

V-419

RCはり部材の正負交番繰返し荷重下における残存耐力に基づく損傷評価

京都大学大学院 学生員 福島祐治 大阪工業大学 正員 井上 晋
 京都大学工学部 正員 宮川豊章 京都大学工学部 正員 藤井 学

1. はじめに RC構造物に地震荷重が作用した場合、被災後の供用性能の判定のためには損傷の程度を定量的に評価することが重要な課題と考えられる。本研究ではRCはり部材に対し、定変位、二段階およびランダムな正負交番繰返し載荷試験を実施し、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、残存耐力（定変位繰返し載荷終了後の一方向単調載荷過程での最大荷重）に基づく損傷評価指標の提案を行った。なお、本研究では、正負交番繰返し荷重下の終局状態を、「残存耐力が繰返し載荷を実施しない場合の一方向単調載荷時の最大荷重の80%に低下した時点」と定義した。

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、①定変位繰返し載荷②二段階繰返し載荷③ランダム繰返し載荷試験に分けられる。なお、どのシリーズも所定の載荷終了後、単調に変位を増大させて残存耐力を計測することとした。

①定変位繰返し載荷 このシリーズの目的は、同一変位で繰返し載荷を受けた場合の載荷回数と残存耐力の関係を求めることである。降伏変位の3倍（ $3\delta_y$ ）、4倍（ $4\delta_y$ ）、5倍（ $5\delta_y$ ）および6倍（ $6\delta_y$ ）の変位で、それぞれ繰返し回数を変化させた正負交番繰返し載荷を行った。

②二段階繰返し載荷 このシリーズの目的は、載荷変位の変化の影響を調べることである。そのために、単純化した載荷方法として、載荷変位を $3\delta_y \sim 6\delta_y$ の変位で二段階に変化させた二段階繰返し載荷を、先行変位と後続変位が異なる全てのパターン（12種類）において、3つ以上の試験結果がでるように行った。

③ランダム正負交番繰返し載荷 ①②の結果から得られた損傷評価指標のランダムな載荷履歴への適用を検討するために、実際の地震荷重を想定した載荷を行った。

3. 試験結果および考察 本研究では、損傷評価指標の精度を判定するために、残存耐力から直接得られる損傷レベルを表す指標（以下MDI_{res}とする）を用いることとし、以下の条件から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り、健全な状態から何%耐力が低下したかを数値的に表す式ともいえる。

（条件）(1)MDI_{res}=1.0のとき（終局時） $P_{res}=0.8 P_{max}$ 、(2)MDI_{res}=0のとき（無損傷） $P_{res}=P_{max}$ であることから、

$$MDI_{res} = \left(-\frac{P_{res}}{0.2 P_{max}} + 5 \right) \cdots \cdots (1)$$

一方、定変位繰返し載荷試験の結果、残存耐力 P_{res} と載荷回数 N の間には、 N が増加すると P_{res} が累进的に減少する上に凸な n 次曲線関係が認められ、次のように定式化できることとした。

$$P_{res} = \gamma N^s + P_{max} \cdots \cdots (2)$$

各変位における係数 γ と s の値は回帰分析により得られ、(2)式に $P_{res}=0.8 P_{max}$ 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_c が求められる。(2)式を(1)式に代入することにより、次式のような定変位載荷における損傷評価指標の基本式DIが得られる。

$$DI = \left(\frac{N}{N_c(\delta)} \right)^{s(\delta)} \cdots \cdots (3)$$

そこで、本研究では、このDI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においては、DI ((3)式)と同様の累積挙動をたどり、次に、この先行载荷終了時のDIの値を始点として、後続変位と同一の定変位载荷過程の曲線上において、後続载荷回数分の損傷を累積させるというものである。このようにして計算される損傷評価指標をTDIとすれば、それを補正したTDI β は次式ようになる。

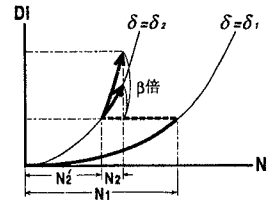


図1 式(4)の考え方

$$TDI \beta = \left[\frac{N_1}{N_c(\delta_1)} \right]^{s_1} + \beta \left[\left[\frac{N_2' + N_2}{N_c(\delta_2)} \right]^{s_2} - \left[\frac{N_2'}{N_c(\delta_2)} \right]^{s_2} \right] \dots \dots \dots (4)$$

δ_1, N_1, s_1 : 先行载荷過程における変位、繰返し回数、定数

δ_2, N_2, s_2 : 後続载荷過程における変位、繰返し回数、定数

$N_c(\delta)$: 変位 δ における終局载荷回数

N_2' : 先行载荷終了時に与えたDI値と等しい損傷を与えるような後続载荷変位での载荷回数

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表1のように得られた。表1より、後続载荷過程では、同一変位の定変位载荷過程と比べて先行変位(小)→後続変位(大)の载荷パターンにおいては若干大きく、先行変位(大)→後続変位(小)のパターンではかなり大きく残存耐力が低下していることが分かる。これは、载荷変位の変化による発生するひび割れのゆるみ等による、せん断抵抗機構の低下に起因するものと考えられる。

表1 β の値

先行→後続	β	先行→後続	β
3 δ_y →4 δ_y	1.247	4 δ_y →3 δ_y	3.748
4→5	1.731	5→4	2.918
5→6	1.460	6→5	4.284
3→5	1.441	5→3	4.448
4→6	3.300	6→4	4.140
3→6	3.619	6→3	4.090

表1の値を式(4)に代入することにより、各供試体のTDI β が計算され、図2にMDI res-TDI β 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TDI値を併記した。図2からわかるように β を考慮したTDI β は残存耐力より得られる損傷値MDI resを精度良く評価していることがわかる。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により、評価可能と考えられる。

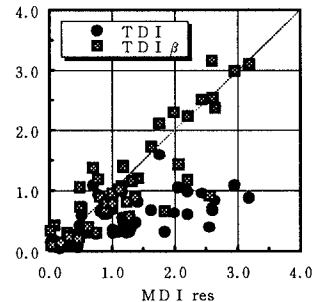


図2 MDI resとTDI β の比較

4. ランダム载荷 図3に示すようなランダム繰返し载荷試験を行い、

式(4)を供試体に適用した結果を表2に示す。表2より、 β を考慮した損傷評価指標は実損傷レベルをかなり過大評価する傾向にあり適用は困難である、一方、 β を考慮しない損傷評価指標は、逆に実損傷レベルとほどよく一致している。これらの理由は、変位の変化が多い場合 β が複数回乗じられることに起因するものであり、二段階繰返し载荷の結果よりランダムな载荷下の損傷を評価するためには、係数 β の考慮の仕方について今後の更なる検討を要すると考えられる。

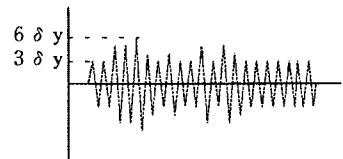


図3 ランダム载荷履歴

表2 損傷評価指標の結果

MDI res	TDI	TDI β
1.020	0.872	1.949