

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

京都大学工学部 学生員○高橋 顕 学生員 以後 有希夫 正員 井上 晋
正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

1. はじめに 大地震時のような正負交番の超過荷重が作用する場合、コンクリート構造物およびそれを構成する各部材は種々のレベルの損傷を受けると考えられる。この損傷の程度は構造物を構成する各部材の最大応答変位および履歴消散エネルギーと密接な関係があると考えることができ、近年、この考えに基づいた種々の損傷評価指標が提案されている。しかしながら、上記の最大応答変位や履歴消散エネルギーに影響を及ぼす要因は非常に多く、これらの影響を定量的に評価しておく必要がある。本研究では、矩形断面のRCおよびPPCはり部材を対象として、荷重履歴を変化させた正負交番載荷試験を実施し、荷重履歴が破壊時までには消散することのできるエネルギーに及ぼす影響を検討するとともに、過去に行った正負交番載荷試験結果^{1), 2)}を用いて、緊張率、鋼材指数、降伏ヒンジ領域に配置する横拘束筋量、コンクリート強度等の要因が破壊に至るまでの累積消散エネルギーに及ぼす影響を検討し、その定式化を試みた。

2. 実験概要 供試体は、いずれも幅×高さ=10×20cmの矩形断面を有し、断面内に鋼材を対称複筋配置した最大曲げ耐力のほぼ等しいRCおよびPPC単純はりとした。また、載荷方法はスパン140cm(全長180cm)に対して、曲げスパン20cm, せん断スパン60cmの対称2点載荷とした。鋼材指数 $q (=A_s f_{sy} / (b d_s f_c') + A_s f_{sv} / (b d_s f_c'))$ はRCはりで0.274, PPCはりで0.321であり、緊張率 $\lambda (=A_s f_{sv} / (A_s f_{sv} + A_s f_{sy}))$ はRCはりで0, PPCはりで0.7である。また、横拘束筋体積比 ρ_s はいずれのはりにおいても2.0%とした。なお、荷重履歴の設定は、表1に示すようにスパン中央たわみが $\delta_v, 2\delta_v, 3\delta_v, 4\delta_v$ (δ_v : 降伏たわみ)となる各変位レベルにおいて繰返し回数を5回と0回に限定し、供試体間で履歴が異なるように組合せを行った。所定の荷重履歴を与えた後、これらの供試体はいずれも最終的に $8\delta_v$ で耐力がかなり消失したと認められるまで繰返し載荷を行った。

3. 試験結果および考察 各はりが各変位段階で消散したエネルギー、 $8\delta_v$ での載荷を行うまでに消散した累積エネルギー ΣE_d および $8\delta_v$ の1回目のループの E_d の値を表2に示す。PPC, RCのいずれのはりにおいても、変位レベルが $8\delta_v$ に達するまでに履歴した最大変位レベルが大きいほど、変位レベル $8\delta_v$ の1回目の繰返しにおける E_d 値は小さくなっている。特に、変位レベル $4\delta_v$ での繰返しを受けたはりでは、 $8\delta_v$ までの累積消散エネルギーが同程度であっても(例えば0005と0550), $8\delta_v$ での E_d 値が $4\delta_v$ での繰返し

表1 荷重履歴

記号	δ_v	$2\delta_v$	$3\delta_v$	$4\delta_v$
0500	0回	5回	0回	0回
0050	0回	0回	5回	0回
0005	0回	0回	0回	5回
0550	0回	5回	5回	0回
0505	0回	5回	0回	5回
0055	0回	0回	5回	5回
5550	5回	5回	5回	0回

表2 累積消散エネルギー

供試体		各変位における ΣE_d (t·mm)				$8\delta_v$ までの ΣE_d	$8\delta_v$ 1回目の E_d
		δ_v	$2\delta_v$	$3\delta_v$	$4\delta_v$		
RC	0500	0	516.3	0	0	516.3	725.2
	0050	0	0	883.7	0	883.7	673.2
	0005	0	0	0	1345	1345	436.2
	0550	0	513.0	840.6	0	1354	681.9
	0505	0	497.8	0	1246	1744	472.7
	0055	0	0	892.8	1008	1901	623.5
	5550	82.42	521.3	938.8	0	1543	625.8
PPC	0500	0	436.7	0	0	436.7	674.5
	0050	0	0	862.8	0	862.8	555.6
	0005	0	0	0	1145	1145	298.6
	0550	0	433.7	781.0	0	1215	597.6
	0505	0	454.7	0	1047	1502	267.3
	0055	0	0	871.7	1023	1895	237.1
	5550	40.86	291.2	546.8	0	878.8	541.4

を受けないはりに比べ小さくなっており、このことは、RC、PPCのいずれにおいても4 δ_y 程度の変位レベルにおいて繰返し載荷による部材劣化が著しくなることを示している。

4. 破壊時までの累積消散エネルギーの定量化 過去に行った載荷方法の等しい正負交番繰返し載荷試験^{1), 2)}のうち、曲げで破壊したPPCおよびPCはり（RCはりには破壊形式がせん断のため除外）のデータを用いて、各はりの破壊時までの累積消散エネルギー ΣE_d を計算し、それを降伏たわみ δ_y の計算値と降伏荷重 P_y の計算値との積で除した無次元化累積消散エネルギー（ $\Sigma E_d' = \Sigma E_d / P_y \delta_y$ ）に及ぼす鋼材指数 q （ $0.122 \leq q \leq 0.447$ ）、横拘束筋比 ρ_s （ $0 \leq \rho_s \leq 2.98\%$ ）、緊張率 λ （ $0.4 \leq \lambda \leq 0.937$ ）、コンクリート強度 f_c' （ $317 \leq f_c' \leq 841 \text{ kgf/cm}^2$ ）との関係を検討した。なお、破壊は耐力が正方向、負方向のいずれかにおいて実最大耐力の80%以下に低下した時点と定義した。また、荷重履歴については、単調漸増正負交番繰返し載荷（各変位1回繰返し）を行なったものと、漸増定変位正負交番繰返し載荷（各変位10回繰返し）を行なったものに別けて考えることとした。これは、前述のように累積消散エネルギーが載荷履歴により影響を受けるためである。

単調漸増正負交番繰返し載荷を行った46体のはりおよび漸増定変位正負交番繰返し載荷を行った28体のはりについて各要因の影響を検討したところ、いずれの場合も $\Sigma E_d'$ は ρ_s の増大とともに増加する傾向がみられ、その増加の割合は λ 値に影響を受けることが認められた。一方、 $\Sigma E_d'$ 値は λ の値が増大するとともに直線的に減少する傾向にあるが、その割合は ρ_s 大きいほど大きくなる傾向が認められた。なお、 q および f_c' の影響については顕著な傾向は認められなかった。以上の結果により、 $\Sigma E_d'$ と ρ_s および λ の関係を次式のように定式化した。

$$\Sigma E_d' = a + b \rho_s (1 - \lambda) + c \rho_s + d (1 - \lambda)$$

上式について最小自乗法により係数 a 、 b 、 c 、 d を求めた結果を表3に示す。また、この回帰式による $\Sigma E_d'$ の計算値（ $\Sigma E_d'_{\text{cal}}$ ）と実験値（ $\Sigma E_d'_{\text{mea}}$ ）の関係を図1に示す。この図より、単調漸増正負交番繰返し載荷および漸増定変位正負交番繰返し載荷下のPPCおよびPCはりの破壊時までの累積消散エネルギーをかなりの精度をもって推定できると考えられ、各部材が破壊時まで消散することのできるエネルギーを種々要因の関数として求めておけば、部材が実荷重により消散した累積エネルギーを求めることにより、その損傷程度を判定することが可能であると考えられる。

5. あとがき 本研究では、コンクリートはり部材の累積消散エネルギーに及ぼす種々要因の影響を検討するとともに、破壊時までの累積消散エネルギーと横拘束筋体積比および緊張率との関係の定式化を試みた。その結果、ある程度の精度をもって破壊時までの累積消散エネルギーを推定できることが明かとなったが、今後、さらに多くのデータを用いてその影響を定量化することが必要であると思われる。

参考文献 1) 小林, 井上, 勝野: 昭和62年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, V-3, 昭和62年
2) 井上, 以後, 松本, 小林, 藤井: 昭和63年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, V-1, 昭和63年

表3 最小自乗法による係数

	単調漸増	漸増定変位
a	-4.11	-27.4
b	51.22	171.7
c	-0.17	1.84
d	52.25	76.83

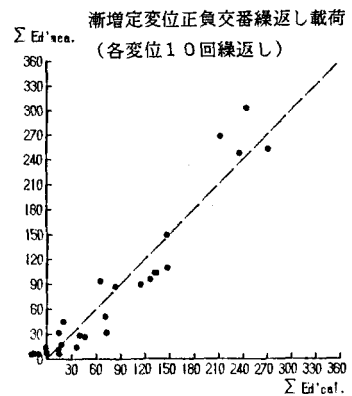
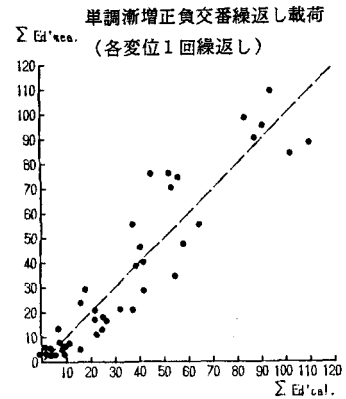


図1 無次元化累積消散エネルギーの実験値と計算値の比較