

# 鋼繊維-コンクリート間の付着特性と鋼繊維補強コンクリートの力学的性質

金沢大学 正会員 五十嵐心一

金沢大学 正会員 川村 満紀

金沢大学 学正員○田口 雅紀

## 1. まえがき

著者らはこれまで鋼繊維とモルタルマトリックス間の付着特性の界面領域の破壊靱性と剥離界面の摩擦応力による評価を行ってきた[1]。その結果、これらの付着特性はマトリックス自体の靱性と関連しており、短炭素繊維の混入によりマトリックスの靱性を増大させると界面領域の破壊靱性と摩擦応力は拡大し、そのような付着特性をもつ鋼繊維補強モルタルの強度やタフネスが増大することを明らかにした[2]。本研究は、以上のような短繊維（炭素およびガラス）の混入をコンクリートに適用し、それらが鋼繊維補強コンクリートの力学的特性に及ぼす影響を鋼繊維-コンクリート間の付着・引き抜き特性と関連づけながら検討することを目的とする。

## 2. 実験概要

**2.1 使用材料および配合** 使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。使用した粗骨材は最大寸法15mmの珪石（比重2.62）であり、細骨材は川砂（比重2.66）である。鋼繊維としてはストレート繊維（直径0.6mm、長さ30mm）を使用し、また炭素繊維およびガラス繊維はそれぞれ長さ3mmのピッチ系炭素繊維および耐アルカリガラス繊維チョップドストランドである。シリカフェュームの置換率はセメント重量に対して10%であり、鋼繊維の混入率は1%、炭素繊維およびガラス繊維の混入率は0.5%である。以上の鋼繊維補強コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

| 水  | セメント | シリカフェューム SF | 細骨材 s | 粗骨材 G | 鋼繊維 | 炭素繊維 | ガラス繊維 | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |        | AE (cc) | 減水剤  |
|----|------|-------------|-------|-------|-----|------|-------|--------------------------|--------|---------|------|
|    |      |             |       |       |     |      |       | 水 w                      | セメント c |         |      |
| 55 | 51   | 0           | 869   | 823   | 0   | 0    | 0     | 196                      | 356    | 0       | 0    |
|    |      |             | 856   | 810   | 78  |      |       |                          |        |         | 1.07 |
|    |      |             | 821   | 777   | 0   |      |       |                          |        |         | 2.83 |
|    |      |             | 807   | 764   | 78  |      |       |                          |        |         | 3.89 |
|    |      | 39          | 863   | 816   | 0   | 10   | 0     | 196                      | 356    | 0       | 0.54 |
|    |      |             | 849   | 803   | 78  |      |       |                          |        |         | 2.32 |
|    |      |             | 814   | 770   | 0   |      |       |                          |        |         | 3.12 |
|    |      |             | 800   | 757   | 78  |      |       |                          |        |         | 4.95 |
|    |      | 0           | 863   | 816   | 0   | 0    | 14    | 196                      | 356    | 0       | 1.07 |
|    |      |             | 849   | 803   | 78  |      |       |                          |        |         | 3.03 |
|    |      |             |       |       |     |      |       |                          |        |         |      |
|    |      |             |       |       |     |      |       |                          |        |         |      |

**2.2 鋼繊維の引き抜き試験[1]**

厚さ0.3mmのシリコンチューブを装着した鋼繊維を配置しコンクリートを打設した。脱型時にこのチューブを取り除くことによりマトリックス界面に切欠きを導入し材令28日まで水中養生を行った。図-1に示した方法により鋼繊維の引き抜き試験を行い界面領域の限界エネルギー解放率 ( $G_{IIC}$ ) および剥離界面の摩擦応力 ( $\tau_i$ ) を求めた。

**2.3 曲げ強度試験** 10×10×40cmの角柱供試体を作成し、水中養生を行った。材令28日において土木学会規準（案）に従って三等分点載荷により鋼繊維補強コンクリートの曲げ試験を行い荷重-たわみ（スパン中央）曲線を記録した。得られた荷重-たわみ曲線のたわみ2mmまでの曲線下の面積をタフネスとした。

## 3. 結果および考察

表-2に引き抜き試験より求めた界面切欠き長さが15mmのときの鋼繊維-コンクリート界面領域の限界エネルギー解放率 ( $G_{IIC}$ ) と摩擦応力 ( $\tau_i$ ) をモルタルマトリックスの場合[2]と比較して示す。プレーンコンクリートおよびシリカフェューム混入コンクリート中の界面領域の  $G_{IIC}$  はモルタルマトリックスの場合よりも大きな値を示

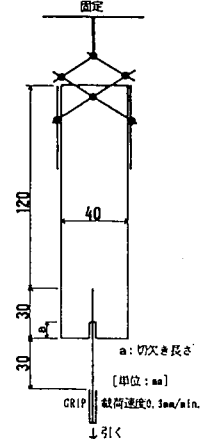


図-1 引き抜き試験供試体と載荷方式

し、また、モルタルの場合に認められたようなシリカフュームの混入による $G_{IIC}$ の低下も認められない。また、短炭素繊維の混入および炭素繊維とシリカフュームの同時混入により $G_{IIC}$ は増大することがわかる。一方、剥離界面の摩擦応力もモルタルマトリックスよりも大きな値を示し、特に短炭素繊維を混入した場合の $\tau_i$ が大きくなっている。図-2は鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度を示したものである。シリカフュームの混入よりマトリックスの曲げ強度は増大するが、炭素繊維やガラス繊維のみを混入しただけではマトリックス強度に改善は認められず、またその破壊もブレンコンクリートと同様の脆性的な破壊を示した。これに対して、それらを混入したコンクリートをマトリックスとする鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度はブレンコンクリートをマトリックスとした場合と差異はないが、タフネスにおいては短炭素繊維を混入したものが大きなタフネスを示す(図-3)。図-4は鋼繊維補強コンクリートの荷重-たわみ曲線の例を示したものである。それぞれの曲線間の相違は最大荷重到達後の荷重の低下割合と大きなたわみ時の耐荷力に現れており、これがタフネスの相違をもたらしている。このような荷重-たわみ曲線においては、最大荷重到達前後の荷重は $G_{IIC}$ に影響され、比較的大きなたわみ時の荷重は $\tau_i$ に影響されると考えられる。また、炭素繊維やガラス繊維が混入されている場合は小さなたわみ時においてそれらの補強効果も含まれることになる。表-2の結果より鋼繊維が脱付着するときの引き抜き荷重を計算すると[3]、炭素繊維混入の場合でも高々20%程度の増大に過ぎない。また、ガラス繊維を混入した場合は $G_{IIC}$ に増大は認められないのに、荷重-たわみにおいて最大荷重後の荷重の急激な低下が抑制されている。したがって、炭素繊維やガラス繊維を混入することによるタフネスの増大はそれら短繊維の補強効果と鋼繊維の $\tau_i$ の増大に寄因するものであり、 $G_{IIC}$ の増大による効果は小さいものと考えられる。すなわち、鋼繊維補強コンクリートにおいては粗骨材の存在により鋼繊維の分布が不均一になるために、界面領域の $G_{IIC}$ の増大による鋼繊維の架橋力の増大の効果はひびわれ面において局部的に得られるだけであるのに対して、粗骨材がマトリックスの靱性に及ぼす影響がそれよりも大きいことを示している。

#### 4. まとめ

- (1) 鋼繊維-コンクリート間の付着強度はモルタルマトリックスの場合よりも大きい。
- (2) 短炭素繊維の混入により鋼繊維-コンクリートマトリックス界面領域の破壊靱性と摩擦応力は増大するが、界面領域の破壊靱性が鋼繊維補強コンクリートのタフネスに及ぼす影響は大きくない。

参考文献 [1] 五十嵐心一、川村満紀、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 1, pp773-778, 1991

[2] 五十嵐心一、川村満紀、田口雅紀、土木学会第47回年次学術講演会、第5部pp276-277, 1992

[3] Outwater, J. O&Murphy, M. C, Mod. Plast. 47, pp160-169, 1970

表-2 各供試体における鋼繊維の付着特性

|        | $G_{IIC}$<br>[kgf/cm] | $\tau_i$<br>[kgf/cm <sup>2</sup> ] |
|--------|-----------------------|------------------------------------|
| M      | 0.0063                | 6.6                                |
| M+S    | 0.0017                | 5.9                                |
| M+CF   | 0.0109                | 14.5                               |
| M+S+CF | 0.0120                | 14.9                               |
| C      | 0.0117                | 12.8                               |
| C+S    | 0.0124                | 18.3                               |
| C+CF   | 0.0175                | 26.3                               |
| C+GF   | 0.0106                | 19.3                               |
| C+S+CF | 0.0157                | 23.0                               |

M: モルタル CF: 炭素繊維  
C: コンクリート GF: ガラス繊維  
S: シリカフューム

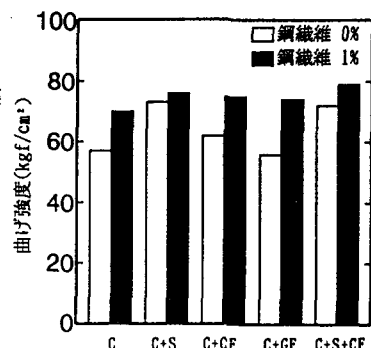


図-2 各供試体における曲げ強度

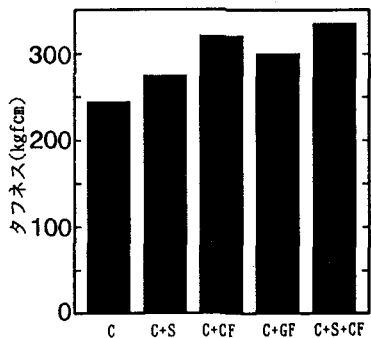


図-3 各供試体におけるタフネス (鋼繊維 1%)

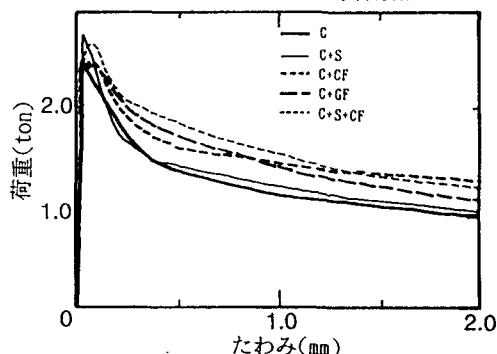


図-4 各供試体の荷重-たわみ曲線 (鋼繊維1%)