

論文

[2042] 大変形正負交番繰り返し荷重を受けるRC部材の曲げ耐力特性

正会員 魚本健人 (東京大学生産技術研究所)

正会員○矢島哲司 (芝浦工業大学土木工学科)

1. はじめに

コンクリート構造物に過大な外力が作用した場合の損傷、劣化の程度を正確に知ることは、その構造物の耐久性における損傷度評価の上で重要なことと考えられる。近年、この損傷度解明の手段として破壊力学の手法のコンクリートへの応用が摸索されている[1]、[2]。本研究は、材料学の視点から曲げを受ける鉄筋コンクリート(以下、RCと略す)はりを対象として、力学エネルギーの概念を用いて損傷度の評価方法を確立することを目的とするものである。RCはりの損傷、劣化の程度はその部材の変形能、履歴減衰エネルギー等と密接な関係があると考えられる[3]、[4]。そこで、この損傷度解明の第一段階として、変位制御による動的な大変形正負交番繰り返し荷重を行い、変位を各種変化させた場合(部材降伏変位 $\delta_y$ のn倍)のRCはりの破壊時までの履歴減衰エネルギー、等価減衰定数、繰り返し回数等と損傷、劣化との関係について実験的に検討したものである。なお、本論における破壊(終局)時とは動的繰り返し荷重中に耐荷力が著しく低下した時点とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験に使用した試験体は15×20×250cm(スパン210cm, a/d=5.16)で主鉄筋はD13(SD345使用:降伏点368N/mm<sup>2</sup>,引張強さ561N/mm<sup>2</sup>)、スタラップはD10(SD295A使用:降伏点370N/mm<sup>2</sup>,引張強さ498N/mm<sup>2</sup>)である(図-1)。なお荷重時のコンクリートの圧縮強度は363~471(kgf/cm<sup>2</sup>)であり、主鉄筋比(Pt)は1.05%、腹鉄筋比(Pw)は0.97%である。

2.2 荷重および測定方法

本実験の荷重はいずれも変位制御で動的に行い、以下に示すように部材の降伏変位 $\delta_y$ (約8mm)を基に① $\pm 1\delta_y$ (0.4Hz)、② $\pm 2\delta_y$ (0.2Hz)、③ $\pm 3\delta_y$ (0.2Hz)、④ $\pm 4\delta_y$ (0.1Hz)、⑤ $\pm 5\delta_y$ (0.1Hz)の5種類

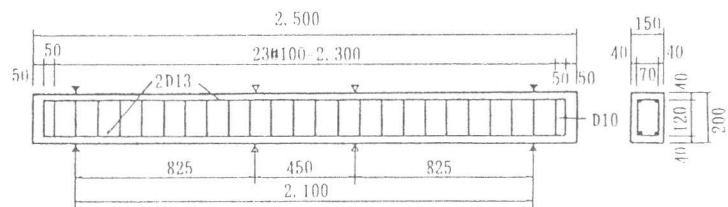


図-1 試験体諸元

の同一振幅の正負交番繰り返し荷重と⑥各種振幅を混合させた荷重( $\pm 1\delta_y$  2回、 $\pm 3\delta_y$  1回、 $\pm 5\delta_y$  3回、 $\pm 3\delta_y$  4回、 $\pm 1\delta_y$  5回を組み合わせサイクル1回とする)をいずれも破壊まで行った。なお参考までに静的荷重によって一方向荷重および $\pm 0.5\delta_y \sim \pm 6\delta_y$ までの変位漸増荷重も行った。降伏変位 $\delta_y$ は静的1方向荷重より求めた。また前述のごとく、耐荷力が著しく低下した時点をもって破壊とした。各種の測定に関しては、部材中央に変位計を、鉄筋およびコンクリート表面の所定の場所にひずみゲージを添付してそれぞれ測定を行った。また操作およびデータ処理はすべてコンピュータでコントロールした。

### 3. 結果と考察

#### 3. 1 繰り返し回数 (n) の耐荷力への影響

同一の振幅で動的に繰り返し荷重を行った部材の耐荷力は振幅の相違にかかわらず耐荷力にはあまり差異がない (図-2)。なお試験体  $\pm 1\delta_v$  の (A) は主鉄筋が降伏点に達しない状態での繰り返し荷重された場合、(B) は降伏した状態の場合である。また繰り返し回数の増加にともない耐荷力は漸減するが、破壊は突然生じる。破壊の主な原因は、 $\pm 5\delta_v$  の試験体が荷重点位置のコンクリートの圧壊によるものであるが、それ以外は、主鉄筋の切断によるものである。なお各種試験体の破壊形態、繰り返し回数等の実験結果は表-1 に示す通りである。また繰り返し回数の増加による耐荷力の低下の割合は、著者らの報告でも既に確認しているが [5]、図-3 の⑥各種振幅を混合させた場合の履歴曲線が示すように、耐荷力は組み合わせサイクル2回目の荷重において最も大きく低下する。また振幅の小さいものほど低下の割合は大きい、組み合わせサイクル3回目以降の低下率は各変位とも小さい。なおこれは各種試験体においても共通していた。

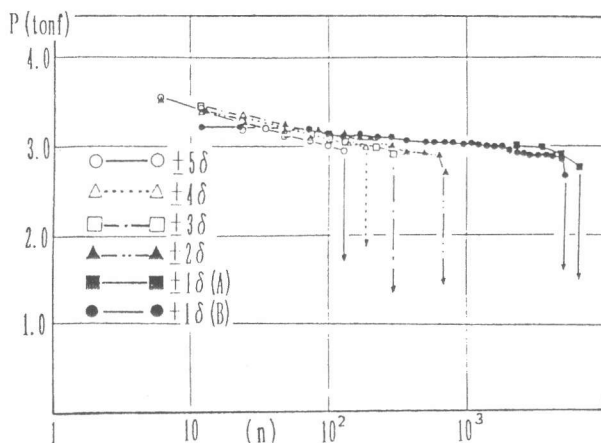


図-2 繰り返し回数の耐荷力への影響

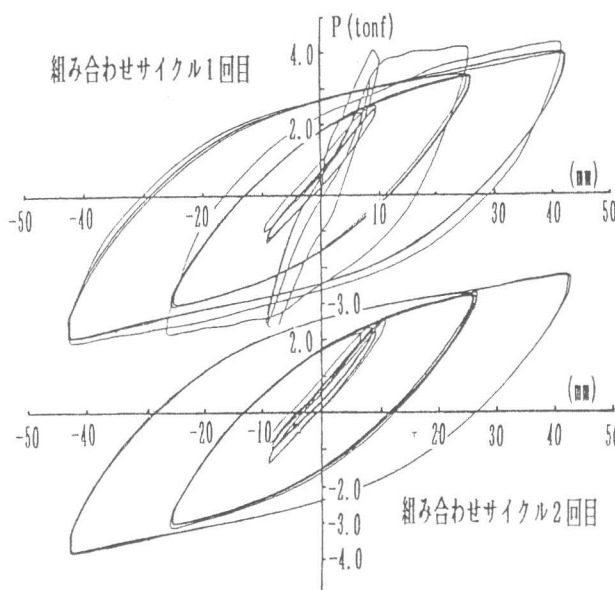


図-3 荷重～変位履歴曲線

#### 3. 2 履歴減衰エネルギーと等価減衰定数

動的試験における1サイクルの履歴曲線で囲まれる図形の面積を履歴減衰エネルギー ( $\Delta W$ ) とし、その時点の変位 ( $\delta$ ) と荷重 ( $P$ ) との積を等価ポテンシャルエネルギー ( $W = P \cdot \delta$ )

表-1 実験結果

振 幅	繰り返し回数 (n)	最大荷重	最終荷重	注3) $\Sigma \Delta W$	注4) $\Sigma W$	$\Sigma \Delta W$ $\Sigma W$	破 壊 パ タ ー ン
		注1) (t)	注2) (t)	( $\times 10^7 \text{kg}\cdot\text{mm}$ )	( $\times 10^7 \text{kg}\cdot\text{mm}$ )		
(A)	7490	3.51	2.68	3.8921	18.4646	0.21	曲げ破壊 (鉄筋切断)
(B)	5593	"	2.84	1.6745	13.1042	0.13	"
$\pm 2\delta$	720	3.69	2.78	3.6165	3.3452	1.08	"
$\pm 3\delta$	311	4.06	2.84	3.8215	2.4196	1.58	"
$\pm 4\delta$	191	4.24	3.09	3.5437	2.0427	1.73	"
$\pm 5\delta$	143	4.23	2.84	3.3878	1.7966	1.88	せん断 (コンクリート圧壊)
混合振	24回	—	—	3.2709	2.2411	1.46	せん断 (鉄筋切断)

注1) 静的一方向荷重における同変位の荷重

注2) 破壊直前のサイクルの最大荷重

注3) 履歴減衰エネルギー総和

注4) 等価ポテンシャルエネルギー総和

とすると等価減衰定数 (h e) は次式で表わすことができる [ 6 ] 。

$$h e = (1 / 4 \pi) \cdot (\Delta W / W) \quad (1)$$

図-4 は静的載荷における1サイクル目の振幅の増加にともなう履歴減衰エネルギー量の変化と等価減衰定数を示しているが、じんせい率 ( $\mu = \delta / \delta y$ ) の増加にともない履歴減衰エネルギー量は直線的に増加しており、振幅の違いによる顕著な差異を示した。しかし等価減衰定数は、振幅の増大とともに増加割合は小さくなっている。また動的載荷においては、振幅の小さい試験体の履歴減衰エネルギーはほぼ一定な値であるが、振幅の大きい  $\pm 5 \delta_y$ 、 $\pm 4 \delta_y$  の履歴減衰エネルギーは回数の増加にともない減少を示した (図-5)。なお等価減衰定数に関しては、 $\pm 5 \delta_y$ 、 $\pm 4 \delta_y$  のように履歴減衰エネルギーの減少率が比較的大きい載荷においても繰り返し回数の増加による減少率は小さな値を示した (図-6)。

### 3. 4 累積エネルギー

図-7 は動的載荷によって求められた各試験体の履歴減衰エネルギーを加算した累積エネルギー ( $\Sigma \Delta W$ ) と繰り返し回数との関係を示した図である。載荷振幅、破壊形態等の相違にもかかわらず加算された総エネルギー量はほぼ同一の値 (平均値:  $3.315 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ ) を示している。このことから、本実験の試験体の条件の範囲内においては線形被害則の適用も十分考えられる [ 7 ] 。

無次元化するために、各種振幅における破壊時までの等価ポテンシャルエネルギーの総和 ( $\Sigma W = \Sigma P_i \cdot \delta_i$ ) と履歴減衰エネルギーの総和 ( $\Sigma \Delta W_i$ ) の比 (E) を示したのが図-8 である。なおこの値は1サイクル当たりの両者の比であり、実載荷された振幅 ( $\delta_i$ ) から1サイクル

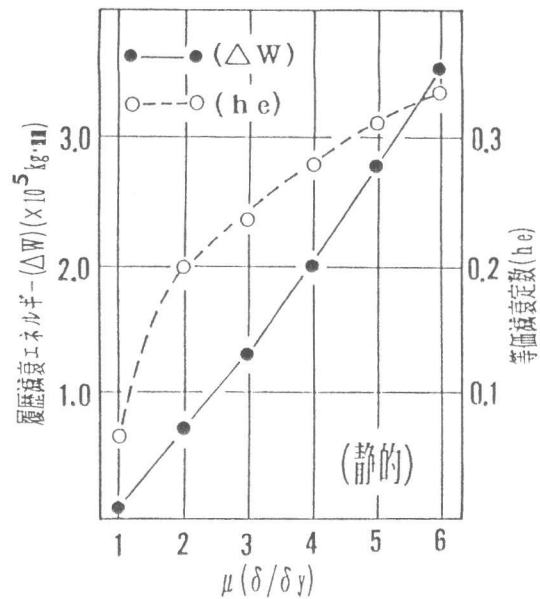


図-4 履歴減衰エネルギーと等価減衰定数

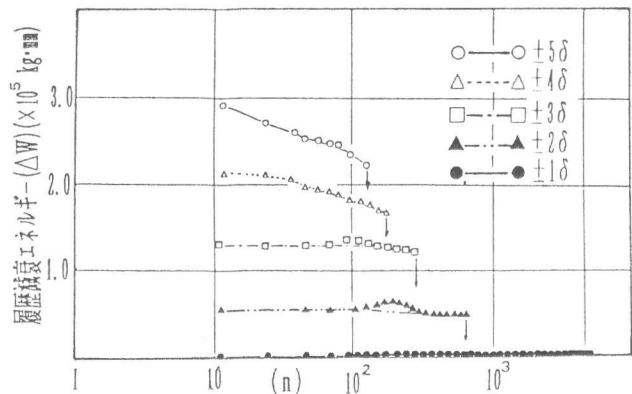


図-5 履歴減衰エネルギーの変化

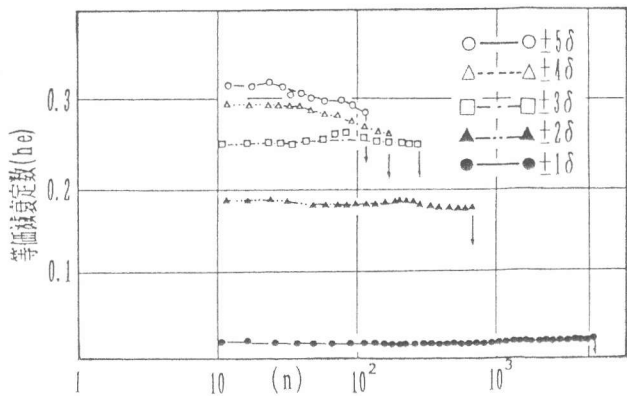


図-6 等価減衰定数の変化

における履歴減衰エネルギー量( $\Delta W_{\delta i}$ )の推定が可能と考えられる。また振幅の増加とともにその比は大きくなるが、その増加率は小さくなっている。

#### 4. まとめ

本実験の範囲内で以下のことが明らかとなった。

1) 部材の降伏以降における静的载荷においては、振幅の違いによる耐荷力の差は小さいが、各1サイクルの履歴減衰エネルギー量は、じんせい率の増大とともに直線的に増加する。

2) 5種類の同一振幅の正負交番繰り返し载荷および各種振幅を混合させた载荷における累積エネルギー量は各試験体ともほぼ同一の値を示した。また無次元化するために求めた総エネルギーの比( $E$ )は変位量の増加とともに大きくなる。

これらの結果より、部材の実载荷による履歴減衰エネルギーを加算することにより、その部材の損傷程度を推定する可能性が示されたと考えられる。なお今後の問題としては、断面諸元、軸力および载荷履歴等の累積エネルギーに影響を及ぼすと考えられる他の要因について検討する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 小林昭一：コンクリートの破壊機構、コンクリート工学、Vol.13, No.2, 1975.2
- [2] 三橋博三：コンクリートの破壊力学の現状と展望、コンクリート工学、Vol.25, No.2, 1987.2
- [3] 小柳治・六郷恵哲・岩瀬裕之：RCはりり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-1, 1984.8
- [4] 井上晋ほか：正負交番荷重下のコンクリートはり部材の累積消散エネルギーに及ぼす各種要因の影響、土木学会第45回年次学術講演会、1990.9
- [5] 魚本健人・矢島哲司・田村重四郎：繰り返し大変形を受ける鉄筋コンクリート部材の特性、生産研究、Vol.42, No.12, 1990.12
- [6] 町田篤彦：鉄筋コンクリート構造物の耐震設計法に関する研究の現状、土木学会論文集、No.366/V-4, 1986.2
- [7] 町田篤彦編：現代土木材料、オーム社、1990.8

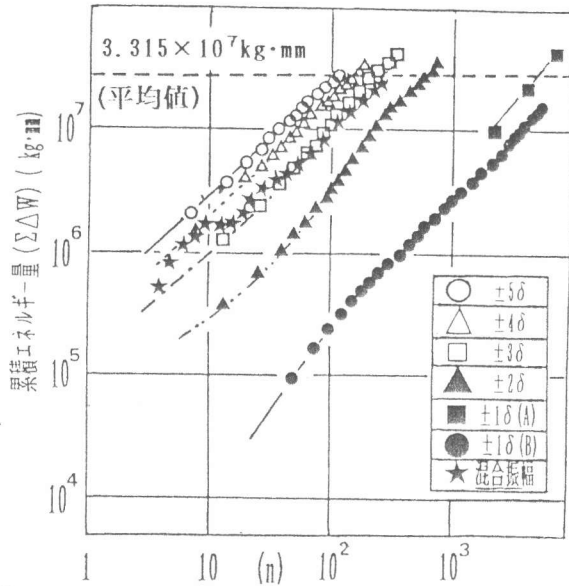


図-7 累積エネルギー

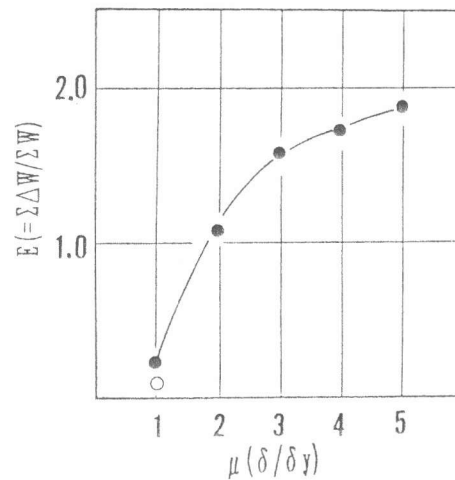


図-8  $E(\Sigma \Delta W / \Sigma W)$  と  $\mu(\delta / \delta y)$