

異なる温度条件下において乾燥を受けたコンクリートの水和の進行と微細ひび割れの進展

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

東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮挙動は、乾燥に伴うコンクリートからの水分逸散性やセメント硬化体組織の緻密性と密接な関係があり、これらの物性はコンクリートの配合条件、周囲の温湿度条件等に依存すると考えられる。さらに、これらの条件により、水和の進行に伴う細孔構造の経時変化や乾燥に伴う微細ひび割れの進展を引き起こすため、乾燥収縮機構をより複雑なものとしている。そこで本研究では、上述した物性に影響を及ぼす要因の一つである温度条件に着目し、異なる温度条件下（相対湿度一定）において乾燥を受けたコンクリートの水和の進行と微細ひび割れの進展について検討することとした。すなわち、コンクリートの動弾性係数の経時変化を測定することにより、乾燥中の水和の進行と微細ひび割れの進展状況を把握し、さらに、これと同一配合、同一養生条件下におけるコンクリートの結合水量の経時変化を測定することにより、動弾性係数と水和度との関係を求め、乾燥中の水和の進行と微細ひび割れの進展による影響を分離して考えることを試みた。

2. 実験概要

検討の対象となるコンクリートは、水セメント比 25%の高強度コンクリート（W/C25）と水セメント比 60%の普通強度コンクリート（W/C60）の2種類である。供試体は10×10×40cmの角柱供試体であり、20℃恒温室内で打込み後、直ちに封かん養生を行い、脱型後（材齢2日）、それぞれ10℃、20℃、30℃、40℃に制御された恒温恒湿器内（相対湿度 60%一定）で乾燥を開始した。測定項目は質量変化率、長さ変化率、動弾性係数、結合水量とし、このうち質量変化率と長さ変化率の結果については別稿に記載されている¹⁾。動弾性係数は、JIS A 1127-2001 に従い、たわみ振動の一次共鳴振動数より算出した。一方、結合水量については、普通強度コンクリートのみを対象とし、常温（20℃）と高温（40℃）での各養生条件に対する水和の進行を比較するため、以下の手順により測定を行った。①脱型後、供試体を 20℃水中、20℃封かん、20℃気中（60%RH）、40℃封かん、40℃気中（60%RH）の5条件で養生する。②材齢2日（初期値）、4日、7日、28日において供試体中央部からコアドリルとコンクリートカッターにより直径5cm、厚さ2cmのコンクリート試料を切り出し、これを破碎し、2.5mmふるいを通させることにより、約30gのモルタル試料を採取する。③この試料を105℃で24時間以上、1000℃で1時間以上強熱し、両者の差（ $M_{105^{\circ}\text{C}} - M_{1000^{\circ}\text{C}}$ ）をモルタル中のセメント質量（ M_c ）で除すことにより、結合水量（%）を算出する。④さらに、結合水量23%を水和度100%と仮定し、各材齢での水和度（%）を算定する。

3. 結果と考察

はじめに、異なる温度条件下におけるコンクリートの水分逸散性および乾燥収縮挙動について概略説明する。乾燥に伴うコンクリートからの水分逸散量は、自由水の多い普通強度コンクリートの方が高強度コンクリートに比べ多くなり、また相対湿度一定の条件では温度が高いほどその量は多くなる。一方、乾燥収縮量については、初期の収縮量は水分逸散量の多い、高温下（40℃、30℃）で卓越するものの、その後頭打ちの傾向を示し、低温（10℃）あるいは常温（20℃）の収縮挙動に迫いつくあるいは追い越される傾向を示す。このように、温度条件の違いにより水分逸散量と乾燥収縮量が必ずしも対応しない理由については、温度条件の違いによる微細組織の変化が影響していると考え、乾燥中の水和による組織の緻密化と微細ひび割れの発生による組織の粗

キーワード コンクリート、乾燥収縮、温度条件、水和、微細ひび割れ

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06 東北大学大学院工学研究科 TEL022-217-7428

雑化という観点から、その影響を評価することとした。図-1に異なる温度条件下における両コンクリートの動弾性係数の経時変化を示す。図より、高強度コンクリートでは、乾燥開始（材齢2日）までに約40GPaと高い動弾性係数を示すものの、その後はほとんど増加せず、また温度条件による明確な違いも見られない。一方、普通強度コンクリートでは、乾燥後も動弾性係数は顕著に増加しており、乾燥中も水和は進行していると言える。しかしながら、その後は減少に転じ、動弾性係数の低下量はほぼ温度が高いほど大きくなる傾向を示している。その理由は、材齢の経過に伴い、乾燥に伴う微細ひび割れが発生し、その量は水分逸散量の多い高温ほど顕在化するためであると考えられる。ただし、前述の通り、動弾性係数の値には、水和の進行と微細ひび割れの発生という双方の影響を含むため、以降、水和度と動弾性係数の関係から両者の影響を分離して考えることとする。図-2に水和度の経時変化の一例として、20℃と40℃でそれぞれ気中養生（60%RH）を行った場合の結果を示す。図より、高温下では初期の水和反応が促進されるものの、乾燥に伴う水分逸散も促進されるため、早期に水和に必要な水分が欠乏し、その後水和反応は頭打ちとなり、常温での水和度に追い越される結果となる。図-3は各養生条件に対する水和度と動弾性係数との関係を示したものである。図より、20℃水中養生を行った場合、ほぼ理想的な水和の進行を示すと考えられるため、これを点線で表した。点線と比較し、実線で表した20℃気中、あるいは40℃気中では、水和度の増加に対する動弾性係数の増加割合が明らかに小さく、特に高温下では水和度が増加（50%→60%）しているにもかかわらず、動弾性係数は逆に低下する傾向を示した。同一水和度に対する図中の曲線と実線との差は、水和による組織の緻密性は同じであっても、それ以外の要因（例えば乾燥に伴う微細ひび割れ）によりコンクリートの剛性が低下していることを表している。すなわち、乾燥に伴う微細ひび割れの進展によると見られる動弾性係数の低下は高温で乾燥させた場合、常温で乾燥させた場合に比べ明らかに大きくなり、このことが高温下での長期における乾燥収縮挙動の頭打ちを引き起こした原因であると推察される。

4. まとめ

動弾性係数を測定することにより、乾燥を受けたコンクリートの水和の進行と微細ひび割れの進展による影響を評価することが可能であり、さらに各材齢における水和度を測定することにより、水和度と動弾性係数の関係から、水和と微細ひび割れの影響を分離して考えることができることを示した。その結果、コンクリートの乾燥収縮挙動は、温度条件に依存した水和の進行による組織の緻密化と微細ひび割れの進展に伴う組織の粗雑化の相互作用に大いに依存することが示唆される結果を得た。

参考文献

木村他：異なる温度条件下におけるコンクリートの乾燥収縮挙動，第59回年次学術講演会講演概要集，2004。

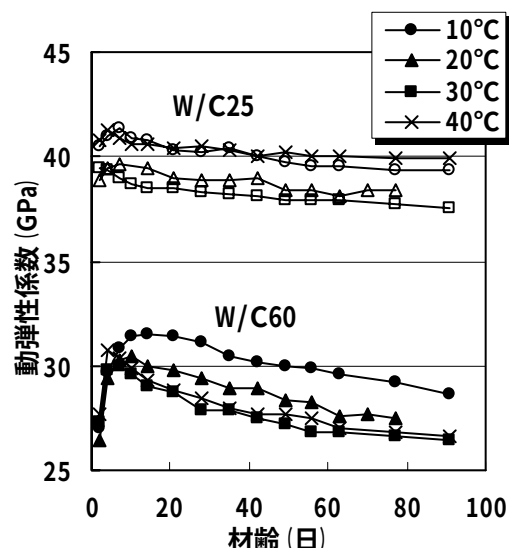


図-1 動弾性係数の経時変化

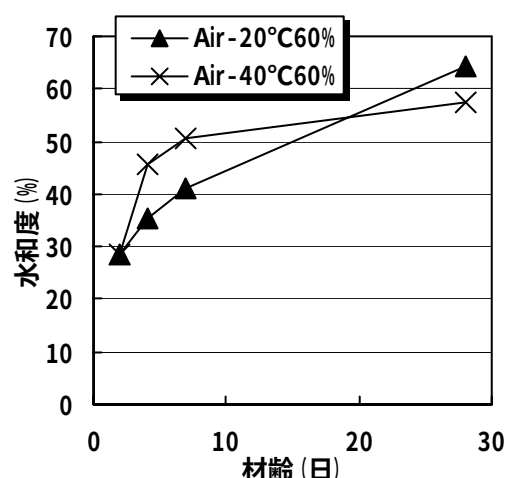


図-2 水和度の経時変化

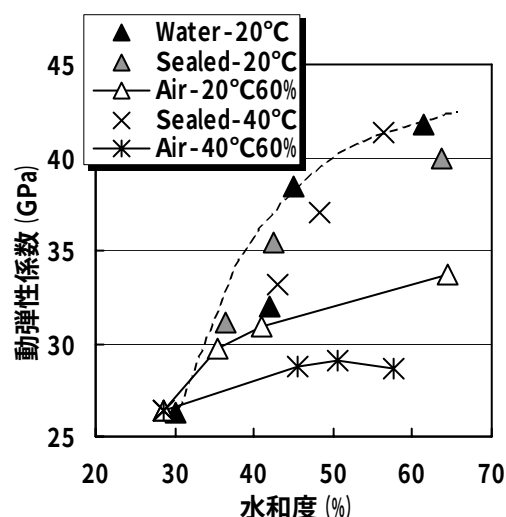


図-3 水和度と動弾性係数との関係