

V-15 超低温におけるコンクリートの強度特性

フジタ工業技術開発センター 正員 石山和雄

正員 瀬谷宗彦

正員 石井武美

日本酸素(株) 工務部

三浦幸一郎

佐々木 淳

岩崎忠佳

1. まえがき

固結したコンクリートの 0°C 以下 -196°C までのいわゆる超低温における強度特性の研究は諸国において数例⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾あるが、コンクリート材料の差違、配合条件、養生条件、温度履歴、試験方法の違いから、それらの報告値をそのままが国に適用することはできないと考えられる。そこで、コンクリート供試体を液体窒素 (LN_2) に浸して凍結させた場合及び凍結後融解した場合の強度特性その他の特性の調査を行なったが、その試験結果の一部をここに報告する。

2. 試験方法

(1) 供試体 当試験に使用したコンクリートの示方配合を表-1に示す。固まらないコンクリートの性質を表-2に示す。供試体寸法は、JIS

表-1 示方配合

A 1132 に従って直径 10 cm、高さ 20 cm であり、脱枠後 $+20^{\circ}\text{C}$ 恒温水中養生した。使用セメントはアサ

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 w/c (%)	セメント S/a (%)	単位材料 (Kg/m ³)				
					水 w	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 ボクリス #5L
25	12	5.0	47	38	155	330	686	1142	1.65

ノ普通ポルトランドセメント、骨材は相模川系産で粗骨材比重 2.62、細骨材比重 2.60 であった。設計 4 週圧縮強度は 220 Kg/cm^2 としたが各種コンクリート群の凍結試験時の常温における平均圧縮強度は、B: 235 Kg/cm^2 (33 日)、C: 240 Kg/cm^2 (32 日)、D: 232 Kg/cm^2 (31 日) であった。

表-2 固まらないコンクリートの性質

供試体群	スランプ (cm)	空気量 (%)	固まらないコンクリートの単位体積重量 (g/cm ³)
B	12.1	3.5	2.34
C	10.6	3.1	2.37
D	13.0	2.5	2.40

(2) 試験方法 LN_2 を満たした真空断熱容器内に、圧縮試験用供試体と供試体中心温度測定用供試体を同時に直接浸して供試体の凍結を図った。供試体中心温度が LN_2 温度 (-196°C) になったときを 0 時間とし、さらに続けて各供試体を LN_2 中に浸し、一定時間経過後 (この時間を直浸時間とする) 順次供試体を引き上げ一部はただちに圧縮試験を行ない、他は空気中にて融解を行なった。空気中で融解を行なった供試体の中心温度が常温まで上昇した時点で凍結融解後の圧縮試験を行なった。供試体が LN_2 で浸されたとき及び融解中の伸縮は、供試体表面に貼付けたベークライトゲージで測定した。

3. 試験結果

(1) 供試体中心温度の LN_2 温度 への低下時間及び融解時間 供試体中心温度が -196°C になるまでの時間は、図-1に示す例では 20 分、ないし 25 分であった。また、凍結した供試体が空気中で常温に戻る時間は、ほぼ 6 時間であり、その温度経時変化状況は図-2に示す。

(2) 凍結したコンクリートの圧縮強度 図-3に凍結したコンクリートの直浸時間と圧縮強度との関係を示したが、直浸時間が 25 時間の範囲内では、圧縮強度が $900 \sim 1200 \text{ Kg/cm}^2$ でほぼ一定と考えら

れ、直浸時間及びコンクリート混合時の微小な差の影響が圧縮強度に及んでいないものと考えられる。したがって、直浸時間及びコンクリート供試体群に関わらず圧縮強度の平均値を求めると、 1107 Kg/cm^2 となり、常温圧縮強度の5倍弱の強度増加を示すことになる。この傾向は、他の文献⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾によっても認められているところである。(℃)

また、凍結したコンクリートの弾性係数においても、直浸時間及びコンクリート混合時の微小な差の影響が認められなかった。さらに、一般に常温時の圧縮強度と弾性係数の間には正相関が認められるのであるが、凍結したコンクリートにおいても、図-4に示したように常温と同様な傾向が認められた。

(3)凍結融解後のコンクリート

の圧縮強度 凍結後融解したコンクリートの圧縮強度を、直浸時間及び LN_2 から供試体を引出して常温に放置した時間(放置時間)の関係で示したものが、図-5及び図-6である。両図に示されるように、

凍結融解後の圧縮強度は、直浸時間及び放置時間による影響が見られなく考えられ、かつ、凍結融解後の圧縮強度が凍結しないコンクリート強度の約1.7倍であることが認められる。この傾向も、他の文献⁽¹⁾にも報告されているが、強度増加の程度はやや小さくなっている。このよ

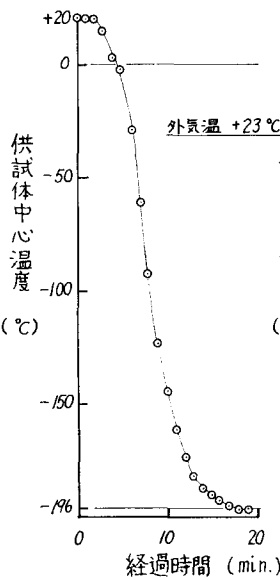


図-1 供試体凍結時の温度経時変化曲線

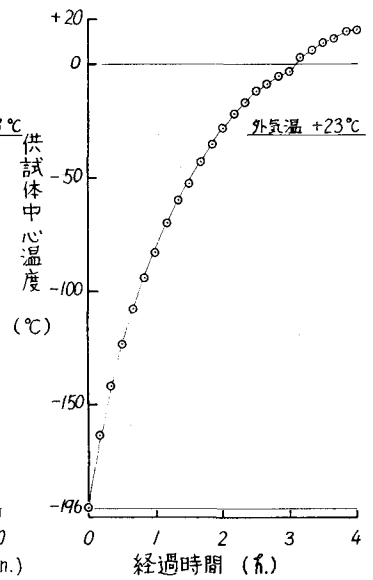


図-2 供試体融解時の温度経時変化曲線

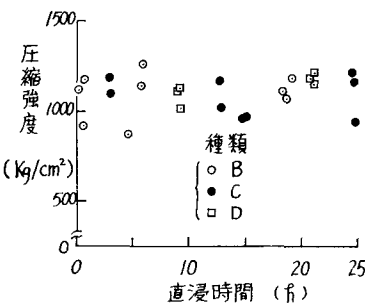


図-3 直浸時間と圧縮強度の関係(凍結時)

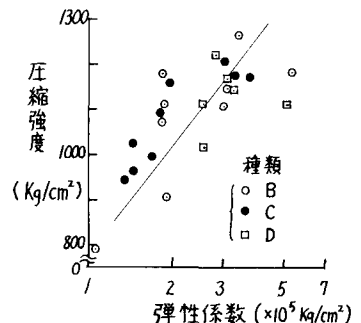


図-4 弾性係数と圧縮強度の関係(凍結時)

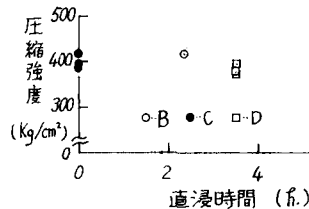


図-5 直浸時間と圧縮強度(凍結融解後)

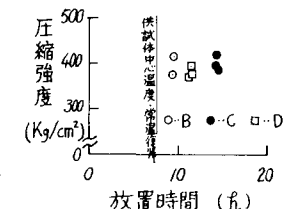


図-6 放置時間と圧縮強度(凍結融解後)

うに、凍結融解を受けたコンクリートが強度増加を示す原因については、まだ解明されていないが、コンクリート中のセメンティング材の物質的または構造的変化、あるいは凍結時の膨張ひずみが残響しているものと推測される。また同じく、凍結融解後の弾性係数も、凍結しないコンクリートのそれより増加する傾向が認められた。なお、凍結融解後の弾性係数は、直浸時間及び放置時間のいずれかあるいは双方の影響を受けているようであるが試験数が少ないため明確な推定はできなかった。

(4) 付着強度 直径10

cm, 高さ20cmの供試体中央にφ9鉄筋を配置し、供試体の一般時、凍結時及び凍結融解後に引抜試験を行なって付着強度を調べた。凍結時のコンクリートの付

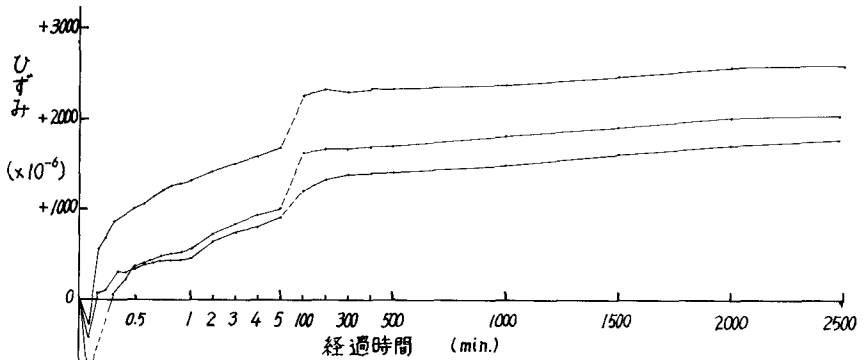


図-7 LN₂に浸された状態での供試体の伸縮

着強度は、鉄筋とコンクリート間に滑動の生ずる前に鉄筋破断が生じたため明確ではないが、鉄筋強度から推定して一般時の付着強度に比らべ10%以上の強度増加を示すものと推定される。凍結融解後の付着強度は、凍結させないときのそれに比して約10%の強度低減が見られた。

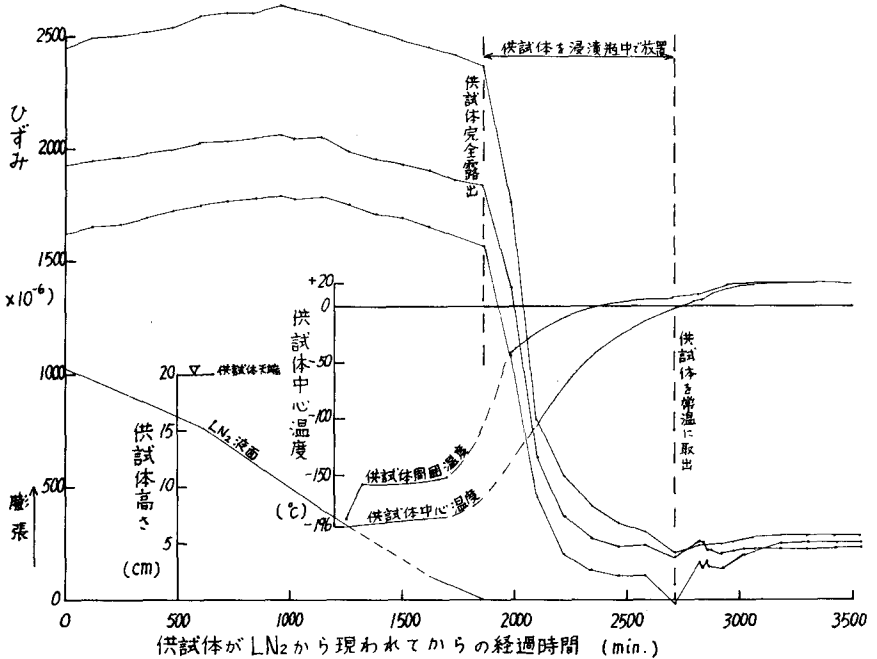


図-8 LN₂近滅時、低温雰囲気中及び外気中での供試体の伸縮

(5) 凍結中及び融解中の供試体の伸縮

LN₂に供試体を直接浸したときの供試体の伸縮の状態を図-7に示した。供試体をLN₂に浸した直後から5~10秒の間は、供試体表面の収縮と考えられる収縮ひずみが観測されたが、その後供試体の凍結が進むに従って、膨張ひずみが観測された。この膨張ひずみは、供試体中心温度が-196℃になるまで急激に増加し、その増加率は漸減するがなお膨張を続けLN₂に供試体を浸した後100分経過付近より、ほぼ $0.5 \times 10^{-6}/\text{min}$ の割合の膨張率を示しながら膨張して行くことが認められた。なお、1500分前後でLN₂の注入を停止したため、凍結膨張ひずみの極大値は把握していない。容器中へのLN₂の補給を停止後、LN₂を自然蒸発させながら供試体のひずみを測定した結果が図-8である。同図に示されるように、LN₂中に立てた供試体の天端がLN₂液面に現われてもなお凍結膨張が続き、供試体表面に貼付けたゲージが液面から現われる時点でひずみが最大となるが、その後LN₂が完全に蒸発するまで供試体はゆるやかな収縮を示すことが認められた。LN₂が完全に蒸発し、供試体の周囲の温度が上昇するにつれ供試体中心温度も上昇を示し、供試体に急

速な収縮が現われた。この供試体を空気中に取り出し外気にさらすと一旦収縮した供試体が再び伸長したが、図-8に見られるように時間の経過によってもってほぼ一定値となり、残留ひずみを残したままで落ちついた。TOGNON⁽¹⁾, MARÉCHAL⁽²⁾, DUMAS⁽³⁾ らによれば、今回の測定結果と異なり、常に収縮ひずみのみとしているが、供試体の幾何学的条件、配合条件、養生条件その他の条件が同一でないためとも考えられ、さらに検討を必要とする。

(6)鉄筋コンクリートの曲げ強度 縦15 cm, 横15 cm, 長さ53 cmの供試体中に、引張側底面から5 cmの位置にφ9鉄筋(SS41)1本を配筋し2点載荷法による曲げ試験を行ない、82日の材令で一般供試体と凍結供試体の比較を行なった。凍結供試体の直浸時間は2.6時間であったが、鉄筋の滑動あるいは破断の生ずる前に供試体の引張側に亀裂が生じクリープが認められ、しかる後に完全破壊に至った。凍結供試体においては、完全破壊時に鉄筋の瞬時的破断が生じたが、このことは超低温物質貯蔵容器設計にあたって留意すべきと考えられる。凍結供試体および一般供試体の、クリープの生じた曲げ強度ならびに完全破壊時の曲げ強度を比較すると、凍結供試体は一般供試体のそれぞれ2倍弱の強度増加が認められた。また、直浸時間が33.5時間で放置日数59日の凍結融解供試体の曲げ強度は、上記の一般供試体強度の約2.4倍の増加を示した。この強度増加の大きい原因は、材令の進行度を考慮しても説明不能であり、さらに考究する必要がある。

4. あとがき

当試験の結果、LN₂温度で凍結させたコンクリートの圧縮強度、付着強度、曲げ強度が凍結させないコンクリートに比べてかなりの強度増加を示すことを確認した。また、LN₂温度で凍結したコンクリートを融解させた場合にも、圧縮強度、曲げ強度は凍結させないコンクリートより増加することが認められたが、付着強度は減少することが判明した。さらに、コンクリートが凍結中において、体積膨張することが認められ、かつコンクリートが融解するに際しては収縮することが判明したが、これはこれまでの観測結果と異なるものである。

なお、当試験においては、コンクリートをLN₂中に浸した時間が短いことから、長期間にわたってコンクリートが超低温にさらされたときの強度特性についての検討がさらに必要であろうと考えられる。

参考文献

- (1) G. TOGNON: Supplementary Paper III-24. Behavior of Mortars and Concretes in the Temperature Range from +20°C to -196°C: Preceeding of the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968.
- (2) J. C. MARÉCHAL: Fluage du Béton en Fonction de la Température: Annales, no. 266 Février, 1970, pp. 13~23
- (3) M. DUMAS: Essais Effectués en U.R.S.S. par MM. les Professeurs V. M. MOSKVIN et al.: Annales, no. 266 Février, 1970, pp. 29~34
- (4) G. WISCHERS et al.: Das Verhalten des Betons bei sehr niedrigen Temperaturen: Beton Herstellung Jg. 20, Heft 4, 5, April, Mai, 1970