

## [27] 微小モルタル供試体の強度に及ぼす炭酸化の影響

正会員 ○ 鮎 田 耕 一 (北見工業大学工学部)  
正会員 林 正 道 (北見工業大学工学部)

### 1. まえがき

寒冷地のコンクリート構造物が低温の影響を受け劣化する場合、一般には表面のスケーリングから被害が進行する。したがって、気象作用に対するコンクリートの耐久性を考える場合、部材全体の耐久性とともに表面部分の耐久性（換言すれば強度といつてよいかと思われる）も重要になる。通常のコンクリート構造物は養生終了後は表面から乾燥し、その結果コンクリート中の水分が失われセメントの水和が不十分になる。乾燥による強度性状の変化を求める場合、コンクリートを対象にすればある寸法の粗骨材を含むので、その骨材の大きさに応じた供試体が必要であり、供試体が大きいほど乾燥の影響が内部に及ぶまでに時間がかかり、その間に水和がある程度進行する。したがって、部材の表面部分の強度を考える場合には乾燥の影響がきびしくあらわれるよう小さな供試体が適当であり、また、供試体の大きさを変えることにより、部材表面から内部への強度分布を求めるこができる。このような考えから前報<sup>1)</sup>では微小モルタル供試体の強度に及ぼす乾燥の影響について明らかにした。その結果、コンクリート部材の表面部分の強度は、温度・湿度の他に空気中の炭酸ガスの作用、いわゆる炭酸化の影響を大きく受けるのではないかと想像された。そこで、本研究では乾燥状態にある微小モルタル供試体の強度に及ぼす炭酸化の影響を明らかにするとともに、前報では十分に明らかにできなかった乾燥と含水率の関係などについても実験を行った。

### 2. 実験概要

#### (1) 供試体の寸法

圧縮強度試験用の供試体は、直径の2倍の高さをもつ円柱形で、直径は、1, 2, 3, 4, 5 cmの5種類である。また、長さ変化試験の供試体は4×4×16cmである。

#### (2) 使用材料と配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメント（比重3.18, 粉末度2,940 cm<sup>2</sup>/g）とフライアッシュセメントB種（比重2.97, 粉末度3,090 cm<sup>2</sup>/g）の2種類である。細骨材は豊浦標準砂を使用した。

モルタルの配合は $\frac{W}{C} = 0.55$ , 普通ポルトランドセメント使用の場合は $\frac{S}{C} = 2.00$ , フライアッシュセメント使用の場合は $\frac{S}{C} = 2.07$ とし、フロー値が170±10mmになるようにした。

#### (3) 供試体の作製

練りませは、室温20°C、湿度95%の恒温恒湿室でセメント強さ試験用のモルタルミキサ（公称容量5ℓ）を使用し、すべての材料投入後3分間行った。締固めは型わくの大きさに応じた突き棒を用いて行った。圧縮強度試験用の供試体は成形後約5時間でペーストキャッピングを行った。型わくの取り外しは成形後約24時間で行った。なお、供試体は同一条件に対して圧縮強度試験用は6本、長さ変化試験用は3本作製した。

#### (4) 温度・湿度条件

表-1 温度・湿度条件

乾燥条件の違いによる強度性状の相異を明らかにするために、表-1に示す3種類の温度・湿度条件のもとに供試体をおいた。

温度・湿度条件	キャッピング後	型わくを取り外したのち
(1) 水中養生	20°C, 湿度95%	20°C, 水中養生水槽
(2) 湿度50%	20°C, 湿度50%	20°C, 湿度50% 恒温恒湿室
(3) 強制乾燥	30°C, 湿度25%	30°C, 湿度25% 恒温恒湿機

#### (5) 空気中の炭酸ガスを低濃度にした場合の乾燥

空気中の炭酸ガスをできるだけ除去するために、炭酸ガスはアルカリに吸収される性質を利用し、水酸化カリウム(KOH)溶液を用いた。室温20°C, 湿度50%の恒温恒湿室に静置したデシケータの底部にKOH溶液を入れ、

中仕切板の上に供試体をおいた。デシケータ中の湿度はKOH溶液の飽和蒸気圧により調節し、湿度50%になるようにした。ただし、供試体の型わく取り外しののち、しばらくはモルタル中の水分の蒸発量が多いため、デシケータを密閉状態にすると湿度の制御が十分に行えないもので、材令2週までは半密閉状態にし、その後は完全に密閉した。炭酸ガスの除去の程度を調べるために、デシケータ中の空気を隨時サンプリングし、ガスクロマトグラフ（日立製作所、063型）により分析した。その結果の1例を屋外、室内の空気の分析結果とともに図-1に示した。この結果をもとにデシケータ中の炭酸ガス濃度を定量した結果、屋外の空気中の炭酸ガス濃度の10%以下であることが確認された。

#### (6) 圧縮強度試験

乾燥供試体は試験開始前2時間水中に浸し、表面を吸水性の布で拭いたのち試験に供した。圧縮強度試験は載荷荷重が500 kgf以上のときは容量2.5 tf以上の圧縮試験機、それより小さい荷重に対しては、最大荷重に応じてブルーピングリング使用の圧縮試験機を用いた。載荷速度は毎秒 $2 \sim 3 \text{ kgf/cm}^2$ とした。なお、球座は各供試体の直径に適した大きさのものをそれぞれ作製し使用した。

#### (7) セメントの結合水量試験

圧縮強度試験後、ペーストキャッピングの部分をとり除いた残りをハンマーで粉碎し、1.2 mmふるい通過分を試料とした。試料は105 °Cで約24時間乾燥後質量を測定し、磁器るつぼに15~20 gずつ入れた。乾燥試料は250 °Cに予熱した電気炉の中に入れ、2.5時間かけて徐々に1,000 °Cまで温度をあげ、1,000 °Cになってから30分間その温度を保ち、これをデシケータに移し放冷し質量を測定した。また、セメント、標準砂の105 °C乾燥後と1,000 °C強熱後の質量も同様の方法で求めた。

#### (8) 円柱供試体の含水率試験

表-1の温度・湿度条件のもとにおいて円柱供試体の質量を随时測定し、材令91日経過後の供試体の105 °C乾燥後の質量を基準にして含水率を算出した。

#### (9) 長さ変化試験

空気中と炭酸ガスをほとんど含まない空気中のいずれも湿度50%の条件のもとで乾燥させた供試体の長さ変化試験を行った。試験はJIS A 1129のダイヤルゲージ方法に準じて行った。また、同時に質量も測定した。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 乾燥による強度性状の変化について

表-1の温度・湿度条件における材令91日の含水率の試験結果を図-2に示した。供試体の寸法が小さいほど周囲の温度・湿度の影響を受けやすいことが明らかである。材令91日の圧縮強度の試験結果を図-3に示した。ただし、これに先立ち水中養生を行った供試体を用いて供試体寸法が圧縮強度に与える影響を調べた。その結果が図-4であり、強度レベルが低いほど供試体寸法の影響を受けやすい。このた

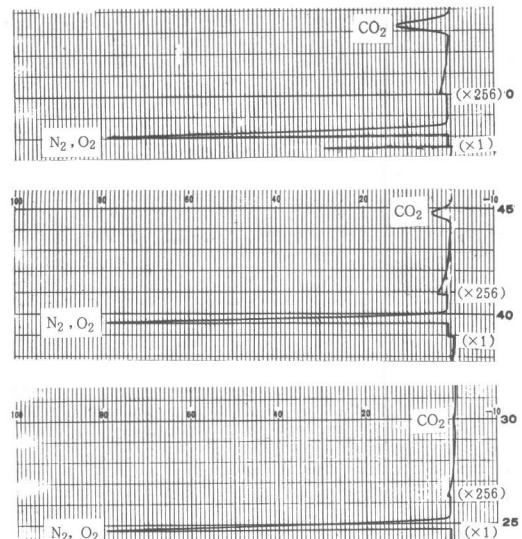


図-1 炭酸ガスの分析結果

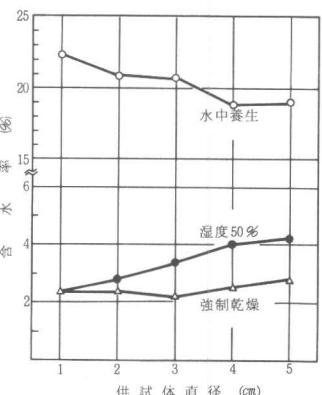


図-2 供試体直径と含水率

め、この結果に基づいて圧縮強度の測定値を補正した。図-5は材令91日におけるセメントの結合水量の試験結果である。図-3,5から明らかなように、乾燥供試体の圧縮強度、結合水量は水中養生の場合に比べてかなり小さい。これは乾燥に伴い含有水分が少なくなり強度発現が抑制されたためであろうが、コンクリート部材の表面部分は乾燥に伴い強度が増進していくことを示している。強制乾燥の場合、供試体寸法が小さいほど結合水量が少なくなっていて、湿度25%という強い乾燥状態では、コンクリート部材露出面の水和が停滞することを示している。湿度50%の乾燥状態では含水率の試験結果とは異なり供試体寸法が小さいほど圧縮強度、結合水量が増加する傾向があり、普通ポルトランドセメント使用の場合、特にこの傾向が強い。これは後述の炭酸化の影響であろうと思われるが、乾燥状態によっては、コンクリート部材の露出面近傍の強度はそれより少し深い部分の強度よりもやや大きくなることを示している。

普通ポルトランドセメントとフライアッシュセメントB種を用いた場合の圧縮強度を比較すると、いずれの条件の場合も普通ポルトランドセメントを使用した場合の方が大きくなっている。この実験の場合、材令91日でもフライアッシュのボザラン反応がまだ十分に発揮されていないといえる。

## (2) 炭酸化による強度性状の変化について

空気中の炭酸ガスが硬化したコンクリートの強度、乾燥収縮に影響を与えることは、すでに明らかにされていて、たとえば、W. Manns<sup>2)</sup>は炭酸ガス養生( $\text{CO}_2$ 分圧9%)によるモルタル( $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ )強度の変化を調べ、ポルトランドセメントあるいはポルトランドセメントクリンカー含有量が50%以上の混合セメントを用いたコンクリートの場合は炭酸ガス養生により強度が増進することを、また、G. Verbeck<sup>3)</sup>は炭酸ガスを含む空気中における乾燥収縮は外気の相対湿度に依存し、湿度が50~60%のときに最大の収縮を示すことを明らかにしている。前述の(1)の実験結果では、湿度50%の乾燥状態のもとでは供試体寸法が小さいほど圧縮強度、結合水量が大きく測定された。一方、湿度25%の乾燥状態ではそのような傾向はみられない。このことから、湿度50%のときにおける寸法の小さい供試体の圧縮強度、結合水量の増加は、空気中の炭酸ガスによりモルタルの表面が炭酸化したためではないかと考えられた。そこで、炭酸ガスをほとんど含まない湿度50%の空気中で乾燥させた微小モルタル供試体の圧縮強度、セメントの結合水量を求めた。その結果が図-6,7である。この結果から明らかなように、炭酸ガスをほとんど含まない空気中では、炭酸ガスを含

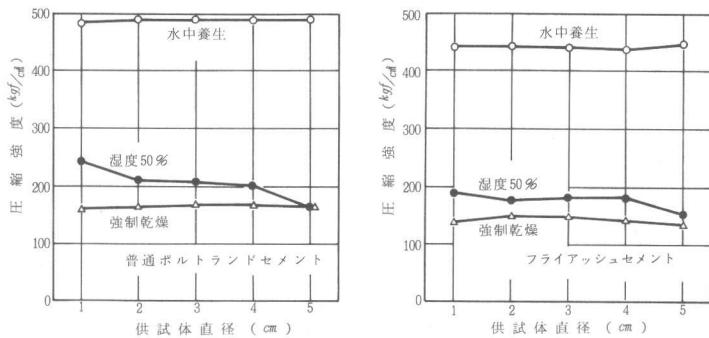


図-3 圧縮強度に及ぼす乾燥の影響

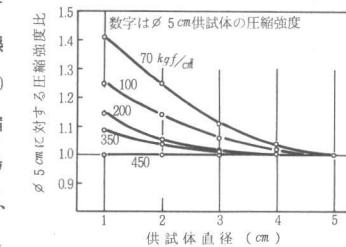


図-4 圧縮強度に及ぼす供試体寸法の影響

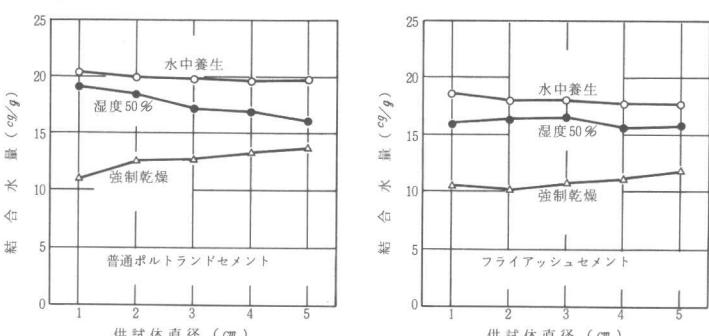


図-5 結合水量に及ぼす乾燥の影響

W. Manns<sup>2)</sup>は炭酸ガス養生( $\text{CO}_2$ 分圧9%)によるモルタル( $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ )強度の変化を調べ、ポルトランドセメントあるいはポルトランドセメントクリンカー含有量が50%以上の混合セメントを用いたコンクリートの場合は炭酸ガス養生により強度が増進することを、また、G. Verbeck<sup>3)</sup>は炭酸ガスを含む空気中における乾燥収縮は外気の相対湿度に依存し、湿度が50~60%のときに最大の収縮を示すことを明らかにしている。前述の(1)の実験結果では、湿度50%の乾燥状態のもとでは供試体寸法が小さいほど圧縮強度、結合水量が大きく測定された。一方、湿度25%の乾燥状態ではそのような傾向はみられない。このことから、湿度50%のときにおける寸法の小さい供試体の圧縮強度、結合水量の増加は、空気中の炭酸ガスによりモルタルの表面が炭酸化したためではないかと考えられた。そこで、炭酸ガスをほとんど含まない湿度50%の空気中で乾燥させた微小モルタル供試体の圧縮強度、セメントの結合水量を求めた。その結果が図-6,7である。この結果から明らかなように、炭酸ガスをほとんど含まない空気中では、炭酸ガスを含

んでいる通常の空気中に比べて圧縮強度、結合水量は小さくなっている。さらに、炭酸ガスをほとんど含まない空気中では、供試体寸法が小さいほど、圧縮強度、結合水量が小さくなっている。このことは、湿度50%の空気中におけるコンクリート部材の表面部分では、水和セメント中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と空気中の $\text{CO}_2$ の反応が促進され、表面からやや深い部分よりも強度が増進することを示している。

また、一般に炭酸化に伴い質量增加と収縮が生じるとされているが、質量と長さの測定結果を図-8, 9に示す。この結果か

らも、空気中の炭酸ガスによる強度の増加は乾燥に伴う質量減少の抑制と収縮率の増大に密接な関係があることが明らかである。

#### 4. まとめ

コンクリート部材の表面部分の強度性状に及ぼす乾燥とそれに伴う炭酸化の影響を明らかにするために微小モルタル供試体を用いて実験を行った。この実験の範囲から次のことがいえる。

- (1) 乾燥状態の微小モルタル供試体の強度は、水中養生をした場合に比べて著しく小さい。また、強制乾燥（温度30°C, 湿度25%）した場合、微小モルタル供試体の寸法が小さいほどセメントの結合水量が少なくなる。このことは水分の蒸発しやすいコンクリート部材の表面部分ほど水和が停滞することを示している。
- (2) 湿度50%で乾燥した場合、水中養生の場合に比べて強度は小さいものの供試体寸法が小さいほど強度が大きくなる。この原因は、湿度50%で炭酸ガスをほとんど含まない空気中における実験の結果から炭酸化によるものであることが確認された。このことは乾燥状態によっては、部材の表面部分の強度が炭酸化によりやや大きくなることを示している。

#### 参考文献

- 1) 鮎田・林：微小モルタル供試体の強度に及ぼす乾燥の影響；第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1980
- 2) W. Manns et al.: Variation in Strength of Mortars made of Different Cements Due to Carbonation; The 5th Int. Symp. on the Chem. of Cement, Supplementary Paper III-16, 1968
- 3) G. J. Verbeck et al.: Structures and Physical Properties of Cement Paste; do., Principal Paper III-1, 1968

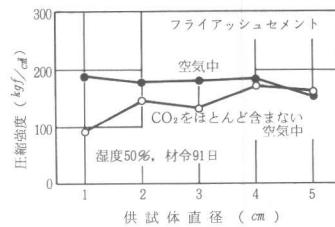
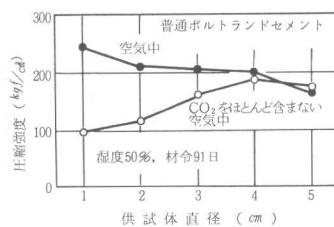


図-6 圧縮強度に及ぼす炭酸化の影響

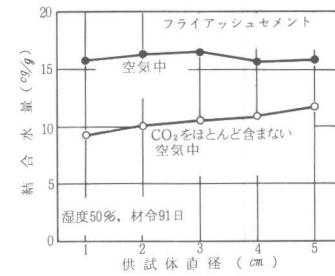
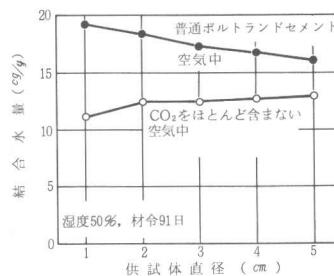


図-7 結合水量に及ぼす炭酸化の影響

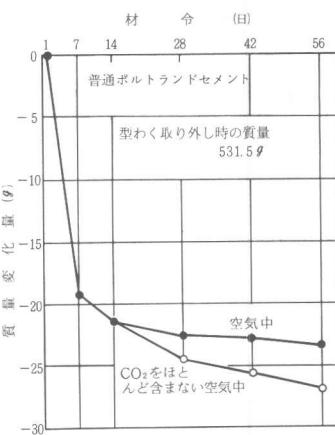


図-8 質量に及ぼす炭酸化の影響

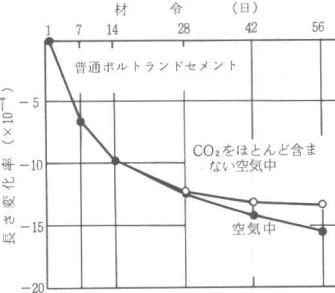


図-9 長さに及ぼす炭酸化の影響