

RCはり部材の損傷の累積挙動に及ぼす載荷履歴の影響

京都大学 学生員 祝迫 博 正員 井上 晋

正員 服部篤史 正員 宮川豊章 正員 藤井 学

1. はじめに RC部材に地震荷重が作用した場合の損傷の程度を定量的に評価することは、きわめて重要な課題である。本研究では、RCはり部材に対し、地震荷重の単純化モデルとして二段階繰返し載荷を実施し、先行変位と後続変位の大小関係ならびに繰返し載荷回数が繰返し載荷後の残存耐力に及ぼす影響を検討するとともに、繰返し載荷回数に基づく損傷評価指標の提案を行った。

2. 実験概要 供試体には、幅×高さ=10×20cmの矩形断面内に異形鉄筋を対称複筋配置した全長160cmのRC単純はりを用いた。引張鉄筋比は2.26%、せん断補強筋比は1.26%、コンクリートの設計強度は40MPaとし、 $a/d=3.4$ とした対称2点集中載荷を実施した。載荷シリーズは、定変位繰返し載荷および二段階繰返し載荷に分けられるが、定変位繰返し載荷については昨年度の実験結果¹⁾をそのまま用いることとし、本研究では、二段階繰返し載荷について次の2つの観点から載荷試験を行った。

①繰返し回数変化による影響：先行載荷変位 $3\delta_y$ (δ_y :降伏変位)、後続載荷変位 $5\delta_y$ あるいはその逆のパターンについて考え、昨年度提案した損傷指標¹⁾ ($DI = [N(\delta)/N_o(\delta)]^\phi$ 、 $N(\delta)$: 変位 δ における繰返し回数、 $N_o(\delta)$: 変位 δ における終局載荷回数、 ϕ : $N-DI$ 曲線の形状を決定する係数=0.75) について、先行変位によるDIが、 $DI=0.3, 0.5, 0.7$ の3種類になるように載荷を行い、さらに、それぞれに対して後続変位における繰返し回数を2種類変化させた。その後、単調に変位を増大させ、残存耐力を求めた。

②先行変位と後続変位の大小関係による影響：先行変位には $3\delta_y, 4\delta_y, 5\delta_y, 6\delta_y$ の4種類を考え、後続変位についても同じ4種類の変位を対応させた（ただし先行、後続変位がともに同じになるような組合せの載荷は行っていない）。また、繰返し回数については、先行変位によるDIは、すべて $DI=0.5$ に設定するとともに、後続変位における繰返し回数を2種類選定し、所定の載荷終了後残存耐力を求めた。

なお、本研究では、正負交番繰返し載荷下の終局状態を、「残存耐力（繰返し載荷終了後の単調載荷過程での最大荷重）が一方単調載荷時の最大荷重の80%に低下した時点」と定義した。

3. 試験結果および考察

本研究では、部材の真の損傷レベルを表す指標（以下 MDI_{res} とする）を残存耐力を用いて次式のように定義した。この式は、残存耐力が低下すると損傷は線形的に大きくなることを表すものである。

$$MDI_{res} = (aP_{res} + b) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中の a 、 b は終局状態の定義方法により決定される係数で、本研究の場合、(1) $MDI_{res}=1.0$ のとき $P_{res}=0.8P_{max}$ 、(2) $MDI_{res}=0$ のとき $P_{res}=P_{max}$ であることから、 $a=-1/(0.2P_{max})$ 、 $b=5.0$ となる。これらを(2)式に代入すると真の損傷レベルを表す指標として次式が得られる。

$$MDI_{res} = \left(-\frac{P_{res}}{0.2P_{max}} + 5 \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

一方、昨年度の研究¹⁾では、定変位繰返し載荷下では、繰返し載荷回数 N と残存耐力 P_{res} の間には、載荷変位によって傾きの異なる直線関係があり、次のように定式化できることを報告した。

$$P_{res} = \alpha N + P_{max} \quad \dots\dots\dots (3)$$

各変位における係数 α の値は回帰分析から得られ、(3)式に $P_{res}=0.8P_{max}$ を代入すると、定変位繰返し載荷における終局状態を与える終局載荷回数 N_o が求められる。その値を表1に示す。

表1 各載荷変位での終局載荷回数 N_o

載荷変位	$3\delta_y$	$4\delta_y$	$5\delta_y$	$6\delta_y$
終局載荷回数 N_o (回)	122	17	6	5

昨年度は、この N_o を用いて、繰返し載荷回数から

真の損傷を推定する指標MDIを提案した。この指標MDIは、昨年度の研究から、定変位繰返し载荷下の損傷は精度良く評価することが示されている。そこで、本研究では、このMDIを用いて二段階繰返し载荷下における損傷指標を図1のように求めることとした。これは先行载荷過程では、先行変位と同一の定変位载荷過程をたどり、次に、この先行载荷終了時における点を原点とした、後続変位と同一の定変位载荷シリーズの曲線上において、後続载荷回数分の損傷を累積させるというものであり、これを式で表すと次のようになる。

$$MDI = \left[\frac{N_1}{N_o(\delta_1)} \right] \phi + \beta \left[\frac{N_2}{N_o(\delta_2)} \right] \phi \quad \dots (4)$$

式中の δ_1 、 N_1 および δ_2 、 N_2 はそれぞれ先行、後続载荷過程における変位、繰返し回数を表す。なお、係数 β は、载荷変位の大小関係が後続载荷過程での損傷の累積挙動に及ぼす影響を考慮するための値で、実験結果を回帰分析することにより、先行変位(小)→後続変位(大)のとき $\beta=1.90$ 、先行変位(大)→後続変位(小)のとき $\beta=2.48$ という値が得られた。これらの値を式(4)に代入することにより、各供試体のMDIが計算される。

図2にMDI_{res}-MDI関係を、図3に载荷変位の大小関係の違いによるMDI_{res}-MDI関係を示す。なお、図2については比較のため、 β を考慮しないMDI値と、昨年度提案した計算方法¹⁾による損傷値(PDIとする)を併記した。

図2からわかるように β を考慮したMDIは、他の損傷指標と比較すれば、真の損傷値MDI_{res}をより精度良く評価していることがわかる。このことは、二段階繰返し载荷の場合、後続载荷過程における損傷の累積挙動は、先行载荷過程のない定変位繰返し载荷下の損傷の累積挙動とは異なり、先行载荷過程が後続载荷過程における損傷の進行を著しく増大させることを示している。また、図3に示すように、载荷変位の大小関係における、MDIとMDI_{res}との相関はどちらの場合も、ほぼ同程度である。以上のことから、二段階繰返し载荷下における後続载荷過程での損傷の累積挙動は、定変位繰返し载荷から得られる損傷の累積挙動に、 β という係数を考慮し、その値を载荷変位の大小関係に応じて変化させることで、評価可能と考えられる。

4. まとめ 本研究では、部材の真の損傷レベルを表す指標として、

残存耐力と線形関係を持つ損傷指標MDI_{res}を、また、二段階繰返し载荷下における損傷を推定する指標として、载荷回数を終局载荷回数で除し、後続载荷過程での損傷の累積挙動を β という係数を用いて修正することにより得られる損傷指標MDIを提案した。MDIは、係数 β を载荷変位の大小関係に応じて変化させることにより、真の損傷値MDI_{res}を評価可能であることが示された。しかし、一方では、先行変位と後続変位の大小関係により β の値を変える必要があることや、繰返し回数の多少により損傷の累積挙動に違いが見られることなどから考えて、 ϕ の値が本研究で用いたように $\phi=0.75$ (=const)ではなく、载荷履歴に基づく変数であることも考えられ、今後は载荷履歴と ϕ との相関関係の解明を行うとともに、それに基づいたより精密な損傷評価指標の構築が望まれる。

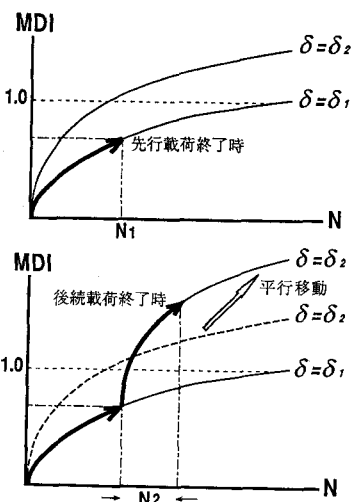
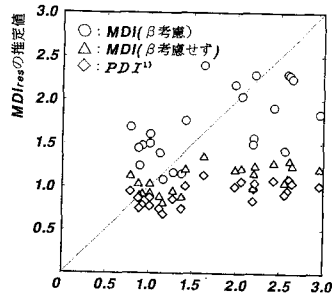
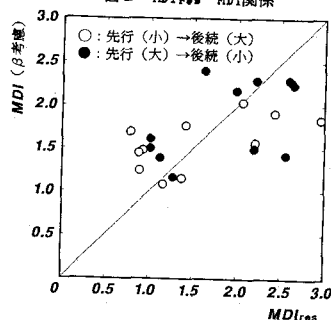


図1 MDIの計算方法

図2 MDI_{res}-MDI関係図3 载荷変位の大小関係がMDI_{res}-MDI関係に及ぼす影響