

γ線照射装置を利用した建築壁体の非定常含水率測定法に関する研究

正会員 〇中村暢*¹ 同 岸本嘉彦*² 同 濱幸雄*³
同 銚井修一*⁴ 同 小椋大輔*⁵

γ線 含水率 ALC
凍害 細孔径分布 凍結挙動

1. はじめに

凍害によるコンクリートの劣化は結氷量と強い関係性があるが、結氷性状と劣化性状が相互の進行に及ぼす影響については明らかになっていない。そのため、まずは含水率分布の経時変化を把握する必要がある。しかし、従来の測定方法ではセンサー類の作製に手間がかかり、微小な間隔の分布を容易に測定できない。

試験体にセンサーを埋め込むことなく材料の含水率分布を経時的に測定する方法には、γ線照射装置を利用する方法がある¹⁾。γ線は、材料内部の水分が多いほど透過量が減衰する性質を有するため、γ線の透過量の変化から含水率の算出が可能である。一方、材料内部の水が凍結により膨張するとγ線透過線上の水分子の数が減少するため、γ線の透過量が増加する。つまり、凍結前の水分量が既知であり、水分の移動が生じなければ、透過量の増加分から含水率の算出が可能である。

そこで本研究では、γ線照射装置を用いた含水率分布の経時変化を測定する手法の確立を目的とし、空隙構造が比較的一様である ALC を用いて試験体を材料内部で水の移動が生じない飽水状態とした基礎実験を行った。

2. 実験計画および方法

2.1 試験体

同じ温度における結氷量が異なると想定される2種類の ALC (気泡有り、気泡無し) を試験体として用意した。試験体寸法は 100×200×30[mm]である。これらの試験体を飽水状態とするため、2日間の真空飽水処理を行った。試験体内部の水の凍結を補助的に確認するために貼付した熱電対、ひずみゲージの位置を図1に示す。試験体の底面から高さ10[mm]毎にひずみゲージを4点、熱電対を8点貼り付けた。試験体側面からの水分の蒸発を防ぐため、これらセンサー類の上からブチルゴムテープを貼り付けた。

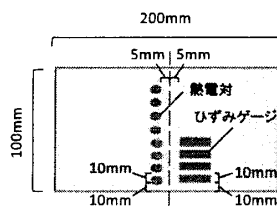


図1 熱電対およびひずみゲージ貼付位置

2.2 測定方法

a) 実験1: γ線照射装置を用いた含水率測定

ここでは、材料内の結氷とγ線の透過量の変化についての検討を目的とする。実験装置の概要を図2に示す。図2に示すように、線源と検出器の間に、銅箱と、その

上に防湿処理した断熱箱を設置した。銅箱内部には冷媒を循環させ、実験中はこの冷媒温度を制御した。断熱箱内において、γ線が試験体の中央を透過する位置に試験体を設置した。冷媒の温度は、初期値を 25[°C]、到達温度を -10[°C]に設定した。この装置では冷媒温度の変化は成り行きとなり、冷却開始から定常状態に達するまで11時間ほどを要した。γ線の照射は冷却中に試験体下部から上面まで1[mm]毎に行った。1点に対する照射時間は40秒に設定した。試験体の底面から上面までの1回の測定に71分を要し、これを照射回数1回とした。実験は定常状態に達するまで行い、γ線の照射回数は10回となる。測定は、気泡無しの ALC、気泡有りの ALC の順に行った。

b) 実験2: 水銀圧入法による細孔径分布測定に基づく結氷量の比較検討

ここでは、γ線透過量に基づく含水率測定の妥当性の検討を目的とする。まず、水銀ポロシメーターにより気泡有りと気泡無しの ALC 試料の細孔径分布を測定した。次に、Kelvin 式、および式(1)に示す水分化学ポテンシャルと結氷温度の平衡関係式から細孔径に応じた凍結温度を求めた。

$$\mu = H_L \log_e \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

その後、凍結温度と細孔量の関係から含水率の理論値を算出し、γ線透過量に基づく測定値と比較することにより、測定の妥当性を検討した。

3. 実験結果および考察

3.1 実験1: γ線照射装置を用いた含水率測定

まず、絶乾および飽水状態の試料重量から算出した含水率は、気泡有り ALC では 77.6[vol.%]、気泡無し ALC では 52.4[vol.%]であった。

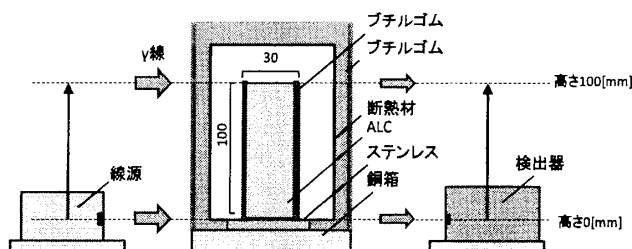


図2 実験装置

γ 線透過量から算出した含水率分布の時間変化を図3に10[mm]間隔毎に平均化して示す。図4に各測定における試験体の表面ひずみおよび表面温度の時間変化を示す。図3に負の値が見られる理由は、 γ 線の透過量にバラツキが大きいためである。図3より、気泡無しのALCでは、いずれの高さにおいても含水率の増加は見られない。しかし、図4より、高さ10[mm]において凍結によると思われる膨張を検出している。このことから、 γ 線による検出に対して、高さ10[mm]の点では結水量が十分ではなく、10[mm]以上の点では結水が生じていないか、あるいは結水量が少なすぎて検出できなかったと考えられる。

また、図3より、気泡有りのALCでは、高さ10、20、30、40[mm]の位置において、それぞれ、4、5、7、9回目の γ 線照射から、含水率の増加が見られる。図4より、高さ10から40[mm]の4箇所全てにおいて、過冷却解消によると思われる膨張および温度上昇が検出された。この膨張および温度上昇と含水率の増加した照射回数が一致している。また、気泡有りのALCでは、全てのひずみ測定箇所に急激な収縮が起き、その後急激な膨張に転じた。これは、測定位置よりも冷却面に近い部位で凍結が生じると、周辺の未凍結水が凍結部位へ移動することにより凍結収縮が起こり、その後、測定位置にも凍結が生じた際に、急激な膨張に転じたと考えられる²⁾。

以上のことから、気泡有りのALCの場合には、少なくとも下面から40[mm]の範囲において凍結が生じており、 γ 線によりそれを検出できたと考えられる。

3.2 実験2：水銀圧入法による細孔径分布測定に基づく結水量の比較検討

図5に水銀圧入法により測定した気泡有りおよび気泡無しのALCの空隙径分布を示す。図5より、試験体ごとの気泡の有無を確認できた。また、実験1の気泡無しALCの高さ10[mm]における照射回数10回目の最低到達温度は -6°C であった。このときの結水量の理論値は、15.4[vol.%]となり、結水量がこれ以下では γ 線による含水率の検出は困難だと言える。次に、図6に気泡有りのALCについて、空隙径分布から算出した含水率の理論値と γ 線を用いて算出した含水率の測定値（測定回数10回目）を示す。図6より、 γ 線により測定した含水率は、空隙径分布から算出した含水率と、値、分布範囲ともに概ね一致していることがわかる。

4. まとめ

- (1) 測定中に試験体の水の移動が無い場合には、 γ 線透過量の変化から含水率の算出が可能である。
- (2) 試験体がALCの場合、15.4[vol.%]以下の結水量に対して γ 線による測定は困難である。
- (3) 細孔径分布の結果に基づく熱力学的な理論値と比較

*¹ 室蘭工業大学大学院工学研究科 博士前期課程

*² 室蘭工業大学大学院工学研究科 助教 博士（工学）

*³ 室蘭工業大学大学院工学研究科 教授 博士（工学）

*⁴ 京都大学大学院工学研究科 教授 工学博士

*⁵ 京都大学大学院工学研究科 准教授 博士（工学）

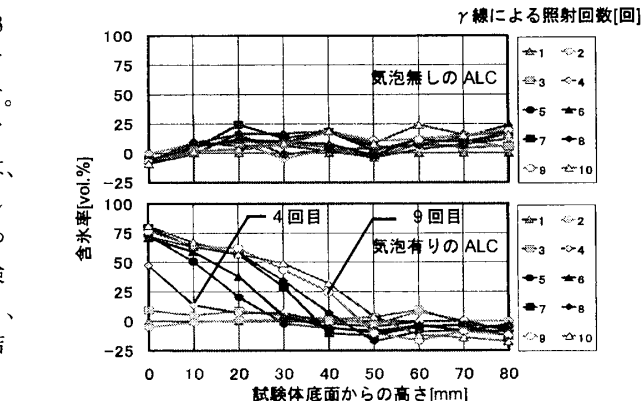


図3 γ 線透過量から算出した含水率分布の時間変化

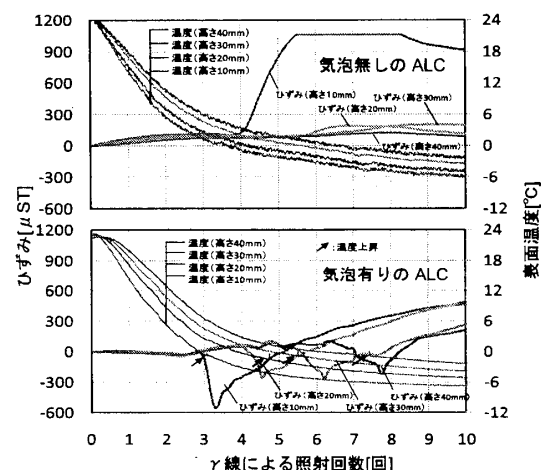


図4 ALCの表面ひずみおよび表面温度の時間変化

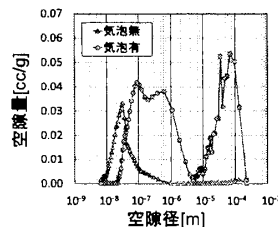


図5 空隙径分布

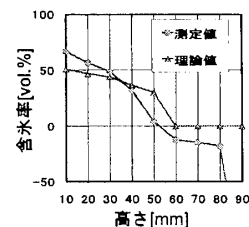


図6 含水率の理論値と測定値の比較

すると、 γ 線による含水率の算出結果は絶対値および結水の生じている範囲が概ね一致しており、妥当な結果が得られたと言える。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（若手研究（B）、No.21360259）により行ったものであり記して謝辞を表す。

[記号]
 μ : 化学ポテンシャル[J/kg], H_0 : 水分の相変化熱[J/kg], T : 絶対温度[K], T_0 : 自由水の結氷温度[K]
 [参考文献]

1) 小椋大輔, 錦井修一, 松下敬幸, 恩村定幸, 小南和也, 安井義典, 「強度の異なるコンクリートの熱・湿気物性に関する研究: その5 ガンマ線含水率測定装置を用いた吸水実験による水分物性値の同定」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.339-340, 2006.

2) 三橋博三・周志云・多田真作: 微視的メカニズムを考慮したコンクリートの凍結作用による変形挙動の数値モデル, コンクリート工学論文集, 第14巻3号, 2003年9月.

*¹ Graduate Student, Graduate School of Engineering, Muroran Inst. of Tech.

*² Assist. Prof., Graduate School of Engineering, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.

*³ Prof., Graduate School of Engineering, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.

*⁴ Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.

*⁵ Associate Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.