

V-54 極低温まで冷却されるコンクリートの劣化予測に関する基礎的研究

東北大学 学生員 ○小川 憲治
 東北大学 中澤 晴人
 東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

コンクリートは繰返し極低温まで冷却されることで劣化を生じるが、この種の劣化を定量的に予測する技術に関する研究はまだ十分には進められていない。一方、その劣化機構に関しては、コンクリート内の細孔中の水分が凍結することによって生じることが知られている。そこで本研究では、劣化予測を行う上で、水分の凍結膨張による劣化を把握することが重要であると考え、配合条件、冷却条件の異なるモルタル供試体の冷却時のひずみ挙動と残留ひずみを測定し、これらの要因の相互依存性や細孔構造との関係について考察を行った。

2. 実験概要

モルタルは単位水量 171kg/m^3 、細骨材率 40% で統一した 4 種類のコンクリートの配合 (W/C36%, 46%, 56%, 66%) から粗骨材を取り除くことにより作製した。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。実験に使用した供試体の寸法は $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の角柱供試体である。供試体は標準養生 28 日後から順次極低温までの繰返し冷却加熱試験に供した。また、養生期間終了後、水銀圧入法により、各配合における細孔径分布を測定した。温度履歴は供試体を常温から一定の冷却速度で冷却を行い、温度が -40°C に達した段階で、所定の時間供試体温度を一定に保持し、常温まで戻した。これを 1 サイクルとした。冷却速度は 0.36, 0.18, $0.09^\circ\text{C}/\text{min}$ の 3 種類、温度保持時間は、0 時間と劣化がそれ以上進行しなくなるまで十分保持を行ったとされる 4 時間とした¹⁾。劣化の評価には、残留ひずみを用いた。測定は 1 サイクルと、以後 5 サイクルごとに 40 サイクルまで行った。また、1 サイクル時のひずみ挙動の測定も行った。

3. 実験結果及び考察

3. 1 残留ひずみの測定結果及び考察

まず、コンクリートの劣化を把握するために、図-1に、W/C56%、冷却最低温度 -40°C のときの残留ひずみとサイクル数の関係を載せる。図中の凡例は、冷却速度 ($^\circ\text{C}/\text{min}$) - 冷却最低温度での温度保持時間 (hr) を示す。それぞれの冷却条件ごとに近似直線を引いた結果、切片の値がほぼ同じであったため、この値を統一した。また、残留ひずみは少なくとも相対動弾性係数が 50% 以上のものを採用し、それ以下のものはサイクル数と残留ひずみとの関係が直線関係を保っている場合にのみ採用することにした。図を見ると分かるように、冷却速度の違いや温度保持の有無にかかわらず、同じ切片を基準として、残留ひずみとサイクル数は非常に相関の高い近似直線を引くことができた。このことから、2 サイクル目以降は劣化が一定の割合で進むと推察でき、また、その劣化は冷却速度や温度保持に依存するものと考えられる。今回冷却速度の違いや温度保持の有無にかかわらず切片が等しくなったので、切片はそれ以外の要因（冷却最低温度等）の影響を受けたと考えられる。今回はさらにこの傾きについて検討するために、以下の考察を行っていくとする。

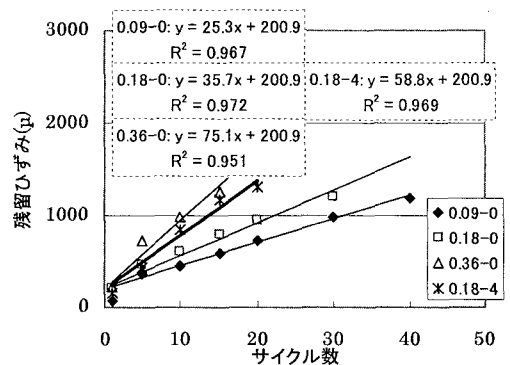


図-1 残留ひずみとサイクル数の関係

3. 2 膨張ひずみの測定結果

今回、先ほどの残留ひずみとサイクル数の関係における直線の違いは 1 サイクル時の供試体のひずみ挙動に大きく依存すると考え、膨張ひずみの測定を行った。図-2 に冷却中の供試体の膨張ひずみと供試体温度との基本的な関係を示す。供試体の膨張ひずみは一般に水セメント比が大きいほど、冷却速度が速いほど大きな

った。また、図に示す通り、膨張（主に -20℃付近）に転じてから -40℃付近まではほぼ直線的な増加を示し、その後さらに大きな膨張を見せた。-50℃以下では、それほど膨張しなかった。

3. 3 細孔径分布と膨張ひずみ

今回のテーマである極低温環境下での劣化は、水分の凍結膨張によるものであり、また、細孔内の水分の凍結温度は細孔径に依存することが知られている。今回水分の凍結温度と細孔径の関係は Stockhausen の理論式²⁾を用いることにし、今回用いた供試体の各温度における凍結可能な水分の積算容積（積算凍結量）を図-3に示す。図を見ると、今回用いた配合では -25℃以下の積算凍結量が、温度が下がるにつれて直線的に増加していることが分かる。この結果と先ほどの膨張ひずみの結果を比較すると、図-2で膨張ひずみが、膨張に転じてから -40℃まで直線的な膨張を見せたのは、細孔径分布のこの事実に基づいているものと考えられる。これより、ひずみ挙動と細孔径分布は密接に関連していると考えられる。また、-40℃以下のひずみ挙動はこれに化学ポテンシャル差による影響が加わったと考えられる。次に化学ポテンシャル差の影響について考察を行う。

3. 4 温度保持の影響

今回、各冷却最低温度における温度保持の影響（今回この影響は主に化学ポテンシャルの影響と考える）を調べた。図-4に冷却最低温度 -35℃、-40℃、-50℃での温度保持前と保持後の全膨張量の関係を示す。冷却最低温度とその時の温度保持による影響の大きさは異なるが、保持前と保持後の全膨張ひずみには良好な相関が見られた。これらのことから、温度保持による影響は、温度保持を行う前の状態に依存してくるものと推察できる。また、その影響は、冷却最低温度 -40℃のときに最も大きく、-35℃では -40℃と比べると温度保持の影響は小さかった。

図-2で、積算凍結量がほとんど変わらないにもかかわらず（図-3参照）、-40℃でひずみ挙動が大きく変化したのは、-40℃で強く温度保持の影響を受けるという今回の測定結果に基づいていると考えられる。図-5に温度保持の有無による残留ひずみの関係を示す。この図は冷却最低温度（-40℃）だけによるものである。図より、温度保持を行うことによる劣化への影響は、配合、冷却速度にかかわらず、保持なしでの劣化に依存することが示唆された。

4. 結論

コンクリートの劣化は、2 サイクル目以降は劣化が一定の割合で進むと推察でき、その劣化は膨張挙動により異なり、細孔径分布や温度保持等に強く依存することが示唆された。

【参考文献】

- 1) 韓相稔：極低温の温度保持がコンクリートの劣化に及ぼす影響，東北大学博士論文，2001，2) N. Stockhausen：Die dilatation hochporöser Festkörpern bei Wasseraufnahme und Eisbildung, Dissertation Technische Universität München.

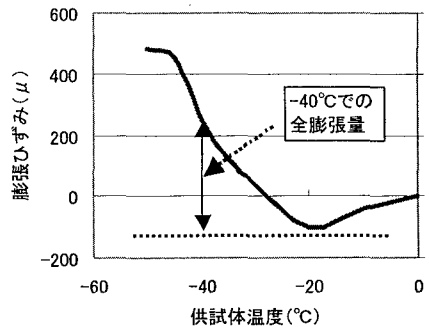


図-2 膨張ひずみと供試体温度の関係

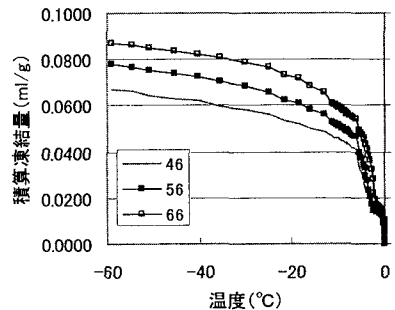


図-3 凍結可能な水分の積算容積

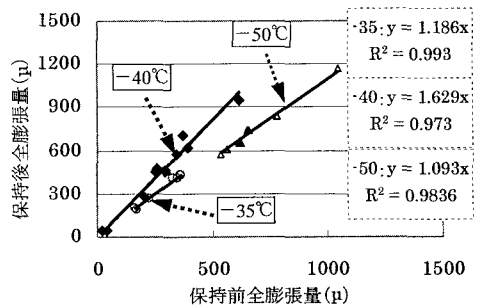


図-4 保持前、後の全膨張量

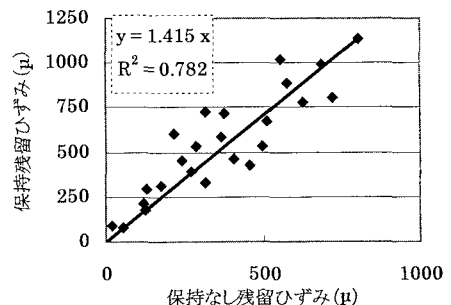


図-5 保持の有無による残留ひずみへの影響