

V - 350

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

(株)栗本鐵工所 正会員○木村聡文
神戸大学工学部 正会員 森川英典

神戸大学大学院 学生員 阿山泰久
神戸大学工学部 正会員 宮本文穂
コニシ(株) 正会員 若原直樹

1. はじめに コンクリート構造物の補修に使用されている積層化樹脂材の材料選択に関しては、種々の機能性の他に界面における応力集中特性の改善に関する指標を確立することが要求されている。本研究では、積層化樹脂材の力学的な観点からの最適設計法の確立を目的として、積層化樹脂材3層塗布モルタル母材が温度変化を受ける場合と曲げせん断を受ける場合の界面における力学的挙動について、実験および解析を併用することによって評価し、外力の状況に対応した材料設計指標の提案、指標の定性的な評価・考察を行った。

2. 解析手法 層間における力学的挙動を評価する手法として数値解析による方法と微分方程式による方法を検討した。数値解析による方法は従来の研究からその精度は確かめられている¹⁾。微分方程式による方法では多層の樹脂材を換算することによって、多層塗布樹脂材を1層塗布樹脂材に帰着させる方法を検討した。図1(a), (b)に各手法の比較を示す。これらの図から多層塗布樹脂材を1層塗布樹脂材に換算しても妥当であると考えられる。

3. 実験の概要 温度変化を受ける場合の界面における力学的挙動について検討するため温度応力試験を行った。実験は図2に示すようなモルタル(母材)に弾性係数の異なる樹脂系樹脂材を3層塗布した供試体を恒温室に単純支持の状態で静置し、温度を20℃から10℃まで変化させ、ひずみを測定した。供試体の種類は表1に示すような5種類で使用した樹脂材の弾性係数は23500kgf/cm²(h), 7240kgf/cm²(m), 2150kgf/cm²(s)である。力学的挙動の評価は温度応力試験で求めた各樹脂材の軸力と、別途行った温度応力解析から求めた各樹脂材の作用軸力とを対応させ、解析樹脂材における層間せん断ばね定数を逐次線形計画法(SLP)を用いて同定することにより行った。得られた結果のうち、hmsとmsmの層間温度応力分布を図3(a), (b)に示す。この図から、母材と樹脂材1層目の界面における層間温度応力が他の界面より大きく、また、樹脂材を塗布する順序によっても異なることがわかる。

4. 力学的指標の検討 同定して求めた層間せん断ばね定数を用いて、解析により求めた層間せん断応力および層間温度応力について、力学的指標の有効性について検討した。力学的指標としては、応力集中部に着目し、その最大値を評価するものとして

τ_{maxL}/τ_{mean} , τ_{maxT}/σ_0 (τ_{maxL} :最大層間せん断応力,
 τ_{maxT} :最大層間温度応力, τ_{mean} :母材の平均せん断応力, σ_0 :母材の仮想熱拘束応力)を考えた。また、端部での破壊を考える場合、

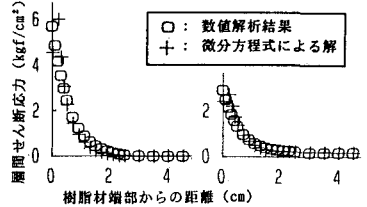


図1 数値解析と微分方程式の比較

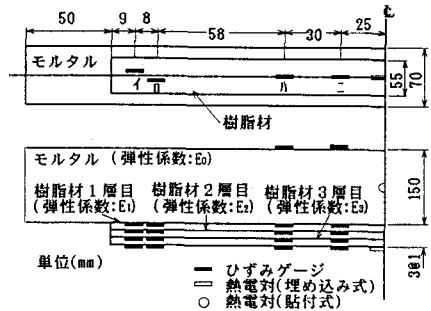


図2 3層塗布供試体

表1 実験供試体の種類

供試体の種類	樹脂材の種類
h m h	h / m / h
h m s	h / m / s
m h m	m / h / m
m s m	m / s / m
s h m	s / h / m

注) 樹脂材の種類は”1層目の樹脂材/2層目の樹脂材/3層目の樹脂材”を表す。

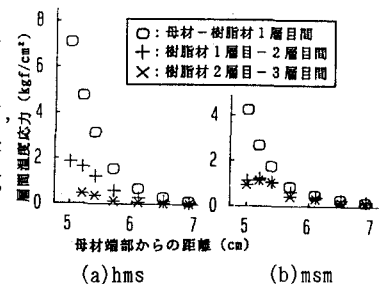


図3 層間温度応力分布

応力集中の特性としてその最大値と応力勾配²⁾が問題となり単に最大値が大きいので破壊するとは一概にはいえない。そこで新しい指標として応力集中部が樹脂材端部からの距離と囲む面積(力のデバリエーション)を無次元化したものを界面の破壊に寄与する指標、 $A\tau_T$ (温度変化)、 $A\tau_L$ (载荷)とすることにした。以上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表した式を解析に考慮し、樹脂材の組み合わせと指標の評価値との関係を求めた。その結果、表2の式が得られた。これらの式から τ_{maxL}/τ_{mean} 、 τ_{maxT}/σ_0 、 $A\tau_T$ に関しては $E_1>E_2>E_3$ という関係があり E_1 を変化させると有効であることがわかり、 $A\tau_L$ に関しては E_1 と E_2 に大きな感度の差はないことがわかる。

次に指標 I の結合を考えた。

表2 力学的指標の近似式

指標 I の結合概念としては

式(1)に示すような母材の熱応

力と平均せん断応力で重み付

けを行った線形和を考えた。

$$\bar{A} = W_1 I_1 + W_2 I_2 \dots (1)$$

$$I_1 = A\tau_L$$

$$I_2 = A\tau_T$$

$$W_1 = \frac{\tau_{mean}}{\tau_{mean} + \sigma_0}, W_2 = \frac{\sigma_0}{\tau_{mean} + \sigma_0}$$

$\bar{A}$ を一定とした場合の各樹脂材の弾性係数の関係を図4に示

す。この図から $E_2>E_1>E_3$ の関係があり E_2 を変化させるのが有効であることがわかる。実験供試体に各指標を適用した結果を表3に示す。この表からmsmが応力集中に対して有利であり、hmsやhmmが不利であることがわかる。 $A\tau_L$ 、 $A\tau_T$ 、 $\bar{A}$ に関しては有利なものとは不利なものにあまり差はなく、破壊に関する指標としての有効性を示していると考えられる。

5. まとめ (1)多層の樹脂材を1層に換算することによって、多層塗布の積層化樹脂材を1層塗布モデルに帰着でき、微分方程式による解法が適用できることを示した。(2)温度変化を受ける場合の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実験および数値解析により検討し、その特性を明らかにした。(3)界面での破壊を考慮した力学的指標を提案し、荷重作用と温度応力による指標の実験供試体に適用した。

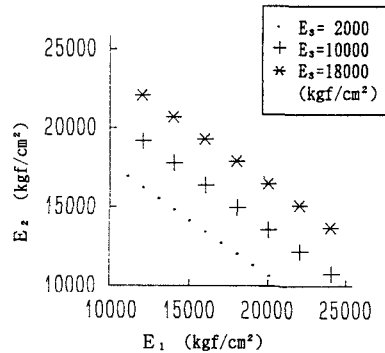
図4 $\bar{A}=0.0043$ の時の E_1 , E_2 , E_3 の関係

表3 実験供試体適用結果

供試体の種類	指 標				
	τ_{maxT}/σ_0	τ_{maxL}/τ_{mean}	$A\tau_T$	$A\tau_L$	$\bar{A}$
h m h	0.458	0.0484	0.00686	0.00219	0.00421
h m s	0.477	0.0502	0.00732	0.00220	0.00429
m h m	0.386	0.0426	0.00672	0.00220	0.00432
m s m	0.326	0.0370	0.00592	0.00216	0.00409
s h m	0.345	0.0390	0.00637	0.00219	0.00428

【参考文献】1)宮本, 森川, 木村, 若原, 藤岡: 積層化樹脂材の力学的挙動と材料設計指標の確立, 建設工学研究所報告第33号, 1991. 12., 2)西田正孝: 応力集中, 森北出版, 1967. 9.