

神戸大学大学院 学生員○阿山泰久 栗本鉄工所(株)正会員 木村聡文

神戸大学工学部 正会員 森川英典 神戸大学工学部 正会員 宮本文徳

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る積層化樹脂材の界面における力学的挙動は未解明のままである。そこで、本研究ではその力学的挙動を解明することを目指とし、界面における層間せん断応力に着目し、温度変化と曲げおよびせん断を受ける場合について、モデルに樹脂を1層塗布した供試体を用いて、層間せん断応力の評価法についての検討と、層間せん断応力の定性的な評価を行った。

2. 層間せん断応力の解析手法 層間せん断応力の解析手法として、微分方程式を用いて簡易的に解く方法を検討した。図1に示すように、下面に樹脂材を塗布したコンクリート部材が、単純支持状態で中央に集中荷重 F_P を受けるモデルを考える。また、温度変化を受ける場合については、熱ひずみによる内力を考慮して直接微分方程式を解くことが困難であるので、図2に示すように相対的な熱ひずみが合うように母材に軸力 F_N を与えることとした。その軸力 F_N は次式で表される。

$$F_N = E_0(\alpha_0 - \alpha_1) \Delta t (A_0 + \frac{E_1}{E_0} A_1) \dots\dots (1)$$

図3に示すような微小部分の釣合を考えることにより次式が得られる。

$$\frac{d^2 q_{01}}{dx^2} - \lambda_1^2 q_{01} = -\frac{k_x}{2} \left(\frac{S_0 t_0}{E_0 I_0} + \frac{S_1 t_1}{E_1 I_1} \right) \dots\dots (2)$$

$$\frac{d^4 S_1}{dx^4} - \lambda_2^2 S_1 = -k_y \left\{ \frac{1}{2} q_{01} \left(\frac{t_0}{E_0 I_0} - \frac{t_1}{E_1 I_1} \right) - \frac{F_P}{2 E_0 I_0} \right\} \dots\dots (3)$$

$$S_0 + S_1 = F_P / 2 \dots\dots (4)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{k_x \left(\frac{t_0^2}{4 E_0 I_0} + \frac{1}{E_0 A_0} + \frac{t_1^2}{4 E_1 I_1} + \frac{1}{E_1 A_1} \right)},$$

$$\lambda_2 = \sqrt{k_y \left(\frac{1}{E_0 A_0} + \frac{1}{E_1 A_1} \right)}$$

ただし、 k_x : 層間せん断ばね定数 (kgf/cm²),

k_y : 層間剥離ばね定数 (kgf/cm²)

$$A_0 = b_0 t_0, A_1 = b_1 t_1, I_0 = b_0 t_0^3 / 12, I_1 = b_1 t_1^3 / 12$$

式(2)は界面のせん断方向の微分方程式であり、式(3)は剥離方向の微分方程式である。その両者を連立させて解を求めることが困難であると考えられるので両式

をそれぞれ別々に解き、図4に示すようなフローに従い層間せん断力 q_{01} を求めることを考えた。式(2)の一般解は式(5)となり、式(3)の一般解は式(6)となる。

$$q_{01} = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{-\lambda_1 x} - \alpha / \lambda_1^2 \dots\dots (5) \quad S_1 = C_3 \exp \sqrt{\lambda_2} x + C_4 \exp(-\sqrt{\lambda_2} x) + C_5 \cos \sqrt{\lambda_2} x + C_6 \sin \sqrt{\lambda_2} x - \beta / \lambda_1^2 \dots\dots (6)$$

$$\alpha = -\frac{k_x}{2} \left(\frac{S_0 t_0}{E_0 I_0} + \frac{S_1 t_1}{E_1 I_1} \right), \quad \beta = -\frac{1}{2} k_y q_{01} \left(\frac{t_0}{E_0 I_0} - \frac{t_1}{E_1 I_1} \right) + \frac{k_y F_P}{2 E_0 I_0}, \quad \text{式(4)より } S_0 = F_P / 2 - S_1 \dots\dots (7)$$

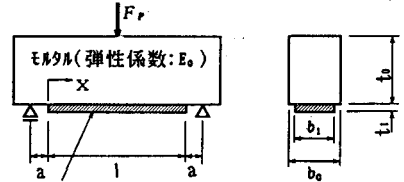


図1 曲げを受けるモデル



図2 温度変化を軸力に置き換えたモデル

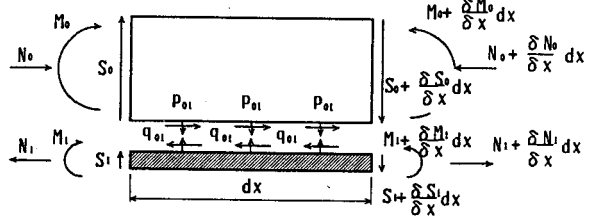


図3 微小部分の釣合

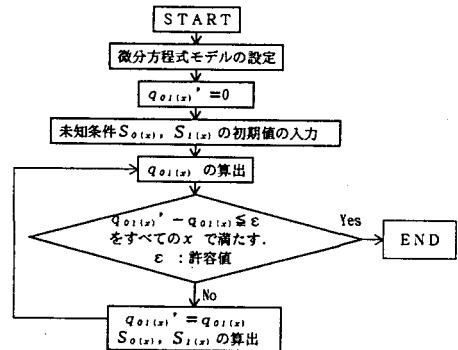


図4 微分方程式フロー

また、式中 $C_1 \sim C_6$ は積分定数であり、境界条件として、式(2)に対しては、① $x=l/2$ で $q_{01}=0, S_0=S_1=0$, ② $x=0$ で $M_0=m_0, M_1=m_1, N_0=n_0, N_1=n_1$ を、式(3)に対しては、① $x=l/2$ で $q_{01}=0, S_0=S_1=0$, ② $x=0$ で $S_1=0$, ③ $x=l/2$ でたわみ角 $i=0$, ④ $x=0$ で $M_0=m_0, M_1=m_1$ を与えることにより求まる。曲げを受ける場合は、 $m_0=F_p a/2$, $m_1=n_0=n_1=0$ とし、温度変化を受ける場合は $F_p=0, n_0=-F_N, m_0=m_1=n_1=0$ とする。層間せん断力 q_{01} が求まれば、それを樹脂材の塗布幅 B_1 で除すことにより層間せん断応力 τ_{01} が求められる。

3. 実験の概要 温度変化を受ける場合について実験を行った。

層間温度応力を直接測定することが困難であるため、実験においてひずみを測定し、解析を併用することによって層間温度応力を求める方法を考えた。図5に示すようなモルタルの下面に1層樹脂材を塗布した供試体を単純支持状態で恒温室に静置し、室温を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。弾性係数が28300kgf/cm²(H), 11500kgf/cm²(M), 3710kgf/cm²(S), 7700kgf/cm²(N)の4種類の樹脂材を用いた。また、各材料の弾性係数を求めるために、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を行った。材料の線膨張係数については、タミ-供試体を恒温室に静置することにより測定した。そこで、実験結果で測定された樹脂材のひずみより求めた樹脂材の軸力と、解析により求められる樹脂材の軸力の分布形状が一致するように層間せん断ばね定数を逐次線形計画法(SLP)を用いて同定し、層間応力を求めた。

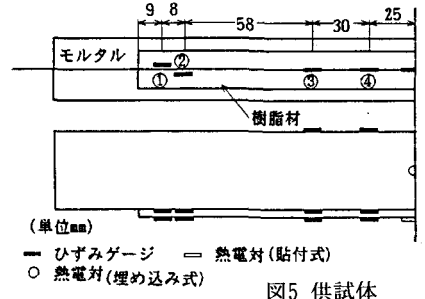


図5 供試体

樹脂材を用いた。また、各材料の弾性係数を求めるために、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を行った。材料の線膨張係数については、タミ-供試体を恒温室に静置することにより測定した。そこで、実験結果で測定された樹脂材のひずみより求めた樹脂材の軸力と、解析により求められる樹脂材の軸力の分布形状が一致するように層間せん断ばね定数を逐次線形計画法(SLP)を用いて同定し、層間応力を求めた。

4. 層間せん断応力の評価 線膨張係数の測定結果は樹脂材Hで88 μ , Mで126 μ , Sで119 μ , Nで136 μ であった。

樹脂材Nを塗布した供試体を用い、図6に微分方程式とよりモ-ルを用いた数値解析¹⁾の計算結果を比較して示す。曲げを受ける場合の層間せん断ばね定数は、温度応力試験結果より同定されたばね定数と同じものを用いた。载荷する荷重は、道路橋示方書での許容応力が圧縮縁コンクリートに作用する場合の引張縁ひずみに相当するひずみが本解析モ-ルで作用するように設定した。この結果、微分方程式、数値解析の両手法の計算結果はほぼ一致していることがわかる。また、層間せん断応力の定性的な評価を行うため樹脂材H, M, Sを塗布した供試体について、数値解析により得られた層間温度応力を図7a)に示し、曲げを受ける場合の層間せん断応力を図7b)に示す。このとき载荷する荷重は先に述べたものと同様のものである。この図より、温度変化、曲げを受ける場合を比較すると、温度変化を受けるときの方が最大層間せん断応力は10倍程度大きくなっている。また、層間応力分布の平坦部では温度変化を受けるときはほぼ0であるが、曲げを受けるときはある一定の値に収束している。塗布する樹脂材の弾性係数に着目すると、温度変化、曲げを受ける場合のそれぞれについて、応力集中の分布幅には変化はないが、塗布する樹脂材の弾性係数が高いほど最大層間せん断応力は大きくなっており、層間せん断応力と樹脂材の弾性係数は相関があると考えられ、界面における力学的挙動を評価する上で樹脂材の弾性係数は重要なパラメータになっていると考えられる。

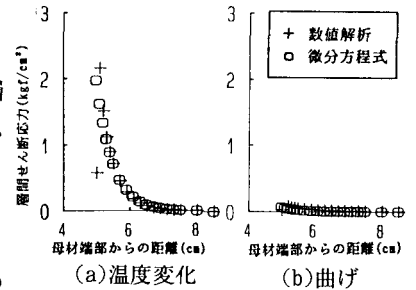


図6 微分方程式、数値解析の比較

5. まとめ (1)層間せん断応力の解析手法として微分方程式手法について検討し、その結果が数値解析手法と一致することを確認した。(2)温度変化、曲げを受ける場合について層間せん断応力を比較し、また、弾性係数による特性の相違を考察した。

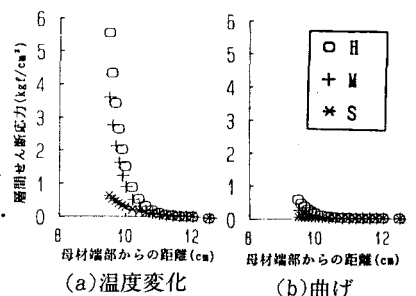


図7 H, M, Sを塗布したときの層間せん断応力

【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選択指標の確立, 建設工学研究所報告第33号, 1991. 12.