

## 論文 コンクリート混和材用石炭灰の品質評価および管理について 研究

田野崎隆雄\*1・野崎賢二\*2・白坂優\*2・成島良輔\*2

要旨：今後発生が増加し、有効利用が望まれている石炭火力発電所の石炭灰を、コンクリート混和材利用の面から評価した。122Lotの石炭灰-フライアッシュを評価した結果、混和材利用に当たって問題とされている単位水量比、空気連行量の管理を、BET比表面積法で管理可能なことを見出した。BET法は、メレンゲ吸着量等より簡単迅速な評価方法である。

キーワード：石炭灰、フライアッシュ、BET比表面積、空気連行量、メレンゲ吸着量、石炭火力発電所

### 1. はじめに

石炭火力発電所の建設が促進されるとともに、発生する石炭灰の量も年々増加の一途にある。使用する石炭種も国内炭から海外炭を主とする状況に変化し、発生する石炭灰の品質が従来と大きく異なってきた[1]。この状況に伴い、AE剤の吸着に因る空気連行量の低下が、問題視され、強熱減量/メレンゲ吸着量[2]、密かさ比重[3]等の測定による品質管理法が提案されてきた。評価Lot数が少数であるため、石炭灰の品質ばらつきに対し懸念があった。加えてこの数年間に、従来は存在しなかった700~1000MW級海外炭専焼料が稼働をはじめ、石炭灰発生の状況に変化していることも予想される[4]。

本研究はこれら状況をふまえ、最近2年間に日本の石炭火力発電所で発生した灰を中心にコンクリート混和材としての適否から評価を行い、石炭灰およびフライアッシュの粉体特性より、空気連行量特性を、予測できる簡単迅速な管理方法を検討した。

なお本研究でいう「石炭灰」とは、石炭火力発電において微粉炭燃焼後に発生するばいじん電気集塵機で補集した粉体—いわゆる「原粉」をさし、これより分級して得られるJIS A 62合品を「フライアッシュ」と呼び、区別することにする。

### 2. 使用材料

評価した石炭灰およびフライアッシュは、日本の12電力会社24発電所において、1993.1~1994.12年間の通常運転時に発生した90Lotのサンプルであり、おおむね1Lot/200MW料の採集である。ここに試運転・自家発電所・海外発電所発生灰計32Lotを加えた計122Lotの評価を行った。国内発電所通常運転時に発生した90Lotにおける海外炭の使用割合は70%であり、また76%の灰が2種以上炭を混合燃焼させたものである。海外炭の産地は、オーストラリア60%、カナダ16%、アメリカ12%、中国6%、他3ヶ所の計33炭鉱が確認された。国内炭産地は、空知、釧路、三池、池島の4炭鉱である。比較のためフルン4000相当の高炉スラグ微粉末、アスファルト用石灰石粉末の評価も行った。

空気連行性評価には、JIS R 5210規格の普通ポルトランドセメントと、細骨材として静岡県小笠産の珪砂を用いた。AE剤としては、アルキルアミン系陰イオン界面活性剤を使用した。コンクリート配合評価には、茨城県岩瀬産砕石、リグニンスルホン酸系減水剤を併せて使用した。

\*1 秩父小野田(株)資源リサイクル研究所(正会員)

\*2 秩父小野田(株)資源リサイクル研究所

### 3. 実験方法

粉体評価に当たっては、三輪ほか[1]の測定結果と比較のため、JIS A 6201の各項目(SiO<sub>2</sub>量, 湿分, 強熱減量, 比重, ブレーン比表面積)の測定に加え、レーザー回折式平均粒度径, メチレンブルー吸着量(電発法は極細粉が濾紙通過のため用いず, セメント協会法採用. 試料計取り量1.0g一定), 球形粒含有率(走査型電子顕微鏡-SEMの2000倍観察像から画像処理による)の測定も行った。また長瀧ほか(1987)[3]の密かさ比重に準ずるものとしてワタネスター機によるかさ密度(タップ回数180回)を加えた。共存する未燃焼カーボンの性質を捉えるため、BET比表面積を測定するとともに、950℃焼成により脱炭素させた灰の評価を行った。別途、国内3火力発電所(過去1年間)発生の、石炭灰-フライアッシュのLot間変動も測定した。

モルタル評価に当たっては、JIS A 6201による単位水量比測定を全Lotで行った。また空気連行量の測定は、測定回数を増加させるため、いわゆる砂利抜きモルタルでの測定とした。配合を表-1に示す。使用したAE剤は1%溶液とし、水セメント比一定の条件でオートミキサーを用いて混練, 混練開始後150秒時のモルタル空気量を所定のイメーターで測定した。モルタル実験結果をもとに、15Lotにつき表-6のコンクリート配合を行い、4.5±1.0%の空気連行量を確保するために必要なAE剤添加量を求めた。AE剤添加量の異なる配合を、バ型ミキサーを用い150秒混合後、コンクリート用イメーターで空気連行量を測定した。

### 4. 結果及び考察

各測定値の一部を表-2に、評価粉体毎のばらつき範囲を表-3, 4に、同一発電所内発生石炭灰のばらつき範囲を表-5に示す。写真-1, 2, 3は代表的な石炭灰-フライアッシュの電子顕微鏡写真である。

表-1 空気連行量測定用モルタルの配合

| NPC    | 混和材    | 細骨材     | 水      | 1%AE剤 |
|--------|--------|---------|--------|-------|
| 536.0g | 134.0g | 2010.0g | 281.4g | 20.1g |

表-2 石炭灰-フライアッシュ/比較試料の評価結果(一部) (1) セメント協会法, (2) 電発法

| No            | 使用石炭種<br>混合割合                         | 発電所 | 分級 | SiO <sub>2</sub> 量 % | 湿分 % | 強熱減量 % | 比重   | かさ比重  | 平均径 μm | ブレーン表面積 cm <sup>2</sup> /g | BET表面積 m <sup>2</sup> /g | メチレンブルー吸着量 mg/g <sub>10</sub> | 球形粒率 % | 単位水量比 % | 空気連行量 % |      |
|---------------|---------------------------------------|-----|----|----------------------|------|--------|------|-------|--------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------|---------|---------|------|
| 1             | 三池100%                                | A   | ○  | 53.8                 | 0.2  | 1.3    | 2.30 | 1.15  | 10.5   | 3380                       | 1.08                     | 0.22                          | 0.31   | 98      | 95.2    | 14.7 |
| 2             | 釧路19%+三池75%+池島6%                      | B   | ○  | 53.2                 | 0.5  | 1.6    | 2.19 | 1.08  | 16.3   | 3420                       | 1.34                     | 0.24                          | 0.39   | 90      | 98.9    | 13.2 |
| 3             | 釧路84%+三池16%                           | C   | ○  | 49.2                 | 0.1  | 2.9    | 2.22 | 1.20  | 18.6   | 4120                       | 3.11                     | 0.56                          | 0.71   | 93      | 98.9    | 7.1  |
| 4             | BlairAthol(豪)100%                     | D   | ○  | 57.9                 | 0.5  | 2.6    | 2.05 | 0.92  | 14.7   | 3390                       | 3.23                     | 0.53                          | 0.69   | 88      | 99.2    | 5.9  |
| 5             | Ulan(豪)50%+BlairAthol150%             | E   | ○  | 62.6                 | 0.7  | 3.6    | 2.19 | 0.77  | 11.5   | 4910                       | 3.74                     | 0.51                          | 0.72   | 38      | 102.0   | 4.9  |
| 6             | BlairAthol100%                        | F   | ×  | 64.6                 | 0.9  | 1.2    | 2.13 | 0.90  | 24.4   | 2860                       | 1.60                     | 0.46                          | 0.42   | 83      | 99.7    | 11.1 |
| 7             | HunterValley(豪)100%                   | F   | ×  | 70.5                 | 0.9  | 3.7    | 2.08 | 0.95  | 18.4   | 4520                       | 2.61                     | 0.46                          | 0.51   | 82      | 101.7   | 4.6  |
| 8             | Quinsam(加)50%+BlairAthol150%          | G   | ×  | 49.9                 | 0.2  | 2.7    | 2.19 | 1.05  | 16.3   | 2940                       | 1.70                     | 0.35                          | 0.36   | 85      | 97.0    | 9.6  |
| 9             | Beluga(米)50%+Ermelo(南ア)25%+大同25%      | H   | ×  | 61.1                 | 0.5  | 3.8    | 2.22 | 1.03  | 11.4   | 3960                       | 4.31                     | 0.50                          | 0.69   | 68      | 102.6   | 4.0  |
| 10            | 大同(中)50%+BlairAthol150%               | H   | ×  | 62.6                 | 1.0  | 4.3    | 2.26 | 1.04  | 10.7   | 4150                       | 5.69                     | 0.57                          | 0.77   | 42      | 100.2   | 3.8  |
| 11            | 三池75%+Newlands(豪)25%                  | I   | ×  | 50.8                 | 0.1  | 1.9    | 2.14 | 1.03  | 35.4   | 3040                       | 3.05                     | 0.55                          | 0.66   | 79      | 100.0   | 9.7  |
| 12            | Ulan55%+ObedMarsh(加)40%+Pinnacle(米)5% | J   | ×  | 57.8                 | 0.5  | 10.0   | 2.20 | 0.69  | 17.5   | 4340                       | 8.90                     | 0.62                          | 0.95   | 23      | 103.9   | 1.9  |
| 13            | Ulan60%+Lemington(豪)40%               | K   | ×  | 67.3                 | 0.6  | 3.6    | 2.26 | 0.85  | 13.5   | 3360                       | 2.63                     | 0.51                          | 0.59   | 77      | 99.9    | 8.0  |
| 14            | Wambo(豪)60%+Drayton(豪)40%             | K   | ×  | 60.9                 | 0.5  | 4.5    | 2.19 | 0.82  | 15.4   | 3390                       | 6.75                     | 0.62                          | 0.91   | 55      | 101.9   | 2.4  |
| 15            | 釧路50%+Wambo50%                        | K   | ×  | 47.9                 | 0.2  | 14.5   | 1.98 | 0.81  | 23.1   | 2590                       | 7.55                     | 0.62                          | 0.94   | 20      | 108.1   | 2.2  |
| 16            | Drayton50%+BlairAthol150%             | K   | ×  | 35.7                 | 0.6  | 26.3   | 2.09 | 0.74  | 24.5   | 4190                       | 15.43                    | 0.62                          | 0.98   | 8       | 115.5   | -    |
| 17            | Lithgow(豪)100%                        | 自   | ○  | 63.2                 | 0.2  | 1.1    | 2.12 | 0.90  | 16.3   | 2860                       | 1.45                     | 0.28                          | 0.25   | 90      | 94.8    | 14.2 |
| 18            | Monro(米)100%                          | 自   | ○  | 33.6                 | 0.6  | 0.3    | 3.01 | 1.08  | 9.9    | 3690                       | 1.21                     | 0.02                          | -      | 98      | 92.2    | 8.9  |
| 19            | 釧路84%+三池16%                           | C   | ×  | 50.7                 | 0.0  | 0.1    | 2.79 | 1.16  | 18.9   | 2140                       | 0.98                     | 0.35                          | 0.40   | 92      | 95.6    | 10.9 |
| 20            | HunterValley100%                      | F   | ×  | 72.0                 | 0.0  | 0.1    | 2.71 | 0.70  | 22.7   | 1940                       | 0.81                     | 0.35                          | 0.33   | 86      | 98.6    | 9.0  |
| 21            | 高炉スラグ微粉末                              | ○   | ○  | 32.9                 | 0.2  | 0.6    | 2.90 | 1.24  | 9.9    | 3950                       | 1.17                     | 0.03                          | 0.05   | 2       | 95.3    | 14.2 |
| 22            | 石灰石粉末                                 | ○   | ○  | 0.4                  | 0.0  | 43.0   | 2.73 | 1.24  | 6.9    | 4300                       | 1.69                     | 0.18                          | -      | 1       | 96.5    | 16.1 |
| JIS A 6201規格値 |                                       |     |    | ≥45 ≤1.0 ≤5.0 ≥1.95  |      |        |      | ≥2400 |        |                            |                          | ≤102                          |        |         |         |      |

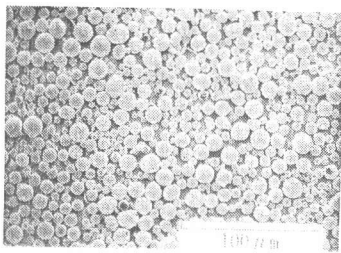


写真1: 球形粒含有率98%のワイルドNo1

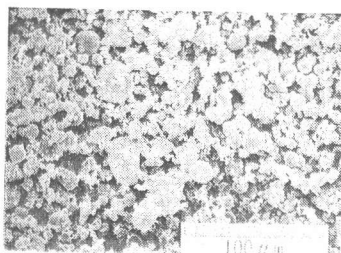


写真2: 球形粒含有率77%の石炭灰No13

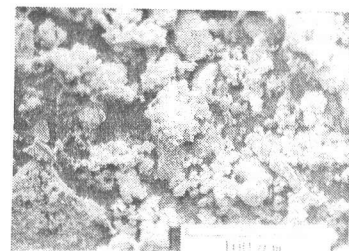


写真3: 球形粒含有率8%の石炭灰No16

表-3 石炭灰-フライアッシュの粉体/モルタル特性評価結果-ばらつき範囲

| 海外炭率                       | ≤25%                        | 40~90%                      | 100%                        | ≤25%                        | 40~90%                       | 100%                        | 0~100%                      |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 灰種類                        | フライアッシュ                     | フライアッシュ                     | フライアッシュ                     | 石炭灰                         | 石炭灰                          | 石炭灰                         | 計                           |
| Lot 数                      | 24                          | 8                           | 24                          | 5                           | 5                            | 24                          | 90                          |
| SiO <sub>2</sub> 量 %       | 48.6~60.9<br>av. 55.2(3.7)  | 45.2~60.7<br>av. 56.0(4.4)  | 51.8~67.6<br>av. 59.0(5.1)  | 49.5~60.1<br>av. 55.8(1.5)  | 44.4~62.3<br>av. 53.0(5.8)   | 49.9~70.5<br>av. 59.4(5.3)  | 45.2~70.5<br>av. 57.4(5.5)  |
| 強熱減量 %                     | 0.2~3.5<br>av. 1.3(0.9)     | 1.0~4.4<br>av. 2.9(0.9)     | 1.0~4.2<br>av. 2.5(0.9)     | 0.3~2.8<br>av. 1.8(0.9)     | 1.3~14.5<br>av. 7.8(3.5)     | 0.6~10.0<br>av. 3.0(2.1)    | 0.2~14.5<br>av. 2.6(2.3)    |
| 比重                         | 2.10~2.30<br>av. 2.21(0.06) | 2.06~2.32<br>av. 2.18(0.09) | 2.03~2.39<br>av. 2.19(0.11) | 2.10~2.27<br>av. 2.20(0.06) | 1.98~2.23<br>av. 2.11(0.09)  | 2.02~2.46<br>av. 2.15(0.09) | 1.98~2.46<br>av. 2.18(0.09) |
| かさ比重 g/cm <sup>3</sup>     | 0.92~1.21<br>av. 1.08(0.10) | 0.78~1.15<br>av. 0.98(0.11) | 0.77~1.08<br>av. 0.97(0.09) | 0.90~1.05<br>av. 0.98(0.07) | 0.71~1.08<br>av. 0.91(0.14)  | 0.69~1.08<br>av. 0.93(0.11) | 0.69~1.21<br>av. 0.98(0.12) |
| 平均粒度 μm                    | 4.6~26.8<br>av. 13.9(5.9)   | 5.1~22.9<br>av. 10.5(7.4)   | 5.7~23.1<br>av. 12.1(4.7)   | 3.8~23.1<br>av. 13.7(6.1)   | 6.5~35.4<br>av. 21.2(7.2)    | 10.7~31.4<br>av. 18.5(4.5)  | 4.6~35.4<br>av. 14.6(6.5)   |
| ルーン比表面積 cm <sup>2</sup> /g | 2940~5290<br>av. 3590(620)  | 3770~5360<br>av. 4150(590)  | 2700~5530<br>av. 4130(890)  | 3010~4420<br>av. 3400(450)  | 2590~5310<br>av. 3390(970)   | 2000~4520<br>av. 3210(620)  | 2000~5530<br>av. 3700(890)  |
| BET比表面積 m <sup>2</sup> /g  | 0.88~3.80<br>av. 1.66(0.74) | 1.24~2.73<br>av. 1.96(0.66) | 1.31~3.74<br>av. 2.44(0.50) | 0.63~3.05<br>av. 1.61(0.75) | 1.10~8.80<br>av. 4.78(2.95)  | 1.28~8.90<br>av. 3.24(2.04) | 0.88~8.90<br>av. 2.52(1.60) |
| MFL/ルーン吸着量 mg/g            | 0.08~0.60<br>av. 0.33(0.14) | 0.15~0.61<br>av. 0.38(0.07) | 0.31~0.60<br>av. 0.44(0.0)  | 0.16~0.55<br>av. 0.35(0.12) | 0.22~0.62<br>av. 0.52(0.16)  | 0.12~0.62<br>av. 0.47(0.12) | 0.08~0.62<br>av. 0.44(0.14) |
| 球形粒含有率 %                   | 77~99<br>av. 92(5)          | 33~92<br>av. 80(10)         | 38~93<br>av. 81(14)         | 79~96<br>av. 91(6)          | 20~86<br>av. 50(24)          | 23~92<br>av. 75(19)         | 20~99<br>av. 81(18)         |
| 単位水量比 %                    | 89.0~98.9<br>av. 95.8(2.6)  | 93.0~100.4<br>av. 97.0(3.0) | 95.8~102.0<br>av. 98.1(1.8) | 92.2~100.0<br>av. 95.7(2.9) | 98.6~108.1<br>av. 102.6(3.2) | 96.2~103.9<br>av. 99.3(2.1) | 89.0~108.1<br>av. 97.7(3.2) |
| 空気連行量 %                    | 6.4~18.5<br>av. 11.7(3.7)   | 5.9~14.7<br>av. 8.1(4.0)    | 4.1~12.4<br>av. 8.1(2.2)    | 9.4~15.9<br>av. 12.3(4.7)   | 2.2~9.7<br>av. 5.5(3.4)      | 1.9~12.4<br>av. 8.0(4.1)    | 1.9~18.5<br>av. 9.1(3.9)    |
| 移行容量 t/h                   | 400~1570<br>av. 840(370)    | 590~1760<br>av. 1310(340)   | 490~3170<br>av. 1830(600)   | 510~840<br>av. 700(130)     | 590~840<br>av. 630(110)      | 480~3170<br>av. 1910(700)   | 400~3170<br>av. 1460(750)   |

表-4 各混和材料の評価結果-ばらつき範囲 表-5 同一発電所内のばらつき範囲

| 混和材料                      | 石炭灰/フライアッシュ                 | 高炉スラグ                       | 石灰石粉末                       |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Lot 数                     | 122                         | 7                           | 7                           |
| 強熱減量 %                    | 0.1~26.3<br>av. 3.3(4.3)    | 0.1~0.5<br>av. 0.3(0.1)     | 40.4~43.4<br>av. 42.6(1.0)  |
| 比重                        | 1.98~3.01<br>av. 2.20(0.12) | 2.89~2.91<br>av. 2.90(0.01) | 2.70~2.79<br>av. 2.74(0.01) |
| かさ比重 g/cm <sup>3</sup>    | 0.68~1.21<br>av. 0.97(0.12) | 1.22~1.27<br>av. 1.25(0.03) | 1.17~1.25<br>av. 1.22(0.03) |
| 平均粒度 μm                   | 2.5~35.4<br>av. 14.6(6.0)   | 7.0~12.4<br>av. 9.9(1.6)    | 1.7~12.1<br>av. 7.1(3.7)    |
| ルーン表面積 cm <sup>2</sup> /g | 2000~5560<br>av. 3650(850)  | 3500~4520<br>av. 4110(410)  | 2860~6660<br>av. 4390(137)  |
| BET表面積 m <sup>2</sup> /g  | 0.55~18.2<br>av. 2.96(3.13) | 0.93~1.24<br>av. 1.12(0.11) | 1.09~2.14<br>av. 1.61(0.31) |
| MFL/ルーン吸着量 mg/g           | 0.03~0.62<br>av. 0.38(0.17) | 0.02~0.18<br>av. 0.06(0.06) | 0.18~0.41<br>av. 0.29(0.16) |
| 球形粒含有率 %                  | 8~99<br>av. 78(23)          | 1~3<br>av. 1.7(0.8)         | 1~4<br>av. 2.1(1.2)         |
| 単位水量比 %                   | 89.0~115.5<br>av. 98.0(3.9) | 95.0~98.4<br>av. 96.1(1.1)  | 96.3~99.1<br>av. 97.5(1.0)  |
| 空気連行量 %                   | 1.9~19.5<br>av. 10.0(4.3)   | 10.5~15.1<br>av. 12.6(2.0)  | 10.9~17.5<br>av. 14.7(2.3)  |

ばらつき範囲 Xmin~Xmax  
平均av. 標準偏差(σ)

| 発電所                       | H                           | K                           | G                           |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 灰種類                       | フライアッシュ                     | 石炭灰                         | 石炭灰                         |
| Lot 数                     | 47                          | 88                          | 66                          |
| SiO <sub>2</sub> 量 %      | 54.1~65.3<br>av. 59.8(2.6)  | 58.1~68.3<br>av. 61.8(2.8)  | 49.6~66.0<br>av. 57.4(1.8)  |
| 強熱減量 %                    | 0.7~4.2<br>av. 2.7(0.5)     | 1.8~5.4<br>av. 2.8(1.0)     | 0.9~4.3<br>av. 2.2(0.7)     |
| 比重                        | 2.10~2.35<br>av. 2.25(0.04) | 2.19~2.26<br>av. 2.22(0.06) | 2.19~2.26<br>av. 2.26(0.10) |
| ルーン表面積 cm <sup>2</sup> /g | 3020~4720<br>av. 3870(520)  | 3290~4290<br>av. 3790(440)  | 2760~4160<br>av. 3310(330)  |
| BET表面積 m <sup>2</sup> /g  | 1.34~3.74<br>av. 2.56(0.47) | 2.20~6.75<br>av. 3.33(0.58) | 1.23~3.46<br>av. 2.23(0.32) |
| 移行容量                      | 1760t/h                     | 1520t/h                     | 2230t/h                     |

表-6 AE剤必要量測定用  
コンクリートの配合

| W/C | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |      |
|-----|-------------------------|-----|-----|-----|------|
|     | 水                       | NPC | 石炭灰 | 細骨材 | 粗骨材  |
| 60  | 180                     | 300 | 225 | 476 | 1044 |

細骨材比重2.59. 粗骨材比重2.64

#### 4-1. 石炭灰-フライツシの品質ばらつき

石炭灰-フライツシ122Lotを高炉スラグ微粉末、石灰石粉末と比較すると、各項目において、石炭灰-フライツシのばらつき範囲が広く、空気連行量の例で、1.9~19.5%(90 Lotでは1.9~18.5%)に及び、管理しにくい混和材料であることが確かめられた。

なお同一発電所内におけるばらつき範囲は、表-5の通りであり、使用石炭種・燃焼条件等が特定されるため、表-3のばらつき範囲よりは小さくなっている。

#### 4-2. 石炭灰・フライツシの違い

石炭灰・フライツシの各評価値は、各評価項目で連続的に分布し、石炭灰の中には現行のJIS規格を満足するものもみられた(図-1)。フライツシのばらつきは、規格を満足するよう品質管理されているために、一定の範囲内に納まっている。

#### 4-3. 国内炭灰・海外炭灰の違い

海外炭は、国内炭よりも大容量材で燃焼されているにもかかわらず、未燃焼か粒が多く残存する傾向がみられた。国内炭に比較し、着火しにくく同時間では燃焼しきれない海外炭の性質によるものと考えられる。

一方、石炭の混合使用も未燃焼か粒増加につながるようである。燃焼は着火し易い石炭の性状に左右されやすく、着火性の異なる石炭が共存すると燃焼が不完全になると考えられるからである。

#### 4-4. 単位水量比への影響要素

写真-1, 2, 3にみられる通り、未燃焼か粒の増加は、球形粒含有率の低下を来し、単位水量比の増加へとつながる(図-2)。単位水量比100以下の品質は、球形粒含有率60%以上の品質が必要であることが確かめられた。これは三輪ほか[1]の指摘と同じであった。

しかし球形粒含有率の測定は、電子顕微鏡観察に加え画像処理と、評価法が煩雑かつコスト高となる。この代替評価法として、BET比表面積法が期待される。BET比表面積法は、粉体に窒素蒸気を吸脱着させて比表面積を

測定する方法で、1分~5分程度と迅速に、個人差なく測定できる評価方法である。表2-19, 20の脱か粒灰のBET比表面積値でもわかるように、石炭灰の $\mu\text{-}$ 部分のみの比表面積は、 $0.5\sim 1.0\text{m}^2/\text{g}$ とみられるので、石炭灰全体の表面積を高くする原因は、未燃焼か粒の多孔性によるものと考えられる。図-3にBET比表面積値と単位水量比の関係を示した。この図より単位水量比102以下のJIS規格を満足する石炭灰は、BET比表面積値 $6.0\text{m}^2/\text{g}$ 以下であると予測が得られる。122Lot中110Lotが、また90Lot中85Lotが該当している。

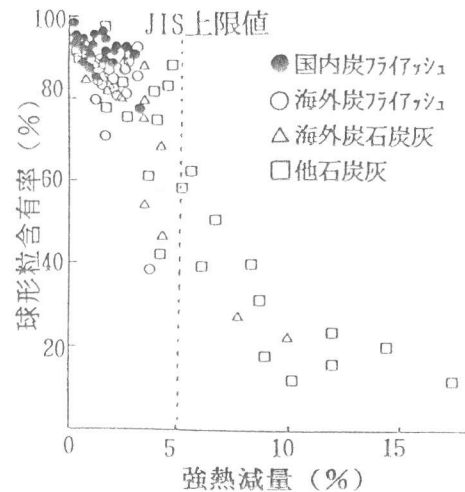


図-1 強熱減量と球形粒含有率の関係

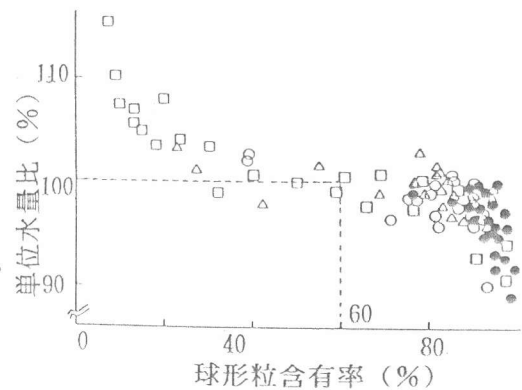


図-2 球形粒含有率と単位水量比の関係

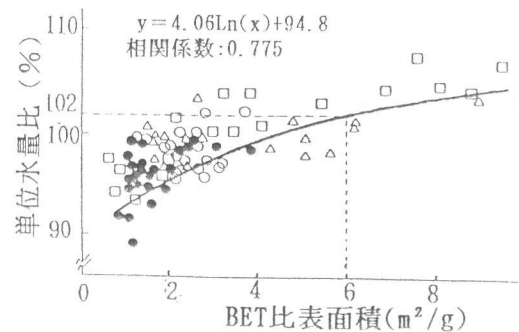


図-3 BET比表面積と単位水量比の関係

#### 4-5. 空気連行量への影響要素

空気連行量との相関の最も高い測定項目は、BET比表面積法であった。BET比表面積値 $10\text{m}^2/\text{g}$ 以下(強熱減量 $\leq 15\%$ 以下)の石炭灰では、図-4にみられる相関があり、BET比表面積値により、空気連行量を予想できる。

一方、従来多く用いられてきたメソポル吸着量値との相関性は低かった(図-5)。未燃か粒の吸着能が、メソポル色素とAE剤で異なるためと考えられる。特に今回の評価方法では、吸着量は $0.62$ 付近で飽和するため、多くの値が $0.30\sim 0.60$ の間に集中し、差が現れにくくなっている。加えて、メソポル吸着量は、試料の計取り量の違いあるいは電発法/セト協会法の測定法の違いにより、値が大きく変動し、測定方法が明記されない他報告の記載データと比較できない欠点がある。

強熱減量値と空気連行性との相関を示したものが、図-6である。メソポル吸着量よりも相関性はよいが、BET比表面積値程ではなかった。比表面積の高い未燃か粒は、少量でもAE剤の吸着量が多いためと考えられる。

かさ比重値と、空気連行性との相関を示したのが図-7である。長瀧ほか[3]の方法と設定条件が違うために、正確には比較し難いが、かさ比重 $0.90$ 以上ではほぼ $6\%$ 以上の空気連行量が確保できる傾向が本研究でも見られた。しかし $0.90$ 相当の値はばらついている。

またブレン比表面積値の測定法は、石炭灰-フライッシュの比重等粉体物性が、セトとほぼ同じであるという仮定があったが、未燃か粒量が増加すると比重、和子等大きく変動していくので、算出される値の信頼度が低く、空気連行量との相関も低い結果となっている(図-8)。

コンクリート混練実験の結果、所定の空気量約 $4.5\%$ を確保するのに必要なAE剤量は、図-9のようにBET比表面積値で管理可能なことが確められた。特に $6.0\text{m}^2/\text{g}$ 以下の範囲における相関性が良好であった。メソポル吸着量との関係が図-10であり、低吸着量側で相関があるものの、高吸着量側での相関が悪くなっている結果であった。

BET比表面積値と、石炭灰の発生元の粉砕容量との間に相関が認められる。図-11によると、上述してきた $6.0\text{m}^2/\text{g}$ 以下の灰が、缶蒸発量 $1600\text{t}/\text{h}$ (出力 $500\text{MW}$ 相当)以上の粉砕で得られる傾向が把握できる。今後この型の大容量粉砕が増加していくので、混和材料として有効利用可能な石炭灰の割合が増加するものと期待される。

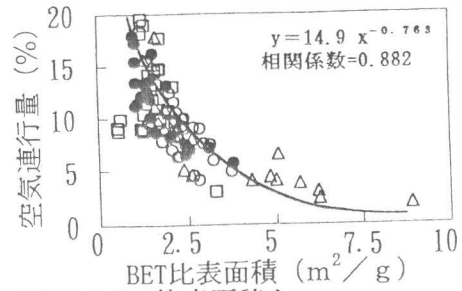


図-4 BET比表面積と空気連行量の関係

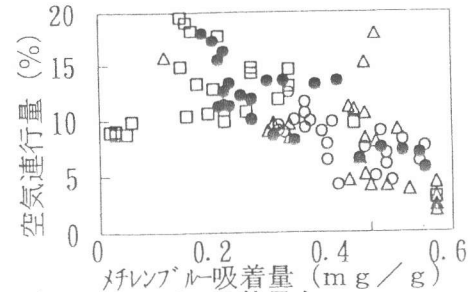


図-5 メソポル吸着量と空気連行量の関係

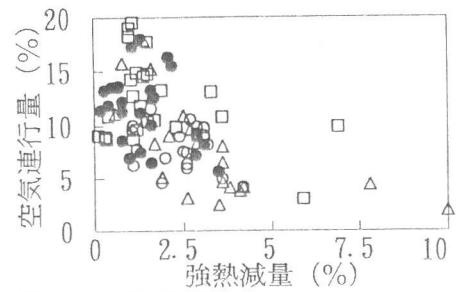


図-6 強熱減量と空気連行量の関係

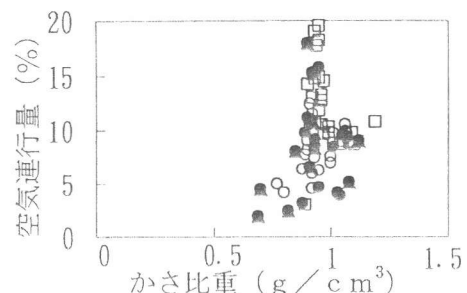


図-7 かさ比重と空気連行量の関係

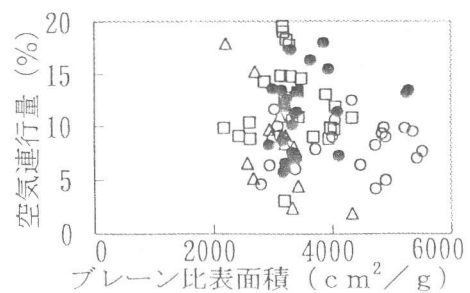


図-8 ブレン比表面積と空気連行量の関係

## 5. まとめ

本研究の結果を要約すると以下の通りになる。

5-1. 石炭灰-フライアッシュの品質ばらつきは、未燃カーボンに因るところが大きく、単位水量比、空気連行量等フレッシュモルタル特性に大きく影響し、その変動幅は高炉スラグ微粉末、石灰石粉末よりも著しく大きい。

5-2. 石炭灰-フライアッシュの間の品質は連続的であり、石灰石の中にも、JIS規格に適合したものがみられる。

5-3. 概して海外炭灰は、単位水量比の増加、空気連行量の減少等あり、国内炭灰よりも低品質であるといえる。しかしその品質は、BET比表面積値で管理可能であり、多くの石炭灰は、コンクリート混和材として十分使用可能と考えられる。

5-4. BET比表面積法は、メチレンブルー吸着量、強熱減量、かさ比重等の粉体評価法に比べ、簡単迅速に評価できる方法である。コンクリート空気連行量4.5%を確保するのに適したBET比表面積値として、 $6.0\text{m}^2/\text{g}$ 以下を目安にすることができる。

5-5. 今後発生が増加する大容量炉内燃焼の石炭灰は、BET比表面積値として $6.0\text{m}^2/\text{g}$ 以下となることが予想され、コンクリート混和材としての有効利用が期待される。

今後も石炭灰-フライアッシュ性状は、使用石炭種・炉内容量・発電負荷・分級条件等により大きくばらついてくることが予想されるが、すべての条件・因果相関関係を把握することは不可能であろう。そのような中において、石炭灰の一つの粉体評価値-BET比表面積値から、フレッシュコンクリート特性を管理できる点は重要である。

今後の石炭灰有効利用に寄与することが期待される。

## 参考文献

- [1] 三輪維久・安田稔・古木義彦: 石炭灰の有効利用技術の現況、第10回石炭利用技術会議講演要旨集、P113-127(1988)
- [2] 穂積豊: コンクリート関連産業の景気動向と展望 I、材料供給の立場から、コンクリート工学誌、P75-78(1990)
- [3] 長瀧重義・大賀宏行・増田和機・谷直樹: フライアッシュコンクリートの品質管理手法に関する研究、第9回コンクリート工学年次講演会論文集、P223-228(1987)
- [4] 畑元弘機・平野利光: 海外炭専焼発電所から発生する石炭灰を用いたコンクリートの性状について、第16回コンクリート工学年次講演会論文集、P413-418(1994)

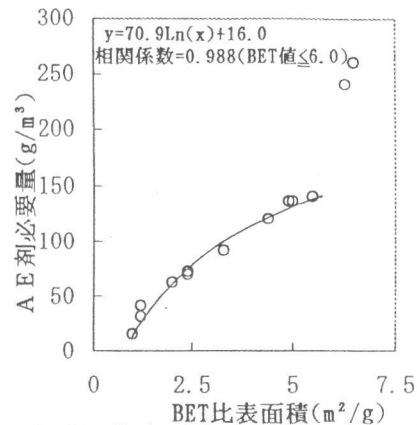


図-9 BET比表面積とAE剤必要量の関係

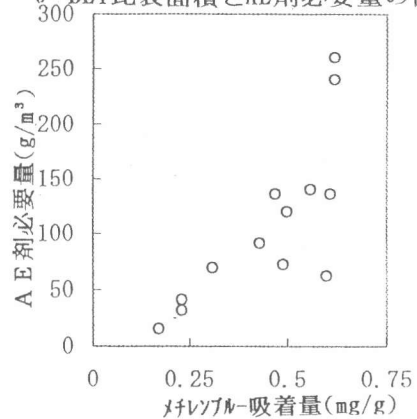


図-10 メチレンブルー吸着量とAE剤必要量の関係

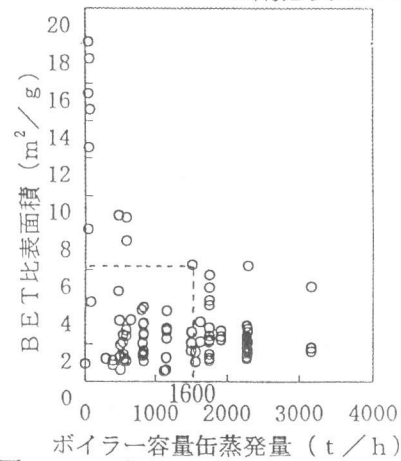


図-11 ボイラー容量とBET比表面積の関係