

各種の石炭灰を組合せ混合したCLSM(低強度制御型材料)の基礎的性状

Basic properties of Controlled Low Strength Materials with various mix of coal ashes

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 奥村 英幸 (Hideyuki Okumura)
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 堀口 敬 (Takashi Horiguchi)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐伯 昇 (Noboru Saeki)

1. まえがき

近年、ますます産業廃棄物に対する規制が厳しくなってきたおり、その対応に迫られている。そのような状況下で、道内においても、年間に約60万トンの石炭灰が発生している。また、石炭の可採年数も約231年と示されており、今後もエネルギー資源としてその利用が予測される。

その石炭灰も、石炭火力発電所における国内炭から海外炭への切り替え、それに伴う炭種の分散化、環境問題による燃焼温度の低下などから、未燃炭素を多く含んだJIS規格外の石炭灰の発生量が増加している。未燃炭素は、石炭灰の有効利用を進める上で大きな問題となっている。そこで、本研究では、裏込め材や埋め戻し材の形態で、北米で利用されている、締固め不要で自己充填性のあるセメント系スラリー材料「Controlled Low Strength Materials (以下CLSM)」(低強度制御型材料)へ、規格外フライアッシュの有効利用性を検討していくために、石炭灰を用いたCLSMの基礎的性状を把握することを目的としている。

2. CLSM (低強度制御型材料)

CLSMは米国で普及しているスラリー状の埋め戻し材であり、ACI委員会では『材齢28日の圧縮強度が8.3N/mm²以下になるように制御されたセメント系スラリー材料』と定義されている。¹⁾この材料の最大の特徴は、再生資源を有効かつ経済的に活用できる点と、圧縮強度の最小値ではなく最大値が制限されている点にある。

この材料は、締固めをする裏込め材の代わりに考案された、締固め不要の裏込め材であり、特別な場合を除きコンクリートに必要な凍結融抵抗性や耐磨耗性や化学抵抗性などの性質は有していない。つまり、コンクリートとしての性質は満足していかなくとも現場での所要の性質を満足すれば、規格外の材料でも積極的に使うことができる。すなわち、リサイクル材料を特に手をかけて高品質なコンクリート材料にする必要がないため、規格外のフライアッシュをはじめボトムアッシュ、鋳物砂やガラス廃材などのコンクリート用材料としての規格・規定がない材料を有効的に利用することができる。

また、後者の特徴は、この材料が所要の強度以上の性能を有し、かつ長期的には一定強度以下(一般に8.3N/mm²以下)に制御されているということである。また将来、再掘削が予想される場合は、長期圧縮強度を2.0N/mm²以下(手動掘削の場合0.3N/mm²以下、機械掘削の場合0.7~1.4N/mm²)に制御をする必要があると示されている。¹⁾

国内でも、近年、建設省土木研究所ほかの共同研究報告書「流動化処理土利用技術マニュアル」²⁾もまとめられ、様々な流動化処理土の研究も進められており、火力発電所の地中埋設管の埋め戻し材として、短期的に大量の石炭灰が有効利用された例もある。³⁾

3. 試験概要

3.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.16、比表面積3180cm²/g)を用いた。セメント結合材にあたるフライアッシュは、表-1に示す品質の異なるフライアッシュ2種類(FA-A、FA-B)を用いた。A種はJIS規格Ⅱ種に相当し、B種はJIS規格外にあたる。細骨材には、表-2に示す品質の異なるクリンカアッシュ3種類(CA-A、CA-B、CA-C)を用いた。

表-1 フライアッシュの品質

種類	比重	強熱減量 (%)	比表面積 (cm ² /g)	主な化学成分 (%)			
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
A種	2.36	1.1	2940	46.0	30.5	7.4	5.0
B種	2.18	12.1	4490	39.2	29.8	5.0	6.2

表-2 クリンカアッシュの品質

種類	比重	吸水率 (%)	粗粒率	主な化学成分 (%)			
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
A種	1.91	9.1	3.29	63.2	17.9	8.8	2.3
B種	2.10	6.8	3.54	57.6	20.0	9.8	2.3
C種	1.72	30.1	2.82	67.1	20.0	7.5	0.6

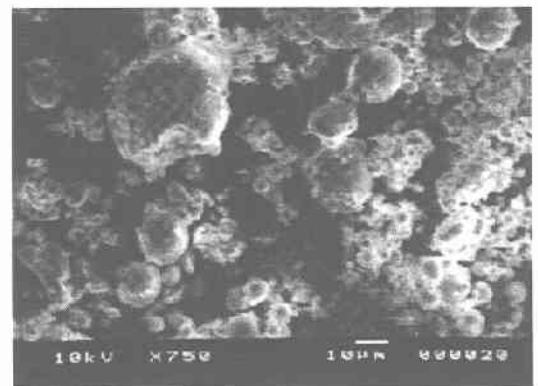


図-1 フライアッシュB種のSEM像

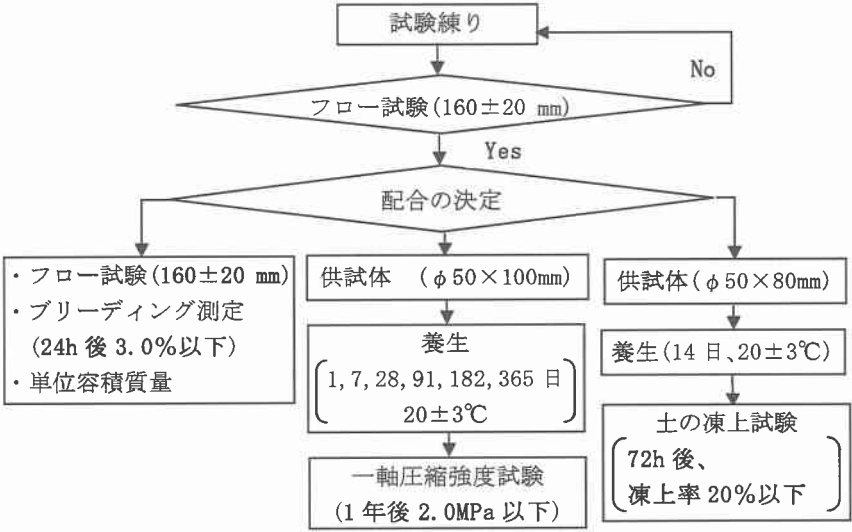


図-2 試験のフローチャート

3. 2 配合のケース

本研究における目標性状は、図-2 に示されている値とする。これらの値は、再掘削可能なセメント系スラリー材料として、裏込め材や埋め戻し材に適用できるように ACI の文献¹⁾及び、建設省土木研究所ほかの共同研究報告書「流動化処理土利用技術マニュアル」²⁾を参考とし試験練りを行い配合の決定した。

配合のケースを表-3 に示す。本研究では、フロー値及び単位セメント量を一定にして、フライアッシュ及びクリンカアッシュの品質、また、その混入率 c/a が異なることで、CLSM のフレッシュ性状、及び強度にどのような影響が現れるかを検討する。これら 20 配合のそれぞれの単位量は、表-3 に示されている範囲で変動している。

3. 3 試験方法

石炭灰を用いた CLSM を作るにあたって、今回は、再採掘可能な埋め戻し材程度の品質を得られるように試験練りを行い配合設計した。試験項目及び方法は図-2、表-4 に示す。本研究では、セメント結合材としてフライアッシュ、砂の代りにクリンカアッシュを用いて、目標スランプフロー $160\pm20\text{mm}$ を得るために、配合ごとに、単位水量を調整した。フロー値を測定するとともに、単位容積質量、ブリーディングの測定も行った。CLSM を打設後、 $\phi 50\text{mm}\times 100\text{mm}$ 供試体を作成し、室温 20 度前後で養生し、材齢 1、7、28、91、182、365 日後に一軸圧縮試験を行なった。また寒冷地での適用も考慮し、土の凍上試

表-4 供試体の製作方法と試験項目

試験項目	試験方法
練り混ぜ	ハンドミキサー 空練り 1 分 本練り調整
フロー値	JHS A 313 (シリンダー法)
ブリーディング	JSCE-F522
一軸圧縮強度	JIS A 1216
凍上試験	図-3 参照

験を行なった。凍上試験は、 $\phi 80\text{mm}\times 50\text{mm}$ 供試体を同配合で 3 本作成し、14 日間の養生後、北海道開発局による凍上試験に基づいて試験を行なった。気中温度は -6.0°C とし、水中温度は $+1.0^{\circ}\text{C}$ に設定する。所要時間は標準 72 時間とする。

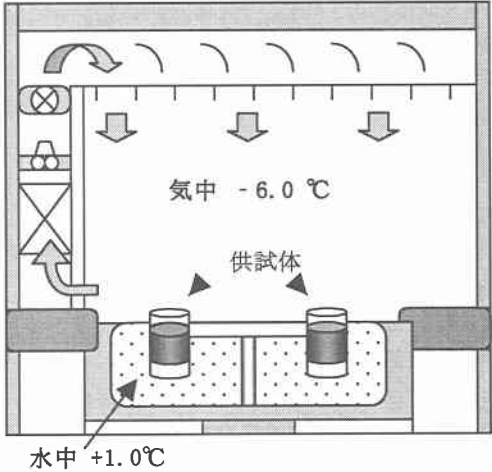


図-3 凍上試験機の概略図

4. 試験結果と考察

本研究における試験結果のまとめを表-5 に示す。すべての値が目標性状を満たしてはいないが、概ね良好な値をえることができた。

4. 1 フレッシュ性状

図-4 はブリーディングとクリンカアッシュの混入率

表-3 20 種類の配合の概要

配合	W	C	FA	CA	c/a
20 配合	調整	一定	2 品種	3 品種	4 水準
単位量 (kg/m^3)	219~536	40	413~1293	0~1049	0、30、50、70 (%)
詳細	8×8 (cm) のスランプコーンで、スランプフローが 160 ± 20 (mm) になるように単位水量を調整。	普通ポルトランドセメントを使用。	・JIS 規格Ⅱ種 ・JIS 規格外	比重は 1.72、1.91、 2.10 の 3 品種	c : クリンカアッシュ混入体積 a : フライアッシュとクリンカアッシュの合計絶対容積

表-5 試験結果のまとめ

種類	フロー値 (mm)	ブリーディ ング率 (%)	単位容積 質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (MPa)						凍上率 (%)
				1 日	7 日	28 日	91 日	182 日	365 日	
目標値	160±20	3.0 以下	—	2.0 以下						20 以下
FA-A 配合	150~180	1.54 ~6.67	1715 ~2056	0.14 ~0.27	0.35 ~0.93	0.56 ~1.33	0.86 ~1.47	1.10 ~1.48	1.55 ~1.99	0.7 ~1.5
FA-A 配合	140~180	3.08 ~6.25	1338 ~1950	0.12 ~0.28	0.27 ~0.56	0.49 ~0.83	0.52 ~1.32	1.04 ~1.81	1.47 ~2.39	0.4 ~1.5

c / a との関係を示したものである。FA-B を使用した場合が FA-A を使用した場合に比べて、ブリーディング率が大きくなるのがわかる。これは、B 種の配合のほうが一定のフロー値を得る単位水量が多いことが影響していると考えられる。また、クリンカアッシュを混入することで、ブリーディングを減らすことができる。しかし、c / a が 70% を超えると、逆に 50% 混入した時よりもブリーディングは大きくなる傾向にある。これは、クリンカアッシュを混入するにつれて単位水量が減少していくが、c / a が 70% を超えてしまうと逆に粉体量が少なくなり、保水力がなくなってしまうためと考えられる。

4. 2 強度特性

図-5 は、FA-A の配合と FA-B の配合の一軸圧縮強度を、同じ c / a の配合の場合で比較したものである。ほぼ、 $y = x$ の直線上にプロットされていることから、フライアッシュの A 種と B 種による、大きな一軸圧縮強度の違いは見られなかった。また、早期材令においては FA-A の配合の方が強度は大きく、長期材令においては FA-B の配合の方が強度は大きくなる傾向にある。

図-6, 7 より、材令により強度が増進しており、再掘削可能である 2.0MPa を超える配合もある。特に、FA-B の配合において長期強度の増進が顕著である。CLSM の強度は図-8 の SEM 像に存在する水和物に起因していると考えられる。また、多量のフライアッシュを使用していることから、ポゾラン反応が進行したことも推測で

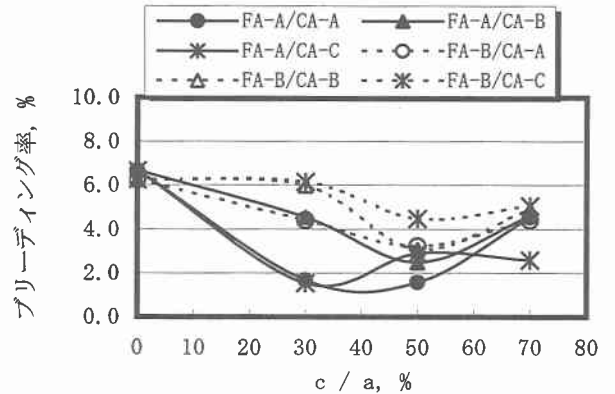


図-4 c/a によるブリーディングへの影響

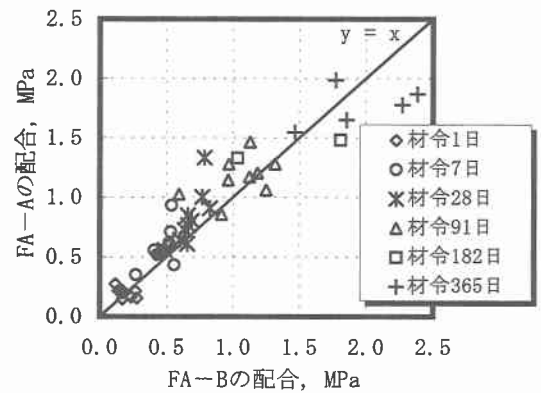


図-5 フライアッシュの品質と圧縮強度との関係

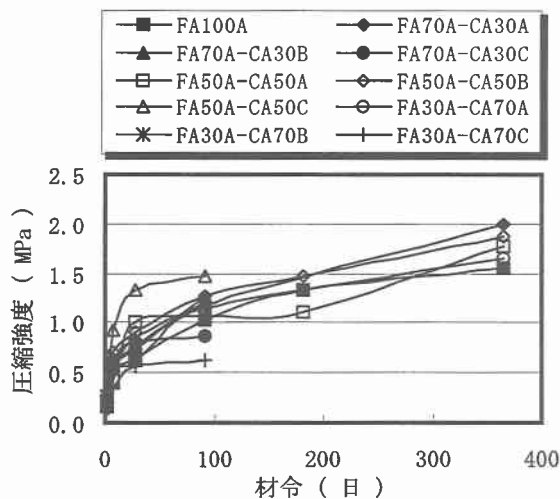


図-6 FA-A配合の材令と圧縮強度

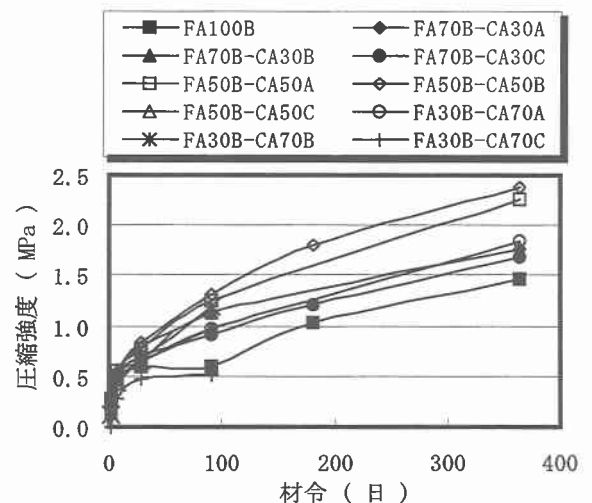


図-7 FA-B配合の材令と圧縮強度

きる。

図-9 より、 c/a が 50% のときに強度の最大値が表れる傾向にある。これは粒度の異なる FA と CA が、 c/a が 50% のとき最も緻密な充填構造となり、結合力が向上したためだと考えられる。

図-10, 11 より、クリンカアッシュの品質による強度へ影響は、比重および粗粒率に対して正の相関となることがわかる。

4. 3 耐凍上性

図-12 は凍上試験の結果である。グラフより、どの供試体も 76 時間の凍上試験中、供試体の高さの変化は、約 1.0mm の範囲内にとどまり、耐凍上性を有している。FA100 の供試体には試験終了後、亀裂が観察されたが CA を混合した供試体では認められなかった。この違いは、CA の多孔質性に起因していると考えられ、CA の空隙中に水が取り込まれ、アイスレンズによる凍上を抑制したためだと考えられる。

5. まとめ

- ①本研究で使用した規格外のフライアッシュであれば、大きな品質上の問題はなく CLSM に適用することができ、リサイクルの立場からも有効的な手段であることが判明した。
- ②CLSM はフライアッシュの品質により、長期強度の増進は大きく異なるので、将来再掘削を必要とするところに適用する場合は注意が必要である。
- ③クリンカアッシュの品質を考慮し、CLSM に適切な配合でクリンカアッシュを混入することは、ブリーディング、強度、凍上に対して有効的である。

参考文献

- 1) Wayne S. Adaska : Controlled Low Strength Materials, Concrete International, ACI, pp41-43, Vol.19, No. 4, 1997
- 2) 建設省土木研究所ほか：流動化処理土の利用技術に関する共同研究報告書一流動化処理土マニュアル、1997. 3
- 3) 斎藤宏彰：石炭灰スラリーの循環水管埋戻し材への適用、技術開発ニュース、No. 89、2001. 3

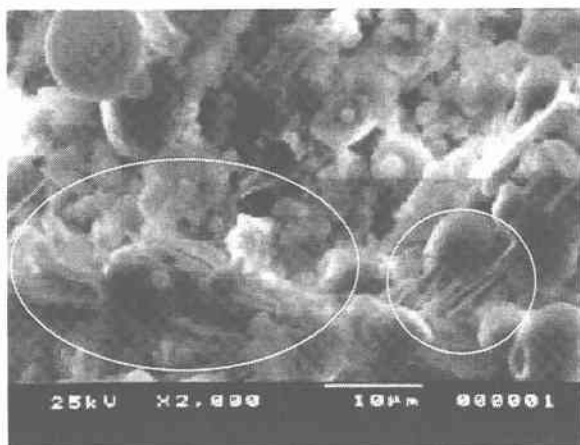


図-8 CLSM の SEM 像(フライアッシュと水和生成物)

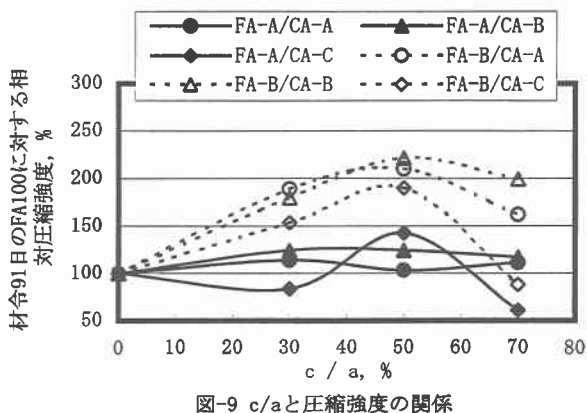


図-9 c/a と圧縮強度の関係

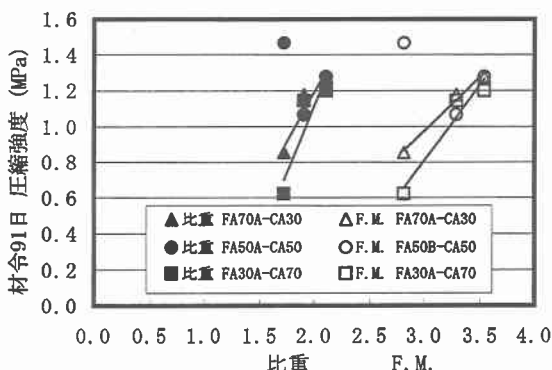


図-10 FA-A 配合によるクリンカアッシュの比重、粗粒率と圧縮強度の関係

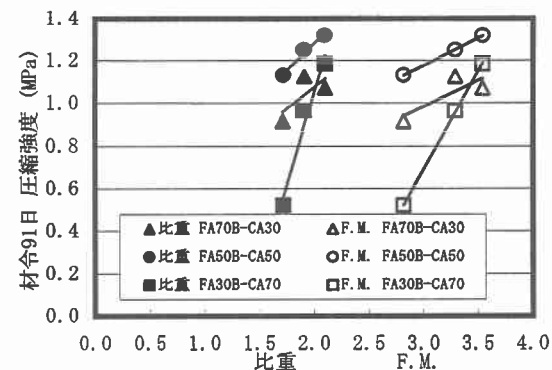


図-11 FA-B 配合によるクリンカアッシュの比重、粗粒率と圧縮強度の関係

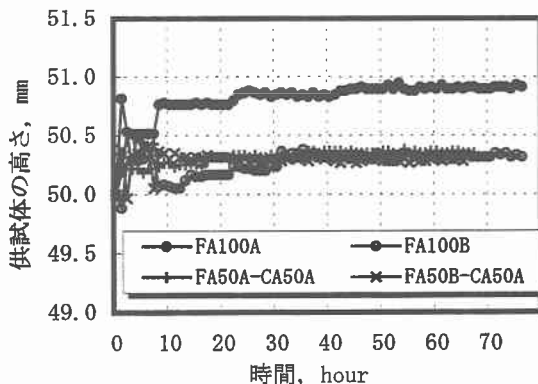


図-12 凍上試験による供試体高さ変化