

1. まえがき

近年、LNGが、無公害燃料として注目され、その使用は、益々盛んになってきている。それにともなう、LNG貯蔵の必要性から、貯蔵タンクに使用されるコンクリートの、低温性状に関する研究が、国内外で行なわれている。それら諸文献によれば、「極低温下でのコンクリートの、圧縮強度、引張強度、曲げ強度、付着強度は、常温での強度に比べ、増加する傾向にある」と報告されている¹⁾²⁾。しかし、極低温下でのコンクリートの衝撃強度が、どのように変化するかについてなされた報告は、あまり例がないようである。そこで本文では、コンクリートの、極低温下での衝撃試験、圧縮試験、および、曲げ試験の結果について、報告する。

2. 実験概要

シャルピー衝撃試験、圧縮試験、曲げ試験を、表-1に示す要因と水準で、室温と極低温での、各々の強度について実験を、行なった。表-1中で、打設条件とは、供試体の打設日が異なり、ため、設けた。

a) 使用材料・配合 セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、相模川産の川砂で、最大粒径 5mm F.M.3.3 比重 2.63であった。粗骨材は、利根川産の川砂利で、最大粒径 10mm ・F.M.5.2 比重 2.70であった。コンクリートの配合は、表-2に示す。配合強度は、 250kg/cm^2 スランブは、 18cm とした。混和剤は、減水剤として、マイティー150を、使用した。

b) 供試体 各試験に使用した供試体の、寸法、形状 F/V を、表-3に示す。 F/V のFは、供試体表面積(cm^2) Vは、供試体体積(cm^3)を、あらわす。

c) 養生方法・材令 水中養生は、供試体を、打設翌日に脱型し、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温水槽で、水中養生とした。空中養生は、供試体を、打設後室内で防水シートで覆い、試験日まで放置した。試験材令は、4週から8週であった。

d) 冷却方法 供試体を、液化窒素槽に浸液し、 -196°C まで冷却した。供試体中央温度は、銅-コンスタンタン熱電対を使用して、自動記録させた。その結果、供試体 F/V と、 -196°C までの冷却時間、および、温度上昇率は、図-1図-2のようになった。試験時は、供試体を、グラスウールでつつみ、温度上昇しにくいようにした。

e) 試験方法 衝撃試験は、 30kg-m シャルピー試験

表-1 試験の要因と水準

試験	要因	水準	1	2	3
シャルピー 衝撃試験	養生条件 A	水中養生	空中養生		
	試験温度 B	室 温	- 190℃		
	打設条件 D	D - 1	D - 2	D - 3	
圧縮 強度試験	養生条件 A	水中養生	空中養生		
	試験温度 B	室 温	- 190℃		
	形 状 C	50	100		
	打設条件 D	D - 1	D - 2		
曲げ 強度試験	養生条件 A	水中養生	空中養生		
	試験温度 B	室 温	- 190℃		
	形 状 C	45	115		
	打設条件 D	D - 1	D - 2		

表-2 コンクリートの配合

W/C %	S/a %	$W\text{kg/m}^3$	$C\text{kg/m}^3$	$S\text{kg/m}^3$	$G\text{kg/m}^3$	$W_a\text{g/m}^3$
60	50.2	190	317	879	861	1902

表-3 供試体の形状

試験の種類	試験体の寸法形状	表面積	体積	F/V
衝撃試験 供試体	$4 \times 4 \times 16\text{cm}$	288	256	115
	$5\phi \times 10$	196	196	100
圧縮試験 供試体	$10\phi \times 20$	785	1570	50
	$4 \times 4 \times 16$	288	256	113
曲げ試験 供試体	$10 \times 10 \times 40$	1800	4000	45

機を使用した。衝撃値は、 $\frac{E}{A} \text{ kg-cm/cm}^2$ とし、衝撃エネルギー $E=WR(\cos\beta-\cos\alpha)$ として計算した。ただし、 W は重り重量、 R は重りの回転半径、 α, β は重りの持ち上げと振りあがり角度、 A は破断断面積、圧縮試験は、50tおよび200t 万能試験機を使用した。曲げ試験は、4×4×16は、JISR-5201 10×10×40は、JISA-1106 に準じて、行なった。

3. 試験結果および考察

試験結果を、表-4に示す。試験結果は、分散分析を、行なった。主効果および交互作用の要因効果を、図-3に示す。

a) 衝撃試験 コンクリートの衝撃強度は、今回の実験範囲では、極低温下においても、有意差が出ず打設条件のみ危険率1%で、有意となった。-60℃まで、氷の衝撃試験を行なったところ、衝撃強度は、コンクリートの1/10程度で、ほとんど変化がなかった。このことから、コンクリートが、極低温下においても、衝撃強度は変化しないだろうと、いう考がえも成り立つがコンクリートと、凍結した自由水の関係は、明確でない。

b) 圧縮試験 試験温度と養生条件の交互作用が、危険率1%で有意となったが、これは、コンクリート中の自由水が凍結し、氷の強度が増加すること、等によるものと思われる。-190℃での圧縮強度は、常温強度に比べ、空中養生で、2.7倍、水中養生で、3.1倍となった。

c) 曲げ試験 曲げ強度は、常温強度に比べ-190℃で、2.1倍となった。試験温度と形状の交互作用が、危険率5%で有意となったが、原因として、載荷方法、冷却速度、供試体寸法の違い、等が考えられる。

4. まとめ

極低温下でも、コンクリートの衝撃強度に、変化はみられなかった。圧縮強度、曲げ強度は、極低温下で、増加する傾向にある。

参考文献

- 1)内田ほか：極低温下のコンクリートの性状に関する研究その1その2 建築学会大会梗概集 49.10
- 2)石山ほか：超低温下におけるコンクリートの強度特性 土木学会第26回年次講演集第5部、昭和46

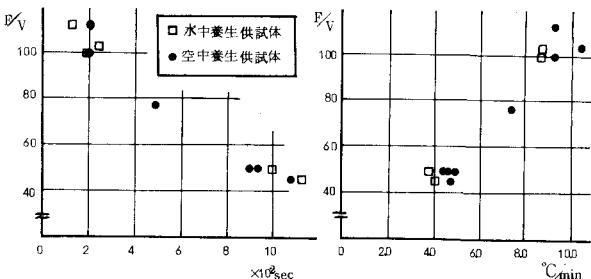


図-1 -196℃までの冷却時間

図-2 -196℃からの温度上昇率

表-4 試験結果

実験番号	試験の種類	供試体の寸法	打設条件	常 温		-190℃	
				養生条件		養生条件	
				水中養生	空中養生	水中養生	空中養生
1	衝撃試験	4	1	2.2	2.5	2.0	1.9
2		×		2.2	2.5	2.5	1.8
3		4		6	1.4	1.1	1.1
4		×	2	1.5	1.1	9	6
5		16		1.5	1.4	1.9	2.6
6		$E_V=113$	3	2.6	2.0	2.6	7
7	圧縮試験	5φ	1	2.10	1.56	6.92	1.17
8		×	2	3.31	1.78	1.182	4.13
9		$E_V=100$	3	4.25	3.25	12.05	9.27
10		10φ	1	2.92	1.96	9.19	5.10
11		×	2	3.35	2.27	1.122	6.75
12		$E_V=50$	3	4.02	2.73	10.36	8.73
13	曲げ試験	4×4×16	1	6.3	5.0	1.53	8.4
14		$E_V=113$	2	8.0	3.8	1.97	7.7
15		×	3	7.5	5.8	1.70	13.4
16		10×10×40	1	4.9	3.3	1.12	7.5
17		$E_V=45$	2	5.9	2.8	1.28	6.0
18			3	5.9	4.6	5.9	7.2

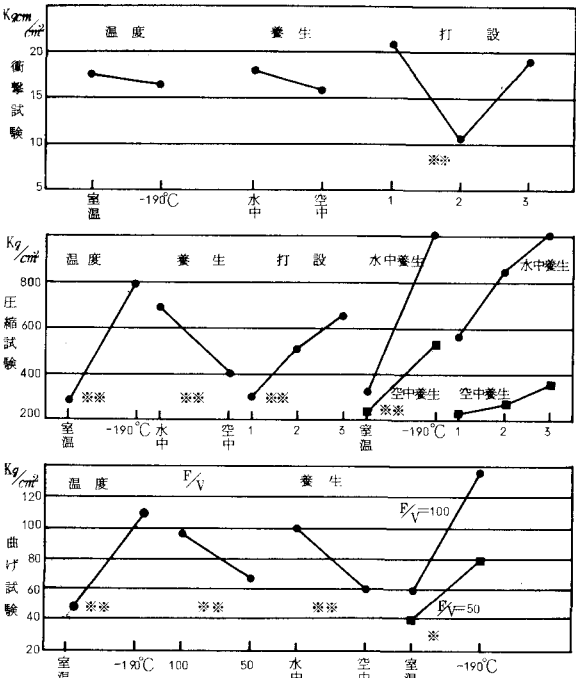


図-3 要因効果図 (注) ※※ 99% ※※ 95% 有意