

(V - 23) 棒状連続炭素繊維補強モルタルの力学的特性

群馬工業高等専門学校 正会員 ○ 古川 茂
群馬大学 工学部 正会員 辻 幸和
群馬大学 工学部 大谷杉郎

1. まえがき

炭素繊維をセメント系材料の補強材に用いる場合には、短繊維あるいは連続繊維として用いる方法があり、作業方法や性状はそれぞれ相違する。そして、連続繊維を用いる場合には、炭素繊維をいかなる方法で配置し、繊維とマトリックスとの付着を確保するかが重要となる。

本研究は、連続炭素繊維の束にセメントペーストを含浸させて棒状にした棒状連続炭素繊維を用い、これをモルタル中に集中配置して補強したモルタルを作製し、その曲げ強度、たわみおよび曲げタフネスなどについて実験した結果を報告するものである。

2. 実験の概要

セメントはC社製の普通ポルトランドセメントを、また、細骨材は豊浦標準砂をそれぞれ用いた。炭素繊維は、表-1に示す性質をもつA社製のPAN系およびF社製のビッチ系の連続繊維をそれぞれ用いた。炭素繊維の容積混入率 V_f は、PAN系繊維が0, 0.11, 0.22, 0.33および0.44%, ビッチ系繊維が0, 0.18, 0.36, 0.54および0.72%とした。

モルタルの配合は、水セメント比を40%、砂セメント比を1.0と一定にした。モルタルのフロー値は 170 ± 10 であった。供試体の寸法は、幅40mm、高さ20mm、長さ180mmとした。

供試体の作製は、まず型枠底部に厚さ1mm程度のモルタルを入れ、この上に後述する方法で作製して置いた棒状連続炭素繊維を、図-1のように、有効高さが17mmと一定になるように所定量配置した後、再びモルタルを補充して所定の寸法に仕上げた。棒状連続炭素繊維は、連続炭素繊維をそのまま束状(PAN系繊維12000、ビッチ系繊維3000本)にし、これを40%あるいは50%の水セメント比のセメントペースト中(以下含浸セメントペーストと呼ぶ)に浸して繊維間の空隙をセメントペーストで満たし、直径3mm程度の棒状に仕上げ、1日間空中養生した後材令7日まで水中養生を行って作製した。供試体は材令1日で脱型し、以後曲げ強度試験材令7日まで水中養生を行った。

曲げ試験は、スパンを100mmとして中央点荷重によって行い、同時に中央点の荷重-たわみ曲線を記録した。

3. 曲げ強度および破壊曲げモーメント

JIS R 5201の算出方法を用いて求めた曲げ強度と繊維混入率との関係を図-2に示す。いずれも繊維混入率の増加に伴って曲げ強度は増加した。ビッチ系繊維を用いた場合は、含浸セメントペーストの水セメント比が異なっても、曲げ強度はほぼ同じ値を示した。いずれも繊維の切断によって破壊したためである。繊維混入率を0.54%から0.72%に増加させると、それ以下の繊維混入率に比べ曲げ強度の増加の程度はやや小さくなっている。この場合には棒状繊維の配置が二段となり、同一の平面上に配置されていなかった。

PAN系繊維を用いた場合は、繊維混入率が0.22%以上になると繊維混入率の増加に伴う曲げ強度の増加の程度はやや小さくなった。繊維混入率が0.11%の場合は繊維の切断によ

表-1 炭素繊維の性質

繊維種類	繊維直径 (10^{-3} mm)	比重	引張強度 (kgf/cm^2)	弾性係数 ($10^4 \text{kgf}/\text{cm}^2$)	伸度 (%)
PAN系連続炭素繊維	7.5	1.78	30000	23	1.3
ビッチ系連続炭素繊維	18	—	8000	3.4	2.4

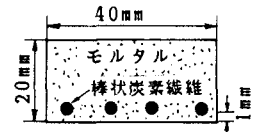


図-1 炭素繊維の配置状態

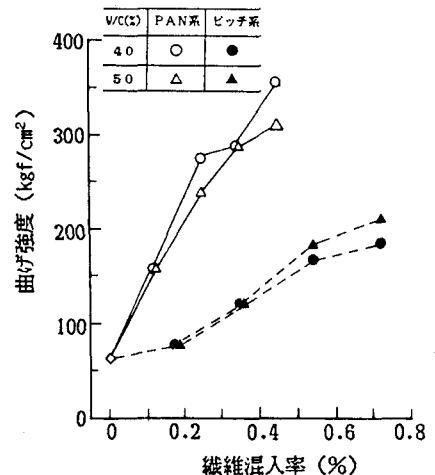


図-2 曲げ強度と繊維混入率の関係

って破壊したが、それ以上の混入率ではいずれも斜めひびわれの発生によって破壊したためである。また、含浸セメントペーストが50%の場合の方が40%の場合よりやや大きな曲げ強度を示したが、その差は小さいことも認められる。

破壊曲げモーメントと繊維混入率との関係を図-3に示す。図には曲げ引張破壊するとして計算した破壊曲げモーメントを破線で一緒に示している。破壊曲げモーメントの計算では、モルタルの応力-ひずみ曲線は等価応力ブロックを用い、終局ひずみは0.35%と仮定した。また、炭素繊維の引張-ひずみ曲線は破壊まで直線とし、降伏領域をもたないと仮定した。

ビッチ系繊維の場合は、含浸セメントペーストの水セメント比が異なっても、繊維混入率が0.54%までは、計算値は実測値と同程度の値となった。しかしながら、それ以上の繊維混入率では、計算値の方が大きくなった。

PAN系繊維の場合には、計算値は実測値より大きく、計算値と実測値の差は含浸セメントペーストの水セメント比が低く、繊維混入率が多いほど大きくなった。上述した供試体の破壊状態の相違によるものと考えられる。

4. たわみおよび曲げタフネス

PAN系繊維を0.44%とビッチ系繊維を0.72%の混入率で配置した場合における荷重-たわみ曲線を図-4に示す。最大荷重点のたわみ量を比較すると、PAN系繊維の場合には、含浸セメントペーストの水セメント比により最大荷重は異なるにもかかわらず、たわみ量はほぼ同じとなった。しかしながらビッチ系繊維の場合には、最大荷重がほぼ同じ値となったが、水セメント比が50%の含浸セメントペーストの場合の方が40%の場合に比べ、2倍程度の大きなたわみを示した。これは、繊維の配置状態も原因の一つであるが、水セメント比が大きいと流動性が高く、棒状繊維作製時にセメントペーストが繊維間に入りやすく、両者間の付着が確保されたためと思われる。

曲げタフネスは、最大荷重点までの荷重-たわみ曲線下の面積として求めた。そして、繊維で補強しない場合の曲げタフネスとの比を、曲げタフネス比として図-5に示す。繊維混入率の増加に伴って曲げタフネス比はほとんどの場合増加し、PAN系繊維の場合の方がビッチ系繊維より大きな曲げタフネス比を示した。ビッチ系繊維の場合、水セメント比が50%の含浸セメントペーストを用いると、40%のものよりは曲げタフネスは大きくなった。

PAN系繊維の場合は含浸セメントペーストの水セメント比が異なってもほぼ同程度の値を示した。先に述べた理由によるものと思われる。

5. まとめ

モルタルに容積混入率で0.7%程度の棒状にした連続炭素繊維を集中的に配置することにより、繊維で補強しない場合の4~6倍の曲げ強度(240~360 kgf/cm²)と100倍程度の曲げタフネスを得ることが出来た。そして、繊維とセメントペーストの付着が十分に確保できれば、破壊曲げモーメントの算定には鉄筋コンクリートの理論を用いることができる。

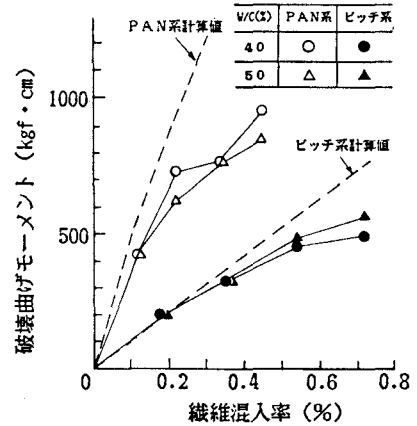


図-3 破壊曲げモーメントと繊維混入率の関係

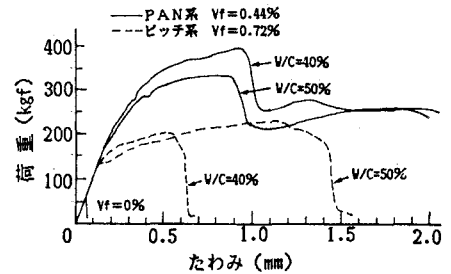


図-4 荷重-たわみ曲線

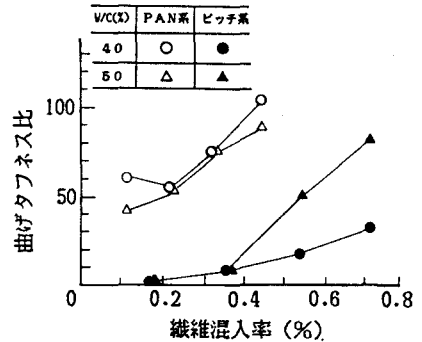


図-5 曲げタフネス比