

京都大学 正員 小柳 治
京都大学 学生員 〇六郷恵哲

1. まえがき

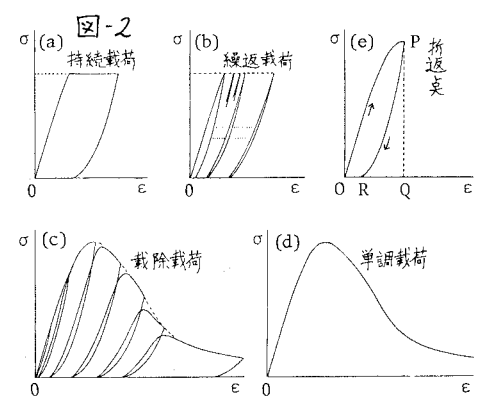
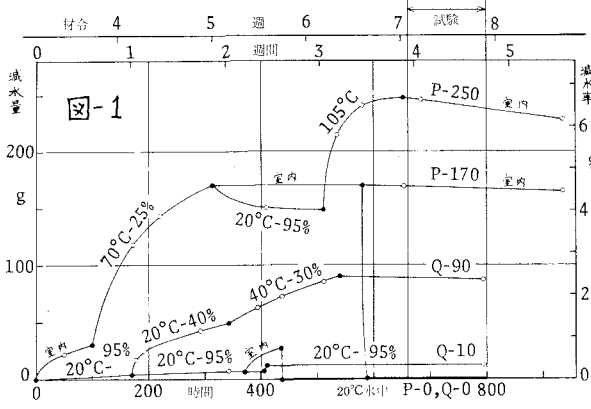
コンクリートの破壊に関する研究には、内部の微細な欠陥に注目したいわゆる微視的な研究と、荷重や変位から換算した応力やひずみを用いて全体の挙動を扱ったいわゆる巨視的な研究がある。巨視的な立場でコンクリートの圧縮破壊過程を把握する場合には、従来主として応力やひずみが用いられているが、ここでは、エネルギーをもあわせて活用する。供試体に加えられる外力仕事は、ポテンシャルエネルギーとして供試体に蓄えられる回復性の弾性ひずみエネルギーと、内部ひびわれの進展や凝相内の粘性まさつなどに消費される非回復性の損失エネルギーに変換されると考えられる。本研究においては、乾燥方法と供試体の含水量の異なる6種類のコンクリートについて、力学特性を明らかにするとともに、弾性ひずみエネルギーと損失エネルギーの定量化を行ない、損失エネルギーの内容についても検討し、圧縮破壊過程をエネルギーの変換過程としてとらえることを試みる。

2. 実験概要

(a)使用材料と配合 普通ポルトランドセメント、砂岩碎石、豊浦標準砂を用いた。円柱供試体($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)の目標圧縮強度を 300 kg/cm^2 とした。(b)養生条件 材令2日で脱型し、養生は材令21日まで 20°C 水中とした。材令22日から試験材令 (52 ± 3 日)までの6通りの環境条件を図-1に示す。(c)試験機とひずみ計測 サーボ制御により試験機のみかけの剛性を高めた剛性試験機を用いた。ひずみは、ひずみゲージまたは試験機の圧盤間変位から計測した。(d)実験条件と供試体数 図-2(a)~(d)に示ような4種類の荷重方法を用いた。持続荷重と繰返し荷重における載除荷速度は応力制御とし、単調荷重と載除荷重ではひずみ制御とした。実験条件と供試体数を表-1に示す。実験結果は原則として4個の供試体の平均値で示す。(e)エネルギーの定量化 ① 図-2(e)において、任意の点Pまでの外力により供試体に加えられるエネルギー $E_t (= \int OPQ)$ は、弾性ひずみエネルギー $E_r (= \int R PQ)$ と損失エネルギー $E_i (= \int OPR)$ に変換される。各エネルギーの定量化は、図-2(e)の曲線の代りに、載荷除荷を数回繰返した図-2(d)の曲線1により行なう。② 繰返し載荷の各回における損失エネルギーは、図-3に一例を示すように、初回が最も大きく、2回目以降は徐々に一定値に落ちつく。一方、内部ひびわれの大部分は、初回の載荷によって進展することが観察されている。③ 一定値に落ちついた損失エネルギーを、粘性まさつや転位などに使わ

表-1

	カル ー ポ 名	減 水 量 %	減 水 率 %	載 荷 方 法			
				ひずみ速度 $34 \times 10^{-6} \text{ /sec}$ 応力速度 $5 \text{ kg/cm}^2 \text{ /sec}$			
				単調 載荷	載除 載荷	持続 載荷	繰返 載荷
高温 乾燥	P-250	250	6.5	4	4	4	4
	P-170	170	4.5	4	4	4	4
	P-0	0	0.	4	4	4	4
準常 乾燥	Q-90	90	2.4	4	4	4	4
	Q-10	10	0.3	4	4	4	4
	Q-0	0	0.	4	4	4	4



れたエネルギー E_{fric} と仮定することにより、初回の損失エネルギー E_{il} を E_{fric} とひびわれの進展などに使われたエネルギー E_{crac} に分離する。

3. 実験結果と考察

図-4(a),(b)に、各グループの供試体について、単調荷重による応力ひずみ曲線(実線)と、載除荷重による応力ひずみ曲線の包絡線(破線)を示す。供試体の含水量が減少するに従って、最大耐力は大となり、最大耐力点に対応するひずみも大となる。上限応力/最大耐力 $\div 0.9$ に対応するひずみ ϵ_1 から、上限ひずみが $\epsilon_2 = \epsilon_1 + 500 \times 10^{-6}$ に達するまで、その上限応力で繰返し荷重または持続荷重を継続させた場合の各グループの応答を表-2(a)に示す。供試体の含水量が減少するに従って、繰返し荷重ならびに持続荷重に対する抵抗性が增大する。高温乾燥を経たPグループの供試体では、特に持続荷重に対する抵抗性が著しく増大し、疲労破壊過程とクリープ破壊過程の違いが顕著となる。エネルギー E_t , E_r の例としてP-250とQ-10グループの結果を規準化して図-5に示す。弾性ひずみエネルギーは、最大耐力点 ($\epsilon/\epsilon_c = 1$) で最大となる。最大耐力点における各エネルギー E_{ic} , E_{rc} , E_{tc} の値を表-2(b)に示す。コンクリートの含水量が減少するに従って、最大耐力点での弾性ひずみエネルギー E_{rc} , 損失エネルギー E_{ic} , がともに増加し、特に損失エネルギーの増加が著しい。乾燥によるコンクリートの最大耐力の増加が内部まざり抵抗の増加や内部結合エネルギーの増加によって起こることが裏づけられる。繰返し荷重の初回の載除荷重で消費されたエネルギー E_{il} , E_{crac} , E_{fric} ならびに繰返し荷重あるいは持続荷重によって所定のひずみ ($\epsilon_1 \rightarrow \epsilon_2$) を発生させる際の損失エネルギーの総和を表-2(c)に示す。含水量の少ないコンクリートほど、初回の載除荷重においてひびわれ進展に使われたエネルギー E_{crac} が大となる。含水量の少ないコンクリートほど、水分の移動などに基づく粘性変形よりも、微小ひびわれの進展などに基づく変形が卓越し、ひびわれ進展に、より多くのエネルギーを消費すると考えられる。

参考文献 1) 小柳, 六郎: 第29回セメント技術大会要旨, 1975.5, pp.172-173 2) 小柳ほか: セメント技術年報, 第28巻, 1974, pp.207-210

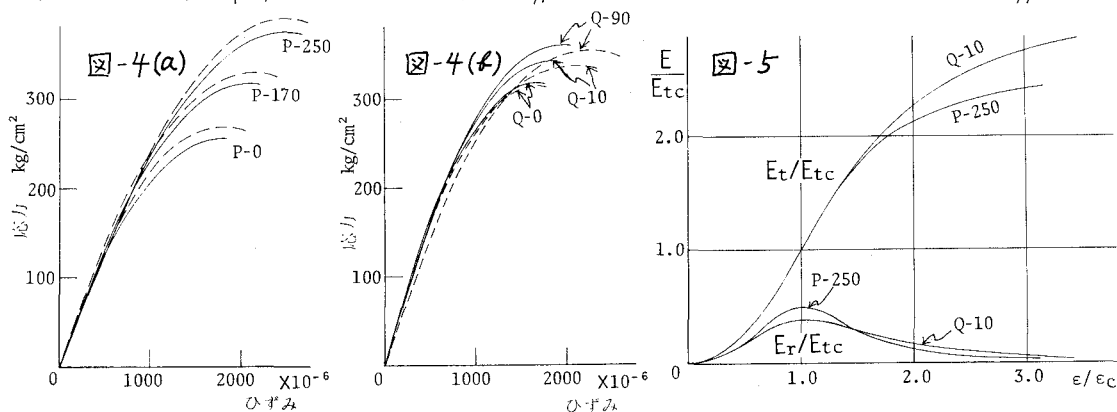


表-2

表-2

グループ名	減水量 %	最大耐力 σ_{ult} kg/cm ²	(a)							(b)				(c)					
			繰返し載荷 と持続載荷 の制御(ひずみ) $\epsilon_1 \rightarrow \epsilon_2$ $\times 10^{-6}$	ϵ_1 の応力 σ_{max} kg/cm ²	応力比 $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ult}}$	繰返し 回数	この繰返し 回数 の 持続載荷 の 荷重持続時間 分	回/分	最大耐力点での値				損失エネルギーの総和		初回の載除荷重での値				
									E_{rc} 弾性ひずみ エネルギー kg-cm	E_{ic} 損失 エネルギー kg-cm	E_{tc} $=E_{rc}+E_{ic}$ kg-cm	$\frac{E_{rc}}{E_{tc}}$	持続 載荷 kg-cm	繰返し 載荷 kg-cm	繰 返し 損 失 kg-cm	E_{crac} kg-cm	E_{fric} kg-cm	$\frac{E_{crac}}{E_{il}}$	
P-250	250	373	1800→2300	334	0.90	14.7	∞	0	616	683	1299	0.47	-	931	203	163	40	0.80	
P-170	170	315	1400→1900	286	0.91	19.2	31.6	0.61	450	633	1083	0.42	316	840	162	125	37	0.77	
P-0	0	255	-	-	-	-	-	-	336	393	729	0.46	-	-	-	-	-	-	
Q-90	90	360	1400→1900	305	0.85	20.0	8.6	2.32	460	851	1311	0.35	349	961	165	125	40	0.76	
Q-10	10	339	1200→1700	292	0.86	8.6	3.5	2.48	416	697	1113	0.37	317	559	154	98	56	0.64	
Q-0	0	319	1150→1650	290	0.91	7.4	2.6	2.79	409	589	998	0.41	284	457	107	58	49	0.54	