108 内圧を受ける接着-焼きばめ併用管継手の強度評価

Strength Evaluation of Bonded Shrink-fitted Joint of Circular Pipes Subjected to Internal Pressure

正 勝尾正秀 (湘南工大)
学 細野 聡 (湘南工大・学)

正 沢 俊行 (山梨大・工)
加藤 衛 (湘南工大・学)

Masahide KATSUO, Shonan Institute of Technology, 1-1-25, Tsujido Nishikaigan, Fujisawa

Toshiyuki SAWA, Yamanashi University

Satoshi HOSONO, Shonan Institute of Technology

Mamoru KATO, Shonan Institute of Technology

Key words : Bonded Shrink-Fitted Joint, FEM Stress Analysis, Joint Strength, Rupture Test

1. 緒言

配管等の接合方法には溶接やフランジによるボルト締結、ニップルによるねじ込み、接着接合等の接合方法が用いられている。これらにおいて、溶接継手では溶接時の熱による変形や材料組織の変質、異種材料の接合に問題があり、フランジやニップル等の機械的接合では部品数の増加、重量などの問題がある。近年、接着剤の性能向上に伴い配管継手への適用が検討されている。接着継手は作業が比較的容易であり、均一な応力分布が得られやすい利点を有するが、強度が低い欠点がある。一方、焼きばめ接合においては、従来、鉄道車両で車軸の接合等で用いられ、この強度設計も多く試みられているが解析の困難さから適用範囲が

限られており、これらの多くは焼きばめ状態の接触応力に関するものが主で強度に関しては行われていない。本研究は配管系の継手に焼きばめ接合と接着を併用し、継手強度の向上を図ることを目的としている。接着剤を併用した場合の焼きばめ代および焼きばめ長さが継手強度に及ぼす影響を検討するため、円筒を重ね合わせた接着-焼きばめ併用管継手試験片を製作し、油圧ポンプによる内圧負荷試験および材料試験機による引張負荷試験を行った。加えて、解析モデルによる有限要素解析 (FEM) から接合界面の応力分布を明らかにし、内圧と引張荷重が作用する場合の継手強度の予測を行う。

2. 実験方法

図1に本研究に用いた接着-焼きばめ併用管継手試験片 (図1(a))、および試験装置概要 (図1(b))を示す。内・外円筒を長さ 50mm、肉厚 3mmの機械構造用炭素鋼 (S45C) とし、各円筒の閉端部には引張試験器装着用のフランジと内圧負荷用の高圧ホース取り付け口が設けてある。接着-焼きばめ試験片の製作は内・外円筒をアセトンで超音波洗浄した後、内円筒に嫌気性接着剤 (Loctite 14486、縦弾性係数 $E_2=3.82\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu_2=0.39$) を塗布し、外円筒を電気炉で 200℃、10 分間加熱した後、焼きばめ接着を行った。試験片は接着層長さが 5.0、7.5、10.0 および 15.0mm とした。内圧および引張負荷実験は室温 (約 20℃) で行い、試験片の接合部で接着層が破壊し、内・外円筒が分離した時の内圧および内圧負荷後に引張荷重を加え、油の漏洩により内圧が急激に低下したときの引張荷重を求めた。

3. 解析方法

図2は解析モデルを示す。継手の外円筒、接着層および内円筒をそれぞれ有限円筒 I、II および III とし、継手の対称性から両端を閉止した継手モデルの 1/2 を解析対象とした。FEM コードは MARC K7、MENTAT3.2 を使い、各モデルとも要素タイプは 8 節点 4 辺形軸対称要素、節点数および要素数は接着長さ 10mm の場合でそれぞれ 11346 および 10932 である。解析においては、まず、外円筒にマイナスの温度

(a) Dimension of inner circular pipe

(b) Experimental setup for rupture tests

Fig. 1 Dimension of an inner circular pipe and schematic experimental setup for rupture tests

変化を与えることによって焼きばめ状態とする。次に、内圧および引張荷重を加えて応力解析を行なう。なお、本研究では試験片に内圧および材料試験機による引張加重が作用した場合の継手強度は焼きばめ部分に生じるせん断応力 τ_{rz} と締付け応力（垂直応力） σ_r に依存すると仮定する⁽¹⁾。

4. 結果と考察

図3は焼きばめ長さが5mm および10mm における接着界面の垂直応力とせん断応力分布を示す。横軸は端部からの距離を焼きばめ長さで除した無次元距離 (x/L_a) を表す。図より、長さ10mm において圧縮応力 ($-\sigma_r$) が大きく、せん断応力 τ_{rz} が小さいことから継手強度も大きいことが推測される。図4は円筒試験片による圧縮応力とせん断強度の関係を求めたアナロジー実験結果⁽¹⁾を示す。また、図中の実線は実験結果より得られた平均垂直応力と平均せん断応力の関係を最小二乗法により求めた式 $\tau_0 = 0.333 \sigma_r + 69.3$ (MPa) を表したものである。図5は焼きばめ長さ10mm の試験片による内圧負荷試験結果で焼きばめ代 δ と内圧による最大軸方向荷重 W_T の関係を示す。図より、 δ が増すにつれ継手強度も増大することが分かる。図6は焼きばめ長さ5mm の解析例で、焼きばめ試験片による内圧負荷試験結果の内圧 $P=15\text{MPa}$ を作用させた場合の接着界面の応力分布を示す。図の横軸は接着界面端部からの距離 x を表す。また、図中の◆記号はせん断応力 τ_{rz} 、■記号は解析によって得られた垂直応力 σ_r をアナロジー実験の関係式に代入し得られた τ_0 を示している。図から、端部から距離0.05mm までの τ_{rz} が τ_0 を上回っていることが分かる。図7は継手試

験片による焼きばめ長さ $L_a = 5.0, 7.5, 10$ および 15mm の実験結果を示す。横軸は L_a 、縦軸は内圧および材料試験機による引張荷重から求めた軸方向荷重 W_T を表す。図から、 L_a が大きくなるにつれて継手強度の増大することが分かる。また、実験結果のばらつきは同じ焼きばめ長さにおいても焼きばめ代 δ がそれぞれ異なるためであり、 δ が大きいほど W_T も大きくなっている。また、図中の実線は実験結果に合わせて、図6と同様に FEM 解析によって得られた τ_{rz} と τ_0 を基に求めた継手の強度予測値である。すなわち、焼きばめ長さ5mm の内圧による継手強度は $x=0.05\text{mm}$ の位置までの τ_{rz} が τ_0 を上回ったときの内圧15MPa とした。同様に、7.5mm では20MPa、10mm では25MPa とし、直線で表したものである。すなわち、実験結果からは強度予測に用いる距離 x が焼きばめ長さの増加に伴い大きくなることを示しているが、いずれの場合も継手強度をより安全側で推測するには端部から焼きばめ長さの1～2%の位置における応力が重要と思われる。

5. 結 言

本研究で得られた結果は次のとおりである。

- (1) 解析および実験結果から焼きばめ長さおよび焼きばめ代の増大によって、継手の強度も向上することがわかった。
- (2) 焼きばめ-接着併用管継手に内圧が作用する場合の継手強度は端部から焼きばめ長さの1～2%の位置におけるせん断応力と接着剤のせん断強度で予測可能であることが分かった。

参考文献

- (1) 米野他、機論A編、63巻、606号(1997)、pp.328

Fig.2 Model for FEM analysis

Fig.4 Experimental results of analogy test

Fig.6 Comparisons between τ_{rz} and τ_0

Fig.3 Stress distributions at the interface between the cylinder I and the adhesive

Fig.5 Comparisons between the shrink allowance and the joint strength

Fig.7 Comparisons between the shrink fitted length and the joint strength