

論文

[1181] 短炭素繊維で補強した膨張モルタルの性状

正会員 ○古川 茂 (群馬工業高等専門学校土木工学科)

正会員 辻 幸和 (群馬大学建設工学科)

大谷杉郎 (東海大学素材工学科)

1. まえがき

モルタルやコンクリートの曲げ強度や変形状などを改善する方法としては、各種の繊維をマトリックス中にランダムに分散させて補強する方法や、膨張材のケミカルプレストレスを利用する方法等があり、これらそれぞれの方法については、すでに製造や性状に関する研究成果が報告されている。そして、曲げ性状の一層の向上を図るため、鋼繊維と膨張材を併用して用いる研究開発が行われ、すでに貴重な研究成果が報告されている^{1)~6)}。しかしながら、短炭素繊維を膨張モルタルあるいは膨張コンクリートの補強材として用いる研究は、現在のところ報告されていない。

本研究では、これまで短炭素繊維を補強材として用いた研究結果^{7), 8)}に基づき、膨張モルタル中に短炭素繊維をランダムに分散させた炭素繊維補強膨張モルタルを作製し、繊維の分散性、モルタルの流動性、一軸拘束膨張率、曲げ強度、圧縮強度およびたわみなどについて実験した結果を報告する。さらに、短炭素繊維による膨張作用の拘束の程度を定量的に把握することについても検討する。

2. 実験の概要

2.1 使用材料および配合

セメントは、炭素繊維の分散性および強度の向上を目的として、ブレン値が 9200cm²/gのグラウト用のセメント(以下、グラウトセメントと称す)、および普通ポルトランドセメント(以下、普通セメントと称す)を用いた。

表一 炭素繊維の品質

炭素繊維の種類	繊維直径 (10 ⁻⁵ mm)	比重	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (10 ⁶ kgf/cm ²)	伸度 (%)
ビッチ系	18.0	1.65	6020	3.06	2.0

砂は豊浦標準砂を、また膨張材はエト

リンサイト系をそれぞれ用いた。さら

に、混和材料として、ナフタリンスル

ホン酸塩系を主成分とする高性能減水

剤およびシリカフュームを用いた。シリカフュー

ムはセメントの一部と置き換えて用いた。

表二 モルタルの配合

配合	$\frac{S}{C+Si+E}$	$\frac{Si^*}{C+Si}$	$\frac{E^*}{C+Si+E}$	$\frac{S.P.^*}{C+Si+E}$	セメントの種類
a	1.0	20	0	2	普通、グラウト
b	1.0	0	20	0	グラウト
c	1.0	10	20	2	グラウト
d	1.0	20	20	2	普通、グラウト
e	1.0	20	30	2	グラウト
f	1.5	20	20	2	普通、グラウト

*(%)

炭素繊維は、表一に示す性質をもつ、長さが 6mmのビッチ系の汎用品を用いた。炭素繊維の容積混入率(Vf)は、0, 1, 2 および3%とした。

モルタルの配合は、原則として水結合材比(W/(C+Si+E))が50%で、砂結合材比(S/(C+Si+E))を1.0と一定にし、シリカフュームの置換率

(Si/(C+Si)) および膨張材の混和率(E/(C+Si+E))を変化させた。一部の実験では砂結合材比を1.5とした場合についても行った。用いたモルタルの配合を表二に示す。

2. 2供試体の作製、膨張率の測定および強度試験

モルタルの練りませは、通常のもルタルミキサを用い、図-1の材料の投入順序および練りませ時間で行った。幅と高さが40mmで長さが160mmの強度試験用の供試体の作製、フロー試験および強度試験は、JIS R 5201に準じて行った。一軸拘束供試体の作製および一軸拘束膨張率の測定は、JIS A 6202の膨張材のモルタルによる膨張性試験方法に準じて行った。

供試体は、いずれも材令28日まで水中養生を行った後、強度試験を行った。曲げ強度試験時には、中央部の荷重-たわみ曲線をX-Yレコーダにより記録した。

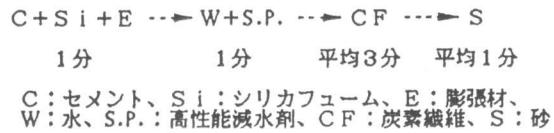


図-1 材料の投入順序および練りませ時間

3. 流動性および繊維の分散性

フロー値と繊維混入率との関係を図-2に示す。繊維を混入しないモルタルは、シリカフュームを用いない配合bおよび砂の量の多い配合f以外では、フローテーブルから溢れた。フロー値は、いずれの配合でも、繊維混入率の増加に伴って低下する。配合dの場合は、いずれのセメントを用いても、フロー値はほぼ同じになったが、配合fではグラウトセメントを用いた場合より普通セメントの場合の方が少し高くなっている。膨張材の混和率が高い配合eのフロー値は、混和率の小さい配合dの場合とほぼ同じであった。なお、配合bおよびfの場合は、繊維を3%混入すると、モルタルの流動性はほとんど得られなかった。

配合dの場合の繊維の分散性は、いずれのセメントを用いても、繊維混入率が2%までは良好であった。しかしながら、混入率を3%に増加すると、グラウトセメントを用いた場合の方が普通セメントの場合より優れていた。それ以外の配合では、混入率が2%で配合dの場合より繊維の分散性は少し劣り、3%混入するとファイバーボールが発生して均一な分散は困難であった。

4. 一軸拘束膨張率

配合dの場合の一軸拘束膨張率と材令との関係を図-3に示す。一軸拘束膨張率は、いずれの配合の場合も、図-3と同様に材令10日程度でほぼ一定値になった。

一軸拘束膨張率と繊維混入率との関

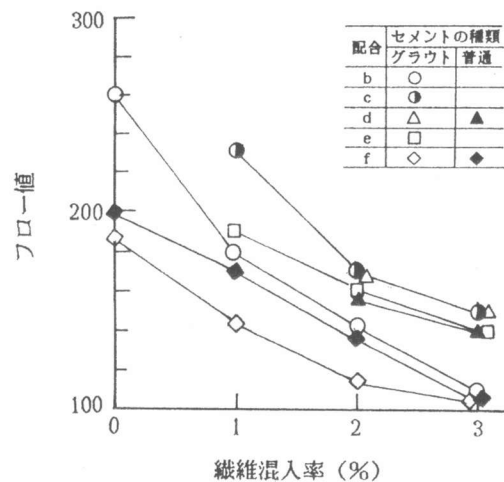


図-2 フロー値と繊維混入率の関係

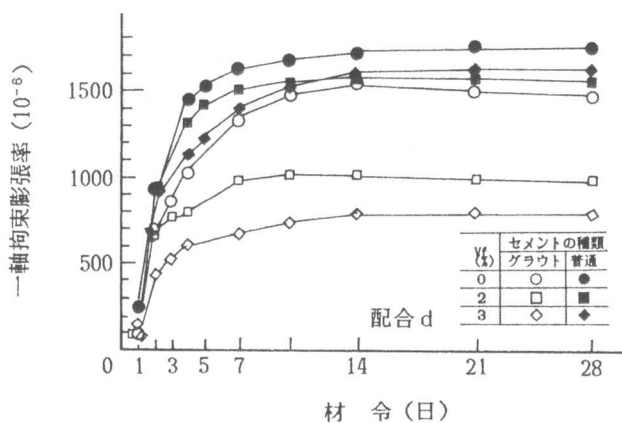


図-3 一軸拘束膨張率の経時変化

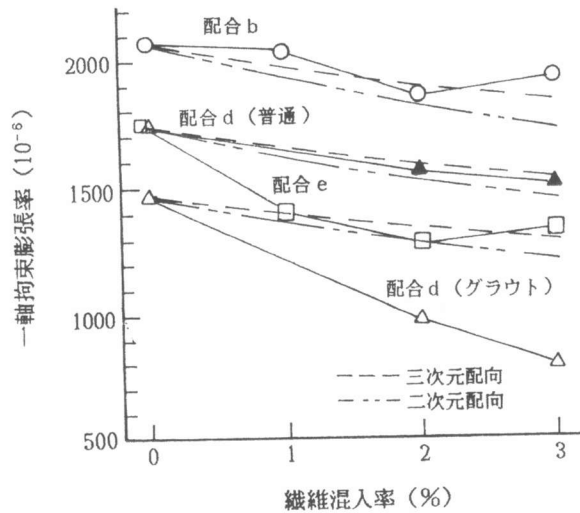
係を図-4に示す。図中には、筆者の一人が提案している仕事量の概念⁹⁾に基づく方法で、炭素繊維が三次元あるいは二次元に配向すると仮定して求めた推定値を、それぞれ破線および二点鎖線で一緒に示している。

繊維混入率が増加すると、膨張率は一般に減少する。繊維混入率を2%から3%に増加しても、膨張率が減少していないのは、3.で述べた繊維の分散が劣るためと考えられる。砂結合材比が1.0の場合は、図-4(a)に示すように、シリカフュームを用いない配合bあるいは配合dで普通セメントを用いた場合は、推定値と実測はほぼ一致している。

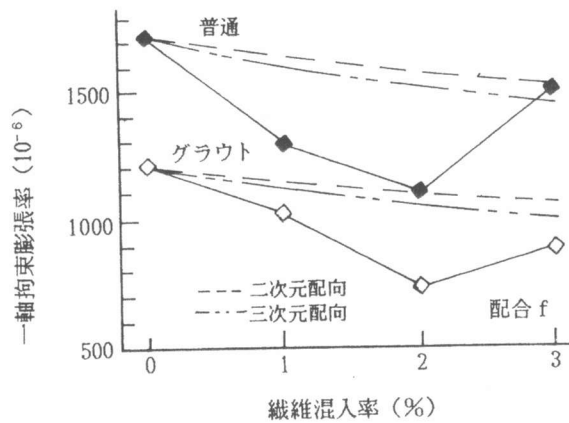
配合dでグラウトセメントを用いた場合および膨張材の混和率が多い配合eでは、繊維を混入すると膨張率が相当減少している。この原因としては、一軸拘束供試体の場合は、型枠の中央部に配置された拘束鋼材により供試体が作製しにくく、繊維の分散が良好なモルタルであっても、供試体中で繊維がランダムに分散されずに拘束鋼材の配置方向に偏って配向されたこと、および、繊維の拘束だけでなくセメント硬化体自体の内部拘束が繊維に依存することなどが挙げられるが、現在のところ詳細は不明である。

砂結合材比を1.5とした配合fの場合には、図-4(b)に示すように、繊維を3%混入した繊維の分散が劣る場合に、推定値は実測値に近い値を示している。これ以外では推定値より実測値の方が小さく、この理由としては、先述のように、供試体中の繊維の分散の影響や内部拘束の影響などが挙げられる。

炭素繊維も鋼材などと同様な拘束鋼材とみなして計算した拘束鋼材比と膨張率との関係を図-5に示す。図中には、炭素繊維を混入しない一軸拘束供試体の膨張率を基



(a) 砂結合材比が1.0の場合



(b) 砂結合材比が1.5の場合

図-4 一軸拘束膨張率と繊維混入率の関係

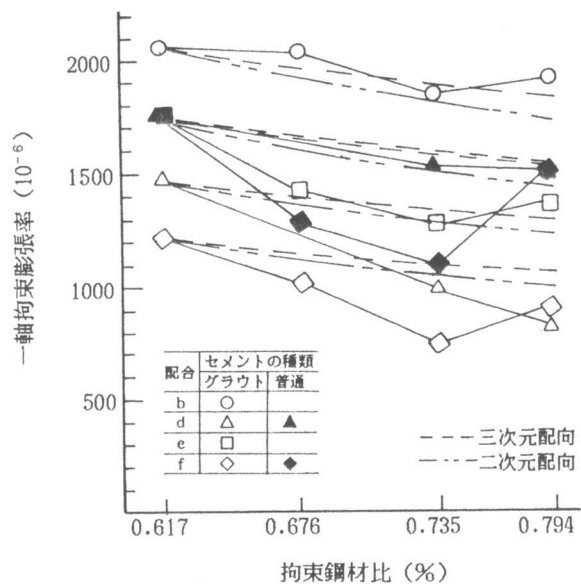


図-5 一軸拘束膨張率と拘束鋼材比の関係

準にして求めた推定値を破線および二点鎖線で示している。拘束鋼材比 p_{sf} は、次式より求めた。

$$p_{sf} = p_s + p_{cf} \quad (1)$$

ただし、 $p_{cf} = n_r \alpha V_{cf}$, $n_r = E_{cf} / E_s$
 ここに、 p_s : 一軸拘束供試体の拘束鋼材比、 p_{cf} : 炭素繊維を一軸拘束方向に換算した拘束鋼材比、 n_r : ヤング係数比、 α : 配向係数 (炭素繊維が三次元に均等に分散されると仮定した場合に0.405を、同様に二次元に分散されると仮定した場合に0.637を用いた)、 V_{cf} : 炭素繊維混入率、 E_{cf} : 炭素繊維のヤング係数、 E_s : 拘束鋼材のヤング係数

拘束鋼材比が増加すると、一般に一軸拘束膨張率は減少する。拘束鋼材比を0.735%から0.794%に増加しても、膨張率が減少しないのは繊維の分散性が劣るためである。

図-6には、図-5に示した一軸拘束膨張率の実測値と推定値との関係を示している。実測値と推定値との差は、20%以内の場合が多くなっている。配合dでシリカフュームを用いた場合および配合fで普通セメントを用いて繊維の分散性が劣る場合に20%を超えているのは、先述した炭素繊維の配向の影響と考えられる。

これらのことから、本研究のように炭素繊維を用いた場合における膨張率についても、実用上鋼繊維を用いた場合⁶⁾と同様に、仕事量の概念を用いて算定することが可能と考えられる。

6. 曲げ強度

配合dの場合の曲げ強度と繊維混入率との関係を図-7に示す。曲げ強度は、繊維混入率が増加すると増加し、膨張材を用いて繊維を3%混入した場合の曲げ強度は、グラウトセメントを用いた場合が140kgf/cm²程度、普通セメントの場合が120kgf/cm²程度を示している。

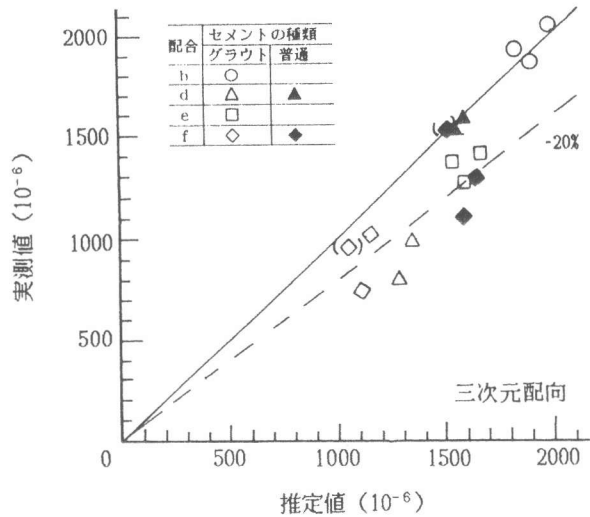


図-6 一軸拘束膨張率の実測値と推定値の関係

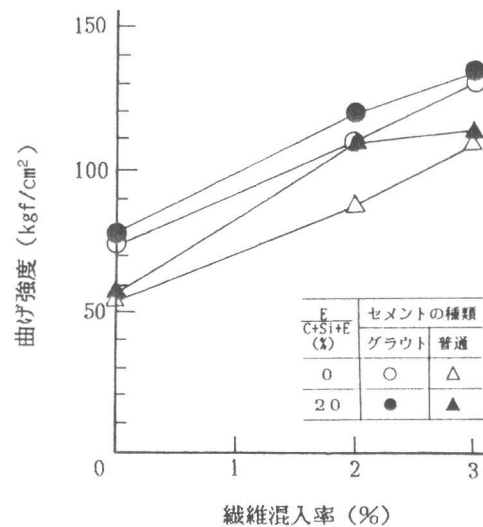


図-7 曲げ強度と繊維混入率の関係

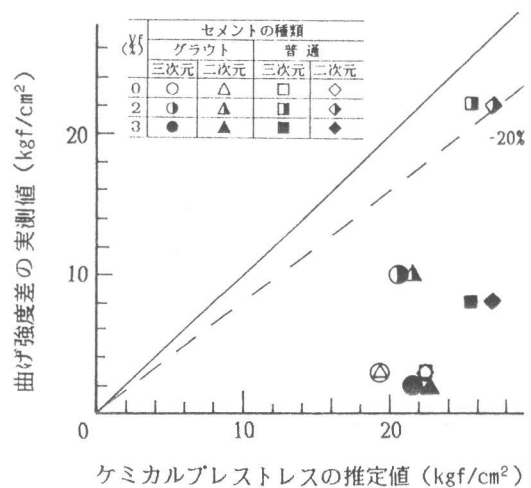


図-8 曲げ強度差とケミカルプレストレスの推定値の関係

膨張材を用いないものと用いたものとの曲げ強度差の実測値とケミカルプレストレスによる曲げ強度増加の推定値との関係を図-8に示す。推定値は、炭素繊維が三次元あるいは二次元に配向するとして、仕事量の概念を用いて一軸拘束供試体の膨張率から求めた。

実測値と推定値の差は、普通セメントを用いて繊維を2%混入率した場合が20%程度であるが、それ以外は20%を超えている。

繊維を混入しない場合は、膨張作用によりモルタルの品質が低下したためであり、このことは、圧縮強度を示した図-9において、強度が膨張材を用いないものの1/2~2/3と低いことから推測される。そして、繊維を用いた場合の原因としては、先述した品質の低下、シリカフュームを用いると用いない場合に比べて粘性が高くなり、供試体作製時に空気量が増加しやすいこと、および膨張材を用いた場合には、膨張材に比べて粉末度が高いシリカフュームの使用量が少なくなり、膨張材を用いない場合より繊維の分散性が少し劣ることなどが考えられる。

7. 圧縮強度

図-9には、配合dの場合の圧縮強度と繊維混入率との関係を示している。膨張材を用いない場合は、繊維混入率が増加すると圧縮強度は低下する傾向を

示しているが、膨張材を用いた場合には増加している。膨張材を用いた場合に炭素繊維を3%混入すると、圧縮強度はグラウトセメントを用いた場合が600kgf/cm²程度、普通セメントの場合が500kgf/cm²程度を示し、膨張材を用いない場合と同じかそれ以上の値が得られた。

8. たわみ

図-10には、曲げ強度試験の荷重とたわみとの関係を示す。最大荷重時までのたわみ量は、繊維量が増加すると、膨張材を用いない場合は少し増えている。しかしながら、膨張材を用いた場合には、荷重は増加するものの、たわみ量はほとんど増加しない。そして、膨張材を用いない場合に比べ最大荷重時までのたわみ量は少し小さく、最大荷重以後の荷重の低下が少し早

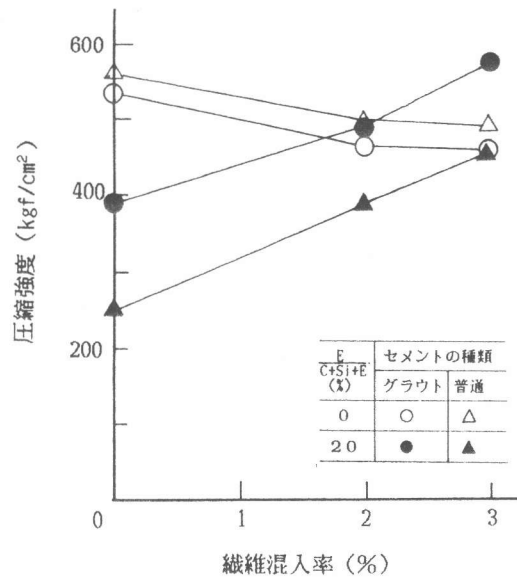
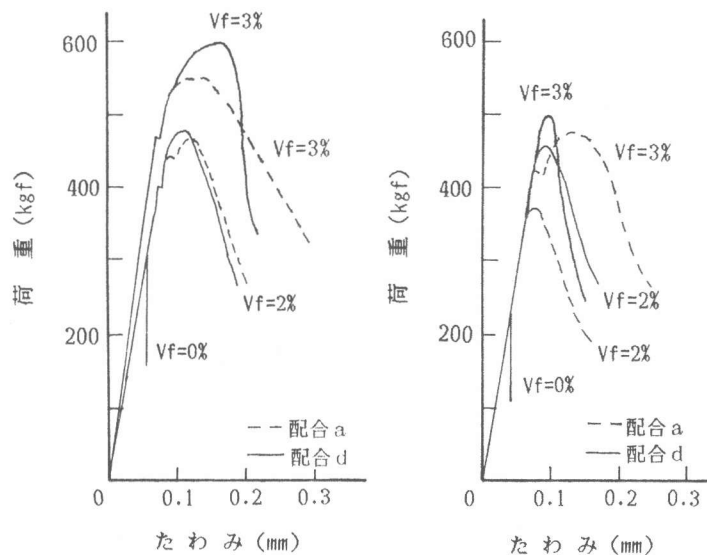


図-9 圧縮強度と繊維混入率の関係



(a) グラウトセメントの場合 (b) 普通セメントの場合

図-10 荷重-たわみ曲線

くなっている。これらのことから、膨張材を用いることによる最大荷重時までのたわみの増加はほとんど期待できないと考えられる。

9. 結論

短炭素繊維を膨張モルタル中にランダムに分散させて補強した炭素繊維補強膨張モルタルにおける一軸拘束膨張率、曲げ強度、圧縮強度およびたわみなどについて実験を行うとともに、炭素繊維による膨張作用の拘束の程度を検討した。その結果から、次のような知見が得られた。

1) 膨張材の混和率が 20%程度の場合、グラウトセメントとシリカフェームを併用し、炭素繊維を3%程度混入すると、曲げ強度は140kgf/cm²程度、圧縮強度は600kgf/cm²程度を得ることができる。

2) 炭素繊維を混入すると、その拘束作用により膨張率は減少する。そして、炭素繊維による膨張作用の拘束程度は、鋼繊維を用いた場合と同様に、仕事量の概念により推定することが可能である。

3) ケミカルプレストレスによる曲げ強度の増加については、膨張作用によるモルタルの品質の低下が考えられる。今後は、モルタルの品質を含めて、ケミカルプレストレスの効果の検討を進めたい。

謝辞

本研究の実施において、炭素繊維は呉羽化学工業(株)から、グラウト用セメントは日鐵セメント(株)から、それぞれ提供頂きました。付記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡辺明子、神尾 興、松田応作：プレストレス応用による G.R.C.と積層材、第35回セメント技術大会講演要旨、1981、pp.294~292
- 2) 戸川一夫、中本純次：鋼繊維補強膨張コンクリートの力学的特性、土木学会第36回年次学術講演会講演概要集、V-71、1981、
- 3) 辻 幸和、佐藤喜悦：鋼繊維を用いた膨張コンクリートの膨張収縮性状および圧縮強度特性、セメント技術年報 36、1982、pp.155~158
- 4) 戸川一夫、中本純次：鋼繊維補強膨張コンクリートの力学的特性に関する研究、セメント技術年報 36、1982、pp.397~400
- 5) 小林一輔、野口哲夫：膨張コンクリートをマトリックスとした鋼繊維補強コンクリートの特性、土木学会論文報告集 第336号、1983、pp.169~177
- 6) 辻 幸和、古川 茂：鋼繊維で補強した膨張コンクリート部材の膨張特性、土木学会論文報告集 第384号/V-7、1987、pp.111~118
- 7) 古川 茂、辻 幸和、大谷杉郎、小島 昭：高炉スラグ微粉末を用いた短炭素繊維補強モルタルの性状 コンクリート工学年次論文報告集 第10巻 第2号、1988、pp.635~639
- 8) 古川 茂、辻 幸和、宮本正雄：異種類の炭素繊維で補強材したモルタルの曲げ性状、セメント・コンクリート論文集 No.43、1989、pp.471~474
- 9) 辻 幸和：ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法、コンクリート工学 論文、Vol.19、No.6、pp.99~105、June 1981