

積層した樹脂材の力学的挙動と材料設計に関する一考察

神戸大学工学部 正 員 宮本 文徳
神戸大学大学院 学生員〇永谷麻佐雄

神戸大学工学部 正 員 森川 英典
住友商事 (株) 松本 一晃
コニシ (株) 正 員 若原 直樹

1. まえがき 近年、コンクリート構造物の補修に積層化した樹脂材の適用が一般的となっているが、その材料選択に際しては、材料学的観点から検討される場合が多く、力学的観点からの検討はあまり行われていない。そこで、本研究では、樹脂材の最適積層化における材料選択の基準となる力学的指標を確立するため、主に層間せん断応力に関する力学的挙動に着目し、その評価法を解析および実験に基づいて検討するとともに、各指標の特性および有効性についての基本的な考察を行った。

2. 解析手法 図1に示すような、ヤング係数 E_0 の部材にヤング係数 E_1 の樹脂材を塗布し荷重 P を与えたモデルにおいて層間せん断応力を求めるため、微分方程式を直接解く手法¹⁾と図2に示す平面骨組解析にオフセットばね要素を導入した数値解析手法の二通りの方法を検討した。ここで、微分方程式における境界条件は数値解析結果より引用した。図1において、 $P=20\text{kgf}$, $E_0=30000\text{kgf/cm}^2$, $E_1=10000\text{kgf/cm}^2$, k (層間せん断ばね定数) $=1000\text{kgf/cm}^2$ としたモデルについて両解法で解析を行い、層間せん断応力の結果を比較したものを図3に示す。この図から、両解法による結果はほぼ同じ傾向を示していることがわかる。

3. 実験の概要 本実験では、樹脂材を塗布したアクリル板を用いて曲げ試験を行い、界面におけるひずみ差を測定し、解析と結びつけることにより層間せん断ばね定数 k および層間せん断応力集中を評価した。また、各材料のヤング係数を得るために引張試験を行った。供試体は図1の通りとし、ヤング係数が1571, 8772, 15639 (kgf/cm^2)の三通りのエポキシ系樹脂を1層塗布し、それぞれの供試体名をI-A, I-B, I-Cとした。また、曲げ載荷荷重 $P=20\text{kgf}$ とした。図4にひずみゲージの貼り付け位置を示す。引張試験片はJIS K 7113の1号型試験片に準じ、ひずみゲージおよび標線間変位差によりひずみの測定を行った。また、これら一連の試験は室温 $19.5 \pm 1.0^\circ\text{C}$ で行った。

4. 実験結果 曲げ試験によって得られたひずみ測定値を引張試験により評価されたヤング係数比(真の係数/見かけの係数)を用いて補正した後、図3の⑤~⑧におけるひずみ測定値を界面の位置へ線形補間し、①~④の測定値とのひずみ差を求めた。これをもとにして数値解析結果と対応させることにより、図5のフローにしたがって層間せん断ばね定数 k の同定を行った。図6に、各供試体における層間せん断ばね定数 k の同定結果および k と樹脂材のヤング係数 E_1 の関係を示す。この結果から、 k と E_1 の間には相関があるものと考えられる。また、図7に同定された各供試体の層間せん断応力分布を示す。この結果から、樹脂材のヤング係数が大きいほど層間せん断応力が大きくなることがわかる。

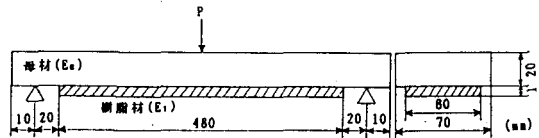


図1 供試体

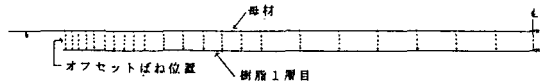


図2 数値解析モデル

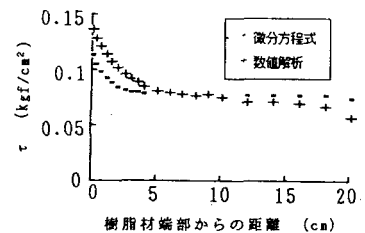


図3 解析手法の比較

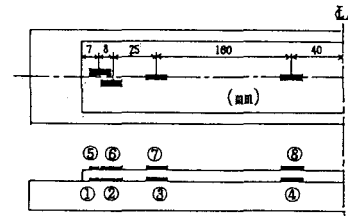


図4 ひずみゲージの貼り付け位置

5. 力学的指標の検討 樹脂材がはがれないという要求性能に対する層間せん断応力に関する指標として、①層間せん断応力集中の絶対値($\tau_{\max}/\tau_{\text{mean}}$)の最小化、②層間せん断応力集中率($\tau_{\max}/\tau_0$)の最小化、③樹脂材のせん断力分配率($\tau_0/\tau_{\text{mean}}$)の最小化の三つを取りあげ、パラメーター解析および実験結果に基づいてこれらの指標(指標Ⅰ)に対応した材料選択基準について検討した。ここで、 $\tau_{\max}$ は最大層間せん断応力、 τ_0 は層間せん断応力分布($\tau-x$)の平坦部の値、 τ_{mean} は母材の平均せん断応力とした。図8に $\tau_{\max}/\tau_{\text{mean}}$ とヤング係数比 E_1/E_0 の関係を、図9に $\tau_{\max}/\tau_0$ と E_1/E_0 の関係を、図10に $\tau_0/\tau_{\text{mean}}$ と E_1/E_0 の関係を示す。この結果、指標①～③に対する材料選択の基準として、それぞれ① $E_1/E_0 \rightarrow$ 小、 $k \rightarrow$ 小② $E_1/E_0 \rightarrow$ 大、 $k \rightarrow$ 小③ $E_1/E_0 \rightarrow$ 小が得られる。ここで、①と②の材料選択基準は相反するものとなっているが、両者の指標の検討については樹脂端部の破壊メカニズムを解明する必要があると考えられる。また、剛性に関する指標として、界面のせん断伝達性能($\tau_0/\tau_{\text{mean}}$)の最大化を考え、これに対する材料選択基準としては、図10の結果より、 $E_1/E_0 \rightarrow$ 大が得られる。以上のような要求性能に基づく各指標は要求性能との明確な関係を把握したうえで統合し、各要求性能ごとに最適な指標を確立する必要がある。さらに、これら各要求性能に対応する指標に基づいて、合理的な材料選択を行う基準を確立するためには、これらの指標を統合し、新たに指標Ⅱとして表し、これに基づく材料選択基準を検討する必要がある。

6. まとめ ①積層化樹脂材の層間せん断応力を評価するための解析手法の検討を行い、解析精度を確認した。②曲げ試験および数値解析を用いて、層間せん断応力集中を評価し、その特性を明らかにした。③層間せん断応力に関する三つの指標を取りあげ、その特性およびそれに対する材料選択基準について検討した。

参考文献 1)O.Vilnay:The analysis of reinforced concrete beams strengthened by epoxy bonded steel plates,The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete,1988

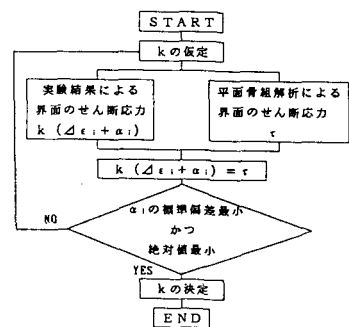


図5 kの同定フロー

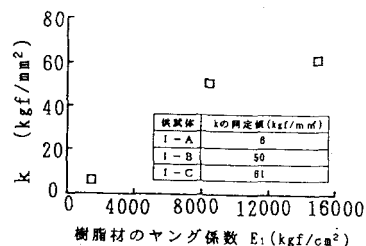


図6 kの同定結果およびkと樹脂材のヤング係数との関係

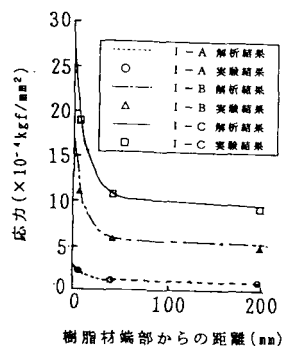


図7 同定後の層間せん断応力分布

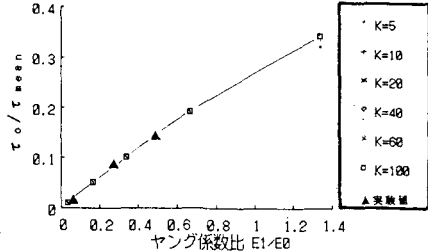
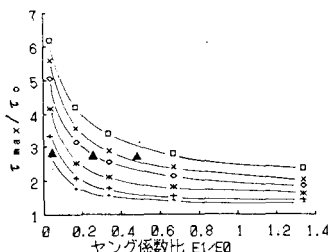
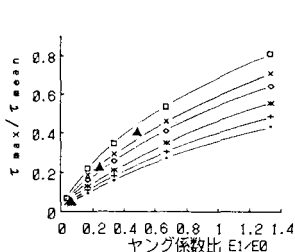


図8 $\tau_{\max}/\tau_{\text{mean}}$ と E_1/E_0 の関係 図9 $\tau_{\max}/\tau_0$ と E_1/E_0 の関係 図10 $\tau_0/\tau_{\text{mean}}$ と E_1/E_0 の関係