

コンクリートの低温劣化に対する配合と冷却最低温度の影響

東北大学○学生員 佐藤 誠
東北大学 正会員 三浦 尚
東北大学 川島 恵介

1. はじめに

構造材料として広く用いられているコンクリートは、LPG(液化石油ガス)やLNG(液化天然ガス)タンクを始めとして、寒冷地で建設される構造物の材料としても使用されている。このような低温にさらされる構造物に使用されるコンクリートの需要は、エネルギーのクリーン化の推進にともなって必要とされる、LNG貯蔵施設の材料として増加していくと考えられる。さらに、液体窒素の沸点における高温超伝導技術を応用した電力エネルギー貯蔵施設の実用化にともなう冷却剤の貯蔵施設をはじめとした関連施設の材料としても期待されつつある。低温にさらされるコンクリートは、常温から低温までの繰り返し冷却を受けることで劣化することが知られている。このような繰り返し冷却されるコンクリートの劣化におよぼす配合の影響に関する研究は、一般の気象作用で生じる-20℃まで繰り返し冷却されるコンクリートに対してある程度行われてきた。しかし、液体窒素の沸点である-196℃といった極低温まで冷却されるコンクリートの劣化におよぼす配合の影響を研究したものはあまりない。

そこで本研究では、極低温まで冷却されるコンクリートの劣化におよぼす配合の影響を、コンクリートに連行する空気量を変化させることで調査した。

2. 実験概要

実験で使用したコンクリートの配合を表-1に示す。また、空気の連行を目的として使用したAE剤は、A剤：高性能AE減水剤(無水化タイプ、ポリマー系)、B剤：空気量調整剤(アルキルアリスルホン化合物系陰イオン)の2種類である。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。粗骨材は碎石を、細骨材は山砂を使用した。実験した冷却加熱繰り返し温度範囲を表-2に示す。

表-1 配合表

粗骨材寸法 (mm)	スラコン (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	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 (kg/m ³)	
								20mm と 25mm	15mm と 20mm	13mm と 15mm	10mm と 13mm	5mm と 10mm	A剤	B剤
25	11±1	2±0.5	56	42	177	316	745	324	139	234	234	232	—	—
25	11±1	4±0.5	56	42	165	294	744	324	139	234	234	232	0.737	0.024
25	11±1	6±0.5	56	43	163	291	744	311	133	224	224	223	0.728	0.035

表-2 冷却加熱繰り返し温度範囲

冷却加熱 繰り返し 温度範囲	冷却速度	加熱速度
+4~-50℃	0.35(℃/min)	0.90(℃/min)
+4~-40℃		
+4~-20℃		

なお、実験で使用した供試体は、10×10×40cmの角柱である。

供試体は打設の翌日脱型し、実験開始直前まで水温20℃の恒温水槽で養生した。また、コンクリートの劣化の程度は相対動弾性係数の変化を指標とした。

3. 実験結果および考察

図-1は、サイクル数の増加にともなう相対動弾性係数の減少を冷却加熱繰り返し温度範囲毎にわけて示したものである。図より、サイクル数の増加に対する相対動弾性係数の減少の割合(傾き)は、冷却時の冷却最低温度の違いにかかわらず、空気量が多くなるほど小さくなる傾向を示している。空気連行の効果は、量が多くなるほど、また、冷却時の冷却最低温度が-50℃から-20℃へと高くなるほど顕著になると考えられる。

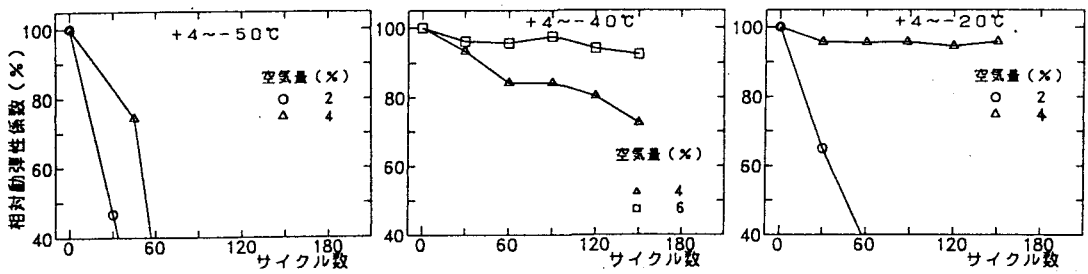


図-1 相対動弾性係数とサイクル数の関係

繰り返し冷却されるコンクリートの劣化は、内部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。コンクリート中の水は様々な要因によって融点降下し、一般の水の凍結温度である 0°C で全ての水が凍結状態になるとは限らない。

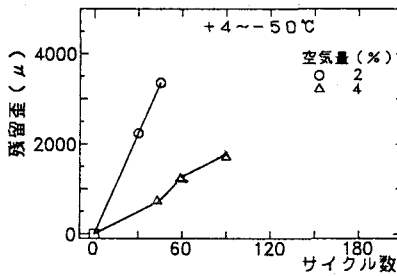


図-2 残留歪とサイクル数の関係

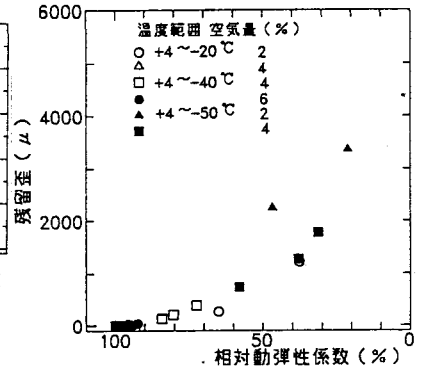


図-3 残留歪と相対動弾性係数の関係

融点降下した水が 0°C より低い温度でそれぞれの融点にあわせて凍結することは、コンクリートに作用する冷却最低温度が変化する場合、作用する冷却最低温度の違いで凍結する水の量が変化することを示している。したがって、コンクリート中の全水分量に占める凍結水量の割合は、冷却最低温度の影響を受けて変化すると考えられる。このため、極低温まで冷却されるコンクリートは、冷却時の冷却最低温度が低下すると凍結する水の割合が高くなるため、一般の気象作用で生じる劣化より激しい劣化が生じると考えられる。しかし、本実験結果より、連行する空気量を増加させることで極低温まで冷却されるコンクリートの耐久性が向上することが認められた。

図-2は、冷却最低温度 -50°C まで繰り返し冷却されるコンクリートの残留歪とサイクル数の関係を示したものである。図より、図-1で観察されたサイクル数の増加にともなう相対動弾性係数の減少と同様に、空気量が2%から4%へと増加するとサイクル数の増加にともなう残留歪の増加の割合は約1/2に減少することが認められた。この空気量の増加による残留歪の増加割合の減少は、残留歪の増加の原因であるコンクリート中に生じるマイクロクラックの成長が空気の連行によって形成されたAE空隙によって抑制されるために生じると考えられる。

図-3は、残留歪と相対動弾性係数の関係を示したものである。図は、劣化によって生じる残留歪が冷却時の冷却最低温度や空気量の違いの影響を受けず、相対動弾性係数の減少にともなって増加することを示している。この結果は、相対動弾性係数と残留歪の関係が高い相関を示すことを表している。一般に、繰り返し冷却を受けるコンクリートの劣化の度合いは、相対弾性係数の減少を指標として定量化されている。したがって、本実験結果で示された残留歪と相対動弾性係数の関係は、極低温まで繰り返し冷却されるコンクリートの劣化を相対動弾性係数の減少のみならず残留歪の増加から定量的に推定する可能性を示していると考えられる。

図-3は、残留歪と相対動弾性係数の関係を示したものである。図は、劣化によって生じる残留歪が冷却時の冷却最低温度や空気量の違いの影響を受けず、相対動弾性係数の減少にともなって増加することを示している。この結果は、相対動弾性係数と残留歪の関係が高い相関を示すことを表している。一般に、繰り返し冷却を受けるコンクリートの劣化の度合いは、相対弾性係数の減少を指標として定量化されている。したがって、本実験結果で示された残留歪と相対動弾性係数の関係は、極低温まで繰り返し冷却されるコンクリートの劣化を相対動弾性係数の減少のみならず残留歪の増加から定量的に推定する可能性を示していると考えられる。

4. 結論

- (1) 極低温まで冷却されるコンクリートの耐久性を向上させるためには、空気を多く連行する必要がある。
- (2) コンクリートの残留歪の挙動は、相対動弾性係数の変化と相関がある。