

V-41

RC構造の損傷度評価に関する研究

東北大学工学部 学生員○赤倉 康寛

東北大学大学院 学生員 足立 英明

東北大学工学部 正 員 鈴木 基行

1. はじめに これまで行われてきたRC構造の塑性変形能の定量化に関する研究は、靱性率に関するものと、履歴エネルギーに関するものに大別される。しかし、RC構造は、大変位および繰り返し荷重の両方によって損傷を受けると考えられるので、その損傷度を評価する場合、最大応答変位と繰り返し荷重による履歴エネルギーの両方を考慮に入れなければならないと思われる。本研究では、曲げ降伏後曲げ破壊するRC部材を対象に、履歴消費エネルギーを指標として損傷度を評価する手法を提案する。

2. 履歴消費エネルギー 履歴消費エネルギーは、荷重履歴を考慮し、変位がこれまでの最大変位を越えたかどうかで分けて考える。これは、単調荷重による場合繰り返しを受けた場合に比べて崩壊までの履歴エネルギーの消費量が少ないことと、これまでの最大変位を越えなかった履歴ループは越えた場合に比べて小さいことを反映させたものである。これまでの最大変位を越えた場合、初載荷部分（図-1）は、その面積をそのまま消費エネルギー量として用いる。それに対し、これまでの最大変位を越えなかった場合、履歴ループのうち、荷重、変位ともに塑性域にある部分（図-2）のみ、前回までの消費量に加えられると考える。この部分を塑性仕事 W_p と定義し、変位 $i\delta_y$ における、 W_p のヒステリシスループの面積 W_h の中で占める割合（塑性仕事率 R_w ）を算定すると、

$$R_w = W_p / W_h = (i-1)^2 / (2i-1)^2, (i \rightarrow \infty) \rightarrow 1/4 \quad (1)$$

式(1)では、 R_w を変位 i の関数として示したが、 R_w は繰り返し回数 N の関数でもある。 R_w を i と N に対して定量化することは、ランダムな地震動に対象とする場合無意味であると考えられるので、 R_w には収束値1/4を用いた。

3. 最大消費エネルギー まず、断面での最大消費エネルギー量を考える。小柳ら¹⁾によると、断面でのエネルギー消費量のうち、特に引張鉄筋比が小さい場合、軸方向鉄筋での消費量がそのほとんどを占める。そこで、最大消費エネルギー量は軸方向鉄筋で消費されたエネルギーの量であるとする。鉄筋の $\sigma \sim \epsilon$ 曲線はBi-linearで、コンクリートは六車ら²⁾のコンファインドコンクリート $\sigma \sim \epsilon$ 曲線を用いる。断面での釣り合いから、

$$S_c(\epsilon_c') = (p\sigma_s - p'\sigma_s')(\epsilon_s + \epsilon_c') \quad (2)$$

が導かれる。ここに、 $S_c(\epsilon_c')$:コンクリートの $\sigma \sim \epsilon$ 曲線下の面積、 p, p' :引張、圧縮鉄筋比、 σ_s, σ_s' :引張、圧縮鉄筋応力、 ϵ_s :引張鉄筋ひずみ、 ϵ_c' :コンクリートひずみである。曲げ終局限界点は、引張鉄筋ひずみが最大となる点とし、圧縮鉄筋が座屈することを考慮するとコンクリートの終局応力 σ_{cu}' は次式となる。

$$\sigma_{cu}' = p f_{sy} \quad (3)$$

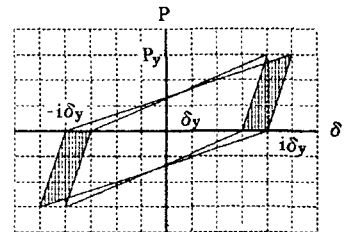


図-1 初載荷部分

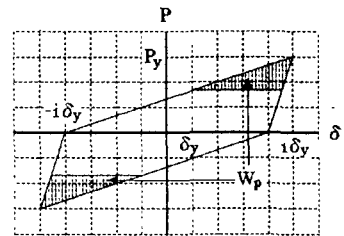


図-2 塑性仕事

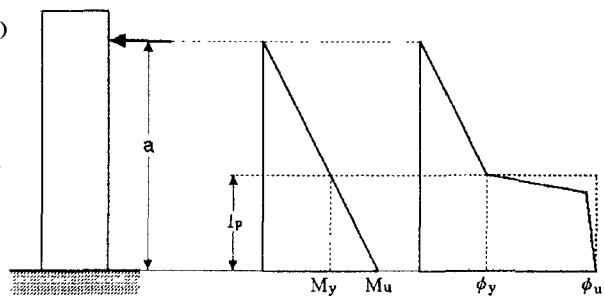


図-3 終局時のM、 ϕ の分布

f_{sy} : 鉄筋の引張強度。式(2)、(3)より、鉄筋の終局ひずみ ϵ_{su} は、

$$\epsilon_{su} = \left\{ S_c(\epsilon_{cu}) / P f_{sy} \right\} - \epsilon_{cu} \quad (4)$$

よって、断面での最大消費エネルギー量 W_{cmax} は、次式となる。

$$W_{c,max} = n A_s S_s (\epsilon_{su}) \quad (5)$$

A_s : 軸方向鉄筋断面積、 n : 軸方向鉄筋の本数。ここで、部材の終局時のモーメント M 、曲率 ϕ の分布は図-3 のようになると考えられる。 ϕ の分布は引張鉄筋の分布とほぼ同一であるので、その分布を図中の点線のように仮定する。最大消費エネルギー量の算定には、塑性域のみを考慮すれば十分と考えられるので、その長さを断面の有効高さ d と等しいとくと、柱での最大消費エネルギー量 W_{max} は次のようになる。

$$W_{max} = dn A_s S_s (\epsilon_{su}) \quad (6)$$

式(6)による計算値と石橋ら、荒川ら、太田ら、大野ら³⁾ による実験値との相関を図-4 に示す。曲げ降伏曲げ破壊した26体での算定値の実験値に対する比は平均0.94、CO.V.20.0%、相関係数0.915であった。なお、鉄筋の繰返し載荷によるBauschinger効果を考慮し、東ら⁴⁾ の実験から初載荷部分、最大消費エネルギー量を1.4倍して評価した。

4. 累積消費エネルギー

実際に大地震が起きた場合を想定し、得られた地震波から、RC柱の弾塑性解析を行い、入力された履歴消費エネルギーの総和である累積消費エネルギー量 W_{acc} を表-1 にまとめた。対象とした柱の断面寸法は10x1.0x43(m)、軸方向引張鉄筋比0.30(%)、せん断補強筋比0.25(%)である。地震波は、宮城県沖、El-Centroのものを最大加速度を400~700(gal)に拡大して用いた。

5. 損傷度

RC構造の損傷度 D は、最大消費エネルギー量と累積消費エネルギー量を用いて、次のように定義する。

$$D = W_{acc} / W_{max} \quad (7)$$

大野ら³⁾ の実験での D の推移を図-5 に示す。算定値による D と実験値による D が1.0を越える点はほぼ一致しており、その傾きから、繰返し回数 N が少ないうちは、最大応答変位の影響が大きく、繰返し回数の増加にしたがって、履歴エネルギーの影響が大きくなっているのが読み取れる。また、損傷度の確率論的に評価すると、破壊確率は、

$$P_f = P(D \geq 1) = P(W_{acc} \geq W_{max}) \quad (8)$$

と表せる。 W_{acc} を確定値、 W_{max} をCO.V.10%の対数正規分布とすると、 $P_f = 10^{-6}$ に対応する D は $D = 0.60$ である。

6. まとめ

最大応答変位と繰返し載荷による履歴エネルギーを考慮した履歴消費エネルギーを導入し、RC構造の損傷度を評価する手法を述べた。今後、繰返し荷重下でせん断破壊する柱への適用、 W_{acc} 、 W_{max} の確率評価が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 小柳・六郷・岩瀬: RCの曲げ破壊過程と曲げじん性に及ぼす材料特性の影響、土木学会論文集、No.348/V-5、pp.153~162
- 2) 六車・中塚・勝田・田中: 横拘束コンクリートの応力ひずみ曲線のモデル化、セメント技術年報 34、pp.429~432
- 3) Ohno, T. and Nishioka, T.: An experimental study on energy absorption capacity of columns in reinforced concrete structures, Proc. of JSCE, Strud. Eng./Earthquake Eng., Vol.1, No.2, pp.23~33
- 4) 東・大久保・大塚: 鉄筋コンクリート短柱崩壊防止に関する総合研究 (その23)、日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)、2389、pp.1113~1114

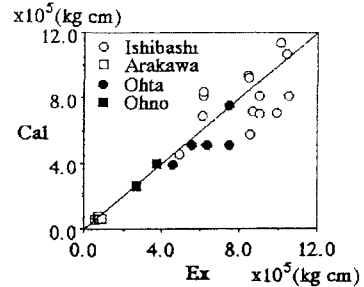


図-4 W_{max} の計算値と実験値の比較

表-1 地震波による累積損傷エネルギーと損傷度

最大加速度 (gal)	宮城県沖		El-Centro	
	Wmax (tm)	D	Wmax (tm)	D
400	0.0107	0.005	0.0306	0.015
500	0.0466	0.023	0.1960	0.096
600	0.674	0.329	0.854	0.416
700	1.19	0.581	1.36	0.664

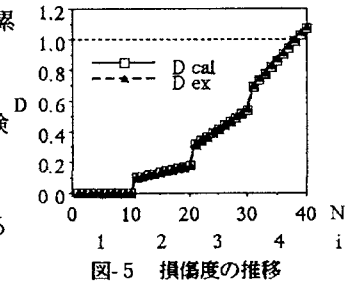


図-5 損傷度の推移