

[15] 極低温の温度変化を受けるコンクリートの劣化に関する研究

正会員 ○三浦 尚 (東北大学工学部)

藤原 正雄 (東北大学大学院)

1. まえがき

近年、液化天然ガス (LNG) 関連の構造物をコンクリートで作ることが多くなっているが、LNGは、沸点が -162°C と極めて低温であるため、それらの構造部材は大きな温度変化およびその繰返しを受けることが考えられる。従来の研究で、コンクリートは、低温にさらされると、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、まだその劣化機構は十分解明されていない。そこで、本研究では、コンクリートが極低温の温度変化を受ける際の劣化の機構をコンクリートの歪と関連させて解明することを試みコンクリートの配合、含水量、冷却速度の違いが、コンクリートの歪変化におよぼす影響を求め、さらに、歪と劣化との関係について調べた。また、コンクリートが極低温の温度変化を繰返し受ける際、その温度範囲、繰返し回数、配合、含水量等が劣化に及ぼす影響をも調べ、あわせて考察した。

2. 実験材料及びコンクリートの配合

実験に使用したセメントは早強ポルトランドセメント、細骨材は川砂 (比重 2.52 、吸水率 2.50%)、粗骨材は砕石 (比重 2.86 、吸水率 0.76%) である。

表-1に、使用したコン

表-1 実験で使用したコンクリートの配合

クリートの配合を示す。

3. 実験方法

$10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱供試体を用い、28日間養生後、次のような実験を行なった。

○実験1

表-1の4種の配合のコンクリート、 W/C 56%のモルタル ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$) および骨材片 ($1 \times 4 \times 6 \text{ cm}$) について、冷却した時の歪測定を行なった。なを、含水量の違いの影響を調べるために、各供試体について、水中 (水温 20°C) および気乾 (気温 20°C 、湿度 50%) の2種の養生を行ない、さらに、冷却速度の違いの影響を調べるために、断熱材 (2 mm 及び 4 mm) とアルミはくで供試体を保護した実験も行なった。供試体の冷却には、液体窒素 (沸点 -196°C) を満たした冷却槽を、温度回復には、温床線をはりめぐらした加温箱を使用した。温度変化にともなう歪変化は、各供試体の側面に貼り付けた低温用歪ゲージによって連続的に測定した。

○実験2

表-1の4種の配合のコンクリートについて、常温 (20°C) と -196°C との間で繰返し温度変化を与え、1回の温度変化が終了する毎に動弾性係数を測定するとともに、供試体側面に貼り付けた歪ゲージで連続的に歪変化を測定し、劣化と歪 (特に、 -196°C 冷却時の収縮歪と 20°C 回復時の残留歪、図-1参照) の関係について調べた。

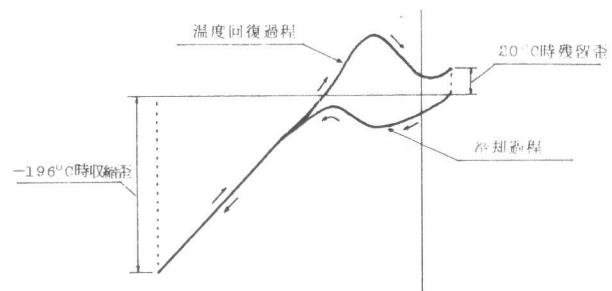


図-1 コンクリートの歪変化

°実験3

表-1のNo.1の配合の供試体を水中養生後、断熱材として9mm厚ベニヤ板を供試体全面に密着固定し、さらに、霜の付着等による変質を防ぐために、その上を40 μ m厚アルミはくで覆った。そして、図-2に示すように供試体に温度変化を与えて、くり返し温度範囲の影響を調べた。回復温度は、図に示すように、-20 $^{\circ}$ Cから-40 $^{\circ}$ Cまで5 $^{\circ}$ C毎に5種とし、各々の温度について、繰返し回数が1回と10回の2種を行なった。そして、各供試体の動弾性係数を測定することにより劣化の程度を調べた。

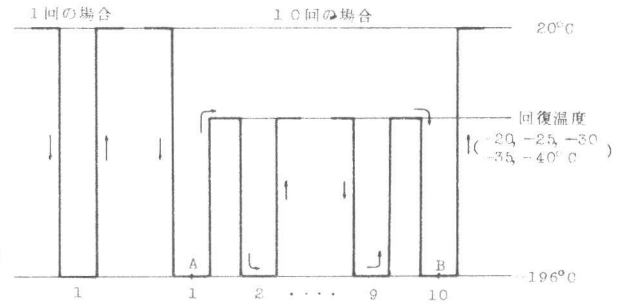


図-2 実験3における温度変化の与え方

°実験4

表-1の配合で、No.1, 2については、水中養生、密封養生(気温20 $^{\circ}$ C, 湿度100%), および気乾養生の3種、No.3, 4については、水中養生のみの供試体を用い、ゴム袋に入れて含水量が変化しないように密封したまま繰返し温度変化を与えた。温度変化は凍結融解試験機によって与え、繰返し温度範囲は、-25 $\sim$ 5 $^{\circ}$ Cと-5 $\sim$ 25 $^{\circ}$ Cの2種とした。劣化の程度は動弾性係数を測定することにより調べた。

4. 実験結果とその考察

°実験1

コンクリート供試体の試験結果を図-3, 4に示す。図-3は、水セメント比の異なる3種のコンクリートの温度回復過程における供試体表面温度と歪との関係を表わしたものである。これを見ると、低温下では一定であった膨張率が、-70 $^{\circ}$ C付近から変化し、-30 $^{\circ}$ C程度で収縮に転ずる傾向が見られる。そして、この収縮量は、断熱材を巻き、冷却速度を小さくするほど、また、W/Cを小さくするほど小さくなる傾向がある。特に、W/Cが36%の場合には、この現象がほとんど見られなくなる。これは、強度が大きく、含水量の小さなコンクリート程、遊離水の凍結融解による体積変化が小さくなるためと考えられる。

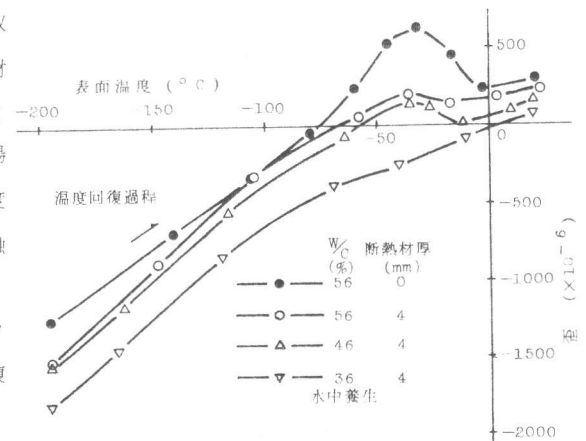


図-3 歪と表面温度との関係

図-4は、W/Cが56%のNon-AEおよびAEコンクリートで、水中または気乾養生を行なった供試体の温度回復過程における表面温度と歪との関係を表わしたものである。湿潤状態の供試体では、AE剤を用いることにより-30 $^{\circ}$ C付近での歪変化量がかなり小さくなるが、これは、エントレインドエアが、水の体積変化を吸収したためと考えられる。また、気乾状態の供試体では、AE剤の使用の有無にかかわらず歪変化がほとんど見られないが、これは、気乾状態のコンクリートは含水量が小さく、また、水の体積変化を吸収する空隙が存在するためと思われる。

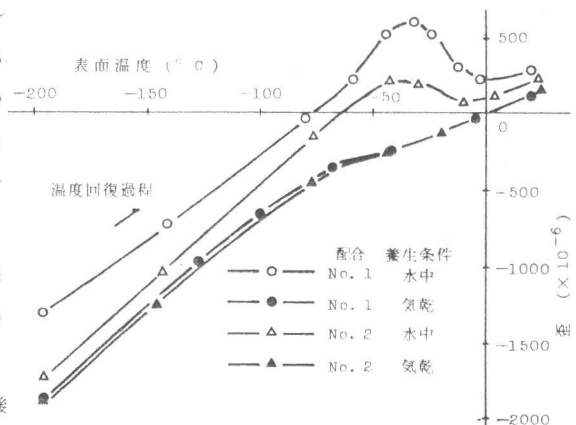


図-4 歪と表面温度との関係

図-5は、モルタルと骨材の温度回復過程における表面温度と歪の関係を表わしたものである。これより、モルタルの歪変化によく似ていることがわかる。一方、骨材はコンクリートやモルタルのような歪変化は全く示さず、20 $^{\circ}$ C回復後の残留歪も零となった。これは、本実験で使用した骨材が密

害で良質であったためと考えられる。

○実験 2

歪測定の結果のうち、特に -19.6°C と 20°C 時の歪値に着目し、これらの値と劣化との関係を調べた。ここで、劣化の程度は、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）で表わした。この試験の結果の一部を図-6に示す。冷却の繰返しにともなう -19.6°C 時の収縮歪値の減少と 20°C 時の残留歪値の増大と相対動弾性係数の減少とは、非常によく似た傾向を示している。これは、劣化（相対動弾性係数の減少）の主な原因となるコンクリートの内部組織の破壊は、冷却過程における水の凍結膨張によって起こり、その値が -19.6°C 時の収縮歪、および 20°C 時の残留歪に表われているからであると思われる。

○実験 3

この実験の結果を図-7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 、繰返し回数が10回の供試体の相対動弾性係数を E' とした時の比 E'/E を表わす。これは、図-2の温度変化のうち、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ったことを表わすと考えられる。また、図の回復温度は、供試体中心温度であり、供試体表面とは約 1.5°C の差があった。

図を見ると、回復温度が $-20 \sim -35^{\circ}\text{C}$ の場合に、ある程度の劣化が確認されるのに対して、 -40°C の場合にはほとんど劣化していないのがわかる。これより、コンクリートが極低温の温度変化を受ける場合でも、 -40°C 程度以下での温度変化は劣化に対してほとんど影響がないと考えられる。これは、実験1、2におけるコンクリートの歪変化の測定結果からも裏付けられている。

○実験 4

この実験の結果の一部を図-8～10に示す。ここで、図-8は、配合の異なる4種の湿潤状態の供試体を繰返し温度範囲 $-5 \sim +25^{\circ}\text{C}$ で試験した時の、繰返し回数にともなう相対動弾性係数の変化を表わしている。

また、図-9は、同じ4種の配合の供試体で、繰返し温度範囲を $-25 \sim +5^{\circ}\text{C}$ とした場合、図-10は、 W/C が56%のNon-AEコンクリートで、養生条件を変えた場合の結果を示している。

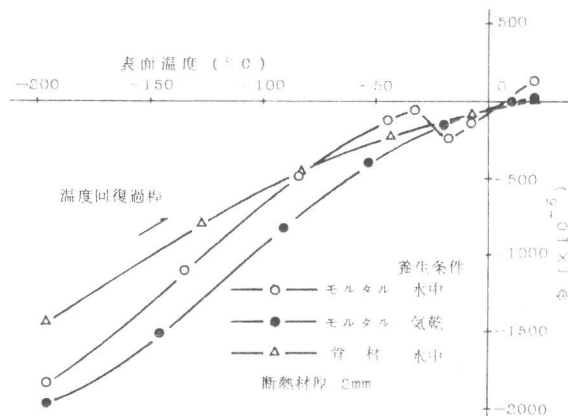


図-5 収縮歪と表面温度との関係

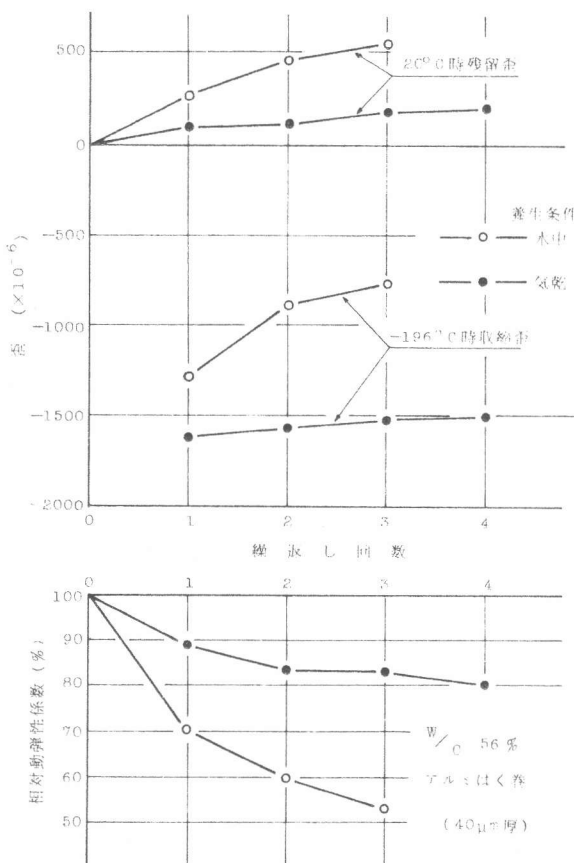


図-6 歪と劣化との関係

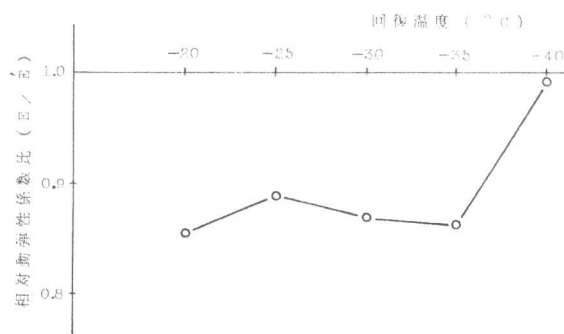


図-7 相対動弾性係数比の変化

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ほど、含水量が少ないほど、そして空気量が多いほど、劣化の程度は小さい。

コンクリートの劣化は、温度変化の初期の数回の繰返しで大きく進行するが、その後はほとんど定常状態となる。ただし、これは、本実験のように、温度変化を受ける間に含水量が変化しない場合、つまり、新しい水分の供給が無い場合にのみ考えられることである。

繰返し温度範囲が、 $-5 \sim +25^{\circ}\text{C}$ の場合と $-25 \sim +5^{\circ}\text{C}$ の場合とを比較してみると、後者の方が全体的に劣化の程度が大きい傾向があるが、 W/C が 3.6 % の場合や、 W/C が 5.6 % でも気乾状態の場合などのように、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、ほとんど劣化は見られない。

5. まとめ

極低温の温度変化を受けるコンクリートの劣化は、主に -30°C 付近で見られる水の凍結膨張量によって決まり、実際に劣化に対して大きな影響を持つ温度範囲は、約 $-40 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の間であると考えられる。したがって、これ以外の範囲、つまり、 0°C 以上の温度範囲はもちろん -40°C 以下の間で温度変化を受けても劣化はほとんど起こらないと考えられる。また、この範囲を含む温度変化を受ける場合であっても、 W/C を小さくしたり、含水量を小さくしたり、あるいは冷却速度を小さくすることによっても、極低温の繰返し温度変化に対して、十分な耐久性を持たせることができると思われる。

また、実際に繰返し温度変化を受けている間においては外部からの水分の供給によってコンクリートの含水量が大きくなるように注意を払うことが、劣化の進行を防ぐために重要であると考えられる。

さらに、劣化の程度は、動弾性係数の減少を測定するだけでなく、歪変化を測定することによっても知ることができる。特に、温度回復後の残留歪値を測定することは、コンクリートの劣化の程度を調べる一つの方法として、実際に用いることも可能ではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 三浦 尚, 後藤幸正, 小島 宏: 極低温の繰返しを受けたコンクリートの劣化に関する研究, コンクリート工学年次講演会講演論文集 No. 1 1979年
- 2) 長谷川明巧, 三浦 尚, 藤原正雄: 冷熱衝撃を受けるコンクリートの歪と劣化との関係について, 土木学会第35回年次学術講演会概要集 1980年9月
- 3) 藤原正雄, 三浦 尚: 極低温の繰返し温度変化を受けるコンクリートの劣化について, 土木学会第36回年次学術講演会概要集 1981年10月

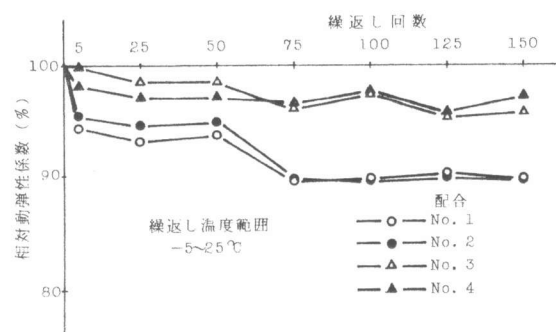


図-8 相対動弾性係数の変化

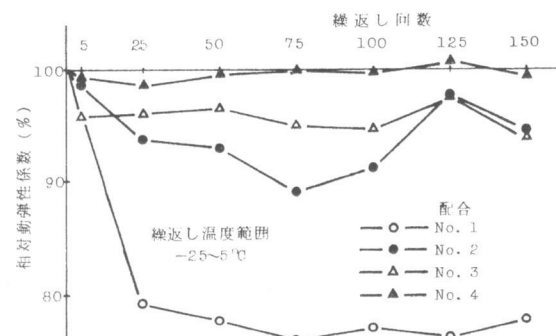


図-9 相対動弾性係数の変化

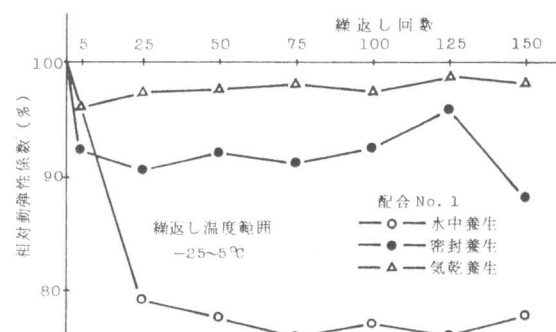


図-10 相対動弾性係数の変化