

鳥取大学 正員 ○木山英郎

" " 西村新蔵

1. まえがき

従来の弾性論を中心とした許容応力度設計方法にかわって、部材あるいは構造物としての降伏・崩壊等の機構的な限界状態を基準にした塑性設計方法が各国で実用化されようとしている。そこで、その基礎となる高応力・高ひずみ下でのコンクリートの応力-ひずみ挙動を明らかにする必要性が増してきた。

筆者らは、変位制御方式による圧縮剛性試験を実施し、崩壊に至るまでの完全な応力-ひずみ曲線を求め、とくに破壊後のひずみ軟化 (Stress-softening) 域における特性を考察した。さらに、コンクリートの時間依存性を明らかにするために、高応力・高ひずみ下での短時間応力緩和試験を実施し、コンクリートの種類や設定初期応力による応力緩和現象の特性を検討した。

2. 実験概要

- (a) 供試体：セメントは普通ポルトランドセメントと、骨材は天然骨材(N) (川砂-砕石)、造粒型人工軽量骨材(L)、非造粒型人工軽量骨材(U)の3種類を使用した。コンクリートの配合は表-1に示す通りである。供試体 ($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$) は材令 28 日までは、標準水中養生を施し、以後試験時まで約一年間実験室内に放置した。
- (b) 圧縮剛性試験：100 ton 万能試験機を用い、変位速度一定制御方式によった。図-1に示すように、圧縮試験においては試験機の剛性 K_s と供試体の剛性 K_c とが、 $K_c + K_s > 0$ なる関係を満たす限り、両者の系は安定であり、得られた応力-ひずみ曲線は正当である。しかし、供試体は一般に破壊直後に大きな負の極値 $(K_c)_{\min}$ を示すので、上式を満足するためには、試験機の剛性を十分に高めておく必要がある。幸いサーボコントロール方式の試験機では、変位速度を極低速にすることによって見掛けの剛性を高めることができ、予備試験の結果、変位速度 $\dot{\epsilon} = 0.0267 \text{ mm/min}$ (ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 1.33 \times 10^{-6} / \text{min}$) と決定した。なお、供試体変位の検出は、標準間距離 150 mm の差動変圧型変位計を直接供試体に設置して行った。
- (c) 応力緩和試験：変位一定制御方式によって行った。拘束ひずみ量 ϵ_i の設定は、初期応力 σ_0 と強度 σ_f の一定比率に規定する方法をとった。すなわち、破壊までの設定応力は $\bar{\sigma}_i = 70, 80, 90, 100$ ($\% \sigma_f$) の4段階と、破壊後についても $\bar{\sigma}_i = 90, 80, 70, \dots, 40$ ($\% \sigma_f$) の6段階を用いた。

3. 圧縮剛性試験の結果

応力-ひずみ曲線 (供試体 15 本の平均) の一例を図-2に示す。

表-1 コンクリート配合表

Mix	Slump cm	w/c %	C kg/m ³	W kg/m ³	s/a %	S kg/m ³	G kg/m ³	Pozzolith No. 8
N-A	5 $\pm$ 1	56.0	275	158	41.0	764	1160	0.25 %C
N-B	"	43.0	350	150	43.0	808	1082	"
L-A	"	66.4	275	183	43.2	562	539	"
L-B	"	50.5	350	175	41.5	525	536	"
U-A	"	59.0	275	163	46.0	612	593	"
U-B	"	44.9	350	154	39.5	572	464	"

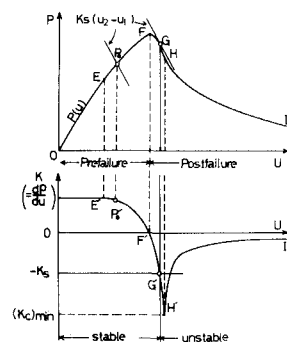


図-1

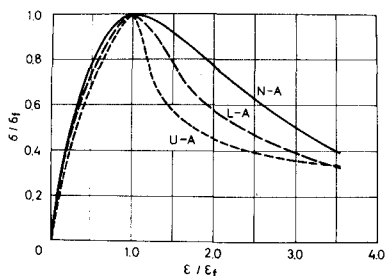


図-2 応力-ひずみ曲線

(i) N は、破壊直後もひずみの増加とともに応力は徐々に減少し、応力-ひずみ曲線は上に凸の滑らかな曲線となる。(ii) 一方 U は、破壊までは直線的な応力-ひずみ関係を示すが、破壊直後に急激な応力の減少を示し、その後は応力はほぼ一定となる。(iii) L は、両者のほぼ中間の応力-ひずみ曲線を示す。(iv) 同一骨材の場合、富配合を B の方が A に比し破壊直後の応力の減少が僅かに急である。(v) これら破壊後の応力-ひずみ挙動の差は、コンクリートも構成する骨材の強度とマトリックス（セメントペーストあるいはモルタル）の強度との相対的な大小関係によって支配されるものと解釈される。

4. 応力緩和試験の結果

応力緩和曲線（供試体各3本の平均）の一例は図-3 に示す。この図から、 $\log \sigma/\sigma_0$ と t は直線関係を示すが、かつ $t=\infty$ において有限の終局応力 σ_∞ を残留することが明かとなり、コンクリートの応力緩和現象を簡単なレオロジーモデルで十分に表現できないことがわかった。そこで、次式のような実験式を考える。

$$\sigma = (A \sigma_0 + C t) / (A + t) \quad (1)$$

ここに、 σ_0 は設定初期応力、 A 、 C は実験定数であって、 C は式(1)で $t=\infty$ において得られる終局残留応力 σ_∞ を表わし、 A は応力緩和量が終局緩和量の $1/2$ 、すなわち $\sigma_0 - \sigma = (\sigma_0 - \sigma_\infty) / 2$ に達する時間を表わし、緩和時間に対応する定数である。そこで、実験結果を各設定応力毎に $t/(\sigma_0 - \sigma)$ 、 t 座標にプロットするといずれの供試体についても両者はきれいな直線関係を示し、式(1)が十分な精度で適用できることがわかった。得られた定数 A 、 B の値は表-2 に示す。

高応力・高ひずみ下でのコンクリートの応力緩和現象の特徴は、(i) 定数 A は、かなりのばらつきがあるが、コンクリートの種類・設定応力・破壊前か後かに無関係に、6分前後の値を示す。これはクリープ試験の遅延時間に関する定数に比して極めて短かく、緩和現象の短期に終結することを示す。(ii) 定数 C は A に較べてばらつきが少なく、緩和現象の特性値としてより信頼度の高いものと考えられる。定数 C は主として初期応力の水準 σ_0 (% σ_f) によって支配される。(iii) 終局緩和量 $(\sigma_0 - \sigma_\infty)$ は、図-4 に示すように、破壊前は $(0.07 \sim 0.08) \sigma_0$ とほぼ一定、破壊直後急増し、破壊後は $(0.13 \sim 0.15) \sigma_0$ と再びほぼ一定値をとる。

図-4 終局緩和量

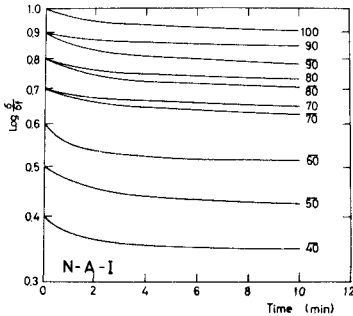


図-3 応力緩和曲線

表-2 応力緩和試験の結果

	Mix	σ_0 (% σ_f)									
		70	80	90	100	90	80	70	60	50	40
A	N-A I	8.0	6.89	6.86	5.67	5.19	5.60	7.60	2.37	4.57	2.87
	II	27.1	4.17	5.38	4.78	7.09	7.80	10.24	9.14	6.33	5.49
	N-B I		6.31	8.85	3.97	6.03	8.04	2.75	8.92		
	II		3.50	9.90	3.29	6.85	2.22	7.03			
	L-A I	37.4	9.45	3.17	6.21	1.72	3.35	9.37	2.37	3.87	9.71
	L-B I		6.73	3.09	3.33	4.80	12.50	8.34	4.55	4.76	13.43
	II	116.0	3.30	7.71	6.28	3.44	2.92	2.79	5.98	3.21	5.74
	III			5.28	4.74	6.13	7.71	2.37	3.79		
	U-A I		4.23	2.94	3.11	5.23	5.89	5.09	3.22		
	II		20.71	11.23	4.37	4.34	4.34	7.72	2.60	4.13	
C	mean	46.9	7.26	5.67	4.58	5.08	6.04	6.33	4.77	4.48	7.45
	N-A I	0.633	0.713	0.832	0.844	0.762	0.685	0.601	0.500	0.410	0.341
	II	.641	.734	.804	.889	.767	.680	.609	.519	.427	.341
	N-B I		.736	.823	.896	.787	.705	.643	.527		
	II		.763	.840	.874	.812	.689	.565			
	L-A I	.630	.732	.864	.873	.749	.702	.610	.522	.449	.308
	L-B I		.728	.853	.882	.779	.686	.604	.529	.444	.342
	II	.656	.759	.831	.886	.786	.694	.631	.544	.456	.344
	III			.805	.894	.763	.652	.578	.529		
	U-A I		.746	.862	.874	.701	.620	.589	.520		
	II		.752	.845	.861	.763	.722	.552	.491	.446	
	mean	.640	.740	.836	.881	.767	.683	.598	.520	.439	.335

