

東京電力(株)技術開発研究所

正 員 前田 弘

菅沼 健弘

正 員 〇 奥山 一夫

1. はじめに

最近, LNG(液化天然ガス)が有力な無公害燃料としてその使用はますますさかんになろうとしている。このLNGをRC製地下タンクに貯蔵する場合, またRC製貯液堤を地上タンクの周辺に設置する場合, それらのRC構造物を設計するには, コンクリートおよび鉄筋の極低温における諸物性が必要であり, これらについては国内外で次第に明らかにされつつあるものの, 未だ研究の余地が残されている。

ここでは, 3種の測定方法によりコンクリートの低温域での温度と長さ変化の関係を求め, 低温におけるコンクリートの歪測定方法についての比較検討, ならびに低温域のコンクリートの温度膨張係数について検討を行った。

2. 実験概要

1) 使用材料 セメント; 普通ポルトランドセメント 骨材; (細)富士川産, (粗)相模川産 混和剤; ヴィンソル 細粗骨材粒度は, コンクリート標準示方書標準粒度範囲の中央値であり, コンクリートの配合は表-1のとおりである。

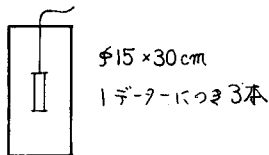
表-1 コンクリートの配合

供試体寸法の都合上コンクリートは25^{mm}フルイでウェットスクリーンを行なって使用した。

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m ³)				AE剤 (%)
					W	C	S	G	
40	12.3	4.1	50	33	165	330	592	1221	0.037

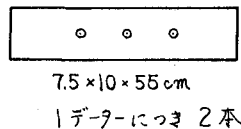
2) 歪計と供試体 歪計の種類と供試体寸法は, 次のとおりである。

(カールソン型歪計)



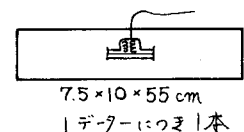
一般に使用されるカールソン型歪計のオイルをシリコンオイルに変えて低温用としたものであるが, 測定可能範囲は, 約-70℃までである。

(コンタフト型歪計)



指示計が低温にさらされないで温度による測定可能範囲は狭い, 測定の度毎に供試体を取り出す必要があり, 厳密に温度を管理することが困難である。

(振動弦型歪計)



歪計内部は弦があるのみで空洞になっているため, 測定温度に余り影響を受けず, 約-100℃程度まで測定可能とされているが補正の方法に若干問題を残している。

3) 実験手順 標準養生28日後の供試体を, 乾燥器(50~60℃)および恒温室(20±3℃, RH 50~60%)で3種の含水率100%, 70%, 40%にセットした後, 試験を開始した。この含水率は, 120℃の乾燥器で7日間乾燥した供試体の含水率を0%, 養生水槽から取出して表面の水を拭いたもののそれを100%として重量から求めたものである。

試験は, 常温における歪を零として温度の低下にともなう供試体の凍結および融解時の歪変化を測定した。供試体を断熱槽内に入れ, 常温から約-40℃まではドライアイスにより槽内を冷却し, さらにそれ以下の冷却は, 液体窒素の注入によった。この場合, 供試体に直接ドライアイスや液体窒素が接触することのないよう配慮した。カールソン型および振動弦型歪計は, リード線を冷却槽外の指示計へ接続することにより供試体を動か

す必要がなかったが、コンタクト型歪計は、測定毎に冷却槽内より取り出して測定した。

供試体の温度の低下割合、内部の温度勾配については、別に銅コンスタンタン熱電対（中心部およびその点から10cmの2点）を埋め込んだ供試体で測定した。温度の低下割合は、供試体中心部で約 $5^{\circ}\text{C}/\text{hour}$ であり、また供試体の表面部と中央部では、約 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ の差があった。

3. 実験結果とその考察

実験結果は、表-2、図-2～3に示すとおりである。

(1) 各温度での供試体歪は、同一条件で測定した3本（又は2本）とともに0以上ではほとんどばらつかないが、 0°C 以下になると、自由水、空気泡などの大きさおよび分布が厳密に一樣でないことからいく分ばらつき始めるようである。

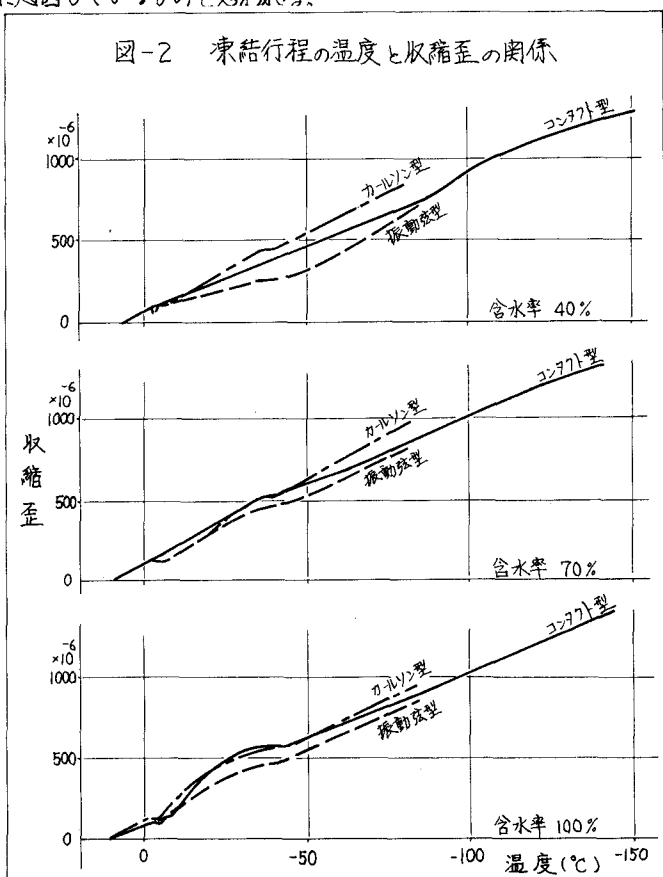
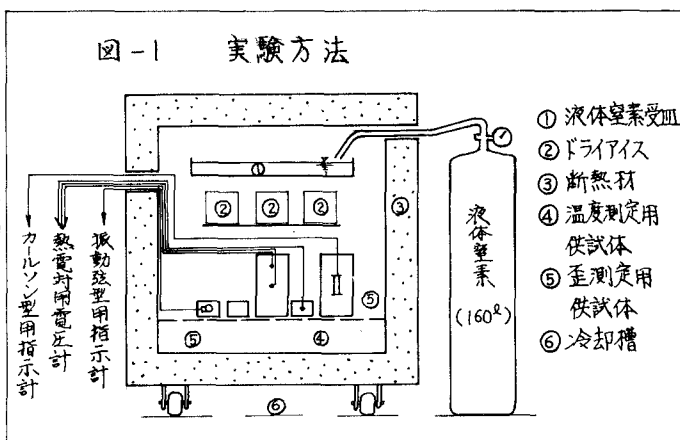
(2) 図-2に示すように歪計の種類（供試体形状の相違を含めて）により、温度と歪の関係が若干異なった。これは、供試体の中心部と表面の温度差、温度と歪の測定位置のズレ、極低温時歪測定値の補正方法の相違、供試体断面積に対する歪計断面の占める割合などに起因しているものと思われる。

(3) 温度と歪の関係における $0^{\circ}\text{C}\sim -5^{\circ}\text{C}$ 付近での一時的膨張現象、 $0^{\circ}\text{C}\sim -40^{\circ}\text{C}$ の間の特徴ある曲線に対しては、コンクリート供試体の含水率が影響し、含水率が小さくなるほどこの特徴は顕著でなくなった。（図-1参照）

(4) 約 -150°C までの本実験の範囲では、温度と歪の関係に3ヶ所の屈曲点が認められた。これは、コンクリート中の自由水がほぼ 0°C から凍結を始めること、 0°C で全ての自由水が凍結するのではなく、 -40°C 近傍（本実験の場合）でほとんどの自由水が凍結したと思われること、氷は、 -115°C で結晶構造がI（六角形）からII（正斜方形）に変態すること、などによるものと考えられる。

(5) コンクリートの凍結行程と融解行程では歪変化の形態が異なり、凍結融解1サイクル（ $+20^{\circ}\text{C}\sim -80^{\circ}\text{C}$ ）を経た供試体では、 $60\sim 100\times 10^{-6}$ の残留歪を生じた。図-3は、カルソン型歪計の場合であるがこの傾向は、コンタクト型歪計による約 -150°C までの測定結果でも同様であった。

(6) 3ヶ所の屈曲点を -5°C 、 -40°C および



-90℃で代表させ、各屈曲点間の勾配を温度膨張係数として求めると表-2に示すとおりである。なお、表中の一は、温度と歪の関係に直線部を認めることが困難なものである。

(7) 本実験に使用したコンクリートの温度膨張係数は、対象とする温度、コンクリートの含水率などによって異なるが、マクロ的にみれば $8 \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と考えても実用上差しつかえないものと思われる。

表-7 温度膨張係数

温度範囲		歪計	凍結行程			融解行程		
			含水率(%)					
			40	70	100	40	70	100
常温 ~-5℃	カルソソ型	8.8	8.8	9.8	9.7	9.7	8.6	
	コンタクト型	7.9	11.5	10.0	11.3	—	18.0	
	振動弦型	8.0	8.0	8.0				
-5 ~-40℃	カルソソ型	11.7	12.8	13.8	12.2	13.2	12.3	
	コンタクト型	7.9	11.5	15.8	11.3	—	11.8	
	振動弦型	5.0	12.4	12.4				
-40 ~-90℃	カルソソ型	10.0	11.0	9.4	10.0	11.0	—	
	コンタクト型	7.5	8.3	7.3	9.2	8.1	7.3	
	振動弦型	11.4	9.7	8.5				
-90~-160℃	コンタクト型	7.9	8.3	8.8	9.4	10.2	7.3	

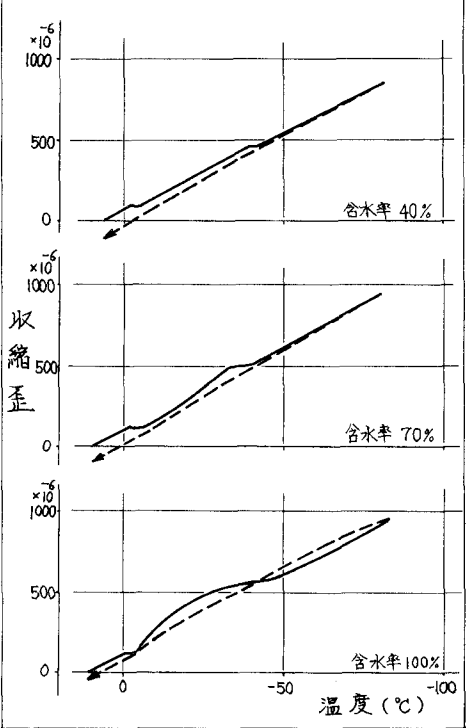
4. まとめ

今回の実験は、供試体全面から同時に冷却したこと、1配合のコンクリートであったことなど、実験条件が限定されており、

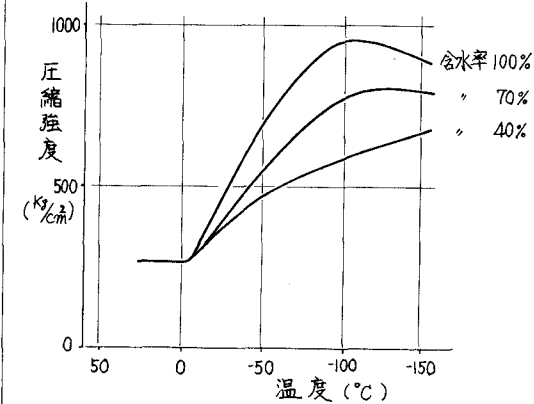
この結果のみからコンクリートの温度膨張係数を論じることができないと思われる。特に、ソ連における文献では-5℃から-45℃にかけて膨張を続けるような傾向を示したものもみられることから、更に今後実験を追加し、説明を続ける予定である。

なお最後に、同時に実施した極低温時におけるコンクリートの強度および弾性特性を参考として次に示す。

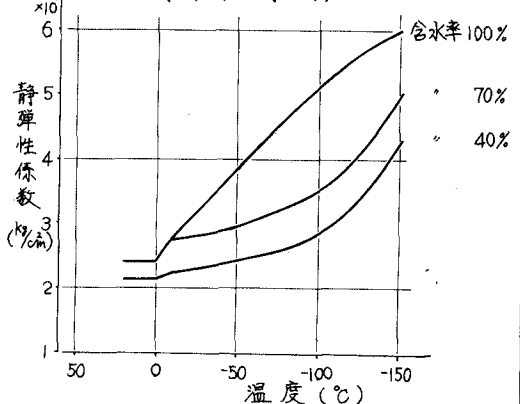
図-3 凍結融解1サイクルの温度と歪の関係



(圧縮強度)



(静弾性係数)



5. 参考文献

G. Tognon ; Behaviour of Mortars and Concretes in the Temperature Range from +20℃ to -196℃
 В.М.Москвин;О Расчётной Величине Коэффициента Температурного Расширения Бетона При Отрицательных Температурах