



Title	貯留増圧タンクに関する基礎的研究
Author(s)	小池, 晃義; 小笠原, 公洋; 高桑, 哲男 他
Description	第7回衛生工学シンポジウム (平成11年11月11日 (木) -12日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 7 水処理 2 . P7-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 7, 272-277
Issue Date	1999-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7305">https://hdl.handle.net/2115/7305</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	7-7-8_p272-277.pdf



## 7-8 貯留増圧タンクに関する基礎的研究

小池晃義・小笠原公洋・高桑哲男・船水尚行（北海道大学工学部）

### 1. はじめに

管路と配水池からなる配水施設系の性能改善のため、配水管網内に高架タンクを設置し、夜間などの小流量時には、配水池から下流側タンクに水量を輸送・貯留し、昼間の大流量時には、タンクから水量を供給する方策が検討されている<sup>1)</sup>。この貯留増圧方式は、特に、管路能力の低下に伴う水圧不足、既設配水池の容量不足などの問題を解消するのに有効であると期待される。

貯留増圧タンクの敷設にあたっては、対象都市の地勢や立地条件と併せて、短期的、長期的需要予測、季節変動、週日週末の時刻別需要変動パターン、火事・破管事故発生時の水量、配水池との役割分担など、配水管理に関するソフト・ハード両面から情報を収集し計画する必要がある。これらの検討に先立ち、まずは高架タンクの設置場所と設置高さ、容量といった設計に関わる因子と管網内水圧の増圧効果の水理的な因果関係を明らかにしておかねばならない。

本研究では、最初に高架タンクの貯留増圧メカニズムを通して、需要水量の変動による配水池とタンクの水位変化が、管網下流節点の増圧にどのように関わっているかを解析する。さらにタンク流出入管の流量調節バルブを操作することにより、タンクの水位と貯留量を効率的に活用して、需要水量がピークとなる、つまり管網節点水圧が最低になる時間帯の選択的な増圧方法について検討する。次に、高架タンクに貯留容量をもたせることで、根元の配水池自体の容量を軽減し、全体の貯留施設の容量が小さくて済むかを検討する。

### 2. 貯留増圧タンク方式のメカニズムと解析の基礎

#### 2-1 高架タンクの貯留増圧メカニズム

夜間の低需要時に水を貯留し、昼間の高需要時に配水するタンクの貯留増圧機構について、図2-1を用いて説明する。図中のタンク連結点はタンクの流出・入管が取り付けられた節点を示し、また①から④線は配水池とタンク連結点間の動水勾配を表す。①、②線は昼間の動水勾配、③、④線は夜間の動水勾配であり、後者の方が傾きが緩いのは、以下の理由による。夜間は昼間に比べて需要水量が少なく、管内流量も少なくなる。結果、配水池からタンク連結点に至るまでの摩擦損失水頭も昼間の大流量時に比べ小さくなる。それゆえタンク連結点の夜間水位は昼間に比べ相対的に高くなる。

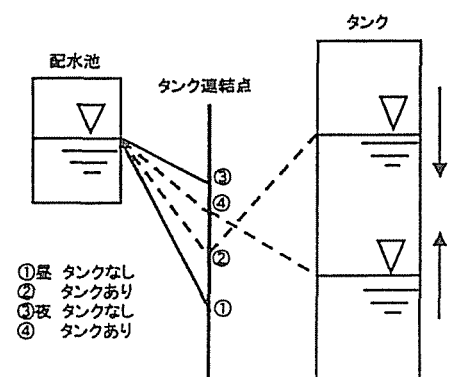


図2-1 タンクの貯留増圧効果

続いてタンクを設置した場合の夜間の動水勾配線を③、④線で比較する。夜間の低需要時はタンク連結点の水位が高いため、タンクを設置すれば、水が貯留される。結果、タンク連結点の水位は④線の方が若干下がる。一方昼間の動水勾配①、②線については、①の配水池のみの給水では、一定水量を配水池から送るのに対し、②線では所要の一定水量を配水池とタンクが分担して送っている。近傍のタンクからも給水された結果、圧力損失は減りタンク連結点の水圧は上がる。

①,②で生じたタンク連結点における水位差が、タンク設置による末端節点最低水位の上昇に反映する。

## 2-2 貯留増圧タンクの管網解析

配水池とタンク水位が与えられたときの管網解析の基礎式は、任意の節点  $i$  における流量の連続式

$$\sum_j Q_{ij} + p_i = 0 \quad (i \in INR) \quad (1)$$

と任意の2節点  $i, j$  間の管路の流量式 (損失水頭式)

$$E_i - E_j = r_{ij} |Q_{ij}|^{\alpha-1} Q_{ij} \quad (2)$$

であり、各節点のエネルギー位と各管路の流量は、式(1)と式(2)を連立に解いて求まる。ここに、 $Q_{ij}$ は管路の流量、 $p_i$ は節点  $i$  の流出水量、 $INR$  は配水池以外の節点の集合、 $r$  と  $\alpha$  はそれぞれ使用する流量公式によって異なる値をとる係数と指数、 $E_i, E_j$  は節点  $i, j$  におけるエネルギー位である。高架タンクの流出・入管バルブでの流量調節するときは、バルブの損失水頭を加味し、式(2)に代えて

$$E_i - E_j = r_{ij} |Q_{ij}|^{\alpha-1} Q_{ij} + f_v \frac{8}{\pi^2 g} \frac{1}{D_{Tm}^4} |Q_{ij}| Q_{ij} \quad (3)$$

を用いる。所定の流量を得るためには、バルブ損失係数  $f_v$  を開度調整にみたと操作する。ここに  $D_{Tm}$  はタンク流出入管の管径である。

定常シミュレーションでは、配水池の直下流管路に関する式(2)の配水池の水位と節点流出量に一定値が代入される。他方、配水池の水位変化を考慮する非定常シミュレーションでは、配水池水位、需要水量などの変数は時間関数となり、時々刻々と変動する値が代入される。

タンクを有する管網の非定常シミュレーションでは、配水池とタンクから流出入する流量はこれら二つの水位に影響されるから、管網計算に以下の連続式を組み込んだ計算が必要になる。

$$\left. \begin{aligned} A_R \frac{dE_R(t)}{dt} &= QT - Q_{Rk}(t) \\ A_T \frac{dE_T(t)}{dt} &= -Q_{Tm}(t) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 $A_R, A_T$  は配水池とタンクの表面積、 $E_R(t), E_T(t)$  は時刻  $t$  における配水池とタンクの水位、 $QT$  は配水池への一定送水流量、 $Q_{Rk}(t)$  と  $Q_{Tm}(t)$  は配水池とタンクの流出入量である。

## 2-2 モデル配水管網と需要曲線

図 2-2 は解析対象とした管網を示す。いま、配水池から最遠点の末端節点 32 番が管網内の水圧最小点である。また各地域ごとの水需要パターンを表したのが図 2-3 であり、管網内の多くを占める住宅地の需要曲線は、朝方 10 時と夕方 5 時にピークとなる。

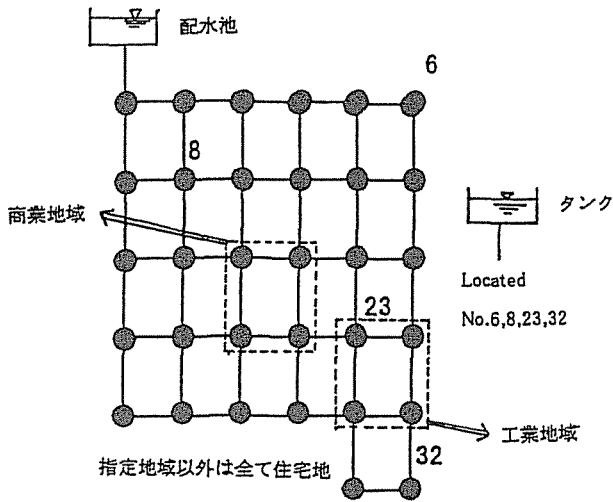


図2.2 モデル管網

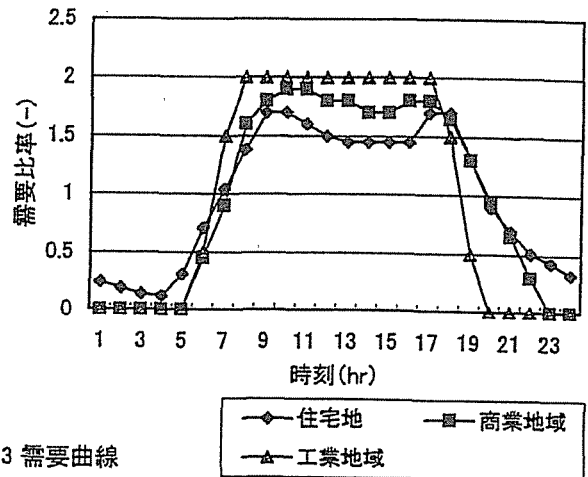


図2.3 需要曲線

### 3. 貯留増圧効果

#### 3-1 タンク設置による貯留増圧効果

2-1 節において高架タンクの貯留増圧メカニズムを説明したが、本節では図 2.2 のモデル管網を対象として解析する。タンクの設置個所は、配水池と末端節点 32 番との位置関係から図 2.2 に示すように、6、8、23、32 番を選定した。配水池とタンクの大きさは、それらの表面積の和を  $5600\text{m}^2$  にとり、配水池に対するタンクの表面積の比、 $T/R$  比を 0.1 から 1.0 まで変化させて比較した。

図 3.1 は、タンクを節点 23 番に設置したときの、末端節点 32 番の水位の経時変化を示している。参考として、配水池のみの場合の、末端節点 32 番の水位変化を示す。配水池だけでは、地盤上残存水頭の許容値、例えば 15m、を昼間 9 時から 18 時までの間、下回ってしまう。タンクを設けたことにより、末端節点 32 番の水位を 15m 以上にすることができる。末端節点の最低水位が 15m 以上確保できれば、管網内の水圧分布はそれ以上となる。

図 3.2 は、配水池のみの場合を基準として、タンクを設置した場合に末端節点 32 番の最低水位がどれだけ上昇したかを示す。タンク設置位置が末端節点に近いほどタンクによる増圧効果が大きくでている。また、面積比を大きくとる、すなわち配水池に対して相対的にタンクの面積を大きくとると最低水位の上昇量が大きくなっている。これは図 3.3 のように、配水池から末端節点 32 番までつないだ経路の動水勾配線を使って以下のように説明することができる。

いま、配水池に比べてタンクが相対的に大きい ( $T/R=0.5$ ) 場合とタンクが相対的に小さい ( $T/R=0.2$ ) 場合を比較する。タンクが相対的に大きい ( $T/R=0.5$ ) 場合は夜間にタンクへ水がより多く輸送される。タンクから上流側では、タンクの配水量が増加した分、配水池からの配水量が減少し損失水頭が軽減され、動水位が高くなる。一方、タンク下流側ではタンクがないときと同程度の損失水頭であり、タンク水位が上昇した分だけ動水位が上がる。さらにタンクが相対的に大きい場合には一定量の配水にたいして、タンク水位の低下量は小さく、タンク水位は相対的に高く保たれる。この結果が、末端節点の最低水位にも反映されるため、上昇率が大きくなることにつながる。

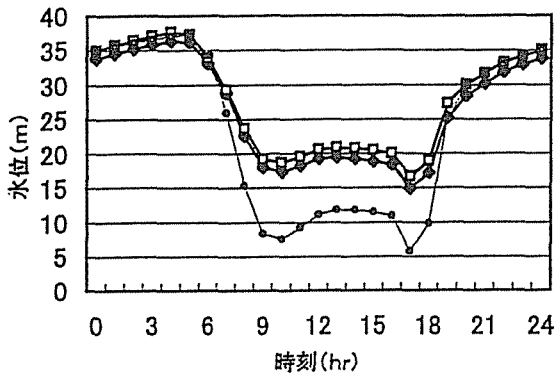


図3-1 末端節点水位の経時変化  
タンクは23番に設置

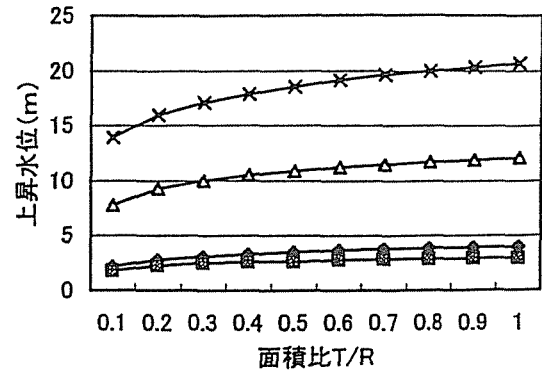
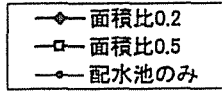


図3-2 末端節点最低  
水位の上昇

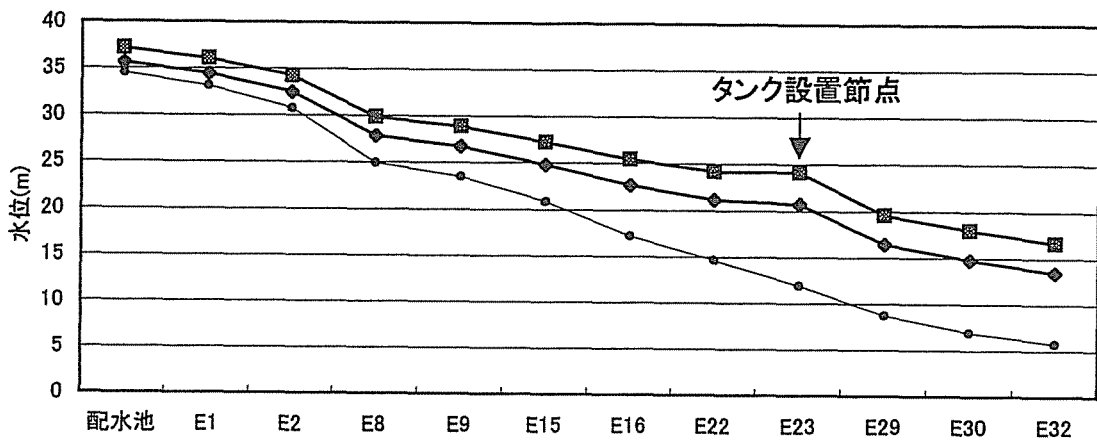
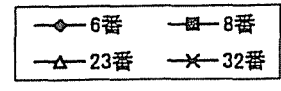
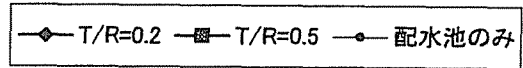


図3-3 末端節点が最低水位を記録した17時における  
配水池から末端節点までの動水勾配



### 3-2 バルブ操作による増圧効果

前節にてタンクの貯留増圧効果を述べたが、ここではタンク流出・入管のバルブ開度を操作することでタンクの配水流量を制限し、さらなる増圧効果を検討する。なお、バルブの操作方法については目的別に2通りの方法を考えた。

図3-4には、配水池とタンクの表面積がそれぞれ4600 m<sup>2</sup>、1000 m<sup>2</sup>、T/R比が約0.22である場合の末端節点32番の水位経時変化を示しており、夕方17時の最低水位は15.1mで地盤上残存水頭の許容値ぎりぎりの状況である。

この水需要ピーク時間帯に火事などの不測の事態が発生すれば、より大量の水が引抜かれ水位は著しく低下してしまう。そのためこの夕刻の時間帯の水位に余裕を持たせるよう、昼間の比較的水位に余裕がある時間帯にバルブを操作し、タンクからの配水量を制限して末端節点水位が15mを若干上回る程度に抑えた。これが第1のバルブ操作方法である。結果は図3-4で示されるように正午の末端節点32番の水位は19.3mから16mとおよそ3.3m低下したが、夕方17時の水位は16.3mに上昇し、1.2mのさらなる増圧効果がみられた。

また、バルブの開度操作は2-2節の式(3)で述べた  $f_v$  値で調整している。開度操作をするにあたっては図3-5を参考にした。バルブ全開時の配水量から、バルブ操作時の実配水量を引いた流量を制限配水量とすると、末端節点の水位低下量はタンクの制限配水量と相関関係があることが

図3.5でわかる。これにより、予め末端節点水位の低下量を用意し、それに見合った流量を制限する目安となった。

次に2番目の操作方法であるが、これは夕刻の最低水位を持ち上げるとともに、昼間の時間帯において最低水位をなるべく高くするように調節するものである。結果は図3.6に示す。また先の例と同様にT/R比は0.22の場合で比較している。この場合、夕方17時の末端節点32番の水位は16.1mに上昇した。

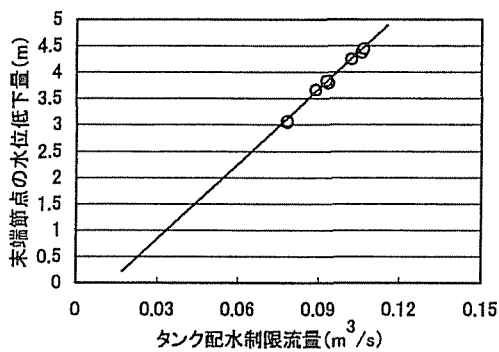


図3.5 タンクの配水制限流量と水位低下の相関

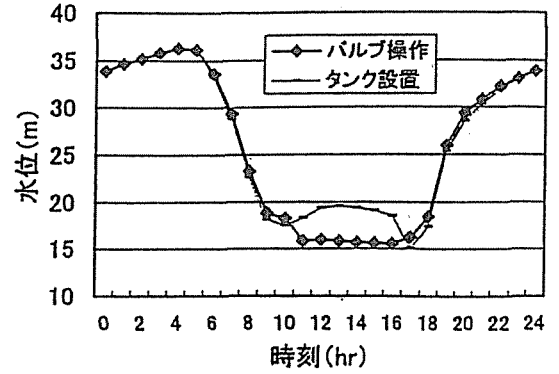


図3.4 末端節点水位の経時変化

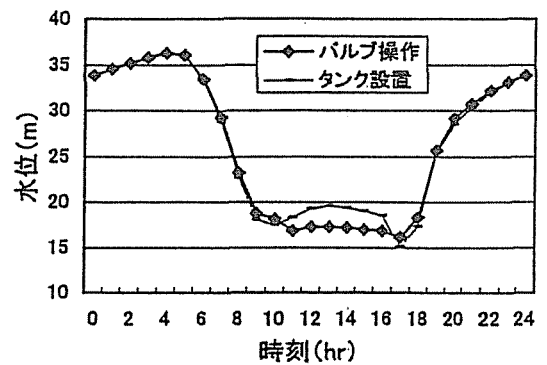


図3.6 末端節点水位の経時変化

#### 4. タンクの必要容量

図3.3に例示したようにタンクの表面積を大きくとるほど、末端節点の水圧は大きく回復した。しかし、単純にタンクの表面積を大きくとるといっても実際には地勢などの限界があるため、最低限の容量で所要の増圧をすることが望ましい。そこで配水池とタンクの容量和を、前章と同様に図2.1のモデル管網を使って面積比を変化させて調べてみる。ここでも配水池とタンクの底面積の和を一定の5600m<sup>2</sup>とした。

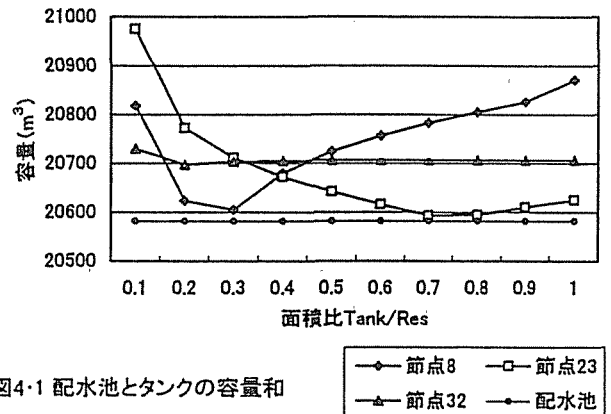


図4.1 配水池とタンクの容量和

解析結果を図4.1にまとめた。なお凡例の節点番号はタンクの設置位置を表している。図中には、配水池のみの場合の必要容量を対照として示す。表面積5600m<sup>2</sup>で、容量は20581m<sup>3</sup>である。それぞれのタンク節点の位置で、配水池とタンクの総貯留容量が最小となる面積比がみられるが、総容量は配水池を一つのみとした場合よりも、多少大きくなっている。節点23番にT/R比0.22のタンクを置いた3章の例では、総容量は20756m<sup>3</sup>で、およそ1%多く必要となっている。これは、配水池とタンクの貯留配分が均等に行われなためと考えられる。タンクの表面

積が小さいときは、配水池の配水流量は貯留分と需要水量の両方を同時に賄わなければならない時間帯があり、配水池の容量にその分の容量を確保する必要があるためである<sup>2)</sup>。

## 5. まとめ

タンクの貯留増圧効果について検討した結果、得られた知見を以下にまとめる。

- タンク設置による増圧効果は、タンクの表面積が大きい、すなわちタンクの最低水位が高いほど大きく、設置箇所については水圧回復の目標点である末端節点付近ほど有効である。
- 水位に余裕のある昼間にタンクのバルブ操作で流量制限を行えば、タンクの配水制限分だけその水位は高く保たれ、節点水圧が最低になる夕方において増圧が可能であると考えられる。
- 配水池とタンクを併設した配水系は、配水池ひとつの系に比べ多少大きな容量を要する。しかし、面積比によっては配水池ひとつの容量とほぼ等しくなる。

## 参考文献

- 1) 高桑哲男：配水管網解析の基礎と応用、水道管路技術センター (1992)
- 2) 高桑哲男・Javed Iqbal・小笠原公洋・船水尚行：2点流入型管網の水理解析に関する基礎的研究、水道協会雑誌、Vol.67、No.4、pp.13-24、1998.