

論文 圧縮・引張交番载荷を受ける高強度繊維補強コンクリートに関する 2, 3 の考察

水町実^{*1} 川上正史^{*2} 田辺忠顕^{*3}

要旨：本研究は、超高強度コンクリートにアラミド短繊維を混入し、圧縮・純引張交番载荷における強度と靱性が繊維無混入のコンクリートのそれらに比べてどのように変化するかを実験的に調べたものである。その結果、圧縮靱性を大きくするには繊維長 38mm 以上のものを混入率 0.6% 以上混入することが効果的であり、また、引張靱性を改善するためには繊維長に関わらず混入率を 0.6% 以上にすることが効果的であることがわかった。

キーワード：アラミド繊維、超高強度コンクリート、交番荷重、靱性、強度

1. はじめに

コンクリートの靱性を改善する一つの方法としてコンクリートに短繊維を混入する方法が考えられる。そこで、本研究においてはシリカフュームを用いた圧縮強度が 90MPa 程度の超高強度コンクリートにアラミド短繊維を混入し、高剛性試験機を用いて圧縮・引張交番载荷を行いその圧縮強度、引張強度、圧縮靱性および引張靱性が繊維長および繊維混入率によってどのように変化するのか、また、繊維無混入のものと比較した場合どのような効果があるのかを実験的に考察した。先に筆者らは本文中の一部について報告 [1] しているが本論文はそれにデータを拡充して、さらに詳しく考究したものである。

2. 実験の概要

2.1 実験に用いたコンクリート

本実験に使用したコンクリートの配合を表 1 に示す。セメントは市販の普通ポルトランドセメントを、また、シリカフュームも市販の粉末状のものを用いた。骨材は、細骨材として徳島県吉野川産の川砂を、粗骨材としては最大骨材寸法 13mm の磁鉄鉱スラグ碎石 [2] を用いた。

短繊維としては 12 μ m φ のストランド形状のアラミド繊維を用い、その繊維長は 12mm、25mm、35mm、および 51mm の 4 種類に変化させた。アラミド短繊維の引張特性を表 2 に示す。また、コンクリートに混入したアラミド繊維の混入量はコンクリートを構成するセメントペースト容積に対する比で 0.1%、0.2%、0.4%、0.6% および 1.0% の 5 種類に変化させた。

表 1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水結合材比 W/(C+Si) (%)	シリカフューム比 Si/(C+Si) (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				水 W	セメント C	シリカフューム Si	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Sp
13	26.1	10	40	148	510	57	650	1091	25.5

※1 (株)鴻池組・技術研究所研究員、工修(正会員)

※2 (株)鴻池組・技術研究所副部長、工博(正会員)

※3 名古屋大学教授 工学部土木工学科、工博(正会員)

2. 2 コンクリートの練り混ぜ方法

コンクリートの練り混ぜは、均質性を高めるために超高強度コンクリート製造システム[3]とオムニミキサを用いた。練り混ぜ方法としては図1のフロー図に示すようなセメントペースト先練り方式を採用している。セメントペーストの混練り時間は2分間とし、練り混ぜ順序としては所定量のセメントペーストを計量後、オムニミキサに投入し、所定量の繊維を加え2分間練り混ぜた後、所定量の細骨材および粗骨材をオムニミキサに投入し1分間練り混ぜた。

2. 3 供試体

アラミド繊維を混入した場合、繊維混入率および繊維長によって図2に示すようにスランプが23cmから2cmまで変化する。そこで、繊維混入率あるいは繊維長によって締め固めに影響がでないよう供試体の作製に当たっては、スランプが5cm以下のものについては25mmφの棒状バイブレーターを用い、その他のものについては突き棒を用いコンクリートが分離せずよく締め固まるよう供試体を作製した。実験に用いた供試体の寸法は、図3に示すように100×100×300mmとし、二つの端部にそれぞれ4本ずつの試験機取り付け用のスタッドを載荷の際に応力状態の乱れが極力少ないように考慮し、スタッドは、供試体内部の応力状態に極力影響がでないよう先端を40°に尖らせたものを埋設したものをを用いた。供試体は打設の翌日脱型し、材齢28日まで水中養生した後、温度20±3℃、相対湿度70%の恒温恒湿室内に試験時まで放置した。試験時の材齢は6ヶ月～12ヶ月である。

2. 4 実験方法

載荷には容量200tonの高剛性試験機[5]を用いた。載荷は図4に示すように圧縮、引張の順に3回繰り返し、最後に圧縮載荷を供試体が破壊するまで行った。圧縮から引張、あるいは引張から圧縮へと荷重を変化させる場合には、応力-ひずみ曲線がひずみ軟化を起こした時点とし、手動で制御した。なお、図5は図4の引張側を拡大し、分かり易くしたものである。

表2 アラミド繊維の引張特性

密度 g/cm ³	引張強度 GPa	引張弾性係数 GPa	破断伸度 %
1.39	3.5	74	4.6

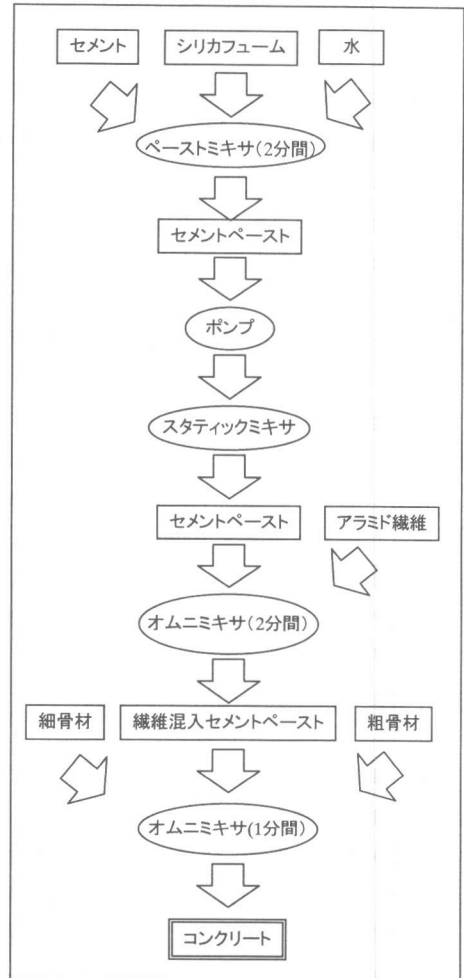


図1 コンクリートの製造フロー

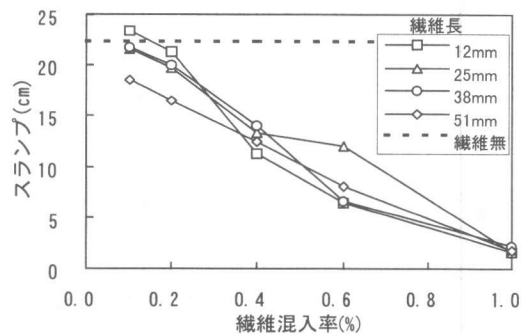


図2 繊維混入率とスランプの関係

2. 5 強度の求め方と靱性の算定方法

本実験における圧縮強度、引張強度、圧縮靱性および引張靱性の値は次のようにして求めた。圧縮強度および引張強度はそれぞれ1回目の圧縮载荷および1回目の引張载荷での最大値とした。靱性については便宜上つぎのように算定した。応力-ひずみ曲線を圧縮側と引張側に分けて、圧縮靱性は圧縮側の3回のループにおける応力-ひずみ曲線とひずみ軸で囲まれる面積および4回目の圧縮载荷でのひずみが4000 μ までの応力-ひずみ曲線とひずみを示す軸とで囲まれる面積の和とし、引張靱性は引張側の3回のループにおける応力-ひずみ曲線とひずみ軸で囲まれる面積の和とした。

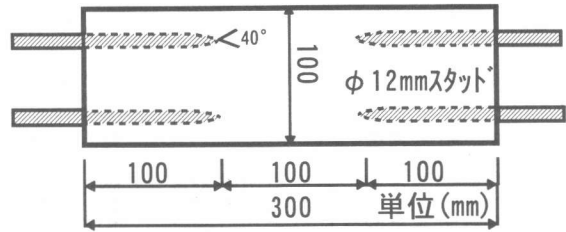


図3 供試体の形状・寸法

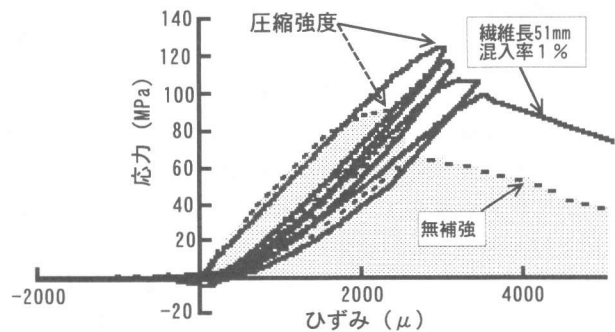


図4 応力-ひずみ曲線

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度

種々の繊維混入率に対する圧縮強度と繊維長との関係を図6に、また、種々の繊維長に対する圧縮強度と繊維混入率の関係を図7に示す。なお、図中の破線は繊維無混入の供試体の圧縮強度を示している。図6から明らかのように、すべての繊維長および繊維混入率で圧縮強度は繊維無混入のそれと比較して増加している。また、繊維長12mm、25mm および 38mm では繊維混入率が同じ場合、ほぼ同じの強度であるが、繊維長が51mm の場合、繊維混入率が0.1%、0.2% および 0.4% において強度の増加が顕著である。また、繊維長が12mm、25mm および 38mm の場合には繊維混入率による強度の差は20MPa程度あるのに対し繊維長が51mm の場合の繊維混入率による強度差は10MPa以下を示している。図7より圧縮強度は繊維混入率が0.6%以上の場合、繊維長による強度差は小さく、繊維無混入のものと比較して25~30MPaの強度増加が認められる。

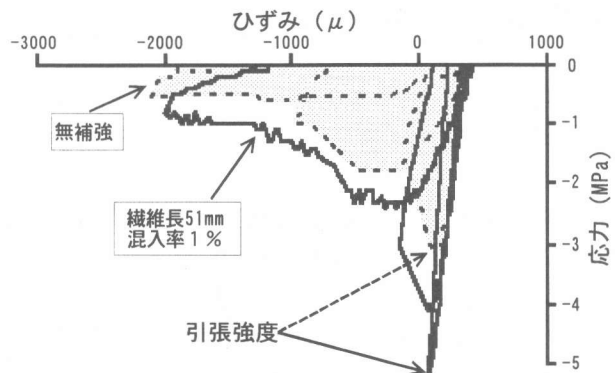


図5 応力-ひずみ曲線(引張側拡大図)

以上のことから、繊維長が51mmの場合、混入率が小さくても圧縮強度の増大が期待でき、また、繊維長が短い場合は繊維混入率を0.6%以上にすれば圧縮強度の増大を期待し得ることが分かる。この現象は、圧縮の場合载荷方向に平行に多数の縦方向クラックが発生するが、これらのクラック

クに対し繊維混入率が多いほど、また繊維長が長いほどクラックの成長が阻止される確率が高くなると考えれば説明できる。

3.2 引張強度

種々の繊維混入率に対する引張強度と繊維長の関係を図8に、また、種々の繊維長に対する引張強度と繊維混入率の関係を図9に示す。なお、図中の破線は繊維無混入の供試体の引張強度を示している。

図8によれば、引張強度は繊維長12mmの場合、繊維無混入の供試体とほぼ同等の強度のものもあるが、繊維長が25mm以上の場合はすべての繊維混入率で繊維無混入のものよりも大きな値を示している。繊維長が12mm、25mmおよび38mmの場合には繊維混入率による強度の差は1MPa程度あるのに対し、繊維長が51mmの場合には繊維混入率による強度の差は約0.3MPaと小さい。

図9によれば、繊維長が25mm以上で繊維無混入の強度と比較して強度が増大している。

以上の現象は、引張の場合、荷重軸に直角な破断面に発生する横方向クラックのみによって破壊するので、繊維混入量が多く繊維長が長いほどクラックの成長を阻止する確率が大きくなると考えれば説明できる。

3.3 圧縮靱性

種々の繊維混入率に対する圧縮靱性と繊維長の関係を図10に、また、種々の繊維長に対する圧縮靱性と繊維混入率の関係を図11に示す。なお、図中の破線は繊維無混入の供試体の圧縮靱性を示している。図10から明らかなように、圧縮靱性は、繊維長

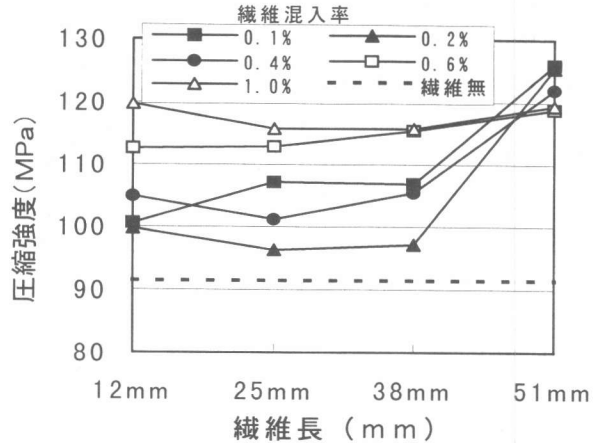


図6 圧縮強度と繊維長の関係

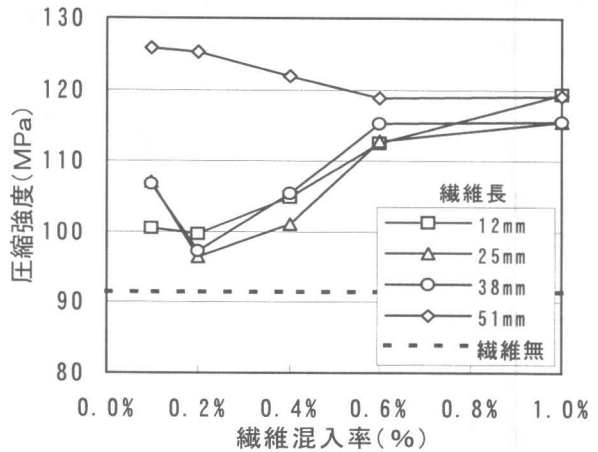


図7 圧縮強度と繊維混入率との関係

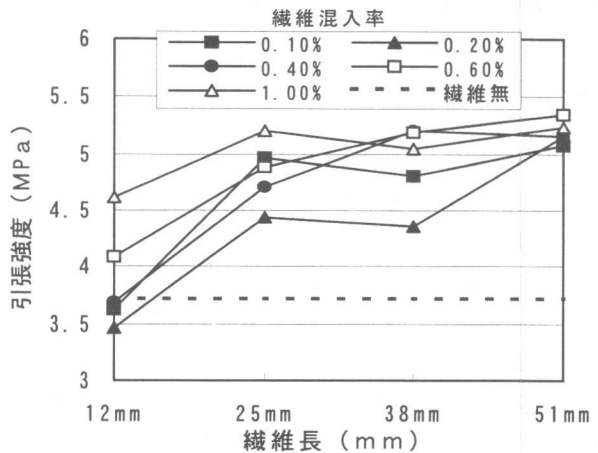


図8 引張強度と繊維長の関係

25mm で繊維混入率が 0.1% および 0.2% のもの、繊維長 38mm で繊維混入率が 0.1% のもので繊維無混入のそれと比較して同程度あるいは若干小さな値となっているが、全体的には繊維無混入のものより大きな値となっている。また、その増加率は繊維長 51mm、繊維混入率 1.0% の場合が最大で約 44% であった。これは、圧縮強度が増加したことによる面積の増加と図 3 に示した応力-ひずみ曲線のテール部分に見られるようにひずみが増大しても応力の急激な低下がなかったためであると考えられる。

図 1 1 から明らかなように、圧縮靱性は繊維長 25mm の場合を除いてすべての繊維混入率において繊維無混入のものに比較して大きい。特に、繊維長が 51mm の場合、混入率が 0.2% 以上において靱性の増大が顕著である。

これらの現象も 3.1 節に述べた繊維によるクラック阻止機構から説明がつく。

3. 4 引張靱性

種々の繊維混入率に対する引張靱性と繊維長の関係を図 1 2 に、また、種々の繊維長に対する引張靱性と繊維混入率の関係を図 1 3 に示す。なお、図中の破線は繊維無混入の供試体の引張靱性を示している。

図 1 2 に示すように、引張靱性は混入率 0.6% 以上で繊維無混入のものよりも増大しているが繊維長による影響はそれほど大きくない。繊維長 51mm のものでは繊維混入率が 1.0% の場合に引張靱性は繊維無混入のものに比較して約 49% 増加している。図 1 3 に示すように引張靱性は繊維混入率が增大するにした

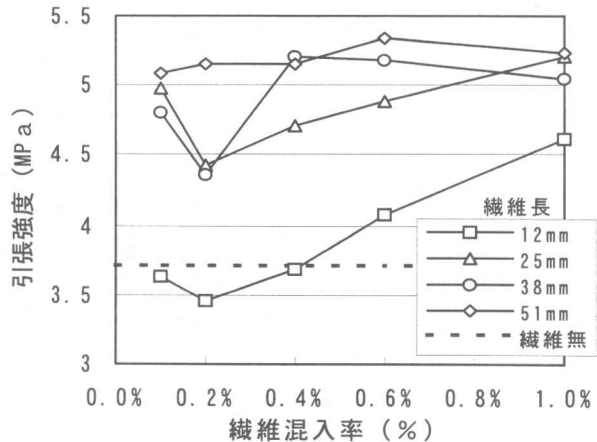


図 9 引張強度と繊維混入率の関係

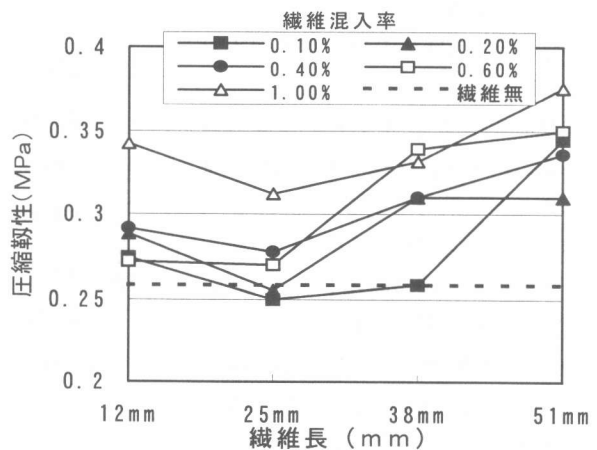


図 1 0 圧縮靱性と繊維長の関係

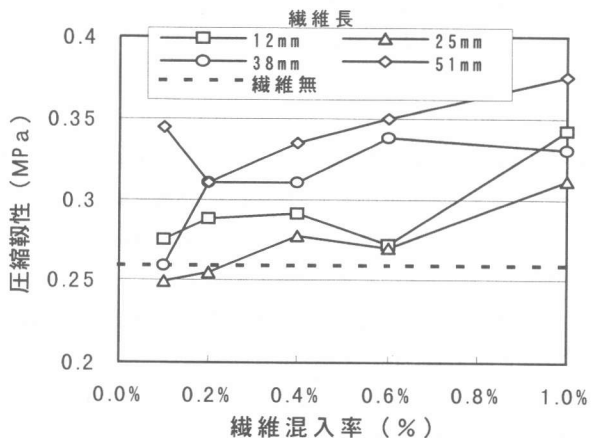


図 1 1 圧縮靱性と繊維混入率の関係

がって大きくなっている。また、繊維長が 25mm、38mm で繊維混入率が 0.4% 以下の場合、無補強のものより小さな値となっている。以上より、引張靱性の場合、繊維長が長く繊維混入率が多いほど靱性が大きくなる。しかし、図 12 と図 13 の結果では繊維補強した供試体の方が無補強のものより却って靱性が小さくなっているものがある。この理由については今のところ定かではなく、今後の研究をまたねばならない。

4. まとめ

本実験の範囲において得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 圧縮強度を増大するには繊維混入率とは無関係に繊維長 51mm とすることが効果的である。
- (2) 引張強度を増大するには繊維混入率とは無関係に繊維長を 51mm とすることが必要である。
- (3) 圧縮靱性を増大するには繊維長 38mm 以上のものを混入率 0.6% 以上混入することが効果的である
- (4) 引張靱性を増大するためには繊維長に関わらず混入率を 0.6% 以上にすることが望ましい。

<参考文献>

- [1] 水町実、川上正史、田辺忠顕：圧縮・引張交番載荷を受ける短繊維補強コンクリートの強度と靱性に関する一考察：土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集第 5 部，1996. 9, pp. 518~519
- [2] ACI Committee 363: State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete, J. ACI, July-August 1984, pp. 364~411
- [3] 川上正史、深津隆彦、田辺忠顕：超高強度コンクリート製造システムの開発，土木学会論文集，No. 516/VI-27, 1995. 6, pp. 121~130
- [4] 吉本彰、長谷川博、兼行哲治、白上博明：純引張試験用コンクリート供試体に関する研究，セメント技術年報，32, 1978, pp. 231~234
- [5] A. M. Farahat, M. Kawakami, M. Ohtsu: Strain a space plasticity for the compressive hardening-softening behavior of concrete, Construction and Building Materials, vol. 9, No. 1, 1995, pp. 45~59 1

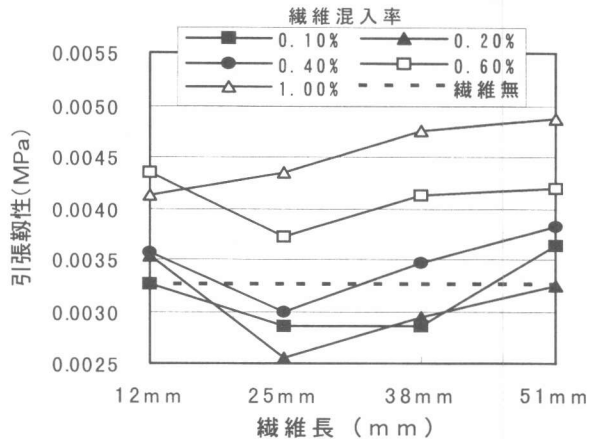


図 12 引張靱性と繊維長の関係

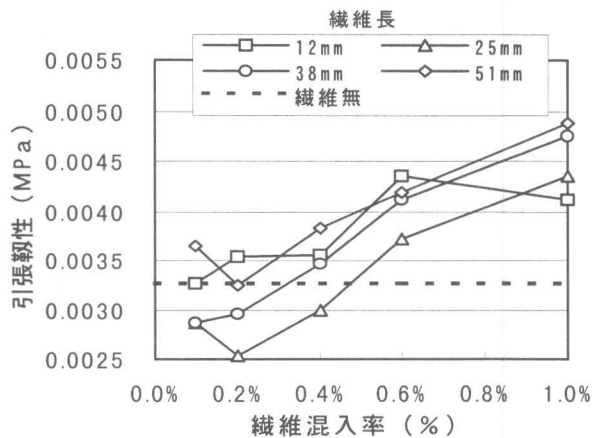


図 13 引張靱性と繊維混入率の関係