

[1011] 製品用シリカフェームコンクリートの練りませ方法と諸性質

正会員 ○堀井克章 (阿南工業高等専門学校)
 正会員 河野 清 (徳島大学工学部)
 正会員 天羽和夫 (阿南工業高等専門学校)

1. まえがき

産業副産物を有効利用することは、省資源、省エネルギー、環境保全などの観点からコンクリートの分野では重要な研究課題の一つになっている。副産物の中で、フライアッシュや高炉スラグについては多くの研究があり実用化も進んでいるが、最近ではシリカフェームが注目されている。これは、フェロシリコンやメタルシリコンの製造時に副産されるもので、SiO₂含有率が高く非晶質の超微粒子であり、コンクリートの材料分離抵抗性、強度、耐久性、水密性などの改善に効果のあるボゾラン材料として有効利用が期待されている¹⁾。しかし材料単価が高いこと、超微粒子であり、輸送、練りませ、締固め、表面仕上げなどの作業が面倒になることなどの問題点がある。

本研究は、シリカフェームをコンクリート製品に有効利用することを目的として、練りませ方法に着目し、ミキサへの各素材の投入順序やシリカフェームの使用状態がコンクリートの諸性質に及ぼす影響を検討するとともに、最適な方法で練りませた一般製品用及び即時脱型製品用シリカフェームコンクリートの諸性質に及ぼす配合要因、養生方法などについて検討するものである。

2. 実験概要

表-1 実験計画 (要因と水準)

2.1 実験計画

本実験は、硬練りコンクリートの練りませ方法に関するもの(実験A)、硬練りコンクリートの配合要因に関するもの(実験B)及び超硬練りコンクリートの配合要因と養生方法に関するもの(実験C)からなる。本実験で取り上げた要因と水準を表-1に示す。

2.2 材料、配合及び練りませ

本実験で使用した材料及び配合をそれぞれ表-2及び-3に示す。結合材としてセメントの一部に置換して用いたシリカフェームは、四国高知市のフェロシリコン製造工場から入手した、通常のものに比べて比表面積やSiO₂含有率が若干低いものである。

実験	要 因	水 準
A	練りませ方法	一括投入法・空練り法・混和剤遅れ添加法・細骨材遅れ投入法・粗骨材遅れ投入法・水分割投入法
	シリカフェーム使用状態 シリカフェーム置換率:F/CF 試 験 項 目	パウダー状態・スラリー状態 1.0%・2.0% 空気量試験(JIS A 1128)・スランプ試験(JIS A 1101)・VB試験(BS 1881)・圧縮強度試験(JIS A 1108)
B	コンスタテナー補正方法 水結合材比:W/CF シリカフェーム置換率:F/CF 試 験 項 目	単位水量による補正・高性能減水剤量による補正 4.0(40~44)・5.0(50~54)・6.0(60~63)% 0%・1.0%・2.0% 空気量試験・スランプ試験・VB試験・プリミジング試験(JIS A 1123)・動弾性係数試験(JIS A 1127、ゾウ法)・圧縮強度試験・引張強度試験(JIS A 1113)・長さ変化試験(JIS A 1129、エボレーク法)
	コンスタテナー補正方法 水結合材比:W/CF シリカフェーム置換率:F/CF 養生方法 硬化コンクリート試験材令 試 験 項 目	単位水量による補正・高性能減水剤量による補正 2.7・5%・3.5%・5.0% 0%・1.0%・2.0% 低温養生(5℃)・常温養生(20℃)・蒸気養生(最高温度4.0・6.0・8.0℃)・水中湿潤養生・空气中乾燥養生 1日・7日・28日・1年(364日) 締固め係数試験(BS 1881、CF値)・充てん性試験(T98値)・動弾性係数試験・圧縮強度試験
C	養生方法	低温養生(5℃)・常温養生(20℃)・蒸気養生(最高温度4.0・6.0・8.0℃)・水中湿潤養生・空气中乾燥養生

表-2 使用材料

材 料 の 名 称	諸 元
普通ポルトランドセメント:C	比重3.15、比表面積(ブレン法)3200cm ² /g
高知県産シリカフェーム:A:F	比重2.27、比表面積(ガス吸着法)155000cm ² /g、SiO ₂ 含有率76%
吉野川産川砂:S	表乾比重2.64、吸水率1.38%、粗粒率2.90
徳島県産砕石:G	表乾比重2.58、吸水率2.06%、粗粒率6.58、最大寸法20mm
高性能減水剤:SP	比重1.13、液体、高縮合トリジン系
A E 剤 : A E	比重1.05、液体、ポリトリメチルシロキサン系

コンクリートの練りませは、容量50ℓの強制練りミキサを用い、表-4に示す各種の方法で行った。なお実験B及びCでは、実験Aの結果を参考にして練りませ方法を決めた。シリカフェームは、無処理のパウダー状態と練りませ水の一部に混合するスラリー状態の2種の状態で使用したが、シリカフェーム置換率20%の場合はスラリー状態にするのが困難であったので、実験B及び

表-3 コンクリートの配合

実験 シリー ズ	配合の略称 SI-W/CF-F/CF cm-%-%	粗骨 材最 大寸 法 ■	目標 スラン プ SI cm	目標 空気 量 Air %	水結 合材 比 W/CF %	細骨 材率 s/a %	単 位 量、kg/m ³					混和剤：A d ml/m ³	
							結 合 材：CF			骨 材		Sp	AE
							W	C	F	S	G		
A	6-5 0-1 0				50	47	150	270	30	870	958	6900	44
	6-5 0-2 0				50	47	150	240	60	852	939	9000	47
	6-4 0-0 0				40	44	145	362	0	802	997	4340	50
	6-4 2-1 0				42	44.5	152	326	36	797	971	4340	27
	6-4 4-2 0				44	45	160	290	72	791	945	4340	27
	6-5 0-0 0				50	46	150	300	0	856	982	3600	28
	6-5 2-1 0				52	46.5	156	270	30	853	959	3600	14
	6-5 4-2 0				54	47	162	240	60	850	937	3600	17
	6-6 0-0 0				60	48	155	258	0	904	957	3100	25
	6-6 2-1 0				62	48.5	159	232	26	904	938	3100	19
B	6-6 3-2 0	20	6	5	63	49	163	206	52	904	919	3100	16
	6-4 0-0 0				40	44	145	362	0	802	997	4340	50
	6-4 0-1 0				40	44	145	326	36	797	991	6520	52
	6-4 0-2 0				40	44	145	290	72	791	984	8690	54
	6-5 0-0 0				50	46	150	300	0	856	982	3600	30
	6-5 0-1 0				50	46	150	270	30	851	977	5400	34
	6-5 0-2 0				50	46	150	240	60	846	971	7200	37
	6-6 0-0 0				60	48	155	258	0	904	957	3100	28
	6-6 0-1 0				60	48	155	232	26	900	952	4640	29
	6-6 0-2 0				60	48	155	206	52	896	949	6190	30
C	0-27.5-0 0				27.5	41.5	110	400	0	814	1121	6000	0
	0-27.5-1 0				27.5	41.5	108	353	39	814	1121	8820	0
	0-27.5-2 0				27.5	41.5	106	307	77	814	1121	11520	0
	0-3 5-0 0				35	43	105	300	0	885	1147	4500	0
	0-3 5-1 0				35	43	103	265	29	885	1147	6620	0
	0-3 5-2 0				35	43	101	231	58	885	1147	8670	0
	0-5 0-0 0				50	46	115	230	0	962	1108	3450	0
	0-5 0-1 0				50	46	114	204	23	962	1108	5100	0
	0-5 0-2 0				50	46	112	179	45	962	1108	6720	0

Cではパウダー状態のままで使用した。ミキサでの練りませ後、直ちにフレッシュコンクリートの試験と硬化コンクリートの試験用供試体の作製を行った。なお冬期に練りませを行ったので、コンクリートの練上がり温度は標準的な20℃より若干低くなったが、各実験シリーズ内では同程度の温度となるように補正した。

2.3 コンクリートの試験

フレッシュコンクリートの試験として、硬練りコンクリートでは空気量試験、スランプ試験、VB試験及びブリーディング試験、また超硬練りコンクリートでは締固め係数試験と充てん性試験を採用した。

充てん性試験では^[2]、図-1に示す装置を用いて加圧振動締固めを行い、延べ加圧振動締固め時間と充てん率との間に高い相関を持って存在する対数関係式を求め、これより空気量が目標の2

%になるまでに要する締固め時間であるT₉₈値を算出して、これを充てん性の指標とした。なお締固め係数試験でのCF値及び充てん性試験でのT₉₈値を計算する際に使用する完全締固め重量には、現場配合より求めた理論値を用いた。

硬化コンクリートの試験として、硬練りコンクリートでは、φ10×20cm円柱供試体を用いる動弾性係数試験、圧縮強度試験及び引張強度試験と□10X10X40cmはり供試体を用いる長さ変化試験、また超硬練りコンクリートでは、φ10×18~20cm円柱供試体を用いる動弾性係数試験及び圧縮強度試験を採用した。いずれの供試体も振動台（振動数6000vpm、全振幅1mm）で締固めを行った後、直ちに所定の養生温度に保った各養生装置に移した。なお実験Cでは、締固めの際に充てん性試験装置のおもりとガイドを利用した。

硬練りコンクリートに関する実験A及びBでは、各試験の所定材令まで標準養生の20℃水中湿潤養生を行い、乾燥収縮率を求めするための長さ変化試験では、材令7日以降20℃空气中乾燥養生とした。また超硬練りコンクリートに関する実験Cでは、締固め後直ちに型枠側板を取りはずし、図-2に示す各種の方法で、各試験の所定材令まで養生を行った。

表-4 練りませ方法

実験	略 称	手 順
A	1:一括法	G-S-C-F-W-Aa (始) → (150s) → (終)
	2:空練法	G-S-[C-F/C] (始) → (75s) → [W/F-W]·Aa → (75s) → (終)
	3:Aa選法	G-S-C-F-W ₁ (始) → (75s) → W ₂ ·Aa → (75s) → (終)
	4:SC選法	C-F-W ₁ (始) → (75s) → G-S-W ₂ ·Aa → (75s) → (終)
	5:G選法	S-C-F-W ₁ (始) → (75s) → G-W ₂ ·Aa → (75s) → (終)
	6:W分法	G-S-C-F-W ₁ (始) → (75s) → W ₂ ·Aa → (75s) → (終)
B・C	複合法	G-S-C-F (始) → (30s) → W ₁ → (30s) → W ₂ ·Aa → (90s) → (終)

注) 実験Aでは、シリカフェームをパウダー状態及びスラリー状態で使用する。

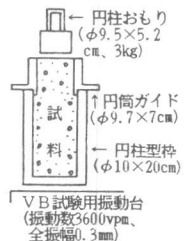


図-1 充てん性試験装置

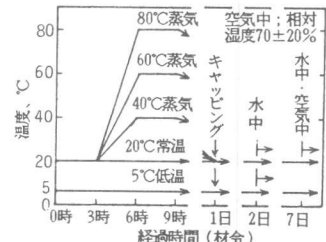


図-2 養生方法

3. 実験結果と考察

3.1 練りませ方法に関する検討

(1) フレッシュコンクリートの性質

練りませ方法に関する実験Aより得られた各試験値を表-5に示す。

スランプ値とVB値より明らかなように、全般的にみてシリカフェームコンクリートのコンシステンシーは、一括法が最も大きくなる傾向がある。これは、他の方法では混和剤を遅れ添加するために、コンクリートの流動性が高くなる

ことなどによるものと思われる^[3]。また一括法に比べてそれ以外の方法では、混和剤添加後の練りませ時間が短いために空気量が若干小さくなる傾向があり、同一空気量となるようにAE剤量などで補正すれば、その傾向はより顕著になるものと思われる。

(2) 硬化コンクリートの性質

表-5の圧縮強度から明らかなように、全般的にみて一括法が最も低い圧縮強度となる傾向がある。この傾向は、シリカフェーム置換率20%の場合の試験値からわかるように材令28日に比べて材令14日でより顕著となっており、練りませ方法の違いによる圧縮強度の差異は材令が短いほど大きくなるものと思われる。なお一括法に比べてそれ以外の方法では、空気量が若干小さくなるために強度発現が良いとも考えられるが、前述したように同一空気量となるようにAE剤量などで補正を行えば、ワーカビリティが改善されてスランプ値の差がより大きくなるので、同一スランプとなるように単位水量を補正すれば、結局強度は大きくなり、相対的にみると本実験結果と同程度の強度の差異がみられるのではないかとと思われる。

シリカフェームは非常にかさばるために、これをスラリー状態にすることで輸送や練りませがよりスムーズになるものと予想される。本実験結果からは、スラリー状態にしたほうがパウダー状態のまま使用した場合に比べて、圧縮強度の変動係数が若干小さくなること、空気量が若干多くなることなどの傾向はあるものの各試験値は大差のない値を示しており、いずれの状態で使用しても製造されるコンクリートの品質に差はないものと考えられるが、これについては練りませ時間の影響、シリカフェームをスラリー状態にしてから練りませを行うまでの経過時間がシリカフェームの品質に及ぼす影響などについて、今後検討を加えなければならないと思われる。

一括法以外の練りませ方法によるコンクリートのコンシステンシー、空気量、強度などの試験値を総括してみると有為な差がみられないが、これは各素材を分割投入することにより細・粗骨材粒子を結合材ペーストやモルタルで造殻する分割練りませ法の最大の特徴といえるブリージング抑制効果が^[4]、ブリージングをほとんど生じないシリカフェームコンクリートでは薄れてしまうことなどによるものと思われる。

3.2 一般製品用硬練りコンクリートに関する検討

(1) フレッシュコンクリートの性質

硬練りコンクリートでの実験Bで得られたフレッシュコンクリートの各試験値を表-6に示す。

シリカフェームは粉末度が高く、これをコンクリートに使用すると粘性が高くなりコンシステ

表-5 フレッシュ及び硬化コンクリートの試験結果(実験A)

配合の略称 W/CF-F/CF %-%	シリカフェームの使用状態	練りませ方法の略称	練りませ温度 ℃	空気量 %	スランプ値 cm	VB値 s	圧縮強度, kgf/cm ² (変動係数, %)	
							材令14日	材令28日
50-10	パウダー状態	一括法	16.2	6.2	5.7	9.8	—	522 (2.9)
		空練法	15.8	4.7	6.6	8.5	—	551 (3.6)
		A ₁ 選法	16.0	5.1	8.8	7.8	—	552 (1.5)
		SG選法	15.8	4.7	8.0	8.4	—	538 (5.3)
		G選法	16.0	4.7	6.2	9.4	—	535 (1.2)
		W分法	16.4	5.7	7.8	8.8	—	554 (3.4)
	スラリー状態	一括法	16.4	6.5	5.8	10.5	—	520 (2.5)
		空練法	16.0	4.7	6.6	9.4	—	551 (3.1)
		A ₁ 選法	16.2	6.3	7.2	7.0	—	550 (3.7)
		SG選法	16.0	5.3	5.7	9.5	—	541 (3.9)
		G選法	16.0	5.7	6.9	8.6	—	531 (1.0)
		W分法	16.4	6.3	7.8	7.8	—	552 (1.9)
50-20	パウダー状態	一括法	18.4	5.9	8.0	12.1	404 (2.5)	540 (3.9)
		空練法	18.4	5.2	10.5	10.5	421 (2.3)	559 (1.5)
		A ₁ 選法	18.6	5.7	11.2	6.0	456 (1.1)	563 (2.6)
		SG選法	18.4	6.0	10.4	9.0	436 (2.3)	555 (4.4)
		G選法	18.8	6.1	11.2	6.0	424 (3.0)	560 (4.0)
		W分法	18.4	5.6	11.8	7.6	436 (3.8)	568 (1.2)

ンシーが大きくなる。従って同一スランプを得るためには単位水量や高性能減水剤量を増す必要がある。本実験では表-3及び-6より明らかなように、シリカフェーム置換率10%の増加に対して、単位水量で補正する場合は水量を3~5%程度、また混和剤で補正する場合は高性能減水剤量を50%程度増加させる必要がある。

シリカフェームは超微粒子で炭素を微量含有しているために、その使用量を増加させると連行空気量が減少し、同一空気量とするためにはAE剤量を増す必要があるといわれているが⁽¹⁾、本実験結果からはそのような傾向は得られていない。

シリカフェームコンクリートの特性の一つにブリーディングを抑制する効果があるが、本実験でも表-6より明らかなように、ブリーディング率は、シリカフェーム置換率0%のものに比べ、置換率10%で70~80%程度減少し、置換率20%ではほとんどゼロになる。なおシリカフェームを用いるとこれを用いない場合に比べてブリーディングの終了時間が若干長くなる傾向がみられたが、これは、シリカフェームの使用によりコンクリートの保水性が高くなりブリーディング水の移動が困難になること、コンクリートの凝結時間が長くなることなどによるものと思われる。

(2) 硬化コンクリートの性質

実験Bより得られたシリカフェーム置換率と圧縮強度及び引張強度との関係をそれぞれ図-3及び-4に示す。また水結合材比と圧縮強度との関係を図-5に示す。

これらの図より明らかなように、シリカフェームを用いたコンクリートの強度はこれを用いないものに比べて大きくなる傾向があり、材令14日では置換率10%の強度が最も高いが、材令1年では置換率20%の強度が最も高くなる。これは、材令が短いとシリカフェームのポゾラン反応による強度発現効果が十分発揮されないことなどによるものと思われる。またこれらの図よりシリカフェームを使用することによる強度改善効果は、水結合材比が大きいものほど顕著になること、圧縮強度に比べて引張強度で大きくなることなども認められる。さらにシリカフェームコンクリートでも普通コンクリートの場合と同様に結合材水比と圧縮強度との関係を一次式で示すことができ、セメント水比説が適用できるといえる。

図-6は圧縮強度と動弾性係数との関係を示したものであるが、この図より明らかなように、両者の関係を指数式で示すことが可能であるといえる。なおシリカフェーム置換率が高いほど同一圧縮強度での動弾性係数は、小

表-6 フレッシュコンクリートの試験結果 (実験B)

コンシ デ ン テ ン ス 補 正 法	配合の略称 W/CF-F/CF %-%	練上り 温 度 ℃	空気 量 %	スラ ン プ cm	VB 値 s	ブリー ジ ン グ 率 %
W補正	40-00	14.4	4.9	6.9	11	2.4
	42-10	15.0	4.7	6.5	17	0.5
	44-20	15.2	4.8	6.5	23	0.0
	50-00	14.4	4.6	5.6	12	4.3
	52-10	14.8	4.6	6.0	15	1.3
	54-20	14.4	5.7	7.0	15	0.2
	60-00	14.8	4.6	5.4	10	9.1
	62-10	15.2	5.7	5.8	10	2.7
Ad補正	63-20	14.4	6.0	6.2	9	0.5
	40-00	15.6	4.6	6.3	10	2.4
	40-10	15.4	5.5	6.7	8	0.5
	40-20	15.4	5.5	6.6	17	0.0
	50-00	16.0	4.6	5.8	14	4.3
	50-10	15.8	5.2	5.8	13	0.8
	50-20	15.8	5.9	6.5	10	0.0
	60-00	13.8	4.6	5.2	14	9.1
	60-10	14.6	4.9	6.7	9	2.2
	60-20	13.8	5.0	5.9	10	0.3

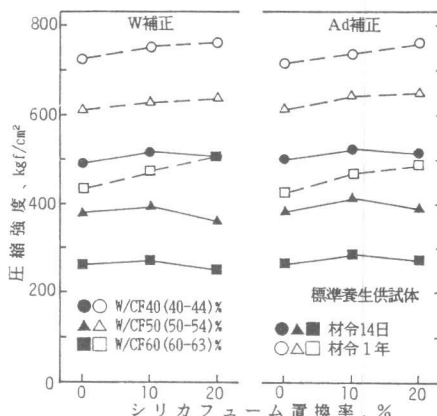


図-3 シリカフェーム置換率と圧縮強度との関係 (実験B)

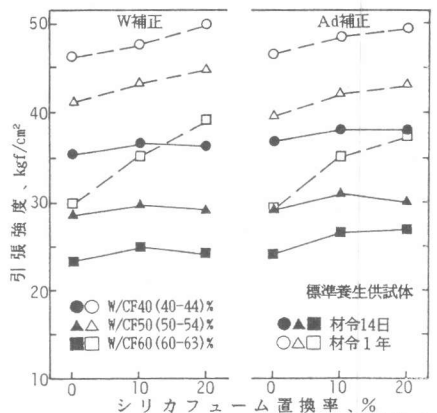


図-4 シリカフェーム置換率と引張強度との関係 (実験B)

さくなる傾向がみられる。

図-7は乾燥収縮率の経時変化を示したものであるが、この図から明らかなように、コンクリートの乾燥収縮率は、シリカフェーム置換率が高いほど大きくなる傾向がある。これは、シリカフェームを用いることにより、コンクリート内部の細孔径が小さくなるので毛細管張力が大きくなること、ブリージングが抑制されるのでコンクリート内部に残存する水量が多くなることなどによるものと考えられる。なお製品用シリカフェームコンクリートの乾燥収縮の抑制には蒸気養生が有効であるとの報告がある¹⁵⁾。

シリカフェームの使用によるスランプ低下を単位水量で補正したものと混和剤量で補正したものとを比べると、強度、乾燥収縮などに大差はみられず、いずれの補正法を用いても良いといえる。

3.3 即時脱型製品用超硬練りコンクリートに関する検討

(1) フレッシュコンクリートの性質

超硬練りコンクリートでの実験Cで得られたフレッシュコンクリートの各試験値を表-7に示す。

表-3及び-7より明らかなように、シリカフェームを用いることによるコンシステンシーの増大を混和剤で補正することを試みた今回の実験でも、シリカフェーム置換率10%の増加に対して、高性能減水剤量を50%程度増すことで、同程度のT98値が得られており、超硬練りコンクリートの場合でも、前述した硬練りコンクリートの場合と同程度の高性能減水剤のコンシステンシー改善効果があるといえる。

なおCF値は、シリカフェーム置換率の増加または水結合材比の増加とともに大きくなる傾向を示すだけであり、超硬練りコンクリートに関するコンシステンシー試験としては、締固め係数試験に比べて充てん性試験の方が適しているものと思われる。

(2) 硬化コンクリートの性質

実験Cより得られたシリカフェーム置換率と圧縮強度との関係を各養生方法別に図-8に示す。

この図より明らかなように、シリカフェームはコンクリートの強度改善に効果があり、その効果は蒸気養生を行う場合により顕著となる。シリカフェーム置換率20%の超硬練りコンクリートを最高温度80℃で蒸気養生すれば、材令1日で約600kgf/cm²の高い圧縮強度を単位結合材量289kg/m³で得ることができ、蒸気養生がシリカフェームコンクリートの初期強度発現にきわめて効果があるといえる。

シリカフェームコンクリートについても、材令1日以降の材令に伴う強度の伸びは、養生温度の低いものほど大きくなること、乾燥

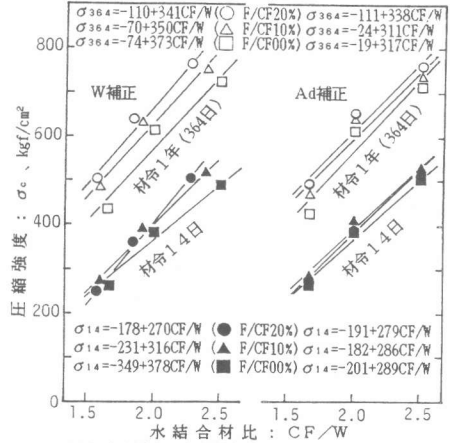


図-5 水結合材比と圧縮強度との関係(実験B)

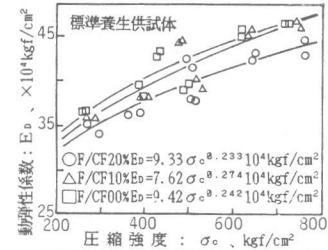


図-6 圧縮強度と動弾性係数との関係(実験B)

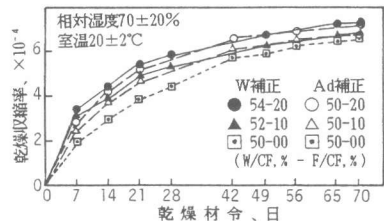


図-7 乾燥収縮率の経時変化(実験B)

表-7 フレッシュコンクリートの試験結果(実験C)

配合の略称 W/CF-F/CF-W %-kg/m ³	練上り 温度 ℃	CF値	T98値 s
27.5-00-110	17.4	0.636	464
27.5-10-108	17.2	0.661	362
27.5-20-106	17.0	0.672	471
3.5-00-105	17.2	0.670	532
3.5-10-103	17.0	0.718	596
3.5-20-101	17.0	0.740	586
5.0-00-115	17.0	0.732	655
5.0-10-114	17.0	0.760	664
5.0-20-112	16.8	0.773	556

注) 練上がり温度を5-8℃とした5℃低温養生用コンクリートに関する試験結果は除く。

養生強度は、湿潤養生強度に比べて乾燥状態に移してしばらくは高い値となるがやがて逆転することなど一般的なコンクリートの場合と同様な現象がみられる。

圧縮強度と動弾性係数との関係を示した図-9より明かなように、両者の関係が指数式で表せること、シリカフューム置換率が高いほど同一強度での動弾性係数が小さくなることなど、前述した硬練りコンクリート

に関する実験Bの場合と同様な傾向がみられる。

4. むすび

本研究より得られた主な結果を要約すると、本実験の範囲内で以下ようになる。

①シリカフュームコンクリートの練りませ方法としては、混和剤遅れ添加法が適する。

②シリカフュームをパウダー状態とスラリー状態どちらで用いても、コンクリートの品質に大差はない。

③シリカフュームコンクリートのコンシステンシー改善策としては、水量と混和剤量どちらによる補正でも良い。

④超硬練りシリカフュームコンクリートのコンシステンシー試験としては、充てん性試験が良い。

⑤シリカフュームの強度改善効果は、長期間の湿潤養生や蒸気養生により顕著となる。

⑥シリカフュームの強度改善効果は、貧配合になるほどまた引張強度で大きい。

⑦シリカフュームは、コンクリートのブリージングの抑制にきわめて効果がある。

⑧シリカフュームコンクリートの結合材水比と圧縮強度との間には、一次式が成立する。

⑨シリカフュームコンクリートの圧縮強度と動弾性係数との間には、指数式が成立する。

⑩シリカフュームの使用により、コンクリートの乾燥収縮率は若干大きくなる。

最後に、本研究を行うにあたり、一部で昭和58年度土木学会吉田研究奨励金を活用したので、ここに付記して謝意を表す。

[参考文献]

[1]土木学会：コンクリート標準示方書（昭和61年制定）改訂資料、コンクリートライブラリー、第61号、p. 20-25、1986。
 [2]堀井克章、河野 清、井出和典：即時脱型製品用超硬練りコンクリートに対するシリカフュームの利用、土木学会年次学術講演会講演概要集、第5部門、p. 99-100、1985。
 [3]長瀧重義、坂井悦郎：高性能減水剤と流動化剤、コンクリート工学、Vol. 24、No. 4、p. 78-83、1986。
 [4]山本康弘：練りませ工法の進歩、コンクリート工学、Vol. 23、No. 7、p. 49-58、1985。
 [5]堀井克章、河野 清、天羽和夫：低品質シリカフュームを用いた製品用コンクリートに対する蒸気養生の影響、コンクリート工学年次講演会論文集、p. 297-301、1986。

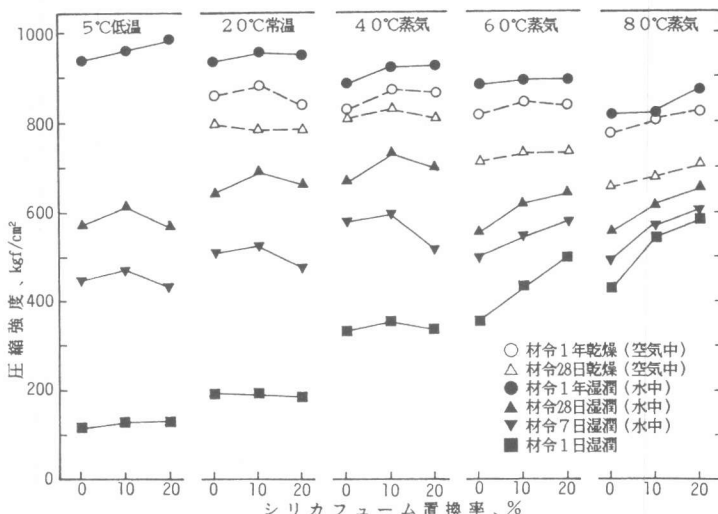


図-8 シリカフューム置換率と圧縮強度との関係（実験C）

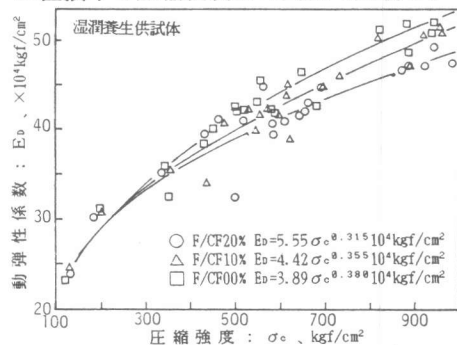


図-9 圧縮強度と動弾性係数との関係（実験C）