

立命館大学理工学部 正会員 児島孝之 立命館大学理工学部 正会員 高木宣章
 東京工業大学工学部 正会員 松尾真紀 立命館大学大学院 学生員 ○山田崇雄

1. はじめに

本研究では、組紐状アラミド繊維棒材・より線状炭素繊維棒材についての付着性状を把握するため、連続繊維棒材とその周辺のコンクリートとの応力伝達機構に着目し、寸法 15×15×15 cmの供試体を用いた引抜き試験における有限要素解析を試みた。コンクリートと連続繊維棒材との間の相対変位を考慮するため、アイソパラメトリック付着要素を提案する。

2. 要素特性

(1) コンクリート要素

コンクリート要素には二次元アイソパラメトリック四辺形要素を適用した(図1)。表1にコンクリートの材料特性を示す。

表1 コンクリートの材料特性

f_t (kgf/cm ²)	f_c (kgf/cm ²)	E_c (kgf/cm ²)	ν
30	300	3.0×10^5	0.1667

(2) 連続繊維棒材要素

連続繊維棒材は、軸方向のみに力が作用し、変形が生じるものと仮定し、二次元アイソパラメトリック線要素で表現した(図2)。表2に連続繊維棒材の材料特性を示す。

表2 連続繊維棒材の材料特性

	f_u (kgf/cm ²)	E_s (kgf/cm ²)	A_s (cm ²)	u_s (cm)
アラミドφ11.0	14602	69.2×10^4	0.897	3.356
炭素φ12.5	21796	142×10^4	0.760	3.090

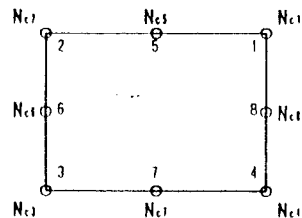


図1 コンクリート要素モデル

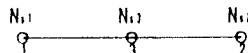


図2 連続繊維棒材要素モデル

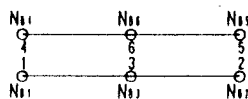


図3 付着要素モデル

(3) 付着要素

付着も連続繊維棒材と同様、二次元アイソパラメトリック線要素とした(図3)。付着要素の中心線に対し、法線方向の相対変位を δ_n 、応力を σ_n 、接線方向の相対変位を δ_t 、付着応力を τ_t とすると次式が得られる。

$$\sigma_e = \begin{bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{nn} & B_{nt} \\ B_{tn} & B_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_t \end{Bmatrix} = B_e \delta_e \quad (1)$$

また、付着要素の剛性マトリックス K_e は次式で表される。

$$K_e = \int_s B^T B_B B u_s ds = \int_{-1}^1 B^T B_B B \sqrt{\left(\frac{dx}{d\xi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\xi}\right)^2} u_s d\xi \quad (2)$$

本解析では $[B_B]$ マトリックスの係数を $B_{nn} = B_{nt} = 0$, $B_{nn} = 1.0 \times 10^3$ kgf/cm³とし、定数として扱った。

(4) 解析モデル

図4に示すように供試体の対称性を考慮して1/2モデルについて縦5分割、横10分割で要素分割を行った。また、付着長を自由端側から7.5cmと定めた。加力端側のコンクリートの軸方向、棒材の鉛直方向に拘束条件を与えた。解析は連続繊維棒材の端部節点に適切な強制変位を与え、変位を増分させた。各変位段階で繰返し計算により、非線形解析を行った。一点集中の引張力を加え、供試体の挙動の変化に応じて適切な荷重を与えた。

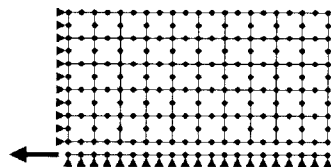


図4 解析モデル

3. 有限要素解析結果

(1) 図 5(a)、図 6(a)にそれぞれ組紐状アラミド繊維棒材、より線状炭素繊維棒材を用いた場合、解析に用いた付着応力-すべり量の関係を示す。この関係は解析結果として得られる荷重-すべり関係(図 5(b)、図 6(b))が、従来の実験結果[1]を十分近似できるように、試行錯誤的に決定したものである。この結果によるとアラミド繊維棒材と炭素繊維棒材の付着特性が非常に異なっている。すなわち、アラミド繊維棒材は、付着応力が小さい段階で抜け出し、すべり量が増加するにつれ徐々に付着応力が増加し、最大付着応力に達するが、これに対し炭素繊維棒材は、すべり量が極めて小さい段階で最大付着応力に達し、その後抜け出し、付着応力は徐々に減少する特性を示している。

(2) 図 5(b)、図 6(b)にそれぞれアラミド繊維棒材、炭素繊維棒材を用いた場合、上記の付着応力-すべり関係を用いて解析した荷重-すべり量の関係を示す。アラミド繊維棒材は、荷重を加えるにつれ徐々にすべり量が増加するのに対し、炭素繊維棒材は、荷重を加えてもすべり量は非常に小さく、最大荷重に達した後、すべり量が急激に増加する実験の傾向を再現できている。

(3) 図 5(c)、図 6(c)にそれぞれアラミド繊維棒材、炭素繊維棒材を用いた場合の応力分布を示す。付着している部分では、アラミド繊維棒材の場合、ヤング係数が小さいためと付着応力-すべり関係の勾配が小さいため、付着区間での付着応力分布は直線的な傾向を示した。また、炭素繊維棒材の場合は、先ず加力側の付着応力が大きくなり、荷重の増加と共に最大付着応力が自由端方向に移行している様子がうかがえる。

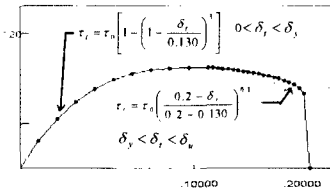


図 5(a) 付着応力-すべり関係
(アラミド繊維棒材)

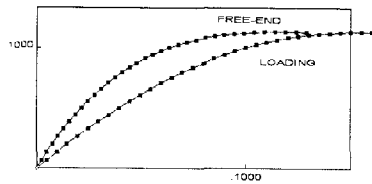


図 5(b) 荷重-すべり関係
(アラミド繊維棒材)

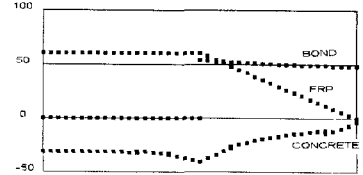


図 5(c) 応力分布
(アラミド繊維棒材)

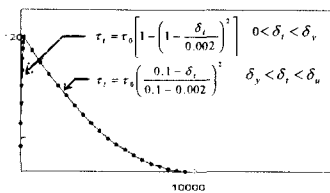


図 6(a) 付着応力-すべり関係
(炭素繊維棒材)

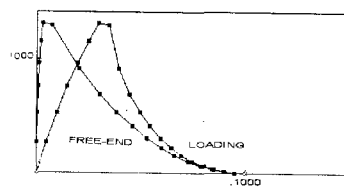


図 6(b) 荷重-すべり関係
(炭素繊維棒材)

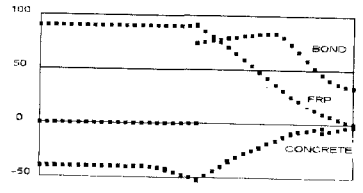


図 5(c) 応力分布
(炭素繊維棒材)

4. 結論

本研究では、連続繊維棒材からコンクリートへの応力の伝達機構である付着要素を提案した。コンクリートと連続繊維棒材との相対性を考慮するため、アイソパラメトリック付着要素を導入することで、すべりによる付着応力への影響、また、連続繊維棒材要素からコンクリート要素への応力伝達の様子を表現することができたと考えられる。

【参考文献】[1]児島, 高木, 波田, 井上, 「棒材の付着性状へのシリカフェームの影響」、土木学会関西支部 年次学術講演概要, V-14-1~2, 1995.5.