

## 論文 非JIS灰を細骨材の一部に代替したコンクリートの性質

馬越 唯好\*<sup>1</sup>・濱崎 修\*<sup>2</sup>

要旨：現在，コンクリート用細骨材は，海砂，砕砂等が主に使用されている。しかし，海砂の塩分による鉄筋腐食問題や採取に伴う環境問題，資源の枯渇化等から供給量にも限界があり，これらに代わる材料が求められている。海砂，砕砂等に代わる材料として石炭灰のうちJIS規格に適合しない非JIS灰をコンクリート細骨材に利用することとし，非JIS灰を細骨材の一部に代替した場合のフレッシュコンクリートおよび硬化後の特性について検討した。その結果，非JIS灰の細骨材に対する代替率が増加するほど，圧縮強度が増大する等の品質改善傾向がみられた。

キーワード：非JIS灰，細骨材代替，スランプ，空気量，ブリーディング，圧縮強度

### 1. はじめに

国の電源開発計画に基づき各地において石炭火力発電所が建設中もしくは建設準備中であり，それに伴い副産物である石炭灰の発生量が大幅に増大することが予想されている<sup>1)</sup>。

近年，海外輸入炭の品質や環境対策のための石炭燃焼温度の調節による影響から，既設の石炭火力発電所から排出されるフライアッシュは，JIS規格（JIS A 6201）に適合しない非JIS灰が増加しつつある。非JIS灰はJIS灰と異なり，コンクリート用混和材等として使用することができないため，現状では，セメント原料として利用されるか埋立処分されている。また，現在の社会情勢から，産業廃棄物の処分用地の確保がますます困難になり，それに伴い非JIS灰の処分コストが高騰することが予想される。

現在，コンクリート用細骨材は，海砂，砕砂等が主に使用されている。しかし，海砂の塩分による鉄筋腐食問題や採取に伴う環境問題，瀬戸内海地域における海砂の採取規制，資源の枯渇化等から供給量にも限界があり，これらに代わる材料が求められている。海砂，砕砂等に代

わる材料として石炭灰のうちJIS規格に適合しない非JIS灰をコンクリート細骨材の一部に利用することが考えられ，今後の重要な研究課題となっている<sup>2)</sup>。これを実用化するためには適用性試験を実施し，その特性を把握しておく必要がある。

そこで本研究では，非JIS灰を細骨材の一部に代替したコンクリートのスランプ・空気量の経時変化，ブリーディング，凝結時間，圧縮強度について実験的に調査研究を行ったので，以下に報告する。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

##### (1) セメント

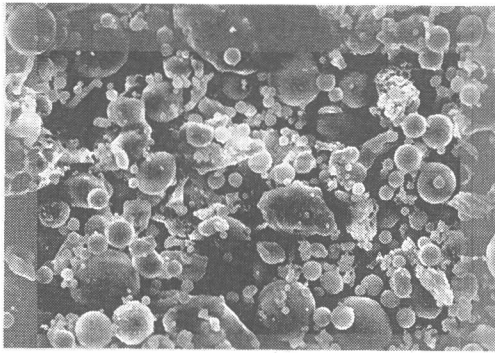
セメントは，普通ポルトランドセメント（比重：3.15，28日圧縮強さ：41.8MPa）を使用した。

##### (2) 骨材

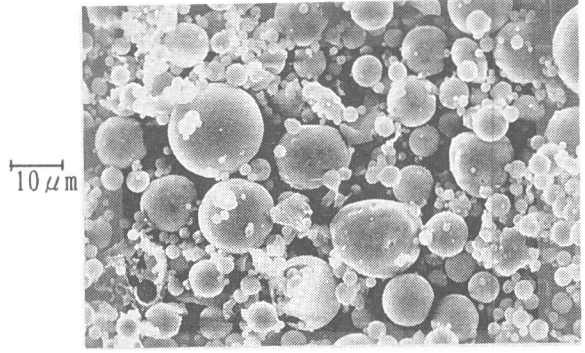
粗骨材は香川県財田町産の砕石（比重：2.58，吸水率：1.91%，最大寸法：25mm）を用い，細骨材は同じ財田町産の砕砂（比重：2.55，吸水率：1.89%，粗粒率：2.88）を使用した。

\*1 (株)四国総合研究所 土木技術部 副主席研究員，工博（正会員）

\*2 建設省 四国地方建設局 四国技術事務所 技術課 係長



非J I S 灰



J I S 灰

写真-1 石炭灰の電子顕微鏡写真

表-1 非J I S 灰の物理的性質

種 類	比 重	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	平均粒径 (μm)	強熱減量 (%)
非J I S 灰	2.20	4010	19.8	6.23
J I S 規格	1.95以上	2400以上	—	5以下

細骨材の一部に代替使用した非J I S 灰は、石炭火力発電所で副産されるものを使用した。非J I S 灰の電子顕微鏡写真を写真-1に、その物理的性質を表-1に示す。J I S 灰の粒子形状は、ほとんど球形であるのに対して、非J I S 灰には角張ったものや形が一定でない不定形粒子が多く含まれている。

(3) 混和剤

混和剤は、アルキルアリルスルホン酸系の高

性能A E減水剤とアルキルカルボン酸系のA E剤とを使用した。

2.2 コンクリートの配合と試験方法

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、目標スランプ9cm、目標空気量4.5%、水セメント比55、60および65%とした。非J I S 灰の細骨材の容積に対する代替率は0、10、20および30%と設定（以下それぞれNJ0、NJ10、NJ20、NJ30と略記）した。実験に使用したコンクリートの配合表を表-2に示す。目標のスランプおよび空気量を得るために、高性能A E減水剤およびA E剤の使用量を調整した。

表-2 コンクリートの配合

配合種別	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セ メント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G
								S	NJ	
N J 0	25	9±1	4.5±1	55	47	170	309	823	—	939
				60	47	170	283	833	—	951
				65	47	170	262	841	—	960
N J 1 0	25	9±1	4.5±1	55	47	170	309	741	71	939
				60	47	170	283	750	72	951
				65	47	170	262	757	73	960
N J 2 0	25	9±1	4.5±1	55	45	170	309	631	136	975
				60	45	170	283	638	138	986
				65	45	170	262	644	139	996
N J 3 0	25	9±1	4.5±1	55	41	170	309	503	186	1046
				60	43	170	283	534	197	1022
				65	43	170	262	539	199	1032

## (2) コンクリートの練混ぜ

コンクリートの練混ぜには、容積60リットルの強制2軸型ミキサを用い、まず粗骨材、細骨材、セメントおよび非JIS灰を投入して30秒間空練りを行い、その後混和剤を混ぜた水を加えて2分30秒間練混ぜを行った。

## (3) 成形および養生方法

コンクリートは $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体型枠に成形した。成形後は恒温室（温度  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $60 \pm 5\%$ ）に静置し、打設後24時間で供試体を脱型し、所定の材齢まで $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の水の中にて養生を行った。

## (4) 試験項目および試験方法

### (a) スランプ・空気量試験

スランプ試験は、JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠して行い、空気量の測定は、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に準拠して行った。

### (b) プリーディング試験

プリーディング試験は、JIS A 1123「コンクリートのプリーディング試験方法」に準拠して行った。

### (c) 凝結時間試験

コンクリートの凝結時間試験は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」附属書1「コンクリートの凝結時間試験方法」に準拠して、プロクター貫入抵抗試験機により行った。

### (d) 圧縮強度

圧縮強度試験は、 $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体を用いて、すべての配合のコンクリートについて材齢7日、28日および91日でJIS A 1108に準拠して行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 非JIS灰の代替率と混和剤添加率との関係

非JIS灰の細骨材への代替率と混和剤添加率との関係を図-1に示す。

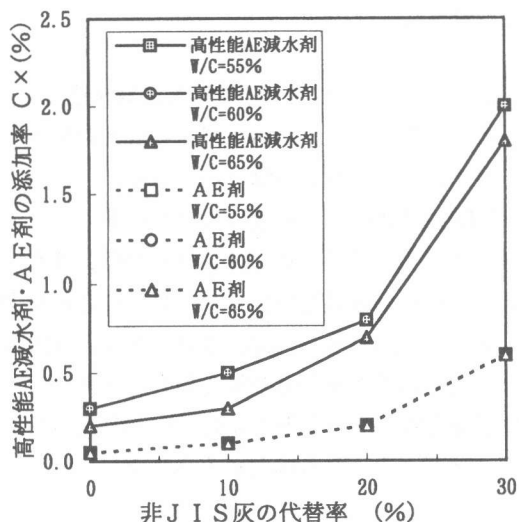


図-1 非JIS灰の代替率と混和剤添加率との関係

非JIS灰を用いない普通コンクリートの場合、高性能AE減水剤の添加率は、水セメント比が変化しても単位セメント量に対して0.2~0.3%で目標スランプが得られた。

非JIS灰を細骨材の一部に代替使用したコンクリートの場合、普通コンクリートに比較して、高性能AE減水剤の添加率が増加し、細骨材への代替率が増加するほど、高性能AE減水剤の添加率が増加する傾向がみられた。また、水セメント比が大きいほど、高性能AE減水剤の添加率が多少減少する傾向がみられた。この原因として、非JIS灰はJIS灰と比較して、球形粒子が少なく、不定形粒子が多いためであると考えられる。

AE剤の添加率については、普通コンクリートの場合、セメント量に対して0.05%程度で目標空気量が得られた。

非JIS灰を細骨材の一部に代替使用したコンクリートの場合、非JIS灰の中の未燃カーボンの影響により、AE剤の添加率が普通コンクリートに比較して、増加する傾向がみられ、細骨材への代替率が増加するほど、未燃カーボン量が増えるため、AE剤の添加率が増加する傾向がみられた。また、AE剤の添加率に対しては、水セメント比の大小はあまり影響を及ぼ

さなかった。

### 3.2 スランプおよび空気量の経時変化

経過時間とスランプおよび空気量との関係はそれぞれ図-2および図-3に示す。

時間の経過に伴う普通コンクリートのスランプロスについては、0～30分経過時よりも30～60分経過時のスランプロスの方が少し大きい傾向がみられた。また、非JIS灰の細骨材への代替率が20%の場合、水セメント比が65%から55%と小さくなると、スランプロスが大きくなる傾向がみられた。

時間の経過に伴う空気量の変化については、普通コンクリートの場合、スランプと同様に0～30分経過時よりも30～60分経過時の空気量の減少が少し大きい傾向を示した。また、細骨材への代替率20%の場合、いずれの水セメント比に対しても、30分経過時に空気量が増加する傾向がみられたが、その増加率は小さい。

### 3.3 プリーディング

プリーディング量と経過時間との関係を図-4に示す。

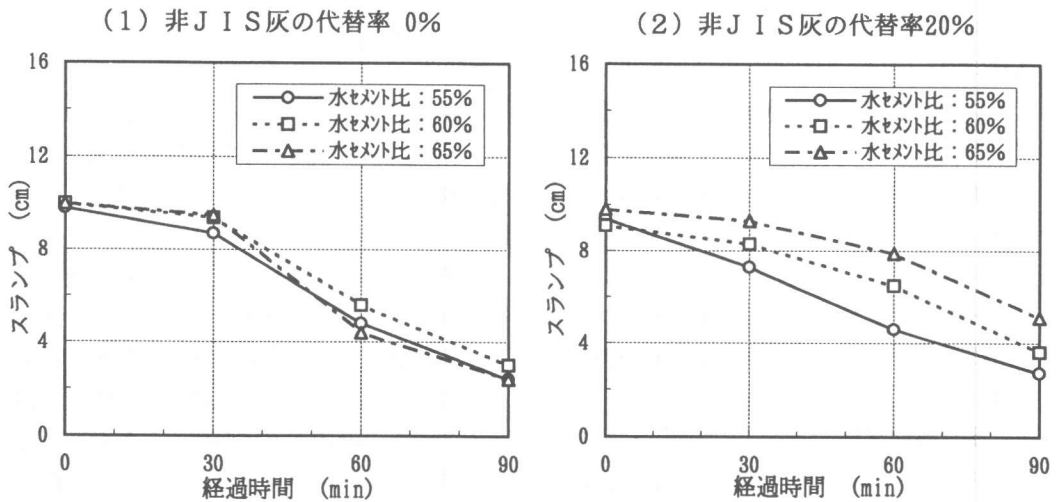


図-2 経過時間とスランプとの関係

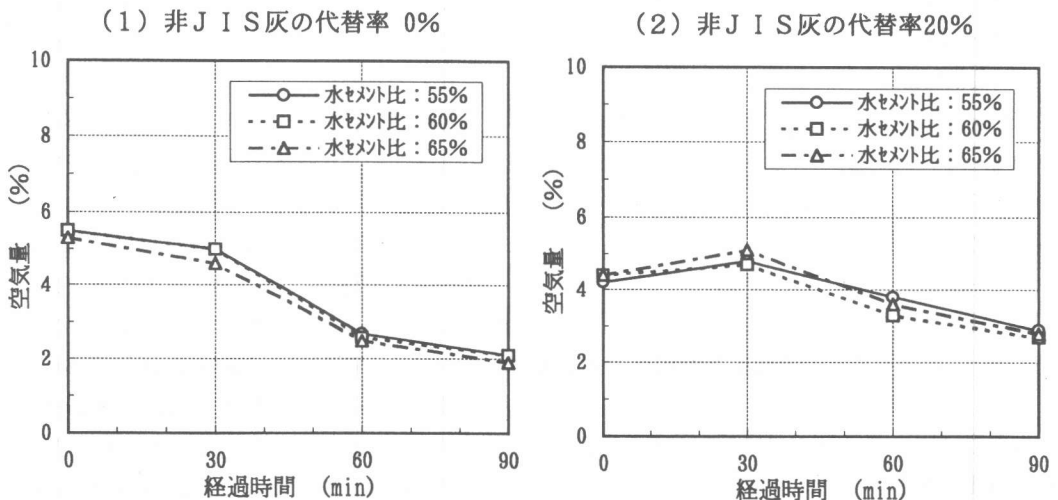


図-3 経過時間と空気量との関係

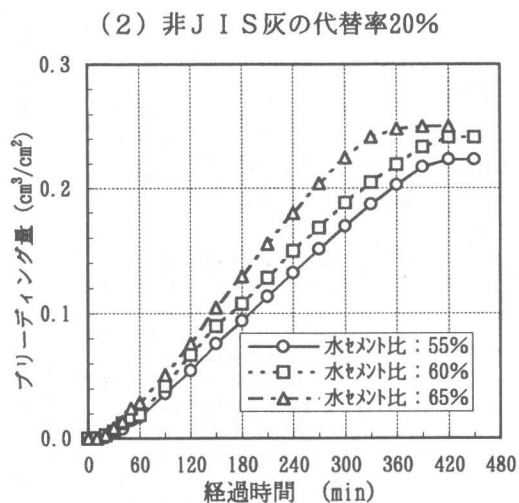
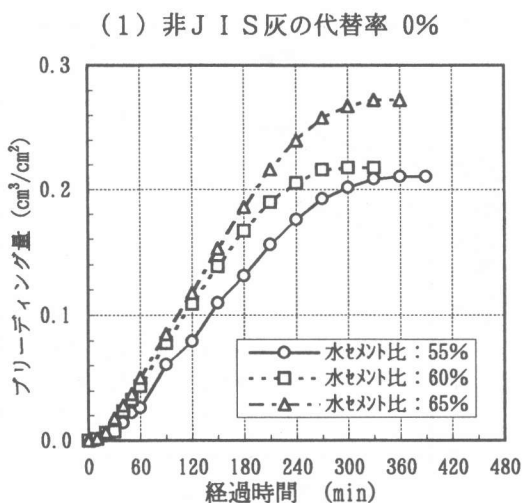


図-4 経過時間とブリーディング量との関係

非J I S 灰の細骨材への代替率が20%の場合のブリーディング量は、 $0.21 \sim 0.25 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ であり、普通コンクリートの $0.20 \sim 0.27 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ と比較してほぼ同程度である。また、水セメント比が大きいくほど、ブリーディング量が増加する傾向がみられた。

ブリーディングの継続時間についてみると、普通コンクリートが5～6時間でブリーディングが終了しているのに比較して、非J I S 灰の細骨材への代替率が20%の場合、6～7時間でブリーディングが終了した。

### 3.4 凝結時間

凝結時間試験を行った結果を図-5に示す。

非J I S 灰の細骨材への代替率20%のコンクリートは、普通コンクリートに比べて、凝結の始発時間、終結時間ともに約2時間程度長くなる傾向があることがわかった。

ただし、この程度の凝結時間の遅延に対しては、現場における施工管理において、コンクリート打設後の養生時間および型枠存置期間を少し長くすることで対応は十分可能であると思われる。

### 3.5 圧縮強度

#### (1) セメント水比と圧縮強度との関係

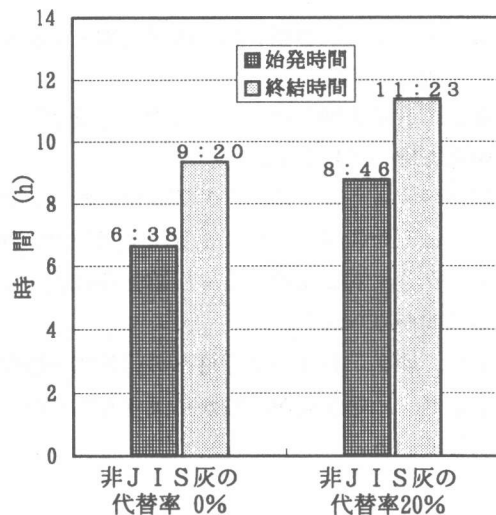


図-5 コンクリートの凝結時間試験結果

材齢28日におけるセメント水比と圧縮強度との関係を図-6に示す。

この図より、材齢28日におけるセメント水比と圧縮強度との関係は近似的に1次式で表され、両者の相関係数は $0.970 \sim 0.994$ ときわめて高いことがわかった。

これより、コンクリートの配合設計において所要の強度に対する水セメント比を選定する上で、図中の式を用いればきわめて精度高く決定することができるといえる。

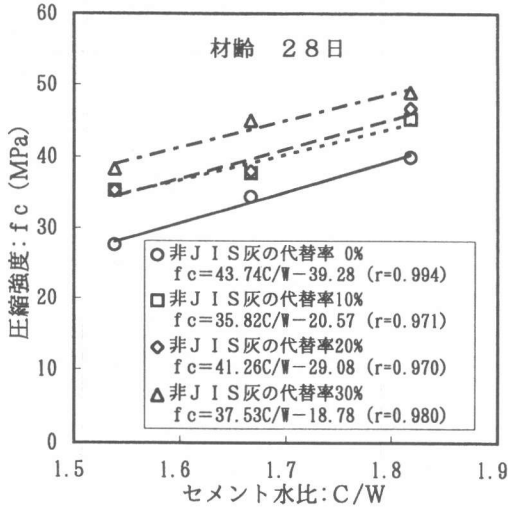


図-6 セメント水比と圧縮強度との関係

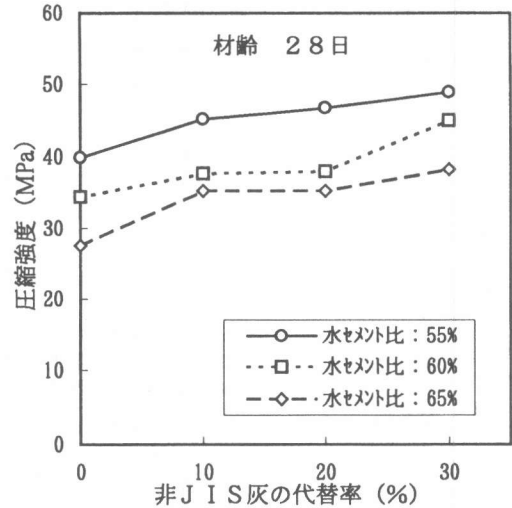


図-7 非J I S 灰の代替率と圧縮強度との関係

(2) 非J I S 灰の細骨材への代替率と圧縮強度との関係

非J I S 灰の細骨材への代替率と圧縮強度との関係を図-7に示す。

図に示すように、非J I S 灰を用いたコンクリートの圧縮強度は、非J I S 灰を用いない普通コンクリートに比較して、圧縮強度は大きくなる傾向がみられた。

また、非J I S 灰の細骨材への代替率が増加するほど、圧縮強度が明らかに大きくなる傾向を示している。

4. まとめ

石炭火力発電所から排出される非J I S 灰をコンクリートへ有効利用するために、細骨材に対し、容積で0、10、20および30%代替したコンクリートの配合の違いがスランプ・空気量の経時変化、ブリーディング、凝結時間、圧縮強度に及ぼす影響を調査した。その結果、本実験の範囲内で、非J I S 灰を使用したコンクリートについて、次のことがいえる。

(1) 非J I S 灰の細骨材への代替率が増加するほど、高性能A E 減水剤およびA E 剤の添加率が増加する傾向がある。

(2) 時間の経過に伴うスランプロスは、水セ

メント比が小さくなると大きくなる傾向があり、時間の経過に伴う空気量の変化については、細骨材への代替率20%の場合、30分経過時に空気量が少し増加する傾向がある。

(3) 非J I S 灰の細骨材への代替率が20%の場合、ブリーディング量は普通コンクリートとほぼ同程度であり、水セメント比が大きいはどブリーディング量が増加する傾向がある。

(4) 非J I S 灰の細骨材への代替率が20%の場合、普通コンクリートに比べて、凝結の始発時間、終結時間ともに約2時間程度長くなる傾向がある。

(5) セメント水比と圧縮強度との関係は、1次式で表され、所要の強度に対する水セメント比を精度高く決定することができる。また、非J I S 灰の細骨材への代替率が増加するほど、圧縮強度が増大する傾向がある。

参考文献

- 1) 環境技術協会, 日本フライアッシュ協会: 石炭灰ハンドブック, pp. II-7, 1995
- 2) 馬越唯好, 河野 清, 山地功二, 川崎真治: 非J I S 灰を細骨材の一部に代替したコンクリートの耐久性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19, No.1, pp.349~354, 1997.7