

清水建設(株) 正会員 ○今井 実

岡田 武二

まえがき 近年、液化天然ガス(LNG)を貯蔵する方法として、コンクリート製タンクが使用されつつある。LNGの貯蔵時における温度は、 -162°C と極低温であり、コンクリートの温度は長期にわたって徐々に極低温状態となる。したがって、コンクリートの極低温下における諸性質について把握することはきわめて重要である。これらに関する研究は数少ないのが現状である。本研究は、水セメント比、含水量、空気量を变化させたとき、これらの極低温下におけるコンクリートの諸性質に与える影響について検討したものである。

使用材料 セメントは、普通ポルトランドセメント(日本セメント社製)を使用した。骨材は、富士川産の川砂、川砂利で表面乾燥状態で使用した。その物理試験成績は表-1に示した。混和剤は、遅延型減水剤と空気連行剤を使用した。配合は5種類とし、スランプを $10 \pm 2\text{cm}$ に設定した。

試験方法 実験に用いた要因と水準および供試体寸法を表-2に示した。含水量は実験値を示した。試験は枕令28日とし、試験枕令まで水中養生した。供試体の冷却は、液体窒素(LN_2)を冷媒とし、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ に自動制御できる低温槽によって行った。供試体の温度管理は熱電対を埋設し、槽内の温度と供試体表面温度(ここではコンクリート中で表面から1cmの場所)の差が 10°C の範囲内にあるようにし、中心部が所定の温度になるまで冷却した。圧縮強度試験は、中心部が所定の温度に達した供試体をアムスラー試験機に設置されている簡易槽(LN_2 槽内)に入れ、所定の温度を保ちつつJIS A1108に準じて行った。弾性係数試験は、圧縮強度供試体に低温用表面ゲージを圧着し測定した。線膨張係数は、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体の両端にコンタクトボールを埋込み、供試体の温度が所定の温度に達したら槽内から取り出し、たたらにダイヤルゲージ方式転倒型長さ変化測定器で各温度過程での長さ変化を測定し求めた。

試験結果 圧縮強度について

図-1は、水セメント比の違いが極低温でどのような圧縮強度性状を示すかを図示

したものである。いずれの表-2要因と水準および供試体寸法水セメント比の場合でも、温度の低下につれて強度の増加が認められた。次に水セメント比間の強度について見れば、 20°C では大きな差を認めることができるが、温度が -10°C 以下ではほぼ近似した値である。たとえば $w/c=48\%$ と 38% の強度差は、 20°C で $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 -50°C で $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の値となり、 -50°C での強度差は 20°C に比し $1/5$ 程度になる。温度の低下に伴って強度が増加する原因は、コンクリート中の自由水の凍結によるものと考えられている。低温度における水セメント比間の強度差が小さいことは、コンクリート中の自由水の量の違いによるものと思われる。そこで図-1中の水セメント比の含水量(=自由水)と圧縮強度比との関係を表わしたものが図-2である。含水量は、次式によって求めた。

$$\text{含水量}(\%) = \frac{(\text{枕令28日の乾燥前の重量}) - (\text{乾燥後の重量})}{(\text{乾燥後の重量})} \times 100$$

要因	水準	供試体寸法
水セメント比	38, 43, 48%	圧縮強度
含水量	5.32, 5.81, 6.36%	弾性係数
空気量	$2 \pm 1, 5 \pm 1, 10 \pm 1\%$	線膨張係数
試験温度	20, 0, -10, -30, -50, -100	$10 \times 10 \times 40\text{cm}$

	比重	含水量	粗粒率
粗骨材	2.63	1.24	6.94
細骨材	2.61	2.36	2.97

表-1 骨材の物理試験成績表

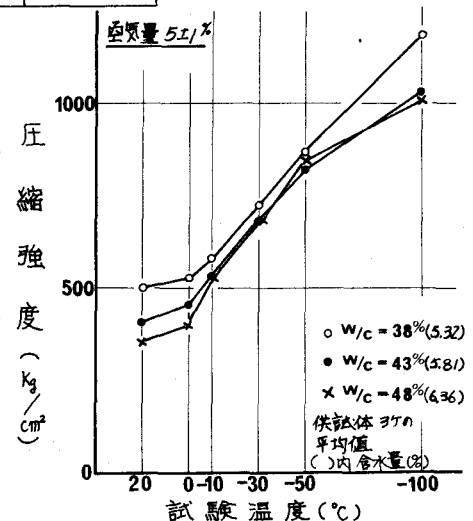


図-1 試験温度と圧縮強度との関係

結果によれば、含水量が強度の増加に与える影響が大きくなる事が明らかであるとともに、強度増加割合は、温度が低下するにしたがって大きくなる。たとえば、含水量 5.32% (w/c=38%), 5.81% (w/c=43%), 6.36% (w/c=48%) の強度増加は、試験温度 -10℃ で 1.05 倍, 1.11 倍, 1.13 倍, -50℃ で 1.74 倍, 2.00 倍, 2.41 倍となる。

図-3 は、w/c=43% を一定とし空気量と圧縮強度比との関係を示したものである。これによれば、空気量が大きくなるほど強度増加が大きくなり、かつ温度の低下にしたがって増加割合は大きくなる傾向にある。これは試験枚々まで水中養生したためこの間に含水量が増加したためと思われる。ちなみに空気量 1.8% で 0.78%, 4.6% で 1.21%, 9.4% で 0.93% 増加した。弾性係数について、弾性係数は、圧縮強度試験と同時にを行った。図-4 は、試験の一部である w/c=43% の応力-ひずみ曲線を表わしたものである。図でもわかるように温度が低下するほど、すなわち圧縮強度が増大するほど、応力-ひずみ曲線の初期接線係数も大きくなっている。また破壊に至るまでのひずみ量も低温になるにしたがって大きくなる傾向を示した。弾性係数は、最大圧縮応力の 1/3 の点における正割係数を求めこれを弾性係数とすれば、常温に対する増加割合は

-50℃ で 1.3 倍, -100℃ で 1.7 倍である。

線膨張係数について

図-5 は、温度低下に伴う収縮ひずみを表わしたものである。いずれの水セメント比も温度の低下に伴い一様に収縮傾向を示す。線膨張係数は各温度間の収縮ひずみを温度差で除した値とすれば、20~0℃ 間では $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 0~-10℃ で $16.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, -10~-100℃ で 9.0×10^{-6} を示す。最大値を示す温度範囲は、0~-10℃ であり、自由水の凍結後に生ずる収縮傾向が大きくなることを示すものと思われる。

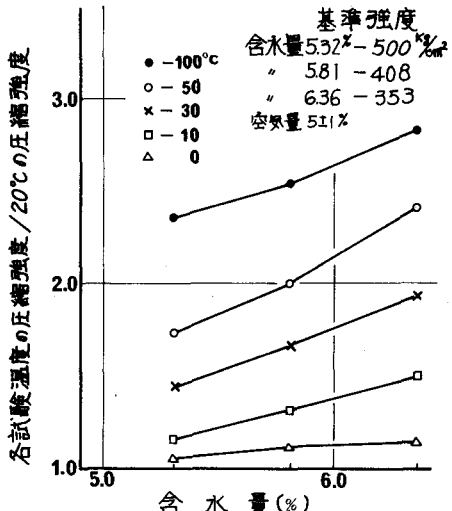


図-2 含水量と圧縮強度比との関係

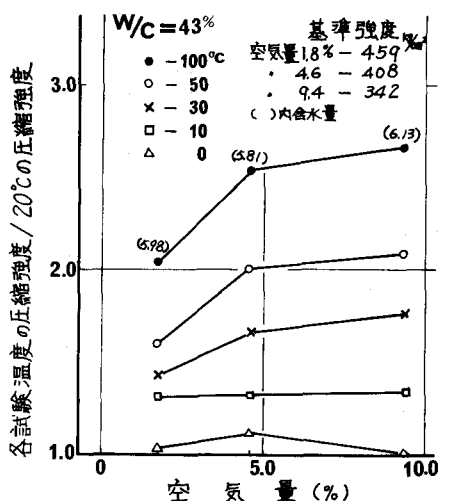


図-3 空気量と圧縮強度比との関係

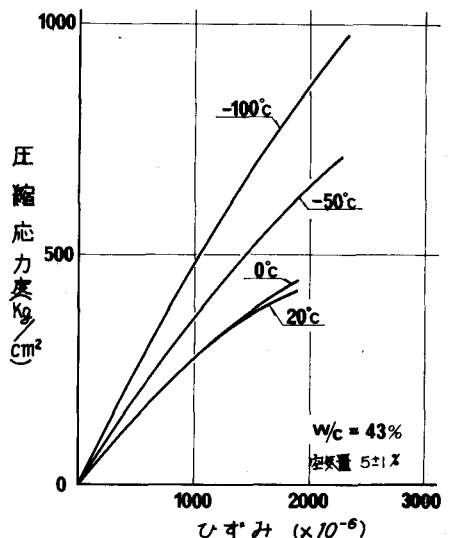


図-4 応力-ひずみ曲線

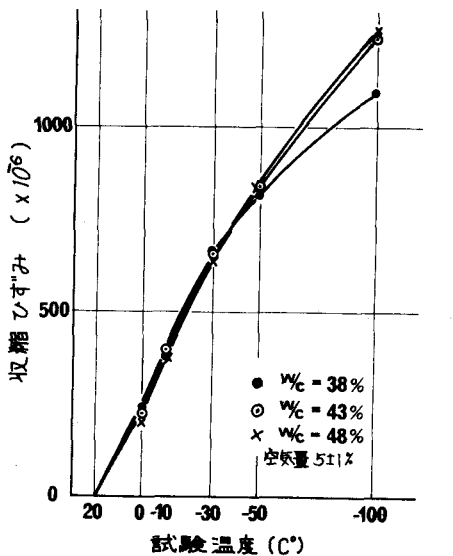


図-5 温度の低下による収縮ひずみ