

論文 フライアッシュを多量に使用したコンクリートの耐久性

川口 修宏*1・黒瀬 悦成*2・古山 美宏*3・馬越 唯好*4

要旨：石炭火力発電所からの副産物であるフライアッシュを積極的に利用するために、フライアッシュを多量に使用したコンクリートの耐久性について調査を行った。

その結果、単位セメント量に対して約1.5倍と多量のフライアッシュを混合したコンクリートについてプレーンコンクリートおよび一般に使用されるフライアッシュ15%代替したコンクリートと比較して、耐凍害性は同程度、すりへり抵抗性、耐海水性、水密性などは改善され、断熱温度上昇量はプレーンコンクリートより低くなることがわかった。特に、単位セメント量210および240kg/m³配合では優れた耐久性を有している。

キーワード：フライアッシュ、耐凍害性、すりへり抵抗性、耐海水性、水密性、断熱温度上昇

1、はじめに

近年、我が国の電力事情は電力供給の安定化、供給コストの抑制を目的として石炭、石油、原子力発電等電力源の多様化がはかられている。その中でも石炭火力は化石燃料中最も経済性に優れ、石炭の分布も広範囲かつ豊富で供給の安定性もある。このような背景のもとで石炭火力が再び脚光を浴びており、全国各地で建設中あるいは計画中である。徳島県橘湾でも平成12年運転開始を目指して280万kWの石炭火力発電所が建設中である。従って、石炭火力の増加に伴い、石炭火力発電所の産業副産物であるフライアッシュが増大することになる。

フライアッシュはセメント原料およびコンクリート用混和材料として活用されている。フライアッシュを用いたコンクリートは単位水量の低減、ワーカビリティの改善、長期強度の増進、水密性の改善、水和熱の低減、耐凍害性・すりへり抵抗性の改善等の効果が得られる。しかし、一般に用いられているフライアッシュの代替量はセメント質量の15～30%と少ない。そこで、フライアッシュをより積極的に有効利用するため、セメント質量の1.1～1.7倍と多量に使用したコンクリートについての研究が見られるようになってきた[1、2]。

しかし、フライアッシュを多量に使用したコンクリートの耐久性については報告がきわめて少ない。そこで本研究は、フライアッシュをコンクリートに多量に使用した場合の耐久性を調査し、このコンクリートの有効性を実験的に評価したものである。セメントおよびフライアッシュの質量を変化させた配合のコンクリートについて耐凍害性、すりへり抵抗性、耐海水性、水密性および、断熱温度上昇等の特性を調査した。

2、実験概要

2.1、使用材料

(1) 普通ポルトランドセメント(C)：比重 3.15、比表面積 3.230g/cm²、28日圧縮強度

*1 徳島大学大学院 工学研究科生産開発工学専攻(正会員)

*2 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻

*3 福山市役所

*4 (株)四国総合研究所 土木技術部副主席研究員(正会員)

41.87MPa

(2) フライアッシュ(F): 比重 2.3、比表面積 3,370g/cm²、強熱減量 2.2、主成分 CaO 3.50%、SiO₂ 55.2%、Al₂O₃ 27.2%、Fe₂O₃ 4.99%

(3) 粗骨材(G): 那賀川産碎石 (比重 2.64、吸水率 1.08%、最大寸法 25mm)

(4) 細骨材(S): 那賀川産川砂 (比重 2.60、吸水率 1.72%)

(5) 混和剤: 高性能AE減水剤 (ナフタリン系) (SP)、AE剤(AEA)

2. 2、配合

実験に使用した配合は単位水量を 140kg/m³ と一定、単位セメント量を 180、210、240kg/m³ の3種類とし、フライアッシュとセメントとの質量比(F/C)を 1. 1、1. 3、1. 5 および 1. 7 とした。また、比較用として、フライアッシュを混合していないコンクリート (プレーンコンクリート、PL) および一般に使用されているフライアッシュ代替率 15% のコンクリート (NORMAL) を使用した。その配合を表-1 に示す。なお、それぞれの配合における 28 日圧縮強度も表-1 に示した。

表-1、コンクリートの配合

配合種別	粗骨材 最大寸 法(mm)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	F/C (%)	水結 合材 比(%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(%)		28日圧 縮強度 (MPa)	
						W	C	F	S	G	SP	AEA		
PL	25	12±2	4±1	0	50.0	140	160	320	—	763	1069	1.9	0.190	27.9
NORMAL				30	50.0		160	272	48	757	1061	0.2	0.110	23.7
C180F1.5				150	31.1		180	270	705	988	1.8	0.100	18.1	
C210F1.1				110	31.7		210	231	713	1000	1.3	0.090	22.3	
C210F1.3				130	29.0		210	273	693	972	1.8	0.100	22.8	
C210F1.5				150	26.7		210	315	673	944	1.9	0.120	25.4	
C210F1.7				170	24.7		210	357	653	916	2.0	0.130	24.9	
C240F1.5				150	23.3		240	360	641	899	2.6	0.180	29.3	

注) 表中の W、C、F、S、G、SP、AEA はそれぞれ 2. 1 に示した略号を用いた。

2. 3、コンクリートの練り混ぜ

コンクリートは 5.5リットル強制練りミキサで 3 分間練り混ぜた。それぞれの実験方法に従って供試体の作製し、養生を行った。

2. 4、実験方法

(1) 凍結融解試験

□10×10×40cm 角柱供試体を作製し、28 日間水中養生の後、JIS A6204 付属書 2 に従って 1 日 6 サイクルで 300 サイクルまで行った。

(2) すりへり試験

φ 15×5cm 円板供試体を作製し、28 日間水中養生の後、所定の回転数に達したときにすりへり減量を測定した。試験は逆 T 字形回転軸の下方水平軸左右に歯車状鋼製円盤をそれぞれ 7 枚装着したドレッシングホイールをボール盤に装着したアブレーション試験機により行い、85N の圧力を加えながら 180rpm で回転させて行った。

(3) 乾湿繰り返し試験

φ 10×20cm 円柱供試体を作製し、28 日間水中養生の後、乾湿繰り返し試験装置を用い 12 時間乾燥 - 12 時間湿潤を 1 サイクルとして所定のサイクル数に達したときに動弾性係数を測定した。なお、乾燥時の温度は 65℃とし、湿潤用には 2 倍濃度の人工海水を使用した。

(4) 透水試験

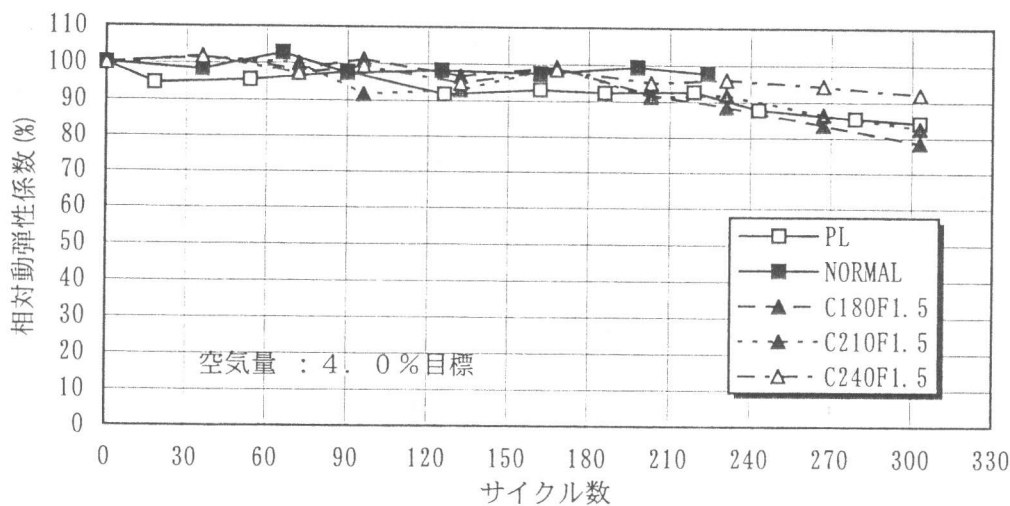
φ 15×30cm 中空円筒供試体を作製し、21 日間水中養生の後 7 日間気中養生し、アメリカ開拓局のインプット法に従って水密性を測定した。

(5) 断熱温度上昇試験

空気循環式断熱温度上昇試験装置によって経時による断熱温度上昇量を測定した。

3、実験結果及び考察

3. 1、耐凍害性

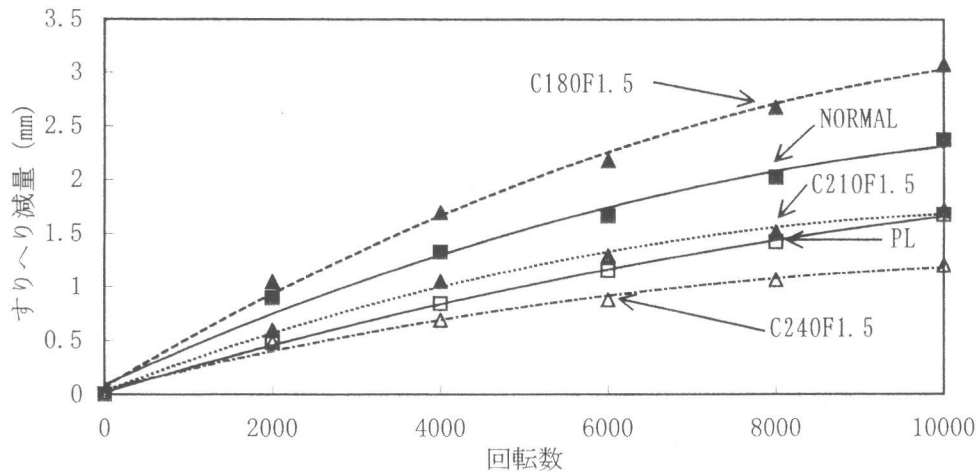


図一 1、凍結融解試験結果

凍結融解試験の結果を図一 1 に示す。これより、一般に使用されるフライアッシュを 15% 混合したコンクリート(NORMAL)が最も耐凍害性が優れている。フライアッシュを多量に使用したコンクリートはプレーンコンクリート(PL)(減少量 15.8%)と比較してもほぼ同程度の減少量(7.9~22.5%)であり、特に C210F1.5 は PL と同程度、C240F1.5 は PL より劣化率が低く、ともに良好な耐凍害性を有していることがわかる。また、フライアッシュを多量に使用したコンクリートどうしでは単位セメント量(結合材量)が多くなるほど耐凍害性が優れていることがわかる。この試験結果は養生期間 28 日での結果であるが、フライアッシュを多量に使用したコンクリートはポゾラン反応によりプレーンコンクリートより長期強度の増進が見られるため、試験開始までの養生期間を長くすれば耐凍害性がさらに改善されると思われる。

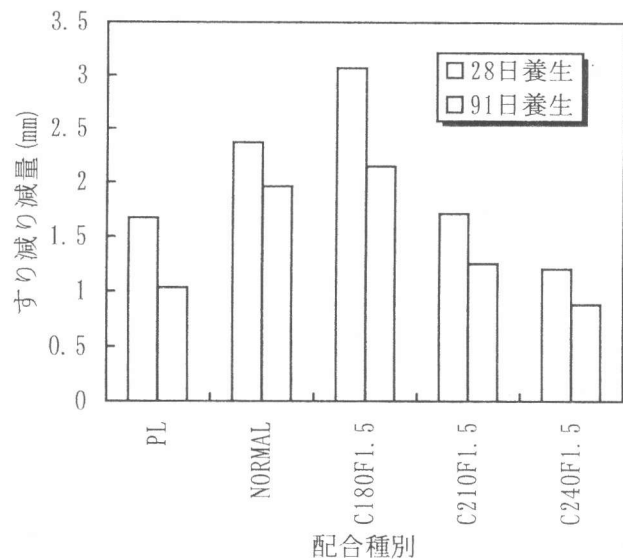
3. 2、すりへり抵抗性

すりへり試験結果をそれぞれの近似曲線とともに図一 2 に示した。また、材齢 28 日まで養生したものと 91 日まで養生した場合での 10000 回転時のすりへり減量を図一 3 に示す。フライアッシュを多量に使用したコンクリートを比較すると、C180F1.5 が最もすりへり減量が多く、結合



図一 2、すりへり試験結果

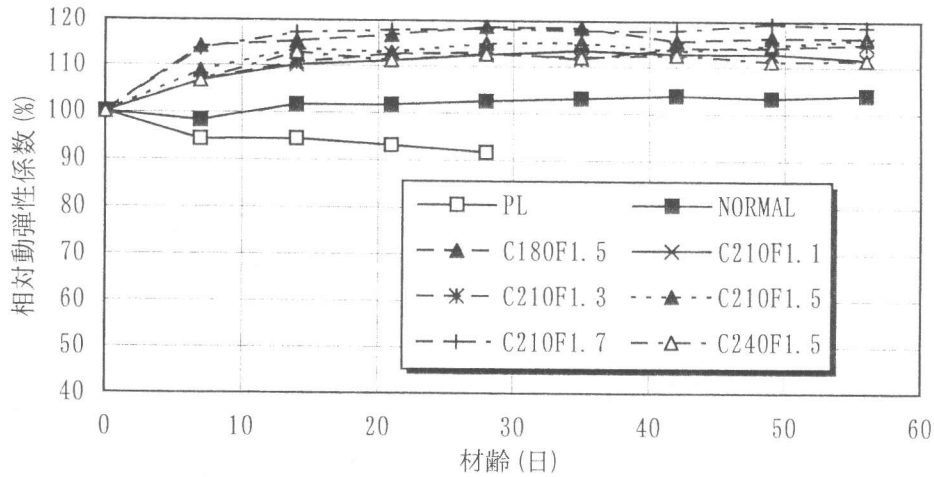
材量が多くなるにつれてすりへり抵抗性が上昇している。また、C180F1.5がNORMALよりすりへり抵抗性が劣っているが、28日圧縮強度を見るとC180F1.5の強度が小さくなっており圧縮強度が大きくなるに従ってすりへり抵抗性が良くなっているといえる。また、プレーンコンクリート(PL)と比較すると、C180F1.5はすりへり減量が多いが、C210F1.5は同程度、C240F1.5はすりへり抵抗性が高いことがわかる。91日養生の場合、28日養生と比較していずれの配合もすりへり減量が少ないが、28日養生と同様の傾向を示している。28日養生に対する91日養生のすりへり減量の減少率はプレーンコンクリートで38%、NORMALで17%、フライアッシュを多量に使用したコンクリートで28~30%で一般に使用されているフ



図一 3、養生日数の違いによる10000回転時のすりへり減量

3. 3、耐海水性

乾湿繰り返し試験結果を図一4に示す。試験材齢が短く引き続き試験を行う必要があるが、試験範囲内で判断すると、フライアッシュを多量に使用したコンクリートはプレーンコンクリート(PL)およびNORMALより相対動弾性係数の増加率が高く耐海水性が優れているといえる。Malhotraもハイボリュームフライアッシュコンクリートは耐海水性が改善されることを報告している[1]。フライアッシュを使用していないプレーンコンクリートはCa(OH)₂の生成が多いので相対動弾性係数が低下すると考えられる。また、フライアッシュを多量に使用したコンクリートについてはセメント量が少なくても耐海水性が高いのは、関[3]が指摘しているようにフライアッシュの耐海水

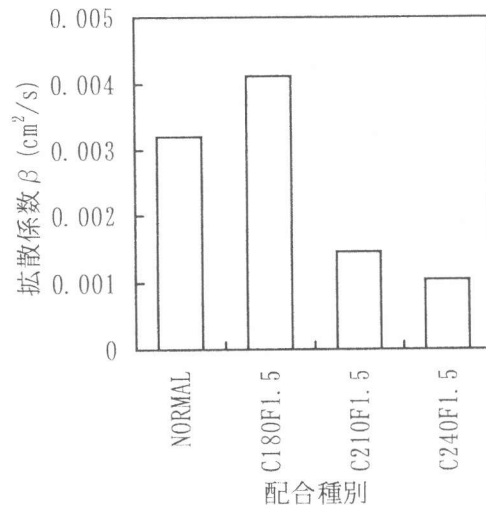


図一4、乾湿繰り返し試験結果

性改善効果を示しているといえる。

3. 4、水密性

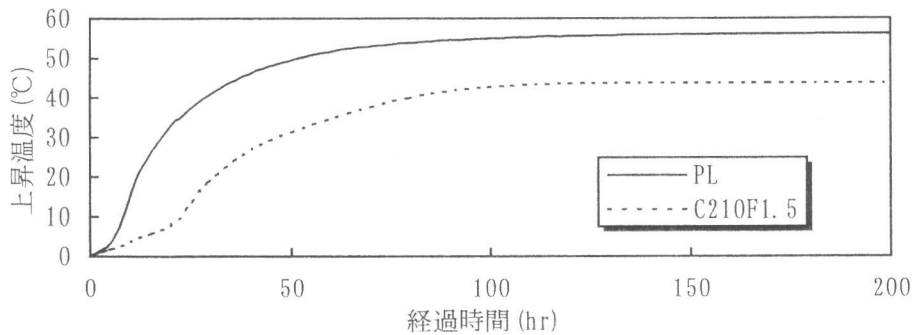
透水試験の結果、拡散係数 β を求めて図一5に示す。これより、フライアッシュを多量に使用したコンクリートを比較すると、結合材量が増加するにつれて拡散係数が小さく水密性が高い。これは結合材量が多いため、けい酸カルシウム水和物が多くなり組織がより緻密になるためと考えられる。また、国分[4]が報告しているようにフライアッシュを混合したコンクリートはポゾラン反応により長期材齢になるほど硬化が促進されるため、十分な養生を行えばさらに水密性が高くなると思われる。



図一5、透水試験結果

3. 5、断熱温度上昇

断熱温度上昇試験結果を図一6に示す。フライアッシュを多量に使用したコンクリートのC210F1.5配合はプレーンコンクリート(PL)と比較して、断熱温度上



図一6、断熱温度上昇量

昇が12℃程度明らかに低下しており、プレーンコンクリートの78%であり、上昇曲線の傾きも緩やかである。従って、フライアッシュを多量に使用したコンクリートはマスコンクリートへの適用にきわめて有利である。

4、まとめ

フライアッシュを多量に使用したコンクリートの耐久性について調査した結果、本実験の範囲内で次のことがいえる。

(1) 単位結合材量が増加するほど耐凍害性が高く、単位セメント量 210kg/m^3 ではプレーンコンクリートと同程度、 240kg/m^3 では高い凍害性を示す。

(2) 単位セメント量 210kg/m^3 配合ではプレーンコンクリートと同程度、 240kg/m^3 配合では高いすりへり抵抗性を有しており、養生期間を長くとするほど高くなる。

(3) 単位セメント量が少なくても耐海水性が優れてる。

(4) 単位セメント量 210 および 240kg/m^3 をベースにした配合では水密性が改善される。

(5) 断熱温度上昇量はプレーンコンクリートより明らかに低い。

従って、単位セメント量 210 および 240kg/m^3 配合としてフライアッシュを1.5倍と多量に使用したコンクリートは普通コンクリートと同程度もしくはそれ以上の耐久性を有しているといえる。また、断熱温度上昇がかなり低下するので、マスコンクリートへの適用にも有利であるといえる。

参考文献

- [1] V.M.Malhotra ; Investigation of High-Volume Fly Ash Concrete Systems, EPRI TR-103151 Project 3176-06 Final Report October, 1993
- [2] 川口修宏、河野 清、森内誠司；フライアッシュを多量に使用したコンクリートの基礎的性質、セメントコンクリート論文集、No.49、pp.120-125、1996.1
- [3] 関 博、大友忠典；海洋コンクリート・水中コンクリート、山海堂、1982
- [4] 国分正胤；フライアッシュおよびフライアッシュセメント、セメント・コンクリート、No.267、pp.2-18、1969.5