

V-12

混和材が高流動性コンクリートに与える影響について

北海道電力(株) 及 川 勝
北電興業(株) 齋 藤 敏 樹

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の信頼性の向上に対する取組みの中で作業員の高齢化や労働者不足が深刻化し、コンクリート工事の省力化や合理化施工が課題となっている。このため、各研究機関では、現場における施工の程度や部材形状、鉄筋間隔等の影響を受けない締固め不要のコンクリート(以下、高流動性コンクリートと呼ぶ)に関する研究・開発が数多く行われている。

高流動性コンクリートは、コンクリート打設直後のフレッシュ時には流動性や材料分離抵抗性に優れ、かつバイブレータを使用することなく型枠内全体にコンクリートを充填することができ、打設後には硬化収縮や水和熱が小さく、乾燥収縮が小さいこと等の条件が要求されている。このため、これに必要な良質なセメントやコンクリート混和材および、その適正配合等について厳しい条件が求められている。本報告書は、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末(以下、スラグと呼ぶ)、石灰石粉(以下、石粉と呼ぶ)をコンクリート混和材として用いた場合の混和材の種類と置換率が、配合およびフレッシュ時の性状や強度に与える影響について取りまとめたものである。

2. 使用材料

試験に使用した材料は、表-2.1に示すとおりで、混和材として海外炭フライアッシュ、スラグ、石粉の3種類を使用した。

表-2.1 使用材料

名 称	比重	特 性 ・ 主 成 分
セメント	3.16	普通ポルトランドセメント 比表面積 3,300cm ² /g
混和材 フライアッシュ(Fa)	2.33	苫東厚真発電所2号機産 比表面積 2,200cm ² /g
和材 スラグ(Sg)	2.91	高炉スラグ微粉末 比表面積 4,000cm ² /g相当
材 石粉(Fi)	2.70	石灰石粉 比表面積 4,800~5,000cm ² /g
粗骨材	2.69	砕石(G _{max} =20mm), 吸水率1.14%, F.M.=6.71
細骨材	2.59	山砂 吸水率2.88%, F.M.=2.60
高性能AE減水剤	1.10	アミノスルホン酸系
AE剤	1.07	非イオン系

3. 試験方法

3.1 試験条件

試験条件は、表-3.1に示すとおりで、結合材量を500kg/m³とし、混和材の置換率は、フライアッシュの利用拡大およびセメント量の低減等を考慮し50%、60%、70%の3ケースとした。

表-3.1 予備試験条件

項 目	条 件	備 考
結合材量	500kg/m ³ (セメント+混和材)	一 定
混和材	Fa, Sg, Fi, Fa+Sg	4 種 類
混和材置換率	50, 60, 70%	3 パターン
細骨材率	55%	一 定
空気量	4±1%	"
スランプフロー	65±5cm	"
混和剤量	結合材量×1.5%	"

3.2 予備試験

高性能AE減水剤量は一定とし、スランプフロー65±5cmを満足する各配合の単位水量を決定し、混和材の種類と置換率が各配合に与える影響について予備試験を実施した。

3.3 配合試験

配合条件は、表-3.2に示すとおりで、予備試験より得られた配合結果に基づき、流動性、材料分離抵抗性等の条件を満足するケースについて配合決定後、経時変化試験(空気量、スランプフロー、材料分離抵抗性)、ブリージング試験および圧縮強度試験を行い、フレッシュ時と硬化後の性状を確認した。

表-3.2 配合条件

項 目	条 件
結合材量	500kg/m ³ (セメント+混和材)
混和材	Fa, Sg, Fi, Fa+Sg
混和材置換率	50, 60, 70%
細骨材率	55%
空気量	4±1%
スランプフロー	65±5cm

3.4 練り混ぜ方法

コンクリートの練り混ぜは、強制二軸ミキサ(V=0.1m³, 60rpm)を使用し、練り混ぜ時間は注水後3分間と

The Influence of Admixture on High Flow Concrete by Masaru Oikawa, Toshiki Saito

した。

3. 5 フレッシュ時の評価方法

流動性試験は、スランプフロー試験およびスランプフロー60cmに到達するまでのフロー時間を測定し、コンクリートの流動性を評価する方法を用いた。

また、材料分離抵抗性試験は、VF試験器を用い、無振動でコンクリートを流出させ、その流動が停止した時点での円筒容器の天端から容器内のコンクリート面までの下がり値をVF値(cm)とし、この時の周囲の受皿に流出したコンクリートの材料分離状態を目視により評価する方法とした。

4. 試験結果

4. 1 予備試験

予備試験結果を表-4.1に、混和材置換率と単位水量の関係を図-4.1に示す。これによれば、高性能AE減水剤量を一定(7.50kg/m³)とした時の混和材の置換率とスランプフロー65±5cmを満足する単位水量は、混和材の種類と置換率により変化し、置換率を増加させるとフライアッシュを用いた場合には単位水量が減少し、フライアッシュ+スラグの場合においてもスラグおよび石粉の場合よりも減少傾向となる結果となった。

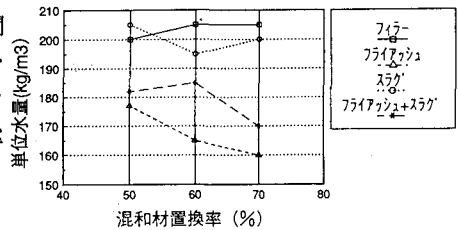


図-4.1 混和材置換率と単位水量の関係

表-4.1 予備試験結果

コンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響は、混和材の粒子形状や表面状態、粉末度、および単位水量により相違するとされており²⁾、このことは、今回の試験結果からも同様の傾向が見られた。

4. 2 配合試験

(1) 配合

高流動性コンクリートは、コンクリートの流動性が卓越した状態では、VF試験装置の流出口でペースト分が先行して流出し、分離した骨材によるアーチアクションが形成され、

配合材	置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)										練り上り性状			分離抵抗性		配合試験用ケース	配合ケース	
		水 W	セメント C	FA Fi	FA Pa	スラグ Sg	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 PF200U	助剤 AS-600	スラブ加圧力 (cm)	加圧時間 (sec) 終了	空気量 (%)	分離抵抗性	VF 値 (cm)				
石粉	50	35.0	175	250	250	-	874	742	11.25	0.030	66.3	10	31	4.1	良好	24.0	○	No1-1	
		40.0	200	250	250	-	838	712	7.50	0.070	62.6	6	14	3.8	良好	24.4	○	No1-2	
	60	35.0	175	200	300	-	870	739	11.25	0.035	66.3	10	31	4.5	良好	24.4	○	No1-2	
		41.0	205	200	300	-	827	703	7.50	0.110	61.5	3	17	4.1	不良	11.1			
	70	35.0	175	150	350	-	866	736	13.75	0.025	65.5	14	37	4.2	良好	24.2	○	No1-3	
		41.0	205	150	350	-	823	700	7.50	0.080	59.8	10	10	3.4	不良	4.2			
フライアッシュ	50	31.0	155	250	-	250	-	881	748	8.75	0.120	68.0	18	47	4.1	良好	24.2	○	No2-1
		35.4	177	250	-	250	-	849	722	7.50	0.105	64.7	8	20	4.6	良好	22.7		
	60	33.0	165	200	-	300	-	858	729	7.50	0.125	66.8	11	32	4.5	良好	24.4	○	No2-2
		35.0	175	150	-	350	-	836	710	6.25	0.165	68.4	6	24	3.7	良好	24.8		
	70	32.0	160	150	-	350	-	857	728	7.50	0.205	68.1	12	38	3.9	良好	24.3	○	No2-3
		38.0	190	250	-	-	250	862	732	8.75	0.020	62.8	10	23	4.0	良好	23.2	○	No3-1
高炉スラグ	50	41.0	205	250	-	-	250	840	714	7.50	0.030	60.6	10	20	4.0	不良	21.4		
		38.0	190	200	-	-	300	860	731	8.75	0.015	64.3	10	26	3.7	良好	24.0	○	No3-2
	60	39.0	195	200	-	-	300	853	725	7.50	0.020	67.0	7	24	3.8	やや不良	24.1		
		38.0	190	150	-	-	350	858	729	8.75	0.020	64.3	11	28	4.0	良好	24.1	○	No3-3
	70	40.0	200	150	-	-	350	844	717	7.50	0.025	60.8	10	21	4.4	やや不良	23.2		
		37.0	185	200	-	-	175	843	717	6.25	0.090	66.0	6	22	4.3	良好	24.5		
フライアッシュ+高炉スラグ	50	35.6	178	250	-	125	125	863	734	8.75	0.055	66.8	10	28	4.0	良好	24.2	○	No4-1
		36.4	182	250	-	125	125	858	729	7.50	0.050	65.5	10	31	4.1	やや不良	23.9		
	60	35.0	175	200	-	150	150	863	733	8.75	0.055	67.9	10	37	4.0	良好	24.2	○	No4-2
		37.0	185	200	-	150	150	848	721	7.50	0.070	64.3	7	20	4.4	良好	24.0		
	70	37.0	185	150	-	175	175	843	717	6.25	0.090	66.0	6	22	4.3	良好	24.5		
		34.0	170	150	-	175	175	865	735	7.50	0.085	62.7	15	35	4.2	良好	24.0	○	No4-3

流出口が閉塞される状態になるためVF値(下がり)が小さくなる。また、コンクリートの粘性が卓越した状態でも、同様の状態となりVF値(下がり)が小さくなる。

このため、配合は予備試験で行ったケースのうちVF値が24cm程度で、目視から材料分離抵抗性が良好と判定されたものを選定し、その中から単位水量が小さく、スランプフロー60cmに到達する時間が10秒以上となる配合を決定配合とし、これをもとに、表-3.2に示す配合条件にて本試験を行った。本試

験を行った決定配合ケースは表-4.1の○印に示す12ケースである。

(2) 所要高性能AE減水剤量

混和材と所要高性能AE減水剤量の関係を図-4.2に示す。

この結果によると、所要高性能AE減水剤量は、混和材の置換率による単位水量の減水効果により、フライアッシュを混和材とした場合においては、スラグ、石粉に比べると少ない所要量となること

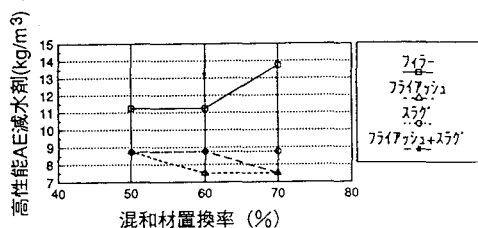


図-4.2 混和材と所要高性能AE減水剤量の関係

4.3 フレッシュの時の性状

(1) 流動性試験 (スランプフロー試験)

スランプフローの経時変化試験結果を図-4.3に示す。

各ケースとも全般的に時間の経過に伴い流動性が増加する傾向にあるが、フライアッシュを使用した場合15～30分をピークとしてそれ以降は流動性が減少する傾向を示した。

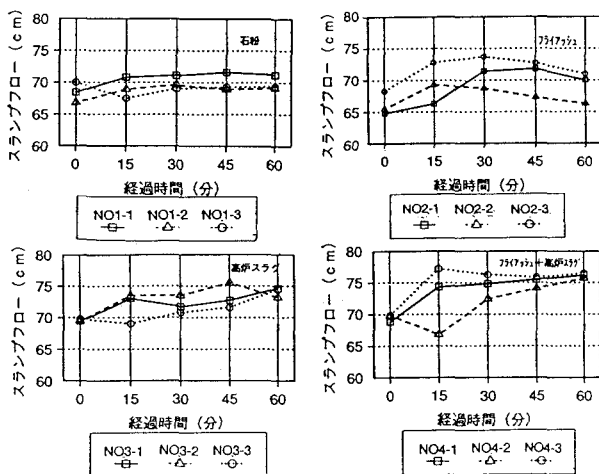


図-4.3 スランプフロー経時変化試験

(2) 材料分離抵抗性試験

材料分離抵抗性試験の経時変化試験結果を図-4.4に示す。

全般的に経時変化試験では大きな変動は見られず、60分経過後VF値は24cm以上を保ち良好な材料分離抵抗性を示した。

しかし、石粉の置換率70%のケース (No1-3) では、15分経過後に練り上がりのVF値(23.6cm)から19.4cmと低下し、材料分離傾向が見られた。

(3) ブリージング試験

ブリージング試験結果を図-4.5に示す。

ブリージング率は、石粉の置換率50%のケース (No1-1)、フライアッシュ使用のケース (No2-1～2-3) およびフライアッシュ+高炉スラグの各ケースでは0.05～1.52%と普通コンクリートと比較して同程度か低めの試験値が得られ、良好な結果となった。しかし、石粉の置換率60%、70%のケース (No1-2, 3) および高炉スラグを使用した各ケースでは10.86～28.8%と非常に高い値を示した。

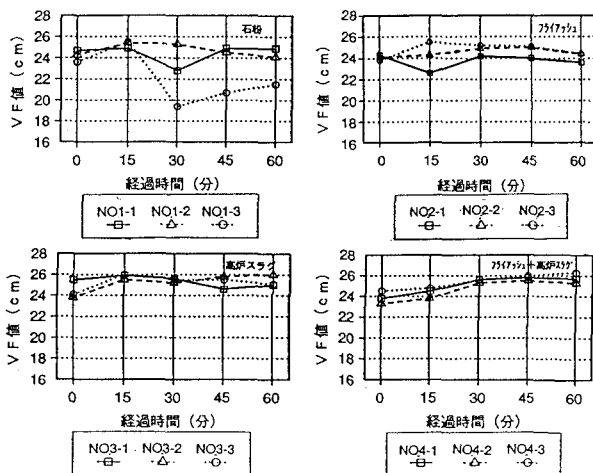


図-4.4 材料分離抵抗性経時変化試験

4.4 硬化後の性状

圧縮強度試験結果を表-4.2、図-4.6に示す。

各ケース共全般的に強度の伸びは材令28日まで顕著である。また、混和材の置換率を増加させることは、強度の増加に結びつかない傾向を示した。

さらに、長期材令の強度の伸びに関しては、混和材の置換率が強度に与える要因は今回の試験からは明確ではないことから、今後検討することとしている。

表-4.2 圧縮強度試験結果

配合 ケース	混和材	セメント 量 (kg/m ³)	水和材 量 (kg/m ³)	水結合 材比 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)				
					材令 (日)				
No. 1-1	石 粉	250	250	36.0	173	232	302	286	
No. 1-2		200	300	35.0	127	172	226	229	
No. 1-3		150	350	35.0	73.6	108	149	163	
No. 2-1	フライアッシュ	250	250	33.0	179	252	347	331	
No. 2-2		200	300	33.0	149	155	251	269	
No. 2-3		150	350	32.0	82.8	126	192	198	
No. 3-1	高炉スラグ	250	250	38.0	191	315	544	483	
No. 3-2		200	300	38.0	174	313	533	472	
No. 3-3		150	350	38.0	153	300	486	459	
No. 4-1	フライアッシュ + 高炉スラグ	250	F:125 + Sg:125	35.6	214	249	507	475	
No. 4-2		200	F:150 + Sg:150	35.0	173	221	502	485	
No. 4-3		150	F:175 + Sg:175	35.0	118	165	395	381	

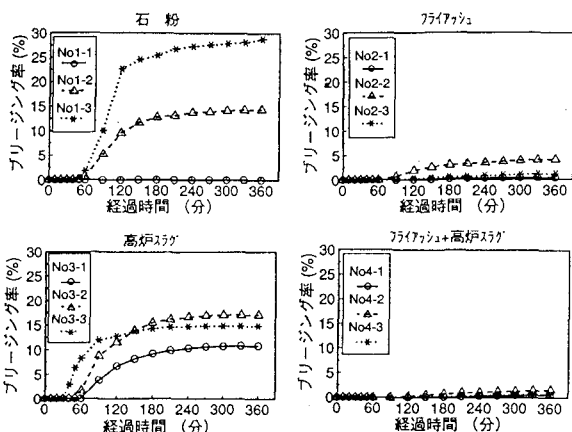


図-4.5 ブリージング試験

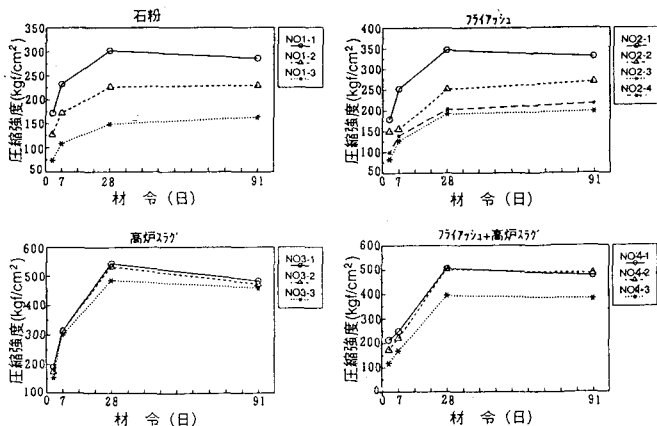


図-4.6 圧縮強度試験結果

5. まとめ

今回の試験については、以下のとおりまとめることができる。

- ① 混和材にフライアッシュを使用した場合は、他の混和材と比較し、少ない水量で同程度の流動性を得ることができる。
- ② 同様に高性能A/E減水剤量についても、他の混和材と比較して、少ない所要量で同程度の流動性および材料分離抵抗性を得ることができる。
- ③ ブリージング率は、フライアッシュおよびフライアッシュ+スラグを使用した場合は普通コンクリートと比較して同程度かそれを上回る試験値が得られ、良好な結果となった。しかし、石粉およびスラグを使用した場合には非常に高いブリージング率を示す傾向が見られた。
- ④ 硬化後の性状は圧縮強度試験の結果、各ケース共全般的に強度の伸びは材令28日まで顕著である。しかし、混和材の置換率の増加は強度が低下する傾向を示した。また、材令28日以降の長期材令の強度発現性をみると、強度の増進がみられないことから、この点については今後検討することとしている。

6. 参考文献

- 1) 小沢・前川・岡村：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文集、1986
- 2) 山崎：鉱物質微粉末がコンクリートのワーカビリティにおよぼす効果に関する基礎研究、土木学会論文誌No84、1962