

三井不動産㈱ 正員○中田聖志
京都大学 正員 服部篤史・正員 井上晋
正員 宮川豊章 正員 藤井学

1. はじめに 土木構造物には地震時の安全性はもちろん、その後の供用性も必要とされ、被災後の損傷状態を的確に評価することは重要な問題である。本研究では、極限状態である終局状態の合理的かつ統一的な定義方法、終局状態の考え方に対応した損傷評価指標を提案し、それらの妥当性、有効性について検討を行った。

2. 実験概要 供試体は幅×高さ＝10×20cmの矩形断面内に鉄筋を対称複筋配置したRC単純はりとした。供試体の引張鉄筋比2.26％、せん断補強筋比1.26％、コンクリートの設計基準強度40MPaとし、曲げスパン20cm、せん断スパン80cmの対称2点荷重を行った。荷重変位として降伏変位の3倍（3δ_y）～7倍（7δ_y）の5レベルを選定し、各変位での荷重回数を3、4種類とした定変位繰返し荷重、および、先行変位を3δ_y～7δ_yで後続変位をすべて5δ_yとした二段階繰返し荷重を行った。

3. 終局状態の検討 まず終局状態を、損傷状態を表現する統一的な指標として残存耐力（部材にある状態から一方向に単調荷重させたときに現れる最大荷重）を用い、「残存耐力が一方向単調荷重時の80％を越えない状態」と定義した。図1に荷重回数と残存耐力の関係を示す。

この図に示すように、荷重回数Nと残存耐力P_{res}にはほぼ線形関係が認められ以下のように定式化し回帰分析を行った。

$$P_{res} = \sigma N + P_{max} \tag{1}$$

回帰式にP_{res}＝0.8P_{max}を代入することで定変位荷重での終局状態を与える荷重回数N₀が導かれる。その値を表1に示す。

続いて終局状態を部材の挙動の明確な変移点と捉え、その妥当性の検討を行う。定変位荷重後の単調一方向荷重時の荷重－変位曲線は図2に示すように3種類に分けられ、(B)が最も終局状態に近いものと考えられる。荷重－変位曲線は、荷重回数に従い(A)→(B)→(C)に変化すると仮定すると、終局荷重回数N₀では(B)の型になり終局状態に近い状態にあると考えられる。

また、この点は耐力の急激な低下開始点と一致し、上の定義での終局状態の妥当性は有すると考えられる。

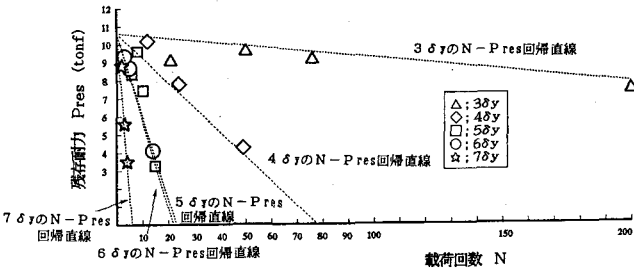


図1 荷重回数Nと残存耐力P_{res}の関係

表1 各荷重変位での終局荷重回数N₀

荷重変位	3δ _y	4δ _y	5δ _y	6δ _y	7δ _y
終局荷重回数 N ₀	118.11	19.31	6.45	4.85	1.48

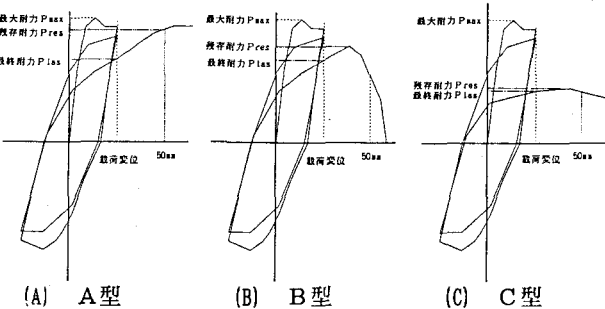


図2 3種類の荷重－変位曲線

4. 損傷評価指標の検討 終局状態の定義に用いた残存耐力を損傷評価指標PDIと以下のように対応させる。

$$PDI = (\varepsilon P_{res} + \mu)^\phi \quad (2)$$

ただし、(a) PDI=1.0の時、 $P_{res}=0.8 P_{max}$ 、(b) PDI=0の時、 $P_{res}=P_{max}$ である。

この式と、前記の残存耐力と載荷回数との回帰式(1)からPDIは

$$PDI = \left(\frac{N}{N_c(\delta)} \right)^\phi \quad (3)$$

のように表される。これらの考え方を図3に示す。

このPDIを二段階載荷試験に用いた結果を表2に示す。この表中のPDI(act)は(2)から、PDIは(3)から求められたものである。

表2からPDIとPDI(act)の差が著しいものは、供試体35B、65B、75A、75Bの5体であるが、これらは以下のような理由によるものと考えられる。35、65の各シリーズでのA、Bはよく似た傾向を持ち、後続載荷回数の違いにより、大きな残存耐力の低下を見ることが出来る。変位 $5\delta_1$ における定変位繰返しにおいて一回のサイクルでの残存耐力低下量($P_{res}-N$ 直線の傾き σ)は4.53kN[0.462tonf]である。しかし、供試体35Aと35B、また65Aと65Bでは後続載荷回数の差が2回であるにもかかわらず、残存耐力には22.3kN[2.27tonf]、41.8kN[4.26tonf]の差がある。このように定変位繰返し載荷の場合、載荷回数の増加にともない残存耐力は直線的に低下するが、二段階繰返し載荷を行うと、それとは全く異なる残存耐力の低下が見られるため、結果として35、65シリーズのPDIとPDI(act)に大きな隔たりが生じたものと考えられる。

一方、75シリーズの二体はいずれもPDIがPDI(act)よりも大きく、損傷評価指標PDIは実際の損傷レベルよりも過大評価しているものと考えられる。これは、図4のように、載荷変位が変化するときの損傷評価指標PDIの累積挙動は、後続変位と先行変位の大小に関係なく、その時点のPDIによって決定される。そのため、後続変位が経験最大変位より小さい75シリーズでは、後続変位載荷過程での損傷累積が過大に評価されたため、結果として、PDIがPDI(act)より大きくなったと考えられる。

このように定変位繰返し載荷と二段階繰返し載荷では、残存耐力の低下挙動は異なるため、単純に定変位載荷試験と同様の $N-PDI$ 曲線を用いて損傷評価を行うことは不可能と考えられ、経験載荷履歴の影響を考慮した検討が今後必要であると考えられる。

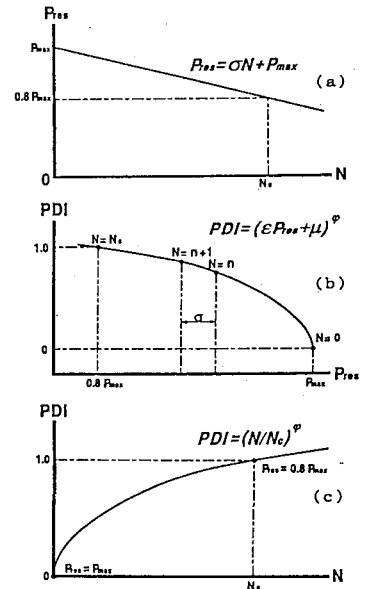


図3 PDIの考え方の模式図

表2 二段階載荷した供試体のPDI

供試体	P_{res} (kN)	載荷 回数 N_1	載荷 回数 N_2	$\phi = 0.75$	
				PDI	PDI(act)
35A	89.7	80	3	0.980	0.752
35B	87.5	80	5	1.206	1.525
45A	79.7	10	3	0.987	1.121
55R	82.0	3	3	0.947	1.042
65A	79.5	3	2	0.948	1.128
65B	37.8	3	4	1.174	2.384
75A	93.7	1	2	0.989	0.590
75B	92.1	1	4	1.215	0.657

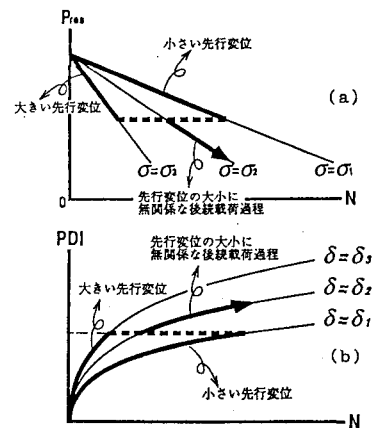


図4 $P_{res}-N$ と $PDI-N$ の相互関係