

## レベル2地震動に対す鋼製配水池の耐震安全性照査法検討

武蔵工業大学 学生会員 荻久保 智隆  
 武蔵工業大学 正員 小池 武

### 1. はじめに

配水池の耐震設計は、長周期地震動に対しては液面動揺の影響調査が必要であり、短周期地震動に対しては動水圧による側板および底板の座屈あるいは亀裂破壊に対する安全性照査が必要となる。

ここでは、地震時動水圧による側板および底板の耐震安全性照査について、既往の照査式の問題点について論じるとともに、新しい安全性照査式を提案するものである。

### 2. 解析対象

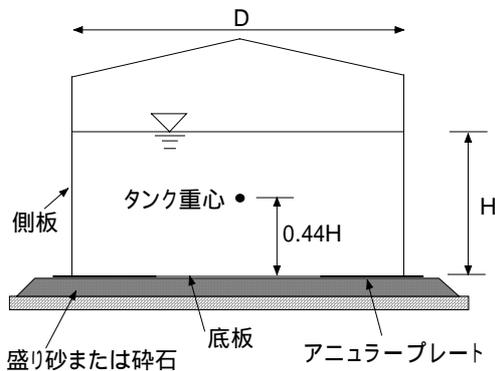


図1. 配水池モデル

### 3. 設計水平力に対する既往耐震設計法の検討

レベル2地震動による設計水平力  $Q_{dw}$  に対する耐震安全性照査は、 $Q_{dw}$  が側板下端部の象の脚座屈耐力  $Q_y$  以下であることを確認する形で次式により行われる。

$$Q_y > Q_{dw} \quad (1)$$

ここで、設計水平力は次式により算定される。

$$Q_{dw} = P + (W_R'' + W_S + W_B) \cdot K_{h2} \quad (2)$$

ただし、

$$K_{h2} = C_S \cdot K_{h02} \quad (3)$$

ここで、 $P, W_R'', W_S, W_B$  はそれぞれ動水圧、積載荷重と屋根重量、側板重量、底板重量、そして、 $C_S, K_{h02}$  は構造特性係数およびレベル2地震動に対する基準設計震度である。

ところで、この照査式は側板下端部に発生する応力が降伏応力以下の座屈強度を下回り、象の脚座屈を発生しないことを確認したことになり、地震動の繰り返しに対して側板下端部が弾性挙動をして亀裂漏洩する懸念の無いことを照査したことになる。しかし、上述の安全性照査で構造特性係数  $C_S$  を用いている意味は、照査者が振動系そのものは弾塑性応答をしていることを承認しているのであり、したがって、耐震安全性照査はこの弾塑性応答による破壊の可能性に対する安全性照査を回避してはならないということである。すなわち、本来の照査者は、地震時弾塑性応答をしているはずの部位の耐震安全性を照査しなければならない。

実際、この配水池は底板と側板の接合部において弾塑性応答を示すことで振動系に入る地震エネルギーを吸収し、結果的に構造特性係数の形で水平加速度の低減を生み出している。

したがって、耐震安全性の観点からは、この弾塑性応答を発生している底板の疲労破壊に対する安全性照査をする必要がある。すなわち、既往設計指針の解析モデルを用いると、図2に示すように水平地震荷重を受けた配水池は底板および側板においてそれぞれ塑性変形および座屈変形という異なる損傷モードを示すことから、それぞれに対応する安全性照査が必要となる。

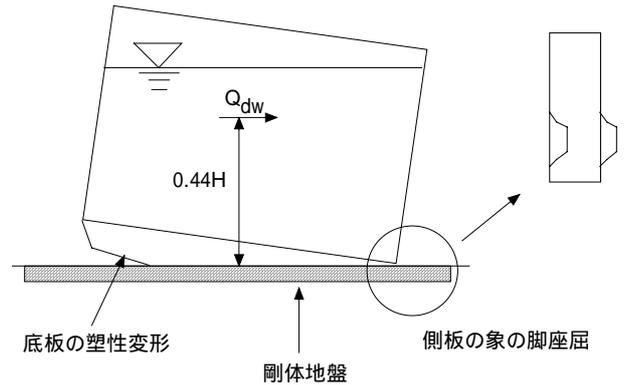


図2. 現行配水池の解析モデル

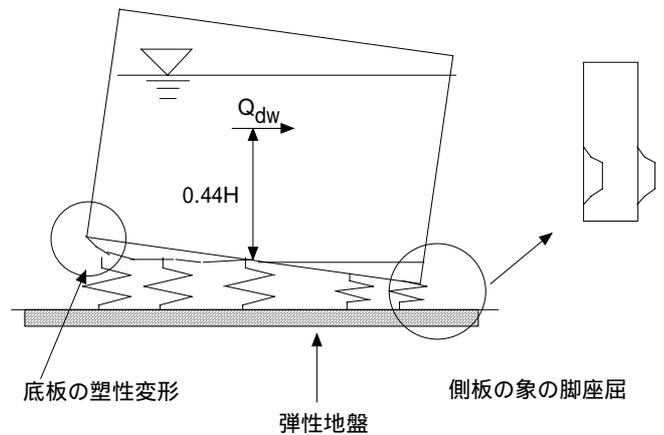


図3. 弾性地盤上の配水池モデル

### 4. 新耐震安全性照査の提案

#### (1) 地震反力を考慮した解析モデル

現行の配水池モデルは剛体地盤上に設置された配水池が地震時に底板全体を浮上らせる前提で誘導された配水池の振動特性(バネ定数)を用いているが、ここでは図3に示すように地盤バネにより配水池の半分は地盤反力に支持されるものとする。このとき、配水池の浮上り挙動に対する振動系の水平バネ定数は次式で与えられる。

$$K_1 = \frac{\pi}{2} \frac{(k_1 + k_G) r^3}{(0.44H)^2} \quad (4)$$

ここで  $r, H, k_1, k_G$  はそれぞれ配水池半径、液面深さ、底板浮上りバネ、地盤バネである。

#### (2) 底板・側板接合部の安全性照査

キーワード 鋼製配水池、耐震安全性評価、塑性疲労破壊

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 リスク数理工学研究室 TEL03-3703-3111

配水池の全体挙動が図4に示すように底板中心部の回りに角度  $\theta_{max}$  で回転する場合には、底板・側板接合部に発生する塑性変位振幅  $\delta_B$  は、次式で算定できる。

$$\delta_B = \theta_{max} \cdot r$$

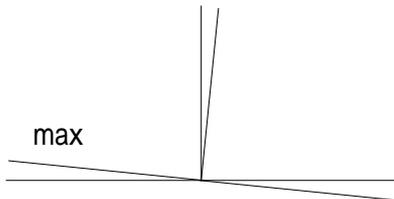
ただし、  $\theta_{max} = \frac{Q_{dw}}{0.44H_l \cdot K_1}$  (5)

塑性部位に対応する塑性ひずみ  $\epsilon_B$  は次式より求められる。  
図4. 配水池の全体回転挙動

$$\epsilon_B = \left( \frac{\delta_B}{\delta_y} \right) \epsilon_y$$
 (6)

ここで、 $\delta_y, \epsilon_y$  は降伏変位と対応する降伏ひずみ。

したがって、塑性疲労ひずみ振幅  $\delta_B$  に対応する疲労亀裂繰り返し回数  $N_B$  が地震時継続時間中の繰り返し回数  $N_{EQ}$  以上であれば耐震安全性を保持できることになる。すなわち、耐



震安全性照査式は、次式となる。

$$N_{EQ} \leq N_B$$
 (7)

(3)側板の象の脚座屈の耐震安全性照査

地盤反力を考慮したことにより、既往の照査式の一部を変更することになる。応力式の形式で照査式を示す。

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{c0}$$
 (8)

ここで、

$$\sigma_{c0} = f_{CRS} \left( 1 - \frac{\sigma_\phi}{\sigma_y} \right), \sigma_{max} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_{dw} \cdot 0.44H}{r^2 t_{wall}} \cdot \frac{K_G}{k_1 + K_G}$$
 (9)

ただし、 $f_{CRS}, \sigma_\phi, t_{wall}$  はそれぞれ基準圧縮座屈強度、側板下端部円周応力、側板の板厚である。

5. 数値検討例

表1. 設計諸元

諸元	記号	数値	単位
水平力	P	$3.84 \times 10^3$	kN
屋根重量	$W_R$	1194.45	kN
側板重量	$W_S$	1187.59	kN
底板重量	$W_B$	490	kN
構造特性係数	$C_S$	0.796	
基準設計震度	$k_{h02}$	1.4	
貯槽半径	r	15.1	m
水位	H	14	m
底板浮上りパネ	k1	$6.13 \times 10^3$	$kN/m^2$
地盤反力パネ	$K_G$	$1.70 \times 10^3$	$kN/m^2$
降伏ひずみ	$\epsilon_y$	$1.19 \times 10^{-3}$	
側板の板厚	$t_{wall}$	0.018	m
基準圧縮座屈強度	$f_{CRS}$	$1.25 \times 10^5$	$kN/m^2$
側板下端部円周応力	$\sigma$	$1.21 \times 10^5$	$kN/m^2$
材料降伏点	$\sigma_y$	245000	$kN/m^2$

表1をもとに図5、図6を作成した。図5に設計震度と応力の関係図を示す。図5において設計震度を増やした際に、発生する最大圧縮応力値が座屈限界応力値をどのあたりで上回るかを確認できる。図6に設計震度と塑性疲労ひずみ振幅の関係を示す。図6において塑性疲労ひずみ振幅が線型性をもつことが確認できる。

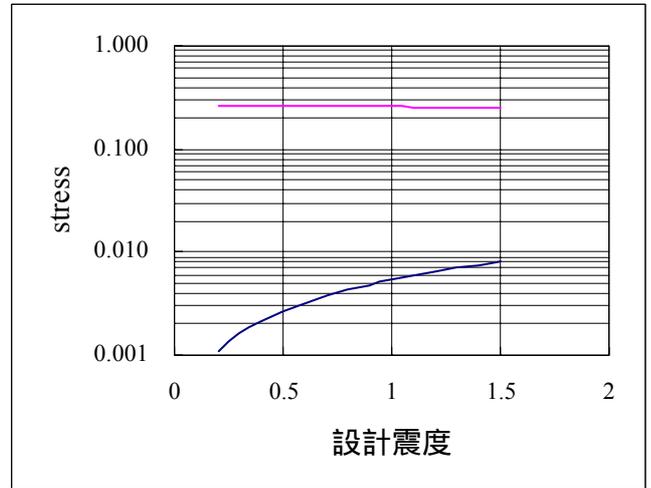


図5. 最大圧縮応力と座屈限界応力

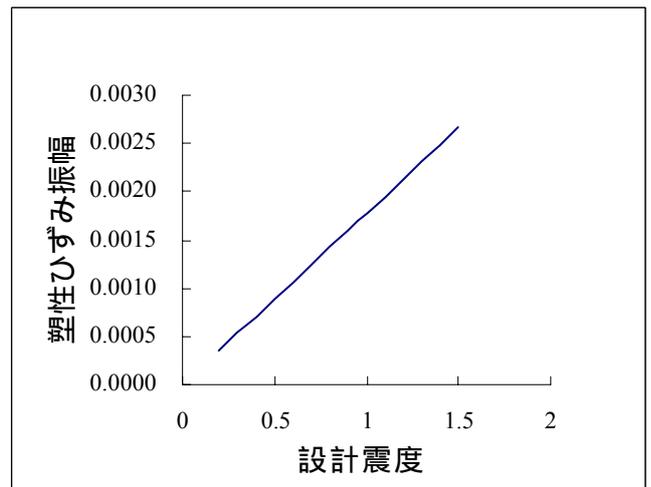


図6. 加速度と塑性疲労ひずみ振幅

6. 結論

本報告では、地震時動水圧による側板および底板の耐震安全性照査法について、既往設計式の問題点をそれを解決するための新しい照査式を提案した。提案式とは、底板に発生する塑性変位繰り返し振幅による塑性疲労破壊に対する安全性を照査する評価式であり、必要となる底板の塑性ひずみ振幅を算定する計算式を提示した。また、配水池が設置される基礎が現行設計式では剛体基礎であったが、弾性地盤として地盤反力を考慮した安全性照査式を新たに提案した。

参考文献

- 1) 日本水道協会: 水道施設設計指針・解説、日本水道協会、1997.
- 2) 日本建築学会: 容器構造設計指針同解説、日本建築学会、1996.