ上端部断

面での曲げモーメントMhと、側壁中間モーメント最大断面での曲げモーメントMmの比(Mh/Mm)を、横軸をタンク内径、縦軸をMh/Mmとしプロットしたものである。なお、図-5は、水深H=10m、ハンチ高h'=0.9mの場合のものである。これより、同一ハンチ形状の場合、内径が大きくなるほど、また、同一内径であれば、ハンチ幅が大きくなるほど、図-1のような曲げモーメント分布から、図-2のような分布に推移していくのがわかる。

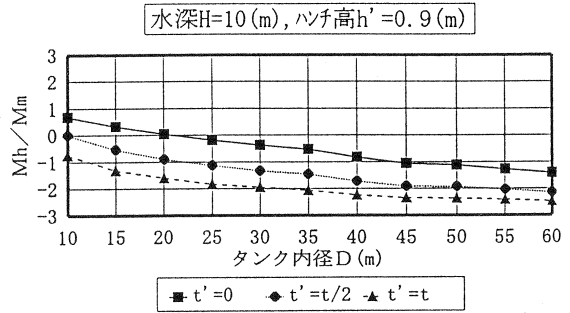


図-5 Mh/Mm

(2) ハンチ上端部断面応力度の検討結果

ハンチ上端部断面応力度の検討結果を、各水深別に図-6に示す。これらの図は、横軸をタンク内径、縦軸をハンチ上端部断面応力度とし、空水時(円周方向プレストレスおよび鉛直方向プレストレスが作用した場合)のハンチ上端部断面応力度σの値をプロットしたものである。これによると、同一内径であれば、ハンチ高が大きくなるほど、また、ハンチ幅が小さくなるほど、ハンチ上端部断面における発生引張応力度が小さくなるのがわかる。また、同一ハンチ形状であれば、内径が大きくなるほど、ハンチ上端部断面における発生引張応力度が大きくなるのがわかる。

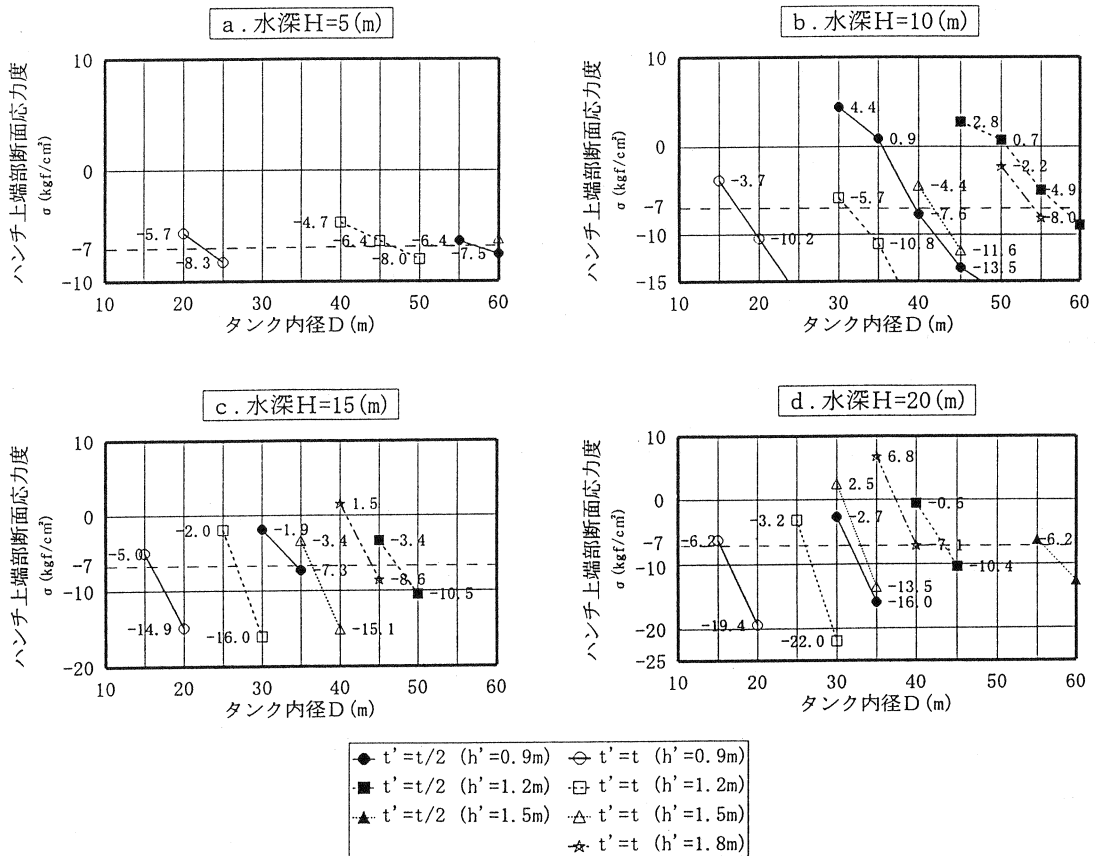


図-6 空水時ハンチ上端部断面応力度

### 5. 図を利用した適切なハンチ形状の決定方法

検討結果を基に作成した図を用いて、適切なハンチ形状を決定する手法のフローを図-7に示し、また、その具体的な方法を以下に示す。

#### ① タンク形状の設定

タンク内径D、タンク側壁高H、壁厚t、ハンチ幅t'、およびハンチ高h'を設定する。

#### ② ハンチ上端部断面応力度による判定

設定したタンク形状における空水時のハンチ上端部断面応力度を、図-6から読みとり、その値が許容引張応力度(-7kgf/cm<sup>2</sup>)以上であれば、設定したハンチ形状が適切であると判断し判定は終了、-7kgf/cm<sup>2</sup>よりも小さければ、許容値を満足するように、設定したハンチ形状を変更することになる。例えばタンク形状を、D=35m、H=15m、t=0.25m、t'=0.25m、h'=1.5mと設定した場合、この形状におけるハンチ上端部断面応力度は、図-6-c

より、-3.4kgf/cm<sup>2</sup>であるとわかり、これは、許容引張応力度(-7kgf/cm<sup>2</sup>)以上であるから、設定したハンチ形状が適切であると判断できる。また、タンク形状を、D=30m、H=20m、t=0.25m、t'=0.25m、h'=1.2mと設定した場合、この形状におけるハンチ上端部断面応力度は、図-6-dより、-22.0kgf/cm<sup>2</sup>であるとわかり、これは許容値以下となり、設定したハンチ形状を変更することになる。

#### ③ ハンチ形状の変更

設定したハンチ形状の変更を要すると判断されたものについては、応力度の判定に使用した図-6をそのまま用いて、ハンチ上端部断面応力度が、許容引張応力度(-7kgf/cm<sup>2</sup>)以上になるようなハンチ形状に変更する。具体的には、ハンチ高を高くするか、ハンチ幅を小さくすることでハンチ上端部断面応力度を抑えるということである。例えば、②における、ハンチ形状の変更を要した事例についていえば、図-6-dをそのまま使用し、D=30mに着目して、ハンチ上端部断面応力度が許容引張応力度(-7kgf/cm<sup>2</sup>)以上となるハンチ形状は、次の2ケースが考えられる。

(1)t'=t、h'=1.5mとする。(この時のハンチ上端部断面応力度2.5kgf/cm<sup>2</sup>)

(2)t'=t/2、h'=0.9mとする。(この時のハンチ上端部断面応力度-2.7kgf/cm<sup>2</sup>)

以上のどちらかにハンチ形状を変更すればよい。

### 6. まとめ

本手法を用いれば、タンク形状決定の段階で適切なハンチ形状を簡便に設定できる。また、この方法によれば、「水プ標準仕様書」に示されている、従来からの解析解に基づく側壁下端断面および側壁中間モーメント最大断面の2断面による設計が適用できる。このような意味で、本手法は従来からの側壁設計手法を補完するものであると考える。

#### 【参考文献】

- 1) 社団法人日本水道協会：水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書，pp46～61，昭和55年3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，pp32，昭和61年1月

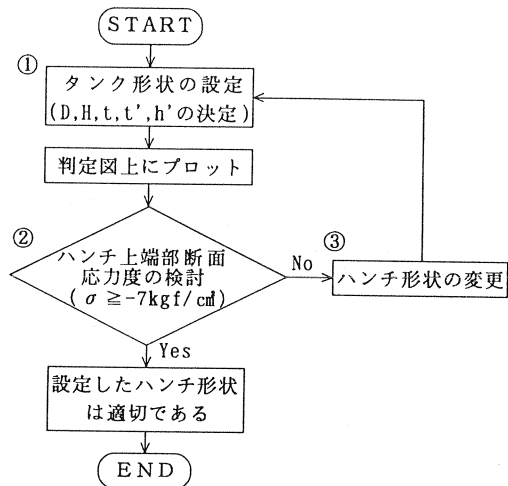


図-7 適切なハンチ形状決定のフローチャート