

I-492

衝撃荷重を受ける接着構造要素の解析

鹿島建設 正会員 岩橋 雅幸
北海道大学工学部 正会員 三上 隆
北海道大学工学部 正会員 芳村 仁

1. はじめに

接着接合法は構造物の軽量化、生産工程の大幅な合理化を可能にすることから、日用品から宇宙機器まで広い分野で用いられている。しかし、接着継手の静的解析に関する研究¹⁾は多数なされているが、動的解析については、まだ十分でないようである。そこで本研究では衝撃荷重下における単純重ね合わせ接着継手の動的特性を明らかにした。

2. 動的解析

動的問題における非減衰の釣合方程式は、次式のように書ける。

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{R\}$$

ここで $[M]$ は質量マトリックス、 $[K]$ は剛性マトリックス、 $\{U\}$ は変位ベクトル、変位ベクトルに付いているドットは時間微分を表す。また、 $\{R\}$ は外力ベクトルである。有限要素は、接合部分に4節点 joint要素、その他の部材には4節点アイソパラメトリック要素を用いた。

3. joint要素の定式化

3.1 剛性マトリックス

図-1に示すような、長さ L 、厚さ一定で h の4節点 joint要素の上下面の変位を線形に仮定する。joint要素の各ひずみ成分は ϵ_x, γ_{xy} に新たに ϵ_y を考慮し次式のように与えられる。

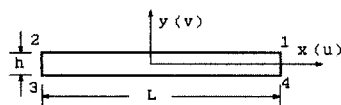


図-1 4節点joint要素

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \approx d \left\{ \frac{u^{\text{top}}(x) + u^{\text{bottom}}(x)}{2} \right\} / dx$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \approx \frac{\Delta v}{h} = \frac{v^{\text{top}}(x) - v^{\text{bottom}}(x)}{h}, \quad \gamma_{xy} \approx \frac{\partial u}{\partial y} \approx \frac{\Delta u}{h} = \frac{u^{\text{top}}(x) - u^{\text{bottom}}(x)}{h}$$

ただし $u^{\text{top}}(x), u^{\text{bottom}}(x)$ はそれぞれ上下面の x 方向変位場であり、また $v^{\text{top}}(x), v^{\text{bottom}}(x)$ は同様に y 方向変位場である。上記のひずみ式を用いれば、要素の長手方向のひずみ（応力）を考慮した joint要素の剛性マトリックスが得られる。

3.1 質量マトリックス

要素の変位場を上下面の変位の平均をとることにより、要素の並進運動に関する質量マトリックスが得られる。すなわち、次式のように書ける。

$$u = \frac{u^{\text{top}}(x) + u^{\text{bottom}}(x)}{2}, \quad v = \frac{v^{\text{top}}(x) + v^{\text{bottom}}(x)}{2}$$

4. 時間積分法

本論文においては、異種材料からなる構造の衝撃問題を扱う場合に特に有効と思われる、陰・陽結合時間積分法²⁾を用いて解析を行った。

5. 数値計算例

5.1 片持ばり

図-2のような、断面積一定、単位長さ当たり質量一定の片持ばりの自由端にステップ荷重を作用させた場合を



図-2 異種材料よりなる片持ばり

考える。有限要素は棒要素を100個用いた。はりの中央に弾性係数の異なる要素を挿入し、固定端の応力をNewmark法、陰・陽結合時間積分法、理論値の3つの方法を比較した。図-3のように、陰・陽結合時間積分法が、理論値と良く一致していることが分かる。

5. 2 単純重ね合わせ継手

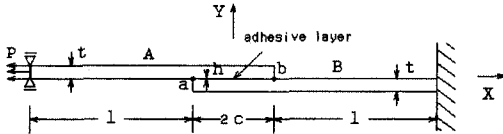


図-4 単純重ね合わせ継手

図-4に示すような境界条件の単純重ね合わせ継手について考える。材質はA、Bともにスチール、接着剤はエポキシ(II) ($E=300\text{kg/mm}^2$, $\nu=0.35$, $\rho=1.0\times 10^{-6}\text{kg/mm}^3$) である。

また、 $l=100\text{mm}$, $c=25\text{mm}$, $t=6\text{mm}$, $h=0.5\text{mm}$ である。要素分割は図-5の一次のモード図に示したような230分割である。

・図-6に、静的解析による接着層の応力分布を示す。joint要素の $\sigma_x(\epsilon_x)$ を考慮すれば、接着層の厚さ方向の直応力が大きくなっている。

・図-7に長方形衝撃荷重（継続時間 $t_1/T_1=0.5$ ）

に対する図-4のb点における σ_y の時間応答を示す。

・図-8に t_1/T_1 に対する動的増幅率 D （時刻歴の最大応答値/静的解）を示す。これより、およそ $t_1/T_1=0.15$ 以降で D は一定になっている。

また、静的解析では、接着層の応力はa点の方が大きい、衝撃解析ではb点の方が応力の応答が大きくなることがわかる。

6. まとめ

本研究では接着構造要素の動的特性を明らかにした。また、異種材料からなる衝撃解析には、陰陽結合時間積分法を使用することにより、細かな分割を要することなく、力学的特性を明らかにすることが可能である。

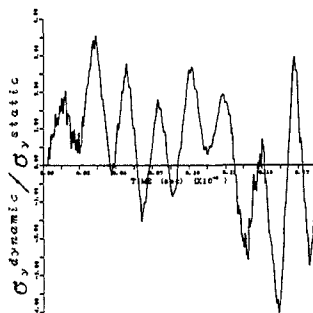


図-7 b点の応力応答

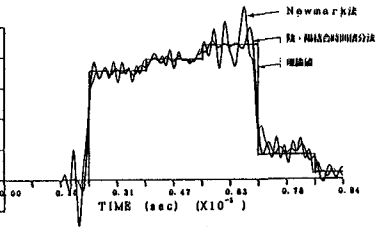


図-3 固定端における応力応答

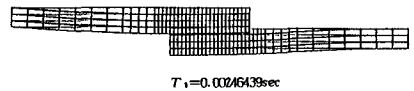


図-5 1次のモード図

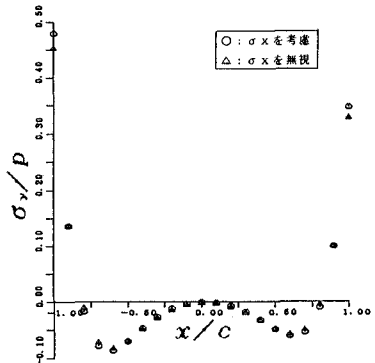


図-6 接着層の応力分布

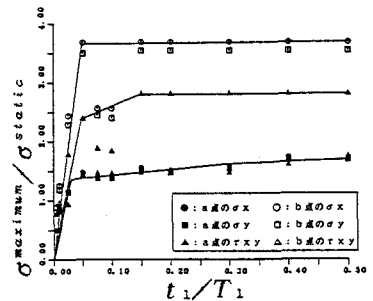


図-8 応答スペクトル

参考文献

- 1)鈴木治夫”ギャップ要素の提案とその応用に関する研究”，北海道大学大学院平成元年度修士論文
- 2)T.Beleytschko and T.J.R.Hughes "Computational methods for transient analysis"(1983), Elsevier Science Publishers B.V.