

V-178

ガラス繊維とセメントペーストの付着に関する基礎的研究

金沢大学 正員 ○ 五十嵐心一

金沢大学 正員 川村 満紀

1. まえがき

繊維補強セメント複合材料の強度や靱性はマトリックスにおけるひびわれ発生後の繊維とマトリックス間の付着特性に支配される。繊維とセメントマトリックス間の付着特性を評価する付着試験のうちで、最も簡便な方法はマトリックスからの単一繊維の引抜き試験であり、多くの場合、この引抜き試験から求まる平均付着強度により評価がなされる。しかし、平均付着強度は界面の付着応力分布を考慮していないことや、繊維径や埋込み長さによって変化することから、付着特性の真の指標ではないということも指摘されている。一方、近年、付着の問題に関して、繊維-マトリックス間の付着破壊（脱付着）を界面きれつとみなすことにより、破壊力学の概念を導入し、単一繊維の引抜き試験を評価する手法が提案されている。¹⁾²⁾ この手法は繊維の引抜き過程における脱付着とその後の引抜き過程を、それらの過程において消費されるエネルギーによって特性化するものである。本研究は、ガラス繊維の付着に関して、養生条件および混和材の混入がガラス繊維の引抜き過程に及ぼす影響を繊維-セメントペースト間のせん断応力分布、脱付着エネルギーおよび引抜けエネルギーとの関連より明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

引抜き試験は図-1に示すように、埋込み長さ19mmのガラス繊維をセメントペーストブロック（W/C=0.55）から所定材令にて引抜くものとした。混和材としては、フライアッシュ（FA、比重：2.23比表面積：2.1m²/g）、シリカフューム（SF、比重：2.33、比表面積：24.2m²/g）および高炉スラグ（BFS、比重：2.93、比表面積：1.05m²/g）を用い、普通ポルトランドセメント（OPC）に対する

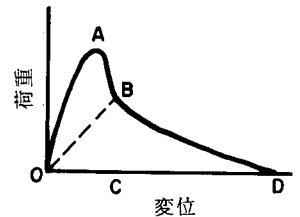
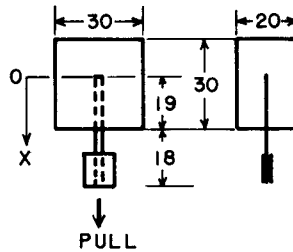


図-1 引抜き試験供試体 図-2 引抜き荷重-変位曲線

重量置換率はそれぞれ20%、10%、50%とした。供試体の養生は水中養生（20℃）および気中養生（脱型後7日間水中養生、その後20℃、60% R.H.にて養生）とした。引抜き試験より得られた荷重-変位曲線（図-2）に対して、最大荷重（A点）を埋込み長さで除すことにより平均付着強度を求めた。本実験で得られた荷重-変位曲線では、最大荷重まで曲線はほぼ直線的であったことから、部分的な脱付着は生じていないものとし、最大荷重時にて全界面にわたって脱付着を生じたとした。最大荷重後、荷重が速やかに低下する点Bまでの面積OABを脱付着エネルギーとした。ガラス繊維-セメントペースト間のせん断応力分布は脱付着発生時（点A）に関して、有限要素法により求めた。ガラス繊維-セメントペースト間にはジョイント要素を介し、ジョイント要素のばね定数は曲線のOAB部の勾配より定めた。要素分割は、要素数370、節点数536である。

3. 結果

図-3は平均付着強度の材令の進行にともなう変化を示したものである。いずれの場合も、材令にともない平均付着強度は増大しており、特に、シリカフューム混入ペーストとの平均付着強度が大きくなっている。これは、シリカフューム

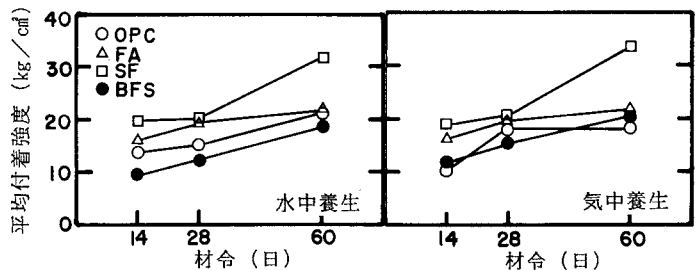


図-3 平均付着強度の材令の進行にともなう変化

は粒子径が小さく、ガラス繊維-セメントペースト界面を緻密に充填するためと考えられる。図-4はガラス繊維-セメントペースト界面のせん断応力分布を示したものである。初期材令では、埋込み端から荷端に向かってせん断応力はわずかに増大する程度であるが、材令の進行にともない荷端に向けて2次曲線状に増大していく傾向が現れる。これより、荷重-変位曲線における初期の直線部分の勾配で表わされる繊維の引抜けに対する抵抗性の大きいものほど、界面に沿うせん断応力差が大きくなり、脱着応力(荷端における脱着時の応力)と平均付着応力の差が増大しうることがわかる。また、図-3、4の結果より、養生条件が付着応力に及ぼす影響は小さいようである。図-5は脱着エネルギーの材令の進行にともなう変化を示したものである。脱着エネルギーは材令にともない増大しており、また、気中養生を行なったものの方が水中養生を行なった場合よりも脱着エネルギーは大きいようである。これは、水中養生の場合、図-2のA点とB点の変位差が小さいのに対して、気中養生ではA点とB点の変位差がいくぶん大きく、脱着の進行も水中養生に比べて低速であったためである。図-6は脱着後、ガラス繊維-セメントペースト界面では、一定の摩擦せん断応力が繊維の引抜けに抵抗するとし、図-2の曲線下の面積BCDより摩擦せん断応力を求めたものである。いずれの養生条件においても、シリカフューム混入ペーストの場合が最も大きな値を示し、フライアッシュおよび高炉スラグ混入ペーストは普通セメントペーストと同程度かそれより若干低い値を示している。これより、ガラス繊維が脱着を生じた後、引抜けを生じる場合は、シリカフューム混入により引抜き過程におけるエネルギー吸収能は改善されうることがわかる。

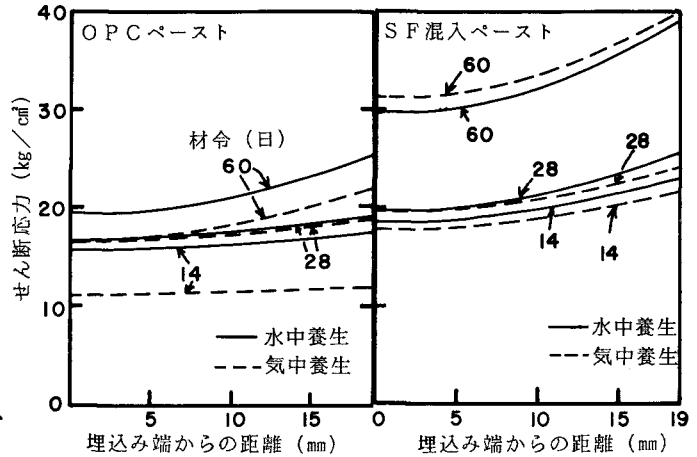


図-4 せん断応力分布

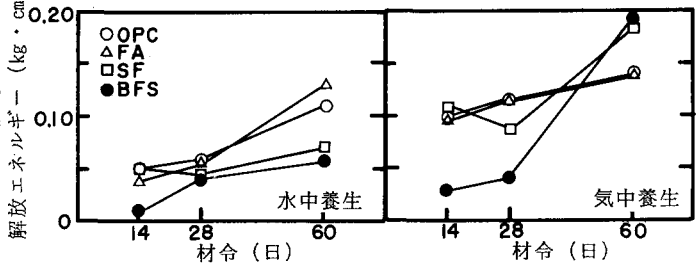


図-5 脱着エネルギーの材令にともなう変化

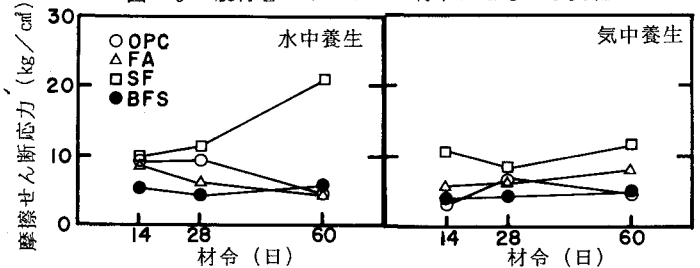


図-6 摩擦せん断応力の材令にともなう変化

4. まとめ

- (1) 養生条件がガラス繊維-セメントペースト間の付着強度に及ぼす影響は、概して小さいようである。付着強度に影響を及ぼす要因として、マトリックス界面の構造が考えられるが、本実験では、供試体打設後7日間の養生を同一としたことから、この初期の段階で界面の構造がほぼ形成されてしまうためと考えられる。³⁾
- (2) 養生条件の影響は、ガラス繊維の引抜き過程における消費エネルギーに現われるようである。
- (3) フライアッシュおよび高炉スラグの付着強度及び引抜きエネルギーに及ぼす影響は小さいようである。シリカフュームは付着強度及び脱着後の摩擦力を増大させる。これは、繊維-マトリックス界面がシリカフュームによって、緻密になるためと考えられる。

参考文献 1) Mandel J.A. et al, ACI Mat. J., March-April pp.101-109, 1987. 2) Stang H. et al, J. Mat. Sci., 21, pp.953-957, 1986. 3) Pinchin D.J. et al, Cem & Conc Res., vol.8, pp.139-150, 1978.