

V-334

コンクリート補修用積層化樹脂材の材料設計に関する基礎的研究

神戸大学大学院 学生員 〇阿山泰久 神戸大学大学院 学生員 中西 蒼
 神戸大学工学部 正会員 宮本文穂 コ ニ シ 正会員 若原直樹
 サンキ ャット 正会員 藤岡英博

1. はじめに コンクリート構造物の表面補修に使用される積層化樹脂材の材料選定に際しては、樹脂材の種々の機能を主に評価する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ほとんどなされていないというのが現状であり、今後、界面における応力集中特性等の改善に関する力学的指標を確立することが要求される場合が考えられる。そこで、本研究では、従来の研究¹⁾をふまえた上で、さらに実用的なモデルとしてひびわれを有するモルタル母材に E° 樹脂材を3層塗布した供試体(図1参照)を用い、外力として温度変化を受ける場合と曲げを受ける場合の界面における力学的挙動を、実験および解析を併用することにより評価し、外力の状況に対応した材料設計指標の提案および、指標の定性的な評価、考察を行うものである。

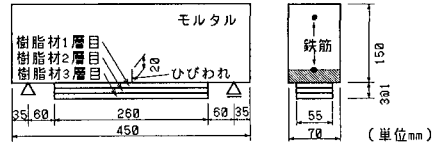
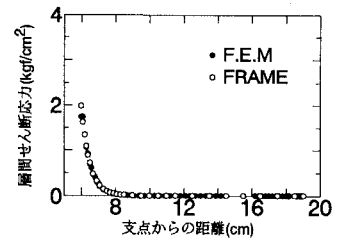


図1 3層塗布供試体の形状、寸法

2. 解析手法 積層化樹脂材の層間における力学的挙動を評価するための解析手法として、2次元FEM解析を適用した。解析モデルは、モルタルを3角形要素、樹脂材を4角形要素でそれぞれモデル化し、界面の接着特性を評価するためBond-link要素を導入した。また、供試体は、図1に示したようにモルタルの厚さに対し樹脂材厚が1mmと両材料間で剛性がかなり異なり、その点を考慮した解析が必要であると考えられる。そこで、本研究では、まず比較的荒いメッシュで全体を解析し、次に界面近傍をZoomingして解析する2段階の解析手法を用いた。これらの解析精度を検証するため、従来の研究で精度が確認されている平面骨組解析¹⁾を用いて得られた結果と比較した(図2参照)。

図2 FEM解析精度の検証
(平面骨組解析結果との比較)

このとき用いた供試体は、図1と同形のもので、母材にひびわれがないものを用いた。これより、両手法の解析結果は良く一致し、FEM解析を用いても十分な解析精度が得られることがわかる。

3. 実験の概要 外力として温度変化を受ける場合と曲げを受ける場合の力学的挙動について検討するため、温度応力試験と曲げ試験を行った。供試体は、人工ひびわれを有するモルタル部材に樹脂材を3層塗布した供試体を用いた(図1)。実験は、図1に示すようなモルタル(母材)に弾性係数の異なる E° 樹脂材を3層塗布した供試体を単純支持状態で恒温室内に静置し、温度を20℃から10℃まで変化させ、図3に示す位置でひずみを測定した。また、同一供試体を用いて20℃恒温状態で曲げ試験を行った。使用した樹脂材の弾性係数は、25000kgf/cm²(H)、9700kgf/cm²(M)、5800kgf/cm²(S)であり、モルタルの弾性係数は237000kgf/cm²である。供試体は、1層目からH、M、Sの順に塗布したものとS、H、Mの順に塗布したものを用いた。それらを以後それぞれHMS、SHMと呼ぶ。また、各材料の線膨張係数を γ 供試体を恒温室内に静置することにより測定した。以上の実験で測定され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分布が一致するように層間せん断ばね定数(Bond-link要素のばね剛性)を同定し、層間せん断応力を求めた。

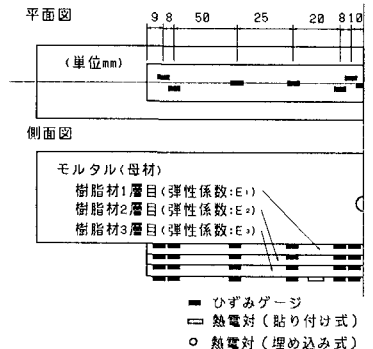


図3 樹脂材の種類とひずみゲージ貼付位置

4. 界面における力学的挙動の評価 一例として母材と樹脂材1層

目の間の層間せん断応力分布を温度変化を受ける場合(図4(a)), 曲げを受ける場合(図4(b))についてそれぞれ比較して示す。これより温度変化を受ける場合は、樹脂材端部で応力集中を示し、母材のひびわれの影響はほとんどないことがわかる。また、曲げを受ける場合は、樹脂材端部の応力集中は非常に小さくなっているが、母材のひびわれ近傍で大きな応力集中を示している。したがって、母材にひびわれが生じている場合、その影響は曲げを受ける場合に顕著に現れ、温度変化を受ける場合は、その影響はほとんど無視してよいと考えられる。また、塗布する樹脂材の順序によって層間応力分布が大きく異なるのがわかり、力学的挙動を評価する上で各樹脂材の弾性係数は重要なパラメータとなると考えられる。

5. 力学的指標の検討 積層化樹脂材の界面ではがれないことを力学的要求性能とした指標を提案し、考察を行う。異種材料界面での破壊を考える場合、応力集中特性としてその最大値と応力勾配の両者を考慮する必要がある²⁾。上述のようにひびわれの影響は曲げを受ける場合に顕著に現れることから、曲げを受ける場合はひびわれ近傍の応力集中、温度変化を受ける場合は樹脂材端部の応力集中に注目し、応力集中部の囲む面積 $A\tau_L$ (曲げ)、 $A\tau_T$ (温度)を界面の破壊を支配するパラメータ(指標: 次元は kgf/cm)として提案した。すなわち、界面ではがれない積層化樹脂材の組み合わせは、この指標を小さくするような組み合わせを考えればよいことになる。この指標の評価式を作成するため、先に求めた層間せん断ばね定数を各層樹脂材の弾性係数で定式化し、それを用いて樹脂材の組み合わせと指標の関係式を求めた。その

結果をまとめたものが表1で、これより、 $A\tau_L$ 、 $A\tau_T$ に対する感度は、 E_1

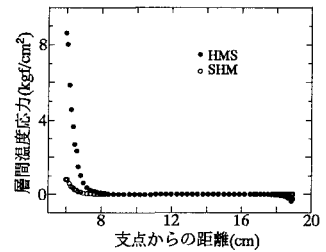
表1 樹脂材界面破壊を支配するパラメータ $A\tau$ の近似式

近 似 式		相 関 係 数
$A\tau_L$	$1.274 \times 10^{-4} x E_1 + 8.860 \times 10^{-6} x E_2 - 5.680 \times 10^{-5} x E_3 + 0.4230$	0.9355
$A\tau_T$	$1.551 \times 10^{-4} x E_1 + 1.170 \times 10^{-4} x E_2 - 4.440 \times 10^{-6} x E_3 - 0.4425$	0.8622

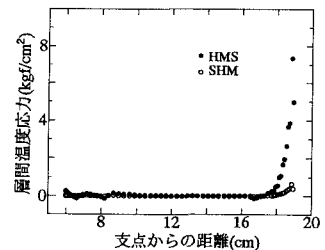
$E_2 > E_3$ となっており、 E_3 に関しては負の相関がみられる。曲げ、温度変化それぞれを受ける場合について、樹脂材の組み合わせが界面に与える影響を明らかにするため、実験で使用した樹脂材を用いて表2に示す5種類の組み合わせの積層化を考え $A\tau_L$ 、 $A\tau_T$ を求めた。その結果、温度変化を受ける場合の方が曲げを受ける場合より破壊を支配する指標が大きくなっていることがわかる。これより、界面破壊の防止を目的とした材料選定に際しては、曲げを受ける場合は、1層目の影響がとくに大きく、 E_1 を小さくするのが有効である。 E_2 、 E_3 に関してはその影響は小さいが、 E_2 を小さく、 E_3 が大きいくほうがよい。一方、温度変化を受ける場合は、 E_1 、 E_2 をできるだけ小さくし、 E_3 の影響は小さいがこれを大きくする方がよいと考えられる。材料設計指標を確立するには、 $A\tau_L$ 、 $A\tau_T$ を無次元量にする必要があり、今後検討していく必要がある。

6. まとめ (1)FEM解析の精度を検証し、それが良好であることを確認した。(2)母材にひびわれがある場合について実験と解析を併用して多層化したコンクリート補修用積層化樹脂材の界面における力学的挙動を評価した。(3)界面での破壊を支配する力学的指標を提案し、これに基づいた積層化樹脂材の材料設計手法の考え方を示した。

【参考文献】1)宮本他:コンクリート補修用積層化樹脂材の最適材料設計に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol148, No5, pp. 729-727, 1993. 9. 2)西田正孝:応力集中, 森北出版, 1967. 9.



(a) 温度変化を受ける場合



(b) 曲げを受ける場合

図4 層間せん断応力分布の比較

表2 樹脂材の組み合わせによる界面破壊を支配する指標の変化

供試体	$A\tau_L$	$A\tau_T$
HMH	2.274	4.459
HMS	3.365	4.544
MBM	1.329	3.944
MSM	1.159	1.698
SHM	0.832	3.339