

電力中央研究所 正 ○岡沢 孝雄

" 正 大沼 博志

1. まえがき

鉄筋コンクリート製LNGタンクの設計上の基礎的材料物性として、極低温下におけるコンクリートの強度、クリープ特性ならびに凍結抵抗性を検討するために -160°C までの低温での実験を行なったものである。

2. 使用材料および供試体の養生

実験に用いたセメントは普通ポルトランドセメントを、骨材には川砂利・川砂および砕石・砕砂を使用した。実験したコンクリートの配合は4種類で表-1に示した。

供試体の養生は水中の標準養生と、屋内に放置した空中養生およびクリープ試験は銅板でその他の場合にはゴム系のシール材で表面を被覆し水分の出入を防いだ密封養生の3種類とした。

3. 試験方法

表-1 コンクリートの配合

(1) 強度試験は低温槽で液体窒素を用いてあらかじめ所定の温度に冷却した供試体をアムスラ試験機に設置した保冷箱に入れ所定の温度を保ちながらJIS A 1108,1106,1113に準じて行なった。

弾性係数試験は圧縮強度供試体に低温用表面ゲージを貼付し測定した。

(2) クリープ試験は低温1軸圧縮クリープ試験装置を用いて材令63日で試験を開始した。載荷応力は 20°C の場合は $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 、低温の場合は $105\text{kg}/\text{cm}^2$ とした。クリープ測定期間およびクリープ回復測定期間はそれぞれ70日および14日間とした。試験の順序は、最初に所定の試験温

No	骨 材	最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
					W	C	S	G	P5L
A	川砂利	25	59	41	147	250	799	1163	2.5
B	"	"	38	37	155	425	655	1126	4.25
C	砕 石	20	71	46	189	265	833	994	2.65
D	"	"	43	41	186	435	689	1004	4.36

表-2 試 験 項 目

試験項目	配 合 No	供試体寸法 (cm)	養生方法	試験温度 ($^{\circ}\text{C}$)
圧縮試験	A, B, C, D	$\phi 10 \times 20$	水中, 密封, 空中	$20, 0, -20, -60, -100, -160$
引張 "	"	$\phi 15 \times 15$	"	"
曲げ "	"	$10 \times 10 \times 40$	"	"
クリープ	A	$\phi 15 \times 60$	密 封	$20, -10, -20, -60, -100$
凍結融解	A, B	$10 \times 10 \times 40$	水中, 空中	常温 ~ -18 , 常温 ~ -40 常温 ~ -60 , 常温 ~ -100

度まで供試体を冷却し、それから応力を賦与した。令起速度は最大で4時間毎に 10°C づつとした。

(3) 凍結融解試験は空中における凍結および融解を行なう方法により、表-2に示す4種類の温度履歴について、それぞれ30サイクル実施した。試験は低温槽に4種類 $\times$ 3本計12本づつ収容し、槽内温度を所定の試験温度になるように液体窒素を噴出させて調節し、供試体中心温度が試験温度に達するまで継続し冷却凍結させた。融解は供試体が所定の凍結温度に達した後、低温槽の蓋を開け、槽内の攪拌扇で暖かい外気と換気する方法によった。凍結融解の速度は1日1サイクルの速さで行なった。

4. 試験結果

(1) 強度 i) 低温下におけるコンクリートの圧縮強度、曲げ強度および引張強度は、いずれも 0°C の場合は常温とほとんど差はないが、これ以下の温度条件になると温度の低下とともに各種の強度が増加した。また水中養生の場合には、 -100°C ではほぼ最大値に達し、 -160°C においては強度増加はほとんどみられず逆に -100°C よりも減少する傾向にあった。

ii) 河川骨材と碎石・砕砂を用いた配合の強度試験の比較から、強度増加に及ぼす骨材の影響はほとんどみられなかった。

iii) コンクリートを水中、密封および空中養生と養生方法を変えた場合、いずれの強度も温度低下とともに増加し、各強度値ならびにその増加率は水中養生の場合が最も大きく、次いで密封養生、空中養生の順であった。

iv) 低温時の強度の増加率は水セメント比の大きい配合の場合が大きかった。

(2) クリープ特性 i) コンクリートの低温下におけるクリープは常温に比べて小さく、温度の低下とともに減少する。 ii) 低温下におけるコンクリートのクリープ曲線の特徴は載荷初期の段階で比較的大きなクリープが生じ、それ以後はそれ程増加しないことである。

iii) 低温下におけるクリープ係数は、温度によって変化せずほぼ一定値であり、常温のおよそ80%である。したがって、コンクリートのクリープを考慮することによって、温度勾配を受けたコンクリート構造物の熱応力を低減させる場合には、応力低減量を少なめに見積らなければならない。 iv) いくつかの実験表示式についてクリープ曲線のあてはめを行なった結果、以下に示すようなセメントの水和と水の粘性を考慮した式、ならびに、べき関数式がよく実測値を近似することが示された。

v) 低温下におけるコンクリートのクリープ回復ひずみの大部分は除荷初期の段階で生じ、温度が低下するとクリープ回復は小さくなる傾向にある。しかし、温度とクリープ回復あるいは回復率との関係について定量的に把握することはできなかった。

(3) 凍結融解に対する耐久性

相対弾性係数は配合にかかわらず養生条件によって影響を受け、水中養生の場合は空中養生の場合よりもその低下は大きい。水セメント比の大きい配合は小さい配合より凍結融解に対する耐久性は小さい。

冷却温度が低いほどコンクリートの損傷の程度は大きく耐久性は低下する傾向にある。

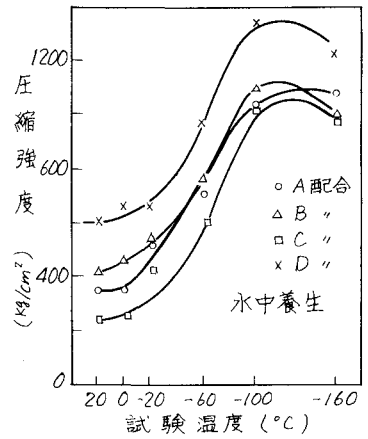


図-1 低温下の圧縮強度

$$\epsilon(t) = 1/E_i + A \left\{ \ln \left(\frac{K+t}{K} \right) \right\}^{1/q} (\times 10^{-6} / \text{kg/cm}^2) \dots (1)$$

$$\epsilon(t) = 1/E_i + a \cdot t^b (\times 10^{-6} / \text{kg/cm}^2) \dots (2)$$

ここに、 $\epsilon(t)$: 載荷後 t 日における単位応力度当りの弾性ひずみとクリープひずみの和、 E_i : 瞬間弾性係数、 K : 載荷時の材令、 A, q, a, b : 定数

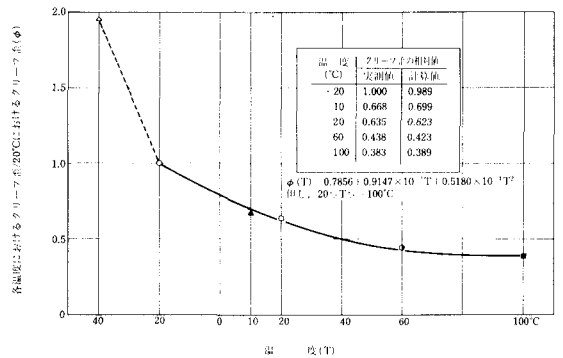


図-2 相対クリープ歪と温度との関係

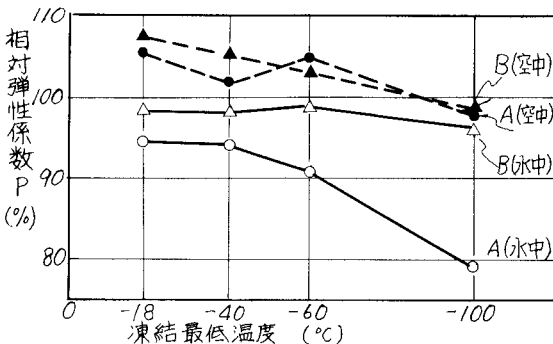


図-4 凍結融解30サイクルにおける耐久性

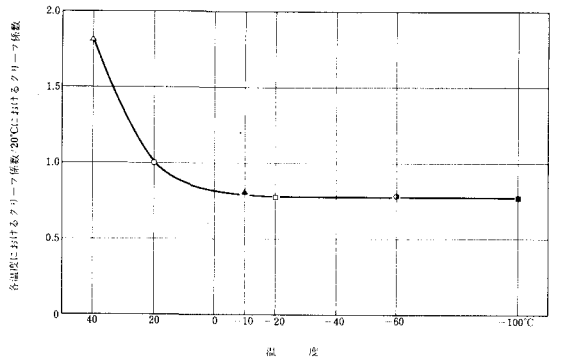


図-3 相対クリープ係数と温度との関係