

京都大学工学部 正員 家村浩和 京都大学工学部 正員 山田善一
神戸市 正員 豊田 巖

1. はじめに 本報告では、まず先に実施された鉄筋コンクリート(R.C.)曲げ部材の一定変位制御による載荷実験¹⁾に引き続いて、3段階変位制御の試験を行ない、同部材の剛度やエネルギー吸収性能の劣化特性も、すでに提案した損傷度関数²⁾を基礎的パラメータとして検討を加えた結果を示した。さらに、実験結果を参照して設定した劣化履歴振動モデルの地震応答解析から、最大じん性率応答、累積損傷度、全エネルギー吸収量を算出し、劣化履歴構造物の動的破壊規範としての妥当性を比較・検討した。

2. 3段階変位制御載荷実験 供試体および載荷方法は、一定変位制御試験の場合と全く同一である。3段階の載荷変位としては、じん性率振幅 μ_n で、3, 4を採用し、これらの全ての組み合わせ順序に対する実験を行った。各振幅での載荷回数 N_n は、定義した損傷度¹⁾がほぼ $\frac{1}{2}$ づつになるように設定した。Fig. 1は、3種の載荷順序に対する、復元力特性の履歴面積の劣化過程と、累積損傷度をパラメータに示したものである。履歴面積は、損傷度が軽微な範囲で、いずれの場合も急激な劣化を示す。初期載荷じん性率振幅が4の範囲における2種の試験結果に、若干の差が見い出されるが、これは供試体そのものや実験手法にもとづくばらつきである。同一の累積損傷度における履歴面積は、当然のことながら、載荷振幅が大きいほど大きな値を示している。また同一載荷振幅における履歴面積の劣化を累積損傷度方向にたどると、載荷順序にかかわらず一定の劣化傾向が存在しうるのである。

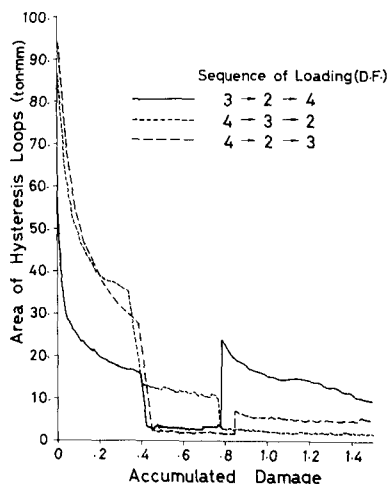


Fig. 1 Deterioration of Area of Hysteresis Loops Subjected to 3 Stages of Loading

3. 載荷順序と部材の劣化特性 載荷順序が部材の劣化過程に及ぼす

影響を検討するため、載荷じん性率振幅が3のみの結果を各載荷段階より切り出してプロットしたのがFig. 2, 3である。Fig. 2には履歴面積、Fig. 3には履歴のピークと原点を結んだ直線より得られる剛度の劣化を示した。これらの図中には、一定変位制御試験より得られた劣化関数

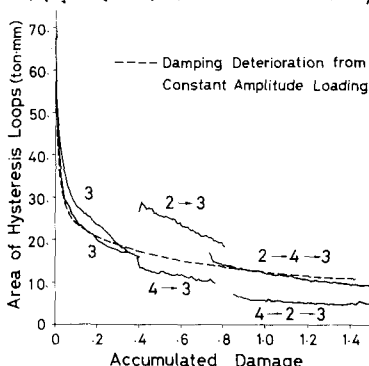


Fig. 2 Effects of Sequence of Loading to Deterioration of Area of Hysteresis Loops

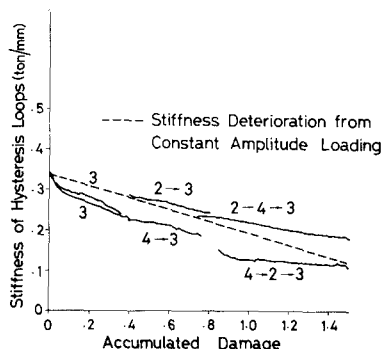


Fig. 3 Effects of Sequence of Loading to Deterioration of Stiffness of Hysteresis Loops

$f_p(D)$, $f_s(D)$ に第1サイクル目の履歴面積、剛度を乗じた値を実線で同時に示した。ここに、 $f_p(D)$, $f_s(D)$ は次式より得られる。

$$f_p(D) = 1.0 - 0.8 D^{0.1}, \quad f_s(D) = 1.0 - 0.4 D \quad \text{----- (1)}$$

第1載荷段階でじん性率振幅4を受けたものは、履歴面積・剛度ともに、各段階で比較的連続した劣化傾向を示しているが、平均値的な劣化(実線)よりもかなり下回った値となっている。一方、第1載荷段階でじん性率振幅3を受けたものは、第2, 第3段階での履歴面積・剛度が第1段階からの値と不連続であり、しかも平均値的な

劣化よりも大きな値を示している。これらの事実は、載荷振幅の大小により、部材の損傷範囲にかなりの差があること、したがってじん性率振幅が2→3に増加する場合は、2での損傷度を低減させて3での劣化を評価する必要のあること、これとは反対に振幅が3→2に減小する場合には、3での損傷度を増大させて2での劣化を評価するべきであることなどを示している。こうした損傷度の補正を考慮してやれば、部材の剛度と減衰性能の劣化は、変動振幅の場合でも、載荷振幅と損傷度関数とで比較的簡便に表現可能と考えられる。

4. 劣化履歴振動モデルの地震応答解析 前項での考察より、劣化履歴振動モデルの等価固有円振動数 ω_{eq} および等価減衰指数 β_{eq} を次式により定義する。

$$\omega_{eq}^2(D, \mu_i) = f_D(D) \omega_{eq}^2(\mu_i), \quad \beta_{eq}(D, \mu_i) = f_D(D) \beta_{eq}(\mu_i) \quad \text{---(2)}$$

ここに、 $\omega_{eq}^2(\mu_i)$, $\beta_{eq}(\mu_i)$ は振幅が μ_i の場合の初期履歴特性の等価線形パラメーターである。履歴形状としては、Iwanのモデル³⁾を採用した。Fig.4

には、EL Centro記録(1940-578)のS00E成分を入力した場合の地震応答じん性率、損傷度および動特性の劣化傾向を示した。構造物の初期弾性固有周期は0.65秒、減衰定数は0.02である。また入力の最大加速度と降伏加速度との比 K_s は1.3である。

5. 動的破壊規範 劣化履歴構造物の動的破壊規範として、最大じん性率応答 μ_{max} 、累積損傷度 D 、全吸収エネルギー

ギー E を取り上げ、入力強度 K_s に対してプロットしたのがFigs. 5, 6, 7である。これらの図中には、線形および定常バイリニアモデルの応答値も同時に示した。 K_s が小さい間は、3モデルともほぼ同じ値を示すが、 $K_s > 1.0$ となると3者に大きな差が出て来る。特に劣化モデルの μ_{max} とこれに比較的近い傾向の D には急激な増大が見られる。また E に関しては、劣化モデルがある限界値を示している。これらのことより、構造物の動的破壊現象を劣化振動モデルによりかなり忠実に表現しうるものと考えられる。

謝辞 実験を進める上で御助力を賜った岐阜大学工学部小柳治教授、京都大学工学部矢村潔助手およびデータ整理に有益な助言を与えられた京都大学大学院袴田文雄氏にそれぞれ謝意を表します。

参考文献 1) 家村・俊藤・杉原, 第32回土木学会年次学術講演会概要第1部, 2) 俊藤・家村, 第4回日本地震工学シンポジウム(1979)講演集, pp.967-974. 3) W.D. Iwan, Proc. of 5th ASCE, Rome Vol. II, pp. 1782-1791.

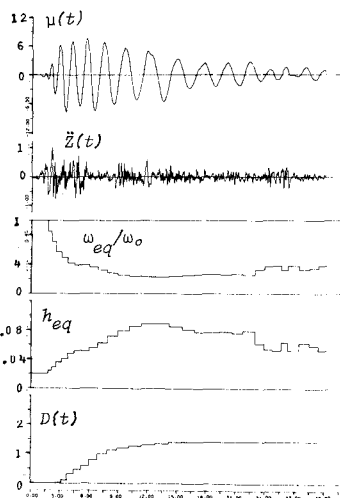


Fig.4 Earthquake Response of Deteriorating Hysteretic Structures

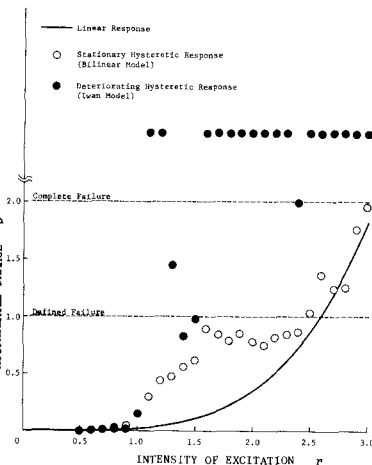


Fig.5 Maximum Ductility Factor Response

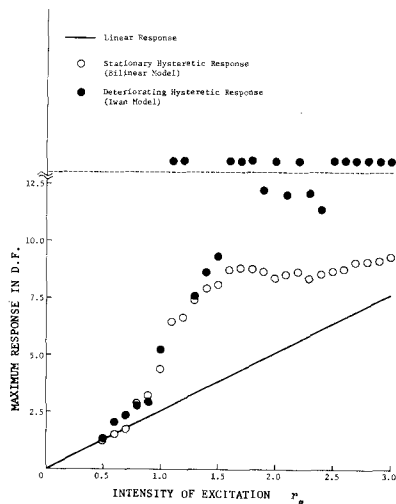


Fig.6 Accumulated Damage

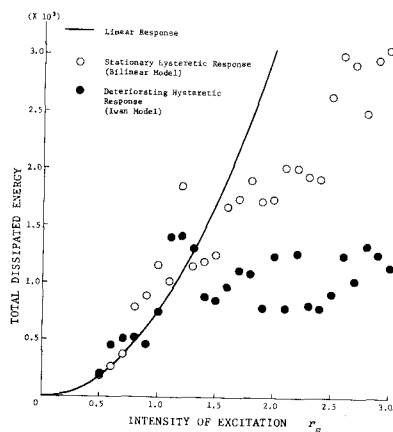


Fig.7 Total Dissipated Energy