

[1113] 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

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

1. まえがき

短炭素繊維をセメントペーストやモルタルの補強材として用いる場合については、すでに、その製造方法や性状に関する貴重な研究成果が報告されている^{1)~3)}。この場合には繊維をいかに均等に分散させるかが重要であり、既に筆者らは高炉スラグ微粉末を混和材として短炭素繊維補強モルタルの製造に用いる方法が、繊維の分散性や強度等の向上に有効な方法であることを提案してきた^{4),5)}。しかしながら、さらに繊維の分散性の改善や高炉スラグ微粉末の有効利用を図るためには、高炉スラグ微粉末の種類や細骨材の種類を変えた短炭素繊維補強モルタルの性状についての検討が必要と考えられる。

本研究では、短炭素繊維を粉末度の異なる高炉スラグ微粉末を用いてモルタルのマトリックス中に分散させた短炭素繊維補強モルタルを作製し、モルタルの流動性、曲げ強度、圧縮強度、たわみおよび曲げタフネスについて実験した結果を報告するものである。さらに細骨材の種類や混入量の影響についても検討した。

2. 実験の概要

セメントは普通ポルトランドセメントを、高炉スラグ微粉末(以下スラグと略称する)は、ブレン値が4000 cm²/g クラスから8000cm²/g クラスまでの3種類をそれぞれ用いた。それぞれの物理的性質を表-1に示す。また細骨材は、豊浦標準砂および利根川産の川砂(比重2.63、粗粒率2.97)を、高性能減水剤はナフタリンスルホン酸塩系を主成分とするものを用いた。

炭素繊維は、表-2に示す性質をもつビッチ系の、繊維長が10mmのものを用いた。炭素繊維の容積混入率V_fは、0, 1, 3%および5%とした。

モルタルの配合は、セメントにスラグを加えたものを結合材(C+S_g)とし、水結合材比を30%と一定にし、砂結合材比 S/(C+S_g)を0, 0.36, 0.54および0.72とした。また、スラグはセメントを置き換えて用い、その置換率は80%とした。高性能減水剤は、結合材の

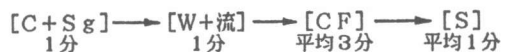
表-1 高炉スラグ微粉末およびセメントの物理的性質

種類	ブレン値 (cm ² /g)	比重
高炉スラグ 微粉末	B 4	4300
	B 6	6200
	B 8	8250
セメント	3220	3.16

表-2 炭素繊維の性質

繊維の種類	繊維直径 (10 ⁻³ mm)	比重	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (10 ³ kgf/cm ²)	伸度 (%)
ビッチ系炭素繊維	18	1.63	7800	3.8	2.1

図-1 材料の投入順序および練りませ時間



C:セメント、S_g:高炉スラグ、W:水、流:流動化剤
 CF:炭素繊維、S:細骨材

重量の1.2%を添加した。

練りませには容量が5ℓの通常のもルタルミキサを用い、図-1に示すような練りませ方法で行った。細骨材は、いずれの場合も最後に投入した。40×40×160mmの供試体の作製、フロー試験および強度試験は、JIS R 5201に従って行った。

供試体は材令1日で脱型し、以後強度試験の材令7日まで20±2℃の水中養生を行った。なお、曲げ強度試験の時には中央部の荷重-たわみ曲線をX-Yレコーダーにより記録した。

3. 流動性

標準砂を用いた場合のフロー値と繊維混入率との関係を図-2に、フロー値と砂結合材比との関係を図-3に示す。繊維を混入しない場合は、いずれもテーブルから溢れた。そして繊維混入率の増加に伴って、フロー値は図-2のように低下している。川砂を用いた場合にも同様の現象が認められたが、いずれの場合も標準砂を用いた場合よりフロー値は少し小さかった。

砂結合材比が増加するとフロー値は低下している。その低下の程度は、B4あるいはB6に比べ粉末度の大きいB8のスラグを用いた場合が小さく、粉末度の大きいスラグを用いたほうが砂結合材比がモルタルの流動性に及ぼす影響は小さいことが認められる。すなわち、砂結合材比が小さい場合は、スラグの粉末度によるフロー値の相違はほとんど認められないが、砂結合材比が大きくなると、フロー値はブレン値の大きいB8からB6、B4の順に小さくなり、粉末度による影響が認められる。これらのことは、川砂を用いた場合も同様であった。B8の場合は、他に比べてペーストの粘性が高く、砂を添加しても繊維の分散が良いため、フロー値を確保しやすいことを示している。

4. 曲げ強度

曲げ強度と繊維混入率との関係を川砂の場合も含めて図-4に示す。一般に、繊維混入率の

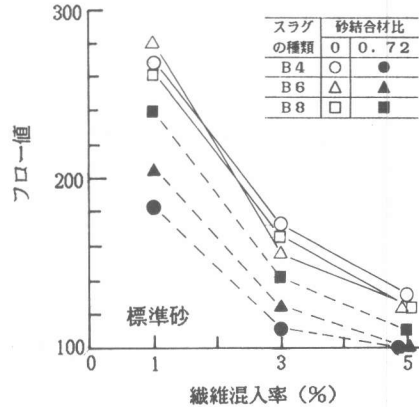


図-2 フロー値と繊維混入率の関係

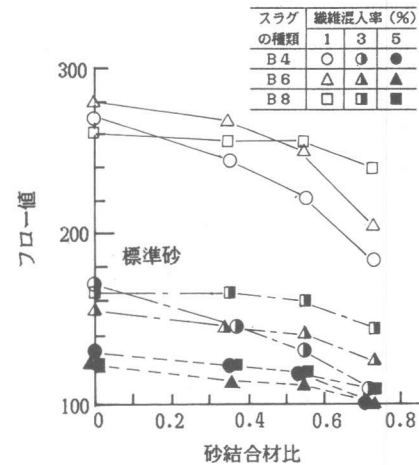


図-3 フロー値と砂結合材比の関係

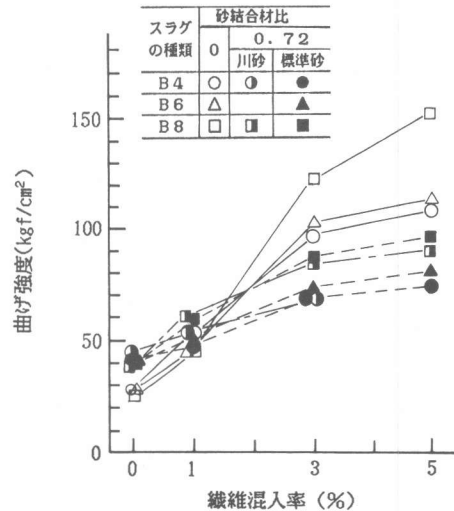


図-4 曲げ強度と繊維混入率の関係

増加に伴って曲げ強度は増加し、セメントペーストの場合は、繊維混入率を3%とすると 100~130kgf/cm²程度の値が得られた。しかし、砂結合材比を0.72に増加すると、1/2程度の強度に低下し、繊維で補強しないモルタルの2倍程度の値となっている。そして、繊維混入率を5%に増加しても曲げ強度はほとんど増加していない。

繊維混入率が0%および1%の場合には、セメントペーストと砂結合材比が0.72のモルタルのいずれともスラグの粉末度が大きくなっても、曲げ強度の増加はほとんど認められなかった。これは、流動化剤を添加したことにより流動性が大きくなり過ぎて、材料分離が起こったためと思われる。繊維混入率が3%および5%の場合には、スラグの粉末度が大きいほど曲げ強度は大きくなっている。この現象は、横軸にスラグのブレン値を取って示した図-5から、より明瞭である。

曲げ強度と砂結合材比との関係を図-6に示す。繊維混入率が0%のマトリックス自体の曲げ強度は、砂結合材比を増加するとむしろ増加する傾向を示している。これは、砂を乾燥した状態で用いたため、マトリックスの水分が乾燥した砂に吸収され、実質の水結合材比が減少したためと考えられる。なお、繊維混入率が0%のマトリックス自体の曲げ強度は、川砂の場合も標準砂の場合とほぼ同じであった。繊維混入率を1%あるいは3%とすると、砂結合材比が0.36のように小さい場合には、標準砂の添加により曲げ強度が一時増加する場合もあるが、それ以外に関しては砂結合材比の増加に伴って曲げ強度は低下している。これは、3. で述べたようにブロー値が低下して繊維の分散性が低下することと、消泡剤を用いていないために、これに伴って供試体作製時に空気量が増加したためと考えられる。なお、標準砂を用いた場合に比べ川砂を用いると、砂結合材比が0.36および0.54の配合で曲げ強度が少し小さくなるが、0.72と増加するとその差がほとんど認められなくなった。

5. 圧縮強度

圧縮強度と繊維混入率との関係を図-7に示す。セメントペーストおよびモルタルのいずれの場合とも、繊維混入率が増加すると、圧縮強度はやや低下する傾向を示している。圧縮強度

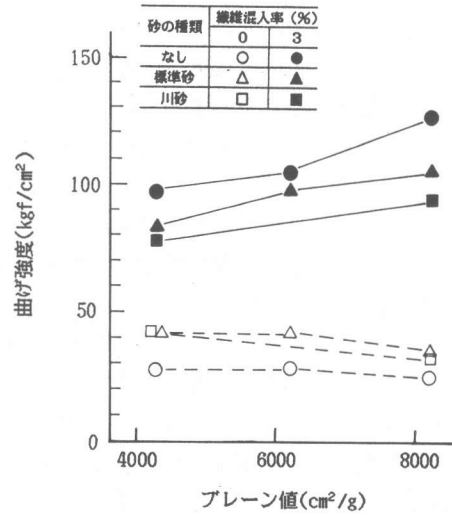


図-5 スラグのブレン値と曲げ強度の関係

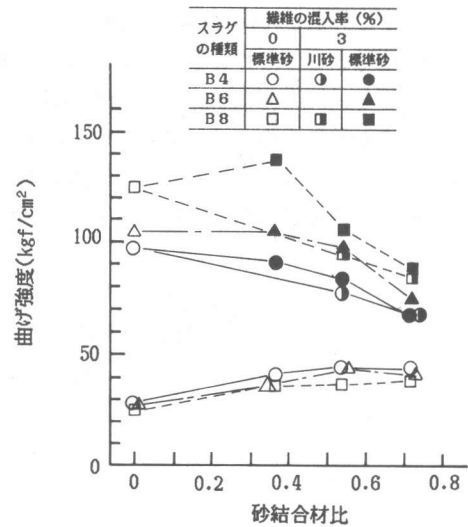


図-6 曲げ強度と砂結合材比の関係

は、曲げ強度と異なり、スラグの粉末度が大きいほど 80%の置き換え率の場合でも大きな値を示している。また、B4のスラグを用いた場合には、B6およびB8を用いた場合に比べ繊維の混入による圧縮強度の低下の程度は少し小さくなっている。一般に、繊維の混入率の増加に伴い供試体中の空気量が増加し、圧縮強度は低下すると考えられ、繊維の分散性が劣るB4の場合に、強度の低下が少ないのは、図-2に示したように、他に比べてフロー値が小さいために、十分な突き固めを行った結果と思われる。

図-8には、圧縮強度と砂結合材比との関係を示す。いずれの繊維混入率および砂結合材比のモルタルでも、スラグの粉末度の大きい方が圧縮強度は大きくなっている。圧縮強度は、砂結合材比が0.54まで増加し、その後少し低下する傾向を示している。マトリックス自体は増加すると考えられるが、この場合に低下していることについては、不明である。そして、それ以外で強度が低下しているのは、マトリックス自体の強度低下と、曲げ強度の場合と同様に繊維の分散性と流動性の低下に伴う成形状態が大きく影響したものと思われる。

6. たわみおよび曲げタフネス

たわみと荷重との関係の一例を図-9に示す。最大荷重時までのたわみ量は、いずれの粉末度を用いても、この図に示すように繊維混入率が增加すると大きくなった。また、最大荷重以降の荷重の低下も緩やかであり、最終破壊までのたわみ量も繊維混入率の増加とともに大きくなった。

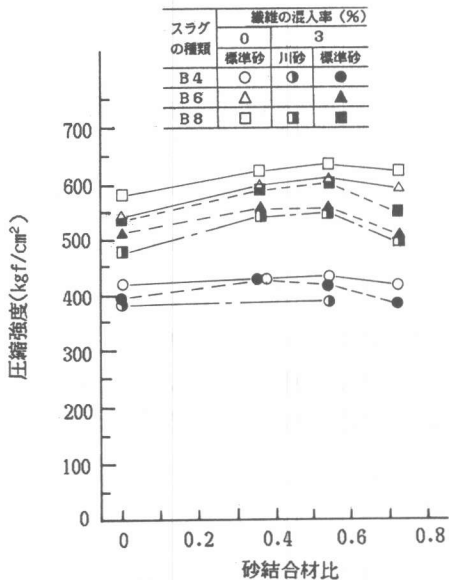


図-8 圧縮強度と砂結合材比の関係

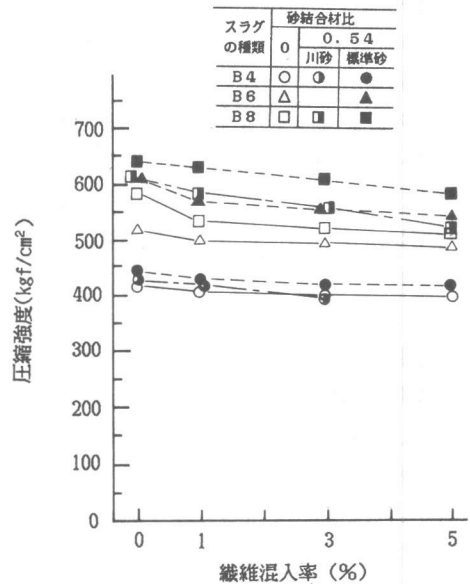


図-7 圧縮強度と繊維混入率との関係

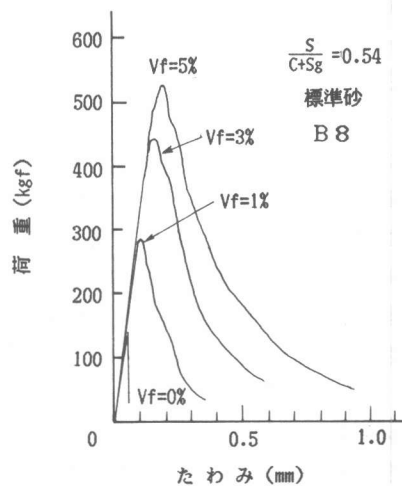


図-9 たわみに及ぼす繊維混入率の影響

砂結合材比が多くなると図-10に示すように、曲げ強度で述べたように一旦最大たわみ量が大きくなるが、砂結合材比が0.54以上になると減少していく。そして、最大荷重以降の荷重の低下も急激となった。

曲げタフネスは、最大荷重時までの荷重-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称し、図-11および図-12に示す。図-11のように、繊維混入率が増加すると曲げタフネス比は増加している。モルタルとするとセメントペーストに比べて、曲げタフネスが低下する。また、粉末度の細かいスラグを用いると、曲げタフネスが増加しているが、モルタルの場合はその増加量が小さくなることも認められる。

曲げタフネスに及ぼす砂結合材比の影響は図-12から明らかなように、砂の量が多くなると曲げタフネス比が低下することが認められる。また、粉末度の細かいスラグを用いると曲げタフネスが改善される程度も、砂結合材比が大きくなると減少し、砂結合材比が0.72のモルタルではほとんど改善効果が認められなかった。この傾向は川砂を用いた場合も同様であった。このように砂の量が多くなると、繊維の混入率を多くし、またスラグの粉末度を細かくしても曲げタフネスの増加はあまり期待できない。

7. 結論

短炭素繊維の分散に混和材として高炉スラグ微粉末を用い、その粉末度を変えて、砂結合材比が0.7程度までの短炭素繊維補強モルタルを作製し、繊維の分散性、曲げ強度、圧縮強度および曲げタフネスなどについて実験を行った。その結果より、次のことがいえると思われる。

1) 標準砂と川砂を用いても、スラグの粉末度が大きいほど、マトリックス中への炭素繊維の分散が良好となることが認められた。特に、砂結合材比が大きい場合には、粉末度の大きい例えばブレン値が8000cm²/gクラスのスラグを

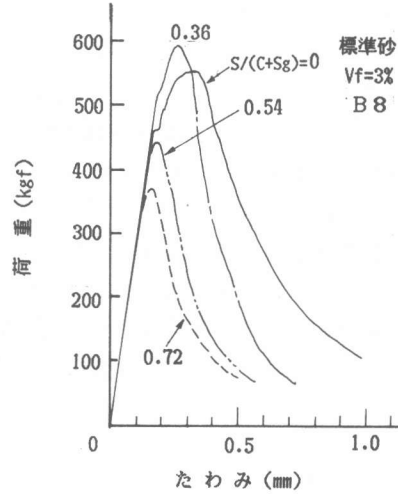


図-10 たわみに及ぼす砂結合材比の影響

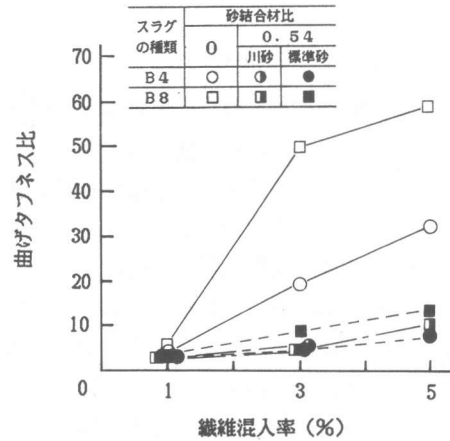


図-11 曲げタフネス比と繊維混入率の関係

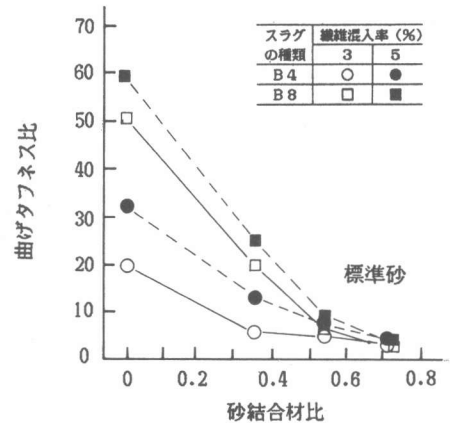


図-12 曲げタフネス比と砂結合材比の関係

用いることが必要である。

2) 粉末度の異なるいずれのスラグを用いても、砂結合材比が0.5程度であれば、容積比で3%の炭素繊維を混入することにより、繊維で補強しない場合の2~3倍の曲げ強度を得ることができた。しかし、圧縮強度の増加は期待できなかった。

3) スラグの粉末度が大きいほど、炭素繊維補強モルタルの曲げ強度および圧縮強度は一般に大きくなる。

4) 繊維混入率および砂結合材比は、たわみおよび曲げタフネスにも影響を与えるが、スラグの粉末度および砂の種類は、砂の量が多くなるとほとんど影響を与えない。

5) ブレーン値が $8000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのスラグを用いても、砂結合材比が0.7以上のモルタルを製造する場合には、モルタルの流動性を確保するために水結合材比を増加する等の考慮が必要である。

謝辞

本研究の実施において、炭素繊維は呉羽化学工業(株)、高炉スラグ微粉末は第一セメント(株)からそれぞれ提供頂いた。付記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 秋浜繁幸、末永龍夫、坂野 正：炭素繊維を用いたセメント系複合体(CFRC)の力学的性質に関する実験的研究、コンクリート工学 Vol.20, No.8, 1982, pp.75~84
- 2) 大浜嘉彦、天野幹夫：短繊維を用いた炭素繊維補強セメントの製造と性状、日本コンクリート工学協会、繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集、1984、pp.111~116
- 3) 大浜嘉彦、遠藤光弘、天野幹夫：ポリマー含浸炭素繊維補強セメントの強さ性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、1984、pp.157~158
- 4) 辻 幸和、古川 茂、大谷杉郎：各種混和材料を用いた炭素繊維補強セメントの製造、セメント技術年報、1986、pp.475~478
- 5) 古川 茂、辻 幸和、宮本正雄：短炭素繊維で補強したモルタルの力学的性状、セメント技術年報、1987、pp.455~458