

大阪市立大学工学部 正員 久保直志

〇森野奎二

コンクリートの28日強度を早期に判定するために、オートクレーブ養生による促進養生を、筆者らは行ってきたが、その際使用した供試体の大きさは $\phi 7.5 \times 15 \text{ cm}$ の小型のものであった<sup>1)</sup>。このようにオートクレーブ養生を行う場合は、釜の大きさから使用する供試体の寸法は制限を受けることが多いが、供試体の寸法によってかなりの強度差が生じるのではないかと疑問に思われた。すでに標準養生における供試体寸法と強度との関係は、コンクリート供試体の寸法が小さくなると圧縮強度は大きくなるものとされているが、しかし最近の $\phi 10 \times 20$ と $\phi 15 \times 30$ 供試体と比較の研究結果では、強度差はないとされている<sup>2)3)4)</sup>。

オートクレーブ養生における供試体の寸法と圧縮強度との関係を調らべるため、 $\phi 7.5 \times 15$ 、 $\phi 10 \times 20$ 、 $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 供試体を使用して実験を行った。また筆者らは普通セメント使用コンクリートの標準養生強度 $f_{cs}$ をオートクレーブ養生による $f_{cb}$ で求めてきたのであるが、今回はさらにB種、C種高炉セメント、B種フライアッシュセメントを使用したコンクリートの $f_{cb}$ を求めてみることを行った。

1): セメントコンクリート No. 248

2): 杉本他(セメントコンクリート No. 194): 99

3): 笠井(建築学会論文集 100号): 98

4): コンクリート学会報告 F-14, F-15: 99

### 1. 供試体の作製

同一バッチのコンクリートから $\phi 7.5$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 15$ の供試体を各々8個づつ成形した。(オートクレーブ養生用: 3個、 $f_{cs}$ : 2個、 $f_{cb}$ : 3個)

成形方法はJISA1132に依った。但し $\phi 7.5$ は2層に詰め、各層5回づつ突き、側面を木づらで軽く叩いた。成形後直ちに、上面を密封するために、型枠と同種の底板を型枠上面よりさし込み、側方の留め金具を十分に締めつけ固定した。

### 2. オートクレーブ養生の状態

供試体成形後直ちに釜の中へ入れ、1回の養生条件によって、養生を行った。釜より出した後、脱型し、硫酸キャッピングを行った。試験は脱型後、主として2時間後に行ったが、2表に示すように脱型1時間後より、1週間後まで強度変化はみられない。

### 3. 結果および考察

(1) 供試体寸法と圧縮強度との関係(オートクレーブ養生)

$\phi 15 \times 30$  供試体の強度(100)に対する $\phi 10 \times 20$ および

$\phi 7.5 \times 15$  供試体の圧縮強度の比率は3表のようになって、4種のセメントの総平均は $\phi 7.5$ が97、 $\phi 10$

が95と、 $\phi 15$ より小さいが、強度比のバラツキを見ると $\phi 7.5$ が(87~110)、 $\phi 10$ が(86~104)であり、強度比の標準偏差は $\phi 7.5$ が7.8、 $\phi 10$ が4.6である。また2図より $\phi 15$ と $\phi 7.5$ 、 $\phi 10$ の直線は $f_{cs} = \phi 7.5, \phi 10$ の45°の直線の下上にバラツキていることから、実用的に差はないものと思われる。なおフライアッシュコンクリートに関しては他のセメントと同じ

1表 コンクリートの配合

| 配合<br>番号 | 水<br>量<br>(%) | セ<br>メント<br>量<br>(%) | 配合比 (kg/m <sup>3</sup> ) |          |          |               |        |          |          |               |
|----------|---------------|----------------------|--------------------------|----------|----------|---------------|--------|----------|----------|---------------|
|          |               |                      | 普通セメント                   | B種高炉セメント | C種高炉セメント | B種フライアッシュセメント | B種セメント | B種高炉セメント | C種高炉セメント | B種フライアッシュセメント |
| 1        | 50            | 43                   | 160                      | 320      | 814      | 1088          | 160    | 320      | 814      | 1088          |
| 2        | 50            | 43                   | 180                      | 360      | 778      | 1039          | 180    | 360      | 778      | 1039          |
| 3        | 50            | 43                   | 200                      | 400      | 741      | 990           | 200    | 400      | 741      | 990           |
| 4        | 55            | 43                   | 160                      | 291      | 825      | 1101          | 160    | 291      | 825      | 1101          |
| 5        | 55            | 43                   | 180                      | 327      | 792      | 1055          | 180    | 327      | 792      | 1055          |
| 6        | 55            | 43                   | 200                      | 364      | 754      | 1007          | 200    | 364      | 754      | 1007          |
| 7        | 60            | 43                   | 160                      | 267      | 833      | 1113          | 160    | 267      | 833      | 1113          |
| 8        | 60            | 43                   | 180                      | 300      | 799      | 1067          | 180    | 300      | 799      | 1067          |
| 9        | 60            | 43                   | 200                      | 333      | 765      | 1022          | 200    | 333      | 765      | 1022          |
| 10       | 65            | 43                   | 160                      | 246      | 861      | 1123          | 160    | 246      | 861      | 1123          |
| 11       | 65            | 43                   | 180                      | 277      | 807      | 1074          | 180    | 277      | 807      | 1074          |
| 12       | 65            | 43                   | 200                      | 308      | 774      | 1034          | 200    | 308      | 774      | 1034          |

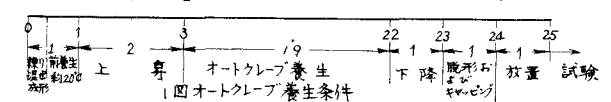
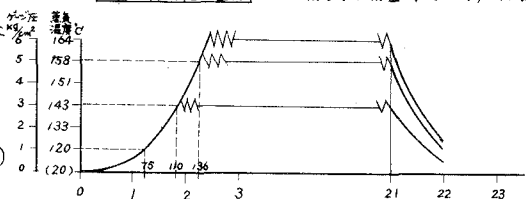
スランプ (cm)

| 配合番号 | スランプ (cm) |
|------|-----------|
| 1    | 6.5       |
| 2    | 7.5       |
| 3    | 10.0      |
| 4    | 6.0       |
| 5    | 6.0       |
| 6    | 6.0       |
| 7    | 4.5       |
| 8    | 17.0      |
| 9    | 17.0      |
| 10   | 4.0       |
| 11   | 17.5      |
| 12   | 20.5      |

2表 養生試験(配合No.8による)

| 養生時間 (時間) | 24  | 25  | 30  | 48  | 7日  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 脱型後1時間後   | 1   | 2   | 7   | 25  | 6日  |
| 強度        | 252 | 244 | 257 | 246 | 250 |
|           | 255 | 270 | 241 | 200 | 240 |
|           | 251 | 252 |     |     |     |
| 平均        | 253 | 255 | 249 | 253 | 245 |

(供試体をオートクレーブより取出し、後強度試験までの放置時間に関する実験)



配合を用いたため、軟練りに適ざとび離れた結果となった。

4表に示すように同一バッチから取ったφ15、φ10、φ7.5の各平均値の強度差は、最大値-最小値が20.1%であり、標準偏差9.5%、変動係数4.1%である。5表に示すように供試体寸法が小さくなると、強度のバラツキは大きくなった。

## (2) 標準養生φ28とオートクレーブ養生φ10の関係

4種のセメントを用いたコンクリートのオートクレーブ養生の結果を6表に示し、3図にφと%の関係を示した。3図によると、φ28を推定する場合セメントの種類が異なっても、ほぼ等しい蒸気圧(6~6.4%)の値が良いことが解かる。

## 4. 結論

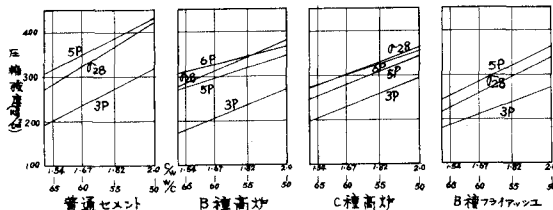
(1) 今回のオートクレーブ養生30回(各サイズ90%)および標準養生30回(各サイズ15%)の結果によると、φ15×30供試体に対するφ7.5×15およびφ10×20供試体の圧縮強度比は $\frac{f_{p15}}{f_{p15}}=97$ 、 $\frac{f_{p10}}{f_{p15}}=95$ となったがバラツキを考慮すると、実用的に強度差はないようである。標準養生の強度比はいずれも98で、強度差はないと思われる。

(2) オートクレーブ養生φ10によって、標準養生φ28を推定する場合に、

セメントの種類が異なっても、ほぼ等しい養生条件でよく、1図の養生条件では、普通セメント、フライッシュセメントは5気圧(158℃)、高炒セメントは6気圧(164℃)でφ28を推定しようである。

5表 φ7.5×15、φ10×20、φ15×30cm 供試体強度のバラツキ

| セメント         | オートクレーブ養生φ10 |      |     |     |     | 標準養生φ28 |      |     |      |     | 標準偏差 S | 変動係数 V |
|--------------|--------------|------|-----|-----|-----|---------|------|-----|------|-----|--------|--------|
|              | φ7.5         | φ10  | φ15 | φ20 | φ25 | φ7.5    | φ10  | φ15 | φ20  | φ25 |        |        |
| 普通セメント       | 12.6         | 11.2 | 6.6 | 4.9 | 3.8 | 2.4     | 11.2 | 7.8 | 10.7 | 3.1 | 2.8    | 3.1    |
| B種高炒セメント     | 5.6          | 6.9  | 5.2 | 4.7 | 2.4 | 2.6     | 10.8 | 8.8 | 7.9  | 2.4 | 2.7    | 2.4    |
| C種高炒セメント     | 13.9         | 4.1  | 7.3 | 5.4 | 1.6 | 2.9     | 11.7 | 7.4 | 6.0  | 3.9 | 2.4    | 2.0    |
| B種フライッシュセメント | 8.1          | 7.1  | 5.6 | 4.2 | 3.5 | 6.9     | 8.9  | 7.2 | 2.1  | 3.5 | 2.6    |        |
| 全セメント(30)    | 10.9         | 7.3  | 6.2 | 4.7 | 3.1 | 2.6     | 10.1 | 8.7 | 7.9  | 3.1 | 2.8    | 2.5    |



3図 標準養生φ28とオートクレーブ養生φ10の関係

6表 各種セメント標準養生φ28とオートクレーブ養生φ10の関係 (供試体寸法φ10×20cm)

| w/c                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 普通セメント |     |     |     |     |     | B種高炒セメント |     |     |     |     |     | C種高炒セメント |     |     |    |    |    | B種フライッシュセメント |    |    |    |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----|----|----|--------------|----|----|----|--|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | φ28    |     |     | φ7  |     |     | φ28      |     |     | φ7  |     |     | φ28      |     |     | φ7 |    |    | φ28          |    |    | φ7 |  |  |
| %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 20C    | 3P  | 5P  | 20C | 3P  | 5P  | 20C      | 3P  | 5P  | 6P  | 20C | 3P  | 5P       | 6P  | 20C | 3P | 5P | 6P | 20C          | 3P | 5P | 6P |  |  |
| 50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 411    | 316 | 423 | 380 | 263 | 354 | 369      | 361 | 293 | 345 | 353 | 333 | 272      | 363 |     |    |    |    |              |    |    |    |  |  |
| 55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 381    | 281 | 395 | 349 | 237 | 314 | 345      | 336 | 262 | 314 | 328 | 306 | 235      | 326 |     |    |    |    |              |    |    |    |  |  |
| 60                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 328    | 246 | 343 | 307 | 214 | 297 | 333      | 314 | 228 | 272 | 308 | 266 | 215      | 275 |     |    |    |    |              |    |    |    |  |  |
| 65                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 273    | 197 | 313 | 280 | 170 | 275 | 307      | 270 | 206 | 258 | 273 | 219 | 187      | 238 |     |    |    |    |              |    |    |    |  |  |
| $f_c = -181 + 361 \sqrt{w/c} \quad f_t = -67 + 180 \sqrt{w/c} \quad f_{cs} = -116 + 260 \sqrt{w/c}$ $f_c = -181 + 361 \sqrt{w/c} \quad f_t = -121 + 95 \sqrt{w/c} \quad f_{cs} = -102 + 246 \sqrt{w/c}$ $f_c = -67 + 248 \sqrt{w/c} \quad f_t = -56 + 129 \sqrt{w/c} \quad f_{cs} = -52 + 199 \sqrt{w/c}$ $f_c = -65 + 253 \sqrt{w/c} \quad f_t = -56 + 129 \sqrt{w/c} \quad f_{cs} = -52 + 199 \sqrt{w/c}$ $f_c = -67 + 248 \sqrt{w/c} \quad f_t = -56 + 129 \sqrt{w/c} \quad f_{cs} = -52 + 199 \sqrt{w/c}$ $f_c = -65 + 253 \sqrt{w/c} \quad f_t = -56 + 129 \sqrt{w/c} \quad f_{cs} = -52 + 199 \sqrt{w/c}$ |        |     |     |     |     |     |          |     |     |     |     |     |          |     |     |    |    |    |              |    |    |    |  |  |

3表 φ15×30cm 供試体の強度に対するφ10×20cm およびφ7.5×15cm 供試体の圧縮強度の比率

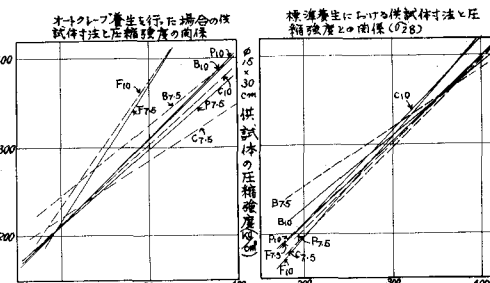
| セメントの種類      | w/c (%)                     | オートクレーブ養生 (φ3P-19) |       | 標準養生 (φ28) |       |
|--------------|-----------------------------|--------------------|-------|------------|-------|
|              |                             | φ15                | φ10   | φ15        | φ10   |
| 普通セメント       | 50                          | 95                 | 100   | 98         | 102   |
|              | 55                          | 93                 | 95    | 94         | 101   |
|              | 60                          | 99                 | 97    | 95         | 96    |
|              | 65                          | 99                 | 96    | 92         | 90    |
|              | 平均(φ)                       | 98                 | 96    | 93         | 95    |
| B種高炒セメント     | S                           | 6.5                | 4.2   | 7.1        | 5.7   |
|              | 55                          | 96                 | 97    | 99         | 101   |
|              | 65                          | 102                | 93    | 106        | 102   |
|              | 平均(φ)                       | 99                 | 95    | 103        | 101   |
|              | S                           | 3.6                | 3.6   | 7.3        | 1.9   |
| C種高炒セメント     | 55                          | 99                 | 100   | 102        | 101   |
|              | 65                          | 100                | 97    | 97         | 98    |
|              | 平均(φ)                       | 100                | 98    | 100        | 101   |
|              | S                           | 8.7                | 3.3   | 6.4        | 3.0   |
|              | 55                          | 85                 | 88    | 90         | 94    |
| B種フライッシュセメント | 65                          | 90                 | 96    | 103        | 100   |
|              | 平均(φ)                       | 89                 | 91    | 93         | 99    |
|              | S                           | 4.5                | 4.5   | 9.5        | 8.7   |
|              | 4種のセメントを総合した試験結果 (φ30) と平均値 | S=7.8              | S=4.6 | S=6.0      | S=5.0 |
|              | 標準偏差(S)                     | 6.7                | 4.9   | 8.4        | 5.2   |

S: 標準偏差 V: 変動係数

4表 φ15×30、φ10×20、φ7.5×15cm 供試体の強度差 R: 最大-最小 S: 標準偏差 V: 変動係数

| セメント         | オートクレーブ養生φ10 | 標準養生φ28 | 標準養生φ28 |
|--------------|--------------|---------|---------|
|              | R            | S       | V       |
| 普通セメント       | 20.8         | 9.2     | 3.6     |
| B種高炒セメント     | 12.8         | 9.3     | 3.1     |
| C種高炒セメント     | 23.3         | 9.7     | 3.9     |
| B種フライッシュセメント | 30.2         | 12.9    | 5.9     |
| 全セメント        | 21.6         | 9.5     | 4.1     |

同一バッチを同時に成形したφ15×30cm、φ10×20cm、φ7.5×15cm 供試体の各強度の平均間のバラツキを示す。



2図 φ15とφ10およびφ7.5との関係

| セメントの種類          | w/c (%) | オートクレーブ養生 (φ3P)                   |       | 標準養生 (φ28)                        |       |
|------------------|---------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
|                  |         | φ15                               | φ10   | φ15                               | φ10   |
| 普通セメント           | φ15     | $\phi_{15} = 14 + 0.99\phi_{10}$  | 0.967 | $\phi_{15} = 32 + 0.91\phi_{10}$  | 0.986 |
|                  | φ10     | $\phi_{10} = 43 + 0.85\phi_{15}$  | 0.834 | $\phi_{10} = 17 + 0.95\phi_{15}$  | 0.942 |
| 高炒B種セメント         | φ15     | $\phi_{15} = 18 + 0.97\phi_{10}$  | 0.987 | $\phi_{15} = 70 + 0.80\phi_{10}$  | 0.992 |
|                  | φ10     | $\phi_{10} = -66 + 1.32\phi_{15}$ | 0.990 | $\phi_{10} = 125 + 0.65\phi_{15}$ | 0.974 |
| 高炒C種セメント         | φ15     | $\phi_{15} = 38 + 0.86\phi_{10}$  | 0.970 | $\phi_{15} = 4 + 1.04\phi_{10}$   | 0.934 |
|                  | φ10     | $\phi_{10} = 92 + 0.64\phi_{15}$  | 0.748 | $\phi_{10} = 5 + 0.97\phi_{15}$   | 0.954 |
| フライッシュB種セメント     | φ15     | $\phi_{15} = -92 + 1.54\phi_{10}$ | 0.991 | $\phi_{15} = -27 + 1.12\phi_{10}$ | 0.983 |
|                  | φ10     | $\phi_{10} = -53 + 1.42\phi_{15}$ | 0.965 | $\phi_{10} = -2 + 1.02\phi_{15}$  | 0.954 |
| 4種のセメントを総合した試験結果 | φ15     | $\phi_{15} = 20 + 0.96\phi_{10}$  | 0.966 | $\phi_{15} = 29 + 0.92\phi_{10}$  | 0.981 |
|                  | φ10     | $\phi_{10} = 35 + 0.89\phi_{15}$  | 0.898 | $\phi_{10} = 34 + 0.90\phi_{15}$  | 0.951 |