

神戸大学大学院 学生員 〇中西 誉
神戸大学工学部 正 員 宮本文穂

神戸大学大学院 学生員 阿山泰久
コニシ 正 員 若原直樹
サンキット 正 員 藤岡英博

1. はじめに コンクリート補修用積層化樹脂材の選定を材料学的観点と力学的観点の両方に基づいて行うのが望ましいが、現状は、材料学的観点からのみ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、図1に示すようにひびわれを有するモルタル母材にEポキシ系樹脂材を1層あるいは3層塗布した供試体が、温度変化あるいは曲げを受けた場合にその端部およびひびわれ近傍での層間応力に着目した力学的挙動評価を行うことにより力学的観点からの材料選定手法を確立しようとするものである。すなわち、FEM解析と実験より得られたひずみから層間せん断ばね定数を同定し、このばね定数を弾性係数でモデル化することによって層間応力と弾性係数の関係を定性的に評価し、界面においてははがれないなどといった力学的要求性能を評価するための指標を提案し、これに基づく合理的な材料設計手法の検討を行った。

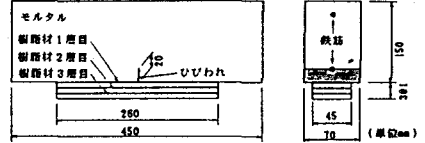


図1 供試体の詳細

2. FEM解析精度の検討 ひびわれを有する供試体の解析にあたっては、従来の平面骨組み解析法および微分方程式法¹⁾の適用が困難となるので、本研究では2次元FEM解析法を適用した。解析モデルは、モルタル部を3角形要素で、樹脂材部を4角形要素でそれぞれモデル化し、界面にはBond-link要素を導入した。このFEM解析の精度を検証するために、従来の研究ですでにその精度が確認されている平面骨組み解析による結果と比較した(図2)。これより両手法の解析結果はほぼ一致しており、FEM解析を用いても十分な解析結果が得られることがわかる。

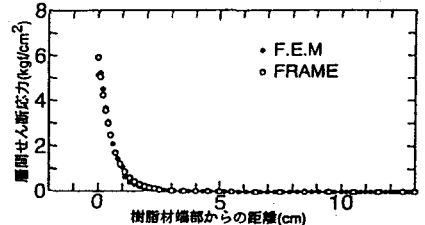
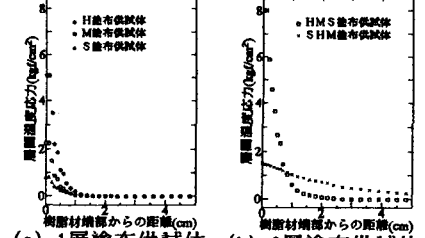
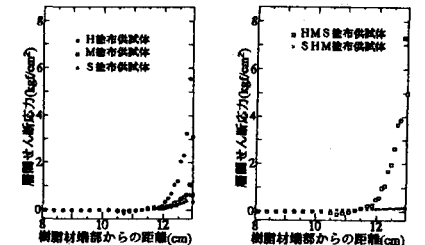


図2 層間温度応力分布の両解析結果の比較

3. 実験の概要 モルタル下面にEポキシ系樹脂材を1層あるいは3層塗布した供試体を単純支持状態で恒温室内に設置し、温度を20℃から10℃

に変化させて界面におけるひずみと温度変化を測定した(図1)。さらに、同じ供試体を用いて20℃の恒温室内にて単純支持状態で中央集中載荷し、界面におけるひずみを測定した。また、各材料の弾性係数とポアソン比を求めるために、モルタルについては圧縮試験、樹脂材については引張試験と圧縮試験を行った。その結果、各材料の弾性係数はモルタルが $2.37 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、硬い樹脂材が $2.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ (H)、中間の樹脂材が $9.7 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ (M)、軟らかい樹脂材が $5.8 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ (S)となった。また、材料の線膨張係数を、ダミー供試体を恒温室内に設置することにより測定した。そして、実験で測定した樹脂材のひずみとFEM解析により得られた樹脂材のひずみが一致するように層間せん断ばね定数を同定し¹⁾、層間応力を求めた。

4. 界面特性の評価 実験結果とFEM解析を併用して、界面における力学的挙動の評価を行った。図3および図4に温度変化および曲げによる層間応力分布を示す。ここで両図の(a)は1層塗布のもの、(b)は3層塗布のものである。温度変化を受けた場合は樹脂材端部で応力集中が生じ、ひびわれ近傍では応力集中は生じていない。曲げを受けた場合はひびわれ近傍で応力集中が生じ、樹脂材端部ではほとんど

(a) 1層塗布供試体 (b) 3層塗布供試体
図3 層間温度応力分布の比較(a) 1層塗布供試体 (b) 3層塗布供試体
図4 層間せん断応力分布の比較

ど応力集中は見られない。両図の(a)より、樹脂材の弾性係数が大きくなるほど応力集中部の最大値も大きくなっており、また、温度変化と曲げを受ける場合をそれぞれ比較するとほぼ同じ様な値を示していることがわかる。従って、層間応力と弾性係数の間には線形関係があると考え、1層および3層積層化樹脂材の層間せん断応力を弾性係数で定性的に評価するために、層間せん断ばね定数 k を樹脂材の弾性係数 E で以下のように定式化した。

$$1 \text{ 層塗布供試体: } k_{01} = 4.947E_1 - 6297.818 \quad (1)$$

$$3 \text{ 層塗布供試体: } k_{01} = 7.109E_1 - 1.352E_2 - 3.978E_3 + 35455.079 \quad (2)$$

5. 指標の提案およびパラメータ解析 異種材界面での破壊を考える場合、破壊は最大応力点の応力値だけでなくその点の勾配も関係すると考えられ、層間応力の集中部の積分値の無次元化量 $A\tau$ を指標として提案した。そして、式(1)(2)を用いてパラメータ解析を行った。1層塗布供試体(図5)では、評価指標と弾性係数はほぼ線形関係にあることがわかる。次に、3層塗布供試体(図6, 7)では、一例として縦軸に評価指標、横軸に3層目の弾性係数を取り、1層目の弾性係数を固定して2層目の弾性係数を

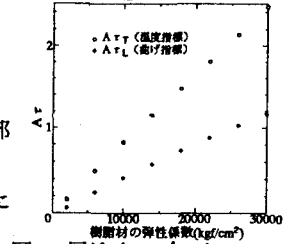


図5 1層塗布の $A\tau$ と樹脂材弾性係数の関係

変化させて比較したものを示す。なお、両図の(a)~(c)では1層目の弾性係数を変化させた場合を比較した。図中のTあるいはLの後の数字は1, 2層目の樹脂材の弾性係数である。まず、温度変化を受ける場合は、図6より1, 2層目には弾性係数の小さい樹脂材を塗布した方が良く、3層目に関しては、1, 2層目に比べ指標への影響は小さいように思われる。一方曲げを受

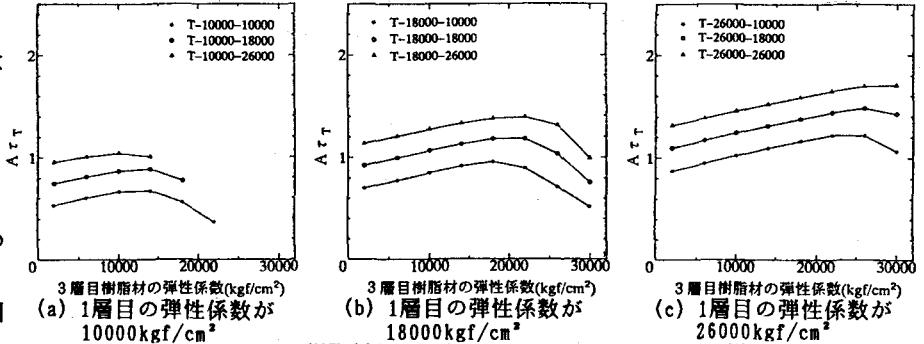


図6 $A\tau_T$ と樹脂材弾性係数の関係(温度変化を受ける場合)

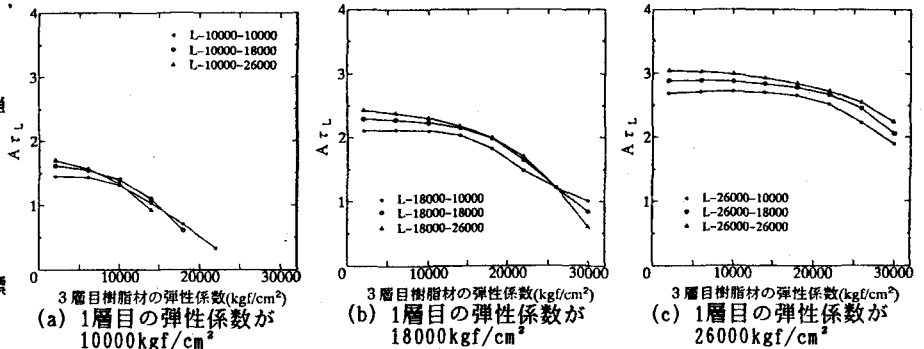


図7 $A\tau_L$ と樹脂材弾性係数の関係(曲げを受ける場合)

ける場合については、図7より、1層目には弾性係数の小さい樹脂材の使用が適している。2層目に関しては、3層目が軟らかいときは軟らかい樹脂を塗布し、1層目が軟らかく3層目が硬い場合は硬い樹脂を塗布する方がよい。3層目に関しては、1層目に比べあまり硬くない限りその影響は考慮するに値しないと思われる。

6. まとめ (1)FEM解析の精度が他の解析結果と比べ良好であることを確認した。(2)実験と解析を併用して、樹脂材の界面特性が層間応力の集中部を表す無次元化量 $A\tau$ で評価できることが明かとなった。(3)評価指標に基づく材料選定をする場合3層に対しては、下塗りと中塗りはほとんどの場合軟らかい樹脂材を塗布する方がよく、上塗りに関しては下塗りに比べあまり硬くない限りその影響は考慮する必要がないことがわかった。

参考文献 1)宮本, 他: 積層化樹脂材の力学的挙動と材料選択指標の確立, 建設工学研究所報告第33号, 1991. 12.