

# 球形貯槽の地震時変位について

株式会社 プラント耐震設計システムズ  
池 田 雅 俊

## 1. 限界状態に関する変位計算方法について

限界状態の設計を行う場合（高圧ガス保安法ではレベル2耐震性能評価を行う場合）において保有耐力評価法（または代替法）によると、設計震度を  $D_s \cdot K_{MH}$  として、地震力  $F_s = D_s K_{MH} W$ （ $D_s = 0.25 \sim 0.5$  の値、代替法では、一律に  $D_s = 0.5$ ）に対して弾性計算により算出した各部応力  $s$  が耐震設計許容応力（降伏応力）  $s_y$  を超えないことを確認している。しかしながら、配管系の設計において配管支持構造物の変位量を震度  $D_s K_{MH}$  で算出して変位量  $s$  とすると、過小な値となっているため、不適切である。

以下に保有耐力評価法における変位量の関係について、図1にしめすような球形貯槽をイメージして図4に従い説明する。（一般性は失われない）

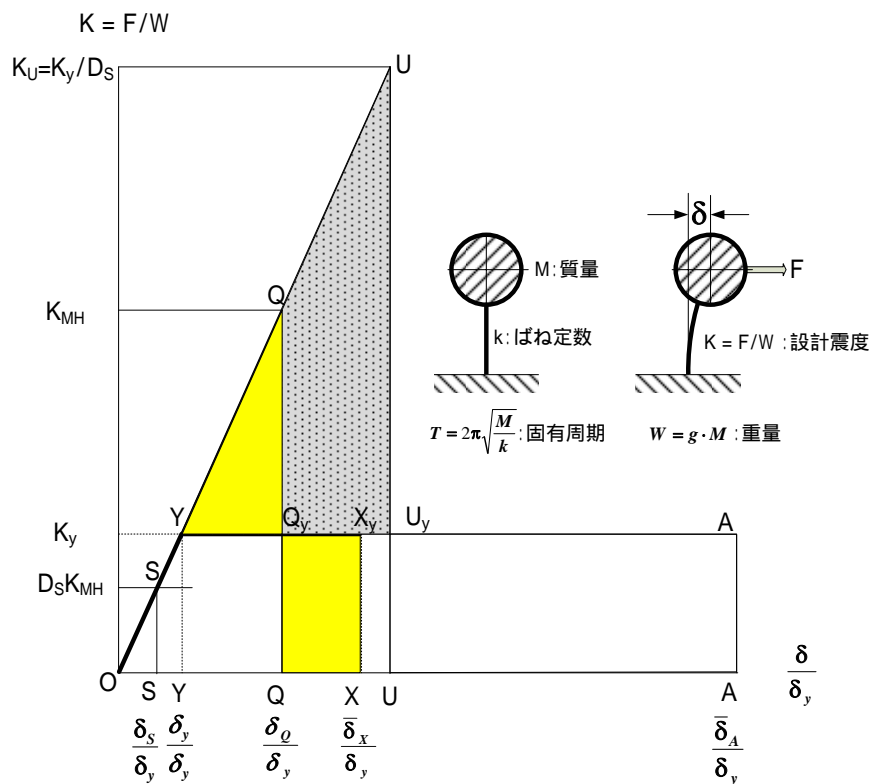


図4 保有耐力評価法

- (1) 横軸を変位量、縦軸を地震力とするが、それぞれ降伏変位、重量で無次元化している。
- (2) 球形貯槽に作用する地震力に対する変形（または変位）は完全弾塑性を仮定して、OYAとする。ここで、 $\delta_y$ は降伏変位、 $K_y$ は降伏震度といい、 $K_y W$ は保有耐力という。
- (3) 降伏震度 $K_y$ より大きな地震力が作用することを考えるとして設計震度 $K_{MH}$ が（ $K_{MH} > K_y$ ）が作用するとき、OYXと変形して最大変位 $\bar{\delta}_x$ となる。
- (4) 当該球形貯槽が降伏しないと仮定すると、設計震度 $K_{MH}$ に対して変形 $q$ が生じる。
- (5) この場合、地震エネルギー OQQ'の面積と OYXX'は等しい。このことを「総エネルギー一定則」という。 $\bar{\delta}_x$ の値は Y'YQQ' = Y'YXX'または YQQ\_y = Q\_yX\_yX'となるよう幾何的に算出することができる。
- (6) 球形貯槽の限界状態の変位量を $\bar{\delta}_A$ （限界変形量）とするとき、限界震度 $K_u$ の値は、Y'YUU' = Y'YUU'または YUU\_y = U'U\_yA\_yA'となるよう幾何的に算出することができる。この場合 $D_s = K_y/K_u$ より算出する。逆に、 $D_s$ が既知の時には、同様に $\bar{\delta}_A$ を算出することができる。
- (7) 当該球形貯槽の許容条件は $\bar{\delta}_x \leq \bar{\delta}_A$ となる、すなわち、 $K_{MH} \leq K_u$ となる。
- (8) 保有耐力評価法では(7)における式を書き換えて、 $K_{MH} \leq K_y/D_s$ 、さらに $D_s \cdot K_{MH} \leq K_y$ として、便宜的に評価式としたものである。したがって、震度 $D_s \cdot K_{MH}$ に力学的な意味はない。
- (9) そこで、 $D_s \cdot K_{MH}$ に対する変位量を $\delta_s$ とすると、 $\frac{\delta_s}{D_s \cdot K_{MH}} = \frac{\delta_y}{K_y}$ より、

$$\delta_s = D_s \frac{K_{MH}}{K_y} \delta_y \text{ と計算できる。同様に } \delta_Q = \frac{K_{MH}}{K_y} \delta_y$$

- (10) ところが、地震荷重は正逆方向の繰り返し荷重で地震による総仕事エネルギーは、見かけの最大変位量 $\delta_x$ としこの振幅でn回の繰り返しの等価であるとし置き換える（実際は地震波形は様々な振幅がランダムに合成されている。）と、次式のように計算できる。

$$Y'YXX' = \bar{\delta}_x - \delta_y = 2C(\delta_x - \delta_y)$$

となる。ここで、Cは、荷重変形履歴により定まる値で、 $0.5n \sim 2.0n$ となる。

nは通常、安全側に $n = 1$ としている。

- (11)  $K_{MH}$ に対して見かけの変位量 $\delta_x$ の値は(5)及び(10)により計算できる。計算結果を示すと次式となる。

$$\delta_x = \left[ 1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \right] \delta_y, \text{ ( } K_{MH} > K_y \text{ のとき )}$$

$$\delta_x = \frac{K_{MH}}{K_y} \delta_y, \text{ ( } K_{MH} \leq K_y \text{ のとき )}$$

- (11) 同様に、限界変位量 $\bar{\delta}_A$ を見かけの限界変位量に置き換えて、 $\bar{\delta}_A$ は、

$$\delta_A = \left[ 1 + \frac{1}{4C} \left( \frac{1}{D_s^2} - 1 \right) \right] \delta_y$$

と計算でき、(7)式に代えて、評価は $\delta_x$ 、 $\delta_A$ による。すなわち、 $D_s K_{MH} < K_y$

- (12) 震度 $K_{MH}$ に対して弾性計算で得られる変位量 $q$ に対する $x$ の比の値を算出すると、 $K_{MH} > K_y$ のとき、

$$\frac{\delta_x}{\delta_q} = \left[ 1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \right] \frac{K_y}{K_{MH}}$$

$K_{MH} < K_y$ のとき

$$\frac{\delta_x}{\delta_q} = 1$$

となる。

- (13) 震度 $K_s = D_s K_{MH}$ に対して弾性計算で得られる変位量 $s$ に対する $x$ の比の値を算出すると、 $D_s \cdot K_y < K_s$ のとき、

$$\frac{\delta_x}{\delta_s} = \left[ 1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_s}{D_s K_y} \right)^2 - 1 \right\} \right] \frac{K_y}{K_s}$$

$K_s < D_s \cdot K_y$ のとき

$$\frac{\delta_x}{\delta_s} = \frac{1}{D_s}$$

となる。

$D_s = 0.5$  (代替法による場合を含む。)のときの計算結果を、横軸は $D_s \cdot K_{MH} / K_y$ 、縦軸は $\delta_x / \delta_s$ として、図5に示す。

この図より、震度 $K_s = D_s \cdot K_{MH}$ に対して算出した変位量 $s$ は、過小評価になっていることに注意が必要である。また、 $K_{MH}$ にたいして弾性計算を行い算出した変位量 $q$ に関しては、(12)により補正した変位量に対して評価する必要がある。

一方、配管系に対しても代替法により評価を行う場合については、 $D_s = 0.5$  を乗じてもよいので、 $s$ によるなら、安全側の評価と考えられる。

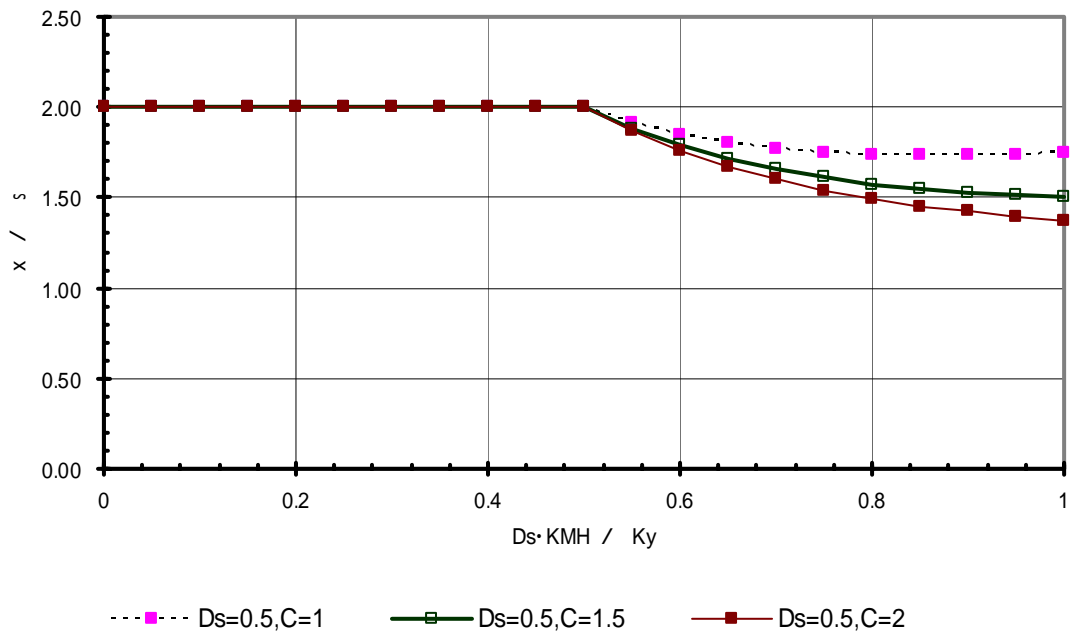


図5  $K_s = D_s \cdot K_{MH}$ に対する応答最大変位量（弾性計算変位量  $s$ に対する倍率）

## 2. おわりに

今回は、配管系の耐震設計で重要な評価項目である配管支持構造物の変位量の考え方及び算出方法などを解説した。

配管支持構造物は詳細設計が行われないと正確な応答計算は困難であるために、配管設計部門でも概略の変位量計算が行えるように簡易計算が一般に行われている。政府決定、変位年

通常、配管支持構造物(塔槽類、架構など)は設計において変位量の計算を行うことはない。計算をおこなっても、保有耐力法による場合や代替法による場合など、その算出されてきた変位量の意味を十分理解していないと問題が出てくる。これらの方法による場合の変位を補正する方法について説明した。

配管系の設計において使用する配管支持構造物の変位量の算出法に関してその考え方を詳しく説明した。十分に検討いただき設計に生かして頂ければ幸いです。

### 参考文献

- 1) 経済産業省:高圧ガス耐震設計基準、昭和 56 年 10 月 26 日、通商産業省告示第 151 号
- 2) 高圧ガス保安協会:高圧ガス設備等耐震設計指針、KHK E012-2006
- 3) 高圧ガス保安協会:高圧ガス保安法特定設備検査規則に基づくレベル 1 耐震計算書様式、平成 18 年 4 月