

I-A 74 Duffing 型応力－ひずみ関係を有するコンクリートに関する研究

苫小牧高専 正会員 ○近藤 崇
 苫小牧高専 正会員 澤田知之
 日本大学 正会員 木田哲量
 日本大学 正会員 能町純雄

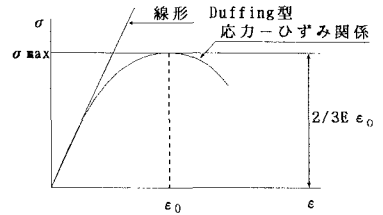
1. はじめに

非線形材料としたコンクリートの最大応力発生までの応力－ひずみ曲線はこれまでの単純圧縮実験によれば Duffing 型応力－ひずみ理論式によって表現できるという結果が得られている。そこで、本研究では、最大応力発生後の急激な破壊を制御するための破壊緩和装置を用いたコンクリートの圧縮実験を行い、最大応力発生以降の応力－ひずみ関係を計測して Duffing 型応力－ひずみ理論式との適合性を検討する。

2. Duffing 型応力－ひずみ関係

非線形な力学特性を有する材料に外力が作用した場合の応力 σ とひずみ ε の関係は $\sigma=f(\varepsilon)$ なる連続関数として表すことにする。ここで、ひずみ ε は微小変形であると仮定すると、 $\sigma=f(\varepsilon)$ をマクローリン展開し、さらに構成材料の初期接線弾性係数 E を正負応力に対して等しいと仮定し、第 2 項までとれば式(1) のようになる。

$$\sigma=E\left(\varepsilon-\frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2}\right)\cdots(1)$$



図－1 Duffing 型応力－ひずみ関係

ここで、 ε_0 は最大応力発生時のひずみ値である。なお、式(1)が Duffing の振動方程式の復元力と同様に 3 次の奇数べきで表されるので、これを Duffing 型応力－ひずみ関係と称した。

3. コンクリートの圧縮実験

表－1 コンクリートの配合

3-1 供試体

供試体は JIS R 1132 に基づき作製した $\phi 100\text{mm} \times \text{H}200\text{mm}$ の円柱とした。使用材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材（A：中国複安省複安河産，比重 2.51，F.M. = 3.34，B：君津産，比重 2.58，F.M. = 2.36），A：B = 2：8，粗骨材（青梅産， $G_{\text{max}}=20\text{mm}$ ，比重 2.67，F.M. = 6.60），混和剤（AE 減水剤：ポゾリス No. 70）とし、配合を表－1 に示す。また、養生日数は 28 日間とした。

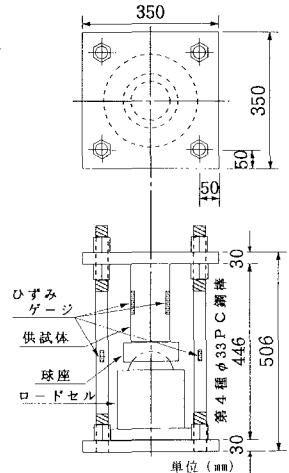
w/c (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				AE 減水剤 cc/m³
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
45	14.5	5.1	41.8	169	376	711	1029	940

柱とした。使用材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材（A：中国複安省複安河産，比重 2.51，F.M. = 3.34，B：君津産，比重 2.58，F.M. = 2.36），A：B = 2：8，粗骨材（青梅産， $G_{\text{max}}=20\text{mm}$ ，比重 2.67，F.M. = 6.60），混和剤（AE 減水剤：ポゾリス No. 70）とし、配合を表－1 に示す。また、養生日数は 28 日間とした。

3-2 実験装置

荷重載荷は載荷容量 100tf のアムスラー型万能試験機を使用し、荷重制御で行った。

破壊緩和装置は図－2 に示した形状である。上面の鋼製載荷板はナットで挟み上下に可動させることができ、下面の鋼製載荷板は $\phi 33\text{mm}$ の第 4 種 PC 鋼棒 4 本で支持固定したものである。上面のナットを締めることによって試験機からの荷重の一部が PC 鋼棒に負担され、最大応力発生時の急激な破壊を制御することができる。最大応力発生以降は、増加する試験機からの荷重と供試体から移行する荷重を PC 鋼棒が負担することになり、供試体の崩壊を防ぐことができる。



図－2 破壊緩和装置

3-3 実験方法

破壊緩和装置内には側面に 2 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－2 の

ように設置する。そして、万能試験機加圧板間に破壊緩和装置を挿入し、以下の方法で荷重を載荷する。

- ①荷重を与える速度は応力の増加が毎秒 3kgf/cm^2 とする。
- ②供試体に最大荷重の約80%の荷重が載荷された後、破壊緩和装置のナットを締める。
- ③供試体が最大応力を示した後も荷重を載荷し続け、荷重およびひずみを測定する。

求められた応力を縦軸、荷重に対するひずみ値を横軸にプロットして応力-ひずみ曲線を描くために、最小二乗法により整理し、Duffing型応力-ひずみ関係において必要なパラメーターである E 、 ε_0 を得ることとし、得られた曲線を実験値とした。ここで、 E は圧縮初期接線弾性係数と定義できるので、圧縮応力-ひずみ曲線の初めの接線こう配とする。

4. 実験結果

図-3に結果を示す。図-3より、破壊緩和装置のナットを締めた箇所から実験値と理論値に差異が生じていることがわかる。この差異の原因はPC鋼棒のナットを締めたことによってコンクリート供試体における載荷速度が低下したことによる速度効果の影響であると考えられる。そこで、破壊緩和装置のナットを締めた後の載荷速度を実験結果より求め、破壊緩和装置装着前後の載荷速度による単純圧縮実験を行って材料係数の変化を確認することとした。表-3に破壊緩和装置装着前後のコンクリート供試体における載荷速度、図-4に実験結果を示す。

この図より、作製条件の等しい供試体においても載荷速度が低下すると材料係数が小さな値を示し、見かけの弾性係数が小さくなることがわかる。そこで、2種類の載荷速度で行った圧縮実験より得られた弾性係数を 表-3 載荷速度（単位 σ/sec ）

破壊緩和装置	供試体	載荷速度
装着前	③	3.00
後	②	0.15

この結果より、実験値と理論値との差異の原因は載荷速度の低下による速度効果によるものであることが確認された。

以上のことを考慮した結果、コンクリートの塑性域における応力-ひずみ関係も Duffing型応力-ひずみ関係によって近似的に表現できることが確認された。

5. 考察

図-3～5より、コンクリートの応力-ひずみ関係は、

- 1) 速度効果によって強度に影響が現れた場合
- 2) 最大応力発生以降の場合

いずれの場合の応力-ひずみ関係も Duffing型応力-ひずみ関係により表現することができることが検証された。また、実験の際に供試体における載荷速度を一定に保つことによって、応力-ひずみ関係を Duffing型応力-ひずみ関係によって近似的に表現することができた。

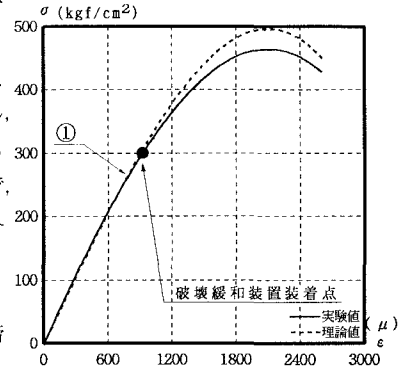


図-3 応力-ひずみ関係

① $E=3.56 \times 10^5 (\text{kgf/cm}^2)$, $\varepsilon_0=0.00210$

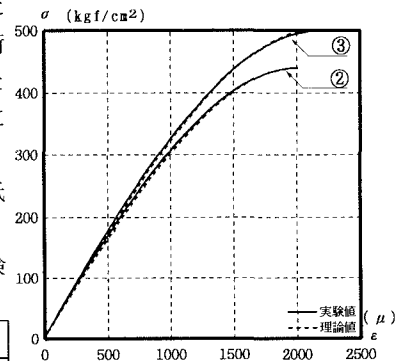


図-4 2種類の載荷速度による結果

② $E=3.27 \times 10^5 (\text{kgf/cm}^2)$, $\varepsilon_0=0.00202$

③ $E=3.43 \times 10^5 (\text{kgf/cm}^2)$, $\varepsilon_0=0.00220$

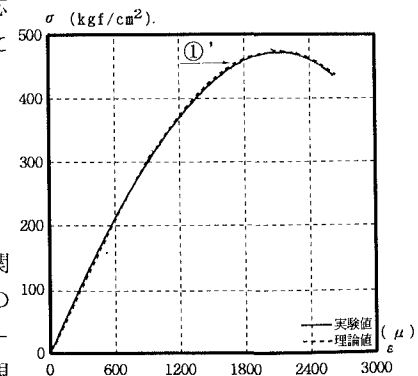


図-5 載荷速度を考慮した結果