

## V-2 繊維補強コンクリートのコンシステンシの判定方法について (その3)

北海道工業大学 正員 堀口 敬

" 不動 真幸

" 松村 光博

### 1. はじめに

鋼繊維補強コンクリートのコンシステンシの判定方法は、普通コンクリートと同様の従来からあるスランプ試験法が広く用いられている。しかしながら、このスランプ試験法は、近年の混和材料の進歩、或いは締固め機器等の高性能化に充分対応できる試験法としては問題があることは周知の事実である。この原因は、スランプ試験が、レオロジ特性からみれば静的な一元試験であること、さらにはワーカビリティ自体が打設方法等により性格を異にすることに起因するものと考えられる<sup>1)</sup>。このような問題を解消し、かつ、スランプ試験に匹敵する実用性を有した現場管理試験として筆者らは既に、A.C.I. 544 委員会がワーカビリティ試験方法として提案した「Inverted Slump Cone Test」<sup>2)</sup>を改良した「改良逆さスランプ試験 (以下K.S.S.試験と呼ぶ)」<sup>3)</sup>を提案してきた。本報告では、実験計画法<sup>4)</sup>を用いてK.S.S.試験と他の試験法に関する実用性を中心に検討したものである。

### 2. 試験概要

【表-1】因子と水準

前報<sup>5)</sup>は、目標スランプを3cmとした鋼繊維補強コンクリート、ポリエチレン繊維補強コンクリート等の

| 因子                          | 水準  |     |     |     |     |    |    |    |    |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                             | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 予製スランプ, S (cm)              | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 鋼繊維混入率, Vf (%)              | 0.5 | 1.0 | 1.5 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
| 骨材種類, G <sub>max</sub> (mm) | 15  | 25  | 15* | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
| 減水剤混入率, Ad (%)              | 0   | 1   | 2   | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
| 繰返し回数, R                    | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | —  | —  | —  | —  |

注：骨材種類の数値はすべてG<sub>max</sub>、\*印は川砂利、その他はすべて砕石である。以下G<sub>max</sub>をGと略す。

コンシステンシを各測定方法を用いて検討を行った。本報告では、さらに広範囲のコンシステンシーに対する影響を検討するため目標スランプを0から16cmまで変化させた27種類の配合に関する鋼繊維補強コンクリートについて検討を行った。また、本報告では、配合因子の各測定値への影響度を調べるために、実験計画法により、表-1, 2に示すL<sub>27</sub>直交表による分散分析をおこなった。

【表-1】L<sub>27</sub>直交表

| No | S | Vf | G | Ad |
|----|---|----|---|----|
| 1  | 1 | 1  | 1 | 1  |
| 2  | 2 | 1  | 2 | 2  |
| 3  | 3 | 1  | 3 | 3  |
| 4  | 4 | 1  | 2 | 3  |
| 5  | 5 | 1  | 3 | 1  |
| 6  | 6 | 1  | 1 | 2  |
| 7  | 7 | 1  | 3 | 2  |
| 8  | 8 | 1  | 1 | 3  |
| 9  | 9 | 1  | 2 | 1  |
| 10 | 1 | 2  | 2 | 2  |
| 11 | 2 | 2  | 3 | 3  |
| 12 | 3 | 2  | 1 | 1  |
| 13 | 4 | 2  | 3 | 1  |
| 14 | 5 | 2  | 1 | 2  |
| 15 | 6 | 2  | 2 | 3  |
| 16 | 7 | 2  | 1 | 3  |
| 17 | 8 | 2  | 2 | 1  |
| 18 | 9 | 2  | 3 | 2  |
| 19 | 1 | 3  | 3 | 3  |
| 20 | 2 | 3  | 1 | 1  |
| 21 | 3 | 3  | 2 | 2  |
| 22 | 4 | 3  | 1 | 2  |
| 23 | 5 | 3  | 2 | 3  |
| 24 | 6 | 3  | 3 | 1  |
| 25 | 7 | 3  | 2 | 1  |
| 26 | 8 | 3  | 3 | 2  |
| 27 | 9 | 3  | 1 | 3  |

#### 2-1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。鋼繊維は 0.6φ×30mm (アスペクト比で 1/d=50.0)の変形断面形状のものを用いた。又、減水剤はナフタリンスルホン酸塩系の高性能減水剤を用いた。配合については、鋼繊維補強コンクリートの配合設計方法<sup>6)</sup>により補正を行った。又、粗骨材は表乾状態、細骨材は絶乾状態とし、細骨材の吸収率は、測定(JIS A 1109)の結果 2.95 % となった。

## 2-2 練り混ぜ

ミキサーは、強制練りミキサー（オムニミキサー）を用い骨材とセメントを各 30 秒練り混ぜ後、鋼繊維をファイバーボールができないように手で均等になるように投入し、2 分間練り混ぜた。その後、水あるいは水と減水剤を投入し、低速で 30 秒さらに高速で 1 分 30 秒、計 2 分間練り混ぜた。

## 2-3 試験方法

- スランプ試験 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）により試験を行った。
- フロー試験 フロー試験は、ASTM C-124の規定により試験を行った。
- V. B. 試験 V.B.試験は、土木学会基準の振動台式コンシステンシー試験方法に準じて実施した。コンシストメーターの振動テーブルの振動数は、2900rpm で全振幅は約 0.6mmとした。スランプコーンは ASTM C-143 規定のものを使った。
- 広がり試験 広がり試験は、DIN 1048により実施した。本器は台板（70×70cm）の中央に置いたコーン（φ13×φ20×20(H)cm）にコンクリートを詰めて成形し、コーンを抜いてから台板の一辺を 4cmの高さまで持ち上げ 1 秒間に 1 回、連続で 15 回落下させた後の広がり長さの最大値とその直角方向の長さとの平均値を測定値とした。
- K.S.S. 試験 K.S.S.試験は前報<sup>5)</sup>で詳しく説明したので本報告では省略する。

## 3. 試験結果及び考察

### 3-1 実測値の試験結果

表-3には、2-3の実験方法によって得られた各測定値の試験結果をまとめたものである。5回の測定値で繰り返しを 5 回行った計 25 回の測定値の平均を示している。

次頁の図-1 から図-7は、目標

【表-3】試験結果のまとめ

スランプ値と各試験測定値との関係を示したものである。図-1の目標スランプ値と実測スランプ値との関係は、顕著な直線関係を示し、その相関係数は、 $\gamma=0.94$  となった。これは鋼繊維補強コンクリートの配合設計法を用いて計算したが、かなり広範囲の材料に対して適用可能な補正計算法であると思われる。目標スランプ値とV.B.試験及びK.S.S.試験の実測値との関係は、それぞれ図-2～5で、両試験法はすべて硬練りなコンクリートにおいて大きな測定値の変動を示した。この結果は、硬練りコンクリートでは、スランプ値では示されない値がK.S.S.試験やV.B.試験によって得られることを明確に示している。目標スランプとフロー試験及び広がり試験の実測値との

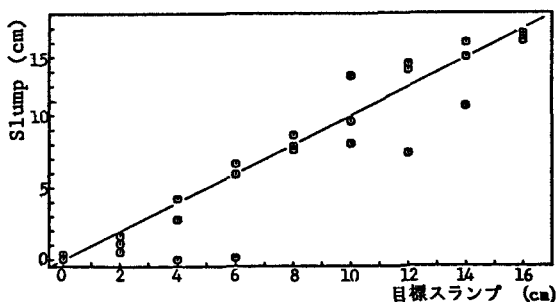
| No | Slump<br>(cm) | K.S.S. 5<br>(sec) | K.S.S.10<br>(sec) | K.S.S.15<br>(sec) | V. B.<br>(sec) | フロー<br>(%) | 広がり<br>(cm) |
|----|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|------------|-------------|
| 1  | 0.4           | 87.8              | 20.5              | 10.2              | 21.0           | 2.3        | 29.5        |
| 2  | 1.1           | >180              | 18.7              | 11.1              | 12.5           | 2.2        | 29.0        |
| 3  | 0.0           | 42.9              | 14.6              | 6.7               | 12.0           | 3.9        | 39.5        |
| 4  | 0.1           | 63.2              | 19.7              | 10.0              | 26.2           | 5.5        | 35.0        |
| 5  | 8.6           | 25.9              | 4.9               | 2.8               | 4.5            | 18.9       | 44.9        |
| 6  | 9.6           | 38.6              | 8.8               | 4.9               | 7.3            | 34.9       | 43.0        |
| 7  | 13.1          | 18.4              | 3.0               | 2.0               | 3.2            | 75.3       | 56.2        |
| 8  | 10.6          | 45.0              | 12.5              | 7.6               | 10.5           | 10.8       | 41.5        |
| 9  | 15.4          | 17.5              | 4.8               | 2.0               | 7.1            | 55.4       | 38.0        |
| 10 | 0.1           | >180              | 32.3              | 22.6              | 45.3           | 2.8        | 42.7        |
| 11 | 0.5           | 60.6              | 32.8              | 18.7              | 18.2           | 3.8        | 37.0        |
| 12 | 2.8           | 93.5              | 7.9               | 6.4               | 10.1           | 8.9        | 33.5        |
| 13 | 6.7           | 34.6              | 7.4               | 3.8               | 7.1            | 15.9       | 34.4        |
| 14 | 7.6           | 49.2              | 6.3               | 5.5               | 7.9            | 9.4        | 37.6        |
| 15 | 8.0           | 55.0              | 9.8               | 6.7               | 7.5            | 11.2       | 40.7        |
| 16 | 7.4           | 53.5              | 10.6              | 7.1               | 5.3            | 56.6       | 45.4        |
| 17 | 15.0          | 62.2              | 8.4               | 7.1               | 6.2            | 46.0       | 54.8        |
| 18 | 15.1          | 25.7              | 3.7               | 2.6               | 5.0            | 19.1       | 42.6        |
| 19 | 0.0           | 6.3               | 2.3               | 1.6               | 3.2            | 13.8       | 44.9        |
| 20 | 1.6           | 84.4              | 10.0              | 4.7               | 15.6           | 5.9        | 26.9        |
| 21 | 4.2           | >180              | 22.6              | 9.4               | 42.3           | 47.0       | 47.0        |
| 22 | 5.9           | 89.9              | 7.0               | 3.9               | 14.1           | 7.4        | 27.8        |
| 23 | 7.8           | >180              | 13.5              | 5.7               | 7.6            | 60.0       | 45.2        |
| 24 | 12.7          | 53.9              | 4.4               | 1.6               | 3.4            | 50.7       | 49.5        |
| 25 | 13.5          | 46.8              | 8.6               | 5.7               | 8.4            | 54.4       | 52.6        |
| 26 | 14.0          | 60.6              | 10.1              | 2.8               | 3.6            | 67.4       | 58.7        |
| 27 | 15.6          | 119.6             | 6.7               | 4.5               | 4.0            | 40.0       | 42.6        |

関係は、それぞれ図-6, 7で、目標スランプ値が12cm程度までは、右上がりの直線関係を  
示しているが、両方とも14cm以上になると逆に値が低下する傾向にあった。この現象は、フ  
ロー試験及び、広がり試験による測定値の限界がスランプ値で12cm程度までであることを示  
しているものと指察される。

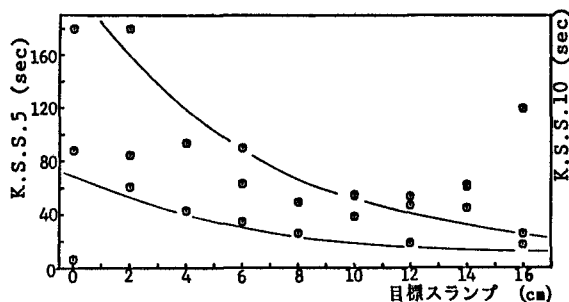
### 3-2 分散分析

同一の配合の25回の測定値の変動  
係数を各試験法について計算すると  
次頁の表-4になる。

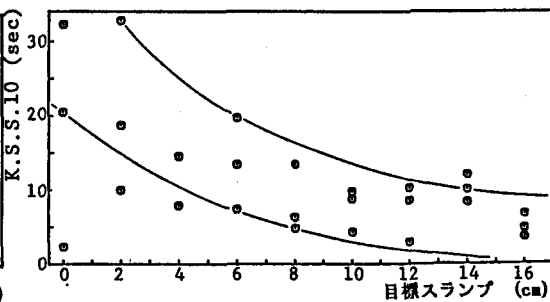
表-5及び6は、それぞれ各試験  
方法によって得られた表-3、表-  
4の結果を分散分析し、各因子に関  
するF値とF検定の結果をまとめた  
ものである。表中の\*\*印はF検定に



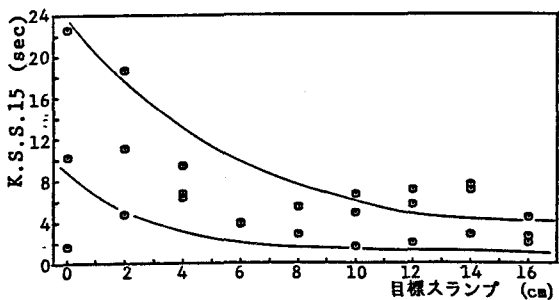
【表-1】目標スランプとスランプ試験



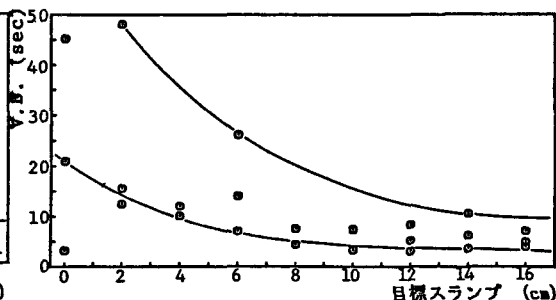
【表-2】目標スランプとK.S.S.5 試験



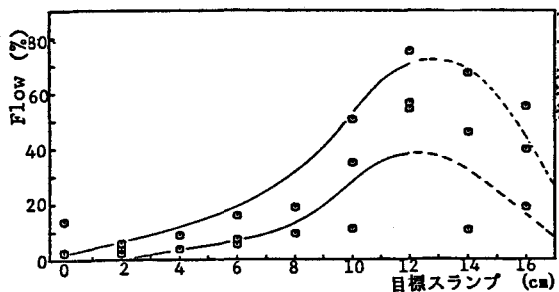
【表-3】目標スランプとK.S.S.10試験



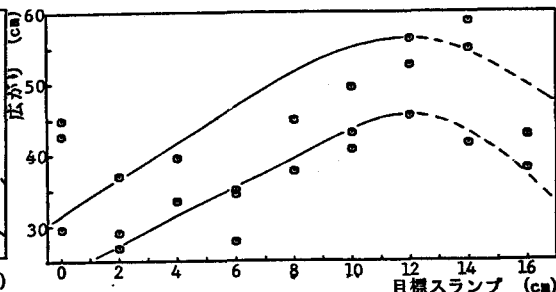
【表-4】目標スランプとK.S.S.15試験



【表-5】目標スランプとV.B.試験



【表-6】目標スランプとフロー試験



【表-7】目標スランプと広がり試験

において、1%危険率有意水準を満足したもので、\*印は5%危険率有意水準を満足したことを表している。( )内の数値は、各因子のそれぞれの試験法に対する因子寄与率(%)を示している。

表-5及び図-8では、V.B.試験の繊維混入率の因子を除いて、その他の試験法に関して各因子とも有意となった。又、残差(誤差)項に関しては、スランプ試験が3.08と小さく、他の試験では10.0~50.0の間にあり、広がり試験が最小値をとり、V.B.試験が最大値となった。目標スランプ値の因子が実測スランプ値に大きな影響を及ぼすこと(寄与率89%)は当然なことである

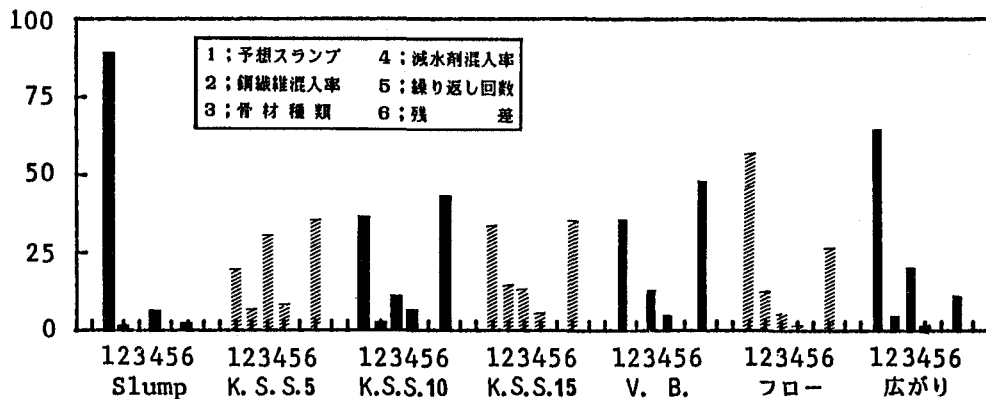
他の試験法については、フロー試験、及び広がり試験では寄与率

【表-4】変動係数のまとめ

| No | Slump | K.S.S. 5 | K.S.S.10 | K.S.S.15 | V. B. | フロー  | 広がり  |
|----|-------|----------|----------|----------|-------|------|------|
| 1  | 29.6  | 5.4      | 4.4      | 8.6      | 4.3   | 6.8  | 2.9  |
| 2  | 28.7  | 0.0      | 2.8      | 7.1      | 5.2   | 6.0  | 3.4  |
| 3  | 0.0   | 3.1      | 6.4      | 10.5     | 3.7   | 4.8  | 3.9  |
| 4  | 117.5 | 16.8     | 5.3      | 20.7     | 5.4   | 20.7 | 7.1  |
| 5  | 1.5   | 6.3      | 9.9      | 7.5      | 10.3  | 2.5  | 2.3  |
| 6  | 1.7   | 1.6      | 1.6      | 3.1      | 4.2   | 3.2  | 3.0  |
| 7  | 3.8   | 4.1      | 4.9      | 12.0     | 10.8  | 2.2  | 5.4  |
| 8  | 55.0  | 4.8      | 5.0      | 6.6      | 10.1  | 6.1  | 4.6  |
| 9  | 5.2   | 6.2      | 8.3      | 15.8     | 10.3  | 3.1  | 4.0  |
| 10 | 82.3  | 0.0      | 7.1      | 9.2      | 9.5   | 11.4 | 11.3 |
| 11 | 15.1  | 4.7      | 6.0      | 4.8      | 4.6   | 3.8  | 4.5  |
| 12 | 6.5   | 5.3      | 3.2      | 7.2      | 6.0   | 2.4  | 4.0  |
| 13 | 3.2   | 3.9      | 4.1      | 5.3      | 4.1   | 3.9  | 4.5  |
| 14 | 4.8   | 6.7      | 5.1      | 6.1      | 4.2   | 4.3  | 3.7  |
| 15 | 28.4  | 8.2      | 4.8      | 6.3      | 8.1   | 6.0  | 5.8  |
| 16 | 5.2   | 8.3      | 4.2      | 5.3      | 6.0   | 0.8  | 1.1  |
| 17 | 6.5   | 6.4      | 4.8      | 2.9      | 4.8   | 3.2  | 3.9  |
| 18 | 4.0   | 3.3      | 5.6      | 9.9      | 9.2   | 4.0  | 1.2  |
| 19 | 0.0   | 10.3     | 6.1      | 9.7      | 5.6   | 12.1 | 2.3  |
| 20 | 11.8  | 3.5      | 3.5      | 5.1      | 2.7   | 15.6 | 2.3  |
| 21 | 5.8   | 0.0      | 5.5      | 8.5      | 8.3   | 7.4  | 5.6  |
| 22 | 11.4  | 5.9      | 3.7      | 6.9      | 5.8   | 9.2  | 4.1  |
| 23 | 3.9   | 0.0      | 5.6      | 7.9      | 9.4   | 8.0  | 8.5  |
| 24 | 3.2   | 3.6      | 4.5      | 10.3     | 6.7   | 3.2  | 3.2  |
| 25 | 3.0   | 4.8      | 5.0      | 4.9      | 2.8   | 3.6  | 2.5  |
| 26 | 2.2   | 5.6      | 4.4      | 6.8      | 10.9  | 4.4  | 3.1  |
| 27 | 2.2   | 4.0      | 3.7      | 7.5      | 6.8   | 5.3  | 4.9  |

【表-5】試験結果の分散分析

|    | スランプ                | K.S.S. 5           | K.S.S.10           | K.S.S.15           | V. B.              | フロー                | 広がり                 |
|----|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| S  | 484.77**<br>(89.01) | 10.35**<br>(19.58) | 15.32**<br>(36.00) | 16.99**<br>(33.07) | 20.58**<br>(35.55) | 39.53**<br>(55.93) | 122.75**<br>(64.41) |
| Vf | 43.42**<br>(1.95)   | 14.05**<br>(6.83)  | 5.91**<br>(3.10)   | 27.97**<br>(13.95) | 0.54               | 33.57**<br>(11.82) | 33.94**<br>(4.36)   |
| G  | 12.47**<br>(0.53)   | 59.45**<br>(30.59) | 18.26**<br>(10.85) | 25.09**<br>(12.46) | 29.17**<br>(12.61) | 13.82**<br>(4.65)  | 148.13**<br>(19.46) |
| Ad | 112.32**<br>(5.12)  | 14.96**<br>(7.30)  | 11.61**<br>(6.67)  | 11.56**<br>(5.46)  | 11.65**<br>(5.01)  | 4.32**<br>(1.20)   | 9.57**<br>(1.13)    |
| R  | 4.33**<br>(0.31)    | 0.05               | 0.07               | 0.02               | 0.09               | 0.16               | 0.39                |
| e  | (3.08)              | (35.70)            | (43.38)            | (35.06)            | (46.83)            | (26.40)            | (10.64)             |



【図-8】試験結果の寄与率と各試験法の関係

が、それぞれ 56%~64% と高い値をとるが、K.S.S.試験では 20%~36% 程度となった。また鋼繊維混入率の因子は、K.S.S.15とフロー試験がそれぞれ 14%と12% と高い値をとり、他の試験は、2%~5%の間をとった。骨材種類の因子では、K.S.S.5 が31% と高い値をとり、スランプ試験、フロー試験がそれぞれ 0.53,4.65と低い値を示した。減水剤混入率の因子では、各試験法が1% ~7% 程度となった。繰り返し回数の因子は、スランプ試験のみ有意となった。これらのことから、各測定法の目標スランプ値による実測値は、ほぼ全ての配合因子に影響を受けていることがわかる。しかしその度合は各測定法により大きく異なる。

表一6から、各測定法の変動に影響を及ぼす因子の有意性が判別できる。スランプ試験は一つの配合での変動 (R)は少ない代わりに他の配合因子により、変動が異なるのがわかる。K.S.S.10では減水剤により、測定値の変動が左右されるが、その他の配合因子には依存しない試験法である。V.B.試験では使用する骨材により、測定値の変動が異なる。フロー試験、及び広がり試験は、スランプ試験とほぼ同様の性状を示している。

表一4で得られた変動

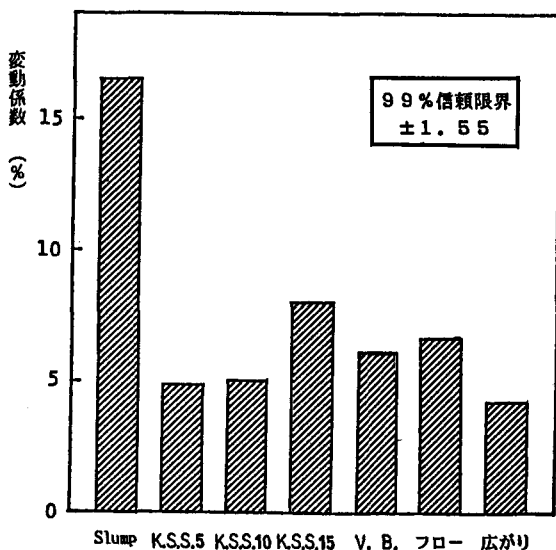
【表一6】変動係数の分散分析

係数の結果を、各試験法

間の因子について分散分析すると、1%危険率有意水準を満足した。その結果をグラフ図一9に示した。平均変動係数は、広がり試験、K.S.S.試験 5cm, K.S.S.試験10cm, V.B.試験, フロー試験, K.S.S.試験15cm, スランプ試験の順で、各々、4.18, 4.95, 5.01, 6.66, 6.07, 8.02, 16.4になった。また、信頼限界は±1.55の変動となった。

このグラフでは、スランプ試験の変動が他の試験の約2倍程度になった。またK.S.S.試験の5~15cmの中では、5cmが最も小さな値を示した。スランプ試験を除き、他の試験法による測定値の変動係数は、概ね5~10%の間に存在する。

|    | スランプ               | K.S.S. 5           | K.S.S.10         | K.S.S.15          | V. B.             | フロー                | 広がり                |
|----|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| S  | 5.36**<br>(16.32)  | 4.18**<br>(13.84)  | 0.96             | 2.83**<br>( 8.90) | 4.37**<br>(15.52) | 13.44**<br>(35.31) | 2.79**<br>( 8.90)  |
| Vf | 8.43**<br>( 6.95)  | 2.11<br>( 1.21)    | 0.71             | 7.59**<br>( 8.00) | 1.05<br>( 0.08)   | 11.00**<br>( 7.09) | 0.53               |
| G  | 13.24**<br>(11.45) | 0.09               | 2.11<br>( 1.60)  | 4.45*<br>( 4.19)  | 5.05**<br>( 4.65) | 10.69**<br>( 6.88) | 14.34**<br>(21.26) |
| Ad | 5.20**<br>( 3.92)  | 15.07**<br>(15.29) | 4.63*<br>( 5.24) | 1.04<br>( 0.04)   | 4.35*<br>( 3.85)  | 7.41**<br>( 4.54)  | 6.70**<br>( 6.16)  |
| R  | 0.30               | 0.25               | 1.37<br>( 1.06)  | 1.39<br>( 0.96)   | 0.50              | 0.05               | 0.58               |
| e  | (61.36)            | (69.66)            | (92.10)          | (77.91)           | (75.90)           | (46.18)            | (63.68)            |

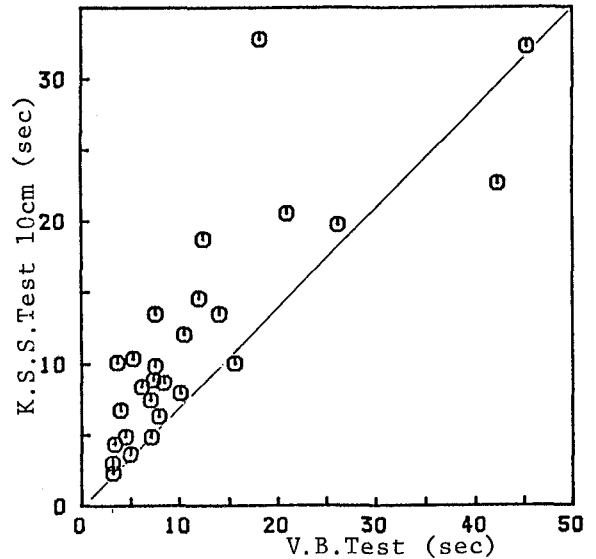


【図一9】各試験の測定値の変動係数

#### 4. まとめ

本報告では、目標スランプを0cmから16cmまで変化させた広範囲の鋼繊維補強コンクリートの配合でコンシステンシの各試験法に関する検討を行った。得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 今回実施した試験法は特性が異なる2種類のグループに分類される。一つは、全てのK.S.S.試験とV.B.試験から、これらは比較的硬練りの状態のとき、目標スランプ値が大きく異なり、目標スランプ値のみでは定まらない特性を有している試験法である。他の一つは、フロー試験及び広がり試験で軟練りのコンクリートの場合に、スランプ値との相関が明確に変化する試験法である。
- 2) K.S.S.試験は、骨材の種類、減水剤混入率、及び鋼繊維混入率等の因子の影響を受け、フロー試験、或いは広がり試験等と比較し、目標スランプによる影響度が少ない試験法である。この傾向は、V.B.試験も同様で、目標スランプ値のみでは、動的なコンシステンシの推定は難しいことを示している。
- 3) 各試験法別の変動では、スランプ私権が特に大きな値を示し、他の私権達については、ほぼ同様の結果となった。



【図-9】V.B.とK.S.S.10cmとの関係

#### 参 考 文 献

- 1) 日本トンネル技術協会編：「スチルファイバーコンクリートに関する調査研究報告書」
- 2) A.C.I. 544 Committee : Measurement of Properties of Fibre Reinforced Concrete ,  
ACI Journal (1978)
- 3) 堀口 敬 : 「繊維コンクリートのコンシステンシ判定方法について」, セメント技術年報  
第39,120(1985)
- 4) 田口 玄一 : 「実験計画法」, 丸善 (197)
- 5) 堀口 敬ら : 「繊維補強コンクリートのコンシステンシの判定方法(その2)」  
土木学会北海道支部 論文報告集 第41号(1985)
- 6) 小林 一輔ら : 「所要コンシステンシを得るための鋼繊維補強コンクリートの配合設計方法」,  
土木学会論文集 第293号(1980)