

RCはり部材の正負交番繰返し荷重下の残存耐力と損傷評価

京都大学 正会員 井上 晋

三井不動産㈱ 正会員 中田聖志 京都大学 正会員 服部篤史

京都大学 正会員 宮川豊章 京都大学 正会員 藤井 学

1. はじめに コンクリート構造物が地震荷重を受ける場合、その安全性の評価だけでなく、被災後の損傷状態の評価が重要な課題となる。本研究では、残存耐力に基づく正負交番荷重下の終局状態の定義方法の一例を示すとともに、残存耐力と繰返し載荷回数の関係を考慮した損傷評価指標の考え方の一例を示した。

2. 実験概要 供試体には、幅×高さ=10×20cmの矩形断面内に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であり、 $a/d=3.4$ とした対称2点集中荷重載荷を行った。載荷変位として降伏変位の3～7倍($3\sim 7\delta_y$)の5レベルを選定し、各変位での載荷回数を3，4種類とした定変位繰返し載荷、および、先行変位を $3\sim 7\delta_y$ 、後続変位をすべて $5\delta_y$ とした二段階繰返し載荷を行った。なお、いずれの供試体も残存耐力を測定するために、所定の繰返し回数載荷後、一方向単調載荷を実施した。また、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(P_{max})は104kNであった。

3. 残存耐力に基づく終局状態の検討 本研究では、正負交番荷重下の終局状態を残存耐力(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)と結び付け、「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%に到達しなくなる状態」と定義した。

図1に、各変位における繰返し載荷回数(N)と残存耐力($Pres$)の関係を示す。図に示すように、残存耐力は繰返し載荷回数の増加とともにほぼ直線的に減少することから、以下のように定式化し回帰分析を行った。

$$Pres = \alpha N + P_{max} \quad \dots\dots\dots (1)$$

上式中の α は繰返し数の増加にともなう残存耐力の減少の割合を示す係数であり、載荷変位により異なるものである。(1)式に $Pres=0.8P_{max}$ を代入すると定変位載荷における終局状態を与える載荷回数 N_c が導かれる。その値を繰返し回数 N_c 時の耐力 P_{N_c} とともに表1に示す。この表より、 N_c は載荷変位の増加とともに減少すること、逆に P_{N_c} は載荷変位の増加とともに大きくなるのがわかる。特に、載荷変位が $3\delta_y$ の場合は、 P_{N_c} が $0.8P_{max}$ (83.2kN)を大きく下回るにもかかわらず、その後の一方向載荷過程における残存耐力は $0.8P_{max}$ 程度となり、定変位載荷時の耐力のみでは終局状態を明確に判断することができないことがわかる。

4. 損傷評価指標の検討 いま、残存耐力を用いた損傷評価指標(DI)として、以下の関係を設定する。ただし、 $DI=0$ は損傷なし、 $DI=1.0$ は終局状態を示す。

$$DI = (\beta Pres + \gamma)^\phi \quad \dots\dots\dots (2)$$

上式中の ϕ は $Pres-DI$ 曲線の形状を決定する係数(>0)であり、 β および γ は終局状態の定義方法により決定される係数である。本研究の場合、① $DI=1.0$ の時、 $Pres=0.8P_{max}$ 、② $DI=0$ の時、 $Pres=P_{max}$ であることを考慮すれば、 $\beta=-5/P_{max}$ 、 $\gamma=5.0$ となる。これらの値と(1)式を(2)式に代入し、 $Pres=0.8P_{max}$ の時、 $N=N_c$ となることを考慮すれば次式が得られる。また、これらの相互関係を図2に示す。

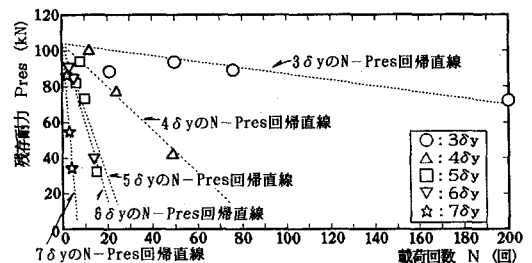


図1 繰返し載荷回数 N と残存耐力 $Pres$ の関係

表1 終局載荷回数 N_c と N_c 時の耐力 P_{N_c} 。

載荷変位	$3\delta_y$	$4\delta_y$	$5\delta_y$	$6\delta_y$	$7\delta_y$
終局載荷回数 N_c (回)	122.1	17.3	5.5	4.7	1.3
N_c 時の耐力 P_{N_c} (kN)	58.8	71.7	83.4	87.1	88.9

$$DI = (N/N_c(\delta))^\phi \dots\dots\dots(3)$$

定変位繰返し载荷および二段階繰返し载荷を行った供試体の所定の繰返し载荷終了時点のDI値を図3に、また、二段階繰返し载荷試験結果の詳細を表2に示す。図および表中のDI(2)は所定の繰返し载荷終了後の残存耐力Presを直接(2)式に代入して求めたものであり、DI(3)は図4に示すように、先行载荷過程終了時のDIを(3)式により計算し、そこを始点として後続変位と等しい変位のDI-N曲線上を後続変位の载荷回数分だけDIを増加させて求めたものである。なお、 ϕ の値としては、载荷初期段階の方が、1回の繰返しに対する真の損傷が大きくなることを考慮して0.75を選定した。

図3より、定変位繰返し载荷終了時のDI(2)とDI(3)は多少のばらつきはあるものの比較的両者は近い値を示すことがわかる。このことは、残存耐力に基づいて終局状態を定義した場合、(3)式によるDIは実際の損傷状況をほどよく推定していることを示すものである。一方、二段階繰返し载荷終了後のDI(2)とDI(3)は、図3および表2に示すように、定変位繰返し载荷と比べてばらつきがかなり大きくなっていることがわかる。特に、供試体65BではDI(3)はDI(2)よりかなり小さく、逆に、供試体35A、77Aおよび77BではDI(3)はDI(2)よりかなり大きくなっている。これらは以下のような理由によるものと考えられる。

例えば、供試体65Aと65Bを比べた場合、後続変位での载荷回数の違いにより、残存耐力が大きく異なっている。変位 $5\delta y$ における定変位繰返し载荷において一回のサイクルによる残存耐力平均低下量（Pres-N直線の傾き α ）は 3.76kN である。しかし、供試体65Aと65Bでは後続载荷回数の差が2回であるにもかかわらず、残存耐力には 41.7kN の差がある。本研究では定変位繰返し载荷の場合、载荷回数の増加にともない残存耐力は直線的に低下すると仮定したが、二段階繰返し载荷を行うと、それとは全く異なる残存耐力の低下挙動が認められる。二段階繰返し载荷のDI(3)の計算に際しては、図4に示すように、载荷変位が変化するときの損傷の累積挙動を、後続変位と先行変位の大小に関係なく、先行载荷終了時点のDI(3)の値によって決定している。しかし、二段階繰返し载荷の場合は、損傷の累積挙動は先行変位と後続変位の大小関係やその他の要因にも大きな影響を受け、結果的に、(3)式によるDIは実際の損傷レベルを過大、あるいは過小評価するケースがでてくるものと思われる。

5. まとめ 本研究では、残存耐力を用いた終局状態を定義し、残存耐力と各変位における終局载荷回数に基づく損傷評価指標を提案した。終局载荷回数に基づく指標は、定変位繰返し载荷下のRCはり部材の損傷をほどよく推定できるが、二段階繰返し载荷では、残存耐力の低下挙動が定変位繰返し载荷下と異なるため、その適用に当たっては、経験载荷履歴の影響等を考慮した検討が今後必要であると考えられる。

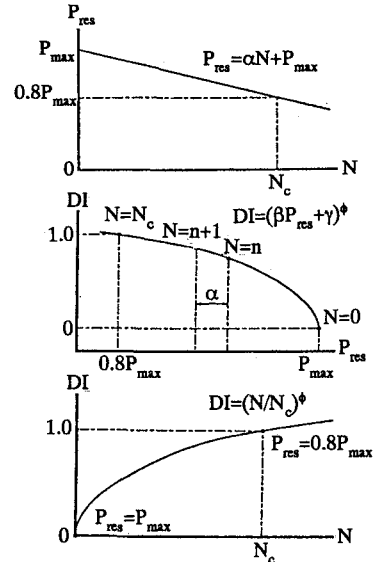


図2 DI, Pres, Nの相互関係

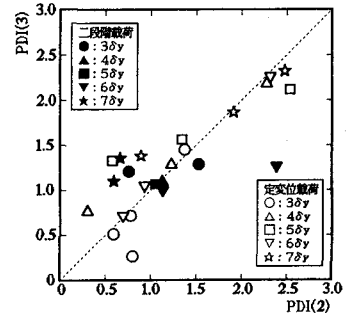


図3 DI(2)とDI(3)の関係

表2 二段階繰返し载荷した供試体のDI

供試体 No.	Pres (kN)	先行変位 および 载荷回数	後続変位 および 载荷回数	DI(2) ($\phi=0.75$)	DI(3) ($\phi=0.75$)
35 A	89.7	$3\delta y$, 60回	$5\delta y$, 3回	0.755	1.028
35 B	67.5	$3\delta y$, 60回	$5\delta y$, 5回	1.525	1.287
45	79.7	$4\delta y$, 10回	$5\delta y$, 3回	1.124	1.091
55	82.0	$5\delta y$, 3回	$5\delta y$, 3回	1.043	1.067
65 A	79.5	$6\delta y$, 3回	$5\delta y$, 2回	1.131	1.001
65 B	37.8	$6\delta y$, 3回	$5\delta y$, 4回	2.383	1.263
75 A	93.7	$7\delta y$, 1回	$5\delta y$, 2回	0.590	1.098
75 B	92.1	$7\delta y$, 1回	$5\delta y$, 4回	0.658	1.353

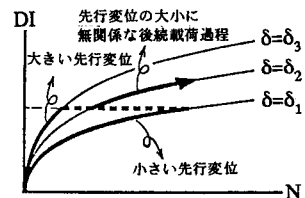


図4 二段階繰返し载荷のDI(3)の考え方