

載荷状態の異なるコンクリートのエネルギー変化について

Study on energy of concrete with compression load under diffrent condition.

苫小牧高専 ○正 員 近藤 崇 (Takashi Kondo)
 苫小牧高専 正 員 澤田知之 (Tomoyuki Sawada)
 フェロー 能町純雄 (Sumio G.Nomachi)

1. まえがき

コンクリートに対する載荷加速度の影響は広く認識されており、CEB-FEP Model Code¹⁾や土木学会のコンクリート標準示方書²⁾においてもこれらの影響における関係式が採用されている。また、鉄筋コンクリート（以下、RCとする）部材における載荷速度を考慮した応力解析など研究も報告されている^{例えば 3)}。しかし、RC 部材は材料特性の異なる材料からなる複合部材であるため、荷重の載荷状態により分担する割合が変化することが考えられる。このことから、RC 部材中における各材料の挙動は、単一材料として行われた実験時の挙動と異なると思われる。また、コンクリートの種類、含水量の違いによるひずみエネルギー、弾性エネルギー、塑性エネルギー（損失エネルギー）の影響に関する研究⁴⁾は行われているが、同一条件で作製されたコンクリートに対する載荷条件の違いによるひずみエネルギーに関する報告はあまり例がないものと思われる。

そこで本研究では、コンクリート円柱供試体および径を変化させた5種類のPC鋼棒を用いた圧縮実験を行いコンクリートに対する材料特性値（最大応力、最大応力発生時のひずみ、弾性係数）の変化およびコンクリートが最大応力を示すまでに加えられたひずみエネルギー、弾性エネルギー、塑性エネルギー（損失エネルギー）の変化をまとめ考察することとした。

2. 実験および解析方法

2.1 供試体

コンクリート供試体は $w/c=0.4$ で JIS R 1132 に基づき作成した $\phi 100\text{mm} \times H 200\text{mm}$ の円柱体である。使用材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材（鶴川産、比重 2.68, F.M.=2.73）、粗骨材（静内産、比重 2.77, F.M.=7.00, $G_{\text{max}}=25\text{mm}$ ）、混和剤（AE 減水剤）とし、配合は表-1に示す。供試体は、打設後材齢 1 日でキャッピング、脱型後 28 日間水中養生とした。

2.2 荷重載荷装置

荷重載荷装置は図-1に示した形状である。上面鋼製載荷板のナットを締めることによって試験機からの荷重がコンクリートおよびPC鋼棒に分担される。本実験では、PC鋼棒の径を $\phi 16$, $\phi 21$, $\phi 26$, $\phi 31$, $\phi 36$ の 5mm 刻みに5種類を使用した。ここで、PC鋼棒は基準を $\phi 36$ とし、他の径は $\phi 36$ を削り作製した。

2.3 実験方法

荷重載荷は最大載荷容量 2000kN の圧縮試験器を使用し、荷重制御により行った。荷重載荷装置には、側面に2

表-1 コンクリートの配合

w/c (%)	slump (cm)	air (%)	s/a (%)	unit weight (kg/m ³)				AE water reducing agent (cc/m ³)
				W	C	S	G	
40	12.0	6.0	40.7	183	459	669	978	1.18

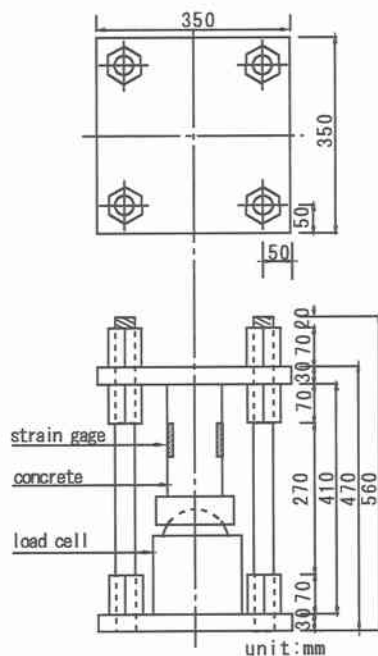


図-1 荷重載荷装置

枚左右対称にひずみゲージを貼付した供試体、球座、ロードセルを図-1のように設置し、圧縮試験機加圧板間に荷重載荷装置を挿入し荷重載荷を行う。ここで、試験器からの荷重速度は、4kN/sとした。

2.4 材料特性値算出方法

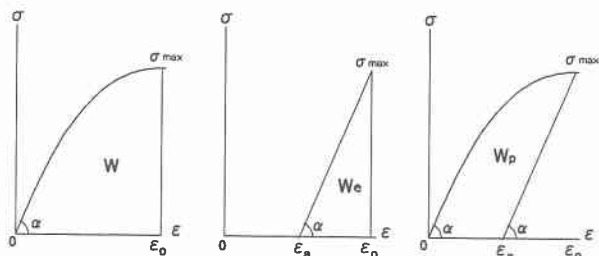
計測結果より、最大応力は実験前に測定した元断面積を最大荷重で除して求め、弾性係数は圧縮初期接線弾性係数とし、圧縮応力-ひずみ曲線の初めの接線勾配とする。よって、式(1)により求める。

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} (\varepsilon=0) \quad (1)$$

ここで、 E ：初期接線弾性係数 (N/mm^2)、 σ ：応力、 ε ：ひずみ、($\varepsilon=0$ ：ひずみが0)

2.5 ひずみエネルギーの算出方法

エネルギーの算出は、実験より得られた応力-ひずみ曲線を用いることとした。実際の挙動では、載除荷によりヒステリシスループを描くが、本解析では図-2(a)~(c)に示すモデル化した応力-ひずみ曲線より算出すること



(a)ひずみエネルギー(b)弾性エネルギー(c)塑性エネルギー

図-2 各エネルギーのモデル図

表-2 材料特性値

PC鋼棒	A	Ac/A	σ (N/mm ²)	ε_0	E(N/mm ²)
φ 0	7854	1.000	51.3	0.001736	42354
φ 16	8658	0.907	47.0	0.001793	39635
φ 21	9239	0.850	45.0	0.001829	36573
φ 26	9978	0.787	40.3	0.001957	33527
φ 31	10873	0.722	38.5	0.002026	31507
φ 36	11925	0.659	36.7	0.002142	30473

※ PC鋼棒:荷重載荷装置で使用したPC鋼棒の種類
A:総断面積(PC鋼棒の径+コンクリートの断面積)
Ac/A:コンクリートの断面積/総断面積

とした。

ひずみエネルギーは図-2(a)に示すようにコンクリートの最大応力までの応力-ひずみ曲線で囲まれた面積とコンクリート供試体の元の体積の積より求める。

$$W = Al_0 \int_0^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon \quad (2)$$

ここで、 W :与えられたエネルギー、 l_0 :元の長さ、 A :元の断面積、 ε_0 :最大応力発生時のひずみ

また、弾性エネルギー(W_e)については図-2(b)に示す $\Delta\varepsilon_a \sigma_{max} \varepsilon_0$ に囲まれた面積(式(3))により求める。

$$W_e = Al_0 \int_{\varepsilon_a}^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon \quad (3)$$

ここで、 $\sigma = E \cdot \varepsilon - b$ 、 b : y 切片
塑性エネルギーは、式(4)により求める。

$$W_p = W - W_e \quad (4)$$

3. 実験結果および考察

3.1材料特性値の変化

PC 鋼棒の径を変化させて行った実験より得られた材料特性値を表-2に示す。結果より、PC 鋼棒の径が大きくなるに従い、最大応力および弾性係数は低下、最大応力発生時のひずみは増加する傾向を示している。詳細は、前報⁹⁾で示したとおりである。

3.2最大応力までのエネルギーの変化

表-3および図-3に最大応力までにコンクリートに加えられた各エネルギーの変化を示す。表-3の()内の数字は、ひずみエネルギーに占める各エネルギーの割合である。

結果より、荷重載荷装置に用いた PC 鋼棒の径が大きくなるに従い最大応力発生時までにコンクリートに加えられたひずみエネルギーは低下する傾向を示している。そこで、回帰直線による近似を行った結果、変化の割合は単純圧縮実験より得られたひずみエネルギーと Ac/A との積に比例する結果が得られた。同様に、弾性エネ

表-3 エネルギーの変化

PC鋼棒	Ac/A	W (J)	W _e (J)	W _p (J)
φ 0	1.000	87.71	51.49 (0.57)	36.22 (0.41)
φ 16	0.907	78.45	40.21 (0.51)	38.24 (0.49)
φ 21	0.850	74.61	42.25 (0.57)	32.37 (0.43)
φ 26	0.787	67.35	35.43 (0.52)	32.30 (0.48)
φ 31	0.722	62.64	37.05 (0.53)	25.59 (0.41)
φ 36	0.659	56.21	32.23 (0.57)	23.98 (0.43)

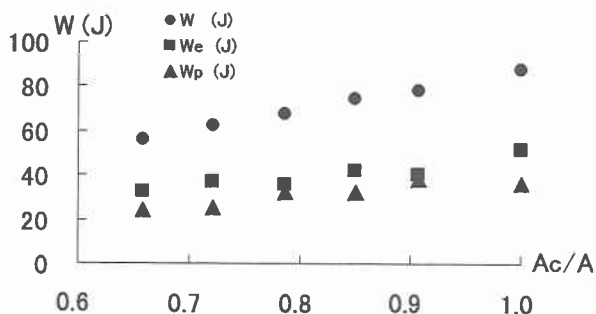


図-3 エネルギーの変化

ギーと塑性エネルギーも低下する傾向を示しひずみエネルギーに占める割合に急激な変化は見られなかった。よって、本実験におけるコンクリートのひずみエネルギーの低下は、見かけの弾性抵抗が低下したことによる弾性エネルギーの低下が大きな要因であると考えられる。

また、今回実験で使用したコンクリートの強度が大きく荷重載荷装置の剛性効果を得ることがあまりできていない。これにより、ひずみ硬化域が明確に現れていないため、PC 鋼棒の径の変化による各エネルギーの割合に変化が生じていないものと考えられる。

4. まとめ

実験結果より、コンクリートの圧縮特性として全体に占めるコンクリート断面積の低下により材料特性値に変化が生じ、最大応力までのひずみエネルギー、弾性エネルギー、塑性エネルギーに変化が生じ低下する傾向を示すことが確認された。

今後、剛性効果を得られる試験器あるいはコンクリートを作製し実験数を増やすことにより、載荷状態の変化による各エネルギー変化の特性、最大応力発生以降の軟化域を明らかにすることができると考えられる。

参考文献

- 1) CEB: CEB-FIP Model Code 1990, pp.48-50, 1993.
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書・設計編, pp.23-24, 1997.
- 3) 小谷俊介: 鉄筋コンクリートにおける載荷速度の影響, コンクリート工学, Vol.21, No.11, pp.23-33, 1983.
- 4) 岡田清, 小柳治, 六車恵哲: 含水量の異なるコンクリートの圧縮破壊過程に関するエネルギー的考察, 土木学会論文報告集, 第248号, pp.129-136, 1976
- 5) 近藤崇, 澤田知之, 能町純雄: 圧縮力を受ける部材の材料特性に関する実験的研究, 土木学会北海道支部論文報告集, pp.74-77, 2000