

V-116

鋼繊維-セメントペースト間の脱着過程に関する破壊力学的考察

金沢大学 工学部 正会員 川 村 満 紀

金沢大学 工学部 正会員 ○五十嵐 心 一

1. まえがき

鋼繊維補強コンクリートの力学的性質において重要な意味を持つ鋼繊維-セメントマトリックス間の付着特性を評価するために、繊維の引き抜き試験から求まる付着強度が用いられてきた。しかし、近年、Stang&Shah¹⁾がこの複合材料の破壊強度を推定するために、破壊力学に基づく手法を提案している。

本研究は配合の異なるセメントペースト中に埋め込まれた鋼繊維に対して、コンプライアンス法に基づいて付着破壊発生時のエネルギー解放率を求め、このエネルギー解放率の繊維-セメントペースト間の付着特性の評価への適用性について検討する。さらに、このエネルギー解放率と鋼繊維-セメントペースト界面領域の組織との関連性について検討を加えた。

2. 実験概要

(1) 使用材料及び供試体作成 使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、シリカフェーム（比重2.33、比表面積24.2m²/g）はセメントの一部と置換して用いた。使用した鋼繊維は異形加工を施していないストレート繊維（カットファイバ、φ0.5mm）である。

引き抜き試験用供試体は4×4×15cmであり、図-1に示すように、鋼繊維を所定の埋め込み長さに埋め込み、また鋼繊維とセメントペーストの接触部に切欠きを作るために、厚さ0.25mmのシリコンチューブを装着してセメントペーストを打設した。すなわち、供試体脱型時にこのシリコンチューブを取り除くことにより切欠きを導入し、この切欠き部を油粘土で塞いだ後、水中養生（20℃）を行なった。セメントペーストの配合を表-1に示す。

(2) エネルギー解放率 引き抜き試験によって得られる荷重-変位曲線（図-2）に対して、次式によりエネルギー解放率を求めた¹⁾。

$$G_c = \frac{P_{max}^2}{2\pi d} \frac{\partial \lambda(a)}{\partial a}$$

(3) 微小硬度測定 (1)と同一の配合のセメントペースト中に鋼繊維を埋め込み、水中養生（20℃）を行なった。所定材令において、切り出した薄板の表面をダイヤモンドスラリーを用いて研磨を行なった。研磨面内に現われた1本の鋼繊維に対して、界面領域の微小硬度（ビッカース硬度）を測定した。

3. 結果

図-3はコンプライアンスと切欠き長さの関係を示したものである。埋め込み長さ30mmの場合、材令の進行にともないコンプライアンスは低下し、鋼繊維の引き抜きに対する抵抗

表-1 供試体の配合及び埋め込み長さ

	W/C (%)	セメント:シリカフェーム	lf (mm)	SP (%/C)
OPC	55	1:0	30, 60	0
SF10	55	0.9:0.1	30	0.8
SF20	25	0.8:0.2	30	2.4

SP: 高性能減水剤

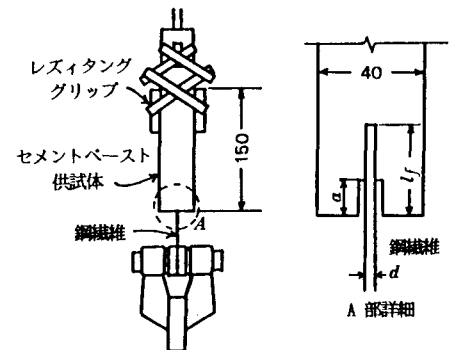


図-1 引き抜き試験方法

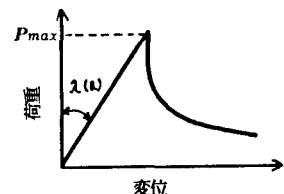


図-2 荷重-変位曲線

性は増大することがわかる。またシリカフェームの混入はコンプライアンスをさらに低下させる。埋め込み長さ60mmの場合は、切欠き長さにもなうコンプライアンスの変化はかなり小さく、材令にもなう変化もほとんど認められない。

図-4はGcと切欠き長さの関係を示したものである。Gcは切欠き長さとともに増大しているが、埋め込み長さ30mmの場合はその増大の程度は小さい。また、材令14日から材令28日までにGcは増大を示し、鋼繊維-セメントペースト間の付着破壊靱性は増大するといえる。さらに、シリカフェーム混入による破壊靱性の増大は明らかである。材令28日における平均付着強度 ($l_f=30\text{mm}$, $a=0$) はOPC: 19.95kgf/cm^2 , SF10: 19.03kgf/cm^2 およびSF20: 23.91kgf/cm^2 とその差は明確ではなかったことから考えて、Gcは平均付着強度よりも付着特性をより鋭敏に反映する指標であるといえる。

図-5は各セメントペースト中の界面領域の微小硬度分布を示したものである。普通セメントペーストとシリカフェーム混入ペーストを比較すると、シリカフェームの混入により、界面隣接部分および界面から数10 μm 離れた最小の微小硬度値を示す多孔性領域の微小硬度が増大している。これらの微小硬度値の大小関係は図-4に示すGc値における大小関係とほぼ一致しており、付着の破壊靱性は界面領域の微視的構造と密接な関係があるといえる。特に、界面隣接部分および多孔性領域のいずれの微小硬度値も著しく増大し、付着破壊靱性の最も大きなシリカフェーム混入セメントペースト（混入率20%、W/C=25%）では、図-6に示すよう

に、最大荷重到達後の荷重-変位曲線はのこぎり刃状となり、付着破壊の進行過程は他の場合と大きく異なる。

4. まとめ

(1) 付着破壊に対するGc値は一定の値とはならないが、平均付着強度よりも明確に付着特性を評価し得る。

(2) 付着破壊に対するGc値は鋼繊維-セメントペースト界面領域の微視的構造とよい対応を示す。

(3) シリカフェームの多量の混入とW/Cの著しい低減により、付着破壊ひびわれの進行過程は大きく変化し、最大荷重時において、全界面脱付着とはならないようである。

参考文献

- 1) Stang H. and Shah S.P., Failure of Fiber-Reinforced Composites by Pull-Out Fracture, J. of Mat. Sci., (21), pp.953-957, 1986.

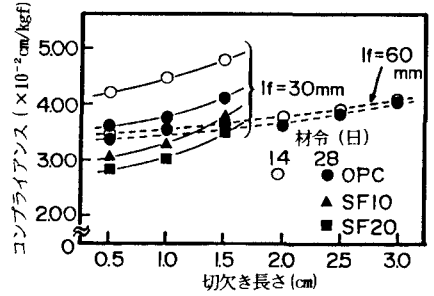


図-3 コンプライアンスの変化

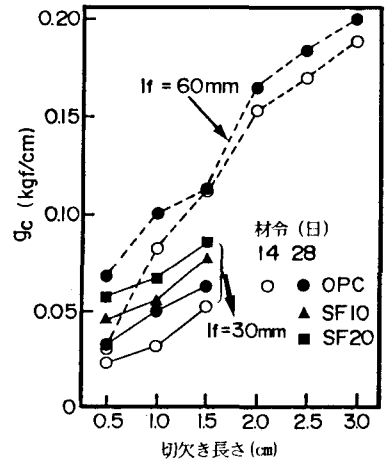


図-4 Gcと切欠き長さの関係

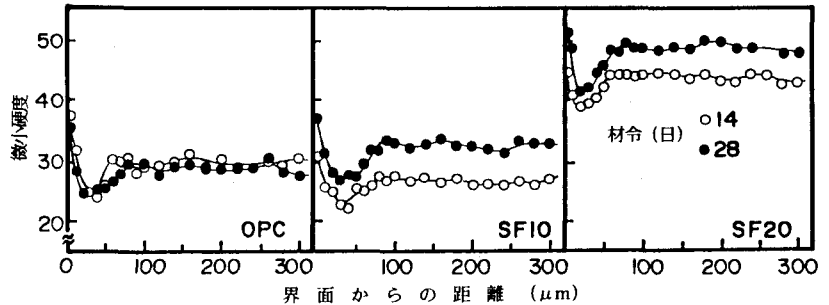


図-5 鋼繊維-セメントペースト界面領域の微小硬度分布

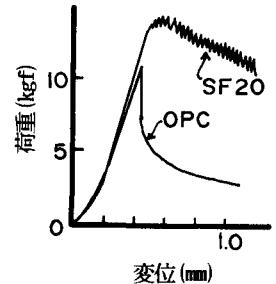


図-6 荷重-変位曲線の比較