

|                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| 【整番】 SE-18-TM-006   | 【標題】 ラグタイプサポート接合部の強度評価        |
| 分類：構造(サポート)／種別：技術メモ | 作成年月：R01.12／改訂：Ver.0 (R01.12) |
|                     | 作成者：N. Miyamoto               |

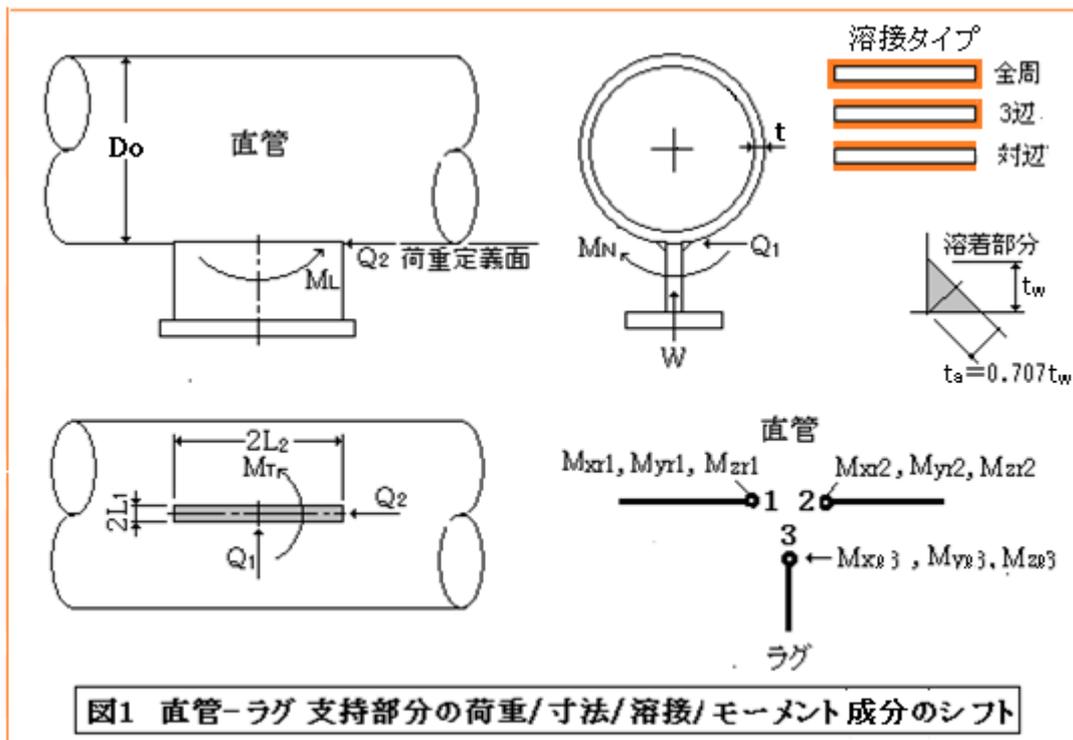
【 1/2 分冊 】

全 28 枚

## 1. はじめに

ラグタイプサポート(シュー/ラグ/イアなど)は、板材を管に溶接することで配管を支持する金具で、比較的シンプルであるためプラント配管でよく使用されている。ただクランプやUボルトと違って配管に溶接され一体化されているため配管の一部として扱う必要がある。特に配管との接合部は配管と同様にコードルールで評価する必要があると思われる。しかしその評価法は一般化されておらず要所で適宜強度チェックされているかどうかは不明である。そこで、ここではラグー配管の接合部の強度評価について、次の2つの方法とその運用を紹介してみたい。これらの方法はコード適用の如何によらず広く配管の強度チェックに使用できると思われる。

- (1)コード補完規定 (ASME CC N-318-5)による強度評価法
- (2)コード規定 (ASME Sect.1 PG56, A71-74)による許容荷重評価法



## 2. ASME CC N-318-5 による方法

### 2.1 ラグ接合部強度規定の概要

(1) ASME Sect.IIIはラグタイプサポートの配管接合部の強度について次の Code Case を発行している。

ASME Code Case N-318-5 :

Procedure for Evaluation of the Design of Rectangular Cross Section Attachments on Class 2 or 3 Piping (Section III Division 1)

このコードケースは、図1のような単一なラグピースを管に接合したシンプルな構造を対象としている。本節ではこのラグ構造に関する CC N-318-5 の規定内容を紹介する。CC N-318-5 規定の背景等は補足 A を参照されたし。

通常、このコードケースは次のステップで運用される(原文の流れも然り)。

**ステップ 1.** CC N-318-5 の適用の可否を確認する。

**ステップ 2.** トラニオン側のモーメント・フォースから生じる応力を算定する。

**ステップ 3.** 結合節点の直管(主管)側応力に上記の応力を加算し交叉部の全応力を評価する。

また併せて同時作用の最大荷重によるラグ側応力を評価する。

以下、ステップに従ってその規定内容を紹介する。

(2) まず**ステップ 1**について。CC N-318-5 の適用条件は次の通り。CC N-318-5 はシェルの弾性解析から導かれているが、モデル上の制約から、次の適用制限がある。

- ① ラグは、完全溶込み溶接または少なくとも 3 辺について隅肉溶接/部分溶込み溶接で管に溶着のこと。あるいはラグの長辺 2 サイドについて隅肉溶接/部分溶込み溶接で管に溶着のこと。但し、この 2 サイド溶着の場合、ラグ付根の(長辺/短辺)の比は 3 以上であること。
- ② ラグと管の縦弾性係数と線膨張係数は本質的に同じであること。
- ③  $\beta_1 < 0.5$ 、 $\beta_2 \leq 0.5$ 、かつ  $\beta_1 \beta_2 \leq 0.075$  とする。ここで、  

$$\beta_1 = (\text{ラグ短辺の半分 } L_1) / (\text{管の平均半径 } r)$$
、
$$\beta_2 = (\text{ラグ長辺の半分 } L_2) / (\text{管の平均半径 } r)$$
- ④ ラグは直管部に取り付けられ、ラグ溶接の最寄端より他の溶接部や不連続部まで  $(rt)^{0.5}$  以上の距離をもつこと。 $(rt)^{0.5}$  以下の相互距離内にある複数のラグでは、個々のラグ応力の影響を重ね合わせる。但し、 $r$  = 管の平均半径、 $t$  = 管の公称肉厚。
- ⑤  $D_o/t \leq 100$  であること。但し  $D_o$  = 管の公称外径、 $t$  = 管の公称肉厚。

(3) ラグ側の荷重によって管壁に生じる応力は次のようになる。

$$S_{m\theta} = B_T W_m / A_\theta + B_L M_{Lm} / Z_{\theta L} + B_N M_{Nm} / Z_{\theta N} + Q_{1m} / (2L_1 L_a) + Q_{2m} / (2L_2 L_b) + \dot{M}_{Tm} \quad \text{-----(1)}$$

$$S_{n\theta} = C_T W_d / A_\theta + C_L M_{Ld} / Z_{\theta L} + C_N M_{Nd} / Z_{\theta N} + Q_{1d} / (2L_1 L_a) + Q_{2d} / (2L_2 L_b) + \dot{M}_{Td} \quad \text{-----(2)}$$

$$S_{n\theta}^{**} = C_T W_i / A_\theta + C_L M_{Li} / Z_{\theta L} + C_N M_{Ni} / Z_{\theta N} + Q_{1i} / (2L_1 L_a) + Q_{2i} / (2L_2 L_b) + \dot{M}_{Ti} \quad \text{-----(3)}$$

$$S_{p\theta} = K_\theta S_{n\theta} \quad \text{-----(4)}$$

ここで  $S_{m\theta}$  = 機械荷重(自重や地震慣性力など)による接合面の 1 次応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_{n\theta}$  = 変位荷重(熱膨張やアンカ変位など)による接合面の 2 次応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_{n\theta}^{**}$  = 同時発生の最大瞬間荷重による接合面の応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_{p\theta}$  = 変位荷重(同上)による接合面のピーク応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$$C_T = 3.82 \gamma^{1.64} \beta_1 \beta_2 \eta^{1.54}$$

$$C_L = 0.26 \gamma^{1.74} \beta_1 \beta_2^2 \eta^{4.74}$$

$$C_N = 0.38 \gamma^{1.90} \beta_1^2 \beta_2 \eta^{3.40}$$

$$B_T = (2/3)C_T, \quad B_L = (2/3)C_L, \quad B_N = (2/3)C_N \quad (\text{但し } B_T, B_L, B_N \text{ はいずれも } 1 \text{ 以上})$$

$$\gamma = r/t, \quad \beta_1 = L_1/r, \quad \beta_2 = L_2/r,$$

$r$  = 管の平均半径(mm)、 $L_1$  = ラグ幅の 1/2 (mm)、 $L_2$  = ラグ長さの 1/2 (mm)

$t$  = 管の公称肉厚(mm)-----くされ代を除く、 $D_o$  = 管外径(mm)

$$\eta = -(X_1 \cos \theta + Y_1 \sin \theta) - (1/A_\theta)(X_1 \sin \theta - Y_1 \cos \theta)^2$$

$$X_1 = X_0 + \log_{10} \beta_1, \quad Y_1 = Y_0 + \log_{10} \beta_2$$

→ (但し  $C_T, C_L, C_N$  はいずれも 1 以上)

| 荷重タイプ          | A <sub>0</sub> | θ   | X <sub>0</sub> | Y <sub>0</sub> |
|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|
| W              | 2.2            | 40° | 0              | 0.05           |
| M <sub>L</sub> | 2.0            | 50° | -0.45          | -0.55          |
| M <sub>N</sub> | 1.8            | 40° | -0.75          | -0.60          |

$A_0 = 4L_1L_2$  (ラグ断面積 mm<sup>2</sup>)

$Z_{0L} = (4/3)L_1L_2^2$  (ラグの断面係数 mm<sup>3</sup>)

$Z_{0N} = (4/3)L_1^2L_2$  (ラグの断面係数 mm<sup>3</sup>)

$L_a = [L_2, t]$  のいずれか小さい方 (mm)

$L_b = [L_1, t]$  のいずれか小さい方 (mm)

W = ラグ-管の接合面に作用するスラスト(半径方向)力(N)

M<sub>L</sub> = ラグ-管の接合面に作用する長手方向曲げモーメント(N·mm)

M<sub>N</sub> = ラグ-管の接合面に作用する周方向曲げモーメント(N·mm)

M<sub>T</sub> = ラグ-管の接合面に作用する振りモーメント(N·mm)

Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub> = ラグ-管の接合面に作用する各せん断力(N) (図1参照)

$\dot{M}_T$  = 振り応力相当(N/mm<sup>2</sup>)、下記のいずれか大きい方

$$\left[ \frac{M_T}{L_c L_d t \{1 + (L_c/L_d)\}}, \frac{M_T}{\{0.8 + 0.05(L_d/L_c)\} L_c^2 L_d} \right]$$

L<sub>c</sub> = [L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>] の小さい方(mm)

L<sub>d</sub> = [L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>] の大きい方(mm)

なお W、M<sub>L</sub>、M<sub>N</sub>、M<sub>T</sub>、Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、 $\dot{M}_T$  につく添字の意味は次の通り。

m --- 機械荷重(自重、地震慣性力など)によるもの、地震慣性力は片振幅(0-P)。

d --- 変位荷重(熱膨張/熱変位や地震変位 P-P)によるもの

i ----- 同時発生最大荷重(例えば自重+熱膨張/熱変位+大規模地震変位)

各荷重は管接合面でカウントされたものである。図1参照

K<sub>0</sub> = 応力係数 - As weld の完全溶込み溶接/4 辺隅肉/部分溶込み溶接につき 2.0  
2 辺/3 辺の隅肉/部分溶込み溶接につき 3.6

(4) 次にステップ 3 について。完全溶込み溶接によるラグ接合部において[ラグ側及び配管側の荷重から生じる全応力の評価]と[ラグ側の同時作用最大荷重から生じる応力の評価]は次の通り。

(a) ラグ及び直管側の長期機械荷重による接合部の全 1 次応力の制限

$$PD_o/(4t) + M_A/Z + S_{m\ell} \leq 1.5S_h \quad \text{-----}(5)$$

$$P_{\max} D_o/(4t) + (M_A + M_B)/Z + S_{m\ell} \leq 1.8S_h \quad \text{-----}(6)$$

(b) ラグ及び直管側の長期変位荷重による接合部の全 2 次応力の制限(次のいずれかを探る)

$$S_E = iM_C/Z + S_{p\ell}/2 \leq f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad \text{-----}(7)$$

$$S_{TE} = PD_o/(4t) + iM_A/Z + iM_C/Z + S_{m\ell} + S_{p\ell}/2 \leq f(1.25S_c + 0.25S_h) + S_h \quad \text{-----}(7)$$

(c) ラグ側の同時発生最大荷重による接合部の 2 次応力及びせん断応力の制限

$$S_{n\ell}^{**} \leq 2S_y \quad \text{-----}(8)$$

$$Q_{1i}/(2L_1L_a) + Q_{2i}/(2L_2L_b) + M_{Ti}^* \leq S_y \quad \text{-----}(9)$$

$$\text{但し } M_{Ti}^* = \text{Max.} [M_{Ti}/\{L_c L_d t(1 + L_c/L_d)\}, M_{Ti}/\{L_c^2 L_d(0.8 + 0.05L_d/L_c)\}]$$

ここで  $P$ =設計圧力(N/mm<sup>2</sup>)、 $P_{max}$ =アップセット時の圧力(N/mm<sup>2</sup>)、 $D_o$ =直管外径(mm)、  
 $D_i$ =直管内径(mm)、 $A$ =直管の断面積(mm<sup>2</sup>)= $(\pi/4)(D_o^2-D_i^2)$ 、 $t$ =管肉厚(mm)  
 $Z$ =直管の断面係数(mm<sup>3</sup>)= $(\pi/32)(D_o^4-D_i^4)/D_o$   
 $M_A$ =長期機械的荷重による直管の相当モーメント(N·mm) [=  $(M_{xr}^2+M_{yr}^2+M_{zr}^2)^{0.5}$ ]  
 $M_B$ =アップセット時の短期機械荷重による直管の相当モーメント(N·mm) [=同上]  
 $M_C$ =長期変位荷重による直管の相当モーメント範囲(N·mm) [=同上]、  
 $M_{xr}, M_{yr}, M_{zr}$ =直管側モーメントの3軸成分、 $i$ =応力増幅係数(-)(ここでは  $i=1.0$ )  
 $S_h$ =使用温度における許容引張応力(N/mm<sup>2</sup>)、 $S_c$ =室温における許容引張応力(N/mm<sup>2</sup>)、  
 $S_y$ =材料の設計温度における降伏点または0.2%耐力(N/mm<sup>2</sup>)、 $f$ =応力範囲減少係数(-)  
 注)  $S_h, S_c, S_y$ は直管/ラグピースのいずれか低い方の値を採る。

なお  $M_{xr}, M_{yr}$  および  $M_{zr}$  については下記のように設定する。

もし  $M_{xr1}$  と  $M_{xr2}$  が正負同符号なら  $M_{xr}=0$ 、異符号ならば  $|M_{xr1}|, |M_{xr2}|$  いずれか小さい方のモーメント(符号付き)を  $M_{xr}$  に置き換える(補足 B 参照のこと)。

$M_{yr}, M_{zr}$  についてもこれと同じ方法で設定する。

(上記のサフィックス 1,2 は結合節点の直管側を表わしている(図 1 参照のこと)。

(5) 隅肉/部分溶込み溶接によるラグ接合部の応力の評価は次の通り。

- (a) 長期機械荷重による 1 次応力の制限 → 前項(4)の(a)に同じ。
- (b) 長期変位荷重による 2 次応力の制限 → 前項(4)の(b)に同じ。
- (c) 同時作用の最大瞬間荷重による応力の制限 → 前項(4)の(c)に同じ。
- (d) 上記に加えて下記の制限を設ける。

$$|W_i|/A_w + |M_{Li}|/Z_{wd} + |M_{Ni}|/Z_{w0} + (Q_{1i}^2 + Q_{2i}^2)^{1/2}/A_w + |M_{Ti}|/Z_{wt} \leq 2S_y \quad \text{-----(10)}$$

$$[(W_i/A_w)^2 + 4\{(Q_{1i} + Q_{2i})/A_w + (M_{Ti}/Z_{wt})\}^2]^{0.5} \leq S_y \quad \text{-----(11)}$$

ここで  $A_w$  = 全溶接有効断面積(mm<sup>2</sup>)

$Z_{wd}$  =  $L_1$  に平行な曲げ中立軸廻りの隅肉/部分溶込み溶接部の断面係数(mm<sup>3</sup>)

$Z_{w0}$  =  $L_2$  に平行な曲げ中立軸廻りの隅肉/部分溶込み溶接部の断面係数(mm<sup>3</sup>)

$Z_{wt}$  = 振り荷重に対し隅肉/部分溶込み溶接部の振り断面係数(mm<sup>3</sup>)

(6) CC N-318-5 は ASME Sect. III のクラス 2,3 配管をサポートするものである。前述のようにクラス 2,3 は一般プラントの主要配管に引き当てられるが、例えば ASME B31.3 のような一般プラントの配管コードと必ずしもマッチしていないので、ここでは **ASME B31.3 系の JPI 7S-77 規定と高圧ガス設備レベル 1 配管規定への運用** を考えて前(4)(5)項を補正してみる。

- (a) 長期機械荷重による 1 次応力の制限

$$S_L = PD_o/(4t) + |F_A/A| + M_A/Z + S_{m0} \leq S_h \quad \text{-----(12)}$$

- (b) 長期変位荷重による 2 次応力の制限(次のいずれか)

$$S_E = |F_C/A| + iM_C/Z + S_{p0}/2 \leq f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad \text{-----(13)}$$

$$S_n = S_L + |F_C/A| + iM_C/Z + S_{p0}/2 \leq f(1.25S_c + 0.25S_h) + S_h \quad \text{-----(13')}$$

- (c) 地震荷重による 1 次応力、2 次応力及びせん断/振れ応力の制限

・ 長期機械荷重(内圧、自重など)+ 短期機械荷重(地震慣性力)による一次応力の制限

$$PD_o/(4T) + [ |F^*/A| + (M_i^2 + M_o^2)^{0.5}/Z ] + S_{m0}^* \leq S \quad \text{----- (14)}$$

・ 地震荷重(慣性力+変位)による(一次+二次)応力の制限

$$2[|F^{**}/A|+(M_i^{**2}+M_o^{**2}+M_t^{**2})^{0.5}/Z]+2\{S_{m0}^{**}+(1/2)S_{p0}^{**}\} \leq 2S_y \quad \text{----- (15)}$$

(d) 地震状態も含めて同時発生の最大荷重による応力の制限

完全溶込み溶接のとき → (8)(9)式、 隅肉/部分溶込み溶接のとき → (8)(9)(10)(11)式

ここで  $F_A$ =配管側の長期機械荷重による直管軸方向フォース(N)、

$F_C$ =配管側の長期変位荷重による直管軸方向フォース(N)

$F^*$ =配管側の(長期+短期)機械荷重による直管軸方向フォース(N)、

$F^{**}$ =配管側の地震荷重(慣性力+変位)による直管軸方向フォース(N)、

$S_{m0}^*$ =ラグ側の(長期+短期)機械荷重によるラグ接合部応力(N/mm<sup>2</sup>)、

$S_{m0}^{**}$ =ラグ側の地震荷重(慣性力)に依るラグ接合部応力(N/mm<sup>2</sup>)、

$S_{p0}^*$ =ラグ側の地震荷重(変位)に依るラグ接合部ピーク応力(N/mm<sup>2</sup>)= $K_0 S_{n0}^*$

$S_{n0}^*$ =ラグ側の地震荷重(変位)に依るラグピース接合部応力(N/mm<sup>2</sup>)

$M_i^*, M_o^*$ =配管側の(長期+短期)機械荷重に依る直管面内/面外曲げモーメント(N・mm)、

$M_i^{**}, M_o^{**}, M_t^{**}$ =配管側の地震荷重(慣性力+変位)による直管の面内/面外/振りモーメント(N・mm)

$A$ =直管断面積(mm<sup>2</sup>)、 $S$ =耐震設計用許容応力<sup>(10)</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

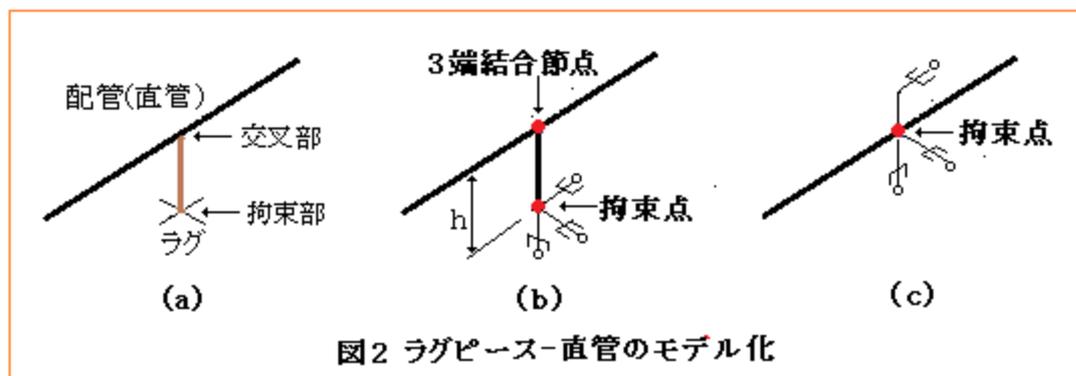
[その他記号は前(1)~(5)項の定義と同じ。]

なお  $M_i, M_o, M_t$ (→ $M_i^*, M_o^*, M_i^{**}, M_o^{**}, M_t^{**}$ ) については下記のように設定する。

もし  $M_{i1}$  と  $M_{i2}$  が正負同符号なら  $M_i=0$ 、異符号ならば  $|M_{i1}|, |M_{i2}|$  いずれか小さい方のモーメント(符号付き)を  $M_i$  に置き換える(補足 B 参照のこと)。

$M_o, M_t$  についてもこれと同じ方法で設定する。

(7) 以上の算定式では種々の荷重タイプが用いられているが、これらはいずれも配管系の線形構造解析から得られる。その場合、図 2(b)(c)のように 2つの解析モデルがある。ラグ-直管には図 2(a)のように交叉部と拘束部があるが、ラグを配管の 1部とし拘束部に拘束点を設けたものが(b)モデルであり、直管との交叉部に拘束点を設けたものが(c)モデルである。(b)モデルの方が正しいが、モデルが煩雑になるので通常の配管解析では(c)モデルが採られることが多い(と思う)。



(b)モデルと(c)モデルの違いはラグ高さ  $h$  の有無である。ラグ底の拘束点に主管軸と並行するフォース(図 1 の  $Q_2$  に相当)あるいは直交するフォース(図 1 の  $Q_1$  に相当)が含まれているならば、脚長スパンから派生するモーメント  $Q_1h, Q_2h$  が、(c)モデルに欠落していることになる。従って (c)モデルを採る場合は、ラグ側のモーメント成分  $M_L, M_N$  と、主管側のモーメント成分  $M_x, M_y$  を次のように補正する(置き換える)必要がある ( $x$  は主軸方向、 $y$  は水平軸直交方向)。

ラグ側 )  $M_N + Q_1h \rightarrow M_N$ 、  $M_L + Q_2h \rightarrow M_L$ 、

主管(直管)側 )  $M_{xr1} - 0.5Q_1h \rightarrow M_{xr1}$ 、  $M_{xr2} - 0.5Q_1h \rightarrow M_{xr2}$

$M_{yr1} - 0.5Q_2h \rightarrow M_{yr1}$ 、  $M_{yr2} - 0.5Q_2h \rightarrow M_{yr2}$

## 2.2. ラグ接合部強度の評価手順(案)

ラグ接合部応力と全応力の算定と評価プロセスには、多くのバリエーションが含まれており複雑でわかりにくい。そこで一連のプロセスをフローチャート化してみた。チャート1の構成は次の通り。

ステップ1 N-318-5の適用条件の確認

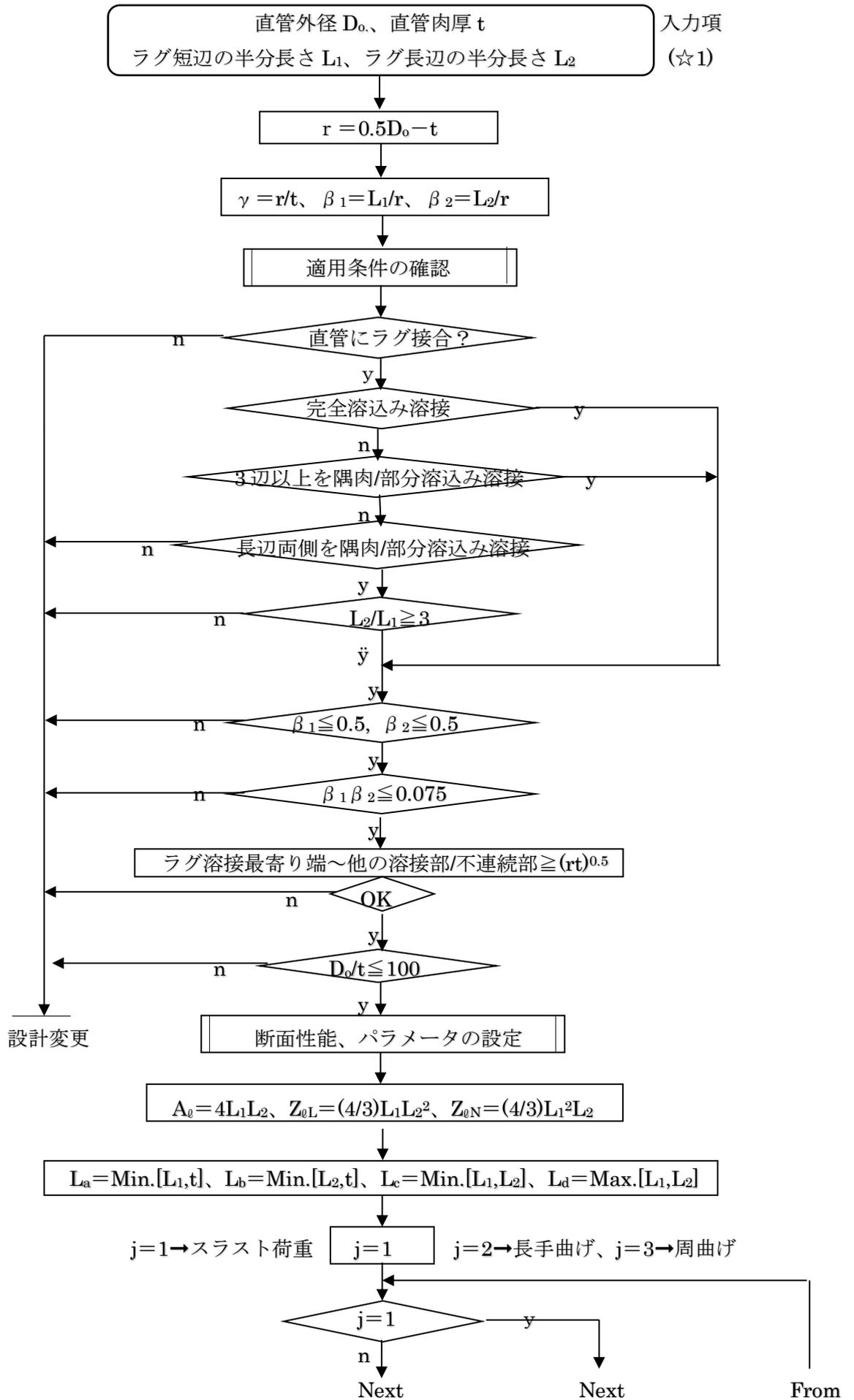
ステップ2 ラグ接合部応力計算のための断面性能/パラメータの設定

ステップ3 ラグ接合部の荷重設定と応力計算

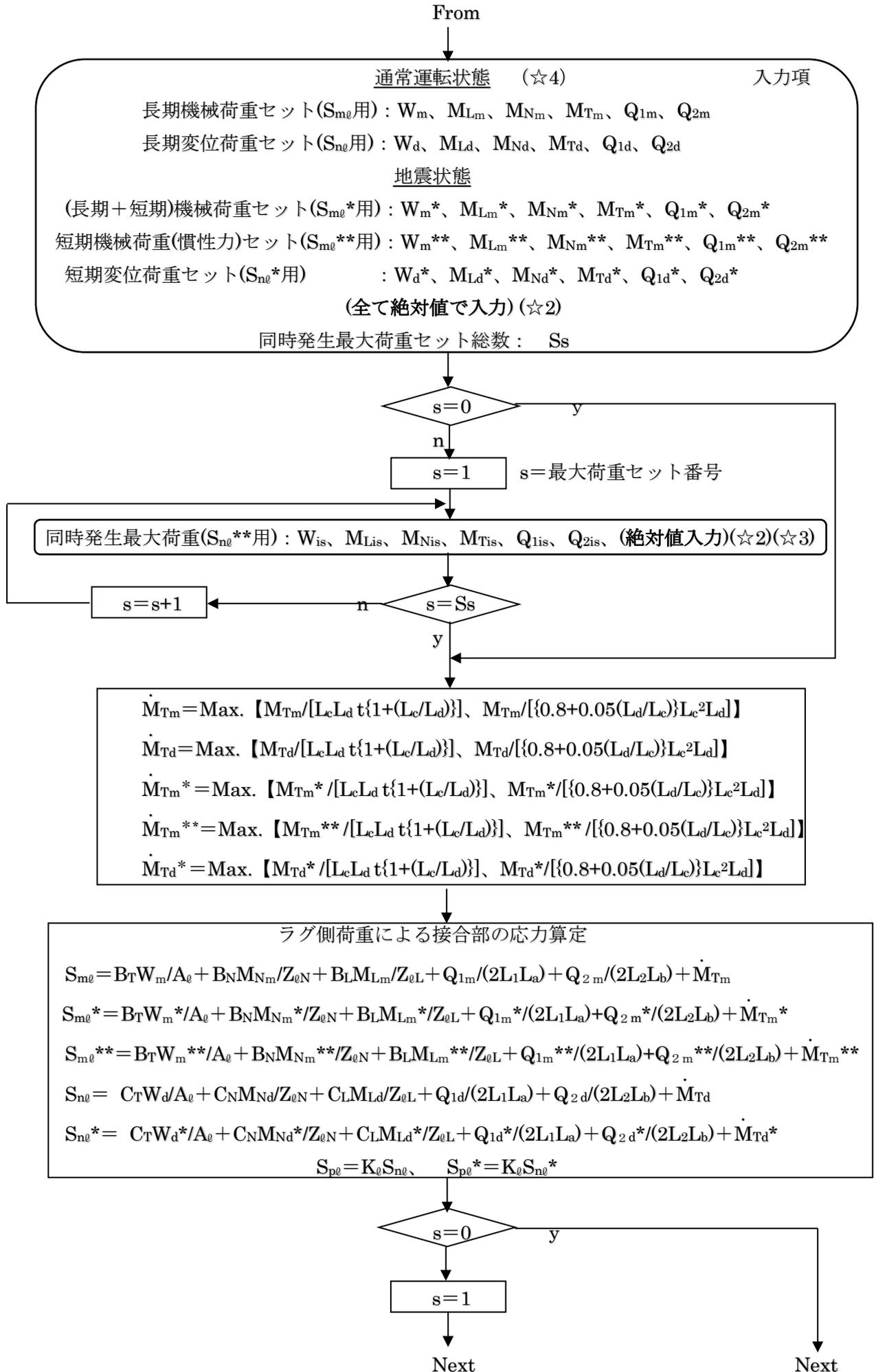
ステップ4 ラグ接合部の主管側の荷重設定

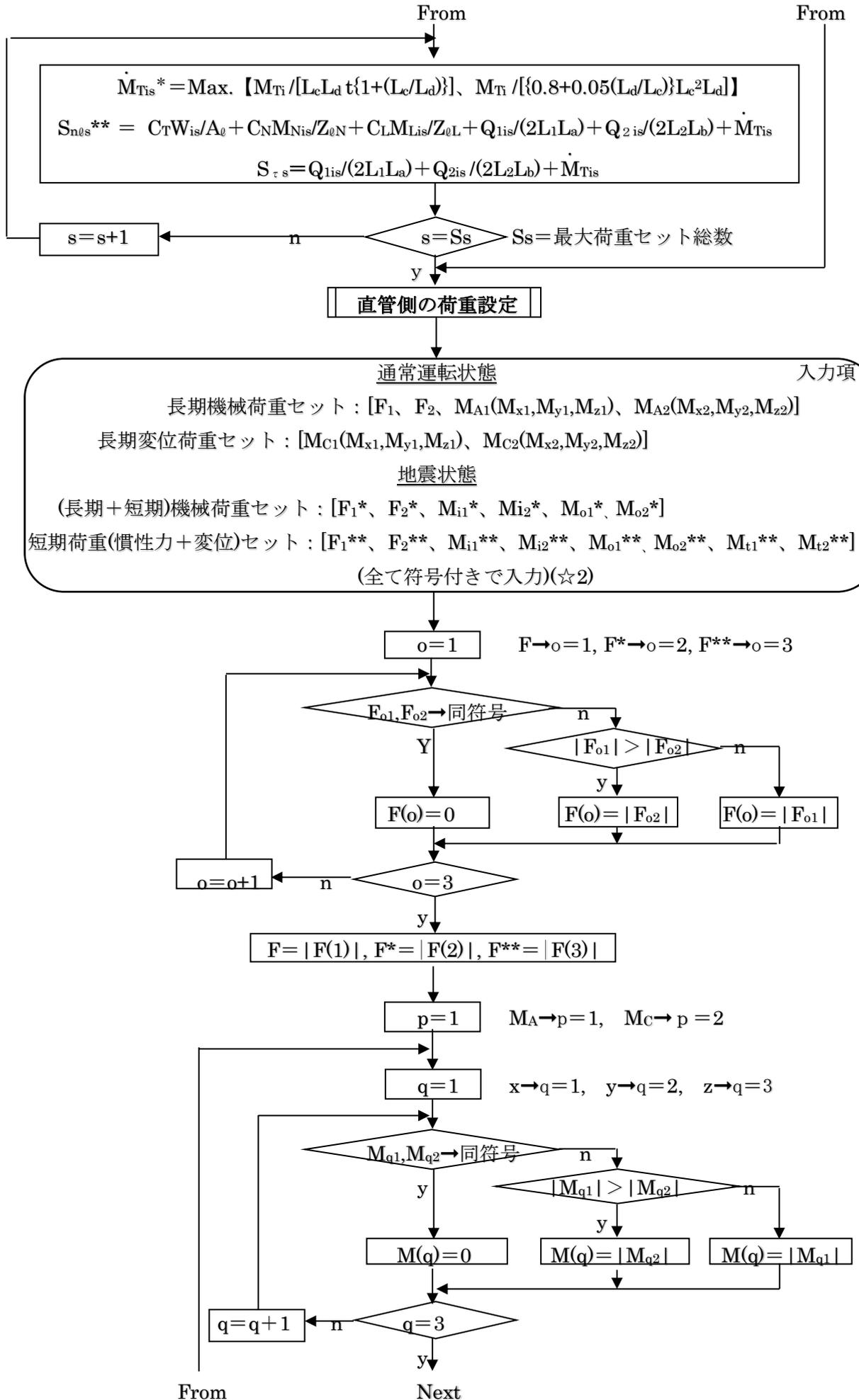
ステップ5 ラグ接合部の全応力の算定と評価

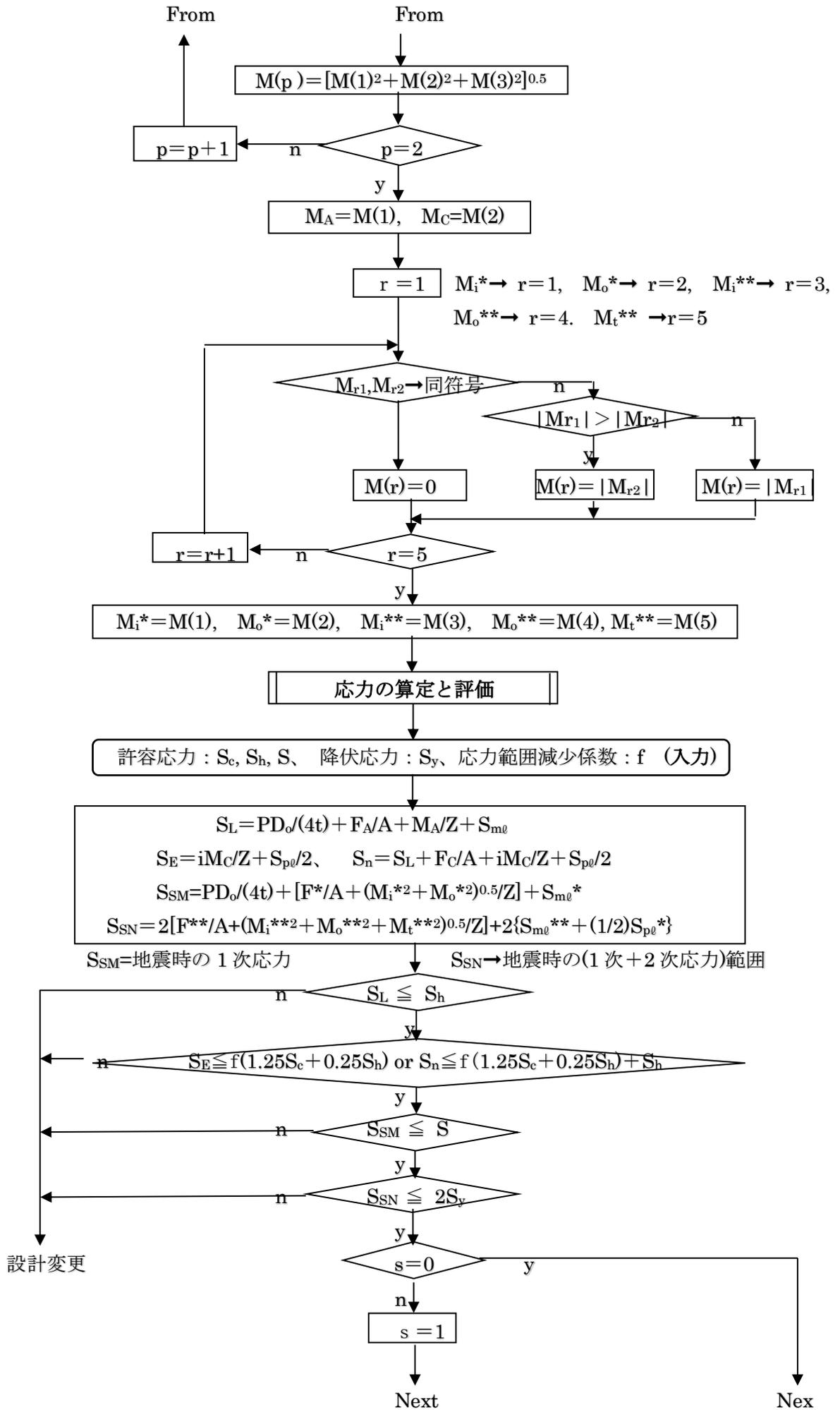
チャート1. ラグ-直管交叉部の強度評価手順

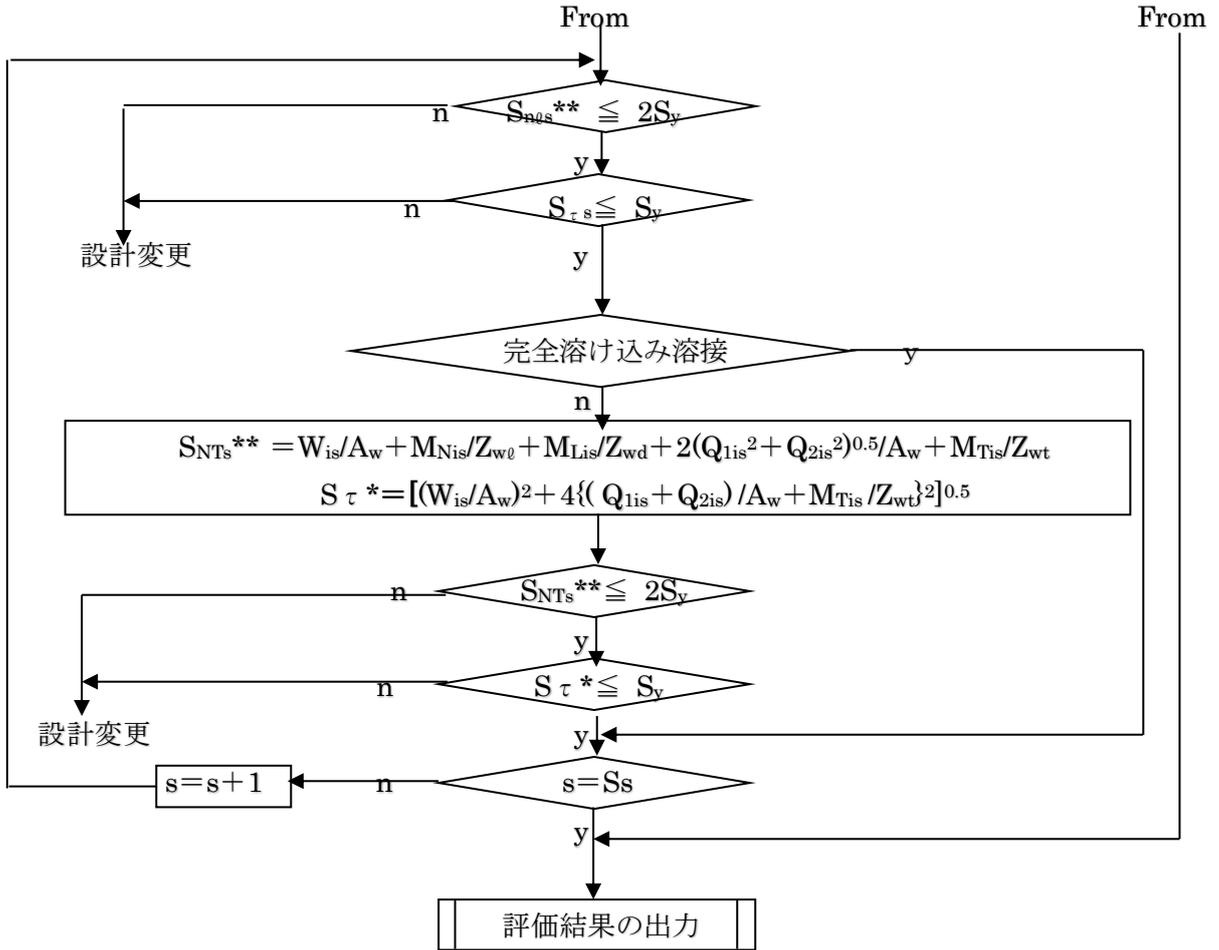












- 補注) (☆1) 肉厚  $T, t$  は公称肉厚から腐れ代を削除したものとする。主管側にパッドを設けるときは  $t' = (t^3 + t_p^3)^{1/3}$  および  $D_o' = D_o - 2t + 2t' \rightarrow t = t', D_o = D_o'$  ( $t_p$  = パッド厚さ)
- (☆2) 主管とラグピースの交叉部に拘束点を設けてモーメントを出力している場合はラグピースの脚長による付加モーメントを考慮する。
- (☆3) 同時発生最大荷重(地震荷重も含む)は、ある時点の全荷重(長期荷重+短期荷重)の Max. 値とする。その場合、機械荷重/変位荷重の如何は問わない。
- (☆4) ここでは安全弁吹き出しなどリセット状態は含まない。必要であれば同様の手順でリセット状態の1次応力を評価する。

**2.4 ASME CC 318-5 規定の運用案**

(1) 以上は半径方向に1個所ステーを取り付けた1本脚のラグタイプシュー(またはイア)を前提としている。このタイプのシューあるいはイアは小口径管にフィットするが、大径管になると安定を欠くので2ステータイプが用いられる。この場合、2つのステー間の干渉が考えられるが、強度的には1ステーよりも高くなるので、荷重を半分ずつ受け持った1ステー構造を想定することで、安全側に強度チェックできると思う。

ただ2ステーの場合、ステーは鉛直方向に管体とクロスするので、円環中心に向かってクロスする1ステー構造と異なる。そこで、図3に示すように円環中心に向かう仮想ステーをセットして、ここに仮想の荷重を負荷するようになる(図3参照)。

$$\begin{aligned} \text{フォース成分) } Q_1^* &= Q_1^{**} + Q_1^{***} = Q_1 \cos \theta + Q_3 \sin \theta, \quad Q_2^* = Q_2 \\ Q_3^* &= Q_3^{**} + Q_3^{***} = Q_1 \sin \theta + Q_3 \cos \theta \end{aligned}$$

モーメント成分)  $M_1^* = M_1 \cos \theta + M_3 \sin \theta$ 、 $M_2^* = M_2$   
 $M_3^* = M_3 \sin \theta + M_1 \cos \theta$

ここで、 $Q_1, Q_1^*$  = それぞれ垂直ステータと仮想ステータの周方向せん断力、  
 $Q_2, Q_2^*$  = それぞれ垂直ステータと仮想ステータの長手方向せん断力、  
 $Q_3, Q_3^*$  = それぞれ垂直ステータと仮想ステータの半径方向スラスト力、  
 $M_1, M_1^*$  = それぞれ垂直ステータと仮想ステータの長手方向モーメント、  
 $M_2, M_2^*$  = それぞれ垂直ステータと仮想ステータの周方向モーメント  
 $M_3, M_3^*$  = それぞれ垂直ステータと仮想ステータの振りモーメント、  
 $\theta$  = 仮想ステータの位置角 (図3参照)

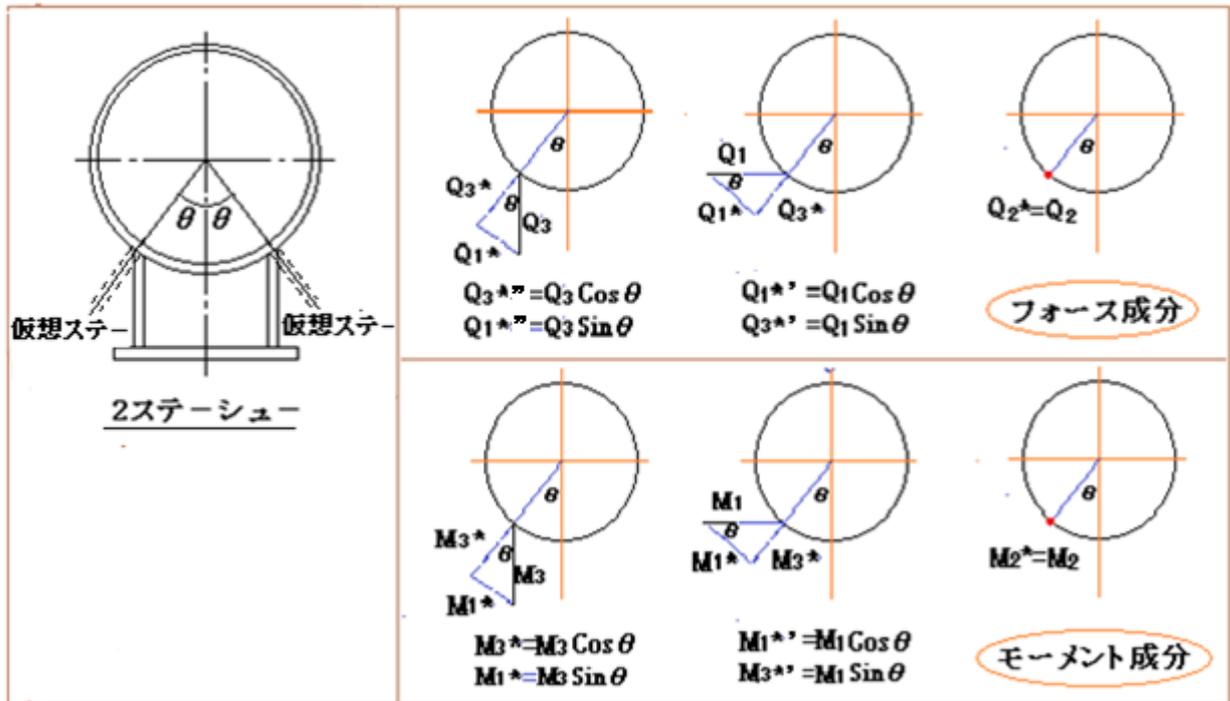
ここで 図1とマッチさせて、 $Q_3^* \rightarrow W^*$ 、 $M_1^* \rightarrow M_L^*$ 、 $M_2^* \rightarrow M_N^*$ 、 $M_3^* \rightarrow M_T^*$ とおき、更に  
 $Q_1 \rightarrow Q_2/2$ 、 $Q_2 \rightarrow Q_2/2$ 、 $Q_3 \rightarrow W/2$ 、 $M_1 \rightarrow M_L/2$ 、 $M_2 \rightarrow M_N/2$ 、 $M_3 \rightarrow M_T/2$   
 とすれば。仮想ステータの荷重は次のようになる。

フォース成分)  $Q_1^* = (Q_1 \cos \theta + W \sin \theta) / 2$ 、 $Q_2^* = Q_2 / 2$   
 $W^* = (Q_1 \sin \theta + W \cos \theta) / 2$

モーメント成分)  $M_L^* = (M_L \cos \theta + M_T \sin \theta) / 2$ 、 $M_N^* = M_N / 2$   
 $M_T^* = (M_L \sin \theta + M_T \cos \theta) / 2$

この仮想ステータの荷重を図1の荷重の代りに用いて、ラグ接合部の応力を計算できる。

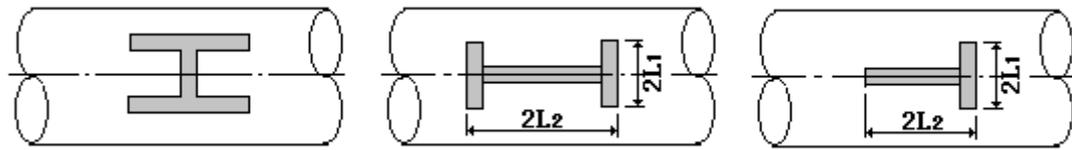
図3 2ステータシュアの荷重設定



(2) 設計によっては H 形、I 形あるいは T 形などの断面を持ったラグが使用されることがある。これは 1 ステータラグの周方向の剛性をカバーしたものと考えられる。これらの変形ラグ構造については N-318-5 のような設計データは与えられていない。もしこれらの強度に対して保証が要求されるなら、FEM 解析をやる他ないが、適宜安全側に N-318-5 を運用して簡単なプログラム計算で評価することも可ではないかと思われる。例えば H 形は 2 ステータシュアで扱い、I 形/T 形は下図のように 1 ステータモデルで扱って

- ① パラメータ制限 ( $\beta_1 \leq 0.5$ 、 $\beta_2 \leq 0.5$  及び  $\beta_1 \beta_2 \leq 0.075$ ) を確保し、
- ② 断面性能  $A/Z_{01}/Z_{0N}$  を実際値の 3/4 程度に低減して適用し、

③ せん断/振り応力には $\sqrt{3x}$  最大せん断応力を引き当て、N-318-5の接合部応力 $S_{m0}$ 、 $S_{n0}$ を算定して評価すればどうかと思う。なお管側にパッドを敷くのもこのタイプのラグには効果があると思われる。

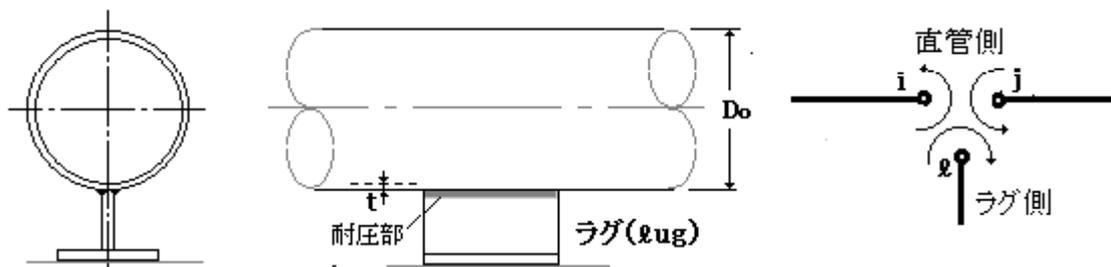


#### 補足 A. CC N-318-5 の概念とその背景

(1) Nuclear も含めて既存の配管コードは配管に溶着され一体化されたサポート部材に対し特に強度的な制限を設けていない。サポートは配管を外部から拘束しその動きをコントロールするものであるから大きなモーメント・フォースが発生することが多いが、通常のサポート構造には標準的荷重がセットされているか、実績によってその耐用性が保証されているから実質的な問題は少なく、仮に問題があっても配管に直接損傷を与えることは少ない。しかし配管と溶接で一体化された部分が万一損傷すると配管破損から内部流体の漏出に広がる恐れがある。

このため ASME は代表的な一体化サポートであるラグおよびトラニオンに対してコード補完規定としての Code Case を発行している。これら Code Case は原子力/LNG/高温高压/毒性流体など重要度の高い配管の拘束度の大きいサポート構造(例えばアンカ)で運用されているようである。ただその知名度は低い、本 TS はこの Code Case に含まれる情報を開示しその運用について議論するものである。

(2) CC N-318-5 はラグサポートの全ての強度をカバーするものではない。溶接によって配管と一体化された部位(接合部)に限り強度評価法を提示している。一体化部分はいわゆる耐圧部として配管の一部として扱われ、設計-制作施工-試験上の要件を満たす必要がある。一方、耐圧部以外のラグ躯体/底板/据付ボルトなどは鋼構造設計規準ないしこれと同等の構造規格によって設計することとなり、本 Code Case の適用から外れる(注意)。



(3) CC N-318-5 の強度評価はラグ側のモーメント・フォースによる接合部の応力と配管(主管)側に存在する応力を合算しその合算された応力を配管構成要素の観点から評価するものである。その場合ラグ側荷重に対しては独特の応力指数が定義され細かく応力算出される。一方配管側に存在する応力については応力指数が定義されることはなくごくシンプルに応力算出される。これは容器付きノズルの例からわかるようにノズルから伝達される荷重によって接合点近傍のノズルあるいはシェルに応力が集中する事実に似ている。即ちラグ側から伝達される荷重をノズル荷重のように扱う。ただ容器付ノズルの場合、通常では容器側に有意なモーメント・フォースは存在しないので荷重伝達は一方的である。ところが配管の場合はトラニオンサポートでは配管側にもモーメント・フォースが存在する。もし配管を梁と見なせば、それは 3 端付き管要素として扱える。次項でその扱いを論じるが、要は主管

側節点の*i*点から*j*点へのモーメント変化はトライオン側からのモーメントの付加によって誘起されたもので **(*i* 端モーメント)−(*j* 端モーメント)=0端モーメント** と考えられる。もし交叉部廻りの応力集中を0端に集中させるなら主管側の(*i* 端−*j* 端)のモーメント差に応力集中を負担させる必要はない。この強度概念は、ASME Sect.IIIの Class 1 配管のティ分岐に限り明確に示されているが、Class 2,3では曖昧である。そのためか、ASME B31.3系では

分岐端−主管*i*端−主管*j*端

の各相当モーメントに対し一定の応力指数を用いて応力を求め、個別に評価するという方法を採用がとられている。これは Class 1 配管の方法に較べて安全側の結果を導くので保守的な評価としては妥当なのかも知れない。しかし、勢い応力集中度が高くなる一体型サポートにこのやり方を適用すると過度に安全側に陥る懸念がある。そこで、**本 TS では全般に Class 1 配管の考えを採用している。**即ち配管側モーメント  $M_A, M_B, M_C$  は、結合節点の(*i* 端−*j* 端)のモーメント差として扱う。

#### (4) CCN-318-5 の応力評価は次の 2 様になる。

トラニオン側と直管側の合計応力に対する評価 & 同時発生の最大荷重による応力制限

前者は通常配管の強度評価に準じて、

(a) 長期機械荷重による 1 次応力の制限、(b) 変位荷重による 2 次応力の制限

(a)(b)ともラグ側の荷重から生じる応力と直管側の荷重から生じる応力を単純に合算している(安全側になる)。(a)ではラグ側の応力指数  $C$  を(b)のその 2/3 にしているのは、たとえ機械的荷重でもその全てが 1 次応力になるわけではないという ASME の考えによっている。事実、CC N-318-5 のベースになった Dodge の解によれば、一次応力としての膜応力成分は全応力の 2/3 以下になる<sup>(3)</sup>。

(b)ではラグ側の 2 次応力を  $S_{pt}/2$  すなわちピーク応力の半分にとっている。これは応力増幅係数  $i$  と応力指数  $C, K$  の関係[  $i = CK/2$  ]に由来する。直管側に合わせるためラグ側に指数  $i_0$  を定義するとラグ側の評価応力( $i_0 \sigma_n$ )は次のように表わせるからである。

$$i_0 \sigma_n = \sum (C_j K_j / 2) \sigma_j = (1/2) \sum (C_j K_j \sigma_j) = (1/2) S_{pt} \rightarrow \text{ピーク応力の半分}$$

ここで  $C_j$  = 各応力指数( $C_T, C_L, C_N$ )、 $K_j$  = 各ピーク応力指数、 $\sigma_j$  = 各公称応力成分

後者はラグ側応力のみを対象としたもので、**応力制限としては特異なものになる。**即ち

$$\textcircled{1} S_{NT}^{**} = C_W |W_i| / A_T + C_N |M_{Ni}| / Z_T + C_L |M_{Li}| / Z_T + |Q_{1i}| / \bar{A} + |Q_{2i}| / \bar{A} + C_T |M_{Ti}| / Z_t \leq 2S_y$$

$$\textcircled{2} |Q_{1i}| / \bar{A} + |Q_{2i}| / \bar{A} + |M_{Ti}| / Z_t \leq S_y$$

これら制限には主管側の応力は含まれておらずラグ側の接合部分のみを対象にしているようである。上記①②の評価式は、

$$\textcircled{1} \text{一次応力} + \text{二次応力(範囲)} \leq \text{降伏応力の 2 倍}$$

$$\textcircled{2} \text{一次応力相当と見做されるせん断応力相当} \leq \text{降伏応力}$$

であるから、①は事故時の大きな塑性サイクルを回避したもの(添付 A の(5)参照)、②は①を補完したものと解せられる。即ち②は荷重タイプの属性によらずラグ付根に生じるせん断応力/捩り応力を全て一次応力相当とみなして制限したものと見ていい。これは本来の変位荷重がラグ-主管交叉部のような狭隘な局所形状ではほとんど吸収されないまま、あたかも機械荷重のように作用することを考慮したものではないかと思う。

上記①②は何れも 同時発生の最大荷重 から発生する応力であるが、そもそも 同時発生の最大荷重 はその定義が曖昧である。恐らくそれは、ある時点で機械荷重/変位荷重や長期荷重/短期荷重の如何を

問わず存在する全荷重のピーク値を指しているのではないかと思う。具体的には安全弁等の作動 / 水撃に由る衝撃 / 大規模地震など偶発的な荷重がこれに該当する。何故イベント的な荷重まで問題にしなければならないか？ 配管という非自立の構造物を考えれば、自立を維持する支持構造物との接点が構造的に非常に重要であるという見解が、その根っこにあるような気がする。

なお 隅肉/部分溶込みの場合、完全溶け込み溶接の場合の規定の上に実際の溶着断面性能( $A_w, Z_w$ )に基づくダメ出し規定が加わっている。これは接合部廻りのラグ/配管壁のグロスな応力を確認した上で、溶着断面のローカルな応力を確認するという手順を踏んだものと解せられる。

- (5) 日本は地震多発国であるから配管設備の耐震性は重要である。故に **KHK 耐震指針**<sup>(5)</sup>の趣旨、即ち
- ① 地震時の(長期+短期)機械荷重による一次応力(片振幅)を材料許容応力(S)以下に制限
  - ② 地震時の慣性力/変位による(1次+2次)応力(全振幅)をシェークダウン限界( $2S_y$ )以下に制限を満たす必要がある。①は塑性崩壊防止を意図している。②は地震サイクルを対象に塑性サイクルの回避を意図している。ただ設備運転中に地震が起きることで生じる  
 運転荷重(内圧+(自重)+地震荷重(慣性力+変位)+(熱膨張+アンカー熱変位)  
 のオーバーオールな組み合わせは無視している(その場合の損傷度は軽微と見ている)。なお地震応力の制限の趣旨については文献(5)を参照されたし。
- (6) N-318-5 では、ラグの主管への溶着法として、全周の隅肉&/or 部分溶け込み溶接を認めているが、基底に亀裂があり破壊力学的な不安が残る。「隅肉溶接+部分溶込み溶接」または「完全溶込み溶接」の何れかを選ぶのがベターではないかと思う。
- (7) CC N-318-5 の内容については添付 A で少し詳しく説明しているので参照されたし。

### 補足 B. 主管側モーメント $M_r$ の設定方法の背景

クラス 1 配管ではティ分岐(→3つの管端を持った配管要素)について次のような規定を設けている。

(3) 分岐管の場合  
 主管と分岐管の中心線の交点に対してモーメントを求める。

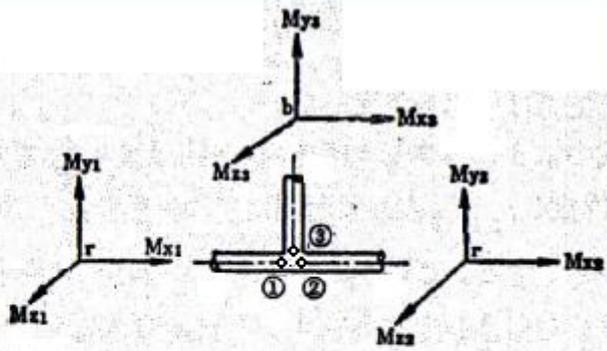
$M_{bp}$  は分岐管の合成モーメントで、  

$$M_{bp} = \sqrt{M_{x_3}^2 + M_{y_3}^2 + M_{z_3}^2}$$

$M_{rp}$  は主管の合成モーメントで、  

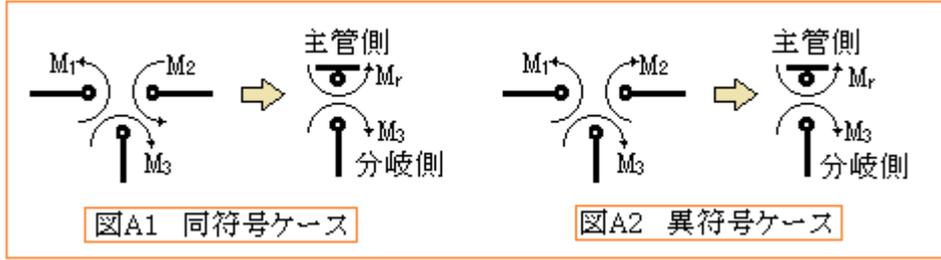
$$M_{rp} = \sqrt{M_{x_r}^2 + M_{y_r}^2 + M_{z_r}^2}$$

ここで、 $M_{x_r}$ 、 $M_{y_r}$  及び  $M_{z_r}$  は以下により求める。  
 $M_{i_1}$  と  $M_{i_2}$  の正負符号が同一なら  $M_{ir} = 0$ 、異符号なら  $M_{ir}$  は  $M_{i_1}$ 、 $M_{i_2}$  のうち絶対値の小さい方をとる。ここで  $i = x, y, z$



[テキスト(6)より引用]

この規定ではモーメント成分  $M_{x_r}$ 、 $M_{y_r}$ 、 $M_{z_r}$  の値を、例えば主管側成分  $M_{x_1}$ 、 $M_{x_2}$  の符号比較から設定するようになっている。その背景について確かな情報はないが、以下のように解釈できるのではないかと思う。なおここでは  $M_{x_1}$ 、 $M_{y_1}$ 、 $M_{z_1} \rightarrow M_1$ 、 $M_{x_2}$ 、 $M_{y_2}$ 、 $M_{z_2} \rightarrow M_2$ 、 $M_{x_3}$ 、 $M_{y_3}$ 、 $M_{z_3} \rightarrow M_3$  と表記する。



まず **M<sub>1</sub>とM<sub>2</sub>が同符号の場合**を考える。分岐側が右回り(正)の時の例を図A1に示す。モーメントの均衡則から  $M_1+M_2+M_3=0$  であるが、 $M_1, M_2, M_3$ を正(絶対値)として表示すると

$$M_3 - M_1 - M_2 = 0 \rightarrow M_3 = M_1 + M_2 \quad \text{-----(1)}$$

また主管側モーメントを絡めて  $M_r$ にすると  $M_r = M_1 - M_2$  -----(2)

(1)(2)式を辺々差し引くと  $M_3 - M_r = 2M_2$  になる。図A1左の場合、 $M_3 + M_r = 0$ なので、代入して

$$-2M_r = 2M_2 \rightarrow 2(M_r + M_2) = 0 \quad \text{-----(3)}$$

(3)式では  $M_r, M_2 \geq 0$ なので、この場合、 $M_2 = 0$ でかつ  $M_r = 0$ でなければならない。即ち同符号ケースで分岐側が右廻り正の場合、 $M_r = 0$ とおける。

これは分岐側が左廻り(負)の場合も成立する。従って同符号ケースは  $M_r = 0$ となる。

次に **M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>が異符号の場合**を考える。分岐側が右回り(正)の時の例を図A2に示す。モーメントの均衡則から  $M_1+M_2+M_3=0$  であるが、 $M_1, M_2, M_3$ を正(絶対値)として表示すると

$$M_3 - M_1 + M_2 = 0 \rightarrow M_3 = M_1 - M_2 \quad \text{-----(1)}$$

また主管側モーメントを絡めて  $M_r$ にすると  $M_r = M_1 + M_2$  -----(2)

(1)(2)式を辺々差し引くと  $M_3 - M_r = -2M_2$  になる。図A2左の場合、 $M_3 + M_r = 0$ なので代入して

$$-2M_r = -2M_2 \rightarrow M_r = M_2$$

$M_1$ と $M_2$ の関係は、 $M_r$ と $M_1$ が同じ左回転なので、右回転の $M_1$ は必ず $M_2$ よりも大きくなる必要があり、均衡を保つ上で $M_1 > M_2$ でなければならない。即ち $M_r$ には $M_1, M_2$ の小さい方が割当られる。なお $M_3$ を左廻りにするとこの関係は $M_r = M_1$  &  $M_1 < M_2$ に変わる。いずれにしても $M_r$ には $M_1, M_2$ の小さい方が採られる。従って  $M_1, M_2$ が異符号ケースでは、 $M_1$ と $M_2$ の絶対値が小さい方のモーメントを $M_r$ に割当てればよい。

以上の3管端配管要素の考えは直管付きラグにも適用できると思われる。なお、主管側モーメント $M_r$ と分岐側モーメント $M_3$ は接面で平行し近接するので発生する応力は重なると思倣して、ASMEは $M_r$ と $M_3$ による応力を単純に合算しているように思う。