

インフラテック（株）技術開発部 正会員 南 英明  
 同 上 森 崇義  
 同 上 福村 敏男  
 宮崎大学 工学部 正会員 中沢 隆雄

### 1. はじめに

本研究では材令14日強度  $f_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$  を目標とするフライアッシュ、高炉スラグを用いた二次製品用高流動コンクリート（以下HPCと称す）の配合設計法ならびに流動特性を把握するために、モルタル及びコンクリートのフロー試験とU型フロー試験を通して流動特性、充填性の評価方法について検討した。

### 2. 使用材料及び試験方法

使用材料を表-1に示す。粗骨材最大寸法は20mmであり、細骨材は種子島砂と川砂を1:9で使用した。配合、実験要因、混練方法については表-2、3及び図-1に示す。

モルタルフロー試験においては、表-2に示す配合の中で $s/a=50\%$ の配合No.2とNo.5の粗骨材部分を除いたモルタル部について試験を行った。試験は、ガラス板上のフローコーン中に締め固めをせずに充填した後に流動させノギスを用いてフロー値を測定した。本配合では、目標スランプフロー値を $60\pm 5\text{cm}$ とし、コンクリートフロー試験はJIS A 1101に準じスランプフロー値を測定した。また、本試験では混和剤添加量を一定にし、細骨材率を変化させたコンクリートについて、そのスランプフロー値の他に底面からの高さならびにフレッシュコンクリートの単位体積重量を測定し、ビンガム流体としての見かけの降伏値<sup>1)</sup>の測定を試みた。U型フロー試験は、図-2に示す装置を用いて行い、一次側にコンクリートを充填した後に充填状況を観察し、仕切版を引き上げ充填高さを測定した。圧縮試験は $10\times 20\text{cm}$ 円柱供試体を用いており、供試体作成時は、突き棒での締め固めは行わず型枠を木槌にて軽く10回叩き充填した。

供試体は材令1日で脱型し、水中養生した後に材令14日で試験に供した。

### 3. 試験結果及び考察

(1)モルタルフロー、コンクリートスランプフロー  
 コンクリートのスランプフロー試験結果を表-4に示す。

この表から単位水量 $160、165\text{kg/m}^3$ の両配合においても、 $s/a$ が減少するにしたがって混和剤添加量が減少し、実質

表-1 コンクリート配合

| 配合<br>No. | 細骨材率<br>s/a(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     | 混和剤添加率、量      |                              |  |
|-----------|----------------|-------------------------|-----|---------------|------------------------------|--|
|           |                | 水                       | 結合材 | 高性能減水剤<br>(%) | 分離低減剤<br>(g/m <sup>3</sup> ) |  |
| 1         | 52.5           | 160                     | 526 | 1.15          | 20                           |  |
| 2         | 50.0           |                         |     | 1.10          |                              |  |
| 3         | 47.5           |                         |     | 1.05          |                              |  |
| 4         | 52.5           | 165                     |     | 1.10          |                              |  |
| 5         | 50.0           |                         |     | 1.05          |                              |  |
| 6         | 47.5           |                         |     | 1.05          |                              |  |

高性能AE減水剤添加量=結合材×添加率(%), 分離低減剤は外剤

表-2 使用材料

|              |                                          |
|--------------|------------------------------------------|
| 普通ポルトランドセメント | 比重3.16, プレーン値 $3440\text{cm}^2/\text{g}$ |
| 高炉スラグ微粉末     | 比重2.91, プレーン値 $6170\text{cm}^2/\text{g}$ |
| フライアッシュ      | 比重2.28, プレーン値 $2540\text{cm}^2/\text{g}$ |
| 細骨材          | 大淀川・種子島混合砂 比重2.58, FM2.59                |
| 粗骨材          | 2005砕石, 比重2.58, FM6.57                   |
| 高性能AE減水剤     | ポリカルボン酸エーテル系                             |
| 材料分離低減剤      | 水溶性セルロースエーテル                             |

表-3 実験要因及び水準

| 要 因       | 水 準              |
|-----------|------------------|
| 単位水量(l)   | 160, 165         |
| 細骨材(%)    | 47.5, 50.0, 52.5 |
| 混和剤添加量(%) | 1.05~1.15        |

|         |         |          |         |                 |    |
|---------|---------|----------|---------|-----------------|----|
| セメント    | 空振り 30秒 | 水<br>混和剤 | 本練り 30秒 | 粗骨材<br>本練り 120秒 | 排出 |
| スラグ     |         |          |         |                 |    |
| フライアッシュ |         |          |         |                 |    |
| 細骨材     |         |          |         |                 |    |
| 材料分離低減剤 |         |          |         |                 |    |

図-1 混練方法

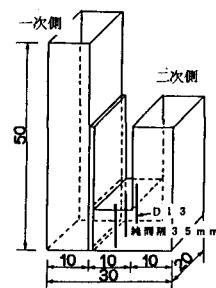


図-2 U型フロー試験装置 (cm)

的にスランプフローが増加していることがわかる。

また、優れた充填状況を示した配合No. 4～6 に使用した骨材の最密充填粒度を評価するために、下界値にPopvics式<sup>2)</sup>、上界値にFuller-Thompson式<sup>3)</sup>を用いたところ、図-3に示すように $s/a=50.0\%$ 、 $52.5\%$ では、粒径 $5\text{mm}$ 、 $2.5\text{mm}$ 以下のものは上界値を上回る結果となった。また、 $s/a$ の相違にかかわらず、すべての $s/a$ において $0.15\text{mm}$ では下界値（累計通過百分率 $8\%$ ）をかなり下回り（ $4\%$ ）、 $0.15\text{mm}$ 以下の粉体量が欠如していることがわかる。

図-4はスランプフローならびにモルタルフローと混和剤添加率の関係を示したものであり、高性能AE減水剤添加量約 $1.1\%$ 程度で目標スランプフロー値（ $60 \pm 5\text{cm}$ ）が得られることがわかった。なお、目標スランプ値に対応するモルタルフロー値は $28\text{cm}$ 程度であった。

#### (2) U型フロー試験

表-4に示す充填状況については配合No. 3～6のものが全く気泡を含まなかったことから優と判定した。なお、 $5\text{mm}$ 以下の気泡が全体的に分布するもの、もしくは $10\text{mm}$ 程度の気泡が部分的に存在した場合の充填状況を良と判定したものであり、低周波バイブレータによる締め固めが必要であると思われる。

また、スランプフロー試験結果と同様に、 $s/a$ が減少すれば充填高さも減少した。

#### (3) 見かけの降伏値の推定

コンクリートのスランプ試験より降伏値を測定する方法は村田により既に報告<sup>4)</sup>されている。

本試験では、配合No. 6を基準として高性能AE減水剤添加率を $1.05\%$ とし、スランプフロー試験から得られた測定値を用いて見かけの降伏値を推定した結果を表-5に示す。

図-5に示すように文献<sup>4)</sup>の試験結果に本試験結果をプロットするとほぼ計算値とも一致し、本試験の有効性が認められた。

本配合では $s/a$ が減少するにしたがって見かけの降伏値が小さくなっており、 $s/a$ の変化量が流動性に深く寄与していることが伺える。

#### 4. まとめ

本試験で各種フロー試験を実施した結果、流動特性に深く寄与するものは $s/a$ であり、その特性を把握するためには、スランプフロー試験を行い各測定値よりビンガム流体としてのコンクリート降伏値を推定すればよいことがわかった。また、粒径 $0.15\text{mm}$ 以下の微粉骨材については今後、累計通過率と流動性との関係を明確にしなければならないものの、粒度分布の品質管理方法として最密充填式（連続粒度式）が適していると思われる。

参考文献：1) T. C. Powers: Properties of Fresh Concrete, Jhon Wiley & Sons 1968.

2) S. Popvics: Comparison of Several Methods of Evaluating Aggregate Grading, RILEM Bulletin No. 17, 1962. 12.

3) W. B. Fuller and S. E. Thompson: The Laws of Proportioning Concrete, Trans. of ASCE, 1907. 12

4) 村田：フレッシュコンクリートの挙動に関する研究, 1987, 土木学会論文No. 378/V-6

表-4 コンクリート試験結果

| 配合No. | 単位水量<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 70-値<br>( $\text{cm}$ ) | 充填高さ<br>( $\text{cm}$ ) | 充填状況 | 圧縮強度<br>( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) |
|-------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------|--------------------------------------|
| 1     | 160                                | 6.2                     | 8.0                     | 良    | 4.27                                 |
| 2     |                                    | 5.8                     | 7.0                     | 良    | 4.62                                 |
| 3     |                                    | 5.8                     | 6.0                     | 優    | 4.64                                 |
| 4     | 165                                | 6.4                     | 8.0                     | 優    | 4.35                                 |
| 5     |                                    | 6.1                     | 6.8                     | 優    | 4.50                                 |
| 6     |                                    | 6.4                     | 6.5                     | 優    | 4.47                                 |

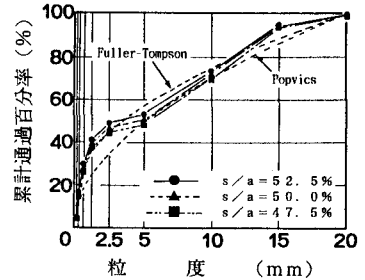


図-3 骨材ふるい分け試験結果

表-5 見かけの降伏値測定結果

| 細骨材率<br>$s/a(\%)$ | 70-値<br>( $\text{cm}$ ) | フレッシュコンクリート<br>単位体積重量<br>( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 70-中央部<br>高さ( $\text{cm}$ ) | 70-平均<br>高さ( $\text{cm}$ ) | 見かけの<br>降伏値<br>( $\text{gf}/\text{cm}^2$ ) |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| 47.5              | 6.2                     | 2.333                                               | 4.000                       | 2.000                      | 0.668                                      |
|                   | 5.5                     | 2.311                                               | 4.625                       | 2.875                      | 0.914                                      |
|                   | 6.2                     | 2.332                                               | 4.000                       | 2.175                      | 0.703                                      |
| 50.0              | 5.7                     | 2.333                                               | 3.925                       | 2.475                      | 0.747                                      |
|                   | 5.7                     | 2.333                                               | 4.025                       | 2.400                      | 0.715                                      |
|                   | 5.7                     | 2.333                                               | 4.025                       | 2.400                      | 0.715                                      |
| 52.5              | 4.1                     | 2.277                                               | 6.275                       | 4.975                      | 1.698                                      |
|                   | 4.0                     | 2.300                                               | 6.225                       | 4.950                      | 1.680                                      |
|                   | 4.2                     | 2.334                                               | 6.433                       | 5.650                      | 1.806                                      |

高性能AE減水剤添加率 $1.05\%$

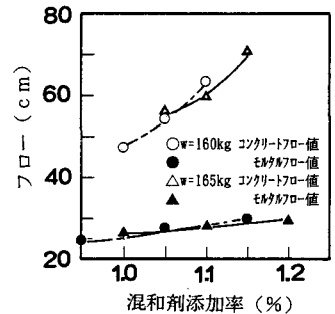


図-4 スランプ、モルタルフローと混和剤添加率

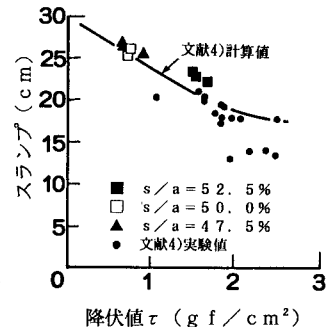


図-5 スランプ-見かけの降伏値