

日本鋼管株式会社 正会員 ○高久達将

正会員 植村俊郎

根本 実

1. まえがき

高水圧、大径のペンストックでは板厚の厚い高張力鋼（HT70，HT80）を用いることになり，その現場溶接は工程，品質管理，労務費等，据付工事に重要なウェイトを占める。本研究では，現場溶接個所の板厚を局部的に減少させ，溶接効率を図ることを目的とし，種々の力学的挙動を検討した。

2. 継手形式

図-1で示されるように補強されたペンストックは現在，Banded typeのものと，埋設管の外圧に対するStiffener typeのものと2つある。本研究では，現場溶接部の板厚をテーパを付け減少させ，その断面欠損部に対する補強としてRing（Band又はStiffener type）をまいた。Ringの効果は図-2で示される。Ringのない場合Aのように断面欠損部がHoop stressによりふくれる。一方Ringの効果によりBのように拘束があり，全体としてA+Bのように変位が拘束される。

3. 最適形状

最適の断面形状を決める要素は，Hoop stress（周方向）及びbending stress（管軸方向）の応力集中を最小にすることにある。応力集中を下げることは，脆性破壊及び疲労破壊に対する安全性につながる。図-3に種々のパラメータによるFEM解析結果を示す。最適形状は次のとおりである。a）板厚は $\frac{1}{2}$ 程度までおとすことができる。b）▽型形状は先端応力集中が大きいため□型が望ましい。c）RingはBand型とStiffener型があるが，最小断面積で先端の曲げ応力集中を緩和し，Hoop stressを最小にするには，正方形断面がよい。d）溶接作業も考慮し，Ring間の距離は管板厚の3倍（3t）程度である。

4. 力学的挙動（FEM解析結果）

A. 管軸方向に拘束のない場合（露出管で伸縮継手のある場合）

図-4は管外径2m，板厚22mmの両端freeの管に 79kg/cm^2 の内

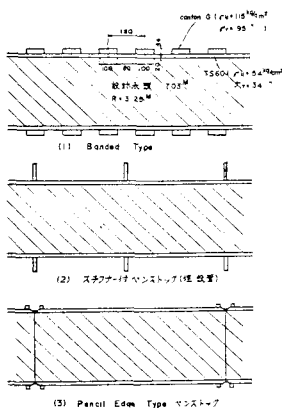


図-1 補強されたペンストックの型式
(例. 黒部第4ペンストック)

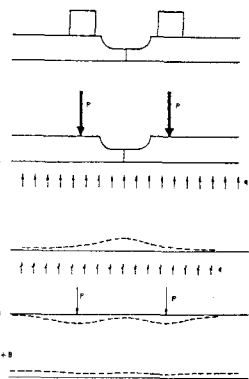


図-2 バンドの効果

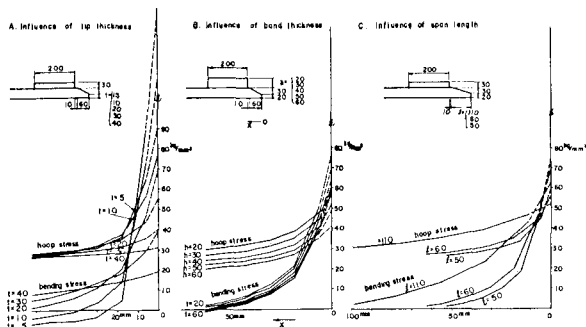


図-3 種々のパラメータによるバンドの効果（管軸方向拘束）

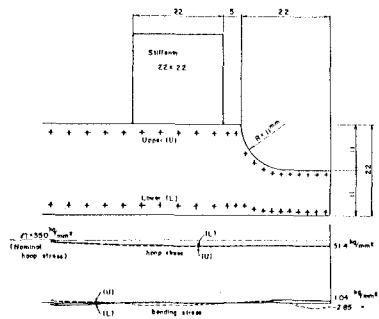


図-4 U字テーパの場合の応力状態
(管軸方向拘束なし)

圧を載荷した場合のFEMによる解析結果を示す。平均Hoop stress に対し先端では約 10% の減少がみられる。一方 bending stress はRing 取付部及び先端で若干生じているがごくわずかでである。Stiffener型にし、その両間隔を広げるにつれ、曲げ応力の値は大きくなる。

B. 管軸方向に拘束のある場合 (図-5)

Hoop stress に対するポアソン効果によりその 30% が軸方向力として発生する。継手先端では断面積が $\frac{1}{2}$ になるので、軸力は2倍になる。更にテーパの偏心にに対する局所的な曲げ応力が発生し、それに加算される。板外面で応力集中が大きい。

C. 目違いの影響 (図-6)

2次応力の発生の原因は、継手部偏心による局部曲げの発生と、左右の管径の差によるHoop stress のアンバランスである。Spec.では許容段違い寸法を板厚の 10% 以内 (周方向継手) としているが、この程度では大きな応力集中はみられない。

D. 脆性破壊、疲労破壊に対する検討

応力集中係数を1.25として検討したが、この範囲内では許容欠陥寸法の値は通常の溶接継手のものと大差ない。但し、管軸方向に拘束のある場合は、更に検討を要する。

5. 実験

新継手形式の妥当性を確認するため次の実験を行った。

A. Ringの製作法の検討とプレストレス導入の具合、Bandの焼きばめ方式とStiffener (隅肉仮付) 方式による肌すき具合の比較。

B. 高水圧試験装置 (最大加圧力 80 kg/cm^2) 試作による供試体 (管径 2^m , 板厚 22^m , 管軸方向拘束なし) の加圧実験。

図-4,5の寸法と同じ供試体の実験結果を図-7,8に示す。Ringのプレストレスの具合により管胴に対する影響の差がみられるが、解析結果と同様の傾向を示し、降伏以降に対しても、Ring部で補強された区間は一般管胴部より強い耐荷力を示した。

6. あとがき

力学的には安全な構造といえるが、その製作法と経済性の検討が更に必要である。Ringのプレストレスを最小に、しかも肌すきをなくす取付法が最大の課題であろう。

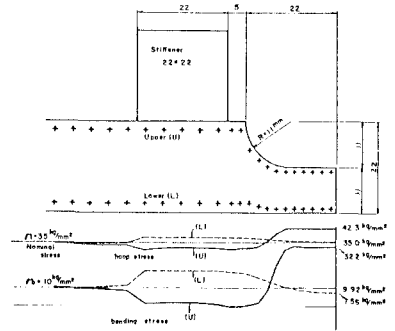


図-5 U字テーパの場合の応力状態 (管軸方向拘束)

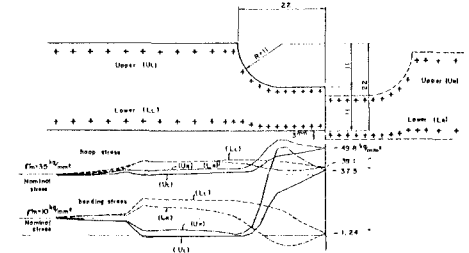


図-6 目違い(3mm)のある場合の応力状態 (No band) (管軸方向拘束)

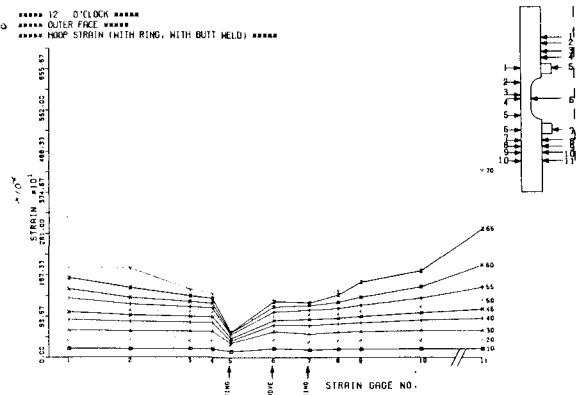


図-7 管外面のHoop stress (実験結果)

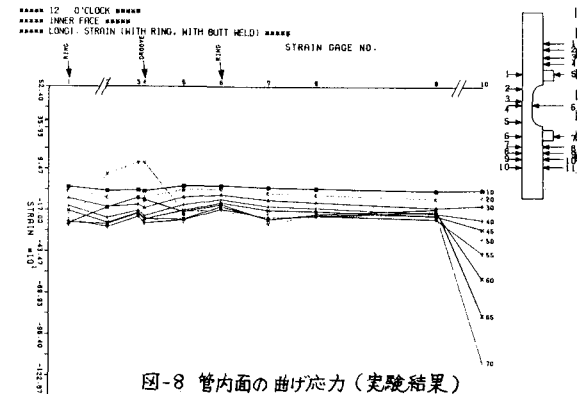


図-8 管内面の曲げ応力 (実験結果)