

Temp. No. ⑤：適用できる管の外径制限の解除

1. 現状

別図第 4 (管台を取り付ける継手) の(26)及び(27)は、取り付けられる管の外径の上限のみが制限されている。これに対し、類似の継手である別図第 4(28)は、取り付けられる管の外径の上下限が制限されている。(表⑤-1)

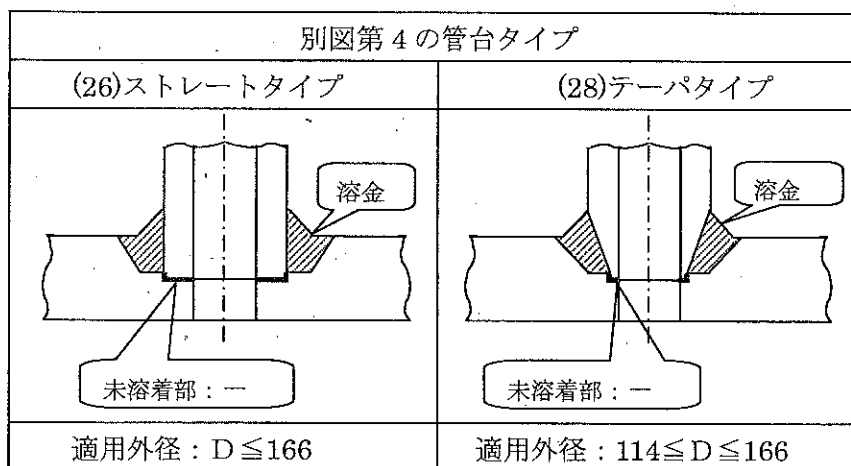
表⑤-1 別図第 4 の (26)、(27) 及び (28) の外径制限

別図第 4 の番号	取り付けられる管の外径 (D: mm)	備考
(26)	$D \leq 166$	
(27)	$D \leq 166$	
(28)	$114 \leq D \leq 166$	

2. 目的

別図第 4(28)の継手は、(26)及び(27)の継手に比べ強度的に優れている。*1 しかし、取り付けられる管の外径が 114 mm 以上とする条件があるため適用範囲が制限される。適用拡大を図るためこの条件を緩和する。

*1: 容器 (管寄せを含む) 及び管に座を加工して管台を取り付ける継手として、別図第 4(26)～(28)が規定されている。管台板厚が厚い場合、別図第 4(26)を適用すると管台端面の未溶着部が増加するため (図⑤-1)、継手強度を向上させるためには未溶着部が少ない別図第 4(28)の適用が望ましい。しかし、別図第 4(28)は管台外径が 114 mm 以上という規定があるため、管台板厚が厚い場合であっても、管台外径が小さい場合 (114 mm 未満)には適用することができない。この別図第 4(28)の継手が適用されるケースとしては、ボイラチューブの吊下げ管の管台部 (軸方向の強度向上) などが考えられる。



図⑤-1 別図第 4 の管台タイプ

3. 検討

下記の検討結果により、別図第 4(28)の取り付けられる管の外径の制限条件から「114 mm 以上」を削除し、「166 mm 以下」のみにすることは妥当と判断される。

3.1 継手の強度比較[1]

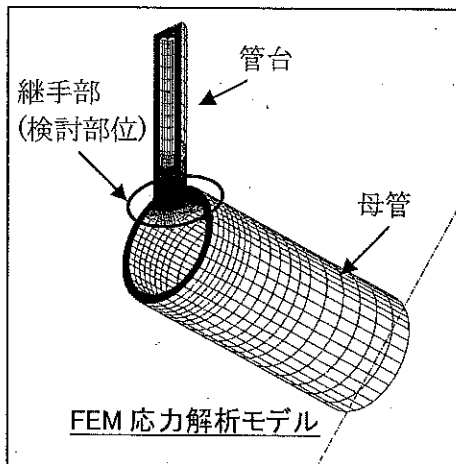
取り付けられる管の外径の下制限がない別図第 4(26)の継手と下制限がある別図第 4(28)の継手について、内圧により発生する応力を相対比較し、管台外径 114 mm 以下の場合でも別図第 4(26)の継手より別図第 4(28)の継手の方が発生する応力が低く、強度的に優れていることを確認した。計算条件及び計算結果を以下に示す。

a. 強度比較計算条件

別図第 4(26)と別図第 4(28)の継手の強度を比較するため、図⑤-2 及び図⑤-3 に示す有限要素法 (Finite Element Method : FEM) による応力解析を実施した。

計算は、別図第 4(28)の継手が、今回改正しようとする下限の制限：外径 114 mm 未満の場合においても強度上問題ないことを確認するため、下限の制限がない別図第 4(26)の継手と比較検討した。計算条件は表⑤-2 のとおり、外径の影響を確認するため、114 mm 以下で管台の仕様を変えて 5 ケース (ケース①～ケース⑤) で計算した。

各 5 ケースの管台仕様は、内圧により管台に作用する公称荷重がほぼ同等となる管仕様として比較した (内圧一定)。



図⑤-2 FEM 応力解析モデル

別図第 4 の管台タイプ	
(26) ストレートタイプ	(28) テーパータイプ
適用外径: $D \leq 166$	適用外径: $114 \leq D \leq 166$

図⑤-3 管台タイプ

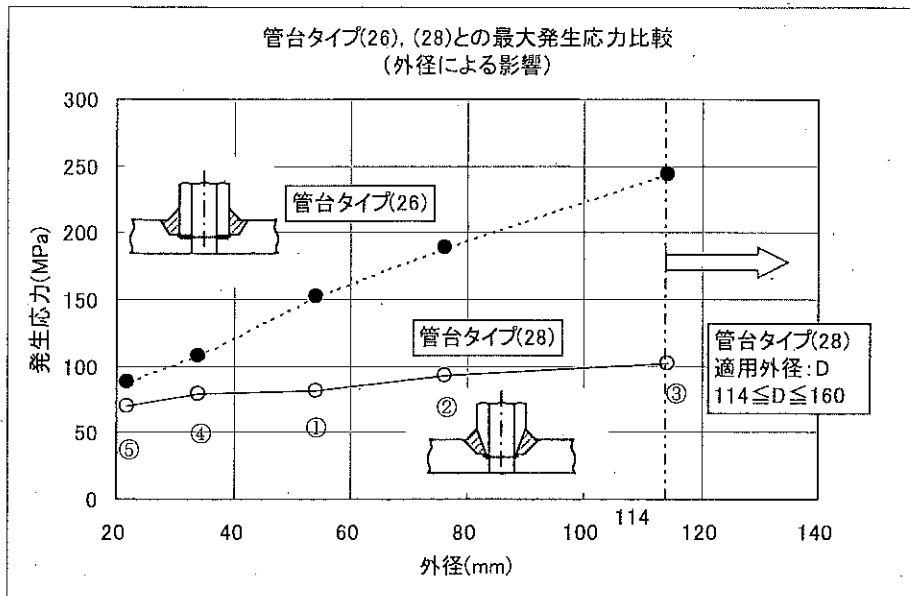
表⑤-2 FEM 応力解析計算条件

ケース No.	管台タイプ		管台仕様		母管仕様		内圧 (MPa)	内圧による公称荷重	
	(26)	(28)	外径 (mm)	肉厚 (mm)	外径 (mm)	肉厚 (mm)		管台管軸方向応力 (MPa)	管台周方向応力 (MPa)
ケース①	○	○	54.0	15.0	508.0	122.0	24.8	6.1	32.2
ケース②	○	○	76.3	21.1				6.2	32.4
ケース③	○	○	114.3	31.6				6.2	32.5
ケース④	○	○	34.0	9.4				6.2	32.4
ケース⑤	○	○	21.7	6				6.2	32.5

b. 計算結果

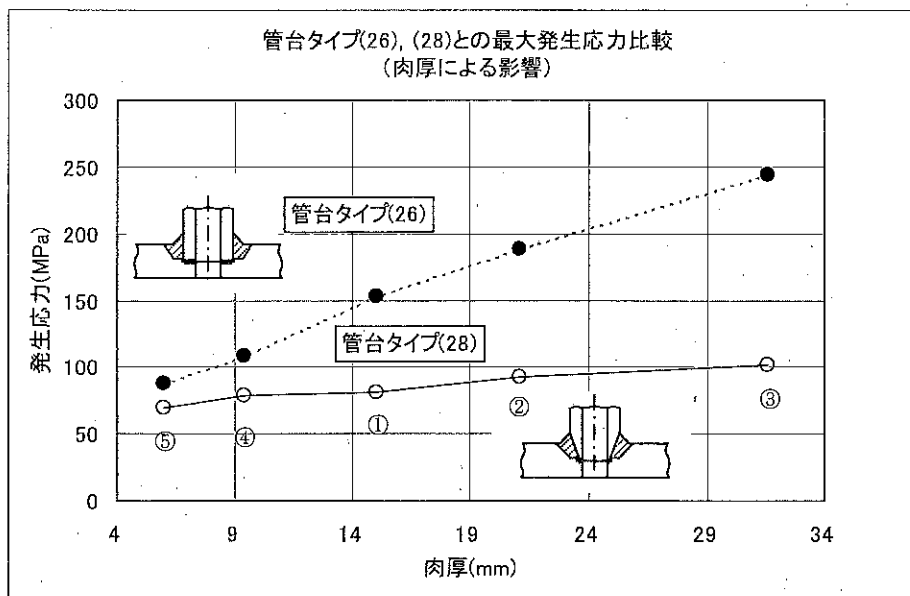
各ケースにおける最大発生応力を図⑤-4 及び図⑤-5 に纏めた。ケース①の計算例を表⑤-3 に、その詳細計算結果を図⑤-6 に示す。計算の結果、下記事項が確認されたことから、別図第 4(28)の継手の適用外径を別図第 4(26)の継手と同じく下限の制限がない 166 mm 以下としても強度上 (安全上) 問題ないものと判断される。

- 1) 別図第 4(28)の継手は、下限制限以下 (外径 114 mm 以下) においても、最大応力は外径 114 mm と比べ同等以下の傾向を示していることから、強度的に問題ないことが確認された。
- 2) 別図第 4(28) の継手は、同じ条件の場合、別図第 4 (26) の継手 (下限の制限 114 mm がない継手) より最大発生応力は小さく、強度上有利な傾向にあることが確認された。



備考：計算結果における発生応力の値（絶対値）は、相対比較のため計算した結果であるため、絶対値はあくまで参考値としての取扱いとなります。

図⑤-4 各ケースにおける最大発生応力（外径による影響）

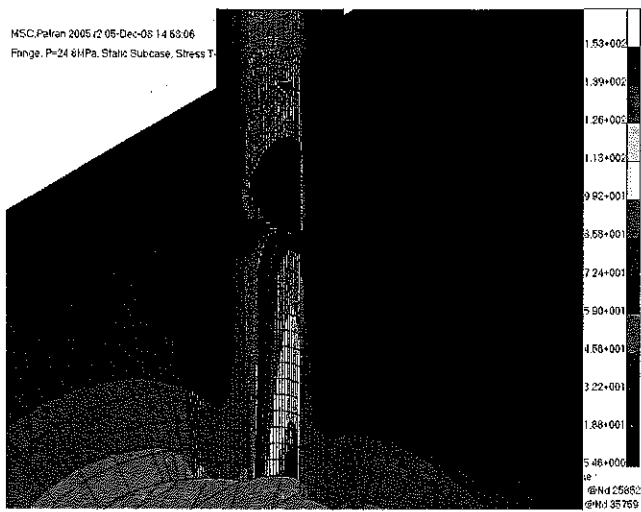


備考：計算結果における発生応力の値（絶対値）は、相対比較のため計算した結果であるため、絶対値はあくまで参考値としての取扱いとなります。

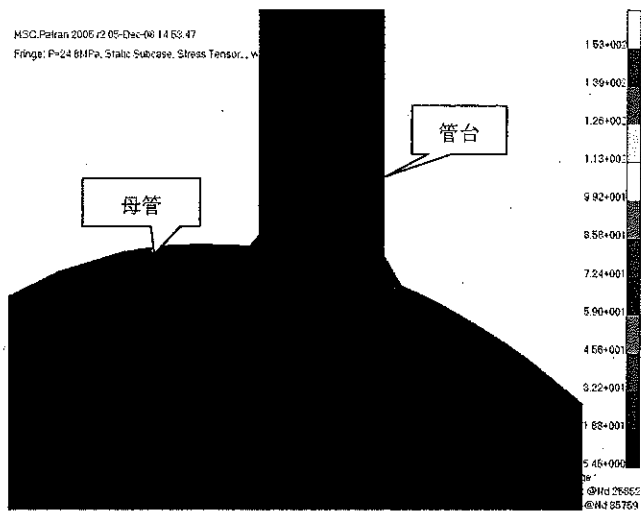
図⑤-5 各ケースにおける最大発生応力（肉厚による影響）

表⑤-3 ケース① (D : 54 mm, t : 15.0 mm) のFEM 応力解析結果計算例

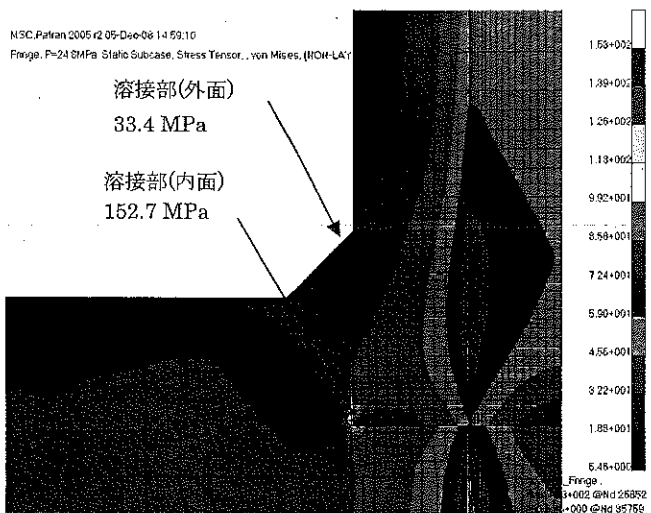
	管台タイプ (26)	管台タイプ (28)
継手形状		
解析結果		
最大応力	152.7 MPa	81.3 MPa
発生応力比	0.53	



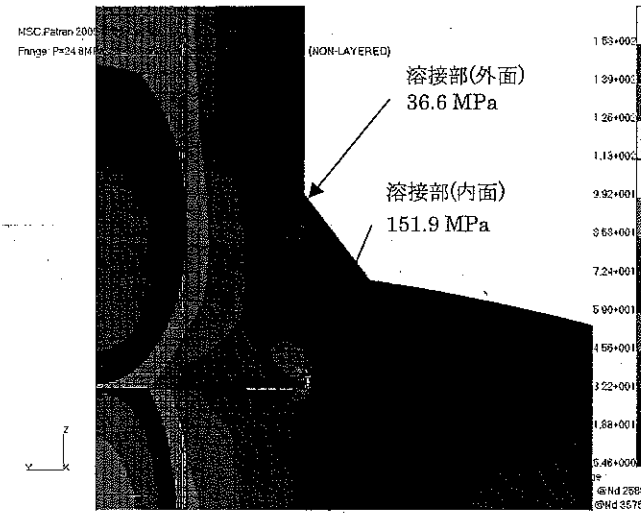
(1)全体応力分布図 (内面)



(2)全体応力分布図 (外面)



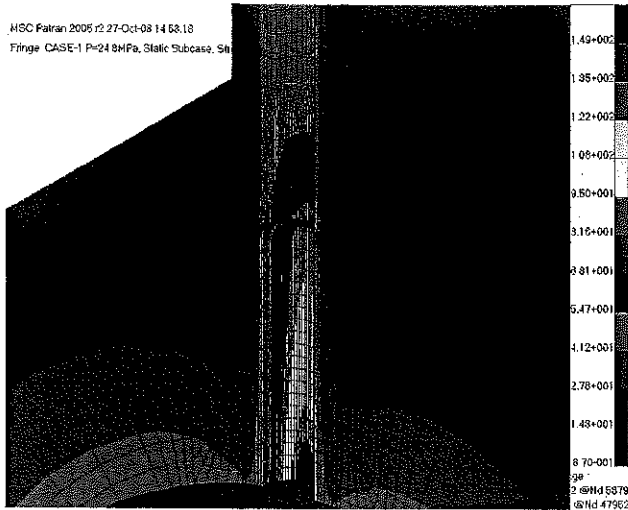
(3)0°断面(母管軸方向断面)応力分布図



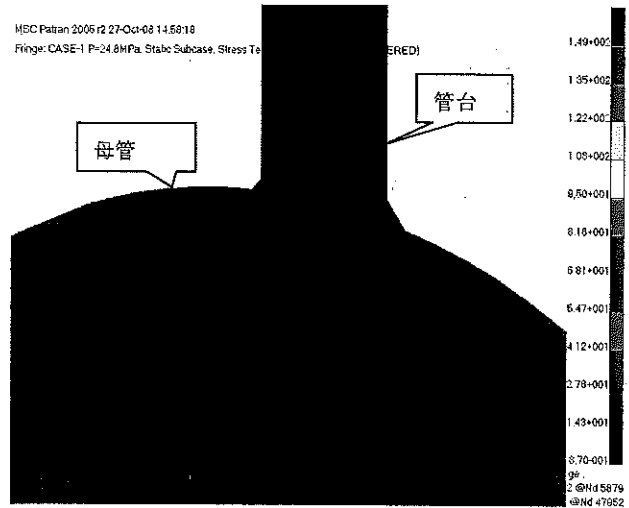
(4)90°断面(母管周方向断面)応力分布図

(Mises 応力)

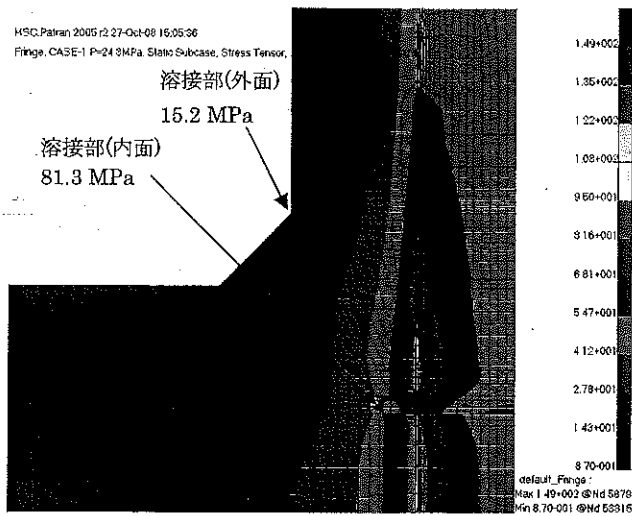
図⑤-6(1/2) ケース① (D : 54 mm, t : 15.0 mm) のFEM 応力解析計算結果詳細
(管台タイプ(26))



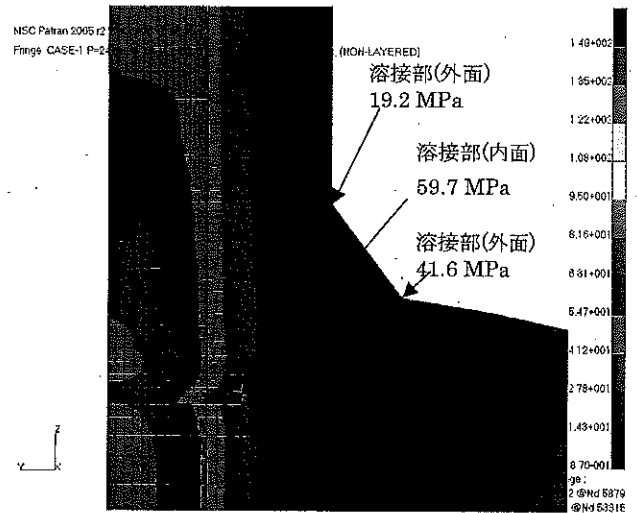
(1)全体応力分布図 (内面)



(2)全体応力分布図 (外面)



(3)0°断面(母管軸方向断面)応力分布図



(4)90°断面(母管周方向断面)応力分布図
(Mises 応力)

図⑤-6(2/2) ケース① (D : 54 mm, t : 15.0 mm) の FEM 応力解析計算結果詳細
(管台タイプ(28))

3.2 溶接作業性について

a. 過去の実績

過去の「特殊方法溶接の認可*2」に基づき、外径 114 mm 以下の管台への別図第 4(28)の使用実績はあり、問題は生じていない。

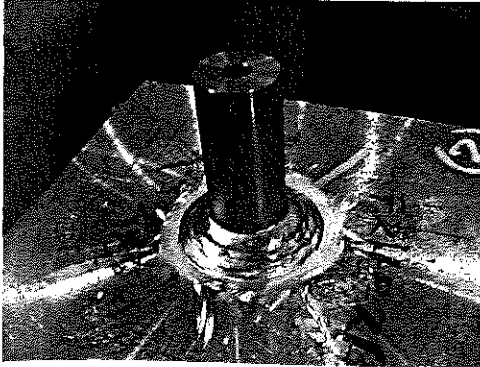
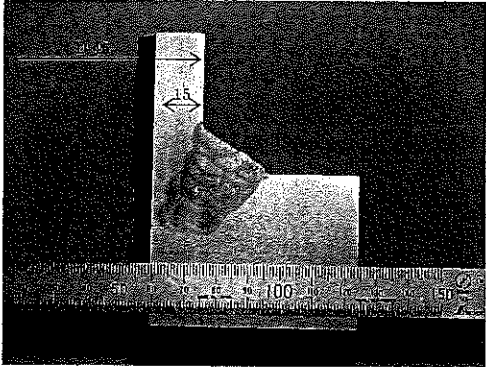
*2：別図第 4(28)の継手は、平成 12 年の溶技解釈に採入れられており、その基になった事例は、「特殊方法溶接の認可」[2]であった。この認可には、制限として「127 mm < 外径 ≤ 200 mm、又は外径 ≤ 127 mm でかつ厚み > 13 mm」が付されていた。

採入れの際、「127 mm < 外径 ≤ 200 mm」については、ASME Sec. I PW-16 の片側部分溶込み継手に合わせて上限は 166 mm(≒150A)とし、下限は通常 127mm の標準規格がないため近傍の標準外径 114 mm(≒100A)とされた。しかし、「外径 ≤ 127 mm でかつ厚み > 13 mm」については、採入れられてはいない。

b. モックアップ試験による確認[1]

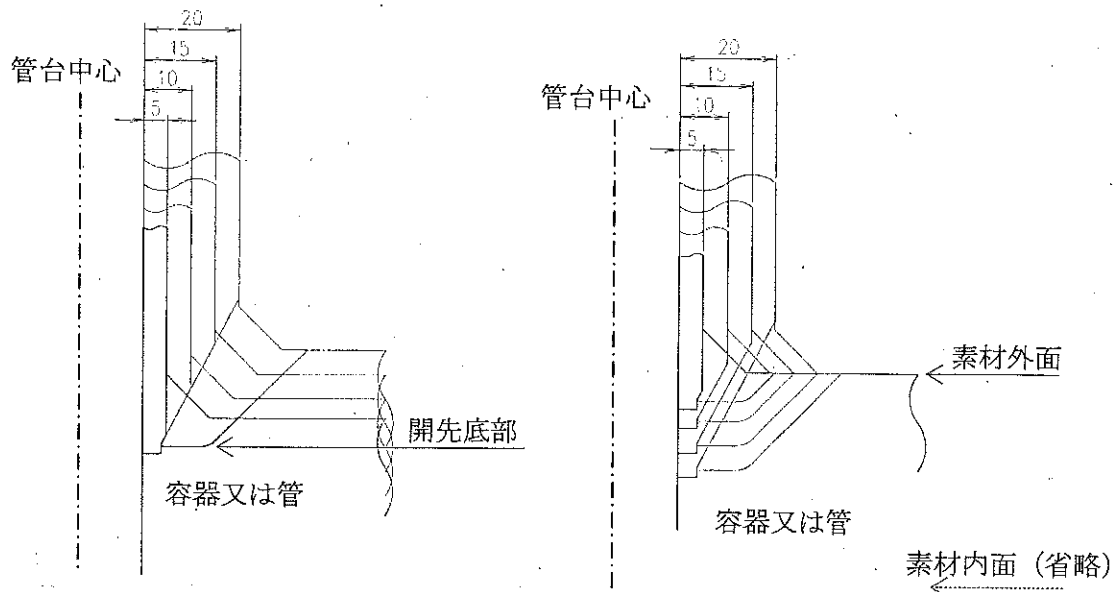
別図第 4(28)を外径 114 mm 以下の管台に適用した場合の溶接作業性について、外径 45 mm でのモックアップ試験を実施した結果(表⑤-4)、溶接施工上、問題ないことが確認された。

表⑤-4 モックアップ試験結果

<p>試験要領</p>	<p>モックアップ寸法 (管台を平板に溶接)： 管台外径×板厚：D45 mm×15 mm (炭素鋼) 溶接方法：被覆アーク溶接 (手溶接)</p>
<p>試験結果</p>	<p>モックアップを使用した溶接施工試験の結果、管台側にテーパを設けた場合であっても、管台外径が小さいことによる溶接作業性への影響はなく、健全な溶接が施工可能であった。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>モックアップ外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>モックアップ断面</p> </div> </div>

c. 特殊方法溶接の板厚制限の見直し検討

別図第 4(28)の継手について、過去の「特殊方法溶接の認可」の開先形状に基づき、管台板厚の増加に伴う開先形状の比較を開先底部固定と素材内外面固定の条件で実施した。(図⑤-7) 管台板厚の増加に伴い開先深さは深くなるものの、開先底部の形状・寸法に差異はなく、加えて開先外表面側の開先幅は広くなるため、溶接施工上問題ないと判断される。また、逆に板厚が薄くなるほど管台側のテーパ部の深さは浅くなるため、溶接作業性は向上する。



(1)開先形状の変化 (開先底部固定) (2)開先形状の変化 (素材内外面固定)

図⑤-7 板厚の増加に伴う開先形状の比較 (単位: mm)

4. 要請

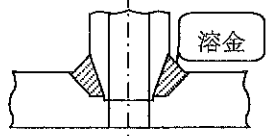
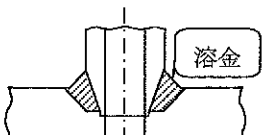
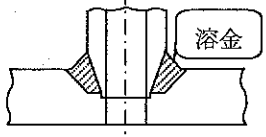
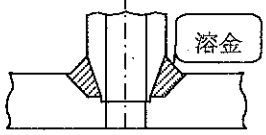
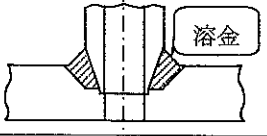
別図第 4(28)の継手の適用制限の下限を廃止し、別図第 4 (26)及び別図第 4 (27)の継手の制限 (取り付けられる管の外径が 166 mm 以下) と同一とする。

5. 条項等

別図第 4(28) (改正案の箇所)に Temp. No.の⑤を記載)

6. イメージ

イメージを図⑤-8に示す。

NISA 文書 又は省令の年等	別図第 4(28)の適用できる管の イメージ	適用条件 取り付けられる管の外径 (D : mm) 取り付けられる管の板厚 (t : mm)
特殊方法 溶接の認可		127 < D ≤ 200 又は D ≤ 127 かつ t > 13
平成 12 年		D: 127 → 114 (≒100A) として採入 D: 200 → 166 (≒150A) として採入 114 ≤ D ≤ 166 とされた D ≤ 127 は採入れられなかった
平成 17, 18 年		114 ≤ D ≤ 166
現行 (平成 19 年)		114 ≤ D ≤ 166
検討	<p>取り付けられる管の外径の下制限がない別図第 4(26)の継手と下制限がある別図第 4(28)の継手について、内圧により発生する応力を相対比較し、管台外径 114 mm 以下の場合でも別図第 4 (26)の継手より別図第 4 (28)の継手の方が発生する応力が低く、強度的に優れていることを確認した。</p> <p>溶接作業性について、特認の実績、モックアップ試験による確認及び板厚制限の見直し検討を行い、問題のないことを確認した。</p>	
改正案		D ≤ 166

図⑤-8 適用できる管の外径制限の解除のイメージ

参考文献

[1] 施工工場殿のデータ

[2] 8 資庁第 8935 号、平成 8 年 8 月 19 日、「ボイラー等及び熱交換器等の管台を取り付ける継手の溶接部の設計」に係る特殊方法溶接の認可について、通商産業大臣