

(株)間組 技術研究所 正員 山口 靖紀

同 同 〇三原 正哉

(株)間組 仙台支店 石川 昭

1. まえがき

鉄筋コンクリート製L形タンクの構造設計上の問題点の1つは、低温下での鉄筋およびコンクリートの力学的性質である。本報告は、低温下での鉄筋およびコンクリートの強度試験を行い、その結果について2・3の考察を述べたものである。

2. 使用材料および試験方法

(1) 鉄筋 D10(SD35)を円形断面に加工し、ひずみゲージを貼りつけたものを用いて、引張試験を行った。鉄筋の温度は、常温(15℃)、-10℃、-40℃、-100℃、-160℃の5段階とし、各温度に対し3体ずつの供試体を用いた。試験は、引張部を冷却箱で覆い、LN₂ガスを送り込みながら徐々に温度を下げ、所定の温度とした後行った。

(2) コンクリート φ100×200の円柱供試体を用い、圧縮試験と引張試験(割製試験)を行った。配合を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は荒川産川砂(FM=2.81)、粗骨材は最大寸法が15mmの荒川産川砂利を使用した。

供試体は、打設後2日目に脱型、14日目まで水中養生(20℃)、28日目まで恒温恒湿室(20℃、60%)で養生し、その後所定の温度まで冷却した。供試体の温度は、常温(15℃)、-10℃、-40℃、-100℃、-160℃の5段階とし、供試体の数は、各温度に対し圧縮試験、引張試験とも6体ずつとした。供試体は、冷却槽でLN₂を用い徐冷し、12時間以上所定の温度に保った後、すばやく取り出し載荷した。試験中の温度上昇分については、あらかじめ実験した温度-放置時間の関係より補正した。圧縮試験では弾性係数を調べるため、ひずみの測定も行った。

3. 試験結果および考察

(1) 鉄筋 引張強度と温度の関係を図-1、弾性係数・伸び・絞りとの温度の関係を図-2に示す。

破断形状は、-100℃より高温では全て標点内延性破断、-160℃では2体が標点外(未加工部)脆性破断、1体が標点外(未加工部)延性破断を示した。

一般に鉄筋の降伏点 σ_y と絶対温度 T_k の関係は指数関数でよく表わされ、常温、-10℃、-40℃、-100℃の12体の本試験結果からは次式が得られた。

$$\sigma_y = 30.8 \exp(78.7/T_k) \quad \sigma_y: \text{降伏点 (kg/mm}^2\text{)}, T_k: \text{絶対温度 (}^\circ\text{K)}$$

弾性係数は、温度の低下とともに漸増し、3体の平均では-160℃で常温の1.04倍になっている。伸び・絞りは、-100℃まではほとんど変化しない。

Pelliniらは、軟鋼などの低強度材料においては、-160℃以下の低温では巨視的な延性をほとんど示さず、

G _{max} (mm)	スラン プ (cm)	空気量 (%)	w/c	S/a	単 位 量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	混和剤
15	12±2	4±1	53	49	167	315	884	917	Pogg 5L 0.7875

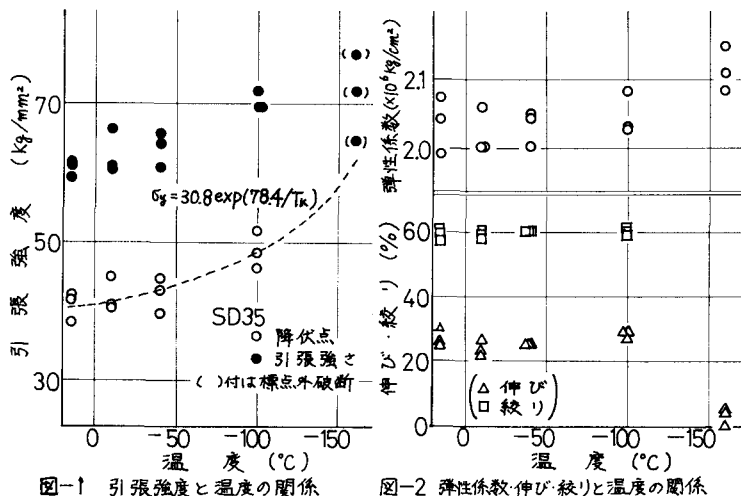


図-1 引張強度と温度の関係

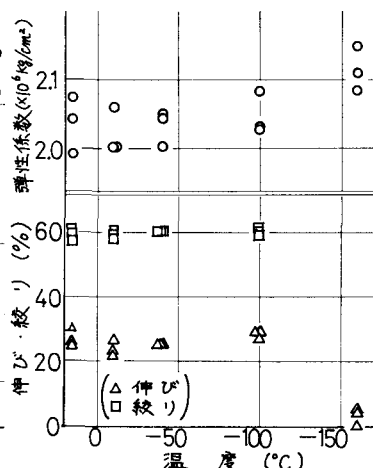


図-2 弾性係数・伸び・絞りと温度の関係

降伏点と引張強度、破断強度は等しくなると述べている。また、切欠きのある場合、低温では著しく破断強度が低下することを示している^{1,2)}。本試験からも -160°C では、脆性破断を起し、降伏点が測定されなかった。

本試験結果から、低温では鉄筋の強度は増加するが、次の点には考慮を要すると思われる。

①極低温では鉄筋は脆化し、鉄筋コンクリート構造物としたとき、靱性率が低下する。

②低温では鋼材の管理に特に注意し、切欠きなどのないようにする。

(2) コンクリート 圧縮強度、

引張強度、弾性係数(圧縮強度の $1/2$ 点の割線弾性係数)と温度の関係を図-3~5に示す。

圧縮強度は温度の低下とともに増大し、 -110°C 付近で常温の約2.3倍になっている。引張強度はバラツキが大きい、温度の低下とともに増大し、 -110°C 付近から頭打ちとなり、さらに低温では減少している傾向がある。 -100°C 付近で常温の約2.3倍になっている。弾性係数は温度の低下とともに増大し、 -120°C 付近で常温の約1.5倍になっている。弾性係数の増大する傾向は、圧縮強度の傾向によく似ている。

応力-ひずみの関係を2次曲線で表わすと次式のようにになる。

$$\sigma/f_c = A(\epsilon/\epsilon_0) - B(\epsilon/\epsilon_0)^2$$

f_c : 圧縮強度 (kg/cm^2)、 ϵ_0 : 最大応力時のひずみ、 A, B : 定数

この時通常のコンクリートでは、 $A=2$ 、 $B=1$ 、 $A/B=2$ がよく採用されている。

各冷却温度ごとに、応力-ひずみの関係を最小2乗法で上記の2次曲線に近似させたものを図-6に示す。ひずみは最大応力時までのものである。図に示した曲線の A/B の値を表-2に示す。表より A/B は低温になるにつれて大きくなっている。これは2次曲線のふくらみが小さくなっていくことを示し、低温では、最大応力時近くまで弾性的な挙動を示す。このふくらみの相異が低温下でのコンクリートの脆化と関係しているのではないと思われる。

本試験から低温では、応力-ひずみ曲線は常温時のものと異なり、最大応力後の応力-ひずみの関係の測定も必要と思われる。

4. あとがき

本試験から、低温下では鉄筋およびコンクリートの強度はいずれも増加するが、その破壊状況は、常温時と異なるものが見られた。従って極低温においては、従来の設計法(とくに安全率など)をそのまま採用するには疑問があるものと思われる。

(参考文献) (1) W.S. Pellini and P.P. Puzak, NPL Report 5920 (March 1963)

(2) A.S. Tetelman, A.J. McEvily, Jr (宮本 訳): 構造材料の強度と破壊1, 培風館

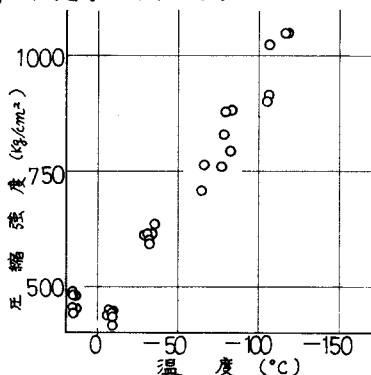


図-3 圧縮強度と温度の関係

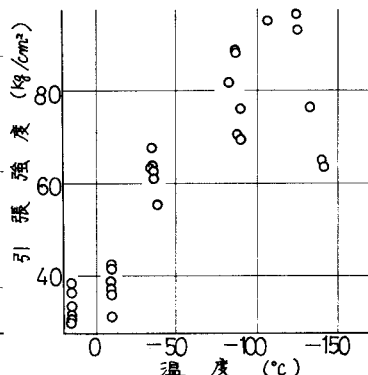


図-4 引張強度と温度の関係

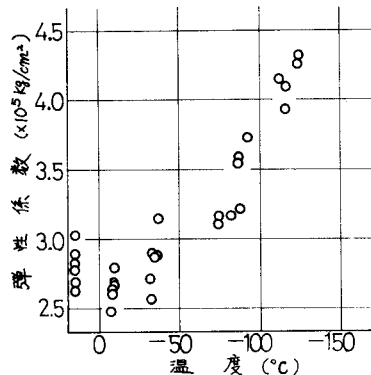


図-5 弾性係数と温度の関係

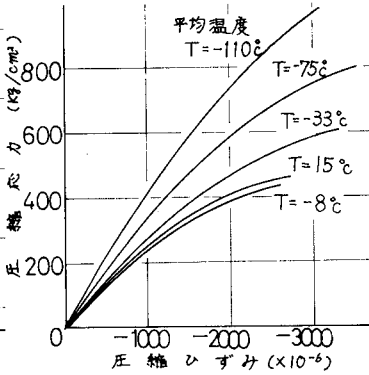


図-6 応力-ひずみの関係

T	A/B
15	2.27
8	2.37
33	2.39
75	2.41
110	3.28