

V - 6 コンクリートの極低温劣化に及ぼす水セメント比と冷却最低温度の影響

東北大学 正会員○佐藤 誠
東北大学 正会員 三浦 尚
東北大学 学生員 内蘭 雅仁

1 はじめに

極低温に曝される構造物の材料としてのコンクリートは、LNG（液化天然ガス）タンクや寒冷地に建設される構造物等をはじめとして広く利用されている。今後、低温材料としてのコンクリートの需要は、高温超伝導技術を応用した電力エネルギー貯蔵システム構造物への利用も含めて幅広い分野で増加していくと考えられる。極低温下で使用されるコンクリートは、気象作用よりも厳しい常温から極低温までの冷却加熱繰り返し作用を受けることで激しく劣化することが知られている。

本研究は、常温から極低温までの冷却加熱繰り返し作用を受けるコンクリートの劣化に対する水セメント比の低減の効果を調査することを目的として、種々の配合のコンクリートに冷却加熱繰り返し作用を与える事で実験を行なった。

2 実験条件

本実験で使用したコンクリート供試体の配合条件を表-1に示す。実験で採用した水セメント比は、36%、46%の2種類である。また、空気量は水セメント比36%のコンクリートでは5%を最高に、それより低い4、3、2%の4種類とし、46%のコンクリートでは6%を最高に5、4、3、2%の5種類とした。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川砂を使用した。使用した混和剤は、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（アルキルアリルスルホン化合物系陰イオン）、C剤：AE減水剤（リグニンスルホン酸、ポリオール複合体）の3種である。実験を行った水セメント比毎の冷却加熱繰り返し温度範囲を表-2に示す。冷却加熱速度は、冷却速度0.35（℃/min）、加熱速度0.90（℃/min）とした。

コンクリートの劣化は、たわみ一次共振振動数の測定値より求めた相対動弾性係数の変化で推定した。

本実験で使用した供試体は、10×10×40cmの角柱である。供試体は打設後24時間で脱型し、材齢28日まで水温20℃の恒温水槽で養生した。

3 実験結果及び考察

図-1は、水セメント比がそれぞれ36、46%のコンクリートの耐久性指数と空気量の関係を冷却加熱繰り返し温度範囲毎に示した図である。

図より、水セメント比36%のコンクリートの耐久性は、空気量が2、3、4、5%と増加するにつれて向上した。特に冷却最低温度-70℃の（-70℃まで冷却された）コンクリートでは、空気量4%で耐久性は急に増加した。

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材最大寸法の法	スのララン	空気量の	水セメン	粗骨材	単 位 量 (Kg/m ³)											
					水	セメント	粗骨材	粗 骨 材 G					混 和 剤 (g/m)			
								20mm	15mm	13mm	10mm	5mm	A 剤	B 剤	C 剤	
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	C	S	25mm	20mm	15mm	13mm	10mm				
25	11±1	2±0.5	36	36	174	483	593	238	240	240	142	332	4662.0	—	—	
25	11±1	3±0.5	36	38	160	500	605	228	225	225	132	331	2500.0	20.0	200.0	
25	11±1	4±0.5	36	38	167	463	619	228	230	230	136	319	—	27.8	1159.7	
25	11±1	4±0.5	36	38	167	463	610	225	226	226	134	314	—	37.1	1159.7	
25	11±1	2±0.5	46	40	171	372	596	237	436	72	106	330	2232.0	—	—	
25	11±1	3±0.5	46	39	171	372	670	237	425	72	105	311	—	14.9	330.0	
25	11±1	4±0.5	46	39	168	365	666	236	426	71	105	329	—	21.9	912.5	
25	11±1	5±0.5	46	39	168	365	656	232	233	233	138	323	—	27.3	913.0	
25	11±1	6±0.5	46	39	168	365	646	228	230	230	136	318	—	32.8	913.0	

表-2 冷却加熱繰り返し温度範囲

繰り返し温度範囲	水セメント比	
	36%	46%
I +4~-70	○	○
II +4~-50	○	○
III +4~-40	○	○
IV +4~-30		○
V +4~-20		○

○実験した温度範囲

冷却最低温度が-40℃のコンクリートは、空気量2%でも耐久性指数が90%以上と高い耐久性を示しており、空気量の増加に伴う耐久性指数の増加割合（傾き）はゆるやかであった。

水セメント比46%のコンクリートは、水セメント比36%のコンクリートと同様に空気量の増加に伴い耐久性が向上した。空気量の増加に伴うコンクリートの耐久性指数の増加割合は、冷却最低温度-20℃のコンクリートを除いて冷却最低温度が上昇するほど大きな値を示している。同じ水セメント比のコンクリートにおける耐久性指数の増加割合と空気量の関係には冷却最低温度が大きく影響していると考えられる。

図-2は、図-1

の空気量と耐久性指数の関係より求められる耐久性指数と冷却最低温度の関係を空気量毎に示したものである。

水セメント比36%のコンクリートでは、冷却最低温度-70℃においても4%以上の空氣の連行で高い耐久性を示している。冷却最低温度の上昇に伴う耐久性指数の増加は、空気量4、5%のコンクリートではわずかであったが、

空気量が2%、3%の

コンクリートでは、冷却最低温度の上昇に伴う耐久性指数の増加が見られた。

水セメント比が46%のコンクリートでは、冷却最低温度が上昇するのに伴って耐久性の向上割合が急激に変化する冷却最低温度の遷移点（変化点）が見られた。この遷移点は、水セメント比36%のコンクリートでは明確ではない。冷却最低温度の遷移点は、空気量が2%から6%へと増加するのに伴って下がる傾向を示している。

以上の結果より、コンクリートの劣化は、繰り返し冷却での冷却最低温度の影響を受けると考えられる。この事は、冷却最低温度-20℃から-70℃までの繰り返し冷却に曝されたコンクリートのものも耐久性は一樣ではなく、冷却時の最低冷却温度の違いによって異なる事を示している。この原因は、コンクリート中に分布する様々な大きさの細孔内の水の凍結温度の違いによるものと考えられる。一般に、細孔水の凍結は、温度の低下に伴って大きな径のものから小さな径のものへと順に発生することが知られている。冷却最低温度を低下させることは、コンクリートの全細孔に占める凍結した細孔の割合を大きくすることであると考えられる。セメントペースト中に発生する細孔水の凍結による凍結膨張応力は、冷却時の冷却最低温度の違いによって変化すると考えられる。空氣の連行による凍結膨張応力の抑制効果は、空気量と使用したAE剤が同じ場合（氣泡の径や氣泡間隔が同じであると考えられる）は冷却最低温度の違う場合においてもほぼ一定と考えられる。冷却最低温度の低下により凍結した細孔が増加してセメントペーストに凍結膨張抑制力以上の応力が発生した場合には、ペースト組織が破壊され急に劣化が進行していくと考えられる。この事は、水セメント比を減少させることでペースト自体の強度とペースト内部に存在する凍結可能な細孔を減少させ、コンクリートの耐久性をより向上させることが出来る事を示していると考えられる。

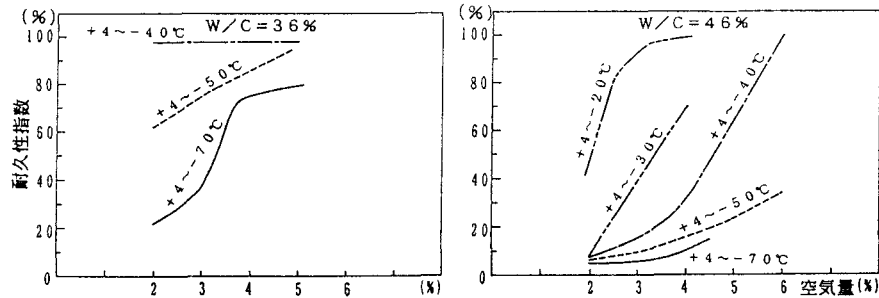


図-1 耐久性指数と空気量の関係

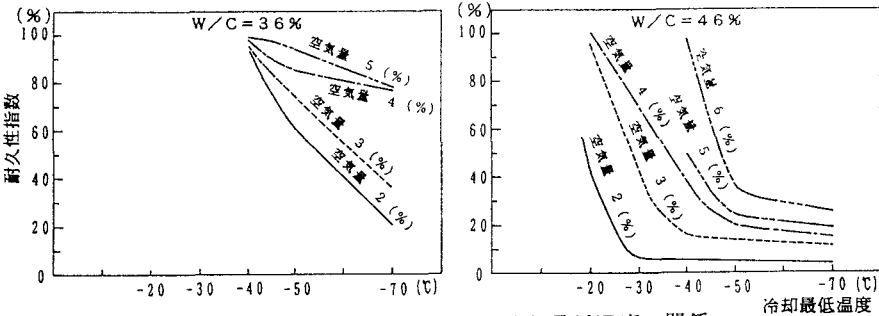


図-2 耐久性指数と冷却最低温度の関係