

山梨大学大学院 学生員 馬場 一  
 山梨大学工学部 正会員 檜貝 勇  
 山梨大学工学部 正会員 二羽淳一郎

### 1. まえがき

RC橋脚の靱性の定量的評価に関する研究が活発に行われ、その評価式も種々提案されている[1][2][3]。各評価式はその基礎となっている実験結果とは良く適合するが、他の研究者の実験結果とは必ずしも良く一致しないことが認められている。この原因としては、供試体、実験方法、実験条件の違いなどがあげられるが、各研究者の靱性評価方法の差によるところも大であると思われる。本文は、RC橋脚の繰返し載荷試験の結果から靱性を評価する方法について考察するものである。

### 2. 実験における靱性の評価

靱性の評価尺度としては、終局変位( $\delta u$ )を降伏変位( $\delta y$ )で除した靱性率が広く用いられている。終局変位は、原理的には部材の復元力が限界値以下に低下する時の変位であるが、その具体的な定義は研究者によって多様である。復元力の限界値の定義は、(1)降伏荷重( $P_y$ )、または、(2)最大復元力( $P_{max}$ )の80%を用いるのが一般的である。復元力の低下の定義は、(a)P- $\delta$ 曲線の包絡線、または、(b)＋方向の平均値を取ったP- $\delta$ 曲線の包絡線（平均包絡線と呼ぶ）が限界値以下となること、あるいは、(c)各サイクルにおいてピーク変位時の復元力が限界値以下となること、とすることが多い。さらに、靱性率の値は、(i)包絡線が限界値を切る点の変位を用いて連続的に決定、または、(ii)復元力が限界値以下となる直前の段階の変位を用いて離散的に決定している。石橋らは(1)(a)(ii)、町田らは(2)(b)(i)、著者らは(1)(c)(ii)の組合せによって終局変位を定義しており、

一般的には、町田らの定義が最大の、著者らの定義が最小の終局変位を与えることとなり、同一の実験結果から判定される靱性率の相違は3程度にものぼる場合がでてくる。

### 3. 終局変位の定義が靱性率の判定値に及ぼす影響

表1は、著者らが実施したRC橋脚の繰返し載荷試験の結果の概要を示したものである。これらの実験結果を用いて、復元力の限界値の定義、復元力の低下の判定法、および終局変位の判定法の相違が、靱性率の判定に及ぼす影響を検討した。なお、表1に示した供試体は、すべて軸方向鉄筋が曲げ降伏した後にせん断破壊を生じたものである。

復元力の限界値を $P_y$ とした場合には、図1に示したK24供試体の例のように、小さな変位レベル( $\delta y$ )で復元力が一旦 $P_y$ 以下となるが、さらに大きい変位レベルにおいて再び回復するような場合に、靱性率を過小に評価することになる。また、一般には最大復元力( $P_{max}$ )は1.2 $P_y$ 程度であるが、供試体によっては $P_{max}$ と $P_y$ がほぼ等しい場合もあり、そのような場合にも靱性率を過小に評価することとなる。一方、復元力の限界値を0.8 $P_{max}$ とすれば、上記のような不都合は避けることが出来る。また、著者らの実験の範囲内では、復元力が一旦0.8 $P_{max}$ 以下に低下した後に再びそれ以上に回復したケースは

表-1 著者らの実験結果の概要

| No.   | a/d  | pt   | pwfy | fc' | $\sigma_0$ | 靱性率の判定値 |     |    |
|-------|------|------|------|-----|------------|---------|-----|----|
|       |      |      |      |     |            | 町田ら     | 著者ら | 提案 |
| UM17  | 3.29 | 0.4  | 0    | 389 | 0          | 10.3    | 6   | 9  |
| UM18  | 3.29 | 0.46 | 0    | 385 | 0          | 10.4    | 8   | 8  |
| UM31  | 3.29 | 0.51 | 0    | 362 | 10         | -       | 5   | 5  |
| UM11  | 3.29 | 0.51 | 0    | 374 | 0          | -       | 4   | 5  |
| UM19  | 3.29 | 0.86 | 0    | 418 | 0          | 4.0     | 2   | 2  |
| H3    | 3.85 | 0.49 | 0    | 182 | 0          | 6.5     | 5   | 5  |
| H7    | 3.85 | 0.65 | 0    | 183 | 0          | -       | 3   | 3  |
| H8    | 3.85 | 0.65 | 0    | 552 | 0          | 6.2     | 5   | 5  |
| K2    | 3.85 | 0.65 | 0    | 315 | 0          | 4.7     | 3   | 3  |
| K34   | 3.85 | 0.65 | 0    | 336 | 10         | -       | 4   | 4  |
| K36   | 3.85 | 0.65 | 0    | 365 | 20         | 6.4     | 5   | 5  |
| K32   | 3.85 | 0.65 | 0    | 315 | 30         | -       | 6   | 6  |
| K24   | 3.85 | 0.65 | 3.1  | 335 | 0          | 7.3     | 5   | 6  |
| K26   | 3.85 | 0.65 | 12.6 | 367 | 0          | -       | 11  | 10 |
| OM1   | 4.00 | 0.78 | 0    | 324 | 0          | -       | 4   | 4  |
| OM10  | 4.00 | 0.78 | 3.5  | 316 | 0          | -       | 6   | 6  |
| OM9   | 4.00 | 0.78 | 6.0  | 319 | 0          | 9.0     | 7   | 7  |
| OM5   | 4.00 | 1.06 | 0    | 334 | 0          | 3.2     | 2   | 2  |
| OM7   | 4.00 | 1.06 | 3.6  | 338 | 0          | 6.1     | 4   | 4  |
| OM6   | 4.00 | 1.06 | 6.5  | 296 | 0          | 7.4     | 5   | 5  |
| OM8   | 4.00 | 1.06 | 10.7 | 320 | 0          | -       | 6   | 6  |
| UM110 | 4.11 | 0.64 | 0    | 419 | 0          | 8.4     | 6   | 7  |
| UM12  | 5.00 | 0.96 | 0    | 355 | 0          | 4.4     | 3   | 3  |
| UM15  | 6.05 | 0.95 | 0    | 428 | 0          | 6.9     | 5   | 5  |
| UM13  | 6.05 | 1.26 | 0    | 371 | 0          | 3.5     | 3   | 3  |
| UM33  | 6.05 | 1.26 | 0    | 413 | 10         | -       | 4   | 4  |
| UM16  | 6.05 | 1.58 | 0    | 339 | 0          | 3.7     | 2   | 2  |
| UM14  | 6.05 | 1.89 | 0    | 408 | 0          | 3.6     | 2   | 2  |
| K33   | 6.25 | 1.79 | 0    | 345 | 10         | 3.2     | 2   | 2  |
| K35   | 6.25 | 1.79 | 0    | 382 | 20         | 2.5     | 1   | 1  |
| K31   | 6.25 | 1.79 | 2.3  | 297 | 0          | 2.5     | 2   | 2  |
| K23   | 6.25 | 1.79 | 2.3  | 297 | 0          | 7.1     | 5   | 5  |
| K25   | 6.25 | 1.79 | 9.5  | 340 | 0          | 8.6     | 7   | 7  |
| H11   | 6.25 | 1.86 | 0    | 541 | 0          | 3.4     | 3   | 2  |
| H10   | 6.25 | 1.86 | 0    | 324 | 0          | -       | 2   | 2  |

皆無であったことも考え併せると、限界値としては $0.8P_{max}$ を採用するのが適当であると考えられる。

復元力低下の判定に $P-\delta$ 曲線の包絡線を用いると、図1のK24の例のように、 $7\delta_y$ の3サイクルでは既に復元力が大幅に低下しており、靱性率は7未満であると考えるのが自然であるにも拘らず、判定された靱性率が7以上となる場合が生ずる。また、平均包絡線を用いる場合には、包絡線を用いる場合と同様の不都合が生ずる他に、図2に示したUM19供試体のように、-の変位では既に復元力が大幅に低下しているが、+の変位に対する復元力はほとんど低下しない様な場合に、靱性率を過大評価することになるのである。”復元力が限界値以下に低下したときの変位を終局変位とする”という基本的な考え方を忠実に反映させるためには、2.の(c)のように、全サイクルを対象として、ピーク変位時の復元力によって終局変位を判定するのが適当であると思われる。

靱性率を連続的な数値として取り扱うためには、 $P-\delta$ 曲線の包絡線を用いて終局変位を判定する必要があるが、せん断破壊による復元力の低下はかなり急激な場合が多いことを考えると、変位増分を $\delta_y$ 程度とした実験で得られた包絡線が正しく復元力の低下を示しているとも言い難い。靱性率を整数として離散的に判定する方法は、変位増分を $\delta_y$ とした場合には、靱性率にして最大1未満の誤差を生むことになるが、安全側の誤差でもあり、変位増分レベルを過大に取らない限り、離散的な取扱いでも良いものと思われる。

#### 4. 靱性率判定方法の提案

各研究者が独自の研究を行うことの重要性は言うまでもないが、労力・費用の節約のためにも実験データを共通的に利用できることが望ましいのであり、そのような観点から、複数の定義を認めた上での用語定義の統一、さらには、統一された定義に則った実験データのデータベース化が望まれる。

靱性率の定義に関しては今後とも多様な側面からの検討が必要であるが、現時点では以下のような定義が合理的であると思われる。なお、この定義によって判定した靱性率の値は表1に併せて示した。

- ・靱性率は、終局変位／降伏変位 によって表す。
- ・終局変位は、ピーク変位時の復元力が限界値を下回らない最大変位とする。
- ・復元力の限界値は、（±方向それぞれの）最大復元力の80%とする。
- ・あるピーク変位（ $\delta_1$ ）において復元力が一旦限界値を下回っても、さらに大きいピーク変位において再度限界値以上に回復する場合には、 $\delta_1$ を終局変位とは判定しない。
- ・靱性率の数値の判定は、連続的でも離散的でも良い。

なお、本研究は、科学研究費補助金総合研究(A)(62302042)によって行ったものである。

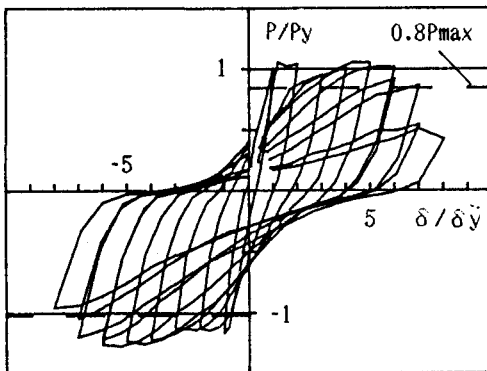


図-1 K24の $P-\delta$ 曲線

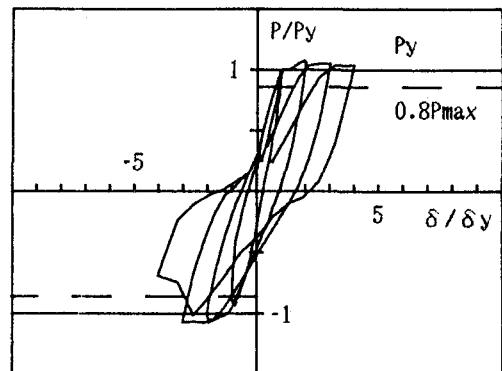


図-2 UM19の $P-\delta$ 曲線

- [1] 町田他、”鉄筋コンクリート部材の塑性変形能定量化に関する研究”、土木学会論文集第378号  
 [2] 石橋他、”鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究”、土木学会論文集第390号  
 [3] 檜貝他、”曲げ降伏後にせん断破壊するRC部材の破壊メカニズムに関する考察”、JCI年次9-2