

## 白色モルタルおよびコンクリートの諸性状

DC-12243 中野 駿

### 1. 研究の背景とその目的

白色ポルトランドセメント（以下、白色セメント）は、カラーモルタルおよびカラーコンクリートを製造するベースとして、海外をはじめとして用いられる機会が以前よりも増加している。<sup>1)</sup> しかし、その強度等の諸性状の基本的なデータはきわめて少ない。一般にいわれているように、普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）を用いたコンクリートと同等の強度等の諸性状を示すのか検討するために行った。

### 2. 実験概要

まず、標準砂を用いたモルタルで、普通セメント（密度：3.16g/cm<sup>3</sup>、比表面積：3340 cm<sup>2</sup>/g、4 週圧縮強度：61.6N/mm<sup>2</sup>）と白色セメント（密度：3.05g/cm<sup>3</sup>、比表面積：3490 cm<sup>2</sup>/g、4 週圧縮強度：63.2N/mm<sup>2</sup>）を比較するため、フレッシュ性状、供試体の吸水量、圧縮強度、超音波伝搬速度の測定を行う。また、コンクリート試験では、細骨材（大井川産陸砂）・粗骨材（青梅碎石 2013, 1305）の条件を変えずにセメントのみを変えた試験体を作製し、モルタル試験の試験項目に加え、動弾性係数の測定も行う。また、100mm×100mm×200mm の角柱試験体を作製し、4 週水中養生した後、促進中性化を行った。中性化槽は、温度 20℃、湿度 60%、CO<sub>2</sub> 濃度 5% で一定とした。中性化に対する性能は、中性化深さで評価するものとする。さらに、同様の寸法の角柱試験体の中心近くを 20mm 程度の厚さにカッターで切断し、断面をカーボランダム (C#320)、さらに、酸化クロム粉末で研磨し、気泡の間隔を測定した。片面で 1995mm の線を引き、線上の気泡弦の長さを調べ、気泡間隔係数を算出し、凍結融解に対する性能を予測する。<sup>3)-5)</sup>

また、モルタル・コンクリートともに水セメント比は、45%・55%・65% の 3 種類でそれぞれ比較する。

試験の項目と方法は、表 1 に示す通りである。

### 3. モルタル試験の結果とその考察

モルタルの調合および、そのフレッシュ性状は、表 2・表 3 に示す通りである。また、フローを図 1 に示した。普通セメントと白色セメントでは白色セメントのほうがフローが小さい結果となった。

表 1 試験項目と試験方法

|         | モルタル                      | コンクリート                 |
|---------|---------------------------|------------------------|
| モルタルフロー | JIS R 5201                | -                      |
| 練上がり温度  | アルコール温度計                  |                        |
| 単位容積質量  | JIS A 1116(モルタルは400ccの容器) |                        |
| スランプ    | -                         | JIS A 1101             |
| 空気量     | -                         | JIS A 1128             |
| 超音波伝搬速度 | CTM-15(飽和増幅方式対称法)         |                        |
| 動弾性係数   | -                         | JIS A 1127             |
| 圧縮強度    | JIS A 1108                |                        |
| ヤング係数   | -                         | JIS A 1149(材齢4週)       |
| 中性化深さ   | -                         | JIS A 1152             |
| 気泡間隔係数  | -                         | ASTM C457<br>リニアトラバース法 |

表 2 モルタルの計画調合

| セメントの<br>種類 | 目標空気量<br>(%) | 水セメント比<br>(%) | 質量(g) |      |      |
|-------------|--------------|---------------|-------|------|------|
|             |              |               | 水     | セメント | 細骨材  |
| 普通<br>セメント  | 2.0          | 45            | 280   | 622  | 1328 |
|             |              | 55            | 280   | 509  | 1423 |
|             |              | 65            | 280   | 431  | 1488 |
| 白色<br>セメント  |              | 45            | 285   | 633  | 1287 |
|             |              | 55            | 285   | 518  | 1386 |
|             |              | 65            | 285   | 438  | 1455 |

表 3 モルタルのフレッシュ性状

| 供試体番号 | 水セメント比 (%) | フロー値 (mm) | 温度(℃) | 単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 空気量 (質量法) (%) |
|-------|------------|-----------|-------|-----------------------------|---------------|
| N45   | 45         | 221       | 21.0  | 2.199                       | 1.3           |
| N55   | 55         | 232       | 21.0  | 2.149                       | 2.7           |
| N65   | 65         | 240       | 20.5  | 2.111                       | 4.1           |
| W45   | 45         | 199       | 20.2  | 2.204                       | 0.0           |
| W55   | 55         | 215       | 21.0  | 2.212                       | -0.9          |
| W65   | 65         | 238       | 20.5  | 2.173                       | 5.0           |

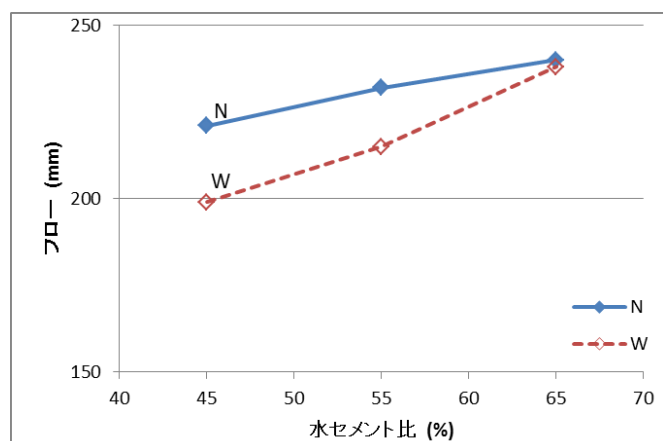


図 1 水セメント比とモルタルフローの関係

図 2 に、モルタルの水セメント比と供試体の吸水量の関係を示す。1 週経過後の吸水量のみ白色セメントの方が吸水しているが、それ以降は普通セメントの方が吸水量が大きくなっている。空気量は普通セメントの方が大きいいため、気泡に水が入り込み、13 週経過後の吸水量もやや普通セメントが大きくなったものと推察される。

図 3 に示したセメント水比と圧縮強度の関係をみると、水セメント比 55%(セメント水比:1.82)のものの初期強度に差が見られるものの 13 週後には差が減少しており、モルタル実験ではいずれの水セメント比でも普通セメントと白色セメントに関して、強度の差はほぼないといえる。

図 4 にモルタルの圧縮強度と超音波伝搬時間の関係を示す。全体に普通セメント使用の試験体の方が圧縮強度に対しての超音波伝搬速度がやや大きい傾向があるが、差は微小である。

#### 4. コンクリートの試験結果とその考察

調査は表 4、フレッシュ性状は表 5 の通りである。白色セメントを普通セメントと同量の AE 助剤で練ったところ、目標空気量の 4.5%よりも 1.0%少ない 3.5%となった。白色セメントを用いる際には、AE 助剤の量を通常の調合よりも多く入れる必要があると考えられる。

コンクリート試験体の水セメント比と吸水量の関係を図 5 に示す。水セメント比 45・65%で普通セメントの吸水量が多く、55%では吸水量が少なく。

図 6 にコンクリート実験のセメント水比と圧縮強度の関係を示す。水セメント比 45・65%(セメント水比:2.22・1.54)で白色セメントは初期強度が普通セメントより小さくなっている。13 週経過後にはほぼ同程度の値に収束していることから、白色セメントは強度の発現が遅いと考えられる。

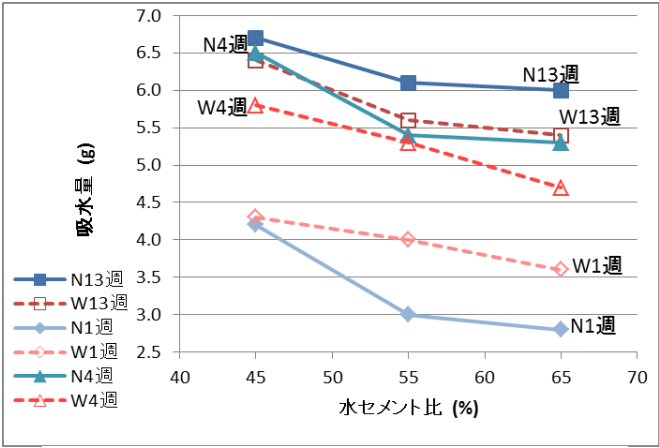


図 2 モルタルの水セメント比と吸水量の関係

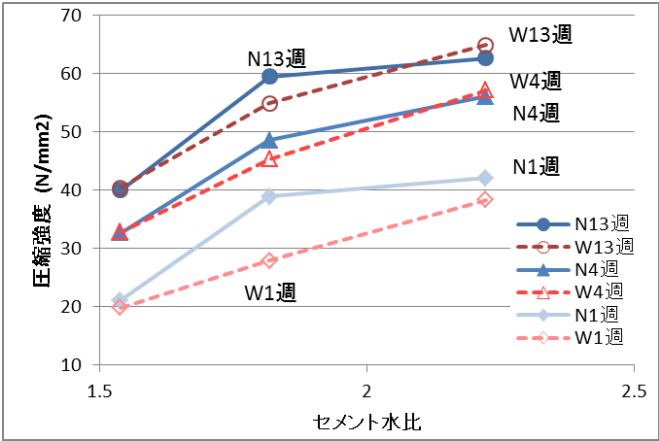


図 3 モルタルのセメント水比と圧縮強度の関係

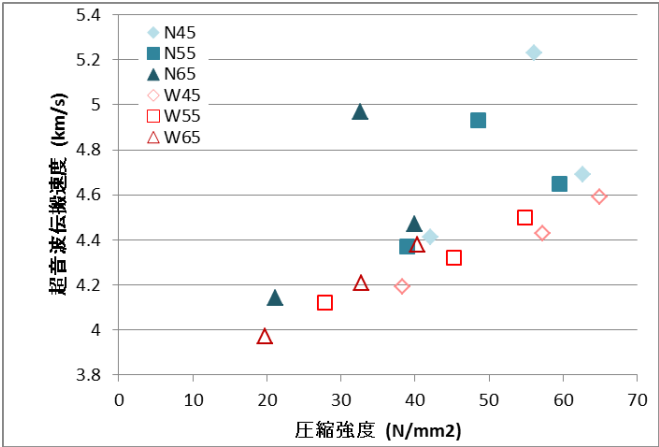


図 4 モルタルの圧縮強度と超音波伝搬速度の関係

表 4 コンクリートの計画調合 (1000L)

| セメントの種類 | 水セメント比 (%) | 目標スランプ (cm) | 目標空気量 (%) | 細骨材率 (%) | 単位水量 (kg/m³) | 単位粗骨材かさ容積 (m³/m³) | 質量 (kg/m³) |       |       | AE減水剤 (C×%) | AE助剤 (C×%) |
|---------|------------|-------------|-----------|----------|--------------|-------------------|------------|-------|-------|-------------|------------|
|         |            |             |           |          |              |                   | セメント       | 細骨材   | 粗骨材   |             |            |
| 普通セメント  | 45         | 18          | 4.5       | 45.1     | 170          | 0.58              | 377.8      | 787.6 | 957.6 | 0.25        | 0.0065     |
|         | 55         | 18          | 4.5       | 46.8     | 170          | 0.58              | 309.1      | 843.9 | 957.6 | 0.25        | 0.0060     |
|         | 65         | 18          | 4.5       | 48.0     | 170          | 0.58              | 261.5      | 882.9 | 957.6 | 0.25        | 0.0050     |
| 白色セメント  | 45         | 18          | 4.5       | 44.8     | 170          | 0.58              | 377.8      | 776.5 | 957.6 | 0.25        | 0.0080     |
|         | 55         | 18          | 4.5       | 46.6     | 170          | 0.58              | 309.1      | 834.8 | 957.6 | 0.25        | 0.0080     |
|         | 65         | 18          | 4.5       | 47.8     | 170          | 0.58              | 261.5      | 875.2 | 957.6 | 0.25        | 0.0055     |
|         | 55*        | 18          | 4.5       | 47.0     | 170          | 0.58              | 309.1      | 834.8 | 957.6 | 0.25        | 0.0060     |

\*失敗

図 7 にコンクリートの圧縮強度と超音波伝搬速度との関係を示す。普通セメント・白色セメントの試験体ともに、水セメント比 45% のもののばらつきが大きくなっている。白色セメントの水セメント比 65% の試験体に関しては、普通セメント使用のものよりも圧縮強度に対する超音波伝搬速度が大きい。

図 8 に圧縮強度と動弾性係数の関係を示す。どの試験体もほぼ類似しており、特段の差は見られない。

図 9 に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。白色セメントは普通セメントと同様の傾向を示した。

図 10 に促進中性化試験における中性化深さの経時変化の結果を示す。全体的に、僅かに白色セメントの方が中性化深さは小さかったが、差は微小である。

表 6 に硬化コンクリートの気泡組織を測定した結果を示す。水セメント比と気泡間隔係数の関係は図 11 の通りである。普通セメントを使用したコンクリートの水セメント比 65% のデータに関しては、気泡の数が他よりも多いため、気泡間隔係数が小さくなったものと推察される。また、水セメント比 45%・55% では、ほぼ差は見られず、凍結融解に対する性能は普通セメントと遜色ないものと考えられる。

また、図 12 に気泡弦の長さごとの分布を示す。普通・白色セメントいずれの試験体も、水セメント比が大きくなると 500 $\mu$ m より大きい気泡の数が増加している。水セメント比が小さいほどコンクリート中の空気は少ないことがわかる。

表 5 コンクリートのフレッシュ性状

| セメント種類 | 水セメント比(%) | フレッシュ性状  |        |        |            | 空気量(質量法)(%) |
|--------|-----------|----------|--------|--------|------------|-------------|
|        |           | スランプ(cm) | 空気量(%) | 単位容積質量 | 練上がり温度(°C) |             |
| 普通セメント | 45        | 17.5     | 5.2    | 2.292  | 21.0       | 4.5         |
|        | 55        | 19.0     | 5.4    | 2.269  | 21.0       | 5.0         |
|        | 65        | 17.5     | 4.8    | 2.286  | 20.0       | 3.9         |
| 白色セメント | 45        | 17.5     | 5.1    | 2.284  | 20.0       | 4.4         |
|        | 55        | 19.0     | 5.2    | 2.281  | 21.0       | 4.1         |
|        | 65        | 18.0     | 4.5    | 2.288  | 20.0       | 3.5         |

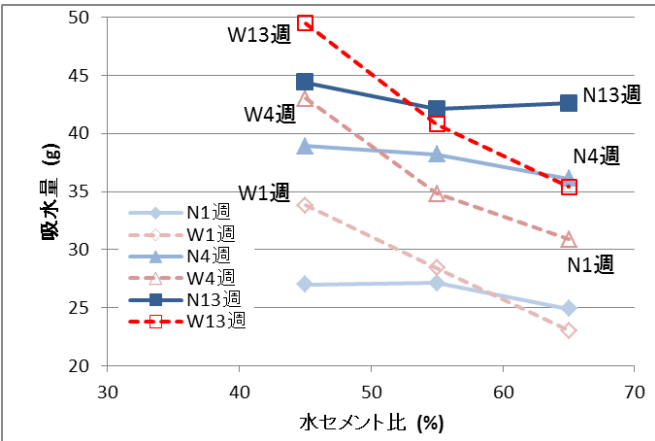


図 5 コンクリートの水セメント比と吸水量の関係

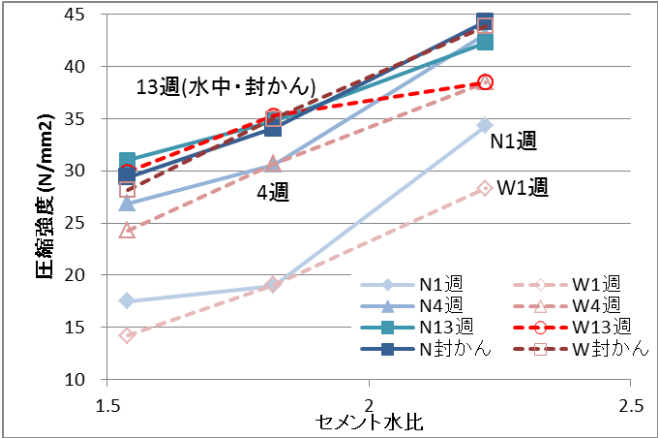


図 6 コンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係

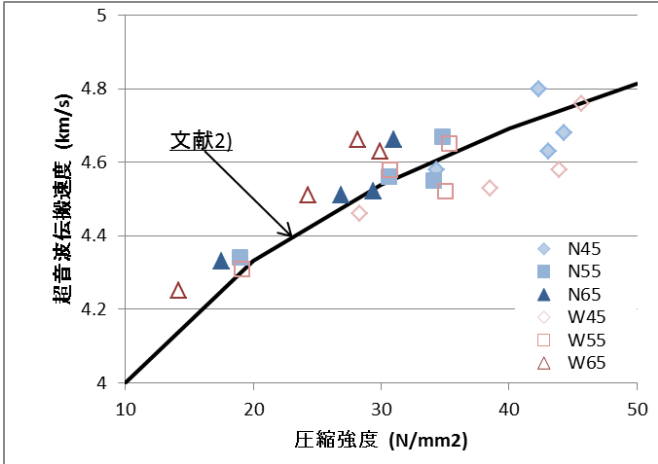


図 7 コンクリートの圧縮強度と超音波伝搬速度の関係

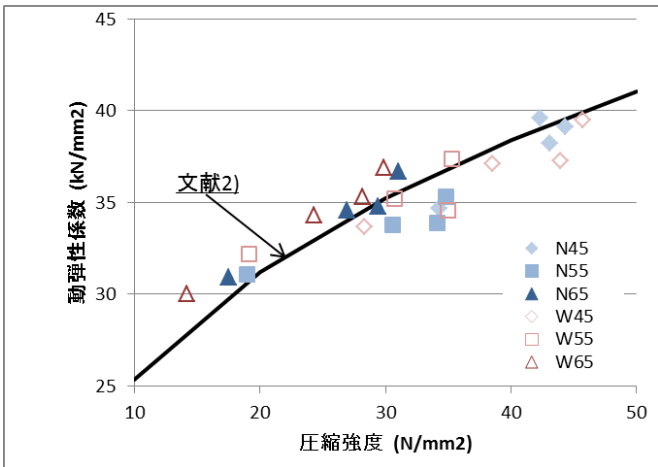


図 8 圧縮強度と動弾性係数の関係

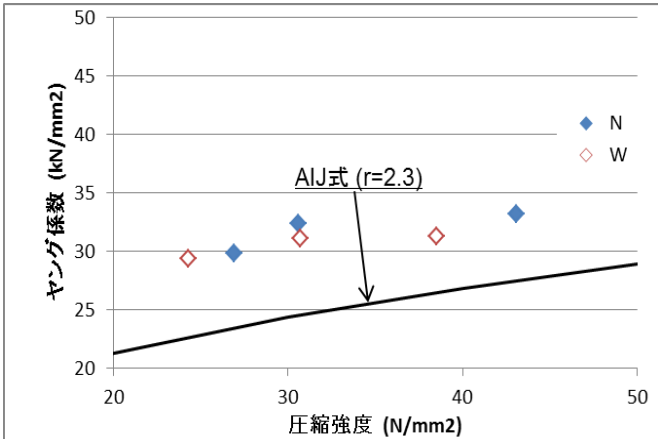


図 9 圧縮強度とヤング係数の関係

表 6 硬化コンクリートの気泡組織

| 種類     | 水セメント比(%) | 気泡の個数(個) | 気泡の弦長(μm) | 横断した距離(μm) | 平均弦長(mm/個) | 比表面積(mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ) | 空気量(%) |      | ペースト量(%vol) | 気泡間隔係数(μm) |     |
|--------|-----------|----------|-----------|------------|------------|-----------------------------------------|--------|------|-------------|------------|-----|
|        |           |          |           |            |            |                                         | 各値     | 平均   |             | 各値         | 平均  |
| 普通セメント | 45        | 561      | 91560     | 1995000    | 0.163      | 24.51                                   | 4.59   | 4.2  | 30.32       | 208        | 222 |
|        |           | 454      | 77419     |            | 0.171      | 23.46                                   | 3.88   |      |             | 235        |     |
|        | 55        | 647      | 167645    |            | 0.259      | 15.44                                   | 8.40   | 8.4  | 28.04       | 219        | 228 |
|        |           | 596      | 167957    |            | 0.282      | 14.19                                   | 8.42   |      |             | 238        |     |
|        | 65        | 803      | 243084    |            | 0.303      | 13.21                                   | 12.18  | 12.0 | 26.47       | 176        | 198 |
|        |           | 643      | 236277    |            | 0.367      | 10.89                                   | 11.84  |      |             | 220        |     |
| 白色セメント | 45        | 675      | 133564    |            | 0.198      | 20.22                                   | 6.69   | 6.4  | 30.77       | 210        | 239 |
|        |           | 512      | 122979    |            | 0.240      | 16.65                                   | 6.16   |      |             | 268        |     |
|        | 55        | 632      | 163086    |            | 0.258      | 15.50                                   | 8.17   | 7.5  | 28.41       | 224        | 241 |
|        |           | 517      | 137144    |            | 0.265      | 15.08                                   | 6.87   |      |             | 258        |     |
|        | 65        | 591      | 200891    |            | 0.340      | 11.77                                   | 10.07  | 9.8  | 26.78       | 226        | 278 |
|        |           | 404      | 189797    |            | 0.470      | 8.51                                    | 9.51   |      |             | 331        |     |

## 5. 結論

白色セメントと普通セメントを用いたモルタルおよびコンクリート試験体の強度等の諸性状に関する実験のまとめとして、以下のことが挙げられる。

- 1) 白色セメントは普通セメントよりも粘性が高く、調合の際には単位水量を多く設定する必要がある。また、AE 助剤の使用量も白色セメントの方が大きくなる傾向を示した。
- 2) 白色セメント使用コンクリートは、普通セメントよりも初期強度が小さいが、その後は同等となる。
- 3) 中性化に対する性能としては、普通セメントに遜色がなかった。
- 4) 泡間隔係数から判断すると、凍結融解に対する性能は、白色セメントは、普通セメントと同等と推察される。

## &lt;参考文献&gt;

- 1) 関徹郎：ホワイトコンクリートの出荷について，月刊生コンクリート，Vol.17 No.4 pp.59-62，1998.04
- 2) 赤荻満，阿部道彦：動弾性係数による高強度域を含むコンクリートの物性評価，コンクリート構造物の非破壊検査，Vol.3，pp.1-6，2009.08
- 3) 浜幸雄，太田宏平：フレッシュコンクリートによる気泡組織の測定方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26 No.1，pp.669-674，2004.06
- 4) 鶴見 淳也，松村 洋考，上本 洋，阿部 道彦：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解および中性化に関する実験，日本建築学会関東支部研究報告集，82(I)，pp.65-68，2012.03
- 5) 山宮浩信，児玉和巳：硬化コンクリート中の気泡分測定方法に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.48，pp.168-173，1994.12

## &lt;謝辞&gt;

この実験に際し、研究室院生・卒論生・ゼミ生各位の協力を得ました。記して謝意を表します。

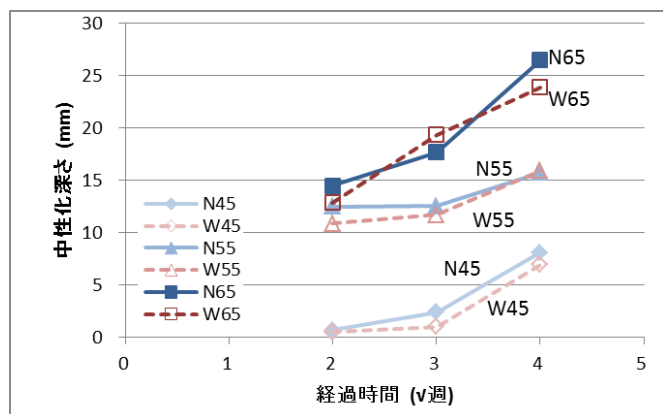


図 10 経過時間と中性化深さの関係

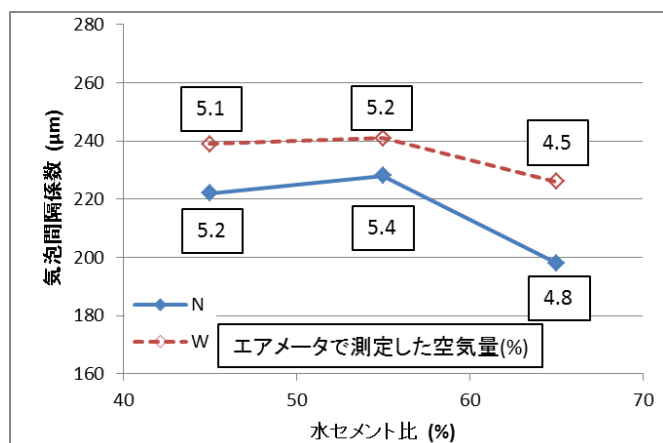


図 11 水セメント比と気泡間隔係数の関係

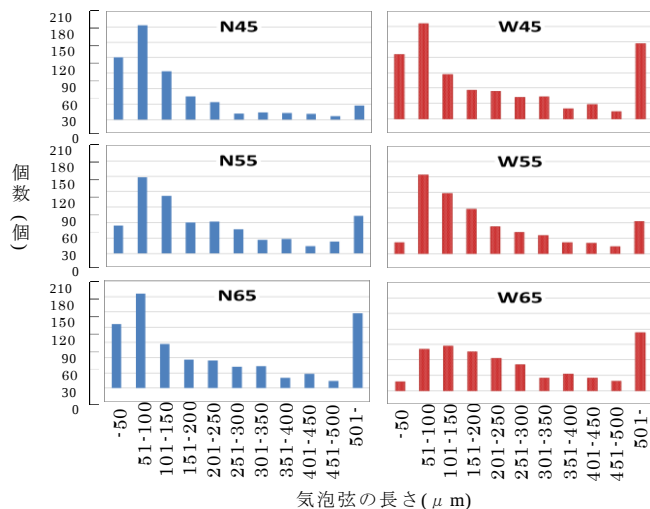


図 12 気泡弦の長さの分布