

# フライアッシュコンクリートの空気連行性・気泡組織と耐凍害性

## AIR ENTRAINING, AIR VOID SYSTEM AND FROST DURABILITY OF FLY ASH CONCRETE

千歩 修\*, 浜 幸雄\*\*  
Osamu SENBU and Yukio HAMA

Control of air content and resistance to frost damage are essential for fly ash concrete. This paper demonstrates a possibility of controlling the air content of fly ash concrete by the basic properties of fly ash. It also elucidates the tendencies of the effects of the presence of fly ash, mixing conditions, and type of air-entraining admixture on the air content, air void system, and air loss by agitation. The frost resistance test results of fly ash concrete slightly lower than normal concrete are found attributable to the fact that its air-void spacing factor is larger than normal concrete and that the initial curing time of 2 weeks specified for freezing and thawing testing is insufficient for fly ash concrete.

*Keywords: fly ash, frost durability, spacing factor, air entraining*

フライアッシュ、耐凍害性、気泡間隔係数、空気連行性

### 1. はじめに

フライアッシュは有用な混和材であるが、フライアッシュをコンクリートに混和材として使用すると、フライアッシュに含まれる未燃炭素がAE剤を吸着し、所要の空気量を得るためのAE剤量が普通コンクリートに比べて多量となり、空気量の経時変化も大きくなる<sup>1)</sup>といわれている。また、フライアッシュ自体の品質も変動するため、フライアッシュを使用したコンクリートの空気量の管理は難しいものとなっている。さらに、フライアッシュコンクリートは、普通コンクリートに比べて耐凍害性に劣るとの報告<sup>2)</sup>もあり、この理由として気泡組織が普通コンクリートと異なること、強度増進が遅いため養生が不十分な状態で凍結融解試験を開始していること等が考えられる。

本研究では、まず、品質の変動するフライアッシュに対して所要の空気量を確保する方法として、フライアッシュの品質から所要の空気量を得るために必要AE剤量を算定する方法<sup>3)</sup>が空気量の管理に利用できるかを検討した。さらに、AE剤種別、ミキサー種別、アジテート・静置等の条件が、この算定方法(すなわち、フライアッシュの品質をとらえ所定の空気量を得るためのAE剤量を算定する方法)さらには気泡組織におよぼす影響を明らかにした。次に、AE剤種別およびミキサー種別が気泡組織に及ぼす影響、さらには養生期間がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響について検討した。

### 2. 実験の概要

本研究は以下の3つのシリーズからなり、それぞれのシリーズの実験計画を表1~表3に示す。

シリーズ1(表1)は、フライアッシュの品質変動と空気量管理手法を検討するものである。ここでは、まず、4種類の炭種のフライアッシュをそれぞれ数回、採取し、その品質変動をとらえる。次に、それぞれのフライアッシュの品質(ここでは、電源開発(株)仕様書(案)によるメチレンブルー吸着量)から以下に示すAE剤量推定式<sup>3)</sup>で空気量が4%となるAE剤量を算出し、このAE剤量で混練した。なお、このときの係数bは既往の文献<sup>3)</sup>の値を用いた。

$$A = (C + \alpha F) \times a / 100 \quad \dots (1)$$

ここに、 $\alpha = bQ$  A: 単位AE剤量 (kg/m<sup>3</sup>)

C: 単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>) F: 単位フライアッシュ量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  F: フライアッシュの等価単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)

a: 普通コンクリートのAE剤使用量 (%)

Q: フライアッシュの特性値から定まる定数(メチレンブルー吸着量)

b: AE剤の種類とQとの組み合わせで決まる係数

ここでは、実際には空気量が4%とはならなかったため、さらに4%をはさむようなAE剤量で混練を行い、今回の実験データにおける空気量が4%となるAE剤量・係数bの算定および空気量管理手法の検討を行った。

\* 北海道大学大学院工学研究科材料性能学研究室  
助教授・工博

\*\* 室蘭工業大学工学部 助教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Div. Building Materials, Graduate School of Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

シリーズ2(表2)は、混練・アジテート等の条件が空気量・気泡組織に及ぼす影響を検討するものである。5種類のミキサー(強制攪拌50ℓミキサー、傾胴型ミキサー、水平2軸強制練りミキサー、強制攪拌100ℓミキサー、10ℓホバド型ミキサー、順に記号を表2に示す。以下、記号で表記。また、50強制で練量が半分のは25/50強制と表記)を用い、練量・フライアッシュの有無・AE剤種類を組み合わせ、練上がり時、静置およびアジテート後の空気量、気泡組織を検討した。実験は、練上がり時の測定をした後、残りのコンクリートをアジテート用と静置用に分けて経時変化の測定用とした。その後、アジテート用、静置用とも20分おきに60分までモールドを用いた質量法でJIS A 1116に準じて空気量を測定した。なお、この試験体は、硬化後、リニア・トラバース法の測定用とした。練量の少ない25/50強制と10ホバは、練上がり時と60分後のみ測定を行い、基本となる50強制については、経時変化に伴う気泡組織の変化も測定した。

シリーズ3(表3)は、耐凍害性におよぼす各種の要因の影響を検討したものである。ここでは、AE剤種類、ミキサーの種類(強制、傾胴)、アジテートによる経時変化、試験開始材齢の影響を検討した。試験開始材齢は、一般的な凍結融解試験の条件である2週の外に、置換率が15%のフライアッシュコンクリートが普通コンクリートと同等の圧縮強度となる4週のもの、および水結合材比を45%とするものを加えた。

### 3. 使用材料および実験方法

各シリーズに共通する材料として、AE剤はフライアッシュ用と一般用を使用し、その概要を表4に示す。セメントは、普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm<sup>3</sup>)、骨材は、細骨材に勇払産陸砂(表乾比重2.65)、粗骨材に常盤産砕石(表乾比重2.62)を使用した。また、シリーズ2,3で使用したフライアッシュの性状を表5に示す。なお、調合種別の表示が必要な場合、フライアッシュの有無とAE剤種別を組み合わせる(例:WA1)。

各シリーズの基本調合を表6に示す。シリーズ1では、普通コンクリートでスランプ18±1cm、空気量4±1%となるように調合を決定し、結合材質量の20%をフライアッシュに置き換えたものを基本調合とした。なお、AE剤量は(1)式により決定した。シリーズ2,3では、フライアッシュの置換率を15%とし、フライアッシュの有無・AE剤種別・目標空気量ごとに、50強制を用いた試練りでスランプ18±1cmを目標に決定し、ミキサーによらず同調合で混練した。

各シリーズとも、混練は材料を一括投入し、混練時間は各ミキサーの通常の混練時間(ミキサー種別によらず3分間)とした。練上がり時には、練温、スランプ(JIS A 1101)、モールドを用いた質量法による空気量(JIS A 1116に準ずる)の測定を行い、練温は25±1℃とした。また、シリーズ2および3では、質量法(JIS A 1116)および圧力法(JIS A 1128)により空気量も測定した。アジテートは、傾胴型ミキサーによって行い、1分間に4回の割合で回転を与えた。

シリーズ3の一部では、圧縮強度試験(JIS A 1108)、引張強度試験(JIS A 1113)を、それぞれ材齢2週、4週で測定した。シリーズ3の凍結融解試験については、ASTM C 666 A法に準じて300サイクルまで測定し、シリーズ2,3の気泡組織は、リニア・トラバース法(ASTM C 457)に準じて測定を行った。

表1 実験計画(シリーズ1)

フライアッシュ種類		基礎性性状試験	AE剤	AE剤量
炭種	採取条件			
南屯(南屯)	5種類	比重 強熱減量 メチレンブルー吸着量 ブレン値	FA用 (記号:M) 一般用 (記号:A1)	・目標空気量4% (1)式による ・実験結果に応じ て設定
ワンボ(WA)	11種類			
ドレートン(DR)	1種類			
オプティム(OP)	1種類			

表2 実験計画(シリーズ2)

ミキサー種類 (記号)	練量	FA有無	AE剤	空気量等の測定			
				0分	20分	40分	60分
50強制	50	なし (記号:O)	M	●△□	△□	△□	△□
	25			●△□	-	-	△□
傾胴	50	あり (記号:W)	A1	●△□	△	△	△□
水平2軸	50			●△□	△	△	△□
100強制	50			●△□	△	△	△□
10ホバ	10			△□	-	-	△□

注) ●:圧力法および圧力法容器による質量法  
△:モールドによる質量法  
□:リニアトラバース法

表3 実験計画(シリーズ3)

W/B	FA有無	AE剤	ミキサー	Air(%)	材齢 <sup>※2</sup>	凍結融解	気泡組織	強度
55%	O	M	強制	3%	2W	○	○	○
					4W	x	○	○
				4%	2W	○●	○●	○●
			4W	(○)	○	(○)		
			5%	2W	○(●)	○(●)	○(●)	
			4W	x	○	○		
	W	A1	傾胴	4%	2W	○[●]	○[●]	○[●]
					4W	x	○	(○)
				A4 <sup>※1</sup>	2W	●	●	○●
			4W	x	●	x		

注) ※1 A4はアジテート後4%を目標とした  
※2 凍結融解開始・強度試験の材齢  
○:練上がり後、試験体作製  
●:アジテート後、試験体作製  
( ):FA有のみ  
[ ]:FA有・AE剤Mのみ

表4 AE剤の概要

記号	種類	主成分
M	フライアッシュ用特殊AE剤	高アルキルカルボン酸系陰イオン界面活性剤 と非イオン界面活性剤
A1	一般用AE剤	アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤

表5 フライアッシュの基礎性状(シリーズ2,3)

炭種	湿分 (%)	強熱減量 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ブレン値 (cm <sup>2</sup> /g)	メチレンブルー吸着量 (mg/g)
ワンボ	0.22	2.7	2.16	3754	0.88

表6 基本調合

シリーズ	目標 Air	W/B (%)	S/A (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	質量(kg/m <sup>3</sup> )				AE剤量(%)		
					セメント	FA	細骨材	粗骨材	M	A1	
1	4%	55	46.8	168	248	62	851	993	-	-	
					4%	55	48.4	173	315	0	894
2	4%	55	47.8	173	267	47	876	955	0.042	0.019	
					3%	55	49.1	173	315	0	921
	3	4%	55	48.4	173	315	0	894	955	0.011	0.002
						A4 <sup>※1</sup>	55	48.4	173	315	0
		5%	55	47.6	173	315	0	867	955	0.021	0.004
		4%	55	47.8	173	267	47	876	955	0.048	0.017
	5%	55	47.1	173	267	47	849	955	0.060	0.020	

備考) 骨材は表乾状態。

4. 実験結果および考察

4.1 フライアッシュの品質変動と空気量管理手法の検討

フライアッシュの採取日とメチレンブルー吸着量、連行空気量の関係を図1に示す。同じ炭種でも採取日によってメチレンブルー吸着量の値に変動が見られる。空気量で黒塗りのものは、(1)式に文献2)のb値(M:1.80, A1:70.63)を用いて目標空気量4%で混練したものである。全体に空気量が多く、メチレンブルー吸着量が同等のものでも空気量に違いが出ている。同図の白抜きのは、本実験のデータで算定したb値(M:1.18, A1:33.64)を用いて求めた空気量が4%となる時のAE剤量で混練した場合の実際の空気量である。ややばらつきはあるものの、4%に近い値となっており、適切にb値を設定することにより(1)式を空気量の管理に活用できる可能性があることがわかる。また、フライアッシュの採取年度によりb値が異なっており、メチレンブルー吸着量が測定者の比色による判定のためにばらつきが生じているか、あるいはメチレンブルー吸着量だけでは表現できない要因が必要AE剤量に影響しているものと考えられる。

4.2 混練条件が空気量、気泡組織に及ぼす影響

(1) ミキサー種別による空気連行性

各ミキサーの練上がり時の空気量を図2に示す。この図からミキサーには空気が入りやすいものがあり、しかも調合種別の影響は小さいことがわかる。特に、傾胴は空気が入りやすくなっている。また、練り量の異なる50強制と25/50強制を比較すると、25/50強制の空気量が少なくなっている。

ここで、空気量におよぼすミキサーの影響は明確な傾向があり、(1)式にミキサーの影響を加えることを検討する。ミキサーの影響は、コンクリートの種類によらず、ミキサーの種類・練り量による影響のみであると仮定すると、(1)式は、以下のように書きかえられる。

$$A = (C + \alpha F) \times aa' / 100 \quad \dots (2)$$

ここに、a': ミキサーの種類・練り量により定まる定数

練上がり時の空気量を用い、10ホバ((1)式を導いた時の実験で用いたミキサー)のa'値を1とした場合に、他のミキサーのa'値は、表7のように表される。図3に、空気量が4%となる時のAE剤量の計算値((1)式および(2)式で計算)と実験値の関係を示す。なお、ここで、a'値は表7の平均値を用いている。この図から(2)式により計算することにより、空気量におよぼすミキサーの効果を表現できると考えられる。

(2) 空気量の経時変化

練上がり時と60分後の空気量をアジテートと静置に分けて図4に示す。アジテートしたものの方が静置したものより空気量の低下が大きくなっているが、各調合の空気量の低下傾向は同様となっている。各調合を比較すると、AE剤A1を用いたもの、フライアッシュを用いたものの空気量の低下が大きくなっている。また、フライアッシュを混入し、アジテートしたものの空気量は、AE剤Mにおいても低下が大きくなっている。

アジテート中の空気量の変化をミキサーごとに表したものを図5に示す。混練に水平2軸または傾胴を用いたものは、アジテート後20分までに空気量が低下し、特に、フライアッシュを用いたものは急激に低下している。一方、50強制、100強制では、急激な

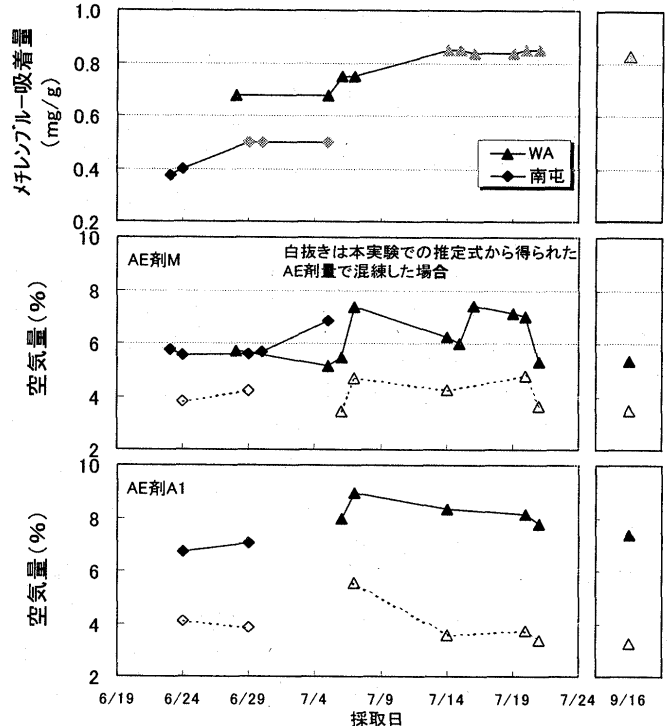


図1 フライアッシュの品質変動と連行空気量

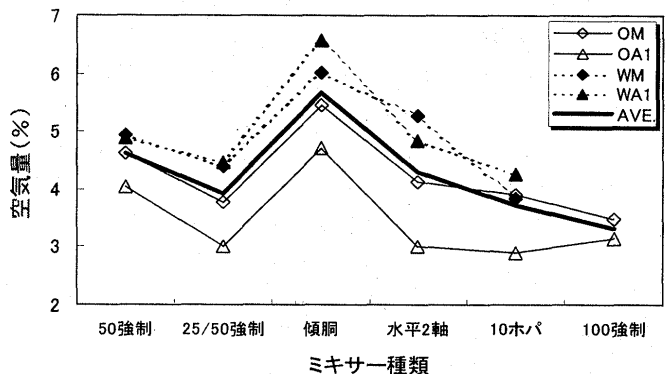
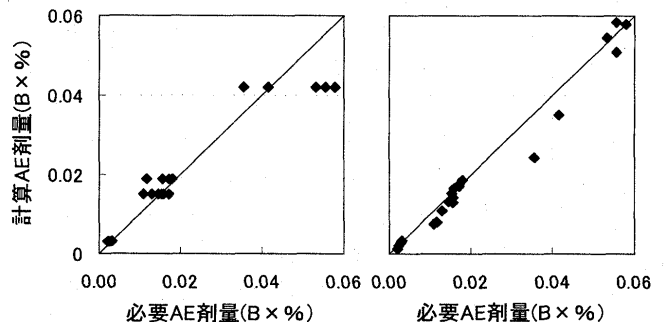


図2 ミキサーの違いによる練上がり時の空気量

表7 今回の実験結果から得られたa'値

	50強制	25/50強制	傾胴	水平2軸	10ホバ	100強制
OM	0.85	1.04	0.72	0.95	1.00	1.12
OA1	0.89	1.15	0.73	0.83	1.00	—
WM	0.72	0.96	0.61	0.96	1.00	0.92
WA1	0.91	1.05	0.68	0.92	1.00	—
AVE.	0.84	1.05	0.69	0.92	1.00	1.02



(1)式により計算した場合 (2)式により計算した場合  
図3 単位AE剤量の実験値と計算値の関係(空気量4%)

空気量の低下は認められず、AE 剤Mを用いたものでは、20分後に空気量が増加している。このような経時変化の違いは、混練時のミキサーの特性による気泡組織の違いを表しているものと考えられる。

60分後の空気量の変化をミキサーごとに比較したものを図6に示す。アジテートと静置を比較すると、25/50強制を用いたもの以外はアジテートした方が空気量の低下が大きく、全てのミキサーでAE 剤A1の方がAE 剤Mより空気量の低下が大きくなっている。

参考に、フライアッシュ用AE 剤の品質基準値<sup>4)</sup>を図中に示す。なお、この基準では使用するフライアッシュの品質が制限され、強熱減量の値を1m<sup>3</sup>中に4.80kgとして60分静置後に評価を行うものである。今回の実験では強熱減量の値は1.27kgとなっているが、この基準値と比較すると、AE 剤A1を用いたものは10ホバ以外の全てのミキサーでこの基準値よりも静置後の空気量の低下が大きくなっている。また、AE 剤Mを用いたものは、静置した場合、全てのミキサーで基準値よりも空気量の低下が小さいが、アジテートすると基準値よりも大きくなるものがある。ミキサーでは、水平2軸、傾胴を用いたものをアジテートしたときの空気量の低下が大きくなっている。このため、フライアッシュ用AE 剤を評価する場合、混練条件、アジテートと静置の違いについても考慮する必要があるものと思われる。

(3) 気泡組織

練上がり時に採取したコンクリートの硬化後の気泡間隔係数をミキサーごとに比較したものを図7に示す。練り量の少ない10ホバ、50強制を用いて練り量を半分とした25/50強制の気泡間隔係数が大きくなっており、これは練り量の影響であると考えられる。他のミキサーでは、コンクリートの種類による違いはあるが、水平2軸でやや小さくなる程度で、ミキサーによる気泡間隔係数の違いはそれほど大きくなっていない。しかしながら、ミキサーが異なると空気量が異なり、空気量が大きくなると気泡間隔係数が大きくなり、この影響が含まれているものと考えられる。このため、傾胴では気泡間隔係数が小さくなっているが、空気量の大きさを考えると、粗大な空気泡が混入されているものと思われる。

コンクリートの種類で比較すると、AE 剤Mを用いたものの気泡間隔係数が小さく、特に、WA1とWMは同程度の空気量であるにもかかわらず、気泡間隔係数に大きな違いが出ている。また、AE 剤A1を用いたものでは、フライアッシュコンクリートの方が気泡間隔係数が大きくなっているが、Mを用いたものではフライアッシュコンクリートの方が気泡間隔係数が小さくなっている。このため、フライアッシュコンクリートの場合には空気量だけでなく、気泡組織に注意してAE 剤を選定する必要があるものと思われる。

練上がり時に採取したコンクリートと60分経過後に採取したコンクリートの硬化後の気泡間隔係数を比較したものをアジテート後と静置後に分けて図8に示す。普通コンクリートは、アジテートによって気泡間隔係数がやや小さくなる傾向がある。しかしながら、フライアッシュコンクリートの気泡間隔係数は逆に大きくなる傾向があり、特に、フライアッシュコンクリートに一般用のAE 剤を用いたものの気泡間隔係数が大きくなるのがわかる。また、気泡間隔係数の小さいコンクリートはアジテート後も気泡間隔係数の変化は小さく、実際の施工を考えると気泡間隔係数の小さいコンクリートとする必要があるものと考えられる。静置した場合には、気泡間隔係数

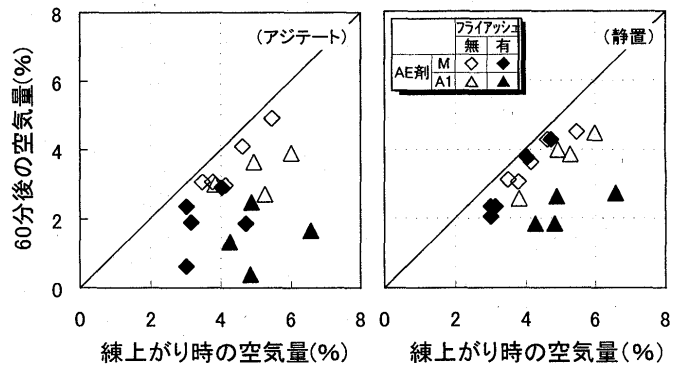


図4 練上がり時と60分後の空気量

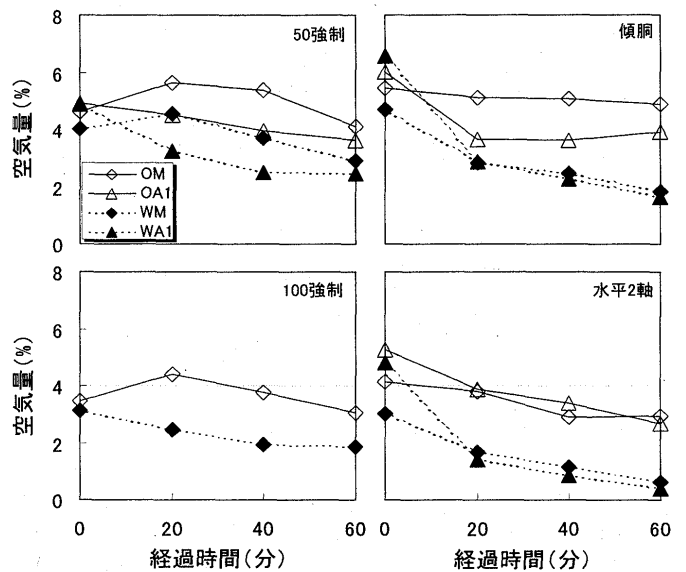


図5 アジテート中の空気量の変化

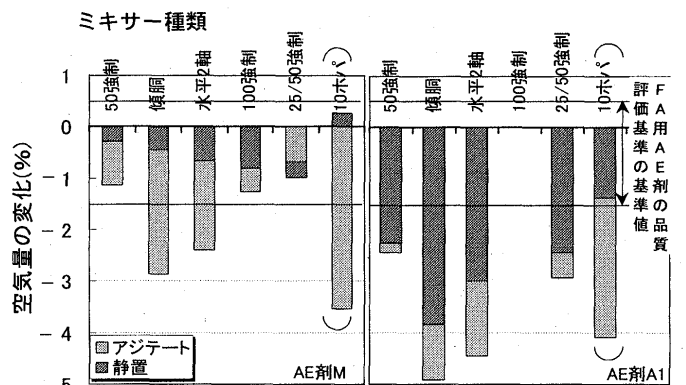


図6 練上がり時と60分後の空気量

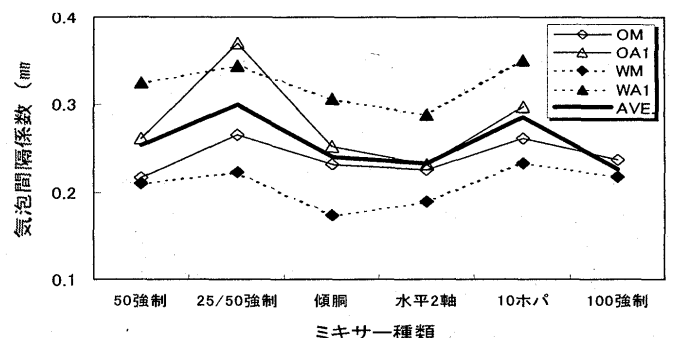


図7 ミキサーの種類が気泡間隔係数に及ぼす影響

の変化は小さいが、アジテートした場合と同様の傾向が表われているものと考えられる。

### 4.3 耐凍害性に与える影響要因の検討

#### (1) 耐凍害性に及ぼす空気量の影響

打込み時の空気量と凍結融解試験開始条件を水中養生2週とした試験体の耐久性指数および300サイクルにおける質量減少率の関係を図9に示す。なお、図にはアジテート後および静置後のコンクリートも含まれている。空気量と耐久性指数の関係をみると、空気量が少なくても耐久性指数が高いもの、空気量が多くても耐久性指数の小さいものがあり、打込み時の空気量だけでは耐久性指数を説明できないことがわかる。コンクリート種別で比較すると、フライアッシュコンクリートの耐久性指数が低く、特に、AE剤A1を用いたフライアッシュコンクリートの耐久性指数が低くなっている。また、フライアッシュコンクリートは普通コンクリートよりも質量減少率が大きい傾向があり、特に、AE剤A1を用いたものの質量減少率が大きくなっている。しかしながら、AE剤Mを用いると、普通コンクリートとフライアッシュコンクリートの質量減少率の差は小さくなっている。

#### (2) 耐凍害性に及ぼすミキサー種別・アジテートの影響

ミキサー種別・アジテートが硬化後の空気量と耐久性指数に及ぼす影響を図10に示す。アジテートを行わないものでミキサー種別の影響をみると、AE剤A1を用いたフライアッシュコンクリートでは、傾胴型ミキサーを用いたものの耐久性指数が特に低くなっているが、それ以外のものでは明確な傾向は認められない。

アジテートによる影響を見ると、全てのコンクリートでアジテート後に空気量が減少し、フライアッシュコンクリートは普通コンクリートよりも空気量の減少が大きい傾向があり、AE剤A1を用いたフライアッシュコンクリートの空気量の減少がAE剤Mを用いたものに比べて大きくなっている。また、AE剤A1を用いたフライアッシュコンクリートはAE剤Mを用いたものに比べて耐久性指数が低く、アジテートによる空気量の低下とともに耐久性指数も大きく低下していることがわかる。一方、AE剤Mを用いたフライアッシュコンクリートは、アジテートにより空気量が低下しているにもかかわらず耐久性指数の低下が小さくなっている。

気泡間隔係数と耐久性指数の関係を図11に、硬化後の空気量と気泡間隔係数の関係を図12に示す。なお、これらの図にはアジテート後および静置後のコンクリートも含まれている。ややばらつきはあるものの、気泡間隔係数が大きくなると耐久性指数が低下していること、気泡間隔係数が同等でもフライアッシュコンクリートの耐久性指数は低めであることがわかる。また、図12から、AE剤A1を用いたフライアッシュコンクリートは、空気量が多いものでも気泡間隔係数が比較的大きく、AE剤Mを用いたコンクリートは、空気量が少なくても気泡間隔係数が小さいことがわかる。前述のようにフライアッシュコンクリートの空気量の経時変化が大きい、AE剤Mを用いると、アジテートによって空気量が低下しても気泡間隔係数が小さく、耐久性指数が大きくなっているものと考えられる。

#### (3) 耐凍害性に及ぼす養生の影響

養生が圧縮強度と耐久性指数に及ぼす影響を図13に示す。なお、凍結融解試験結果と圧縮強度には空気量の影響が大きいため、FA無の試験体では、空気量と強度・耐久性指数の関係から補間により空

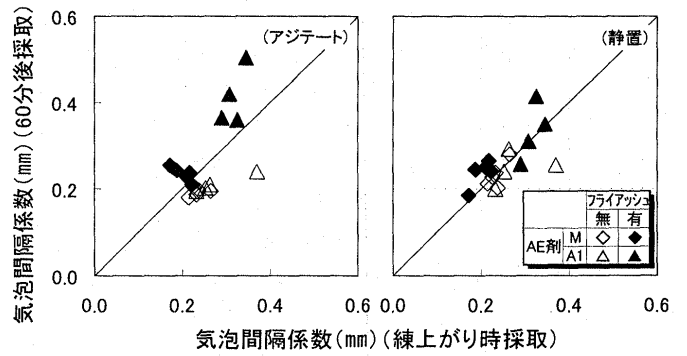


図8 練上がり時と60分後に採取した試験体の気泡間隔係数

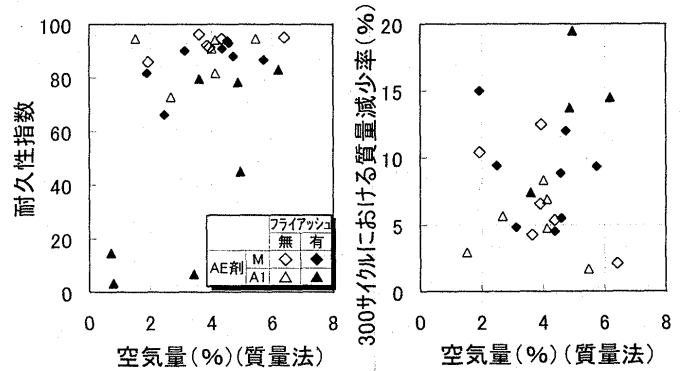


図9 空気量と耐久性指数・質量減少率の関係

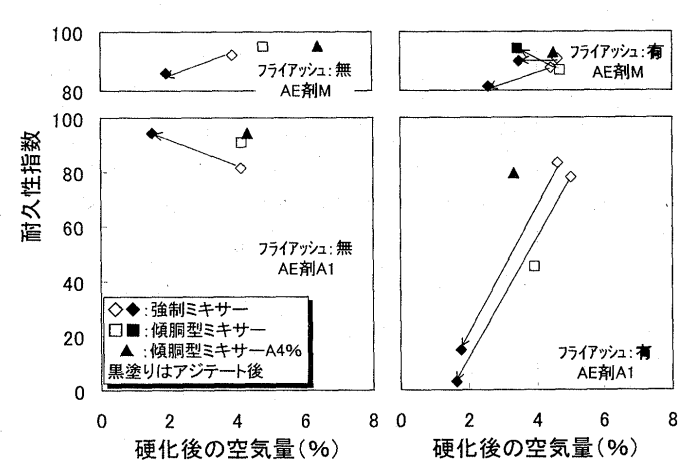


図10 ミキサー種別・アジテートが空気量と耐久指数に及ぼす影響

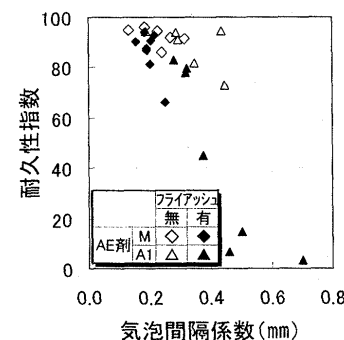


図11 気泡間隔係数と耐久性指数

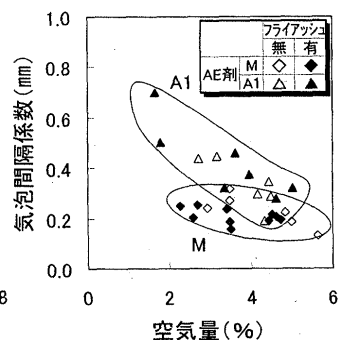


図12 硬化後の空気量と気泡間隔係数

気量がFA有と同一のときの値に補正したものをを用いている。凍結融解試験開始材齢を2週とした場合、空気量が確保されたフライアッシュコンクリートの耐久性指数はある程度高い値を示すものの、普通コンクリートより低い値となっている。フライアッシュコンクリートの養生期間を4週とすると、圧縮強度は普通コンクリートと同等となり、耐久性指数も同等となることがわかる。

養生期間が圧縮強度と質量減少率に及ぼす影響を図14に示す。この図においても空気量と強度・質量減少率の関係から、補間により空気量が同一のときの値に補正したものをを用いている。フライアッシュコンクリートは、養生期間を4週とすることにより質量減少率が2週に比べて小さくなっているのがわかる。

以上から、フライアッシュコンクリートは材齢2週で凍結融解試験を行うと、フライアッシュを使用しないコンクリートに比べ、養生が不十分なために耐凍害性が低く評価されるものと考えられる。

5. まとめ

- (1) フライアッシュの基礎性状をとらえ、等価セメント量に換算してAE剤量を推定する方法は、フライアッシュコンクリートの空気量管理方法として適用の可能性があることが示された。
- (2) フライアッシュの有無・混練条件・AE剤種別は、コンクリートの空気連行性・空気量の経時変化・気泡組織に影響を与える。特に、普通コンクリートはアジテートすることにより気泡間隔係数がやや小さくなる傾向があるが、フライアッシュを混入したものはアジテートによって空気量が減少するとともに気泡間隔係数が大きくなる傾向がある。
- (3) フライアッシュコンクリートは、AE剤を選定することにより気泡間隔係数を小さくでき、かつアジテートによる空気量の低下に対しても気泡間隔係数を小さく保つことができる。
- (4) フライアッシュコンクリートは、材齢2週で凍結融解試験を開始すると、養生が不十分なために耐凍害性が低く評価される。

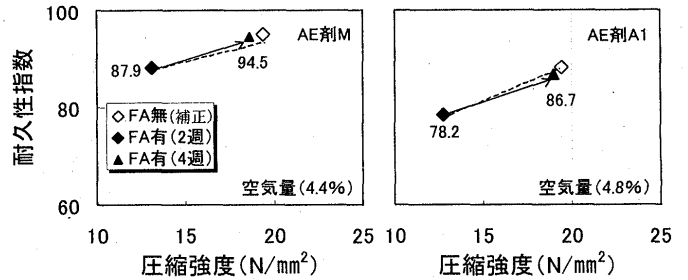


図13 養生が圧縮強度と耐久性指数に及ぼす影響

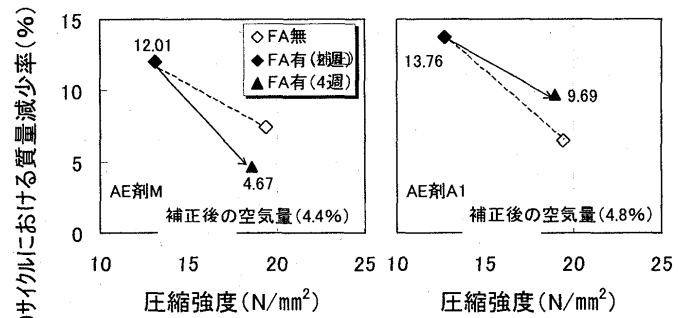


図14 養生が圧縮強度と質量減少率に及ぼす影響

謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力いただいた当時の大学院生の坂恵啓介君ならびに当時の卒論生の馬場雄一郎君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 長滝重義他、777777を混和したコンクリートの耐凍害性評価、セメント技術年報、Vol.41、pp371～375、1987
- 2) 千歩 修他、フライアッシュコンクリートの空気量・気泡組織の経時変化と耐凍害性、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp47～48、1997
- 3) 須藤由美子他、フライアッシュコンクリートのAE剤使用量算定方法の提案、日本建築学会構造系論文集、No.510、pp1～6、1998.8
- 4) 日本建築学会、フライアッシュコンクリートを使用するコンクリートの調査設計・施工指針(案)・同解説、1999.2

(2001年12月7日原稿受理、2002年6月5日採用決定)