論文　３種フライアッシュを使用した高流動コンクリートの諸性状

本田　悟*1・椎葉大和*2

要旨：３種フライアッシュを使用した高流動コンクリートの流動性，間げき通過性，分離抵抗性および強度性状に及ぼすフライアッシュ置換率および水結合材比の影響に関して検討した。その結果，３種フライアッシュを使用した高流動コンクリートは２種フライアッシュを使用した場合に比べて全般に粘性が高いが，水結合材比45%程度では間げき通過性は良好であり，２種フライアッシュと併用すれば粘性も低く，間げき通過性も良好となる。また，ブリーディング量は極端に少ないが，凝結時間，圧縮強度，引張強度および静弾性係数は２種を使用した場合と大差ないことが判明した。

キーワード：３種フライアッシュ，高流動コンクリート，粘性，間げき通過性，分離抵抗性

1.　まえがき

1999年のJIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」の改訂により，フライアッシュが４等級（１～４種）に区分され，従来コンクリート用混和材として利用できなかった低品質フライアッシュも強熱減量が緩和された３種および比表面積が緩和された４種として制定された。それに合わせてフライアッシュの有効利用の促進を図るため，日本建築学会により「フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針（案）・同解説」が作成された。しかしながら，この指針では３種および４種を使用したコンクリートに関しては資料の蓄積が十分でないという理由で，基本的な仕様のコンクリートでは１種および２種を用いるという制限が設けられている。

そこで本研究では，３種フライアッシュの有効利用を目的として，３種フライアッシュを使用した高流動コンクリートの諸性状について検討した。

2.　実験概要

本研究では，３種フライアッシュを単独で使用した際の高流動コンクリートの諸性状を検討するとともに，２種フライアッシュと併用した際の諸性状についても検討を加えた。

2.1　使用材料

使用材料は**表－１**に示すとおりで，フライアッシュ（**表－２**）は２種（F2）および３種４種類（F31～F34）の計５種類を用いた。

2.2　調合

コンクリートの調合条件は**表－３**に示すとおりで，所定のスランプフローおよび空気量が得られるように高性能ＡＥ減水剤およびＡＥ助剤で調整した。なお，３種混入率は３種フライアッシュの全フライアッシュ量に対する容積比である。

表－１　使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント，密度：3.15g/cm^3
細骨材	除塩海砂，表乾密度：2.56g/cm^3，F.M.：2.31
粗骨材	花こう岩系砕石，表乾密度:2.80g/cm^3，実積率:57.1%
混和材	フライアッシュ，５種類（**表-2**参照）
混和剤	高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系） AE助剤（フライアッシュ用）

表－２　フライアッシュの品質

項目 試料	二酸化けい素 (%)	湿分 (%)	強熱減量 (%)	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	フロー値比 (%)	活性度指数(%) 28日	活性度指数(%) 91日	JIS 区分
F2	60.5	0.2	0.9	2.29	2970	116	80	102	2種
F31	67.0	0.3	6.0	2.20	5070	95	80	101	3種
F32	71.7	0.2	5.4	2.19	4940	95	92	100	3種
F33	48.2	0.2	6.1	2.28	4800	93	87	93	3種
F34	62.8	0.2	6.1	2.27	2780	95	80	91	3種

*1　福岡大学助手　工学部建築学科（正会員）
*2　福岡大学教授　工学部建築学科　工博（正会員）

2.3　練混ぜ

コンクリートの練混ぜには2軸強制練りミキサ（容量：50L）を使用し，粗骨材以外の材料を一括投入し，目視により練混ぜ状態を判断して2～7分間練り混ぜた後，粗骨材を投入しさらに1分間練り混ぜた。

2.4　試験項目

試験項目は**表－4**に示すとおりで，フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価試験としては，スランプフロー，Ｌフロー，Ｖロート，リング貫入および円筒貫入試験を実施した。また，フレッシュコンクリートの経時変化の測定は，コンクリートをらせん羽根付きアジテータ（容量：100L，回転数：2 r.p.m.）に移行し，30分毎に練り板に排出し，90分間実施した。

表－３　調合条件

水結合材比 (%)	置換率※ (%)	３種※※ 混入率 (%)	単位水量 (kg/m³)	単位粗骨材かさ容積 (m³/m³)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)
35	30,40,50	0,25,50 75,100	170	0.50	65±5	4.5±0.5
40,45	40	0,100				

※結合材容積に対して内割り，※※ 25,50,75%は F31 のみ実施

表－４　試験方法および関連規格

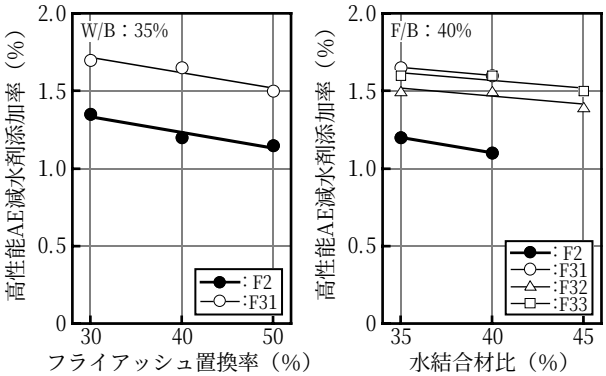
試験項目	試験方法および関連規格
スランプフロー	JASS 5T-503 に準じ，スランプフローおよびフロー 50cm 時間を測定
Ｌフロー	文献[1)]に準じ，Ｌフロー30cm速度を測定
Ｖロート	文献[1)]に準じ，流下時間を測定
リング貫入	文献[1)]に準じ，初回沈下速度および沈下速度比を測定
円筒貫入	文献[1)]に準じ，流入モルタル値を測定
空気量	JIS A 1128 に準拠
ブリーディング	JIS A 1123 に準拠
凝結	JIS A 6204 附属書１に準拠
圧縮強度 静弾性係数 引張強度	JIS A 1108，JIS 原案および JIS A 1113 に準じ，標準養生後，材齢7, 28, 91日に測定

3.　実験結果および考察

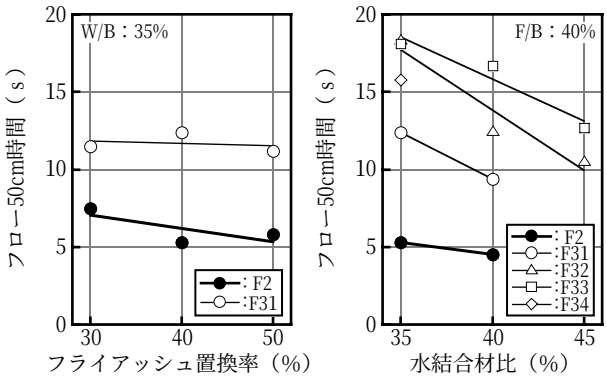
3.1　フレッシュコンクリートの性状

同一スランプフローを得るのに要した高性能ＡＥ減水剤添加率を**図－１**に示す。２種および３種フライアッシュを使用した場合ともにフライアッシュ置換率および水結合材比の増加に伴う高性能ＡＥ減水剤添加率の減少傾向は同程度であり，高性能ＡＥ減水剤添加率はフライアッシュ置換率10%の増加に対して0.1%程度，水結合材比5%の増加に対して0.1～0.2%程度減少している。また，３種フライアッシュを使用した場合は粒形の悪さに起因して同一スランプフロー値を得るのに２種の場合の1.3～1.5倍程度の高性能ＡＥ減水剤を必要としている。

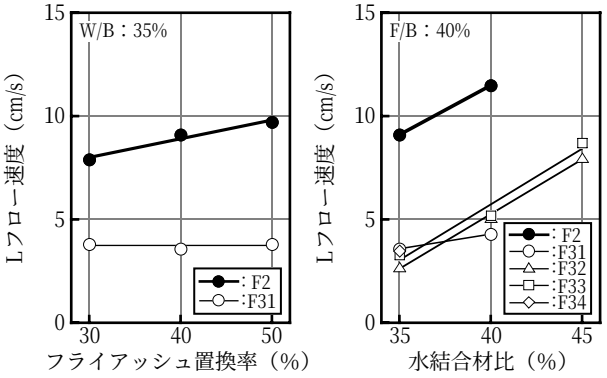
フライアッシュ置換率および水結合材比とフロー50cm時間およびＬフロー速度の関係を**図－２**および**図－３**に示す。２種フライアッシュを使用した場合はフライアッシュの流動性改善効果によりフライアッシュ置換率の増加に伴いフロー50cm時間は減少，Ｌフロー速度は増大傾向を示し，粘性は全般に低下傾向にあるが，３種フライアッシュの場合はさほど変化は認められず，フライアッシュ混入に伴う流動性改善効果は認められない。また，水結合材比の増加に伴いフロー50cm時間は減少，Ｌフロー速度は増大傾向を示し，コンクリートの粘性は低下傾向にあるが，３種フライアッシュの場合では水結合材比



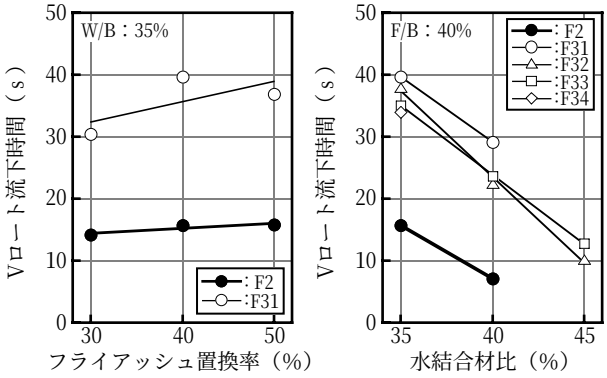
図－１　同一スランプフローを得るのに要した高性能ＡＥ減水剤添加率



図－２　フライアッシュ置換率および水結合材比とフロー 50cm 時間の関係



図－３　フライアッシュ置換率および水結合材比とＬフロー速度の関係

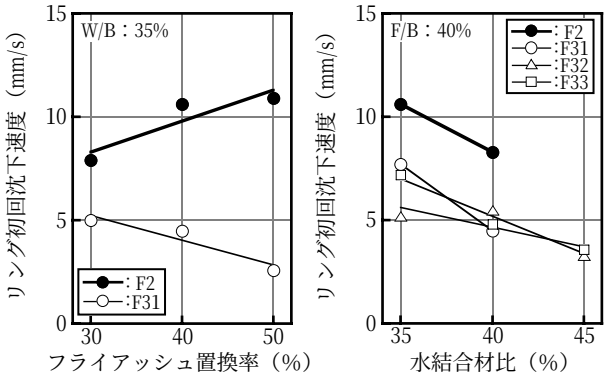


図－４　フライアッシュ置換率および水結合材比とＶロート流下時間の関係

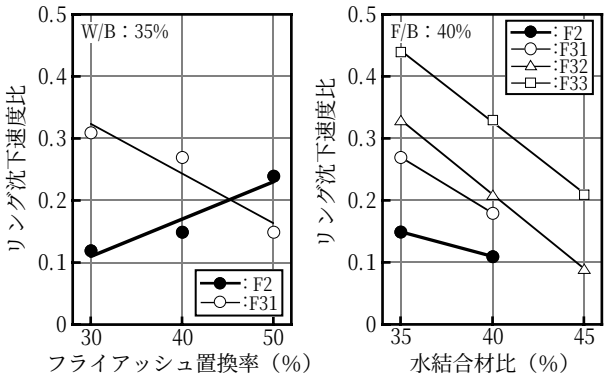
45%の場合でもフロー50cm時間は10秒以上であり，全般に粘性は高い。

フライアッシュ置換率および水結合材比とＶロート流下時間およびリング初回沈下速度の関係を**図－４**および**図－５**に示す。フライアッシュ置換率とＶロート流下時間の間には明確な傾向は認められないが，リング初回沈下速度は２種フライアッシュを使用した場合はフライアッシュ置換率の増加に伴い増大しているが，３種フライアッシュの場合は逆に減少傾向を示し，全般に２種の場合と比較して間げき通過性は低い。また，水結合材比の増加に伴いＶロート流下時間は減少し，３種フライアッシュを使用した場合でも水結合材比45%の場合はＶロート流下時間は10～12秒程度であり，間げき通過性は比較的良好である。

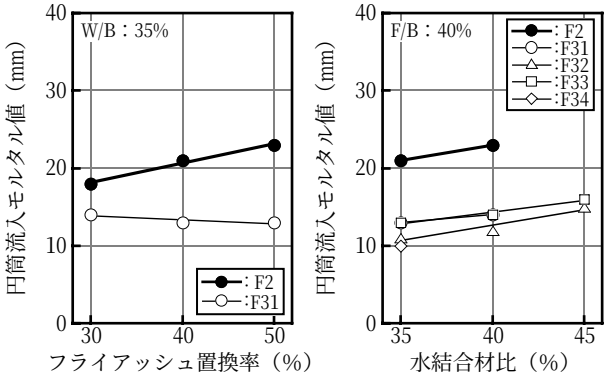
フライアッシュ置換率および水結合材比とリング沈下速度比および円筒流入モルタル値の関係を**図－６**および**図－７**に示す。２種フライアッシュを使用した場合はフライアッシュ置換率の増加に伴いリング沈下速度比および円筒流入モルタル値は増大し，分離抵抗性は低くなっているが，３種フライアッシュの場合はリング沈下速度比および円筒流入モルタル値とも減少している。また，水結合材比の増加に伴い円筒流入モルタル値は増大し，分離抵抗性は低減しているが，３種フライアッシュを使用した場合は水結合材比45%の場合でも15mm程度と，日本建築学会の推奨値（20～40mm[1)]）を下回り，分離抵抗性は過大ぎみである。



図－５　フライアッシュ置換率および水結合材比とリング初回沈下速度の関係



図－６　フライアッシュ置換率および水結合材比とリング沈下速度比の関係



図－７　フライアッシュ置換率および水結合材比と円筒流入モルタル値の関係

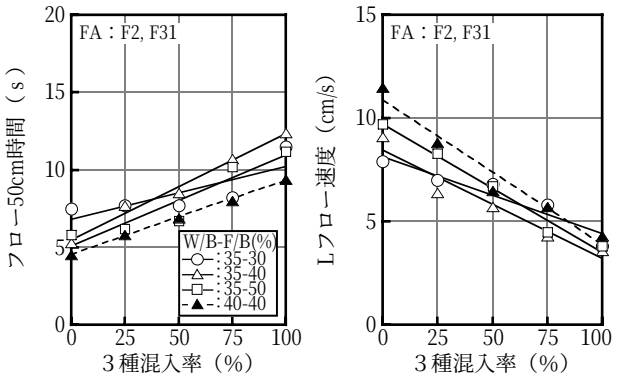
３種混入率とフロー50cm時間およびＬフロー速度の関係を**図－８**に示す。３種混入率の増加に伴いフロー50cm時間は増大，Ｌフロー速度は減少し，粘性は増大傾向を示しているが，３種混入率50%の場合はフロー50cm時間は7～8秒程度と日本建築学会の推奨値（4.5～8秒[1)]）を満たしており，粘性は適度である。

３種混入率とＶロート流下時間および円筒流入モルタル値の関係を**図－９**に示す。３種混入率の増加に伴いＶロート流下時間は増大，円筒流入モルタル値は減少傾向を示し，間げき通過性は低下，分離抵抗性は増大傾向を示しているが，３種混入率50%の場合はＶロート流下時間は水結合材比40%では20秒程度，円筒流入モルタル値は水結合材比35%でフライアッシュ置換率50%，水結合材比40%でフライアッシュ置換率40%では18mm以上であり，見掛けの粘性が適度になり，間げき通過性も向上している。

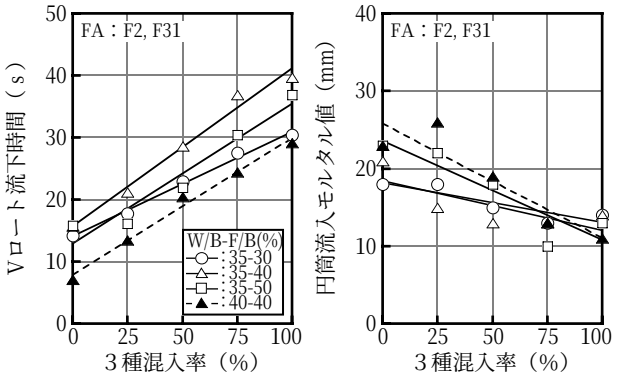
3.2　フレッシュ性状の経時変化

スランプフローおよびフロー50cm時間の経時変化を**図－10**に示す。スランプフローに関しては，２種フライアッシュを使用した場合は90分間でのフローロスが3.5cmであるのに対して，３種フライアッシュの場合は6.5～17.0cmとフローロスが大きい。また，フロー50cm時間に関しては，２種フライアッシュを使用した場合は90分間で2秒程度増大しているのに対して，３種フライアッシュの場合は3～15秒程度増大しており，粘性の増大傾向が顕著に認められる。

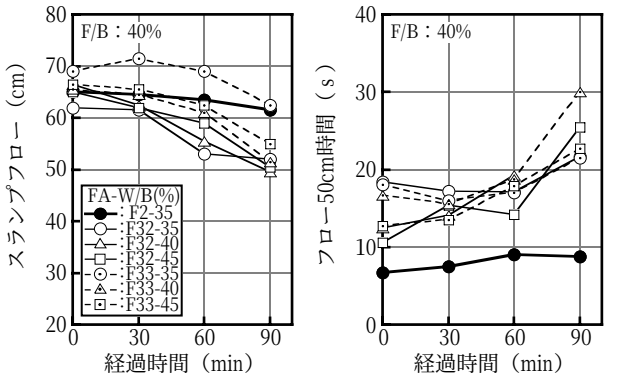
Ｖロート流下時間および円筒流入モルタル値の経時変化を**図－11**に示す。Ｖロート流下時間に関しては，２種フライアッシュを使用した場合は90分間で4秒程度増加しているのに対して，３種フライアッシュの場合は水結合材比45%での増加量は4～5秒程度であり，２種フライアッシュの場合と大差なく，間げき通過性の低下はさほど認められない。また，円筒流入モルタル値に関しては，２種および３種フライアッシュの場合ともにとも同程度の変化量であり，分離抵抗性の急激な変化は認められない。



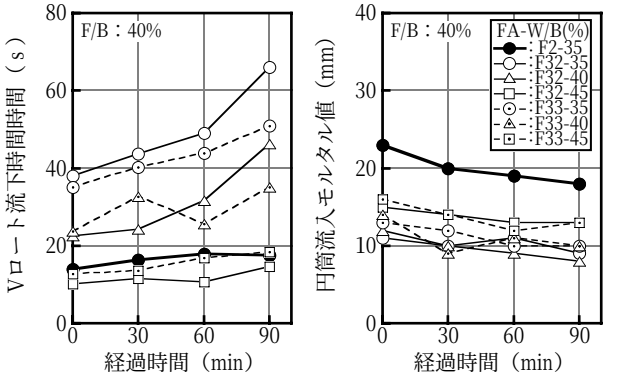
図－８　３種混入率とフロー50cm時間およびＬフロー速度の関係



図－９　３種混入率とＶロート流下時間および円筒流入モルタル値の関係



図－１０　スランプフローおよびフロー50cm時間の経時変化



図－１１　Ｖロート流下時間および円筒流入モルタル値の経時変化

２種および３種フライアッシュを併用した場合のスランプフローおよびフロー50cm時間の経時変化を**図－12**に，Ｌフロー速度およびＶロート流下時間の経時変化を**図－13**に示す。３種混入率 50％の場合の 90 分間での各変化量は，フローロスは最大で 1cm と全般に小さく，フロー 50cm 時間の増加量は最大で３秒，Ｌフロー速度の減少量は 1.2 ～ 2.3cm/s と粘性の増大もさほど認められず，Ｖロート流下時間の増加量は3～7秒程度と全般に変化量は小さく，流動性および間げき通過性とも 90 分経過後においても比較的良好である。

3.3　ブリーディングおよび凝結

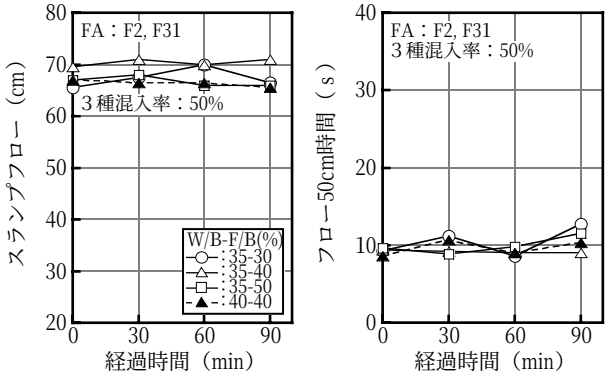
水結合材比とブリーディング量および凝結時間の関係を**図－14**に示す。ブリーディング量に関しては，２種および３種フライアッシュを使用した場合ともに水結合材比の増加に伴い増大傾向を示すが，３種フライアッシュを使用した場合は２種フライアッシュの場合の 1/4 以下で，水結合材比45％の場合でも0.03cm^3/cm^{2}以下と極端に少ない。

凝結時間に関しては，始発および終結とも２種および３種フライアッシュを使用した場合の相違点はほとんど認められないが，水結合材比45％の場合では 40％以下の場合に比べて始発および終結とも1時間程度遅延する傾向が認められた。

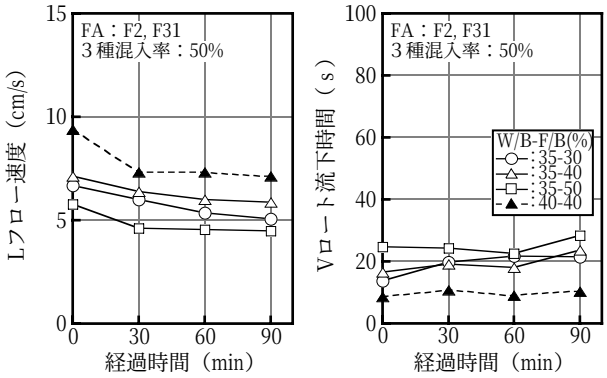
3.4　強度性状

フライアッシュ置換率および水結合材比と圧縮強度の関係を**図－15**に，３種混入率と圧縮強度の関係を**図－16**に示す。フライアッシュ置換率および水結合材比の増加に伴う圧縮強度の低下傾向は２種および３種フライアッシュを使用した場合とも大差なく，同様な強度発現傾向を示している。

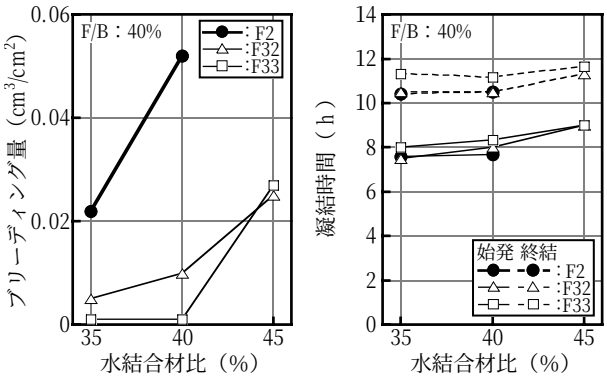
また，２種と３種フライアッシュを併用した場合の３種混入率の変化に伴う圧縮強度の変化量は比較的小さく，３種フライアッシュの混入が圧縮強度に及ぼす影響はほとんど認められない。



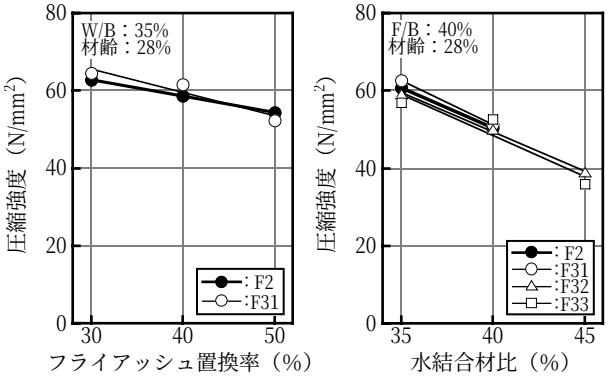
図－１２　スランプフローおよび フロー 50cm 時間の経時変化



図－１３　Ｌフロー速度および Ｖロート流下時間の経時変化



図－１４　水結合材比とブリーディング量 および凝結時間の関係



図－１５　フライアッシュ置換率および 水結合材比と圧縮強度の関係

圧縮強度と引張強度の関係を**図－17**に，圧縮強度と静弾性係数の関係を**図－18**に示す。圧縮強度と引張強度の関係にフライアッシュの種類および３種混入率の影響は認められず，圧縮強度と引張強度の関係は野口らの式[3)]にほぼ追随している。また，圧縮強度と静弾性係数の関係に関してもフライアッシュの種類および３種混入率の影響は認められず，圧縮強度と静弾性係数の関係はNewRC式にほぼ追随している。

４．　まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を要約すると以下の通りである

(1) ３種フライアッシュを使用した場合は２種フライアッシュの場合に比べて粘性は高いが，水結合材比45%程度では間げき通過性は比較的良好である。

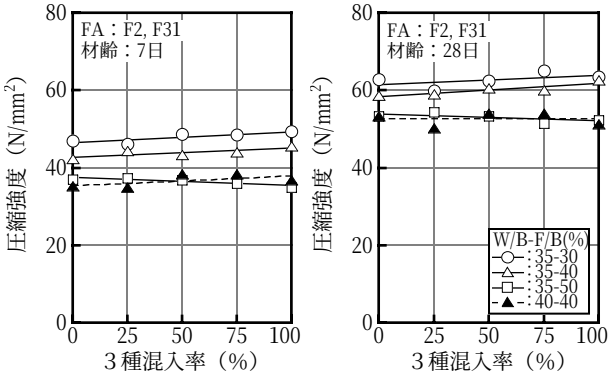
(2) ２種および３種フライアッシュを併用した場合は３種混入率の増加に伴い，粘性は増大，間げき通過性は低下，分離抵抗性は増大傾向を示すが，３種混入率50%以下であれば比較的粘性は低く，間げき通過性は良好である。

(3) ３種フライアッシュを使用した場合は２種フライアッシュの場合に比べて全般にフローロスが大きく，粘性の増大傾向が顕著に認められるが，水結合材比45%程度では間げき通過性の低下はさほど認められない。

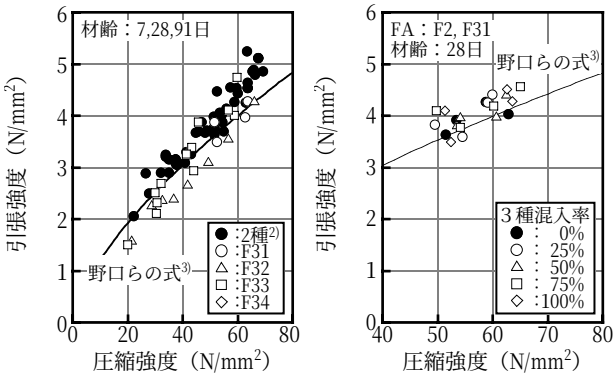
(4) ２種および３種フライアッシュを併用した場合は３種混入率50%以下であればフローロスは小さく，流動性および間げき通過性の低下も比較的小さい。

(5) ブリーディング量は３種フライアッシュを使用した場合は２種フライアッシュの場合の1/4以下と極端に少ないが，凝結時間に関しては２種および３種フライアッシュの相違点は認められない。

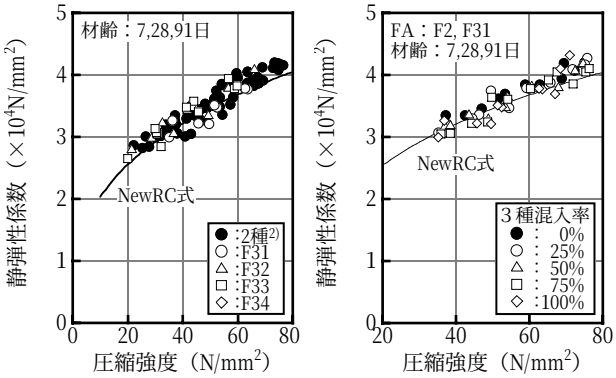
(6) 圧縮強度，引張強度および静弾性係数にフライアッシュの相違による影響は認められず，２種および３種フライアッシュを使用した場合とも同様な強度発現傾向を示す。



図－16　３種混入率と圧縮強度の関係



図－17　圧縮強度と引張強度の関係



図－18　圧縮強度と静弾性係数の関係

参考文献

1) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針（案）・同解説，pp.135-144，1997.1

2) 本田悟・椎葉大和：フライアッシュの品質が高流動コンクリートの諸性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.115-120，1999.12

3) 野口貴文・友澤史紀：高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学的特性との関係，日本建築学会構造系論文集，No.472，pp.11-16，1995.6