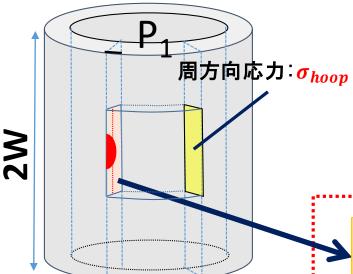
参考資料 2 - 1 令和 3 年 7 月 7 日 第 5 回高度化検討分科会

## 参考資料-1 API法とp-M法の比較と問題整理

#### 論点概要

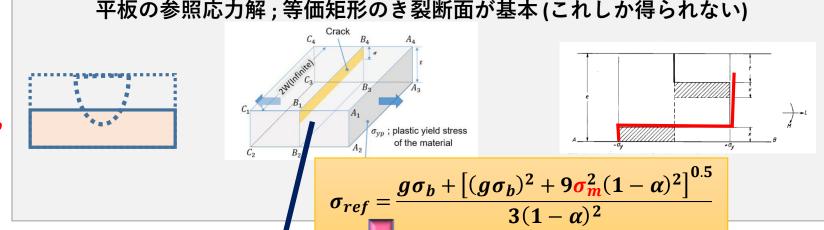
#### キズのある円筒の支配断面



#### 定義

 $Ms = \frac{+$  ズの無い同一形状部材の破断荷重(Ly)

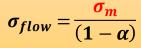
API法は等価矩形断面において  $\sigma_{hoop}$ Msが $\sigma_{flow}$ に等しいことから、 両者を結び付けて円筒の参照応力解を得た。元々のWillongbyらの発想の道筋たどったもの。



Msの定義から

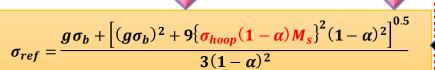
$$M_S = \frac{\sigma_{flow}}{\sigma_{hoon}}$$

断面の関係から  $\sigma_m$ 





$$\sigma_{flow} = \frac{\sigma_m}{(1-\alpha)} = \sigma_{hoop} M_s$$



ہا ئے

Msの考え方  $\sigma_m = \sigma_{hoop} M_s$ 

参照応力解

Msをバルジングファクター (平板と円筒の関係式)と呼び 誤用

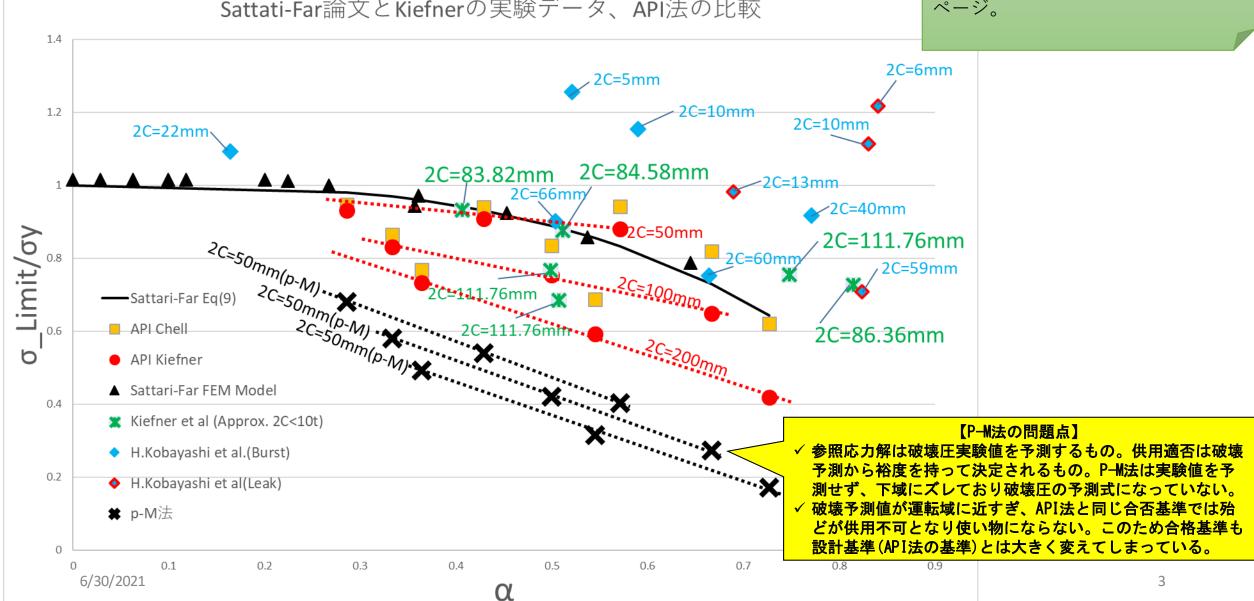
p-M法

 $\sigma_{ref} = \frac{g\sigma_b + \left[ (g\sigma_b)^2 + 9 \left\{ \frac{\sigma_{hoop} M_s}{\sigma_{hoop}} \right\}^2 (1-\alpha)^2 \right]^{0.5}}{3(1-\alpha)^2}$ 

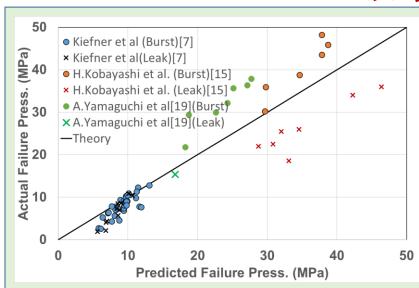
#### 破壊試験データとの整合性

API法は原子力分野のSattri-Farの式同 様、破壊圧を精度良く予測している。 もう少しわかりやすくしたのが次 ページ。

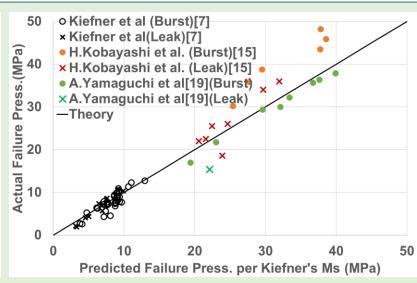




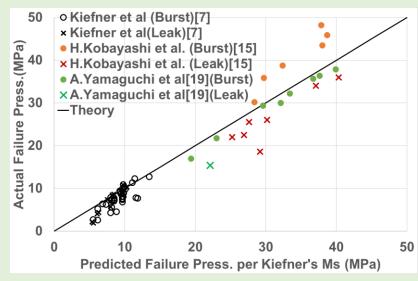
#### 破壊試験データとの整合性



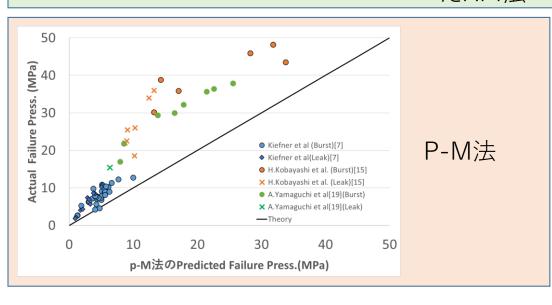
Ms=ChellとしたAPI法



Ms=Kiefner(C=1.0;評価推奨値)としたAPI法



Ms=Kiefner(C=0.85;実験値整合)と したAPI法



- ✓ Kiefner式は実験式と整合するのはC=0.85だが、 C=1.0を評価に推奨。
- ✓ API法の式は破壊試験圧を正しく予測するがp-M 法の式は破壊試験圧を予測できていない。

# KHK高度化分科会での論点~pM法とAPI/ASME法の違い~

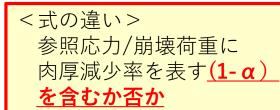
評価式

		欠陥形状	pM法	API/ASME法	
	参照応力	表面欠陥	$\sigma_{ref} = \frac{M_S}{1-\alpha} \sigma_m$	$\sigma_{ref} = M_S \sigma_m$	2
		貫通欠陥	$\sigma_{ref} = \frac{M_T}{1-\alpha} \sigma_m$	$\sigma_{ref} = M_T \sigma_m$	
	塑性崩壊条件	表面欠陥	$\sigma_{\rm f} = \frac{M_{\rm S}}{1-\alpha} \sigma_{\rm m}$	$\sigma_{f} = M_{S} \sigma_{m}$	
			$P_{C} = \frac{1-\alpha}{M_{S}} \qquad P_{0}$	$P_{C} = \frac{1}{M_{S}} P_{0}$	
		貫通欠陥	$\sigma_{f} = \frac{M_{T}}{1-\alpha} \sigma_{m}$	$\sigma_{f} = M_{T} \sigma_{m}$	
			$P_{C} = \frac{1-\alpha}{M_{T}} P_{0}$	$P_C = \frac{1}{M_T} P_0$	

 $\sigma_{\rm ref}$ :参照応力  $\sigma_{\rm m}$ :健全部の作用応力  $\sigma_{\rm f}$ :流動応力

P<sub>c</sub>:欠陥を有する容器の塑性崩壊圧力 P<sub>o</sub>:健全な容器の塑性崩壊圧力

 $M_S$ :表面欠陥の補正係数  $M_T$ :貫通欠陥の補正係数(Folias Factor)  $\alpha$ :欠陥による肉厚減少の補正





PVP2020にて石崎氏より API/ASMEの妥当性 <u>(=pM法の誤解)</u>を報告

> ※M<sub>S</sub>をChellの式とするか、 Kiefnerの式とするかは別議論 (影響は小さい)

	API	pM
Mt	<u>貫通欠陥のある平板の崩壊荷重</u> 貫通欠陥のある円筒の崩壊荷重	<u>貫通欠陥のある平板の崩壊荷重</u> 貫通欠陥のある円筒の崩壊荷重 あるいは 貫通欠陥のある円筒に発生する応力
Ms	健全な円筒の崩壊荷重 表面欠陥のある円筒の崩壊荷重 Chellの論文通りの定義	貫通欠陥のある平板に発生する応力 <u>表面欠陥のある平板の崩壊荷重</u> 表面欠陥のある円筒の崩壊荷重  Mtと同じように平板と円 あるいは 結び付ける係数 (バルジンク と独自の定義 表面欠陥のある円筒に発生する応力 表面欠陥のある平板に発生する応力

健全な円筒の崩壊荷重=健全な平板の崩壊荷重

表面欠陥のある平板の崩壊荷重 =  $(1-\alpha)$  x 健全な平板の崩壊荷重 =  $(1-\alpha)$  x 健全な円筒の崩壊荷重

$$Ms_pM = \frac{(1-\alpha)x健全な円筒の崩壊荷重}{表面欠陥のある円筒の崩壊荷重} = (1-\alpha) x Ms_API$$

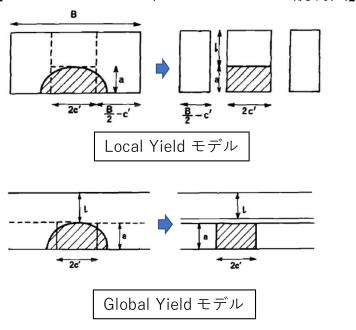
#### ~pM法とAPI/ASME法の違い~

塑性崩壊の定義と減肉容器の安全裕度の検証方法

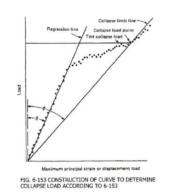
	pM法	API/ASME法
塑性崩壊	・全断面降伏 欠陥前面残存リガメント部が全板厚に 渡って塑性域となった状態 <b>矛盾?</b> ⇒ Chellの <b>Local Yieldに相当</b> する定義 但し、Chellの <b>Globalの式を適用</b>	①Local Collapse: Kiefnerの式 (ChellのLocalに相当) 欠陥前面残存リガメント部の崩壊 ②Net Section Collapse: Chellの式 (ChellのGlobalに相当) 欠陥を含む構造断面の崩壊 ③Gross Collapse (欠陥に無関係な)構造全体の崩壊
検証 方法	FEM、実験結果を旧ASME SecVIII Div.2の TES: Twice-Elastic Slope で安全裕度を評価	FEM、実験による破裂圧力で安全裕度を 評価

耐圧性能(塑性崩壊荷重)は破裂圧力での検証が良いのでは?

【ChellによるLocal/Globalモデルの説明図】



【TES:Twice-Elastic Slopeイメージ図】



### HPIS Z101-②にpM法の式が一部採用された経緯(1)

- 2008年1月17日委員会での初版制定審議;「当該の式は現実と合わないのでは?」との趣旨の意見を出して議論。
- 議論は深まらず議事録にも「議論があった」のみと記載。その後フォローなし。





- その後、パブコメとなったがその時点ではInternational Journal of Pressure Vessels and Pipingに小山田氏と鴻巣氏による「Proposal of reference stress for a surface flaw on a cylindrical component from a review-with-comparison of the local metal loss assessment rule etween API 579-1 and the p-M diagram method」が掲載、これが根拠となったの で対応できず。
- ・但し、上記論文の中で次ページの通り明確にMsの定義を誤用し式を導出している。

## HPIS Z101-②にpM法の式が一部採用された経緯(2)

K. Oyamada et al, ; Proposal of reference stress for a surface flaw on a cylindrical component from a review-with-comparison of the local metal loss assessment rule between API 579-1 and the p-M diagram methodにおけるMsの概念の誤解点(これが議論がかみ合わなくなる根本)

component [2]. The based reference stress for a semi-elliptical crack-like flaw in a plate is defined by Willoughby [15] and given as in Eq. (9), which is identical to that provided in Annex D of API 579-1/ASME FFS-1.

$$\sigma_{ref\_plate} = rac{rac{1}{3}g\sigma_b + \sqrt{\left(rac{1}{3}g\sigma_b
ight)^2 + \sigma_{ heta}^2(1-lpha)^2}}{(1-lpha)^2}$$

Where,

$$\alpha = \frac{\frac{a}{t}}{1 + \frac{t}{c_L}} = \frac{ac_L}{t(c_L + t)} \tag{10}$$

The Eq. (10) of API 579-1/ASME FFS-1 is not identical to but is almost equivalent to the Eq. (7) of the *p-M* diagram method. The difference is not significant and is disregarded in this paper.

It is obvious by comparing Eqs. (6) And (9), that the reference stress solution of the p-M diagram method in Eq (6) can be obtained by replacing  $\sigma_{\theta}$  with  $M_{S}^{Chell}\sigma_{\theta}$  in Eq. (9).

(9) ※ K.Oyamada et al, ; Proposal of reference stress for a surface flaw on a cylindrical component from a review-with-comparison of the local metal loss assessment rule between API 579-1 and the p-M diagram methodより抜粋

MsをMt同様、平板の崩壊応力を円筒に おける崩壊応力に単純に換算する式と誤 用し導出。