

課題名	セメント硬化物生成過程の水和度と自由水の定量的評価 Quantitative Evaluation of the Hydration Degree and the Free Water in the process of the Cement Hydration Reaction.
------------	---

実験代表者; 沼尾 達弥	所属; 茨城大学工学部都市システム工学科
---------------------	-----------------------------

背景;セメントの水和硬化反応により生成するコンクリートには水が存在しており、この水が硬化体の強度等の力学的性質や乾燥収縮などによる体積変化に密接に関係することが知られている。しかし、これまでは経験的にのみ評価されており、水の状態や構造などの科学的観点からの研究が少ない。更に、建設分野においては、中性子を利用した研究例は非常に少なく、本研究の成果は、セメント化学分野に限らず、建設材料分野への応用の可能性を広げる意義を持っている。

中性子実験の必要性; コンクリートの水和過程は、X線回折などの方法が一般的に用いられているが、本研究の様に結晶構造ではなく、内部の水の状態に着目する解析では、中性子準弾性散乱が適していると考えられる。また、硬化後のコンクリート内部の水分を測定する方法としては、一般に、直説法と称される方法が用いられてきたが、この方法では、その前処理として加熱や真空等による脱水処理が必要なために細孔構造を変えてしまう懸念があった。

試料;セメント($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2, 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2, 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)と水(W/C=40%)を練混ぜた後、石英ガラス板で挟み厚さ1mm程度に調節し、水分が逸散しないよう石英ガラス板の周囲を接着剤にて覆ったものを用いた。
実験;中性子準弾性散乱(QENS)実験は背面反射型分光器のダイナミクス解析装置(BL02)を用い、セメントと水を練混ぜ1時間後(以下、測定開始時)から3日後までのQENSスペクトルの変化を連続で測定した。その後、42日と196日にも約半日の測定を行った。実験の温度は $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度は50%以上で行った。また、円柱供試体(直径50mm、高100mm)も同時に作製し、密閉養生施した後、材齢10、20、30、50時間と3、42、196日に圧縮強度試験(JIS A 1108)を行った。

解析方法; 中性子準弾性散乱結果は、ローレンツ関数とデルタ関数の和に装置関数を畳み込んでフィッティングした。ローレンツ関数の面積(L)が自由水量に比例、デルタ関数の面積(D)が結合水量に比例するとして自由水割合= $L/(D+L)$ 、および結合水割合= $D/(D+L)$ 、を算出した(図1)。

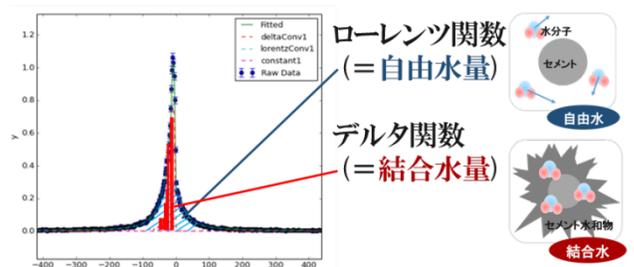


図1. 中性子準弾性スペクトルによる水の状態解析

実験結果および考察; 図2 に中性子準弾性散乱より得られた中性子強度とエネルギー遷移の関係を示す。測定開始時、3日、196日と比較すると、硬化時間が長くなるほどエネルギー遷移は0付近に集中するとともに、ピーク強度が増加した。これは、セメントの水和硬化反応に伴い、自由水が結合水に変化したためと考えられる。

図3 に自由水および結合水の割合の経時変化を示した。時間経過に伴い自由水割合が減少し、結合水割合が増加した。また、材齢42日までに自由水は急激に減少し、結合水は急激に増加した。このことは、自由水が結合水に変化している過程をよく反映している。

図4 に圧縮強度と結合水の割合の関係を示す。結合水が増加すると圧縮強度が増加する。なお、3日前後からその傾向に差が見られることから、水和物生成の強度に及ぼす影響が水和初期とそれ以降では、異なるものと考えられる。

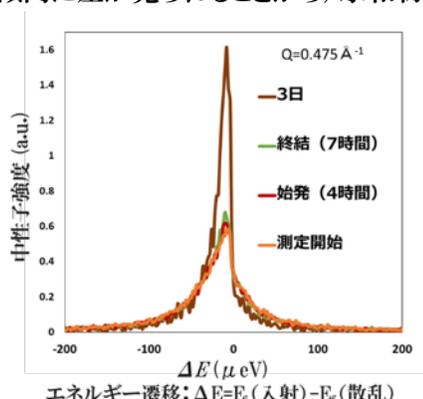


図2. 中性子強度とエネルギー遷移の時間変化

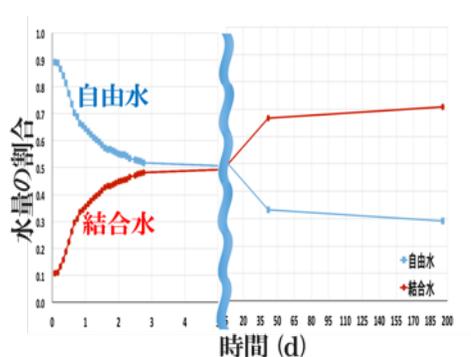


図3. 自由水割合と結合水割合の経時変化

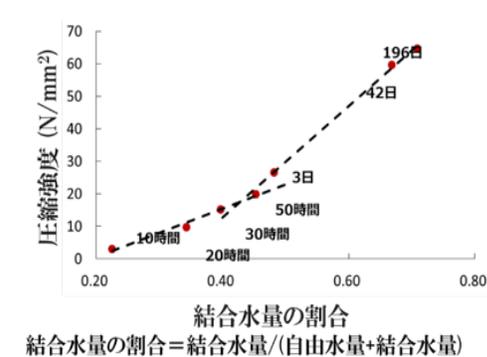


図4. 結合水割合と圧縮強度の関係