

[25] 微小モルタル供試体の強度に及ぼす乾燥の影響

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)

1. ま え が き

コンクリートの強度は、湿潤養生を十分に行えば材令とともに進行するが、養生を終えた部材は表面から徐々に乾燥するため、内部にくらべて乾燥面の水和の進行が遅れ、強度の増進が内部ほど期待できないことが想像される。一方、寒冷地のコンクリート構造物は、凍結融解作用に対する耐久性が要求されるが、凍結はコンクリート構造物の表面から侵入し、内部へと進むので表面ほど凍結する機会が多く、かつ、冬期間でも日中、日射のあたる面は融解するので、凍結融解の回数も表面に近い部分ほど多くなる。また、北海道各地で被害が報告されている冬季における表面剝離現象は、その被害形態から推察すれば、表層部分にある粗骨材とモルタルの界面の付着の弱い部分から表面に近い部分のモルタルにひびわれが伝播して剝離に至ると考えられ、したがって、表層部のモルタルの強度が小さいと表面剝離が起きやすくなると想像される。

このように、寒冷地におけるコンクリートの耐久性は、表層部分の強度性状によって支配される要素が多いので乾燥がこれに与える影響について明らかにすることが必要となる。

ところで、凍結融解作用による初期(粗骨材が剝落する以前)の劣化状況を考えれば、対象となる表層部分は数ミリからせいぜい1 cm ほどの厚さであり、極めて薄いモルタル部分である。そこで、本研究では径が小さいモルタル円柱供試体を用い、乾燥条件が異なるときのモルタルの強度とモルタル中のセメントペースト部分の結合水量を求め、乾燥による表層部分の強度性状の変化について調べた。

2. 実 験 概 要

(1) 温度・湿度条件と材令

表-1 に示す5種類の温・湿度条件のもとに供試体をおいた。圧縮強度、結合水量の測定は材令1, 3, 7, 28, 91日に行った。

(2) 供試体の作製

供試体の寸法は、直径が0.5, 1, 2, 3, 4, 5 cm の6種類であり、高さは直径の2倍とした。

セメントは、普通ポルトランドセメント(比重3.18, 粉末度 $2,940\text{ cm}^3/\text{g}$)、フライアッシュセメントB種(比重2.97, 粉末度 $3,090\text{ cm}^3/\text{g}$)、

細骨材は豊浦標準砂を用いた。

モルタルの配合は、 $W/C=0.55$, $S/C=2.00$ (普通ポルトランドセメント) $S/C=2.07$ (フライアッシュセメント), フロー値 $170 \pm 10\text{ mm}$ とした。

表-1 温度・湿度条件

(1) 水 中 養 生	養生水槽(20℃)
(2) 湿 度 50 %	恒温恒湿室(20℃, R. H. 50%)
(3) 強 制 乾 燥	恒温恒湿機(30℃, R. H. 25%)
(4) 乾湿繰り返し	乾燥(30℃, R. H. 25%) 湿潤(20℃, R. H. 85%) 1日1サイクル(乾燥8時間, 湿潤16時間) ただし、材令28日以降は(2)の条件湿度50%とする
(5) 屋 外 曝 露	コンクリートスラブから約10 cm上の通風のよい透明ビニールテント内、曝露時期は7月下旬～10月下旬であり、その間の平均気温は15℃, 湿度82%, 風速 1.5 m/s

練りまぜは、20℃, 95% R. H. 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3分間行った。締め固めは突き棒によったが、突き棒の太さにより締め固め状態が異なるのを避けるため、型枠の径と突き棒の径の比を一定にした6種類の突き棒を用いた。各供試体は、打設後約5時間でペーストキャッピングを行った。なお、打込みから脱型までの温・湿度条件は、(1)水中養生の場合20℃, 95% R. H., (2)湿度50%と(4)乾湿繰り返しの場合20℃, 50% R. H., (3)強制乾燥の場合はキャッピングまでは約22℃, 約60% R. H.その後は30℃, 25%

R. H.), (5)屋外曝露の場合は約24℃, 約60% R. H. とした。脱型は打設後約24時間(ただし、材令1日で実験を行う供試体は約20時間)後に行った。なお、供試体は、同一条件に対して6個作製した。

(3) 圧縮強度試験

水中養生を除く温・湿度条件の供試体は、試験開始前2時間水中に浸し、表乾状態にして試験した。圧縮試験機は、載荷荷重が500 kg以上のときは容量2.5~25 tonの万能試験機、それより小さい荷重に対してはブルーピングリング使用の一軸圧縮試験機(使用リング1000 kg, 200 kg, 50 kg)を使用した。載荷速度は2~3 kg/cmとした。なお、球座は各供試体の直径よりやや大きめのものを、それぞれ作製し使用した。

(4) 結合水量の測定

圧縮強度試験終了後、ペーストキャッピングの部分を取り除いた残りをハンマーで粉砕し、1.2 mmふるい通過分を試料とした。試料は105℃で約24時間乾燥後重量を測定し、磁器るつぽに15~20 gずつ入れた。ただし、直径5 mmの供試体は試料が少いため、2 g程度を試料とした。乾燥試料は、250℃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℃まで温度をあげ、1,000℃になってから30分間その温度を保ち、これをデシケータの中に移し放冷し重量を測定した。また、セメント、標準砂の乾燥重量、強熱重量も同様の方法で測定した。

(5) 供試体寸法と部材表面からの深さの関連

供試体の径を0.5~5 cmに変化させた理由は、径の小さい供試体ほど乾燥の影響を受けやすい、すなわち、より表層部の性状をあらわしているという考えからであり、径の大きさが、コンクリート部材の深さ方向の距離に相似であると考えた。ただ、この場合、供試体表面からの乾燥程度の変化は未知であるので、ある径をもつ供試体の強度性状が、部材のどの程度の深さの性状を示しているか不明確である。しかし、本研究では、強度の厳密な深さ方向の変化を知ることより、乾燥条件の違いによる表層部の強度性状の比較を行うことが主目的であるので、たとえば供試体の容積を表面積で除した値程度が、供試体全体の平均の含水率をあらわしている深さであると考えている。この場合、供試体直径の $\frac{1}{5}$ の値が表面からの深さを示していることになる。

3. 実験結果と考察

(1) モルタルの圧縮強度について

1) 供試体の寸法の影響:異なる寸法の供試体を用いて強度を測定する場合、寸法の小さい供試体の方が大きい強度を示すことが知られているが、本実験のように直径が極めて小さい場合は特殊であるため、その比較は既述の報告に見当たらない。そこで供試体の寸法の影響を明らかにするために、同じセメントを用い水中養生を行った同一材令のモルタルの強度は、供試体の寸法にかかわらず本来同じ値であるとして、寸法の違いによる強度比率を求めた。その結果、セメントの種類と材令の違い、換言すれば、圧縮強度の大小により強度比率が異なる傾向にあった。これは、破壊の際の断面の塑性域が圧縮強度の大きさによって異なるためと考えられ、同一の補正率をすべての強度の場合に適用させることは無理であると判断された。そこで、水中養生の供試体に対しては各材令ごとにフライアッシュセメントを用いた直径5 cmの供試体の強度を基準にして補正することとし、換算は一次式で処理した。その結果、直径5 cmに対する直径1 cmの供試体の強度比は、材令91, 28, 7, 3, 1日でそれぞれ1.00, 1.11, 1.10, 1.20, 1.62, となった。同じ材令まで水中養生を行った供試体の圧縮強度は、換算後は供試体寸法にかかわらず一定でなければならないが、換算式にのらないばらつきの分だけ若干異なる結果となった。また、乾燥あるいは乾湿繰り返しの条件下にある供試体は、同一材令の水中養生にくらべて、かなり強度が小さいので材令にこだわらず、上記の強度比率のうち、ほぼ同じ強度レベルを示している場合の値を用いて換算した。

ところで、直径5 mmの供試体の強度は、水中養生を行った場合でも、他の直径の供試体にくらべてかなり低い値を示した。これは、慎重に作製したにもかかわらずあまりにも小さいためキャッピングの不良、型わくのわずかなゆがみなど供試体成型のまずさのためと考えられ以下の考察では直径5 mmの供試体の圧縮強度を省いて行った。

2) 乾燥、乾湿繰り返しの影響:乾燥がモルタル強度に与える影響の1例として、供試体直径5 cmと1 cmの

場合の結果を図-1に示した。この結果から明らかなように、水中養生を長期間行ったときの圧縮強度の増加は著しい。一方、湿度50%の場合は、材令の経過に伴う強度の発現は極めて緩慢になり、強制乾燥の場合は高温（30℃）の影響のため、湿度50%にくらべて初期強度がやや増加しているものの、長期強度は低下していて、特に、供試体が小さい場合にその傾向が顕著となる。たとえば、直径1cmの供試体の水中養生（材令91日）に対する強制乾燥の場合の強度比は約0.3である。

図-2は乾湿繰り返し、屋外曝露も含めた乾燥条件下のモルタルの供試体寸法による強度変化の1例として、材令91日の場合の結果を示したものである。この結果から明らかなように、径が大きくなるにつれて乾燥あるいは乾湿繰り返しなどの条件の違いによる強度差はほとんどなくなる。しかし、径が小さい場合は、屋外曝露条件下の強度が最も大きく、強制乾燥のときが最も小さい。しかも、屋外、湿度50%、乾湿繰り返し条件下では、径が小さい方が強度が大きくなる傾向にある。この現象に関しては完全に究明するには至っていないが、いろいろな要因が考えられる。まず、第1は屋外曝露の場合などは、表面部分の水和が高湿度時に内部より若干進行する可能性があること、第2には、炭酸化の作用により表層部の浅いところが強化されることなどである。また、これらの他に、供試体寸法による強度補正の問題も無視できないであろう。すなわち、試験時に水浸しているとはいえ、水分状態の履歴の異なる乾燥供試体の強度を、水中養生供試体の強度比で補正しきれないのではないかということである。しかし、この実験の範囲からはこれらのことは明らかにできず、今後さらに詳細に検討する予定である。

(2) セメントの結合水量について

1) 乾燥、乾湿繰り返しによる影響：乾燥がモルタル中のセメントペーストの結合水量に与える影響の1例として、供試体直径5cmと5mmの場合の結果を図-3に示した。この結果から明らかなように乾燥状態にあるモルタル中のセメントの水和は、材令が経過してもあまり進行しなく、特に、直径5mmの場合はその傾向が強い。また

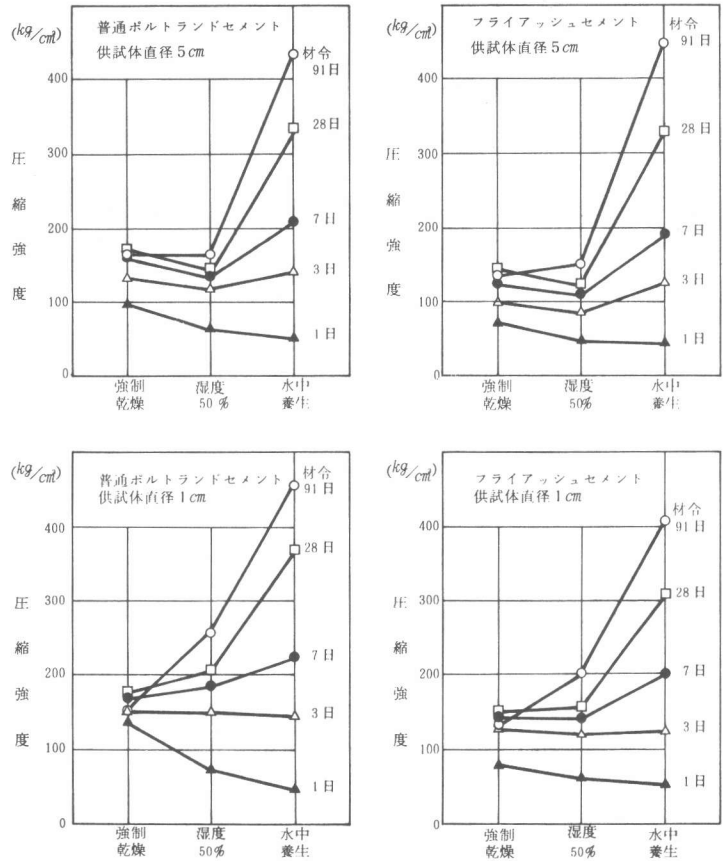


図-1 水分条件による強度変化

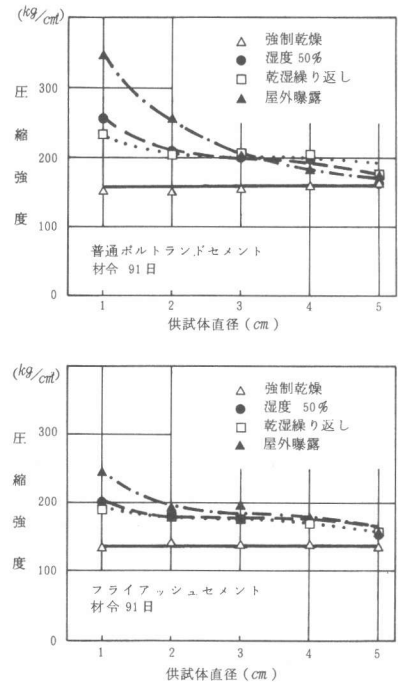


図-2 供試体寸法による強度変化

図-4は、乾湿繰り返し、屋外曝露も含めた環境条件下のモルタルの供試体寸法による結合水量の変化の1例として、材令91日の場合の結果を示したものである。水中養生の場合は、径による結合水量の変化は少ないが、屋外曝露、湿度50%、乾湿繰り返し条件下にあるモルタルは、径が1~2cmのとき、それより径が大きい場合に比べて、結合水量が多くなっていて、特に、屋外曝露の場合は、水中養生より結合水量が多く測定されている。この原因については、必ずしも明確になっていなく、さらに検討しなければならないが、原因の1つには炭酸化の影響が考えられる。すなわち、ここで求めた結合水量は炭酸化による重量変化がないと仮定して求めた値であり、炭酸化がほとんどない条件のもとでは妥当なものであるが、それ以外の条件下では炭酸化による重量増分が結合水量の計算値の中に含まれてしまい、実際の結合水量より大きい値を示す可能性があるためである。

また、これら乾燥条件下にあるモルタルは供試体直径5mmの場合、水和が著しく停滞していて、乾燥がコンクリート表面の強度発現を阻害していることを示している。

2) 圧縮強度との関連について：モルタルの圧縮強度とセメントの結合水量を比較すると、水中養生に比べて乾燥条件下では圧縮強度が著しく減少しているにもかかわらず、結合水量は大差ない。このことは、圧縮強度と結合水量の関係を示した図-5 (1) から確認でき、セメントの結合水量とモルタルの圧縮強度の関係は、モルタルの水分条件によって変化している。これは、乾燥したモルタルは、前述の炭酸化作用により結合水量が実際より多く測定されている可能性があることその他、おそらく、内部微小ひびわれの発生などによりセメントペースト自身がある程度水和していてもモルタルの強度が小さくなるのであろう。また、図-5 (1) の結果は測定値がかなりばらついているが、図の各点を詳細に調べると各点のばらつきは任意のものでなくて、たとえば、図-5 (2) に示した直径1cmと5cmの場合の結果のように、供試体の寸法によって別々の傾向をもっている。したがって、図-5 (1) の水中養生の場合のばらつきの巾は、圧縮強度を求める際の寸法の影響による補正が不十分であったことを示していて、また、湿度50%の場合はそれに加えて、結合水量のみではあらわせないモルタルの乾燥による深さ方向の性状の変化が重なり変動の巾が広がったと思われる。

なお、この研究は文部省科学研究費補助金（昭和53，54年度試験研究）の交付を受けて行われたものである。

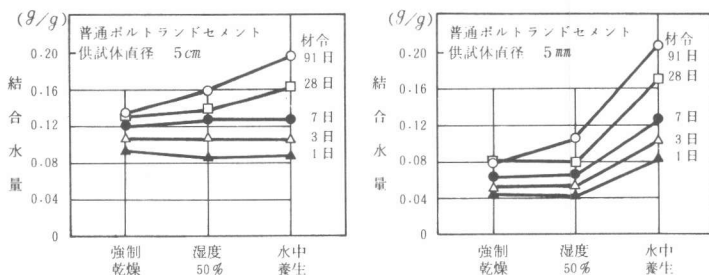


図-3 水分条件による結合水量の変化

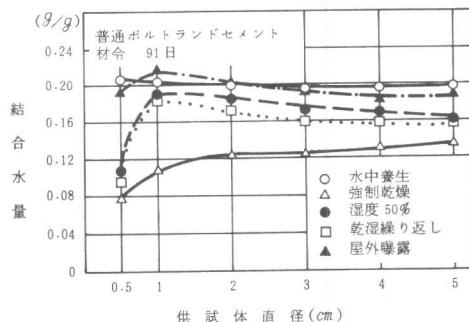


図-4 供試体寸法による結合水量の変化

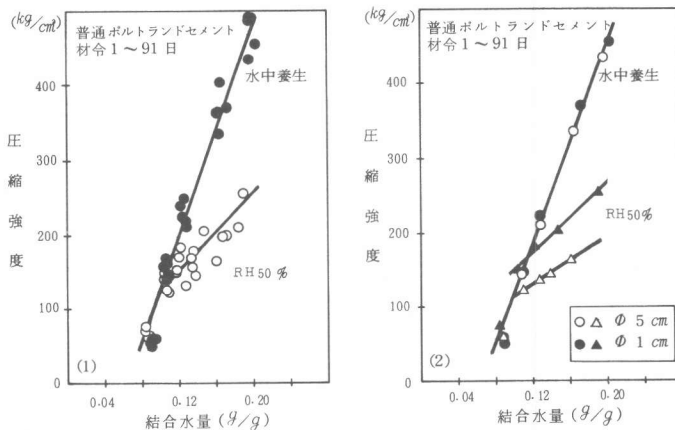


図-5 結合水量と圧縮強度の関係

モルタルの結合水量とモルタルの圧縮強度の関係は、モルタルの水分条件によって変化している。これは、乾燥したモルタルは、前述の炭酸化作用により結合水量が実際より多く測定されている可能性があることその他、おそらく、内部微小ひびわれの発生などによりセメントペースト自身がある程度水和していてもモルタルの強度が小さくなるのであろう。また、図-5 (1) の結果は測定値がかなりばらついているが、図の各点を詳細に調べると各点のばらつきは任意のものでなくて、たとえば、図-5 (2) に示した直径1cmと5cmの場合の結果のように、供試体の寸法によって別々の傾向をもっている。したがって、図-5 (1) の水中養生の場合のばらつきの巾は、圧縮強度を求める際の寸法の影響による補正が不十分であったことを示していて、また、湿度50%の場合はそれに加えて、結合水量のみではあらわせないモルタルの乾燥による深さ方向の性状の変化が重なり変動の巾が広がったと思われる。