

313

突合せ接着継手の疲労挙動に関する研究

(接着層内の気泡が疲労強度におよぼす影響について)

兵庫県立工業試験場
大阪産業大学短期大学部

中誠 岸本和一郎
中山英明

1. 緒言

接着施工時においては実験室で行うよう不理想的な状態で接着することは困難であり、接着部に気泡、非接着部等の欠陥を生ずることが予想される。したがってこのような接着欠陥が継手強度におよぼす影響を把握することは実際の接着継手の強度を評価する上で、また接着継手の品質管理を考える上で重要な問題である。

過去における接着欠陥の研究については、気泡のはくり強度におよぼす影響¹⁾、また非接着部のせん断強度におよぼす影響²⁾等について検討したものが見うけられるが、このような研究例はわずかであり、静的な強度挙動に限定されている。そこで筆者らは、機械構造部材としての信頼性を考える上で必要な疲労強度について、上述の接着欠陥の問題に対して検討を行った。ここでは、接着欠陥として接着層内の気泡を考え、真空脱泡処理を行い気泡を除去した試験片と脱泡処理を行わず気泡を内在したままの試験片について疲労強度を調べるとともに疲労過程での接着層内のひずみ変化を検出し、こうした側面より検討を加えた。

2. 供試材料および接着条件

接着剤には、主剤にエポキシ樹脂(Epikote 828)、硬化剤にはポリミド樹脂(Versamid 115)を用い、被着体材料としては機械構造用炭素鋼、JIS.S15Cを用いた。また被着体材料についてはこれをFig.1に示す形状寸法に機械加工し、コラシダムパーバー No. 320# mesh により乾式研磨した後、接着に供し突合せ接着継手試験片とした。

本研究では、上述のような気泡を内在させた試験片と気泡を除去した試験片の疲労強度の比較を行うため、接着剤について真空脱泡処理を施した。真空脱泡装置の概略図をFig.2に示す。ここで脱泡条件はカクハシ槽内で10mmHgの減圧下、15分間カクハシを行った。

また、本実験においては主剤と硬化剤の混合比を重量比で10:8とし、また硬化条件は100°C、1時間保持ののち炉冷とし、24時間放置後接着に供した。なお、接着層厚さはガラスビーズにより設定した。

3. 実験装置および実験方法

本実験に用いた引張圧縮疲労試験機の概略をFig.3に示す。これは回転軸の両端にそれぞれ2個づつの偏心質量を取り付けた振動モーターを荷重源とする荷重繰返し速度3600rpmの引張圧縮完全両振型

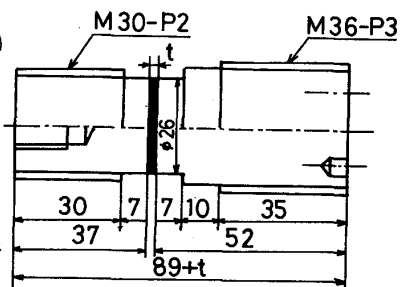


Fig.1 Shape and sizes of the adhesive-bonded butt joint specimen.

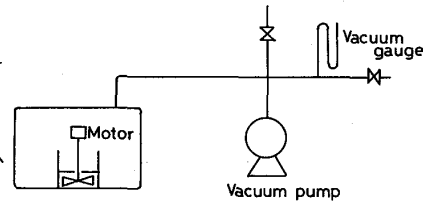


Fig.2 Principle of vacuum system.

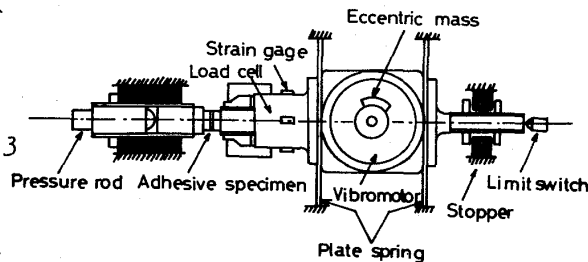


Fig.3 Principle of the push-pull fatigue testing machine.

疲労試験機であり、偏心質量の種類およびその組合せにより種々の荷重を得ることが出来る。また、本研究では試験片の接着層に直接ひびきゲージを貼付し、これより Fig.4 に示す応力-ひびき履歴曲線を得た。ここで同図に示すような非弾性ひびき幅 $\Delta\epsilon_i$ 、全ひびき幅 $\Delta\epsilon$ 、および履歴曲線を平行四辺形で近似しその面積をもとに定めた 1 サイクルあたりの履歴エネルギー ΔW さらにその破断までの積算量 W_t を以下の議論で用いた。

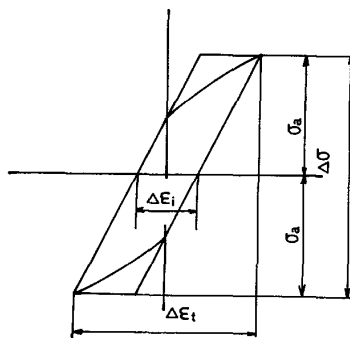


Fig.4 Illustration of hysteresis loop.

4. 実験結果および考察

① 疲労強度：疲労強度を調べる前に気泡を内在させた試験片の破面写真より気泡の粒径分布を求め、正規対数確率紙上に示したものが Fig.5 である。これより平均値がほぼ 60 μm であることがわかる。また、Table1 に示した接着剤の比重測定値より計算すると気泡の空隙率は約 10% である。

Table 1 Mechanical properties of adhesive.

	Density ρ (g/cm ³)	Rigidity G (MPa)	Tensile strength σ (MPa)	Elongation δ (%)
Containing no bubbles	1.06	500	144	2.3
Containing bubbles	0.95	424	7.2	4.8

さらに Table1 より気泡による剛性率の低下は約 10% であるが、気泡の空隙率に対応しているが、引張強さは約 1/2 に低下していることが認められる。これは気泡周辺の応力集中が引張強度に影響をおよぼしているためと考えられる。

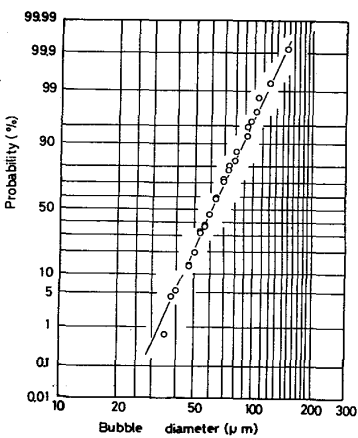


Fig.5 Cumulative size distribution of bubbles in the adhesive.

次に、気泡が疲労強度に与える影響について検討を行う。まず、脱泡処理を施した試験片と気泡を内在させたままの試験片の疲労強度の比較を S-N 線図上で行い、Fig.6 に示す。同図より接着層厚さが 0.1mm および 0.2mm の場合、双方とも低サイクル域では気泡の混入により疲労強度の低下が認められるが、高サイクル域では両者の差が縮まり疲労限度はほぼ一致していることが認められる。上述のように低サイクル域で気泡の疲労強度におよぼす影響が顕著であり、一方高サイクル域ではその効果が減少し、疲労限度の一致する傾向を見出した点で本研究結果は新たな発見を与えるものと考えられる。ここで上述の疲労強度特性について検討を加える。まず、低サイクル域では試験片に加わる応力レベルが比較的高いことから、静的引張試験の場合に対応して例えば気泡による突断面積の低下および気泡周辺の応力集中のため気泡を含む試験片の疲労強度が低下しているものと考えられる。一方、高サイクル域では初期き裂の生成、進展挙動が疲労強度に大きく作用する。そのため、気泡の応力集中等の作用も考えられるが、低応力のためき裂の進展に対し停留効果

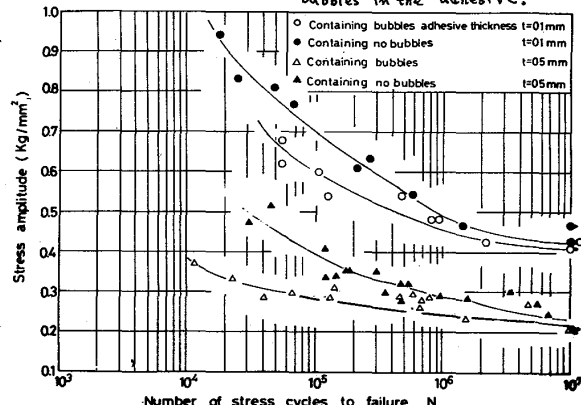


Fig.6 S-N Curves.

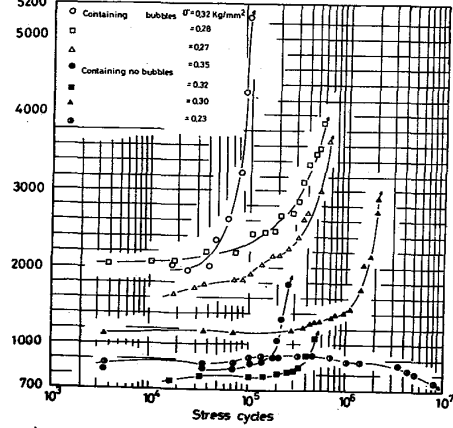


Fig.7 Variation of total strain range against the number of stress cycles.

をもつことも考えられ、このことが、高サイクル域での疲労強度特性の一因となっているものと推察される。

② 全ひずみ幅および非弾性ひずみ幅の変化挙動：前節で

示した疲労特性について $t=0.5\text{mm}$ 試験片を用い、疲労過程の全ひずみ幅および非弾性ひずみ幅の変化挙動と、た疲労機構の面より検討を行った。

脱泡処理を施した試験片および気泡を内在させたままの試験片について、全ひずみ幅および非弾性ひずみ幅の変化の様子を

繰返し数 N に対して示したものが、Figs 7, 8 である。両図より、脱

泡処理を施した試験片より、気泡を内在させた試験片の方が $\Delta\epsilon_t, \Delta\epsilon_e$ と

ともに大きいことが認められ、またかなりの $\Delta\epsilon_t, \Delta\epsilon_e$ の増大を伴って破断に至

っていることが認められる。また非破断の場合には疲労硬化現象を示す

ことが観察される。次に両試験片の全ひずみ幅の変化挙動を比較する

目的で繰返し数 N を N/N_f (N_f は破断もしくは実験終了時の繰返し数) でまた

全ひずみ幅 $\Delta\epsilon_t$ を $\Delta\epsilon_t/\Delta\epsilon_{t0}$ ($\Delta\epsilon_{t0}$ は初期ひずみ幅) で正規化させ、Fig. 9 に示した。

これより気泡を内在させた試験片の方が、脱泡処理をほどこした試験

片よりも全ひずみ幅の変化率がゆるやかであり、こうしたこと

より接着層内の気泡の有無が疲労過程の非弾性ひずみ挙動に

顕著な影響を与えていることが認められる。

③ 累積エネルギーおよび非弾性ひずみ幅と疲労寿命の関係

金属材料の場合、熱疲労および塑性疲労条件下で非弾

性ひずみ幅が破壊のクライテリオンになることが知られて

いるが、接着継手に対しこのような面から検討を試みた

例はほとんどないようである。

まず、Fig. 10 に累積履歴エネルギー W_f と繰返し数 N の関係

を示した。これより気泡を内在した試験片の方が、ほぼ

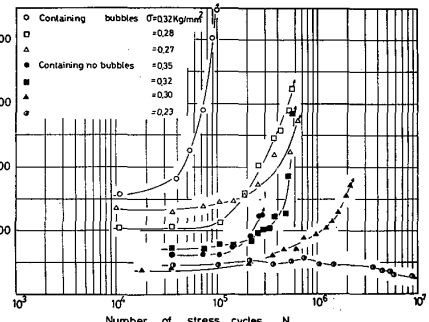


Fig. 8 Variation of inelastic strain range against the number of stress cycles.

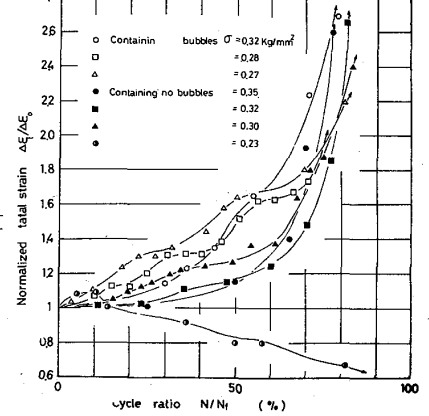


Fig. 9 Variation of normalized total strain range.

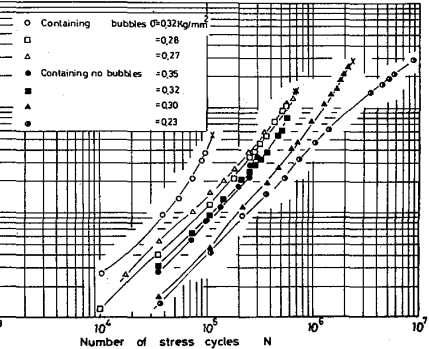


Fig. 10 Relationship between cumulative hysteresis energy and number of stress cycles.

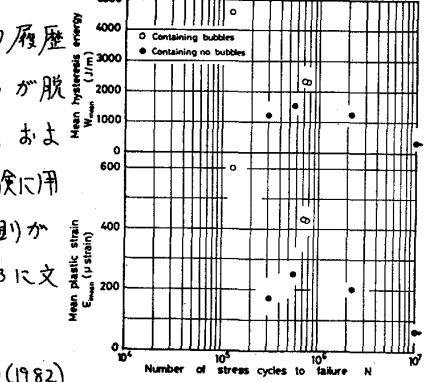


Fig. 11 Relationship between number of stress cycles to failure and mean inelastic strain or mean hysteresis energy.

文献

1) Adam, T.S, J of Adhesion 10 277(1979). 2) 池上S, 日本接着協会誌 15 60(1982). 3) 田中S, 日本機械学会論文集 39-320(B248-4) 1072. 4) 中山S, 日本接着協会誌 15 4 (1977) 5) 山崎三郎 複合材料 20 日本化学会編(学会出版部) 6) Ferrabellis Trans ASM 15 435 7) 多々S, 材料 1957