

R.C.構造部材の損傷度と地震応答に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 後藤 尚男
大成建設 正員 杉原 豊

京都大学工学部 正員 家材 浩和
京都大学工学部 石田 秀之

1. まえがき 近年、非線形領域までを含めた地震応答解析が盛んに行なわれているが、塑性域に及ぶ繰返し荷重による構造物の損傷を考慮したものは極めて少ない。本研究では、まずR.C.部材の低サイクル曲げ疲労破壊試験を実施して、剛度・エネルギー消費能の劣化と、振幅と繰返し数で定義される損傷度関数で整理した。

さらに、これらの結果をモデル化し、動特性の劣化が地震応答に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要 用いた供試体は $15 \times 10 \times 20$ cm, $\phi=10$ mm, 鉄筋比 0.011 の複鉄筋長方形断面である。これを長さ 100 cm の単純ばりとして中央部に交番繰返し集中荷重を載荷した。実験仕様をTable-1に示した。じん性率振幅をパラメーターとして、載荷回数と反力および履歴面積(エネルギー消費能に対応する。)の関係をそれぞれFig.-1, Fig.-2に示した。載荷振幅がじん性率で4以上のものは、コンクリートが載荷ごとに抜け落ち、反力・エネルギー消費能ともに急激な劣化を示す。振幅が2以下のものは、エネルギー消費能の劣化は急激であるが、反力は比較的高いレベルを維持し、鉄筋の疲労破壊により破壊する。この中間の振幅のものは両者の特徴を合せ持ったものと言えよう。Fig.-3 はじん性率振幅4.42の試験での履歴復元力曲線の劣化性状を示したものである。

3. 累積損傷度 試験結果から強度の劣化は載荷回数・振幅の大きさにより連続的に変化することがわかる。したがって、損傷度を定義する上で必要な破壊基準の設定は大きな問題である。本研究では、履歴復元力曲線の劣化状況・載荷形式等

Table-1 Pattern of Loading

NO.	INPUT AMPLITUDE	WAVE FORM	FREQUENCY
1.	1.42 (in D.F.)	sinusoidal	0.45 Hz
2.	1.76		
3.	2.08		
4.	2.48		
5.	2.55		
6.	3.40		
7.	4.42		
8.	5.37		
9.	6.17		

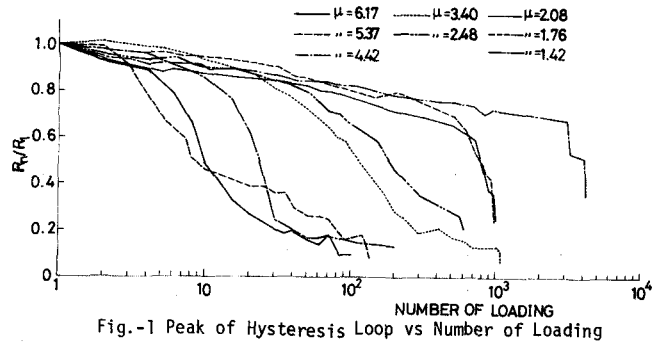


Fig.-1 Peak of Hysteresis Loop vs Number of Loading

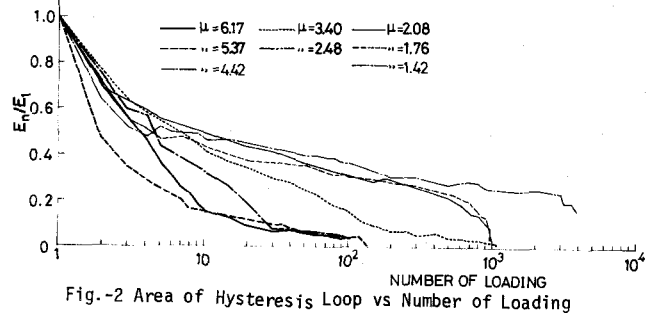


Fig.-2 Area of Hysteresis Loop vs Number of Loading

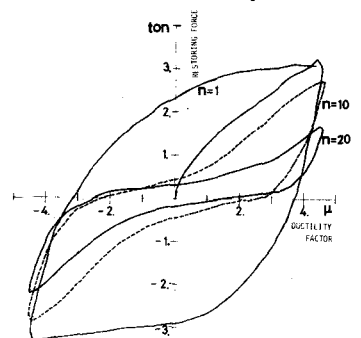


Fig.-3 Hysteresis Loop of 1st, 10th and 20th Loading

を勘案して、反力が処女載荷時の60%に劣化したときを破壊と便宜的に定めた。じん性率振幅 μ と破壊回数 N を両対数紙上にプロットしたのがFig.-4である。 $S-N$ 曲線を求めると次式となる。

$$N \cdot \mu^{4.072} = 9.036 \times 10^3 \quad (1)$$

上式より、じん性率振幅 μ_i で n_i 回載荷した時の累積損傷度 $D(n)$ は次式で示される。

$$D(n) = \sum \Delta D_i = \sum n_i (\mu_i / \mu_f)^{4.072} = \sum (n_i / N_i) \quad (2)$$

ただし、 μ_f は理論上、1回の載荷で破壊するじん性率振幅である。Fig.1.2の横軸の載荷回数を累積損傷度に変換して表示したものがFig.5,6にある。同図から反力・エネルギー消費能の劣化を振幅の大小にかかわらず、累積損傷度によって表示しうる可能性の存在するんことがわかる。

4. 動的パラメータのモデル化と地震応答解析

反力・エネルギー消費能の劣化は、それぞれ振動系の等価剛度、等価減衰係数の劣化に対応する。これらの劣化性状と損傷度の関係はFig.-5,6を参照して次式によりモデル化した。

$$f_s(D) = 1.0 - 0.4(D), f_d(D) = 1.0 - 0.8(D)^{0.1} \quad (3)$$

一方、劣化を考慮しない単純履歴構造物の等価固有円振動数 ω_0 (μ_i)および等価減衰係数 $\beta_{eq}(\mu_i)$ は最小二乗誤差法などにより、応答振幅 μ_i のみの関数として決定できる。本研究では損傷を受けて劣化する履歴構造物の等価線形パラメータと応答振幅 μ_i および損傷度 D の関数として次式で定義する。

$$\omega_{eq}(D, \mu_i) = f_s(D) \cdot \omega_{eq}(\mu_i), \beta_{eq}(D, \mu_i) = f_d(D) \cdot \beta_{eq}(\mu_i) \quad (4)$$

Fig.-7は、Taft NS成分を入力とした場合の地震応答変位である。ここで入力強度と降伏強度の比は2.61, β_0 は0.39, ω_0 は $9.67 \frac{1}{\text{sec}}$ である。

計算にあたっては半周期ごとに応答振幅と損傷度を算出し、式(4)より等価線形パラメータの決定を行なった。図中実線が示した劣化モデルは、損傷度が軽微な間は、破線で示される非劣化モデルとほぼ同様の応答を示しているが、6秒前から周期・振幅ともに小さくなり、10秒では剛度が0となり完全な破壊状態となる。報告を終えるに際して、実験を進める上で御助力を得た京大工学部小柳治助教授・矢村潔助手、立命館大学理工学部児島孝之助教授に謝意を表します。

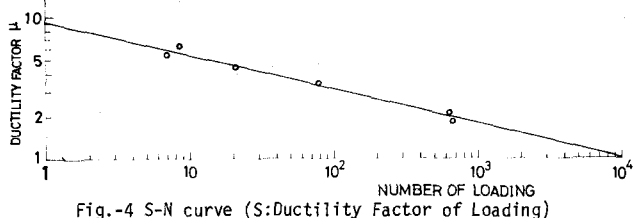


Fig.-4 S-N curve (S:Ductility Factor of Loading)

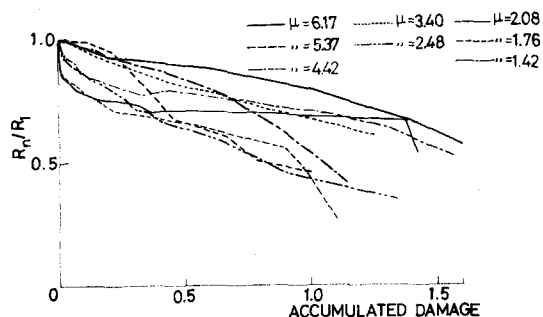


Fig.-5 Deterioration of Peak of Hysteresis Loop vs Accumulated Damage

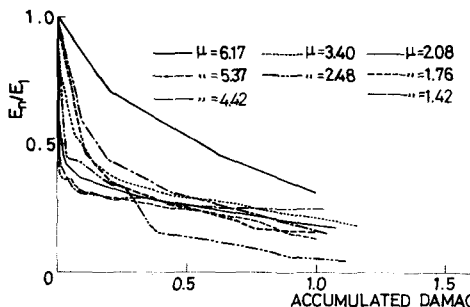


Fig.-6 Deterioration of Area of Hysteresis Loop vs Accumulated Damage

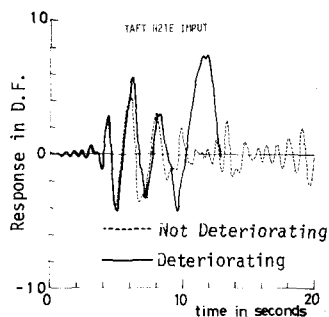


Fig.-7 Earthquake Response of Hysteretic Structures With and without Effect of Deterioration