

V—1 炭酸化に伴うコンクリート露出面の強度性状の変化

北見工業大学 正会員 鮎 田 耕 一

北見工業大学 正会員 林 正 道

北見工業大学 正会員 猪 狩 平三郎

北見工業大学 岡 田 包 儀

1. まえがき

微小モルタル供試体を用いた実験の結果から、コンクリート露出面の強度は乾燥条件によっては内部よりも大きくなることをすでに報告した¹⁾²⁾。本報ではまず一面乾燥供試体を用いて、この強度増進現象が部材露出面からどの程度の深さまでに及んでいるかを明らかにした。次いで、炭酸ガスをほとんど含まない気中で微小モルタル供試体を乾燥させることにより、この強度増進現象が炭酸化によるものであることを確認した。併せて本実験で用いた微小モルタル供試体が部材露出面からどの程度の深さまでの強度性状をあらわしているかを明らかにした。

2. 一面乾燥供試体による露出面の水和性状の検討

(1) 実験方法

a) 供試体と温度・湿度条件

直径約 5 cm、長さ約 25 cm の円柱供試体を用いた。成形用型には片端部にゴム栓をしたポリエチレンチューブ（肉厚 4 mm）を使用し、温度 20℃、湿度 95% の恒温恒湿室で型詰めし、突き棒により一層約 3 cm 程度ずつ締固めた。成形面にゴム栓をした後、材料分離を防ぐために供試体を横置きして約 1.0 ~ 1.5 rpm で回転して硬化させた。材令 2 日で片端部のゴム栓を取りはずし、露出部を 2 cm 切断した後、成形用型のまま材令 28 日、91 日まで 20℃ 水中養生または 20℃、50% RH の乾燥状態（恒温恒湿室）に保った。供試体は各条件につき 8 本とした。所定材令経過後、成形用型を取りはずし供試体 8 本から図-1 のように切断して、各位置 4 個の 5 mm 厚の試料を得た。

セメントの結合水量の試験は、切断試料を粉碎し、1.2 mm ふるい通過分を試料として行った。試験方法の詳細は文献 2) と同様である。

b) 使用材料と配合

セメントは混合材を加えていない普通ポルトランドセメント（比重 3.18、比表面積 $2940 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）フライアッシュセメント B 種（比重 2.97、比表面積 $3090 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）の 2 種類、細骨材は豊浦標準砂を用いた。モルタルの配合は $W/C = 0.55$ 、普通ポルトランドセメント使用の場合は $S/C = 2.00$ 、フライアッシュセメント使用の場合は $S/C = 2.07$ としフロー値が $170 \pm 10 \text{ mm}$ になるようにした。練りまぜは温度 20℃、湿度 95% の恒温恒湿室でセメント強さ試験用のモルタル練り混ぜ機を使用し、すべての材料投入後 3 分間行った。

(2) 露出面から内部にかけての水和性状の変化

セメントの結合水量試験の結果を図-2 に示した。水中養生の場合、露出面から内部にかけての水和度の変化は、ほとんどない見なしてよい。結合水量は材令が 28 日（平均値 163 mg/g ）から 91 日（平均値 181 mg/g ）に進行する間に約 11% 増加している。50% RH の乾燥状態の場合、表層部の水和の進行は水中養生の場合に比べて停滞している。例えば、露出面から深さ 10 mm の部分の材令 91 日における結合水量は水中養生 91 日の 80% 程度である。しかし、内部はど水和反応の停

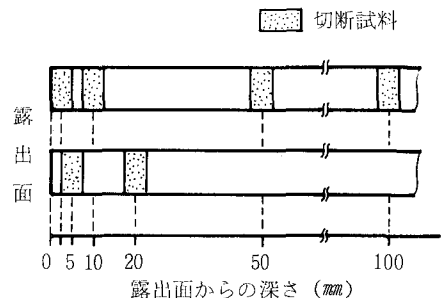


図-1 試料採取位置

滞の度合が小さくなる。一方、深さ10mmより露出面に近い部分では、10mm深さの部分より結合水量が多く測定されている。この現象は水和が進行したためではなく、炭酸化によるためと思われる。すなわち、ここで求めた結合水量は炭酸化による質量の増加がないと仮定して求めた値であり実際の結合水量より大きい値を示す。その結果、露出面近傍では見掛け上水和が進行したような性状を示したと思われる。

3. 露出面の強度性状に及ぼす炭酸化の影響

(1) 実験方法

a) 供試体と温度・湿度条件

2の一面乾燥供試体ではセメントの結合水量は求まるものの強度を直接求めることはできない。そこでここでは既報¹⁾²⁾と同様に寸法の異なる微小モルタル円柱供試体を用いた。寸法は直径が1, 2, 3, 4, 5 cmの5種類、高さは直径の2倍であり、同一条件で6個用いた。ここで大きさの異なる微小モルタル円柱供試体を用いたのは、供試体寸法の大きさが部材露出面からの深さに比例するものと考えられるからである。供試体の作製と圧縮強度・結合水量試験の方法は既報¹⁾²⁾と同じである。長さ変化試験は4×4×16 cmの供試体を同一条件で3個用いて、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。

温度・湿度条件は20℃、50%RHとし、通常の空気中と炭酸ガスをほとんど含まない気中における結果を対比した。

b) 炭酸ガスを含まない気中での乾燥

空気中の炭酸ガスを除くために、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。温度20℃、湿度50%の恒温恒湿室においたデシケータの底部にKOH溶液を入れ、中仕切板の上に型枠取りはずし後の供試体を置いた。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50%RHになるようにした。ただし、供試体をデシケータに入れた後しばらくの間はモルタル中の水分の蒸発量が多く、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。完全密閉後の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随時採取しガスクロマトグラフにより分析した。その結果の一例を室内・屋外の空気の分析結果とともに図-3に示した。図中の(×1)、(×256)は窒素(N₂)、酸素(O₂)を検出したときの精度を基準(×1)にして256倍に精度を上げて炭酸ガス(CO₂)を検出していることを示している。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ところ、屋外の空気中の炭酸ガス濃度の $\frac{1}{10}$ 以下であり、

目的とする実験の要求をほぼ満足している状態であることが確認された。

c) 使用材料と配合

2と同じである。

(2) 微小モルタル供試体の寸法と、部材露出面からの深さの関連

20℃、50%RHの空気中で乾燥状態にあった微小モルタル供試体の結合水量の測定値と、同じ状態にあっ

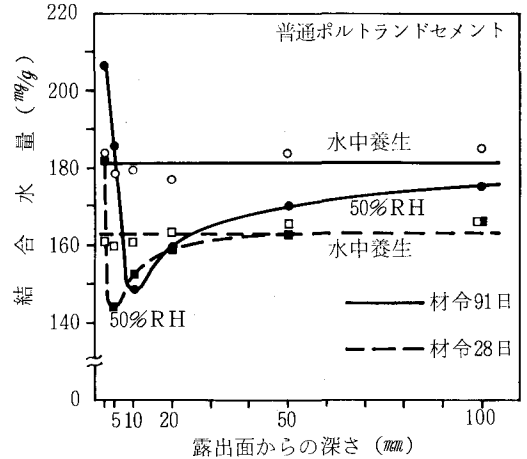


図-2 露出面からの深さと結合水量

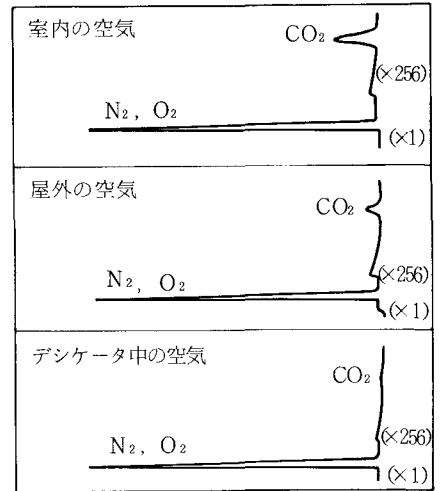


図-3 炭酸ガスの分析結果

た 2 の一面乾燥円柱供試体の結合水量の測定値 (図 - 2) を対比した結果が図 - 4 である。この結果から、ここで用いている微小モルタル供試体の寸法の範囲で部材露出面からおおよそ 10 mm 深さ以内の部分の水和性状をあらわせるといえよう。

(3) 炭酸化に伴う乾燥収縮と質量増加

図 - 5, 6 は 50% RH の雰囲気中での供試体の長さや質量の変化を示したものである。Verbeck ら³⁾ 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% のとき最大の収縮を示すことを明らかにしている。したがって本実験の空気中での乾燥は最も炭酸化収縮の生じやすい条件といえよう。図では材令 91 日まで乾燥した供試体は炭酸化のために収縮率が大きくなり (約 20% 増加) 質量の減少が抑制 (約 15% 増加) されている。これらのことから空気中の炭酸ガスがセメントペースト硬化体と反応することにより、露出面近傍のモルタルが収縮・緻密化し、これが強度性状にも影響を及ぼしていることが推測される。

(4) 炭酸化に伴う圧縮強度、結合水量の変化

微小モルタル供試体による試験結果を図 - 7, 8 に示した。炭酸ガスを含む空気中 (50% RH) の乾燥では供試体の寸法が小さいほど圧縮強度・結合水量が大きく測定されている。一方、炭酸ガスをほとんど含まない気中の乾燥では供試体寸法が小さいほど圧縮強度・結合水量は小さくなっている。Manns ら⁴⁾ は炭酸ガス養生 (CO₂ 濃度 9%) によるモルタル (4×4×16 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 40% 以上の混合セメントを用いた場合は、炭酸ガス養生により強度が増進することを示している。図 - 7.8 の結果からこの強度増進現象は供試体寸法が小さい場合には通常の炭酸ガス濃度の空気中でも生じることが明らかであり、2 の見掛けの結合水量増加の推論が正しかったことを示している。このことからコンクリート露出面にごく近い部分では、水和セメント中に遊離の Ca (OH)₂ が存在する場合に空気中 (50% RH) の CO₂ との反応

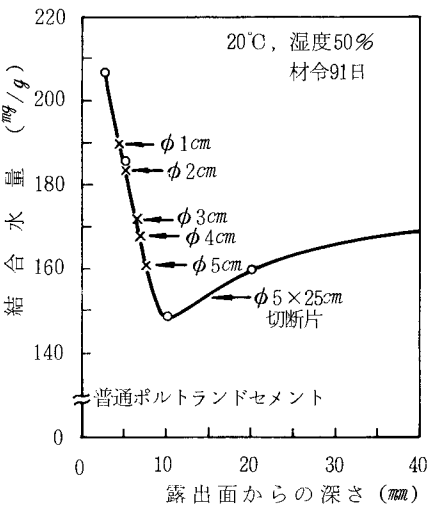


図 - 4 微小モルタル供試体の寸法と露出面からの深さの関連

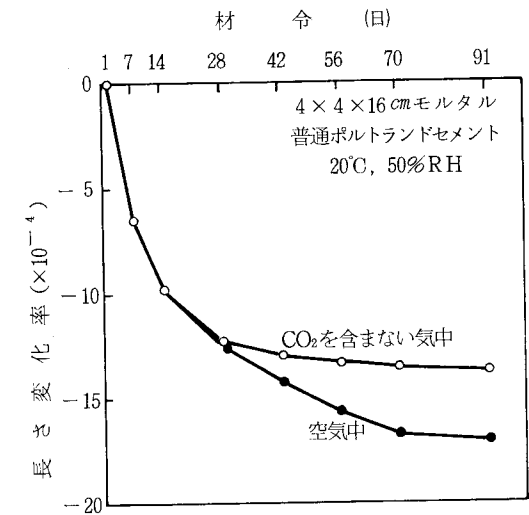


図 - 5 長さにあらず炭酸化の影響

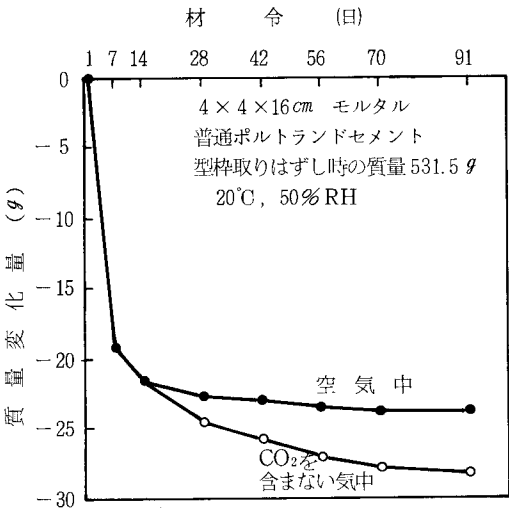


図 - 6 質量にあらず炭酸化の影響

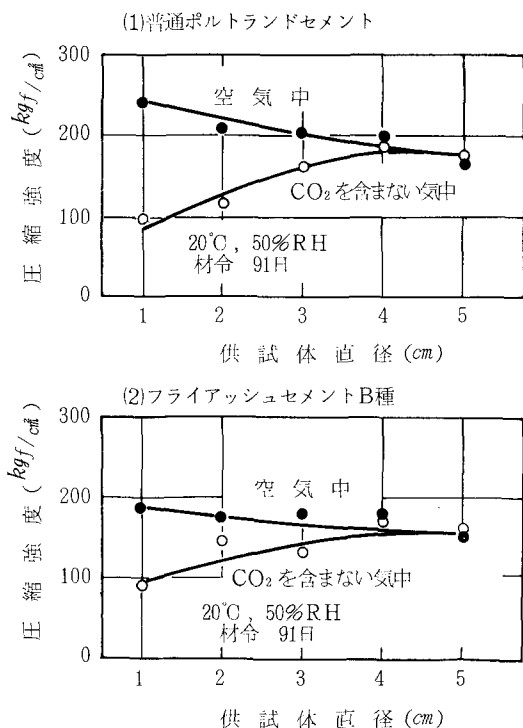


図-7 圧縮強度に及ぼす炭酸化的影響

が内部に比べて促進され、強度が増進することが確認できた。

4. まとめ

本実験の結果を要約すると次のようになる。

- (1) 直径が1～5 cmのモルタル円柱を用いることにより、コンクリート部材の露出面から約1 cm以内の圧縮強度性状を求めることができる。
- (2) 20°C, 50% RHの乾燥のもとでは露出面近傍の強度は内部よりも大きくなり、その範囲は材令91日で露出面から1 cm程度である。
- (3) この強度増進現象は炭酸ガスをほとんど含まない気中での実験から、炭酸化によるものであることが確認された。

参考文献

- (1) 林正道・鮎田耕一・長山裕一：乾湿に伴うコンクリート露出面の強度の変化，土木学会北海道支部論文報告集，37，pp. 443～448，1981
- (2) 鮎田耕一・林正道・猪狩平三郎：乾湿に伴うコンクリート露出面の水和度の変化，土木学会北海道支部論文報告集，37，pp. 449～454，1981
- (3) Verbeck, G. J.・Helmuth, R. A.：Structures and physical properties of cement paste, the 5th Int. Symp. on the Chem. of Cement, Principal paper III-1, 1968
- (4) Manns, W.・Wesche, K.：Variation in strength on mortars made of different cements due to carbonation, the 5th Int. Symp. on the Chem. of Cement, Supplementary Paper III-16, 1968

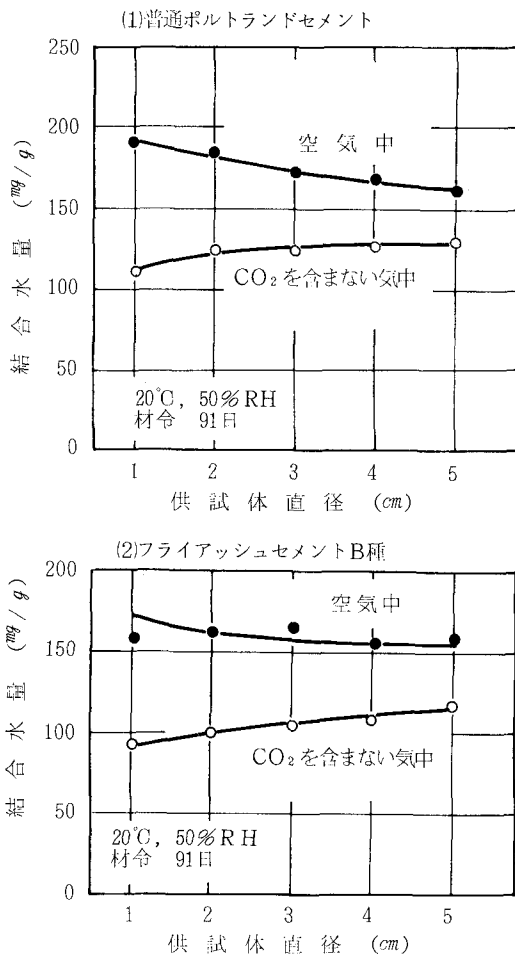


図-8 結合水量に及ぼす炭酸化的影響