

## 高フライアッシュコンクリートの圧縮強度と断熱温度上昇量

山口大学大学院 学生会員 ○高橋昭裕

下松アサノコンクリート(株) 正会員 吉田和隆

山口大学大学院 学生会員 吉岡 慧

山口大学大学院 正会員 浜田純夫

## 1. はじめに

石炭火力発電設備の増加に伴い、副産物であるフライアッシュ（以下、FA と記す）の発生量も増加しており、FA の有効利用の拡大が必要とされている。そこで、水和熱抑制対策として FA の大量利用が見込まれるマスコンクリートに着目し、規定量以上の FA をセメント置換した高フライアッシュコンクリート（以下、HVFA コンクリートと記す）の強度発現性状、断熱温度上昇量を明らかにし、その適用性について検討を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント(密度  $3.16\text{g/cm}^3$ ，比表面積  $3300\text{cm}^2/\text{g}$ ，以下、N と記す)，早強ポルトランドセメント(密度  $3.14\text{g/cm}^3$ ，比表面積  $4523\text{cm}^2/\text{g}$ ，以下、H と記す)を使用した。FA は、JIS A 6021 の II 種に相当するもの(密度  $2.40\text{g/cm}^3$ ，比表面積  $4230\text{cm}^2/\text{g}$ )を使用した。

## 2.2 実験方法

HVFA コンクリートの練混ぜは、最大練混ぜ量 50l のパン型強制練りミキサを使用し、目標スランプおよび目標空気量はそれぞれ 12cm，2.0%とした。断熱温度上昇量試験の測定は 1 日の温度変化が認められなくなるまでの 1 週間としたため、圧縮強度試験は、N を用いた場合は材齢 7 日，H を用いた場合は 3 および 7 日で行った。また、コンクリートの断熱温度上昇試験は、発泡スチロールを使用した簡易的な断熱温度上昇測定法で行った。配合を表-1 に示す。

## 2.3 配合

表-1 中の N，H はそれぞれセメントの種類を表す。A，B，C，D はそれぞれの配合で FA 無置換コンクリートにおける目標強度 24，27，30， $36\text{N/mm}^2$ を表す。末尾の数字は、FA の容積置換率を表している。

表-1 コンクリート配合表

| Notation | Ratio of Fly Ash by volume (%) | Water-Binder ratio W/B (%) | Weight per unit volume ( $\text{kg/m}^3$ ) |            |         |                  |                    |
|----------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|------------|---------|------------------|--------------------|
|          |                                |                            | Cement C                                   | Fly Ash FA | Water W | Fine Aggregate S | Coarse Aggregate G |
| N-A-0    | 0                              | 58                         | 288                                        | 0          |         |                  |                    |
| N-A-40   | 40                             | 65                         | 173                                        | 84         |         |                  |                    |
| N-A-50   | 50                             | 67                         | 144                                        | 105        | 167     | 899              | 1015               |
| N-A-60   | 60                             | 69                         | 116                                        | 126        |         |                  |                    |
| N-A-70   | 70                             | 71                         | 87                                         | 147        |         |                  |                    |
| N-B-0    | 0                              | 53                         | 318                                        | 0          |         |                  |                    |
| N-B-50   | 50                             | 61                         | 159                                        | 116        | 168     | 866              | 1022               |
| N-B-60   | 60                             | 63                         | 127                                        | 139        |         |                  |                    |
| N-B-70   | 70                             | 65                         | 95                                         | 162        |         |                  |                    |
| N-C-0    | 0                              | 50                         | 339                                        | 0          |         |                  |                    |
| N-C-50   | 50                             | 58                         | 170                                        | 123        | 169     | 845              | 1022               |
| N-C-60   | 60                             | 60                         | 136                                        | 148        |         |                  |                    |
| N-C-70   | 70                             | 61                         | 102                                        | 173        |         |                  |                    |
| N-D-0    | 0                              | 44                         | 390                                        | 0          |         |                  |                    |
| N-D-50   | 50                             | 51                         | 195                                        | 142        | 171     | 800              | 1020               |
| N-D-60   | 60                             | 52                         | 156                                        | 170        |         |                  |                    |
| N-D-70   | 70                             | 54                         | 117                                        | 199        |         |                  |                    |
| H-A-0    | 0                              | 58                         | 286                                        | 0          |         |                  |                    |
| H-A-50   | 50                             | 67                         | 143                                        | 105        | 167     | 899              | 1015               |
| H-A-70   | 70                             | 72                         | 86                                         | 147        |         |                  |                    |
| H-B-0    | 0                              | 53                         | 316                                        | 0          |         |                  |                    |
| H-B-50   | 50                             | 61                         | 159                                        | 116        | 168     | 866              | 1022               |
| H-B-70   | 70                             | 65                         | 95                                         | 163        |         |                  |                    |
| H-C-0    | 0                              | 50                         | 337                                        | 0          |         |                  |                    |
| H-C-50   | 50                             | 58                         | 170                                        | 124        | 169     | 845              | 1022               |
| H-C-70   | 70                             | 61                         | 102                                        | 174        |         |                  |                    |
| H-D-0    | 0                              | 44                         | 388                                        | 0          |         |                  |                    |
| H-D-50   | 50                             | 51                         | 195                                        | 143        | 171     | 800              | 1020               |
| H-D-70   | 70                             | 54                         | 117                                        | 200        |         |                  |                    |

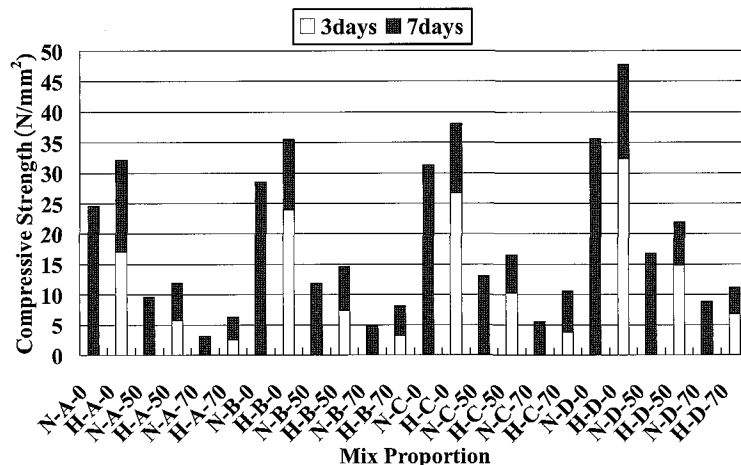


図-1 コンクリート配合と圧縮強度の関係

### 3. 強度発現性状

図-1 は N および H を用いたコンクリート配合と圧縮強度の関係を示す。N を用いたコンクリートの圧縮強度は FA の置換率が増加するにしたがい低下し、初期強度の低下が懸念された。H を用いたコンクリートは全ての配合において、材齢 7 日で N を用いた場合の圧縮強度より大きくなった。このことより、H を用いたコンクリートは HVFA コンクリートの弱点である初期強度の低下を補う。したがって、早期に脱型、品質管理が可能となり、実施工における工期の短縮につながる。

### 4. 断熱温度上昇量

熱損失特性の一例として、N-A-0 および N-A-70 を図-2 に示す。配合によって、HVFA コンクリートの温度降下勾配に大きな差はみられなかった。この温度降下勾配を基に推定される熱損失量をコンクリートの実測温度に加算することで断熱温度上昇量を求めた。

図-3 に単位セメント量が同程度であり、単位 FA 量が異なる N-A-60 と N-D-70 の断熱温度上昇量を示す。両者の一週断熱温度上昇量はほぼ同程度の値となった。このことから、一週断熱温度上昇量はセメントによる発熱に起因しており、FA 単体には発熱は見られない。

図-4 に一週断熱温度上昇量結果の一例として N-A-0、N-A-70 を示す。N-A-70 の終局断熱温度上昇量は N-A-0 と比較すると、大幅に低減した。H を用いた HVFA コンクリートの断熱温度上昇量についても同様の効果が見られた。実験値とコンクリート標準示方書 施工編に基づく推定値を比較すると、N-A-0 の一週断熱温度上昇量はほぼ同程度なのに対し、N-A-70 の一週断熱温度上昇量は推定値が実験値を上回った。これは全ての HVFA コンクリートにおいて同様の傾向が見られた。FA 単体による発熱は見られないことから、単位セメント量が  $200\text{kg/m}^3$  以下の配合のコンクリートの場合、断熱温度上昇量の推定にコンクリート標準示方書 施工編の実験定数は適用できない。そこで、本研究では、コンクリート標準示方書 施工編の推定式及び、実験より導かれた実験定数を用いることを提案する。この方法を用いることで、単位セメント量が  $200\text{kg/m}^3$  以下のコンクリート配合における断熱温度上昇量の推定が容易となる。

### 5. 結論

FA の大量に置換に伴う初期強度の低下は H を用いることにより改善される。また、HVFA コンクリートの断熱温度上昇量の推定には式 (1) 及び本研究より求めた実験定数を用いることを提案する。

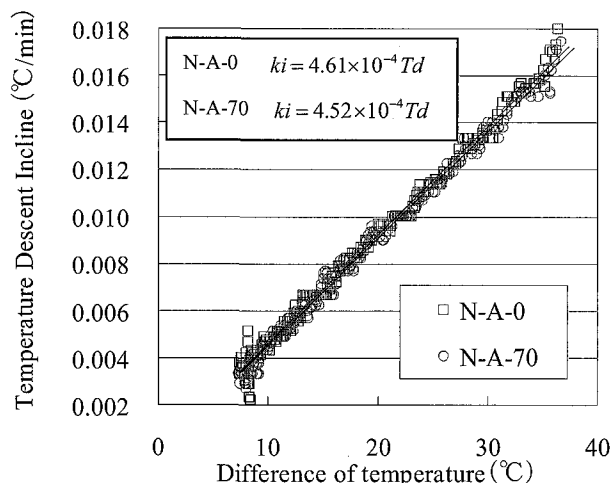


図-2 温度降下勾配

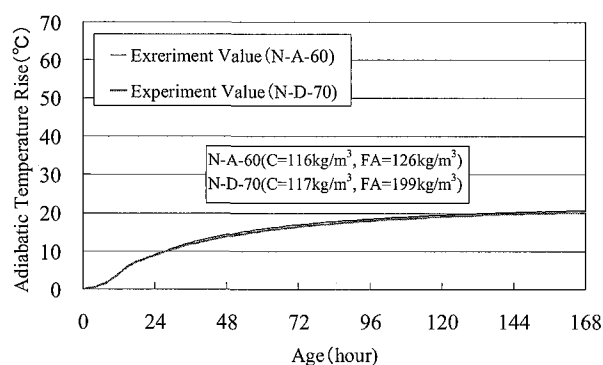


図-3 N-A-60 と N-D-70 の比較

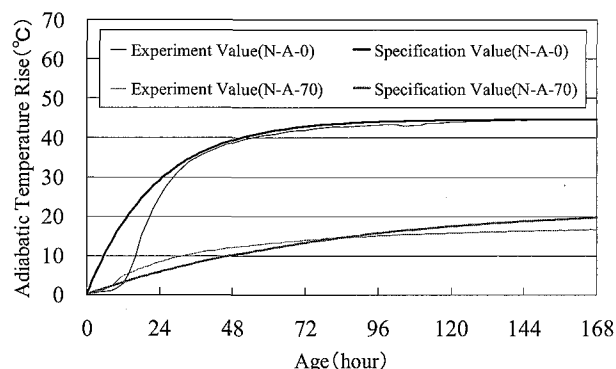


図-4 N を用いた HVFA コンクリートの断熱温度上昇量

$$Q(t) = Q_{\infty} (1 - e^{-\gamma t}) \quad (1)$$

$$Q_{\infty} = a \cdot C + b$$

$$\gamma = g \cdot C + h$$

ここで、 $Q(t)$ : 材齢  $t$  (min) における断熱温度上昇量 (°C)

$t$ : 材齢 (min)

$Q_{\infty}$ : 終局断熱温度上昇量

$\gamma$ : 温度上昇速度

$C$ : 単位セメント量 ( $\text{kg/m}^3$ )

$a, b, g, h$ : 本研究での実験値