

埋戻し材用低強度モルタルへのリサイクル材料の 適用に関する実験的検討

EXPERIMENTAL STUDY ON APPLICATION OF RECYCLED MATERIALS
TO LOW-STRENGTH MORTAR FOR BACKFILLING

佐藤重悦*・加賀谷誠**

by Juetsu SATO and Makoto KAGAYA

1. はじめに

低強度モルタルは、アメリカでは Controlled Low-strength Materials と呼ばれ、裏込め材や埋戻し材など、適用する場所によって選定された強度のものが用いられている。機械掘削が可能な圧縮強度は一般に 2N/mm^2 以下であって、 $0.3\sim 0.7\text{N/mm}^2$ の低強度モルタルは良く締固められた土と同程度の強度であり容易に機械掘削でき、埋戻し材としての強度も十分有している¹⁾。日本では、建設汚泥の再利用のため流動化処理土を裏込め材や埋戻し材に用いている^{2)~4)}が、この種のモルタルに関する研究は少ないと思われる。

低強度モルタルの主な特徴は、①自己充填性を有し打設が容易で施工の省力化が可能、②通常の締固め土や砂質土より支持力が大きく透水性が低い、③掘削が可能、④フライアッシュ、他の副産物やリサイクル材料の有効利用が可能、など⁵⁾が挙げられる。

一方、最近のフライアッシュは電力の負荷調整を目的とした火力発電所のボイラーの燃焼調整や産炭地の異なる石炭の混焼により、品質の変動が大きくなる傾向にある。また、2007年時点の石炭火力発電の設備容量は、現状の2倍の約4,400万kWとなる予定であり、これに伴い排出される石炭灰は、電気事業全体で現状の約500万トンから約900万トンとなることが予想され⁶⁾、再利用できる用途の拡大が望まれている。

本研究では、将来機械掘削する場所に使用する埋戻し材用低強度モルタルを対象とした。このため、秋田県内で発生したリサイクル材料であるカレット、再生細骨材およびフライアッシュを用いて、セメントの使用量を極力抑えた低強度モルタル(目標フロー値250以上⁷⁾、目標圧縮強度範囲 $0.3\sim 2\text{N/mm}^2$)の製造を試み、使用した材料の種別が低強度モルタルに及ぼす影

響および要求性能を満足する配合の選定方法について実験的検討を加えた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) 細骨材

細骨材としてカレットおよび再生細骨材を使用した。カレットKは、主としてソーダガラスの瓶を秋田市が回収・粉砕してふるい分けしたものであって、5mm以下の未洗浄のものを使用した。再生細骨材は、秋田県田代町の建造後約60年経過した橋梁の解体時に発生したコンクリート塊から製造された。このコンクリート塊を利用して再生粗骨材を製造する際に発生した5mm以下のものを再生細骨材Rとした。表1にこれらの物理的性質を示す。

(2) フライアッシュ

フライアッシュとして秋田県能代産のⅡ種に相当する3種類Fa、FbおよびFcを使用した。表2にフライアッシュの物理的性質を示す。

(3) セメント

低強度モルタルの圧縮強度を調節するため、普通ポルトランドセメントCおよび初期強度を得るため早強ポルトランドセメントHを使用した。表3にセメントの物理的性質を示す。

(4) 混和剤

材料分離抵抗性および所要の流動性を得るために、混和剤として変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸および活性持続ポリマーを主成分とする高性能AE減水剤SPを20%希釈溶液として使用した。

2.2 練混ぜ方法およびフロー試験

モルタルの練混ぜは、JIS R 5201に規定された練混ぜ機を使用し、機械練りによって行った。練り鉢に練混ぜ水以外の材料を入れ、直ちに低速で30秒間練混ぜた。練混ぜ水を入れて低速でさらに30秒間練混ぜ、練混ぜを休止してモルタルの均一性を確認後、再び低速で90秒間練混ぜた。練混ぜ時間は休止時間を除き2分

*東北職業能力開発大学校附属秋田職業能力開発短期大学校助教授 住居環境科(〒017-0805 秋田県大館市宇扇田道下6-1)、**秋田大学教授 工学資源学部土木環境工学科

表1 細骨材の物理的性質

試験項目	カレット K	再生細骨材 R
粗粒率	3.99	3.23
表乾密度(g/cm ³)	2.50	2.30
吸水率(%)	—	11.32
単位容積質量(kg/l)	1.49	1.27
微粒分量(%)	1.4	4.9

表2 フライアッシュの物理的性質

試験項目	Fa	Fb	Fc
強熱減量(%)	1.43	2.10	3.17
密度(g/cm ³)	2.33	2.26	2.38
比表面積(cm ² /g)	3,840	3,530	4,330

30秒であった。フロー試験を JIS R 5201 に準じて行い、フローテーブル落下前および落下後のフロー値を測定し、落下前フロー値およびフロー値とした。このとき、フローコーンにモルタルを1層で打込み、突き棒による締固めを行わなかった。まず細骨材としてカレット、フライアッシュ Fa を用いたセメント添加率 C/(F+C)=1% の場合の落下前フロー値およびフロー値を、W/(F+C)、S/(F+C) および SP 添加率を変化させて測定した。次にフライアッシュ Fa を用いた場合とほぼ等しい表4-1 の配合で Fb および Fc を用いた場合の検討を行い、目標フロー値を得るための W/(F+C)、S/(F+C) および SP 添加率を決定した。その結果得られた配合でブリーディング試験を行い材料分離の検討を行った。

次に再生細骨材を用いた場合の配合をカレットと同様の手順で検討した。表4-2 に目標フロー値を満足した再生細骨材 R と各種フライアッシュを使用したモルタルの配合を示す。なお、表4-1 中の配合種別において示した KFa1 の K は細骨材種別においてカレット、Fa はフライアッシュ種別においてフライアッシュ Fa を用いたことを示し、1 はセメント添加率 1% を示す。また空気量を質量法により測定した。

2. 3 供試体の製造および強度試験方法

目標フロー値が得られた配合を用いて製造したモルタルを三連型枠に流し込み、締固めなしで供試体を製造し 20℃、95%RH の恒温恒湿機内に静置した。製造の翌日、機内から取り出し成形後再び機内に戻し、2日後に脱型して実験室内(約13~37℃)において表面水率3~5%の湿砂中で養生し、所定の材齢経過後 JIS R 5201 に準じて強度試験を行った。目標強度を満足するセメント添加率を決定するにあたり、細骨材およびフライアッシュ種別ごとにセメント添加率を0~10%の範囲で変化させて、材齢7~182日の圧縮強度を求めた。また、表4-1 の配合 KFa1 について、普通および早強ポルトランドセメントを用いたモルタルを製造し、材

表3 セメントの物理的性質

試験項目	普通 C	早強 H
強熱減量(%)	2.27	1.29
密度(g/cm ³)	3.15	3.13
比表面積(cm ² /g)	3,310	4,580

表4-1 低強度モルタルの配合 (K 使用)

配合種別	W/(F+C) (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				SP 添加率 (F+C)×%
			W	F	C	S	
KFa1	40	4.5	311	769	8	777	0.4
KFb1	40	3.0	312	774	8	782	および
KFc1	40	2.0	321	797	8	805	0.6

表4-2 低強度モルタルの配合 (R 使用)

配合種別	フロー値	W/(F+C) (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				SP 添加率 (F+C)×%
				W	F	C	S	
RFa1	285	40	2.0	310	768	8	776	0.4
RFb0	280	50	2.0	307	615	0	922	0.4
RFc10	260	70	2.0	389	501	56	834	0.3

齢7および28日の強度を比較して、セメント種別が初期強度に及ぼす影響を検討した。さらに、表4-1 の配合 KFa1 のモルタルを製造の翌日成形後脱型せずにそのまま前述の恒温恒湿機内で養生し、材齢 28 および 91 日の圧縮強度を湿砂養生の場合と比較した。

3. 結果および考察

3. 1 カレットを用いた場合のフライアッシュによる ASR 抑制効果の確認

図1に普通モルタル N-C、N-C の細骨材としてカレットを用いた K-C および K-C のセメントの一部をフライアッシュで置換えたモルタル K-Fa のモルタルパー法による材齢 182 日の膨張率および曲げ強度の試験結果を示す。フライアッシュの置換率、水結合材比およ

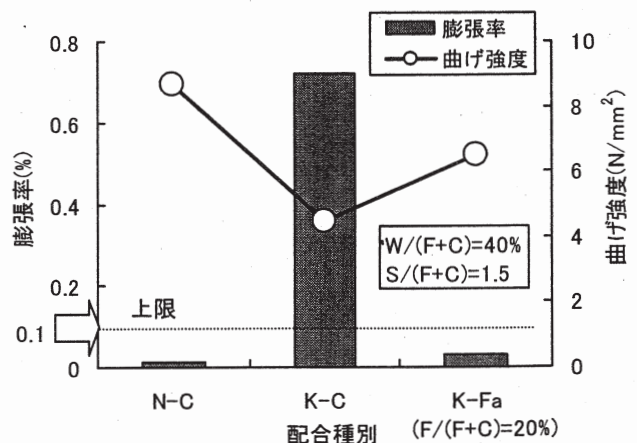


図1 フライアッシュによるASR抑制効果

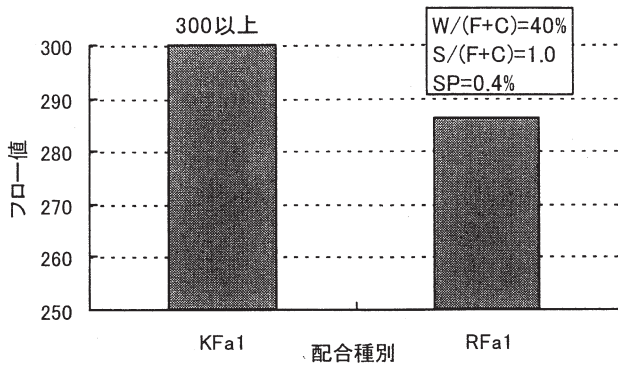


図2 細骨材種別ごとのフロー値

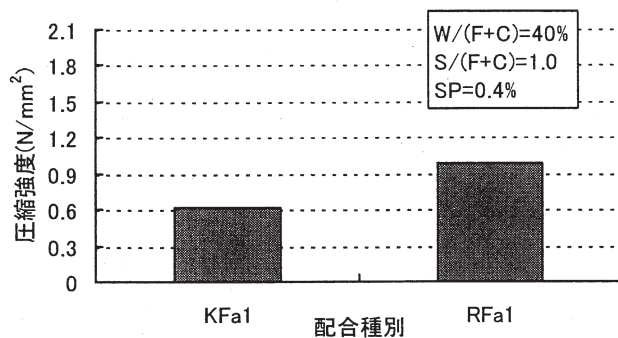


図3 細骨材種別ごとの材齢91日の圧縮強度

び細骨材結合材比は図に示すとおりである。図より、細骨材を普通骨材とした場合、ASRが発生することはないが、カレットとした場合、これが発生し、曲げ強度が低下することがわかる。しかし、セメントの一部をフライアッシュと置換えることによりASRの発生を抑制できることが確認できた。本研究で対象とするモルタルは、セメント量が極端に少ないモルタルであり、さらにフライアッシュを多量に用いるためASRを抑制できると判断される。以下の節では、カレットを用いた場合を主として示し、一部再生細骨材を用いた場合との比較を示す。

3. 2 細骨材種別がフロー値および強度に及ぼす影響の検討

(1) フロー値

図2にフライアッシュ Fa を用いた場合の細骨材種別ごとのフロー値を示す。W/(F+C)=40%、S/(F+C)=1.0 および SP 添加率を 0.4%とした場合のフロー値は、カレットおよび再生細骨材を用いた場合、それぞれ 300 以上および 286 となり、材料分離はみられず目標値となった。カレットを用いた場合のフロー値が再生細骨材を用いた場合より大きくなった原因は、カレットの粗粒率が再生細骨材よりも大きいことおよびカレットの粒子表面が平滑であることが考えられる。

(2) 強度

表5 フライアッシュの品質の変化がフロー値に及ぼす影響

配合種別	SP 添加率 ((F+C)×%)	
	0.4	0.6
KFa1	300 以上	300 以上
KFb1	測定不可	213
KFc1	測定不可	測定不可

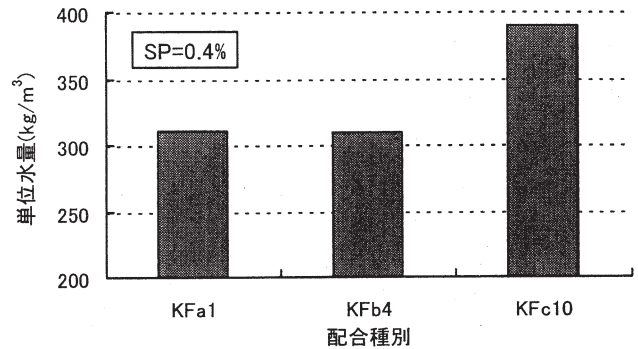


図4 フライアッシュ種別ごとの単位水量

図3にフライアッシュ Fa を用いた場合の細骨材種別ごとの材齢 91 日の圧縮強度を示す。用いた配合は、図2に示したものと同一である。カレットおよび再生細骨材を用いた場合の圧縮強度は、それぞれ 0.62 および 0.99 N/mm² となり、目標値を満足した。カレットを用いた場合の圧縮強度が再生細骨材を用いた場合より小さくなった原因は、カレット粒子の表面が平滑なため付着力が小さいことおよび再生細骨材中の未水和セメント分の水和が強度の増進に寄与したことが考えられる。

3. 3 フライアッシュ種別がフロー値および強度に及ぼす影響の検討

(1) フロー値

表5にフライアッシュの品質の変化がフロー値に及ぼす影響を示す。Fa を用いた場合のフロー値は、SP 添加率が 0.4 および 0.6%の場合ともに 300 以上となり目標フロー値 250 以上が得られ、材料分離はみられなかった。同じ配合で Fb を用いた場合のフロー値は、SP 添加率 0.4%では硬練りで測定不可、SP 添加率 0.6%では 213 となり目標フロー値には達しなかった。同様に Fc を用いた場合のフロー値は、SP 添加率 0.4 および 0.6%の場合ともに硬練りで測定不可となった。このため同じ配合での比較は不可能と判断し、目標フロー値を満足する配合を求めて、これにより比較することにした。

図4に目標フロー値を満足したフライアッシュ種別ごとの単位水量を示す。SP 添加率は 0.4%の一定とした。Fa および Fb を用いた場合の単位水量はそれぞれ 310

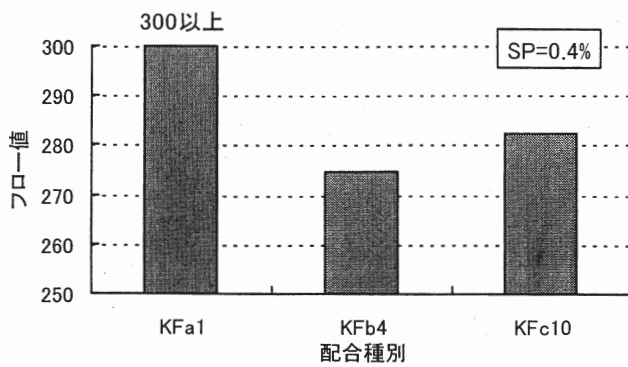


図5 フライアッシュ種別ごとのフロー値

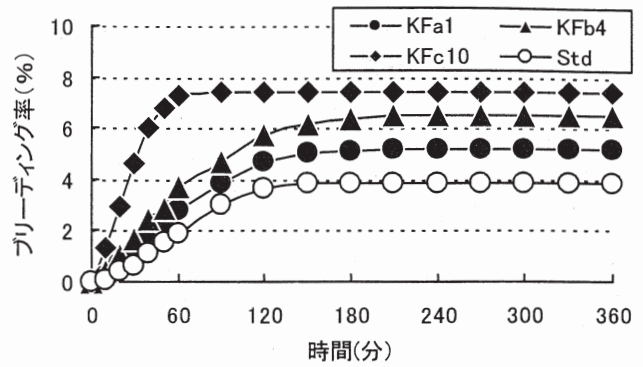


図6 ブリーディング率の経時変化

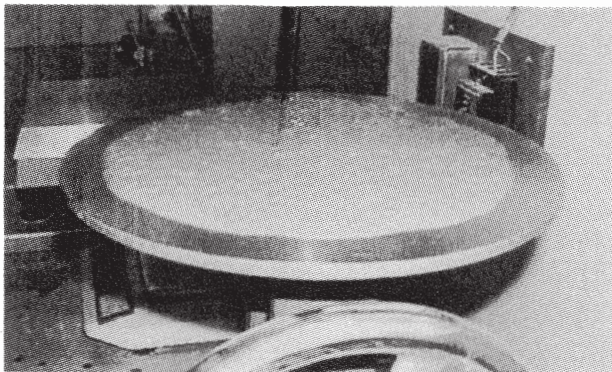


写真1 低強度モルタルの流動状況

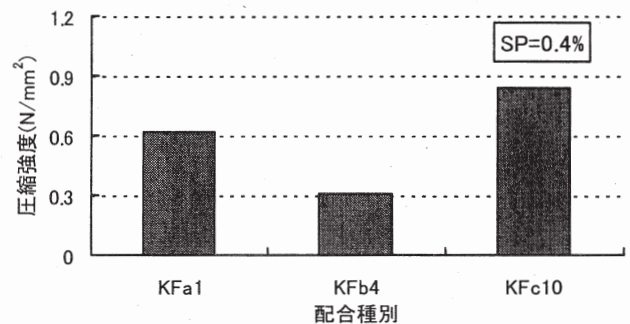


図7 フライアッシュ種別ごとの材齢91日の圧縮強度

および 311 kg/m^3 となった。W/(F+C)は Fa および Fb に対してそれぞれ 40 および 50%であるが、S/(F+C)がそれぞれ 1.0 および 1.5 となった。Fc を用いた場合の単位水量は 389 kg/m^3 となり Fa および Fb を用いた場合より 25%程度大きくなった。Fc を用いた場合の W/(F+C)は 70%であり、S/(F+C)は Fb を用いた場合と同じ 1.5 であった。再生細骨材を用いた場合は表4-2 に示し、同様の傾向となった。フライアッシュ種別が単位水量に及ぼす影響は大きく、その原因は主として強熱減量および比表面積の違いによると考えられる。

図5に目標フロー値を満足したフライアッシュ種別ごとのフロー値を示す。フライアッシュの品質の変化に応じて、W/(F+C)およびS/(F+C)を変化させることにより、材料分離を起こさず目標フロー値となる配合を得ることができた。写真1にモルタルの流動状況を示す。

(2) ブリーディング

図6に目標フロー値を満足したフライアッシュ種別ごとのブリーディング率の経時変化を示す。図中 Std は、天然樹脂酸塩を主成分とする AE 剤を用いたフロー値 210 程度の普通モルタル (単位水量 277 kg/m^3) を示す。低強度モルタルのブリーディング率はフライアッシュ種別により異なり、普通モルタルより大きくなった。その原因は主として単位水量の違いおよびセ

メント量が少ないことによると考えられる。なお、埋戻し材であっても地下水の低下がある場合や覆土の薄い場合において、水分の移動に伴う体積変化が生じることが考えられる。この点については、さらに検討する必要がある。

(3) 強度

図7に目標フロー値を満足したフライアッシュ種別ごとの材齢 91 日の圧縮強度を示す。フライアッシュ Fa、Fb および Fc に対してセメント添加率をそれぞれ 1、4 および 10%とした場合の圧縮強度は、それぞれ 0.62 、 0.31 および 0.83 N/mm^2 となり、目標圧縮強度範囲 $0.3 \sim 2 \text{ N/mm}^2$ を満足した。目標フロー値を得るために Fa、Fb および Fc に対して W/(F+C)はそれぞれ 40、50 および 70%、S/(F+C)はそれぞれ 1.0、1.5 および 1.5 となり、W/(F+C)およびS/(F+C)の増大に応じてセメント添加率を大きくすることにより、目標圧縮強度を得ることができた。

3. 4 セメント種別および脱型の有無が強度に及ぼす影響の検討

図8に配合 KFa1 におけるセメント種別ごとの材齢 7 および 28 日の圧縮強度を示す。材齢初期における強度の増進を期待して早強ポルトランドセメントを使用した。セメント種別による影響はみられなかった。これはセメント量が少ないことによると考えられる。

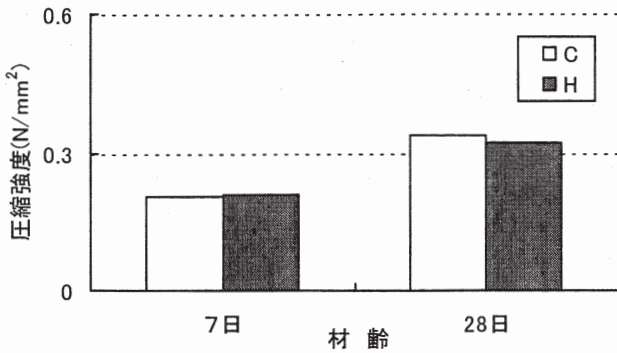


図8 セメント種別ごとの圧縮強度(KFa1)

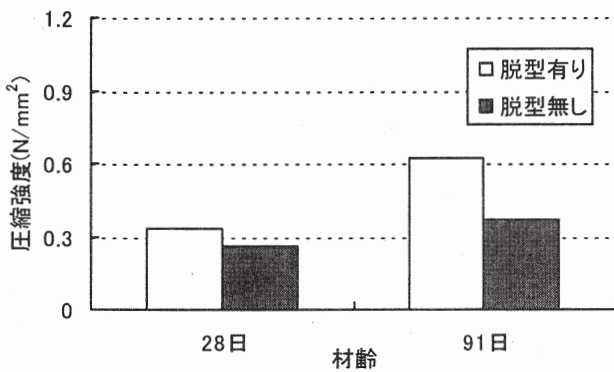


図9 脱型の有無と圧縮強度の関係(KFa1)

図9に配合 KFa1 における脱型の有無と圧縮強度の関係を示す。材齢 28 および 91 日の圧縮強度はいずれも脱型有りが脱型無しより大きくなった。脱型作業に伴う供試体への衝撃などによる強度の低下を危惧したが、それ以上に恒温恒湿機内と湿砂中の養生環境の違いによる影響が大きかったため、脱型無しの強度が小さくなったと考えられる。実施工においては、脱型無しで湿潤状態の土中に埋設されることから、強度発現上の問題は無いと考えられる。

3. 5 フロー値および強度の目標値を満足する配合の選定方法

図 10 に目標フロー値が得られた範囲での全配合の落下前フロー値とフロー値の関係を示す。両者の間には直線関係が認められ、目標フロー値の 250 以上を確実に得るためには、落下前フロー値で 200 以上を目標値にすれば良いと考えられる。また配合によってはフロー値が 300 以上となり、フローテーブル上で測定できない場合がある。このため低強度モルタルの流動性を評価する方法として、落下前フロー値により判定する方法を使用できると考えられる。

配合選定するために、まずフライアッシュ、細骨材、水および高性能 AE 減水剤を用いてモルタルを製造し、目標フロー値が得られる配合を求め、そして圧縮強

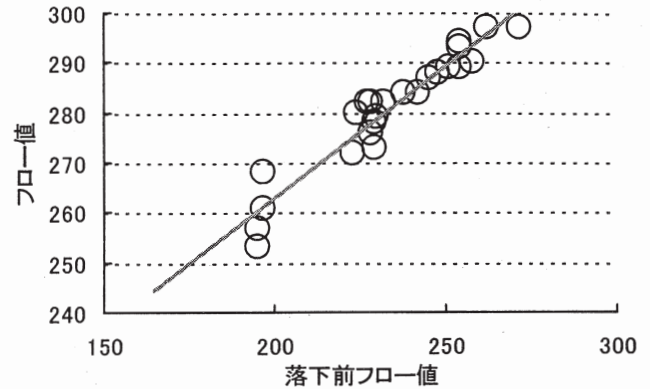


図10 落下前フロー値とフロー値の関係

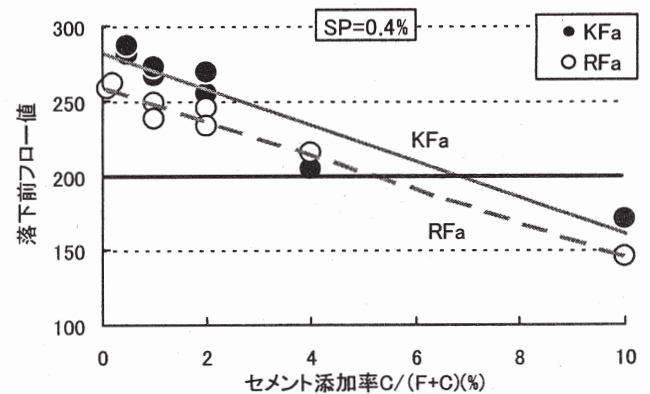


図11 セメント添加率と落下前フロー値の関係

度を調節するためにセメント添加率を変化させる必要があることから、セメント添加率がフロー値に及ぼす影響の検討を加えた。

図 11 にフライアッシュ Fa を用いた場合の細骨材種別ごとのセメント添加率と落下前フロー値の関係を示す。図中、横太線は目標フロー値が得られる限界値を示す。カレットおよび再生細骨材を用いた場合ともに、セメント添加率の増加に伴い、落下前フロー値が減少する傾向がある。他のフライアッシュを用いた場合においても同様の傾向が得られた。この結果より、目標フロー値が得られるセメント添加率は、KFa の場合 6% 以下、RFa の場合 4% 以下となった。

次に強度についての検討を行った。図 12 に一例として、KFa1 および RFa1 の配合における細骨材種別ごとの材齢と圧縮強度の関係を示す。低強度モルタルの圧縮強度は、カレットおよび再生細骨材を用いた場合ともに、材齢 91 日以後ほぼ一定値となる傾向がみられた。このことから、フライアッシュを用いた低強度モルタルの強度は、材齢 91 日の圧縮強度によって、目標圧縮強度範囲に達しているか否か検討することができると判断される。

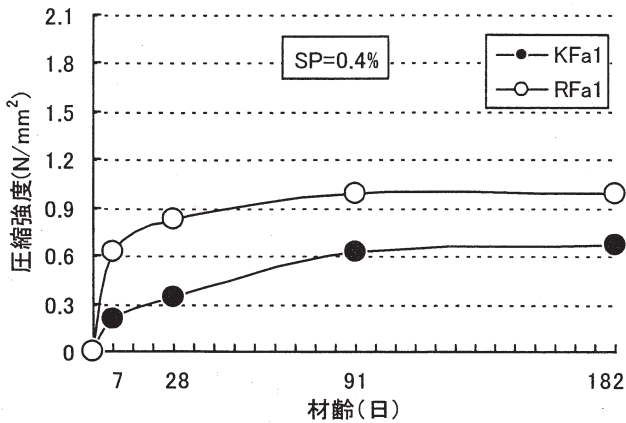


図12 材齢と圧縮強度の関係

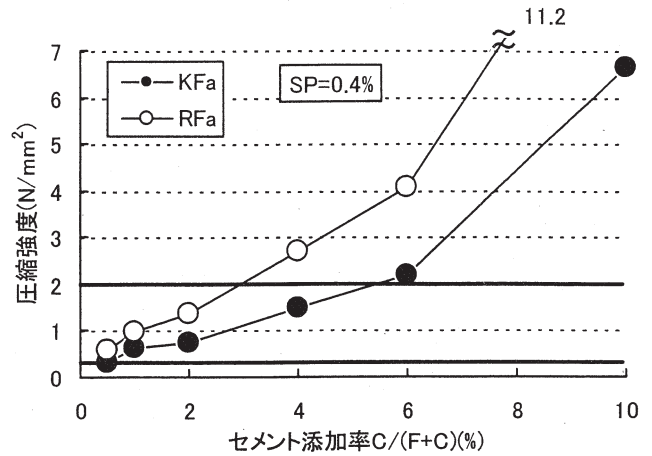


図13 セメント添加率と材齢91日の圧縮強度の関係

図13にフライアッシュ Fa を用いた場合の細骨材種別ごとのセメント添加率と圧縮強度の関係を示す。図中、横太線は目標圧縮強度範囲を示す。図より、セメント添加率の増加に伴って、強度は増加する傾向にあり、KFa の場合 0.5~6%、RFa の場合 0~3%において目標とする低強度モルタルが得られた。

以上の結果より、フロー値および強度の観点から、セメント添加率は KFa の場合 0.5~6%、RFa の場合 0~3%となる配合を選定すれば良いと考えられる。また、品質の異なるフライアッシュを用いた場合であっても、同様の手法で配合を選定することができた。

4. 結論

リサイクル材料であるカレット、再生細骨材およびフライアッシュを用いて、埋戻し材として自己充填性（目標フロー値 250 以上）および十分な強度（材齢 91 日の圧縮強度 0.3~2 N/mm²）を有し、機械掘削が可能な低強度モルタルについて、実験的検討を加えた結果、以下の結論が得られた。

- (1) カレットを用いた場合のフロー値は、再生細骨材を用いた場合よりも大きく、材齢 91 日の圧縮強度は、再生細骨材を用いた場合よりも小さくなった。
- (2) 使用するフライアッシュの品質が変動することにより、目標フロー値が得られる配合は異なる。
- (3) 普通および早強セメントの違いが初期強度に及

ぼす影響はみられなかった。また、脱型の有無が強度に及ぼす影響よりも、養生環境の違いにより強度は変化し、湿砂養生により強度発現が認められた。

- (4) フライアッシュの品質が変化した場合であっても、セメント添加率とフロー値および材齢 91 日の圧縮強度の関係を求めることにより、これらの目標値を満足する配合を求めることができる。

参考文献

- 1) W. S. Adaska: Controlled Low-Strength Materials, Concrete International, Vol.19, No.4, pp.41-43(1997)
- 2) 鈴木健夫 他：ソイルセメント連続壁における余剰泥土のリサイクル処理，材料，Vol.49, No.1, pp.46-49(2000)
- 3) 澤 孝平 他：石炭灰を利用した建設泥土の固化処理，材料，Vol.49, No.3, pp.348-351(2000)
- 4) 勝見 武：廃棄物の有効利用のための地盤改良技術，材料，Vol.49, No.10, pp.1160-1166(2000)
- 5) 土木学会：資源有効利用の現状と課題，コンクリートライブラリー96，pp.136-137(1999)
- 6) 金津 努：フライアッシュの JIS 改定，コンクリート工学，Vol.37, No.8, pp.19-20(1999)
- 7) 桜田良治 他：フライアッシュを多量に使用した自己充填モルタルの基本特性，第 25 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集，p.60(1998)

(2001年5月9日受付 2001年7月10日受理)