

各種の大変形繰り返し载荷を受けるRC梁の破壊時までの 累積消費エネルギー量による損傷度指標

Damage Index Using the Total Energy Dissipated from RC Beams until Failure Under
Different Cyclic Large Deformation Histories

魚 本 健 人*・矢 島 哲 司*
Taketo UOMOTO and Tetsuji YAJIMA

1. は じ め に

鉄筋コンクリート (以下RCとする) 構造物の地震などによる損傷度評価に関しては、靱性による評価方法などすでにいくつか提案されているが¹⁾²⁾、これらの評価には構造物に累積された損傷は直接考慮されておらず、より正確に損傷度評価を行うためには、累積された損傷度の評価の概念を導入することが必要であると考えられる³⁾。

そこで本研究は、構造物に累積された損傷度評価の一方法として、曲げを受けるRC梁を対称として、まず各種振幅による破壊時までの消費エネルギー量 (ΔW : 図-1 参照) を求め、それらの比較検討を行い、さらにそれらの累積消費エネルギー量 ($\Sigma\Delta W$) を求めることにより、载荷履歴や複雑な载荷状態に対しても適用可能な消費エネルギー量による累積損傷度評価方法を確立することを目的とするものである⁴⁾。

2. 実 験 概 要

2.1 試験体

実験に使用した試験体の寸法は図-2 に示すとおり、15 cm×20cm×250cmで、スパンは210cm、曲げスパンは45 cmである。

配筋は、主鉄筋にD13(SD345;降伏点368N/mm²,引張強さ561N/mm²)を使用し、上下2本ずつ配置し、スターラップはD10(SD295A;降伏点370N/mm²,引張強

さ498N/mm²)を10cmピッチで配筋した。

なお引張鉄筋比 (p), 圧縮鉄筋比 (p') ($p/p'=1.0$) および腹鉄筋比は図-2 に示すとおりである。

使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。また各試験体の载荷時におけるコンクリートの平均圧縮強度は441kgf/cm²である。

2.2 载荷方法

本実験の载荷は、いずれも変位制御で動的に行い、降伏変位 δy (約8mm)をもとに、表-2 に示すような同一振幅による正負交番繰り返し载荷 (①~⑤) と、2種類の混合組み合わせ载荷 (⑥、⑦) の合計7種類をいずれ

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C(%)	細 骨 材 率 S/A(%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (C×1.0%)
20	8±2	2±1	58	52.2	174	300	969	925	3.0

表-2 载荷方法

载荷振幅	荷重速度	波 形
① ±1 δy	0.4Hz	sin波形
② ±2 δy	0.2Hz	sin波形
③ ±3 δy	0.2Hz	sin波形
④ ±4 δy	0.1Hz	sin波形
⑤ ±5 δy	0.1Hz	sin波形
⑥ 混合波	図-3	sin波形
⑦ 模擬波	図-3	三角波形

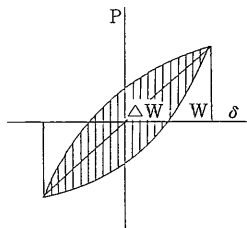


図-1 消費エネルギー

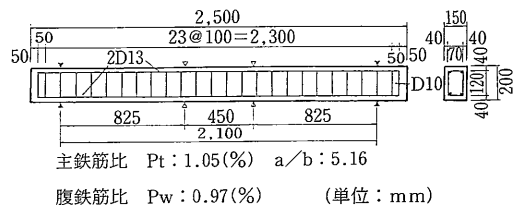


図-2 試験体諸元

*東京大学生産技術研究所 第5部

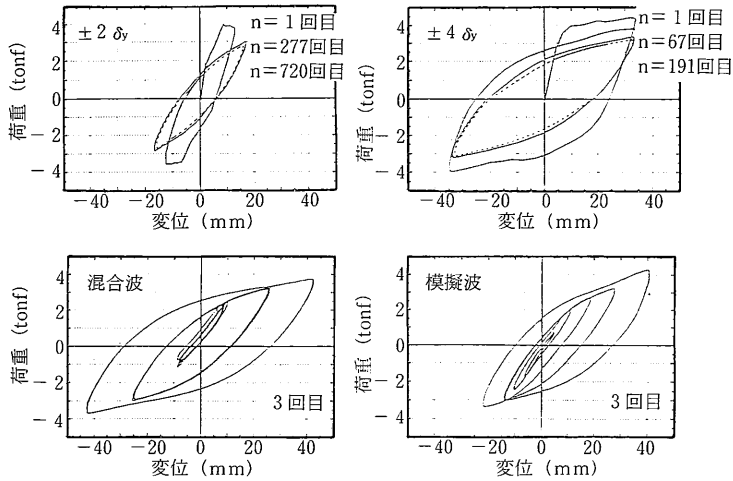


図-5 荷重-たわみ履歴曲線

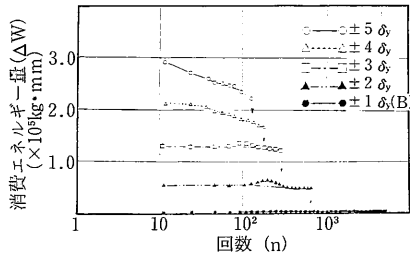


図-6 消費エネルギーと繰り返し回数

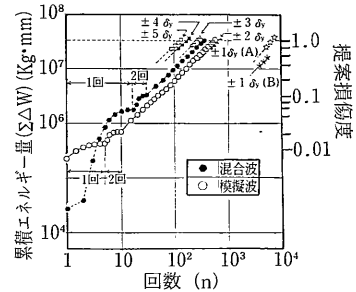


図-8 累積消費エネルギーと損傷度

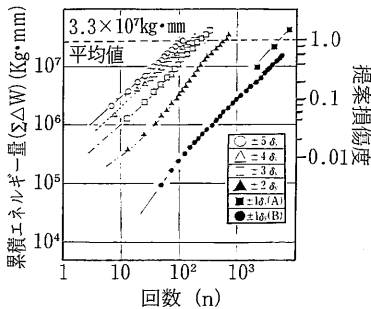


図-7 累積消費エネルギーと損傷度

表-3 破壊時までの累積消費エネルギー量

振 幅	繰り返し回数 (n)	$\Sigma\Delta W$ ($\times 10^7 \text{kg}\cdot\text{mm}$)	ΣW ($\times 10^6 \text{kg}\cdot\text{mm}$)	$\frac{\Sigma\Delta W}{\Sigma W}$
$\pm 1 \delta y$ (A)	7490	3.8921	18.4646	0.21
	(B)	5593	1.6745	13.1042
$\pm 2 \delta y$	720	3.6165	3.3452	1.08
$\pm 3 \delta y$	311	3.8215	2.4196	1.58
$\pm 4 \delta y$	191	3.5437	2.0427	1.73
$\pm 5 \delta y$	135	3.3878	1.7966	1.88
混 合 波	24	3.2709	2.2411	1.46
模 擬 波	113	3.3610	2.6297	1.28

また図-5に示した混合波および模擬波についても同様に各載荷回数ごとの消費エネルギー量を求めた。(図-8)

なお本報告のように、部材が完全に破壊するまで繰り返し載荷を行った場合の消費エネルギー量について検討した例は少なく、上記の結果は、数少ない貴重なデータであると考えられる。

3.3 累積消費エネルギー量と最大消費エネルギー量

表-3は図-6に示される動的載荷によって求められた各種試験体の消費エネルギー量(ΔW)を破壊時まで加算

した累積消費エネルギー量($\Sigma\Delta W$)の結果である。また、図-7、図-8は繰り返し回数との関係を示したものである。なお表-3には各試験体の累積消費エネルギー量($\Sigma\Delta W$)とポテンシャルエネルギー量(図-1の三角形の面積 W)の総和(ΣW)との比($\Sigma\Delta W/\Sigma W$)も同時に示した。

これらの結果から注目されることは、破壊時まで加算された総消費エネルギー量はほぼ同一の値(平均値；

研究速報
 3.3×10⁷kg・mm)を示していることである。

表-3に示されているように厳密にはこの値は一定ではないが、表中の主鉄筋の配筋に不備があった±1δy(B)を除けば、載荷振幅、載荷履歴等の相違にもかかわらず、一定の値であるといえよう。

一般に、材料が同じモードで破壊する場合には、その材料が有している総消費エネルギーは一定であると考えられるから、本実験のように、構造物固有の因子(たとえば、試験体寸法、配筋等)が同一で、外力条件(2方向外力、載荷履歴等)の中で載荷振幅のみが異なる場合、このように総消費エネルギーが一定の値となった原因は、この値が本実験で用いた試験体の最大消費エネルギー量を示しているものと推定される。

4. 損傷度指標の提案

序論でも述べたように、RC構造物の損傷度を評価する方法としてはすでにいくつか提案されているが、破壊に対する安全率を算出するためには構造物に累積された損傷をも考慮に入れた損傷度の評価が必要である。

本実験で求められた実験結果はRC梁の場合だけであるが、破壊形態は曲げ破壊していること、さまざまな載荷振幅で載荷した場合にいずれも同じ総消費エネルギーに到達した時点で破壊していることから、これらを部材の消費し得る最大消費エネルギー量と考え、この値を基準とした累積損傷度の評価を行えばよいものと考えられる。

そこで、ここでは以下に示されるような損傷度を定義する。

$$D.I.E = \Sigma \Delta W_i / W_{max} \quad (1)$$

ただし、D.I.E: エネルギー損傷度(DAMAGE INDEX BY ENERGY)

ΔW_i : 1サイクル当りの消費エネルギー量

W_{max} : 最大消費エネルギー量

なお、損傷度(D.I.E)は0~1.0の間の値となり、1.0が破壊である。

この式から明らかのように、たとえば1回の地震などによる損傷度が求まれば、これが何回生じた場合に破壊するかを求めることができることになる。また、同一振幅による繰り返し載荷の場合のみならず、ランダム波が作用する地震荷重のような場合であっても損傷度を評価することができる。

この損傷度を求めるためには最大消費エネルギー量を求めることが必要となるが、ここでは実験値による総消費エネルギー量の平均値である3.3×10⁷kg・mmを用いることとし、図-7および図-8の右側に損傷度を示した。

また、この指標により、地震などによる被害を受けたRC部材の補修・補強の要否の判定や、それ以後の部材の余力判定をすることが可能であろう。

5. おわりに

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

- 1) 1サイクル当たりの消費エネルギー量は、荷重と繰り返し回数との関係とは異なり、振幅の相違によりかなりの差を生じた。繰り返し載荷の影響に関しては、±1δy~±3δyにおいては、繰り返し回数の増加にもかかわらず破壊時までほぼ一定の値を示したが、振幅の大きい±5δy、±4δyの場合は、載荷回数の増加にともない消費エネルギー量は減少を示した。
- 2) 各試験体の破壊時まで加算された総消費エネルギー量は、載荷振幅、載荷履歴等の相違にもかかわらず、ほぼ同一の値(3.3×10⁷kg・mm)を示した。これを部材が消費し得る最大消費エネルギー量と考え、この値を基準とした損傷度の指標を提案した。

今後の課題としては、異った破壊形態に対しても検討すること、そして提案した損傷度指標と既往の指標との比較検討を行い、提案した指標の妥当性について検討するとともに、解析による最大消費エネルギー量の算定方法についても明らかにする必要があると考えられる。

謝 辞

本研究の実施に際し、広島大学工学部 第4類河合研至助手よりコンピュータの測定用ソフト作製に関し、懇切な指導を頂きました。また本研究の実施にあたり帝都高速度交通営団には多大のご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。(1991年8月1日受理)

参 考 文 献

- 1) 土木学会: コンクリート標準示方書(昭和61年制定), 1986. 10.
- 2) JCIコンクリート構造物の靱性評価研究委員会: コンクリート構造物の靱性とその評価法に関するコロキウム, 1988. 3.
- 3) 中埜良昭: RC構造物の損傷評価に関する最近の研究, コンクリート工学, Vol. 29, No. 5, pp. 67~71, 1991. 5.
- 4) 魚本健人・矢島哲司: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 2, pp. 265~268, 1991. 6.
- 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.