

スチールチップ補強セメント系複合材料の基礎的材料実験

その 1 材料特性に及ぼすスチールチップ混入率の影響

正会員 ○金田学*1

同 金子佳生*2

同 佐藤裕一*3

繊維補強セメント系複合材料 切削屑 リユース

1. はじめに

コンクリート材料分野では、強度・靱性向上を意図して各種繊維を混入した繊維補強セメント系複合材料 (FRCC) の開発が進められている^{1), 2)}。混入される繊維は、モルタルとの調合・付着を考慮して様々な加工が施されているが、それゆえコスト増につながりやすい。切削屑を利用した研究としては、高槻らによる形状記憶合金屑を用いた実験³⁾があるが、建築構造物ではコスト的な困難がある。そこで、工場等で切削加工により発生する切削屑 (以下、スチールチップ) を繊維の代替材として利用できれば、産業廃棄物の減少とコスト低減に寄与できる。本研究はその実現性を検証するため、スチールチップ補強セメント系複合材料の基礎的材料実験を行った。

2. スチールチップ

今回使用したスチールチップは精工鋼板の表面切削時に生じたものであり、表 1 に外観形状、寸法、質量を示す。精工鋼板スチールチップは、一般のスチールチップに比べ、形状が比較的均質で、鋼種もほとんど SS400 に限定され、潤滑油も使用されていないため清潔である。精工鋼板は NC 旋盤で精密加工した鋼製品であり、機械部品をはじめ各種用途に堅調な需要がある。しかしながらその加工過程で発生するスチールチップは産業廃棄物となり、再生鋼材としての需要は皆無であり、全て埋め立て処分されている。

3. 実験概要

3.1 使用材料および割合

Vf=0% で使用した割合を表 2 に示す。また、スチールチップは、Vf=0% の割合に対して体積比 Vf=2, 3, 4, 5, 6% を混入した。φ100mm×h200mm の円柱試験体内に混入可能なスチールチップは 0.634kg、体積比 5.2% に相当する。

3.2 試験体製作

練り混ぜは手練りで実施し、1 回あたりの製造量は 20ℓ とした。表乾状態のセメント、シリカフューム、細骨材

を空練り、水および減水剤を数回に分けて加えて、スチールチップを少しずつ加えながら練り混ぜを行った。試験体は、φ100mm×h200mm の円柱試験体と 100×100×500mm の角柱試験体をそれぞれ 3 体製作した。翌日に脱型した後、気温 20℃、湿度 60% に保ち、養生した。

3.3 試験方法

円柱試験体の圧縮試験は、材齢 2 週に 2000kN 万能試験機を用いて行った。変位計もしくはひずみゲージにより縦の変形量を測定し、圧縮強度の 1/3 応力度を示す点とひずみが 5.0×10^{-5} を示す点を結ぶ割線の勾配を静弾性係数 E_c とした。角柱試験体の 3 点曲げ試験は、中央にコンクリートカッターで深さが梁せいの 1/5 (20mm)、幅 3mm の切欠きを入れ、スパン 200mm で単調および繰返し载荷を行った。繰返し载荷における除荷変位は、原則として 0.33mm→0.67mm→1mm→2mm→3mm→5mm→7mm→9mm の順とし、剛性急変時は若干の調整を行った。その結果から、多曲線近似法に基づく逆解析⁴⁾により、引張強度 f_t および破壊エネルギー G_F を求めた。ここで、繰返し载荷の場合は、実験結果の包絡線から求めた。計算の精度と安定性を考慮して、 f_t の許容誤差は 5% とし、 G_F の算出においてはひび割れ開口変位 1mm までを求めた¹⁾。

4. 実験結果と考察

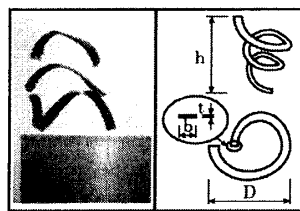
4.1 練混ぜおよび打設状況

表 3 に全試験結果を示す。表の値は各割合の 3 つの試験体の平均値である。フロー試験の結果からスチールチップの体積比 Vf=2% までは 185mm 以上を確保しているが、Vf=4% を超えるとスチールチップの結合が強くなり、Vf=6% では、スチールチップが塊となり、その隙間からセメントが流れ出た。型枠への打設状況は、Vf=5% までは問題なかったが、Vf=6% ではモルタルが充填されない部分が多く見られた。

4.2 圧縮試験結果

図 1 に圧縮応力-ひずみ関係を示す。Vf=0% で圧縮強度が 60~80 N/mm² で爆裂破壊が生じた。スチールチップの体積比の増加に伴い、圧縮強度が Vf=0% の約 1.2~1.5 倍に増加した。これは、スチールチップが繊維でありながら骨材に似た機能を発揮したためと考えられる。また、圧縮破壊時の爆裂現象も、Vf=3% 以上で観察されなくなった。ただし、载荷装置の容量が 2000kN 未満である場合、Vf=3% 以上でも爆裂を生じる可能性がある。

表 1 スチールチップ

		平均	標準偏差
	質量 (g)	0.20	0.10
	h (mm)	20.60	7.53
	D (mm)	10.16	5.73
	t (mm)	0.25	0.09
	b (mm)	2.63	0.71
	巻き数 (回)	1.62	0.92

4.3 3点曲げ試験結果

図2に3点曲げ試験の逆解析から求めた引張軟化曲線を示す。Vf=0%では、ピーク荷重に到達後、急激に荷重が低下した。スチールチップ混入により、軟化勾配が緩やかになり、引張応力も増加し、ひび割れに対する抵抗力が向上することがわかった。ただし、Vf=4%を超えると、引張応力が減少に転じる。これは、スチールチップの隙間にセメントが十分に浸透しないためと考えられる。

5. まとめ

本研究のスチールチップ補強セメント系複合材料の基礎的材料実験から得られた知見を以下に示す。

1. スチールチップを混入することで、圧縮強度が無補強に比べて約1.2~1.5倍に増加した。本実験で用いた2000kN万能試験機の場合、圧縮破壊時の爆裂現象はVf=3%以上で発生しなくなった。
2. 引張強度は、通常使用される鋼繊維補強セメント系複合材料と同程度であった。破壊エネルギーは、2.0~3.0 N/mmであり、鋼繊維補強セメント系複合材料(8.0~9.0 N/mm)には及ばないが、無補強モルタル(0.1~0.2 N/mm)に比べて大幅に増加することが確認された。
3. 今回の実験の範囲では、施工性、圧縮強度、引張強度

および破壊エネルギーの点から Vf=4%が最も良好であると考えられる。

【謝辞】

スチールチップを御提供頂いた株式会社奥田および藤巻鋼材大阪株式会社に記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 金子佳生, 三橋博三, 桐越一紀, 阿部孝仁: 鋼繊維補強セメント系複合材料の単純化した一軸構成モデル, 日本建築学会技術報告書, 第11号, 5-8, 2000.12
- 2) 佐々木勇気, 金子佳生, 桐越一紀: 新構法に用いられる繊維補強セメント系複合材料の材料特性および構成則, 日本建築学会東北支部研究報告集. 構造系, 第71号, 115-118, 2008.6
- 3) 高槻哲平, 佐藤尚, 渡辺義見, 丸山忠克: Fe-Mn-Si-Cr形状記憶合金切削屑を利用したスマート複合材料の開発, 鉄と鋼, vol.92, pp.24-28, 2006.9
- 4) 土木学会: コンクリート技術シリーズ, コンクリートの寸法効果と引張軟化曲線, 3章: 引張軟化曲線の求め方, 1998

表2 Vf=0%の割合

	密度	1tあたりの重量(g)
早強セメント	3.14	755
シリカフェウム	2.20	189
川砂	2.51(絶乾)	1276
高性能AE減水剤	1.00	21
水	1.00	189

表3 全試験結果

試験体 シリーズ	密度 ρ (g/cm ³)	フロー値 (mm)	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	引張強度 f_t (N/mm ²)	破壊エネルギー G_F (N/mm)	静弾性係数 E_c (kN/mm ²)
Vf=0%	2.13	230×240	67.6	5.0	0.10	12.5
Vf=2%	2.31	185×195	88.0	6.3	0.95	15.3
Vf=3%	2.40	120×110	91.7	6.9	1.68	17.3
Vf=4%	2.49	120×115	93.5	7.0	2.11	17.5
Vf=5%	2.51	110×105	93.9	6.7	2.12	17.2
Vf=6%	2.40	90×95	62.8	4.8	2.87	12.3

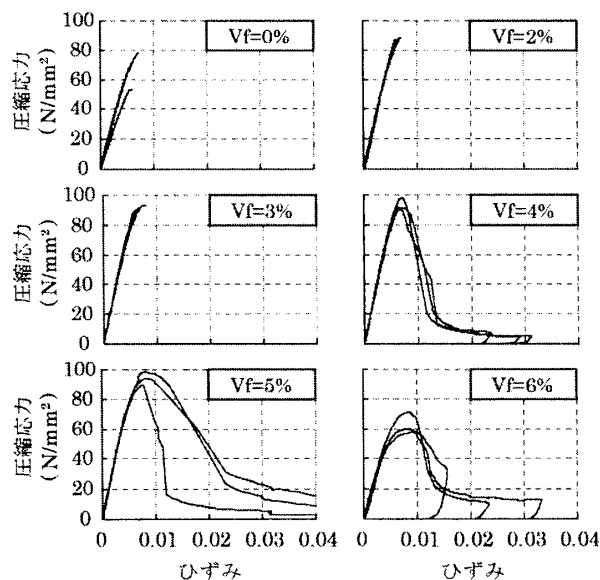


図1 圧縮応力 - ひずみ関係

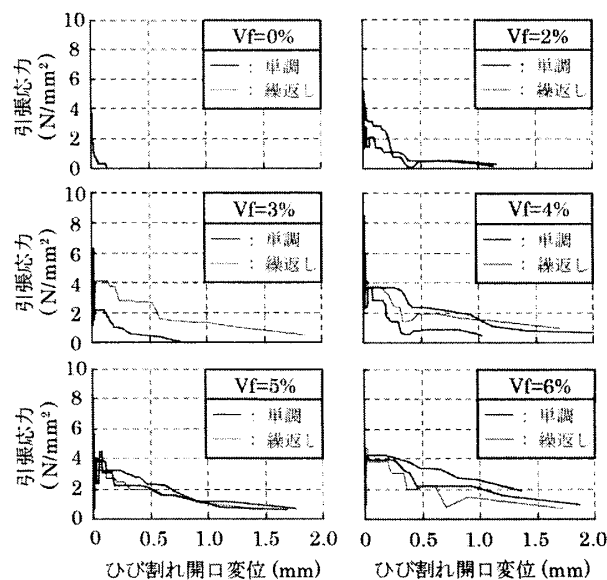


図2 引張軟化曲線

*1 京都大学大学院工学研究科 修士課程

Graduate Student, Kyoto University, Graduate School of Engineering

*2 京都大学大学院工学研究科 教授・Ph.D.

Professor, Kyoto University, Graduate School of Engineering, Ph.D.

*3 京都大学大学院工学研究科 助教・博(工)

Assistant Professor, Kyoto University, Graduate School of Engineering, Dr.Eng.