

V-55 コンクリートの収縮挙動に及ぼす水和の進行と微細ひび割れの影響

東北大学 正会員 ○岩城 一郎

東北大学 学生員 木村悠一郎

東北大学 千葉 裕人

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮メカニズムは、主として乾燥に伴うコンクリートからの水分逸散性とその際のセメント硬化体組織の緻密性に依存すると考えられる。これらの要因は、コンクリートの配合条件と周囲の環境条件によって支配され、さらにコンクリートは水和反応により経時的に細孔構造が変化するため、その収縮挙動はより複雑な現象となる。一方、著者らの既往の研究¹⁾において、乾燥によりコンクリートに発生する微細ひび割れが、収縮の進行を抑制する働きを示す可能性が示唆されている。そこで、本研究では、コンクリートの収縮挙動に及ぼす水和の進行と微細ひび割れの影響を検討することを目的に、高強度コンクリートと普通強度コンクリートを対象に、相対湿度 60%一定の下で、温度条件を 4 種類（10℃、20℃、30℃および 40℃）に変化させ、それぞれの温度条件における動弾性係数の経時変化を測定することとした。ただし、動弾性係数の値は、各温度条件における水和の進行に伴う剛性の増加と、乾燥による微細ひび割れの発生に伴う剛性の低下が合成して現れた結果であり、その両者を分けて考えることは困難であるため、別に 40℃と 20℃の条件で、各材齢における結合水量を測定し、この値から推定される水和度と動弾性係数の関係から、水和の進行と微細ひび割れの影響を分離して考えることを試みた。

2. 実験概要

本実験に使用したコンクリートは、水セメント比 25%の高強度コンクリートと水セメント比 60%の普通強度コンクリートの 2 種類である。配合の詳細は、前報²⁾の表-1 を参照されたい。供試体の形状は、10×10×40cmの角柱供試体である。両コンクリートとも 20℃の恒温室内で打込みを行った後直ちに封かん養生を行い、材齢 2 日で脱型し、それぞれ 10℃60%RH、20℃60%RH、30℃60%RH、40℃60%RH で管理された恒温恒湿器内で乾燥を開始した。測定項目は、脱型時（乾燥開始時）を基準とした各材齢における質量変化率、長さ変化率、および動弾性係数である。このうち質量変化率と長さ変化率の測定方法およびそれらの実験結果については前報において詳述されている。動弾性係数は、JIS A 1127-2001 に従い、異なる温度条件で乾燥された供試体の各材齢におけるたわみ振動の一次共鳴振動数より算出した。また、20℃と 40℃の温度条件に関して、それぞれ気中養生（60%RH 一定）、封かん養生（20℃についてはさらに水中養生）を行った供試体については、材齢 2 日（乾燥開始前）、4 日、7 日、28 日において、コアドリルとコンクリートカッターを用いて供試体中央部から直径 5cm、厚さ 2cm のコンクリートを切り出し、これを破砕し、2.5mm ふるいを通してることにより、結合水量測定用の試料（モルタル）を約 30g 採取した。この試料を 105℃で 24 時間以上絶乾させた後、1000℃で 1 時間以上強熱し、両者の質量の差（ $M_{105^\circ\text{C}} - M_{1000^\circ\text{C}}$ ）を結合水量とみなした。そして、モルタル中の水、セメント、細骨材の割合が、配合表の比に従うと仮定し、さらに水和度 100%のときの単位セメント量に対する結合水量の値を 23%として、各養生条件に対する各材齢における水和度を算定した。

3. 実験結果及び考察

収縮挙動に関しては、前報の通り、乾燥初期には高温ほど収縮が進行するものの、その後 40℃および 30℃では収縮が停滞し、20℃および 10℃の収縮挙動に徐々に近づかれる傾向を示した。また、その理由は、高温ほど初期の水和反応が促進し、水分逸散量も多いため初期の収縮速度は高くなるものの、その後は急激な水分の逸散により水和反応が停滞し、さらに乾燥による微細ひび割れの発生により十分な毛細管張力が作用しなかったためと考察した。図-1 はこれらの供試体と同一供試体により測定した動弾性係数の経時変化を示

したものである。図より、高強度コンクリートでは材齢 2 日までに急激に動弾性係数が増加し、40GPa 前後の値を示すものの、その後乾燥を開始することにより、それ以上剛性が顕著に発現することではなく、緩やかに減少する傾向を示す。これは、乾燥により水和反応が早期に停滞し、逆に乾燥による微細ひび割れの発生による影響が卓越し、剛性が低下したためと考えられる。一方、普通強度コンクリートにおいては、乾燥開始時の動弾性係数の値は 27GPa 前後と高強度コンクリートに比べ明らかに低いものの、乾燥開始後も温度条件に応じた剛性の増加が確認され、乾燥初期には顕著に水和が進行していることがうかがえる。しかし、その後は急激に剛性が低下し、その低下量は $40^{\circ}\text{C} \approx 30^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C} > 10^{\circ}\text{C}$ の順になっている。このように普通強度コンクリートでは乾燥初期には自由水が多量に残存しているため、水和は進行するものの、その後は乾燥による微細ひび割れの発生により剛性が低下し、その値は、 10°C から 30°C の間では温度が高いほど大きくなる傾向を示した。前述の通り、動弾性係数の値には、水和の影響と微細ひび割れの影響の両者が含まれているため、これを分離するため、図-2 に各養生条件における普通強度コンクリートの水和度と動弾性係数との関係を取り考察を行う。図より、 20°C の水中養生および封かん養生、 40°C の封かん養生では、水和度の増加とともに動弾性係数も増加しており、水和の進行とともに組織が緻密化していることがうかがえる。図中の点線は測定誤差を考慮したうえで、微細ひび割れの発生しない理想的な環境での水和度と動弾性係数の関係を想定したものである。これに対し、 20°C 60% 気中養生では水中養生、封かん養生に比べ明らかに動弾性係数の増加が少なく、 40°C 60% 気中養生ではその傾向がより顕著に現れている。すなわち、気中養生を行った場合、乾燥後も水和はある程度進行するものの、同一水和度で比較した場合、温度が高いより厳しい乾燥条件ほど微細ひび割れが多量に発生し、その結果、十分な毛細管張力が発生しなかったため特に材齢長期において収縮の進行が停滞したと考えられる。

4. まとめ

乾燥中のコンクリートの動弾性係数と水和度の経時変化を測定することにより、乾燥による水和の進行と微細ひび割れの発生状況を分離して考えることができた。その結果、温度条件に応じた収縮挙動の違いを水和の進行と微細ひび割れの発生という観点から説明することができた。

【参考文献】

- 1) 岩城他, 周囲の温湿度条件が高強度コンクリートの収縮挙動に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 473-478, 2003.
- 2) 木村他, コンクリートの収縮挙動に及ぼす温度の影響, 平成 15 年度東北支部技術発表会講演概要

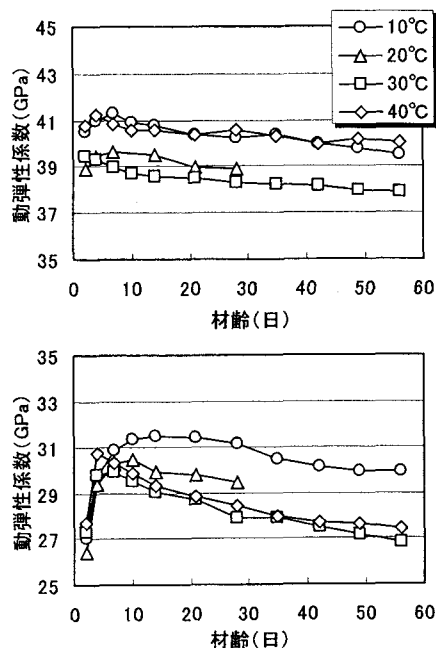


図-1 コンクリートの動弾性係数の経時変化
(上:W/C25, 下:W/C60)

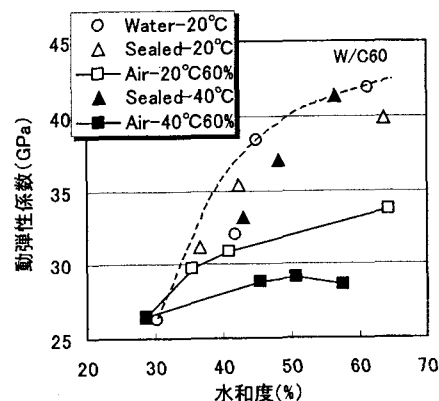


図-2 普通強度コンクリートの水和度と動弾性係数との関係