

コンクリートの静的圧縮変形，破壊に対する温度効果

TEMPERATURE EFFECT ON THE DEFORMATION AND FAILURE OF CONCRETE UNDER STATICAL COMPRESSIVE LOAD

畑 野 正*

By Tadashi Hatano

1. 緒 言

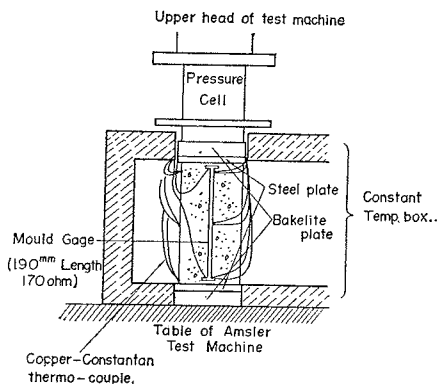
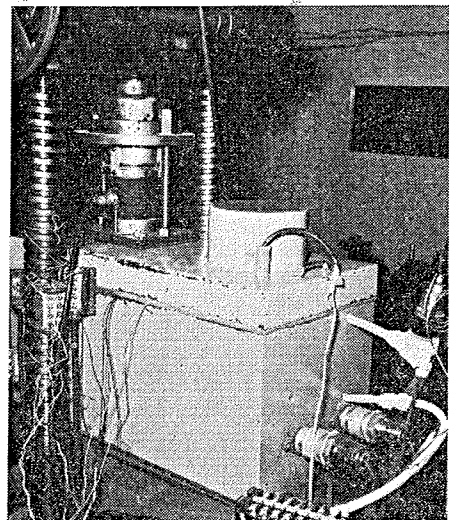
コンクリートの強度が低温度においていちじるしく増大するということはすでによく知られた事実である。しかし温度と強度の関係を一般化した形で求めた例はまだ知られていない。さらには弾性率が温度とどのような関係で変化するか、ひずみの能力が温度によって変わるか変わらないかコンクリートの破壊論の立場からもきわめて興味ある問題が残されている。著者はコンクリートの変形と強度に関する時間の効果について一般的関係を求めて発表して来たが、この場合に強度と時間については、分子反応速度論から求めた理論式とよく実験結果が一致するのを見た。この理論式の示す所では、破壊時間（荷重を一定速度で増大して行って破壊に至るまでの時間）を一定とすれば強度は絶対温度に逆比例することになる。このようなことが実際に観測されるかどうかを確かめ、また弾性率、ひずみ能力と温度の関係を確かめるために -40°C ~ $+60^{\circ}\text{C}$ の間で、破壊時間を約 100 sec に限定したときの静的圧縮試験を行なった結果につき以下述べることにする。

2. 実験の方法

アムスラー試験機の上に恒温槽をおき、この中に 10 cm 径、20 cm 高さのコンクリート供試体を入れた。恒温槽の内壁には冷凍機からの冷却コイルおよび電熱器が内蔵されており、同時に供試体 3 個を入れて、その温度を

$+60^{\circ}\text{C}$ にするのに約 1 時間、 -40°C にするのに約 12 時間を要した。圧縮試験を行なう供試体は 図-1 に示すようにベークライトの断熱板を介して圧縮試験機のテーブル上におき、また供試体の上部に断熱板と圧力セルを介して圧縮試験機の加圧板を接せしめた。ひずみの測定はモールドゲージによる。アクリル樹脂製の細長い板 2 枚の中に全長にわたり 170 オームのひずみ抵抗線を入れたもので、モールドゲージの外部全長は 19 cm である。なおコンクリートとゲージが密着するように直径 3 mm 程度の粗粒の砂を多数接着し表面の凹凸をはげしくしてある。恒温槽外部の圧力セルによる応力と、モールドゲージによる縦ひずみを電磁オシロに同時記録した。供試体の温度は、その外周の上中下の 3 点、供試体中心部の上中下の 3 点、合計 6 点に銅コンスタンタン熱電対をそう入して測定した。6 点の平均温度をもって供試体温度としたが 6 点のうちの最大温度差が平均温度の数%以内におさまるよう温度を調節した。荷重はすべての破壊が、荷重をかけ始めてから約 100 sec で生ずるようにその荷重速度を選んで与えた。試験は、その材令 28 日を中心にして前後 3 日間で行なった。また試験前 15 日間は空中に放置して供試体中の水分を十分少なくするようにした。低温時にはもちろん、高温時においても供試体中の水分の変化は、実験時間が短時間であることから、きわ

写真-1



* 正会員 工博 電力中央研究所 技術研究所

めて少ないものと考えられる。試験を行なったコンクリートおよびモルタルについての材料配合等は表-1,2,3に示すとおりである。

表-1 Properties of Cement

(1)							
Ig. loss.	Jns.R.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
0.5	0.7	23.5	4.1	4.1	63.6	1.2	1.8

(2)		(3)			
Sp. gr.	Fineness (Blaine)	Strength of Standard Mortar			
		Flow	3 day	7 day	28 day
3.20	cm ² /gr 3 190	mm 259	kg/cm ² 103	kg/cm ² 169	kg/cm ² 407

表-2 Properties of Aggregates

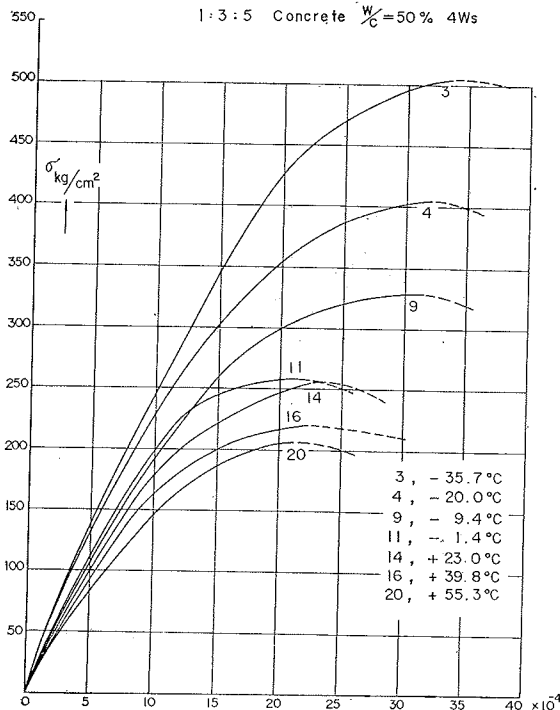
	S.G.	Max. size	Gradation	
			mm	
			Gravel	Sand
Sagami River Natural Agg.	2.75	25	25~20mm...25%	5~2.5mm...15%
			20~15 ...25	2.5~1.2 ...15
			15~10 ...25	1.2~0.6 ...25
			10~5 ...25	0.6~0.3 ...25
			0.3~0.15 ...15	
			0.15~ ...5	

表-3 Tested Concrete and Mortar

Test No.;	Age in Weeks	Mix Proportion					Slump & flow
		Cement	Water	Sand	Gravel	w/c	
1	4	kg/m ³ 300	kg/m ³ 150	kg/m ³ 710	kg/m ³ 1264	50 %	cm 8.5
2	4	511	255.5	1 533	—	50	mm 178

図-2

STRESS - STRAIN



3. 実験の結果

モールド ゲージによるひずみと、圧力セルによる荷重の同時記録から応力-ひずみ 曲線を求め その代表的な数例を示したものが図-2と図-6とである。点線で示した部分は荷重が最大になって以後も、供試体の崩壊を生ぜず圧力セルの示度が低下しながらもひずみが増大している過程を示すもので、この点の終点で大きな音響

図-3

STRENGTH - ABSOLUTE TEMPERATURE

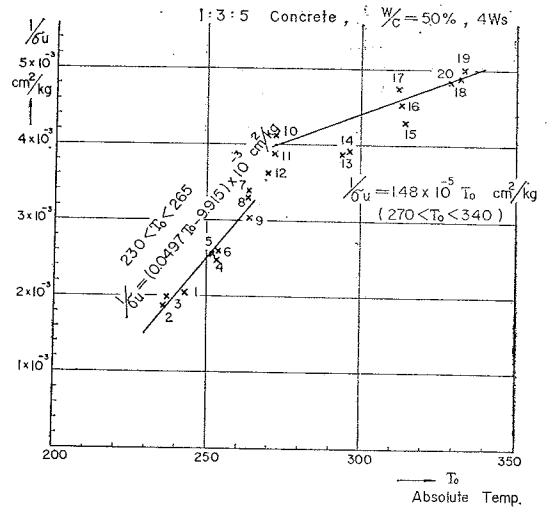
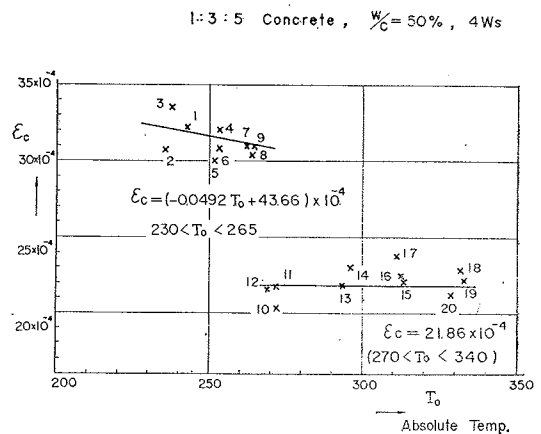


図-4

COMPRESSIBILITY - ABSOLUTE TEMPERATURE



を発生して突然崩壊する。ここにいう強度 σ_u はこの曲線の中での応力の最大値であり、圧縮ひずみ能力 ϵ_c は σ_u のときのひずみ値である。すなわち点線で示された領域では供試体はすでに巨視的な意味での破壊を生じているとするのである。

図-3 と 図-7 は強度の逆数 $1/\sigma_u$ と供試体の絶対温度 T_0 との関係を示したものである。絶対温度 270° から 340° の間では $1/\sigma_u$ の値が T_0 に正比例し絶対零度

を通る直線の上に実験値が大体のっていることができる。絶対温度 265° 以下 230° までの間では $1/\sigma_u$ の値は絶対温度にほぼ正比例するが、 $1/\sigma_u$ が 0 になる点をこれら実験値から推定すれば $T_0=200^\circ$ 付近と推定され、 $T_0=265^\circ$ 以下では $T_0=270^\circ$ 以上の場合にくらべて非常に急激な強度の増大が見られることになる。

図-4 と 図-8 は圧縮ひずみ能力 ϵ_c と絶対温度の関係を示したもので絶対温度 270° から 340° までの間では、温度に関係なく ϵ_c の値は一定と見なされるが、265° 以下になると、断絶的に増大しかつ温度低下とともに ϵ_c の値が増大することを示している。

つぎに弾性率を、応力-ひずみ曲線上のひずみ能力 ϵ_c の 1 倍, 0.75 倍, 0.5 倍, 0.25 倍のおおのの点にける応力を用いて Secant Modulus E_s , ϵ_c , $E_{s, 0.75\epsilon_c}$, $E_{s, 0.5\epsilon_c}$, $E_{s, 0.25\epsilon_c}$, として表現したとき、その逆数値と絶対温度の関係を表わしたものが図-5 と 図-9 である。絶対温度 270° から 340° の間では、強度が絶対温度に逆比例しひずみ能力が一定という関係から、 E_s の値もまた T_0 に逆比例し、かつ $1/E_s$ の点は絶対零度を通る直線上にのると考えられる。

図-6

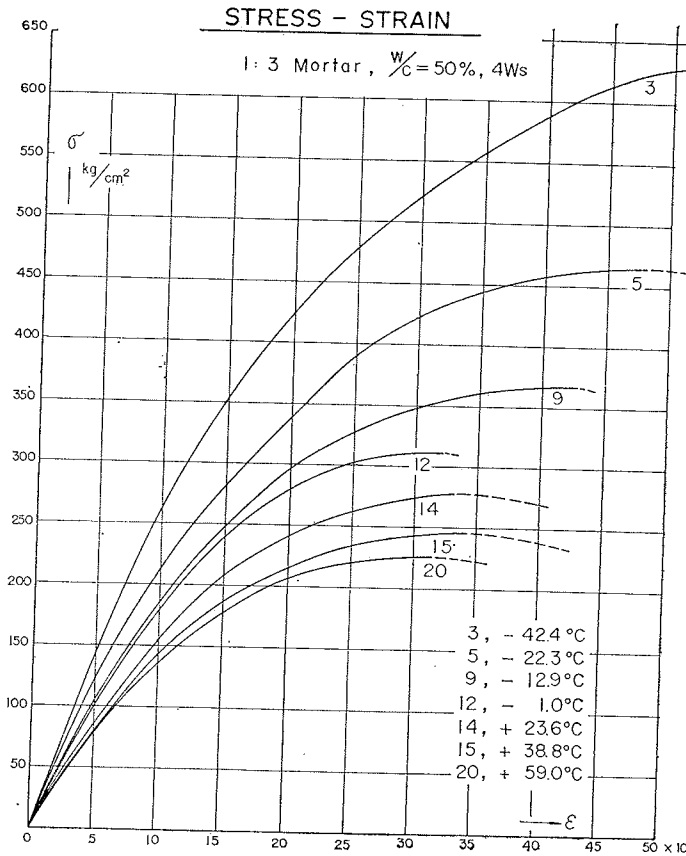
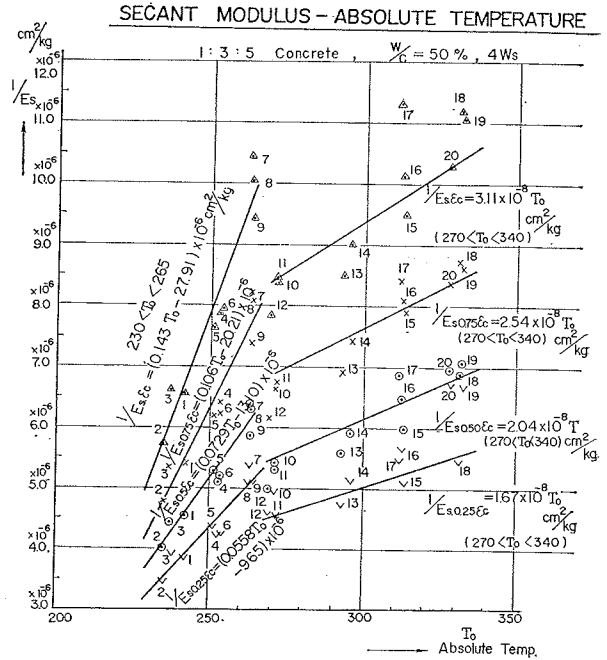


図-5



実験から得られた点はほぼこの直線上にありとして差し支えないことが図から知られる。 $T_0=265^\circ$ 以下では ϵ_c が急激に増加し、 σ_u も著増している関係から、 $1/E_s$ の値は $T_0=270^\circ$ 以上にくらべて断絶して急勾配となっている。

4. 考 察

著者は今まで一軸破壊試験における強度、ひずみと破壊時間との関係を求めつぎの関係があることを明らかにして来た¹⁾。

$$1/\sigma_u = A + B \ln t_u \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_c = \text{Constant} \dots\dots\dots (2)$$

$$1/E_s = C + D \ln t_u \dots\dots\dots (3)$$

また周期的圧縮荷重の下でも、破壊のひずみについては式(2)の関係が成立するものと考えられ、また動的弾性率 E_d についてはその荷重周期 T とつぎの関係で結ばれるのを見た²⁾。

$$1/E_d = F + G \ln T \dots\dots\dots (4)$$

以上の結論はすべて温度については常温 20°C 前後の条件の下で得られたものである。

一方速度反応論から導いた強度 σ_u 破壊時間 t_u と絶対温度 T_0 との間にはつぎの関係がある³⁾。

$$1/\sigma_u = T_0(H + K \ln t_u) \dots\dots\dots (5)$$

本文において述べた実験では $t_u = 100$

sec としているから、式(5)の $H+K \ln t_u = \text{Const}$ となり、 $270^\circ < T_0 < 340^\circ$ の範囲では実験結果と式(5)とがよく一致しているといえる。

また式(5)の導入には破壊に必要なひずみは一定と前提しているが、実験結果もまた $270^\circ < T_0 < 340^\circ$ の間でこの前提が事実であることを示している。

弾性率についても、式(5)と(2)とから t_u 一定の

図-7

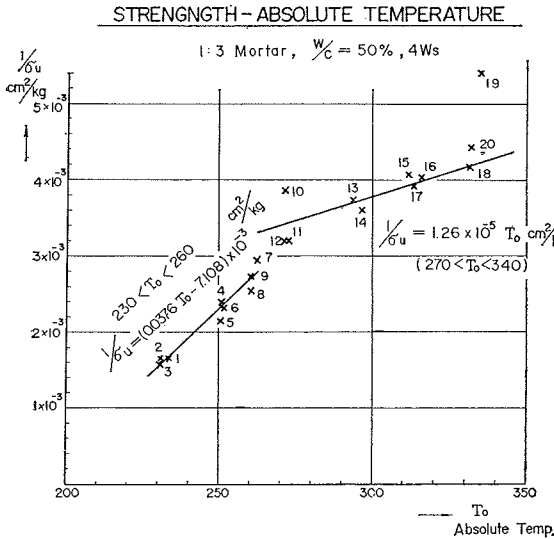
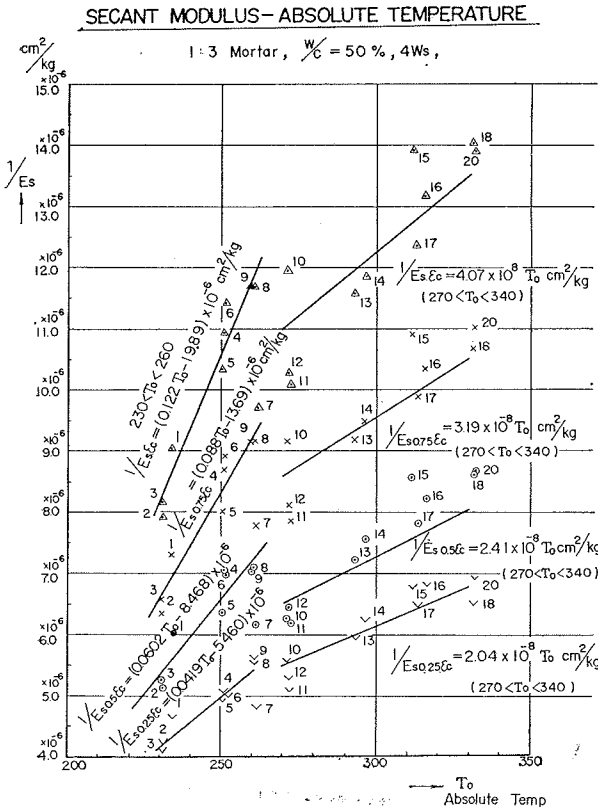


図-9



ときには E_s が T_0 に逆比例する関係が導かれる。かくて一般的につぎの関係式がコンクリート、モルタルに成立するものといえよう。

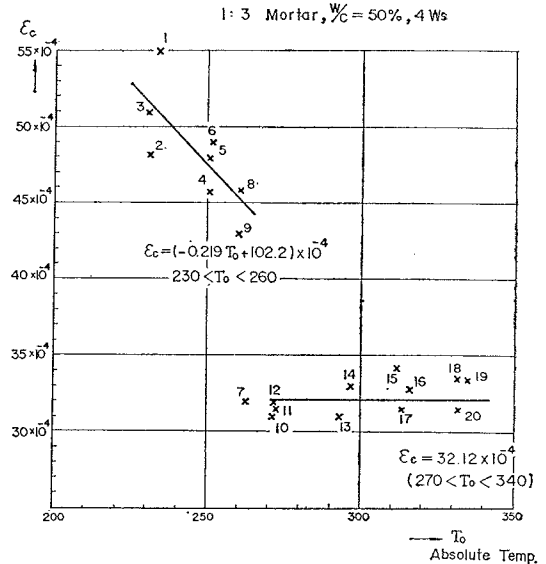
$$1/\sigma_u = T_0(H+K \ln t_u) \dots \dots \dots (6)$$

$$270^\circ < T_0 < 340^\circ$$

$$\epsilon_c = \text{Constant} \dots \dots \dots (7)$$

図-8

COMPRESSIBILITY-ABSOLUTE TEMPERATURE



$$270^\circ < T_0 < 340^\circ$$

$$1/E_s = T_0(L+M \ln t_u) \dots \dots \dots (8)$$

$$270^\circ < T_0 < 340^\circ$$

一方低温度の $230^\circ < T_0 < 265^\circ$ の範囲では全く事情が異なってくる。破壊強度は温度の低下につれて前の場合よりはるかに急激に増大し破壊ひずみも、もはや一定ではなくなる。コンクリートの内部の水分の氷結によって、氷結しない時にくらべてその物理的性質を断絶的に変化するばかりでなく、氷結の温度にしたがってその温度に応じた物理的特性をもつものと解される。弾性率もしたがって温度低下にしたがって急激な上昇を示している。これらの関係を一般的な形に書けばつぎのように表現できるであろう。

$$1/\sigma_u = (T_0 - H'')(H' + K' \ln t_u) \dots \dots \dots (9)$$

$$230^\circ < T_0 < 265^\circ$$

$$\epsilon_c = -PT_0 + Q \dots \dots \dots (10)$$

$$230^\circ < T_0 < 265^\circ$$

$$1/E_s = (T_0 - L'')(L' + M' \ln t_u) \dots \dots \dots (11)$$

$$230^\circ < T_0 < 265^\circ$$

5. 結 論

コンクリートおよびモルタルの各一種の供試体に

つき破壊時間約 100 sec の一軸的な静的圧縮破壊試験を, 供試体温度が -40°C ~ $+60^{\circ}\text{C}$ の範囲内の一定温度で行なった結果つぎのことが明らかにされた。

(1) 絶対温度 270° から 340° の間では強度 σ_u は絶対温度 T_0 に逆比例して低下した。

(2) 絶対温度 270° から 340° の間で, 圧縮ひずみの能力 ϵ_0 は一定であった。

(3) 絶対温度 270° から 340° の間で, 弾性率 E_s は絶対温度 T_0 に逆比例して減少した。

(4) 一定温度の下で破壊時間を変化せしめた時の著者の実験結果と本研究の結果を組み合わせ式(6),(7),(8)の関係が得られる。

(5) 絶対温度 230° から 265° の間では, コンクリート, モルタル中の水分の氷結により, その物理的性質を

急変し, 270° 以上の状態と連続的な状況を示さなかった。強度, ひずみ能力, 弾性率ともに温度低下につれて急激に増大し破壊時間との関係をもふくめて表現すれば式(9),(10),(11)の関係が得られる。これは氷結の温度にしたがい, その温度に応じた物理的性質を示すためと解される。

引用文献

- 1) 畑野: コンクリートの破壊強度, ひずみ能力, 弾性率と破壊時間との関係, 土木学会論文集 73 号, 1961年.
- 2) 畑野: 周期的圧縮荷重によるコンクリートの挙動, 土木学会論文集 84 号, 1962年.
- 3) Taylor, N.W.: Mechanism of Fracture of Glass and Similar Brittle Solids., J. Applied Physics. 1947. Nov.

(1964.3.21・受付)