

[1035] フライアッシュコンクリートの空気連行性と耐凍害性

正会員 長瀧重義（東京工業大学）
 正会員 大賀宏行（東京工業大学）
 正会員 ○増田和機（東京電力 技術研究所）
 正会員 内田 明（前田建設工業 技術研究所）

1. まえがき

火力発電所から副産されるフライアッシュはコンクリートの流動性、長期強度の改善ならびに水和発熱の低減、耐硫酸塩性などの化学抵抗性の向上など混用効果の多いことが知られている。しかしながら、近年においては海外炭の導入、NO_x 規制などによりフライアッシュの品質は比重、比表面積、粒子形状、未燃カーボン含有量等その物理化学的性質が広範囲に変動している。¹⁾これに伴いAE剤、減水剤等混和剤の吸着、連行空気量の変動、コンシステンシーの変動を生じ、所要の品質のコンクリートを得るのに苦慮しているのが現状である。^{2), 3)}

コンクリートの耐凍害性については、国内外の研究者によって検討されているが、コンクリート中の空気量が耐凍害性に及ぼす影響は他の要因に比して著しく大きいことから、空気量を変動させる可能性の多いフライアッシュを混和したコンクリートの耐凍害性について検討を加える必要がある。⁴⁾

本研究は、同一燃焼炉から得られた物性の異なる6種類のフライアッシュを用いてフライアッシュコンクリートの空気保持能力ならびに耐凍害性について気泡組織、細孔構造と関連させて検討した。

2. 試験概要

表-1 品質特性試験結果一覧表

2.1 使用材料および配合

フライアッシュは常盤共同火力の同一燃焼炉を使用し、炭種、燃焼温度を変えて得られた6種類を用いた。これらの特性を表-1に示す。

セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材は、大井川産川砂（比重

2.61, 吸水率 1.07, FM

2.63）粗骨材は、信濃川産

川砂利(Gmax 25mm, 比重 2.75,

吸水率 1.20, FM 7.52)をそれぞれ使用した。混和剤は、レジン系AE剤（以下OAEと呼ぶ）および未燃炭素による被吸着能を改善したポリオキシエチレン系AE剤（以下CAEと呼ぶ）の2種類を使用した。

配合は混和剤の別にOAEを使用したシリーズⅠとCAEを使用したシリーズⅡとに分けて、

試料	Na	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6
炭種		釧路 48 : プレアソール : マウントソール			釧路 61 : プレアソール		
(混合率)		(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
発電負荷 (Mw)		600	350	200	450	350	200
混分 (%)		0.34	0.45	1.02	0.26	0.40	0.71
強熱減量 (%)		4.06	4.75	8.11	2.16	3.79	5.08
二酸化ケイ素含有量 (%)		61.44	60.97	58.81	55.37	55.54	54.68
比重		211	211	218	209	212	213
粉末度 (cm ³ /g)		3,870	4,590	6,330	3,260	4,080	5,070
単位水量比 (%)		97	99	100	95	97	99
メチレンブルー吸着量 (mg/g)		0.25	0.40	0.60	0.15	0.25	0.60
みつかさ比重		1.06	0.98	0.85	1.13	1.11	0.98

それぞれのシリーズにおいてスランブを一定とし、フライアッシュの種別、フライアッシュ置換率 (F/C+F) および水結合材比を変化させた。(表-2)

表-2 配 合

	配合記号	Ginax (mm)	水結合材比 (%)	練上り時設定 空気量 (%)	スランブ ^a (cm)	フライアッシュ 置換率 (%)	備 考
シリーズ I	O-NF	25	45, 55	4.5	12	0	
	O-F _{1~6}	25	45, 55	4.5	12	20	
シリーズ II	C-NF	25	45, 55	4.5	12	0	
			65				
	C-F _{1~6}	25	45, 55	4.5	12	20	
			65				

但し、表中 O:OAE C:CAE NF:フライアッシュ無混合 F_{1~6}:フライアッシュ番号

2. 2 試験方法

(1) 供試体の作製およびフレッシュコンクリートの空気量の測定

コンクリートの練り混ぜは、可傾式ミキサを使用して1パッチ当り練り上がり量を 140ℓとし、全材料投入後3分間とした。練り上がったコンクリートは、ミキサから一時排出して空気量測定の他フレッシュコンクリートの諸試験を実施し、供試体用試料を採取した。

その後再び同ミキサに戻して周速30cm/sec でアジテートを行い30分経過後に再度排出し空気量測定の他諸試験を行なった。同様操作を60分、90分迄行なった。なお、空気量の測定は JIS A 1118に準拠した。

(2) 硬化コンクリートの気泡分布

気泡間隔係数測定用供試体は練り上がり直後および60分間アジテートしたフレッシュコンクリートからそれぞれ採取した。供試体は10×10×40cmの角柱で打設後24時間湿潤養生を行い、脱型後材令28日迄20℃の水中で養生を行った。さらに測定用試料は、供試体長手方向中央部から10×10×5cmを切り取って作製した。測定はASTM C457 リニヤトラバース法に準拠し、気泡数、気泡弦長、気泡間隔係数を測定した。

(3) 凍結融解試験

試験は、ASTM C666 B法、気中凍結水中融解に準拠したが、試験開始材令はフライアッシュを混入していることを考慮して28日とした。供試体は、練上り直後および60分間アジテート後のものから作製しその形状は10×10×40cmの角柱とした。

(4) 細孔径分布の測定

細孔径分布測定用試料は、コンクリートのモルタル部を、粒径2~4mm程度に粉碎し、アセトン処理を施し試験に供した。

装置は、水銀圧入ポロシメータを使用して測定の範囲は75~75000Åとした。

3. 試験結果と考察

3. 1 フレッシュコンクリートの空気量の経時変化

図-1にOAEを用いたコンクリートの空気量の経時変化を示す。フライアッシュ無混和のコンクリートの空気量は、時間とともにほぼ一定の減少傾向を示し、水結合材比を変化させてもこの傾向に変化は見られなかった。

一方、フライアッシュコンクリートの空気量は水結合材比およびフライアッシュの品質により若干異なる傾向にあるが、全般的にフライアッシュ無混和に比べ空気量の減少量は大きく、練り

上がり後30分迄に急激な減少が見られる。

そこでアジテート60分後においても 4.5%程度の空気量を確保するため、練り上がり直後の空気量を増大させ検討を加えた。(図-2)

なお、空気量を増大させたコンクリートの配合は、シリーズIの配合においてAE剤量のみを変化させた配合を用いたので、スランプの値は異なっている。フライアッシュ無混和の場合、空気量の経時変化が少ないので練り上がり直後に 6%程度の空気量を連行すれば所要の空気量が得られるが、フライアッシュコンクリートの場合には、9%程度の空気量を連行する必要がある。

図-3にCAEを使用したコンクリートの空気量の経時変化を示す。水結合材比55%および65%の場合、フライアッシュの混和の有無によらず空気量はほぼ同じ経時変化を示す。水結合材比が55%の場合、空気量の減少はほとんど認められないが、65%の場合、60分後で約 1%の空気量が減少している。一方、水結合材比が45%ではフライアッシュの品質によりそれぞれ異なった挙動を示し、例えば30分経過後でF₃の配合では約 5%、F₁では約 1%空気量の増加を示した。

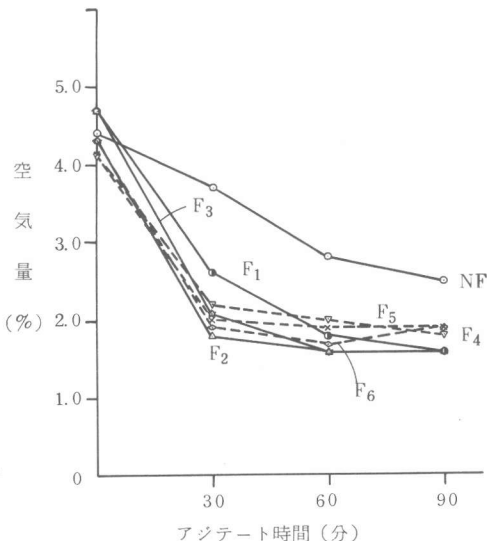


図-1 空気量の経時変化
(OAE, W/C+F=55%)

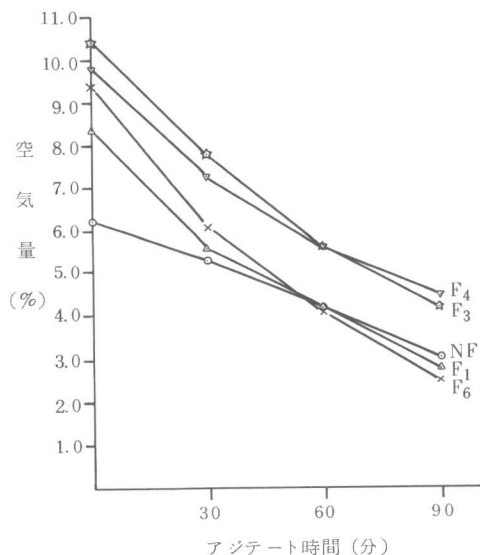


図-2 空気量の経時変化
(OAE, W/C+F=55%, 60分後空気目標量 4.5%)

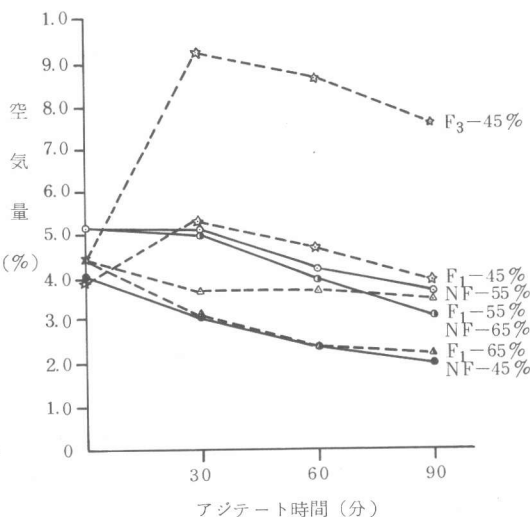


図-3 空気量の経時変化(CAE)

3. 2 硬化コンクリートの空気泡分布

図-4にJIS A 1118による空気量と気泡間隔係数との関係を示す。空気量 3%以上では、気泡間隔係数の変動は少なく、 $370\mu m$ 以下の範囲にあるが、2.5%を境にこれ以下では、気泡間隔係数は $300\mu m$ から $1000\mu m$ 以上の範囲に分布している。

図-5, 6は練上り直後および60分経過後の空気泡数の分布状態を示したもので図-5はOAE, 図-6はCAEを使用した結果である。

OAEを使用した場合コンクリート中の気泡数は、時間とともに気泡弦長 $200\mu m$ 程度以下の微細部分が減少する。特にフライアッシュを混和したコンクリートではこの現象が顕著に現れている。

CAEを使用した場合は、逆に時間とともに微細部分が増加する傾向を示している。フライアッシュを混和しないコンクリートは、60分経過すると全気泡数が減少するが、 $200\mu m$ 以下の微細空気泡の数は増加している。

また、 $300\mu m$ 以上の空気泡の数は、水結合材比、混和剤の種類、フライアッシュの品質、経過時間にかかわらずほぼ一定の分布状態を示した。

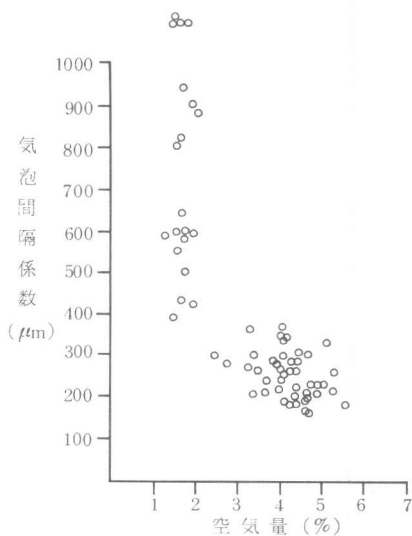


図-4 空気量と気泡間隔係数の関係

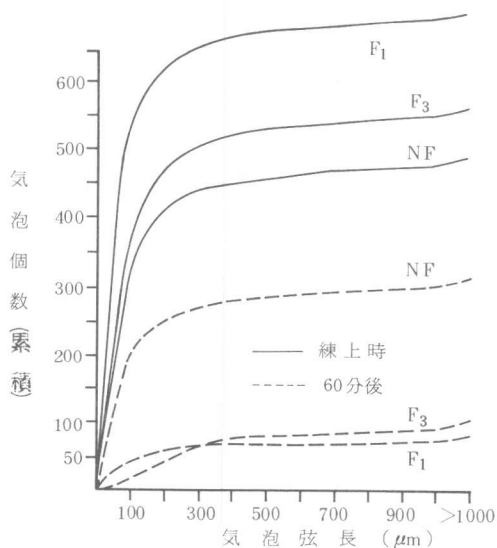


図-5 コンクリートの気泡分布
(OAE, $W/C+F=55\%$)

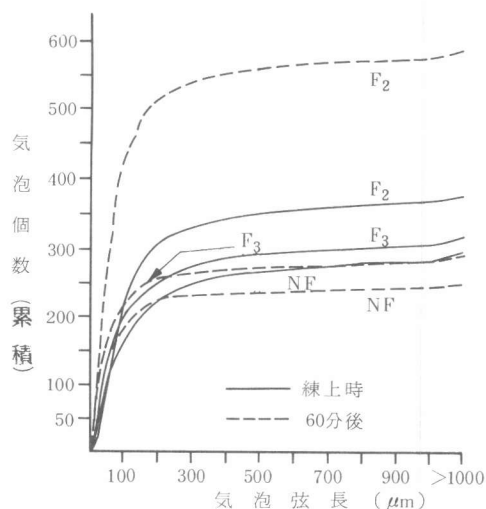


図-6 コンクリートの気泡分布
(CAE, $W/C+F=55\%$)

3.3 凍結融解試験結果

OAEを使用したフライアッシュコンクリートで水結合材比が55%、練り上がり時の空気量が4.5%の場合、練り上がり直後に採取した供試体では、耐久性指数が全て80%以上を示すが、60分後に採取した供試体の耐久性指数は2%以下となり耐凍害性に劣る結果となった。(図-7参照)しかし図-2で示した60分後においても4.5%程度の空気量が残存している供試体の耐凍害性は採取時期によらず優れていた。

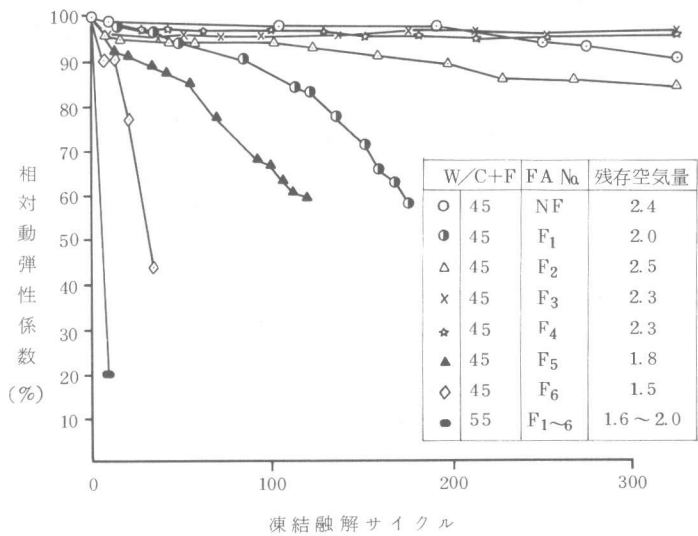


図-7 凍結融解試験結果 (OAE, 60分後)

図-7に練り上がり時に空気量を4.5%連行したコンク

リートで60分後に採取した供試体の凍結融解試験結果を示すが、水結合材比45%とした場合には、フライアッシュの品質の影響が強く現れ、F₂, F₃, F₄を混和したコンクリートの耐久性指数は80%以上を示し、F₁, F₅, F₆の場合は60%以下の結果となった。なお、F₁, F₅, F₆の場合は残存空気量が2.0%以下であった。

また、フライアッシュを混和しないコンクリートの場合には、すべて耐久性指数は90%以上であった。

一方CAEを使用したコンクリートは、空気保持能力において水結合材比の影響はあるものの、全ての供試体共優れた耐凍害性を示した。

気泡間隔係数と耐久性指数の関係を、図-8に示すが、AE剤の種類によらず気泡間隔係数300 μ m程度以下では、耐久性指数が80%以上であった。

3.4 細孔径分布

コンクリートの耐凍害性とペースト硬化体の細孔径の関係について検討するため、細孔径分布を測定した。結果の一例を図-9に示す。図中破線で示す部分は、60分経過後の細孔径を示す。練り上がり時に比較して60分経過したものは、240 $\text{\AA}$ 以上の細孔が減少し、それ以上では細孔が増加している。これは、透水性、融点温度の点から

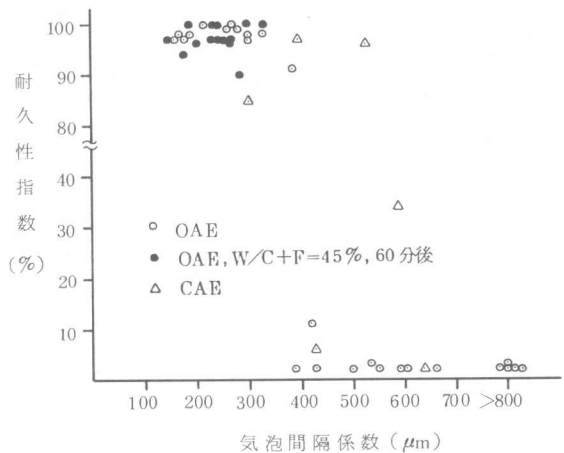


図-8 気泡間隔係数と耐久性指数

考えると耐凍害性に好結果を与えると推察される。⁶⁾ しながら、今回の凍結融解試験のシリーズⅠの水結合材比55%の結果(耐久性指数が全て2%以下)を考えると、コンクリートの耐凍害性はペーストの細孔径分布よりも空気泡の分布状態に支配される部分が大であると判断される。

4. まとめ

今回の試験結果から次のことが判明した。

(1) OAEを使用したコンクリートの空気量は、時間とともに減少するが、フライアッシュの混和により経時変化が著しくなる。特に30分後までの減少量が著しく大きい。

(2) OAEを使用したコンクリートの場合、経時により微細な空気泡が消失し耐凍害性が劣る。

(3) CAEを使用した場合、空気量の経時変化は少なく、60分後に採取した供試体でも耐凍害性が優れている。

(4) 気泡間隔係数 $300\mu m$ 以下であれば、フライアッシュの混和の有無、採取時期、水結合材比によらず耐凍害性は優れている。

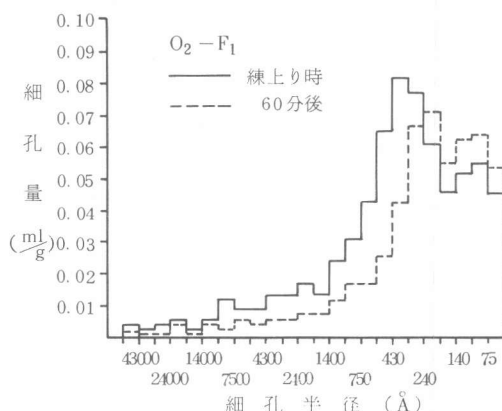


図-9 細孔径分布

以上から凍害を受ける環境下における構造物に

フライアッシュコンクリートを用いる場合、強度の他、使用されるフライアッシュの品質、AE剤種類、水結合材比が空気連行性に及ぼす影響を握し、練り上がりから打設までの空気量の経時変化を考慮することが重要である。

最後に、本研究の実施にあたり多大な御協力を承った常盤共同火力㈱には深く感謝の意を表します。

文 献

- [1] 安田：各種石炭灰の諸性状と有効利用の展望 電力土木 NO.204 PP21～PP31 1986
- [2] 長滝，大賀，嶋田，矢島：各種フライアッシュの品質とコンクリートの流動性
第39回セ技年報 PP201～PP204 1985
- [3] 長滝，大賀，越智，中村：フライアッシュ品質とその評価に関する研究
第7回コンクリート工学年次講演会論文集 PP197～PP200 1985
- [4] 永倉：コンクリートの配合諸条件が凍結抵抗性に及ぼす影響に関する基礎的研究
土木学会論文集 第98号 PP15～PP25 1963
- [5] 藤井，鎌田，洪：コンクリートの耐結害性に及ぼす水セメント比，スランプ，空気量の影響 第1回コンクリート工学年次講演会論文集 PP33～PP36 1979
- [6] 鎌田：凍結作用を受けたコンクリートの挙動と細孔構造
セメントコンクリート NO.460 June PP28～PP34 1985