

コンクリートの圧縮破壊力学特性に関する実験的研究

東京工業大学大学院 学生員

渡辺 健

東京工業大学大学院 学生員 Torsak LERTSRISAKULRAT

東京工業大学大学院 フェロー会員

二羽 淳一郎

1. はじめに

圧縮力を受けるコンクリートは、載荷が進むにつれて圧縮軟化する破壊領域と除荷される非破壊領域に分けることができ、破壊の局所化が構造物全体の挙動に影響する。コンクリートの破壊力学の分野ではこの局所化現象を破壊に要するエネルギーに着目することにより解決しようと、近年多くの研究^{1) 2)}がなされてきたが、まだ定式化されるには至っていない。本研究では幅 100～200mm のコンクリート角柱および円柱供試体を用いて一軸圧縮試験を行い、供試体形状の違いがコンクリートの圧縮破壊領域の大きさ、および消費エネルギーに及ぼす影響について検討し、圧縮時の破壊エネルギーを定量的に評価することを試みた。

2. 実験概要

早強セメント、 $G_{max}=20\text{mm}$ の粗骨材からなるコンクリートを用い、6 日あるいは 7 日間の水中養生後、載荷試験を行った(平均 $f'_c=45\text{MPa}$)。供試体概要を表 1 に示す。全体の平均ひずみを測定するために、変位計、および局所ひずみを把握するために、異形に加工した 1 辺 10mm のアクリル製角棒にひずみゲージを高さ方向に 40mm 間隔で貼付し、供試体中央内部に設置した。載荷の際には一軸状態を再現するために、2 枚のテフロンシート(厚さ 0.05mm)の間にシリコングリスを挟んだ減摩パッドを供試体端面と載荷板の間に挿入した。載荷は、最大荷重以降の急速な荷重低下とひずみの増加に対して応力 - ひずみ関係を得るために、最大荷重以降は最大荷重到達と同時に除荷し、また載荷を行う、一方向繰返し圧縮載荷を行いその包絡線を求めた。

表 1 供試体概要と実験結果

供試体名	断面形状 (mm)	A_c (mm^2)	H (mm)	H/D	σ_{max} (MPa)	L_p (mm)	A_F (Nm)	G_{Fc} (MPa)
角柱	200×200	40000	800	4	30.1	220	1254	0.142
			400	2	30.6	253	1033	0.104
			200	1	23.7	180	576	0.080
	200×100	20000	800	4	30.4	245	797	0.163
			400	2	31.6	240	415	0.088
			200	1	37.6	200	499	0.125
	100×100	10000	400	4	28.3	175	187	0.107
			200	2	29.4	180	176	0.098
			100	1	25.3	92	223	0.242
円柱	ϕ 200	31400	800	4	27.1	260	971	0.119
			400	2	28.1	200	620	0.099
			200	1	20.6	200	428	0.068
	ϕ 100	7850	400	4	30.5	180	167	0.118
			200	2	32.3	149	165	0.142
			100	1	20.0	100	173	0.220

3. 結果および考察

結果を表 1 に示す。どの供試体においても終局時には割裂ひび割れが卓越した破壊形態が見られた。また、圧縮強度 f'_c に対する各供試体強度 σ_{max} が 30% 程度低下していたことから、端面の摩擦は除去でき、純粋な一軸状態を再現できたと考える。図 1 に平均応力 - 平均ひずみ関係を示す。また図 2 に例として PS10 - 40 より得られた供試体高さ方向の局所ひずみ分布を示す。これより局所ひずみ分布は、最大応力以降も増加する区間と、ひずみの戻る現象がみられる区間に明確にわかれた。したがって「最大応力以降もひずみが増加していく区間」を破壊領域とし、その長さを破壊領域長さ L_p と定義した。

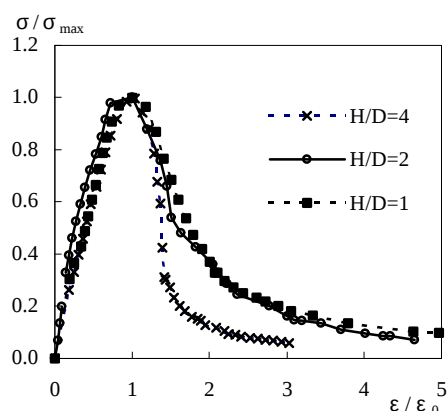


図 1 平均応力 - 平均ひずみ関係(PS10)

得られた L_p と各ケースの H/D の関係を図 3 に示す。この図から $H/D=1$ においては、ほぼ供試体全体で破壊が生じたのに対し、 $H/D=2$ 以上では破壊が局所的に生じ、また H/D が 4 に増加しても L_p の変化はほとんど

キーワード：圧縮破壊の局所化、破壊領域長さ、圧縮破壊エネルギー

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

TEL03-5734-2584

FAX03-5734-3577

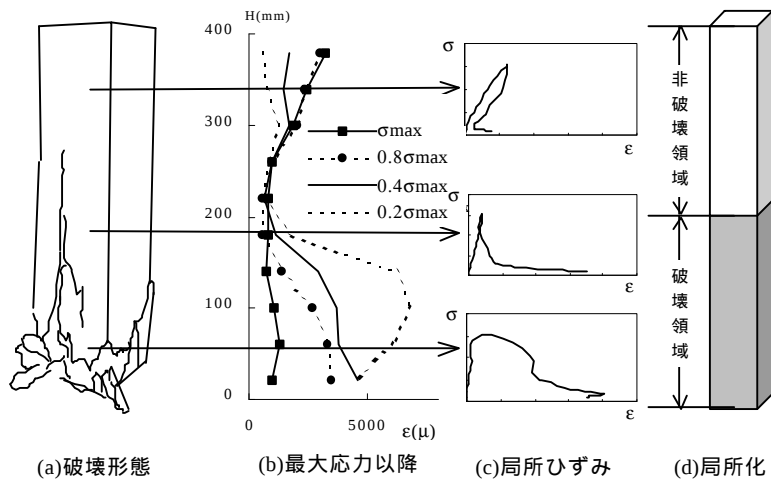


図2 圧縮破壊の局所化(PS10-40)

ど見られない。このことから破壊領域長さは H/D にあまり依存せず、各ケースの L_p の違いは断面形状の違いによるものと考えられる。そこで図4に等積正方形に換算したときの一辺長さ $D^*(=\sqrt{A_c})$ で L_p を除した値と供試体断面積の関係を示す。これより L_p/D^* はほぼ一定であることから、 L_p が D^* に比例することが推測される。

次に、変位計より得られた荷重 - 変位曲線より破壊に要したエネルギーについて検討する。図5に示すとおり、非破壊領域の除荷剛性は初期剛性と同じであると仮定し、荷重 - 変位曲線の面積から控除した。また、耐力が最大荷重の10%まで低下したときを終局状態とし、それまでに破壊に要したエネルギーを A_F と定義した。図6に局所化が生じた $H/D=2$ の供試体における G_{Fc} と A_c の関係を示す。ここで $G_{Fc} = A_F/V_p$ であり、 $V_p = A_c \times L_p$ である。 V_p は破壊領域の体積であり、 G_{Fc} は単位体積当たりの破壊に要したエネルギーであり、圧縮破壊エネルギーと定義する。なお、グラフでは圧縮強度のばらつきをなくすために $(f'_c/f'_{c0})^{2/3}$ で除してある。ただし $f'_{c0}=45\text{MPa}$ であり、平均圧縮強度である。この図から $G_{Fc}/(f'_c/f'_{c0})^{2/3}$ は供試体の H 、 H/D 、断面形状、および A_c に関係なくほぼ一定であることがわかる。

4. まとめ

(1)コンクリート供試体を圧縮すると、 $H/D=2$ にて破壊の局所化が生じ、その破壊領域長さ L_p は供試体高さ、 H/D よりもむしろ断面形状に依存し、 D^* の1.5倍程度であった。(2)破壊領域体積当たりの圧縮破壊エネルギーは断面形状、および供試体高さに依存せず一定であり、その値は最大骨材寸法が20mm、圧縮強度が40～50MPaの範囲では式(1)のように表される。

$$G_{Fc} = 0.108 \times (f'_c/45)^{2/3} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

[参考文献] 1) G. Markeset, A. Hillerborg, Softening of Concrete in Compression Localization and Size Effects, Cement and Concrete Research, Vol.25, No.4, pp.702-708, 1995

2) 平井 圭：一軸圧縮応力下のコンクリートに対する破壊領域及び破壊エネルギーの推定, 山梨大学 修士論文 1996

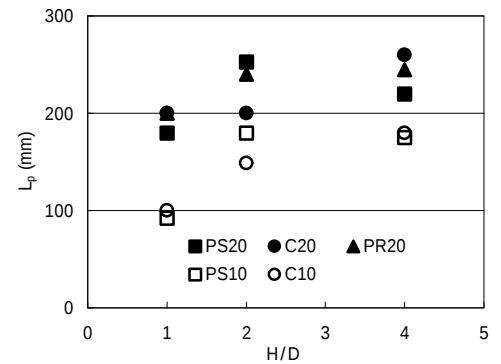


図3 L_p と H/D の関係

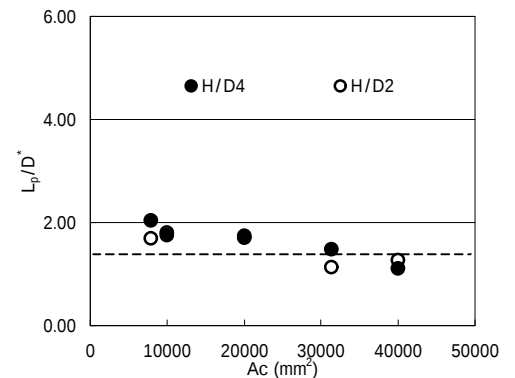


図4 L_p/D^* と A_c の関係

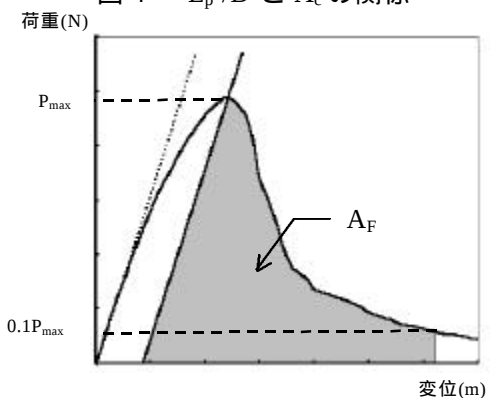


図5 A_F の定義

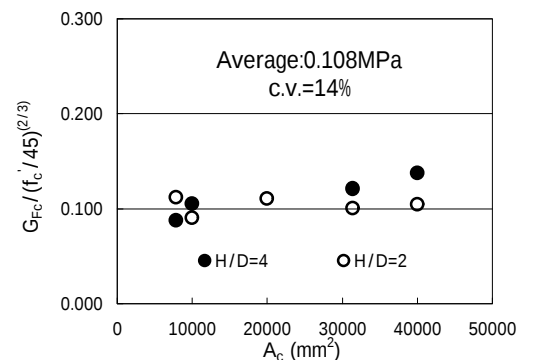


図6 $G_{Fc}/(f'_c/f'_{c0})^{2/3}$ と A_c の関係