

東北大学 学生員 ○ 藤原正雄

東北大学 正 員 三浦 尚

1. まえがき

近年、コンクリート製LNG貯蔵タンクの建造および計画が増加しているが、LNGは、沸点が -162°C と極めて低温であるため、タンクの壁体は、LNGの出入り・外気温の変化等によって、繰返し温度変化を受けると考えられる。従来の研究で、コンクリートは、低温にさらされると、温度応力・遊離水の凍結膨張等により、内部組織が破壊され、劣化することがわかっているが、本研究は、コンクリートが低温の繰返し温度変化を受ける際、その温度範囲・繰返し回数・コンクリートの配合・含水量等が、劣化におよぼす影響を実験的に調べ、考察したものである。

2. 実験材料および実験装置

実験に用いたセメントは、住友早強ポルトランドセメント。細骨材は、宮城県白石川産川砂、粗骨材は、宮城県丸森産砕石である。実験Ⅰでは、供試体の冷却には液体窒素（沸点 -196°C ）の入った冷却槽を、温度回復には温床線と対流用ファンを取り付けた加温箱を用いた。実験Ⅱでは、凍結融解試験機を用いて温度変化を与えた。

3. 実験方法

表-1 コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材 最大粒径 (mm)	スランプ 範囲 (cm)	空気量 範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 減水剤	AE剤
No.1	25	11±1	2±0.5	56	42	190	339	721	1130	—	—
No.2	25	11±1	6±0.5	56	40	172	307	675	1155	—	0.154
No.3	25	11±1	2±0.5	46	39	165	359	688	1200	2.15	—
No.4	25	11±1	2±0.5	36	37	155	431	640	1237	3.45	—

実験には、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を用い、この相対動弾性係数（試験前の動弾性係数に対する、試験後の動弾性係数の割合）を求めることにより、劣化の程度を調べた。実験は、繰返し温度変化が、 $-20 \sim -40^{\circ}\text{C}$ 以下の低温下における場合と、比較的常温に近い場合の2種を行なった。前者を実験Ⅰ、後者を実験Ⅱとする。

（実験Ⅰ）コンクリートの配合は、表-1のNo.1のみとし、28日間水中養生を行なった後、断熱材として 9mm 厚ペニヤ板を供試体全面に密着させ、さらに、霜の付着等による断熱効果の変動を防ぐために、その上を $40\mu\text{m}$ 厚アルミ箔で覆った。そして、図-1のように供試体に温度変化を与えたが、回復温度は図に示す5種とし、各々について、繰返し回数が1回と10回の2種を行なった。

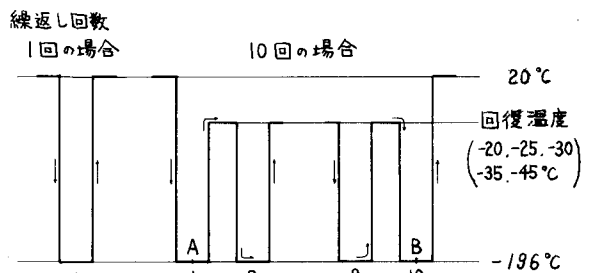


図-1 実験Ⅰにおける温度変化

（実験Ⅱ）コンクリートの配合は、表-1の4種

とし、No.1,2については、水中・密封・気乾養生の3種、No.3,4については、水中養生のみを行なった。供試体は、28日間養生後、ゴム袋に入れ、含水量が変化しないように密封した後、繰返し温度変化を与えた。ここで、繰返し温度範囲は、 $-25 \sim 5^{\circ}\text{C}$ と $-5 \sim 25^{\circ}\text{C}$ の2種を行なった。

4. 結果および考察

（実験Ⅰ）この実験の結果を図-2に示す。ここで、相対動弾性係数比とは、繰返し回数が1回だけの供試体の相対動弾性係数を E_{D1} 、繰返し回数が10回の供試体の相対動弾性係数を E_{D10} とした時の比 E_{D1}/E_{D10} を表わす。これは、図-1の点Aから点Bまでの間での繰返し温度変化によって供試体が受けた劣化の指標となり、この値

が1に近づく程、その間での温度変化が劣化に対してあまり影響を与えなかつたことを表わすと考えられる。

また、図の回復温度は、供試体中心温度で制御してあるが、これは、供試体表面とは約15℃の温度差がある。

図を見ると、回復温度が-20~-35℃の場合に、ある程度の劣化が見られるのに対して、-40℃の場合には、ほとんど劣化が起きていないことがわかる。これより、コンクリートが繰返し温度変化を受ける場合でも、常に-40℃以下に保たれているならば、劣化はほとんど生じないと考えられる。

(実験Ⅱ) この実験の結果の一部を図-3~5に示す。ここで、図-3は、配合の異なる4種の水中養生供試体を、繰返し温度範囲-5~25℃で試験した時の、繰返し回数に伴う相対動弾性係数の変化を表わしている。また、図-4は、同じ条件の供試体で、繰返し温度範囲が-25~5℃の場合、図-5は、配合が同じで、養生条件が異なる場合の結果である。

これらの結果より、次のようなことがわかる。

・コンクリートの強度が高い程、含水量が小さい程、そして、空気量が多い程、劣化の程度は小さい。

・本実験のように、温度変化を受ける間に、コンクリートの含水量が変化しない場合、つまり、水分の供給が無い場合には、劣化は初期の数回の繰返しで大きく進むが、その後はほとんど進行が見られず、定常状態となる。

・繰返し温度範囲が、-5~25℃よりも-25~5℃の方が全体的に劣化の程度が大きい傾向があるが、 $W/C = 36\%$ の場合や、 $W/C = 56\%$ でも気乾養生とした場合などのように、含水量がかなり小さな値である場合には、温度範囲にはそれほど関係なく、ほとんど劣化していない。

5. まとめ

コンクリートが、極低温の繰返し温度変化を受ける場合、実際に劣化に対して大きな影響を持つ温度範囲は、約-40~0℃であり、これ以外の範囲、つまり、-40℃以下で温度変化を受けても劣化はほとんど起こらない。

また、たとえこの範囲を含む温度変化を受ける場合でも、 W/C を小さくしたり、気乾養生を行なうことによって、コンクリートの含水量を小さな値にすることができれば、極低温の繰返し温度変化に対して、十分な耐久性を持つことができる。

さらに、実際に繰返し温度変化を受けている間においても、含水量が大きくなるように注意を払うことが、劣化を進行させないために重要であると思われる。

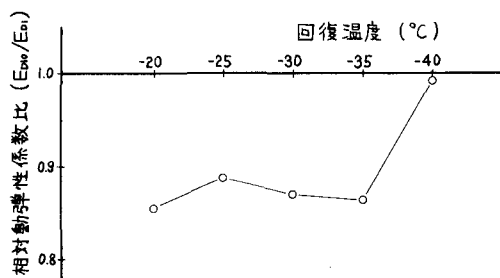


図-2 相対動弾性係数比の変化

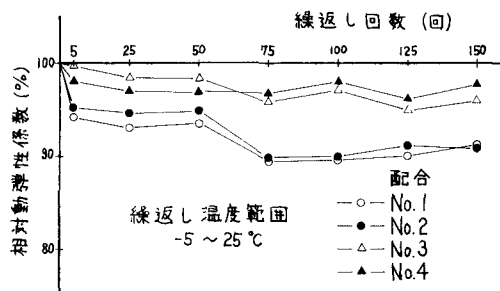


図-3 相対動弾性係数の変化

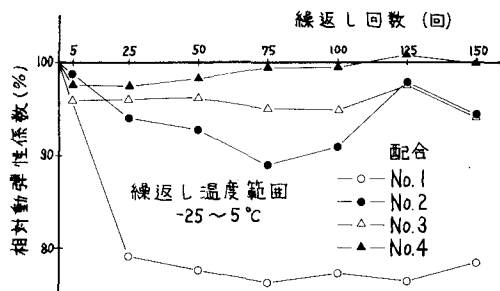


図-4 相対動弾性係数の変化

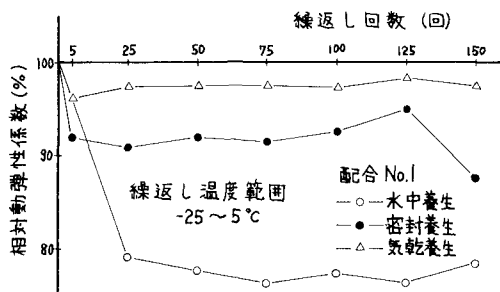


図-5 相対動弾性係数の変化