

1. 目的 一般的にコンクリートのワークビリティを判定する場合、対象とするコンクリート構造物の打設方法等に見合った各種の試験法による推定が必要であり、コンクリートの workability (ability to work) も、flowability, placeability, compactibility, stability, mobility, finishability 等の要素の影響度がそれぞれ異なってくる。スランプ試験は、迅速で経済的であり、その試験方法及び試験器具が非常に単純である等の理由から広く利用されている。しかし上述のようなワークビリティに関するすべての要素を適切に判定する試験法ではない。本報告は、現場管理試験としてのスランプ試験の長所をとり入れ、かつ動的な変形能力を推定できる Inverted Slump cone Test<sup>1)</sup> 及びそれを改良した逆スランプ試験<sup>2)</sup> による鋼繊維補強ポリマーセメントコンクリート (SFRPCC) の特性を主として検討したものである。

2. 実験概要 今回の報告で実施した試験方法は、スランプ試験 (JIS A1101)、フロー試験 (ASTM C-124)、V B 試験 (土木学会規程)、Inverted Slump Cone Test 及び逆スランプ試験 (高さ 5 cm から 25 cm) である。実験は L16 直交配列表により割り付けを行い、4 因子 2 水準とした (TABLE 1, TABLE 2)。使用した材料は、普通ポルトランドセメント、鋼繊維 (0.5×0.5×30 mm) の直線状のものとし、先端をフック加工したもの、及びポリマーディスパーション (SAR ラテックス) である。粗骨材の最大粒径は 15 mm、細骨材率は 60% とした。配合は全て細骨材を絶乾状態、粗骨材は表面乾燥飽水状態で実施し、細骨材の吸水率は JIS A1109 により測定し補正した。コンクリートの練り混ぜは、強

TABLE 2 - Experimental design (L16)

| test series        | factor code |    |   |   |
|--------------------|-------------|----|---|---|
|                    | Kf          | Vf | W | P |
| 1                  | 1           | 1  | 1 | 1 |
| 2                  | 1           | 1  | 1 | 2 |
| 3                  | 1           | 1  | 2 | 1 |
| 4                  | 1           | 1  | 2 | 2 |
| 5                  | 1           | 2  | 1 | 1 |
| 6                  | 1           | 2  | 1 | 2 |
| 7                  | 1           | 2  | 2 | 1 |
| 8                  | 1           | 2  | 2 | 2 |
| 9                  | 2           | 1  | 1 | 1 |
| 10                 | 2           | 1  | 1 | 2 |
| 11                 | 2           | 1  | 2 | 1 |
| 12                 | 2           | 1  | 2 | 2 |
| 13                 | 2           | 2  | 1 | 1 |
| 14                 | 2           | 2  | 1 | 2 |
| 15                 | 2           | 2  | 2 | 1 |
| 16                 | 2           | 2  | 2 | 2 |
| pcc <sup>(1)</sup> | -           | -  | 1 | 2 |
| cc <sup>(2)</sup>  | -           | -  | 1 | 1 |

(1) polymer modified cement concrete

(2) conventional cement concrete

TABLE 1 - Code for factors and levels

| factor                   | factor code | level code number     |                       |
|--------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
|                          |             | 1                     | 2                     |
| type of steel fiber      | Kf          | hooked                | straight              |
| volume fraction of fiber | Vf          | 1 %                   | 1.5 %                 |
| polymer content          | P           | 0                     | 50 kg/m <sup>3</sup>  |
| free water content       | W           | 155 kg/m <sup>3</sup> | 166 kg/m <sup>3</sup> |

TABLE 3 - Summary of test results

| NO. | Slump (cm) |      |      | Flow (cm) |           |      | VeBe (sec) |       |       | Inverted-Cone (sec) |      |      |      |      |      | $\sigma_{28}$ | E    |
|-----|------------|------|------|-----------|-----------|------|------------|-------|-------|---------------------|------|------|------|------|------|---------------|------|
|     | 1          | 2    | mean | 1         | 2         | mean | 1          | 2     | mean  | ASTM                | 5cm  | 10cm | 15cm | 20cm | 25cm |               |      |
| 1   | 2.8        | 3.4  | 3.1  | 38.2/37.2 | 38.2/37.0 | 37.7 | 53.6       | 62.3  | 58.0  | 41.5                | 26.2 | 20.0 | 17.7 | 8.4  | 5.4  | 501.65        | 2.23 |
| 2   | 15.3       | 10.1 | 12.7 | 50.6/48.8 | 40.2/39.6 | 44.8 | 5.2        | 10.0  | 7.6   | 34.7                | 54.4 | 30.8 | 21.8 | 10.0 | 7.0  | 281.60        | 2.55 |
| 3   | 7.4        | 7.5  | 7.5  | 44.2/43.8 | 45.4/44.5 | 44.5 | 9.4        | 25.4  | 17.4  | 24.3                | 22.6 | 11.2 | 4.3  | 3.5  | 2.9  | 377.60        | 3.82 |
| 4   | 13.0       | 13.8 | 13.4 | 47.0/45.5 | 46.9/46.0 | 46.3 | 3.4        | 5.5   | 4.5   | 32.2                | 38.7 | 18.1 | 13.2 | 6.3  | 5.8  | 297.70        | 2.60 |
| 5   | 0.6        | 0.6  | 0.6  | 38.9/33.7 | 36.3/33.7 | 35.7 | 172.0      | 160.0 | 166.0 | 95.0                | 66.0 | 47.0 | 24.0 | 15.0 | 9.0  | 459.96        | 3.34 |
| 6   | 5.5        | 7.2  | 6.4  | 39.6/39.4 | 41.7/41.2 | 40.5 | 33.3       | 11.8  | 22.6  | 39.8                | 97.6 | 43.8 | 18.2 | 15.8 | 9.9  | 329.80        | 2.76 |
| 7   | 7.5        | 8.0  | 7.8  | 42.6/41.6 | 43.0/41.4 | 42.2 | 62.0       | 50.5  | 56.3  | 33.0                | 26.5 | 13.7 | 9.7  | 6.1  | 3.5  | 453.59        | 2.37 |
| 8   | 10.8       | 9.0  | 9.9  | 40.0/39.1 | 41.0/39.9 | 40.0 | 9.4        | 39.8  | 9.4   | 49.8                | 85.5 | 45.8 | 19.3 | 11.0 | 6.1  | 323.83        | 2.62 |
| 9   | 2.0        | 1.4  | 1.7  | 36.3/35.5 | 36.7/34.0 | 35.7 | 86.8       | 76.0  | 81.4  | 48.7                | 32.2 | 28.6 | 15.0 | 12.0 | 11.4 | 479.17        | 3.95 |
| 10  | 12.5       | 16.0 | 14.3 | 43.1/42.4 | 48.9/48.1 | 45.6 | 19.8       | 5.0   | 12.4  | 36.2                | 60.2 | 24.8 | 17.0 | 7.4  | 4.6  | 332.95        | 2.44 |
| 11  | 8.1        | 8.2  | 8.2  | 46.6/46.4 | 47.7/46.3 | 46.9 | 16.5       | 15.8  | 16.2  | 21.4                | 15.0 | 7.2  | 5.0  | 2.3  | 2.0  | 433.96        | 4.05 |
| 12  | 24.6       | 23.5 | 24.1 | 50.3/48.7 | 54.9/54.0 | 52.0 | 8.4        | 1.5   | 5.0   | 0.0                 | 23.2 | 15.0 | 11.0 | 5.8  | 5.4  | 348.66        | 3.12 |
| 13  | 3.2        | 3.0  | 3.1  | 34.4/33.7 | 34.7/33.9 | 34.2 | 114.0      | 125.0 | 119.5 | 47.8                | 33.2 | 20.6 | 12.8 | 9.0  | 5.6  | 455.82        | 4.24 |
| 14  | 14.3       | 14.3 | 14.3 | 41.8/40.8 | 43.3/42.9 | 42.2 | 26.4       | 14.0  | 20.2  | 50.6                | 54.4 | 27.0 | 15.8 | 8.2  | 7.3  | 365.60        | 2.92 |
| 15  | 10.5       | 11.0 | 10.8 | 49.9/49.4 | 50.5/49.4 | 49.8 | 21.0       | 8.0   | 14.5  | 26.2                | 27.1 | 7.1  | 3.2  | 1.3  | 1.0  | 452.60        | 3.79 |
| 16  | 11.3       | 13.1 | 12.2 | 44.1/41.6 | 44.9/44.1 | 43.7 | 10.8       | 9.4   | 10.1  | 43.7                | 55.6 | 24.2 | 16.4 | 9.3  | 8.4  | 294.50        | 2.36 |
| PC  | 6.0        | 5.0  | 5.5  | 35.7/33.6 | 35.4/33.6 | 34.6 | 18.8       | 19.5  | 19.2  | 84.0                | 60.5 | 32.2 | 22.3 | 13.8 | 9.0  | 326.59        | 2.99 |

制練リミキサ(オムニミキサ)

を用い、ポリマーディスポーションは予め水と混合して最後に投入した。今回の試験では、逆スランptest試験はスランptestコーンの地上からの高さをも5種類変化させ、この試験法の最適高さを検討した。

### 3. 実験結果 今回の試験結果をまとめると表-3

のようになる。表中のPCは

、鋼繊維の入らないポリマーセメントコンクリートでその配合はNo. 5から鋼繊維を除いたものでポリマーディスポーションのゴム成分を50 kg/m<sup>3</sup>混入したものである。又、 $\sigma_{28}$  はコンクリートの圧縮強度(称令28日)、Eは圧縮強度試験より算定した接線弾性係数( $\times 10^5$  kgf/cm<sup>2</sup>)である。表-3の結果を用いて各試験法毎に分散分析を行、たものが表-4である。

4. まとめ 今回の試験の範囲で各因子とそれぞれの試験法との関係をまとめると次のようである。

- (1) 鋼繊維の形状の因子(K<sub>f</sub>)が有意となった試験法は、スランptest試験と逆スランptest試験(5 cm 及び 10 cm)であった。
- (2) 鋼繊維混入量(V<sub>f</sub>)が有意となった試験法は、Inverted Slump Cone 試験と逆スランptest試験(5 cm, 10 cm)であった。
- (3) ポリマーディスポーションの混入の有無(P)は、スランptest試験VB試験及び逆スランptest試験(5, 10, 15 cm)であった。
- (4) 単位水量(W)に関しては今回実施したすべての試験法で有意となった。
- (5) 逆スランptest試験は、スランptestコーンの下端を地上より5 cm から10 cm 程度にするとSFRPCCの7-カビリ4の試験法としては秀れた方法といえる。
- (6) 遅延剤を用いたSFRPCCの時間経過による7-カビリ4の低下はどの試験法でも直線的であり注意を要する(図-1、図-2)。

#### <参考文献>

- 1) American Concrete Institute, Committee 544, "Measurement of properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI journal, Proc. V. 75, No. 7, July 1978, pp. 283-289
- 2) 堀口 他, 「繊維コンクリートのコンシステンシーの判定方法について」, 土木学会北海道支部論文報告集, No. 39, Feb. 1983, pp. 329-334.

TABLE 4 - Analysis of variance for workability data

| factor code | slump              | flow              | Vebe               | inverted slump cone test |                    |                    |                    |                    |                  |
|-------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
|             |                    |                   |                    | ASTM                     | 5 cm               | 10 cm              | 15 cm              | 20 cm              | 25 cm            |
| Kf          | 4.96*<br>(6.97)    | 1.99<br>(2.66)    | -                  | 1.70<br>(2.50)           | 7.15*<br>(8.50)    | 7.13*<br>(12.61)   | 4.65<br>(8.96)     | 4.71<br>(8.51)     | -                |
| Vf          | 2.63<br>(2.88)     | 3.74<br>(7.37)    | 3.40<br>(6.24)     | 6.41*<br>(19.27)         | 15.82**<br>(20.46) | 6.68*<br>(11.70)   | -                  | 4.36<br>(7.69)     | -                |
| P           | 27.66**<br>(46.95) | 4.83<br>(10.28)   | 13.94**<br>(33.62) | -                        | 26.65**<br>(34.03) | 6.79*<br>(11.92)   | 7.64*<br>(16.29)   | 2.86<br>(4.26)     | 2.17<br>(5.19)   |
| W           | 9.45*<br>(14.88)   | 14.21*<br>(35.49) | 9.14*<br>(21.16)   | 7.96*<br>(24.79)         | 8.89*<br>(10.90)   | 12.45**<br>(23.56) | 16.47**<br>(37.95) | 17.61**<br>(38.06) | 7.27*<br>(27.94) |
| Kf:Vf       | -                  | -                 | -                  | -                        | 4.65<br>(5.04)     | 5.54*<br>(9.34)    | -                  | 4.10<br>(7.10)     | -                |
| Kf:W        | -                  | 2.45<br>(3.89)    | -                  | -                        | -                  | -                  | -                  | -                  | -                |
| Kf:P        | 2.08<br>(1.91)     | -                 | -                  | -                        | 1.26<br>(0.36)     | -                  | -                  | -                  | -                |
| error       | (26.42)            | (40.31)           | (38.98)            | (53.44)                  | (20.71)            | (30.87)            | (36.79)            | (34.38)            | (66.87)          |

\*\* significant at 1 percent level

\* significant at 5 percent level

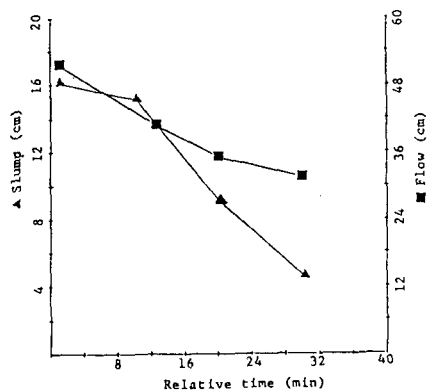


図1 - スランptest値及びフロー値の時間経過による変化(SFRPCC)

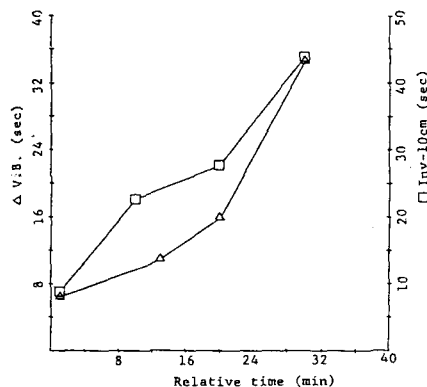


図2 - VB値及び逆スランptest値の時間経過による変化(SFRPCC)