

清水建設 正員 滝本和志  
東京工業大学 正員 川島一彦

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下RC)橋脚が地震力を受けた場合の損傷度を定量的に把握するためには、履歴吸収エネルギーが有効と考えられる。本研究では、RC橋脚の履歴吸収エネルギーに及ぼす載荷履歴の影響を検討し、任意の載荷サイクルにおける履歴吸収エネルギーを推定する方法を提案する。

### 2. 実験の概要

供試体<sup>1)</sup>は80cm×40cmの長方形断面を持つ高さ240cmのRC橋脚模型、合計6体で、主鉄筋にはSD295D13(主鉄筋比0.87%)を、帯鉄筋にはSR235φ9(帯鉄筋比0.08%)を用いている。表-1に供試体ごとの実験目的を示す。図-1にタイプ1~3の載荷履歴を示す。いずれも載荷総繰り返し数は20回で、載荷変位振幅の総和は等しい。タイプ4は一定振幅変位漸増方式の載荷履歴である。

1サイクルの履歴曲線で囲まれる面積を履歴吸収エネルギーと定義し、各サイクルの履歴吸収エネルギーを累積した値を累積吸収エネルギーと呼ぶ。同一変位振幅における $n$ 回の繰り返し載荷を1載荷ステップとすると、第 $N$ 載荷ステップ終了時における累積吸収エネルギー $E_N$ は、第 $i$ 載荷ステップにおける第 $j$ 番目の繰り返し載荷による履歴吸収エネルギー $\Delta E_{ij}$ を用いて以下のように表される。

$$E_N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \Delta E_{ij} \quad (1)$$

図-2に累積吸収エネルギーと変位振幅の関係を示す。タイプ2とタイプ3については2体の供試体の平均値を示している。全載荷終了時のタイプ1の累積吸収エネルギーを1とした場合、各タイプの累積吸収エネルギーはタイプ2では0.67、タイプ3では0.91、タイプ4では1.56となる。載荷変位振幅の総和が等しい場合でも、変位漸減部分が多いほど累積吸収エネルギーが小さくなる。

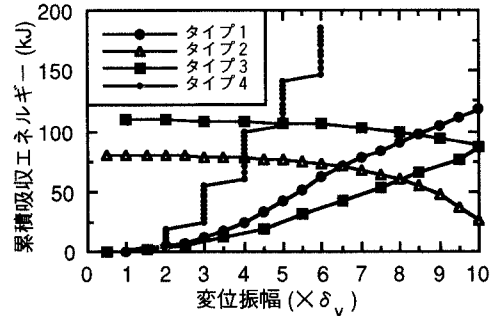


図-2 累積吸収エネルギーと変位振幅の関係

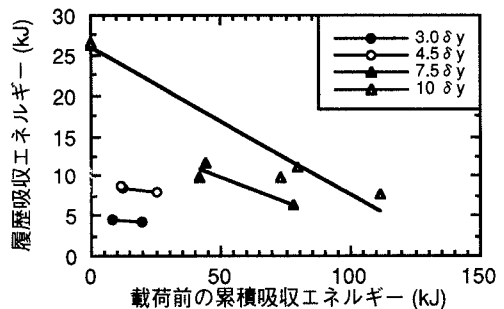


図-3 履歴吸収エネルギーと累積吸収エネルギーの関係

表-1 実験目的

| 供試体  | 載荷履歴 | 載荷繰り返し回数(回) | 載荷速度(cm/sec) |
|------|------|-------------|--------------|
| P-40 | タイプ1 | 1           | 0.24         |
| P-41 | タイプ2 | 1           | 0.24         |
| P-42 | タイプ2 | 1           | 0.24         |
| P-43 | タイプ3 | 1           | 0.24         |
| P-44 | タイプ3 | 1           | 0.24         |
| P-37 | タイプ4 | 10          | 10.0         |

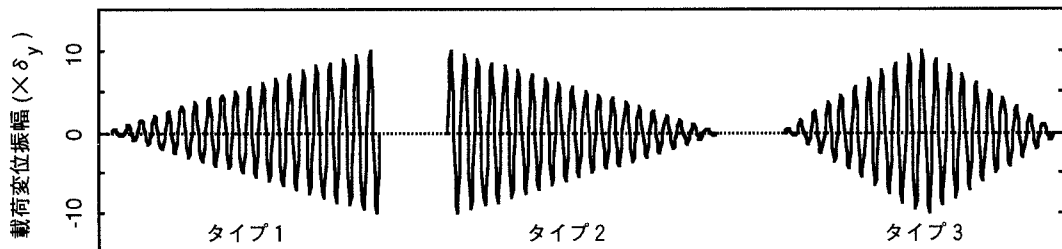


図-1 載荷履歴

### 3. 履歴吸収エネルギーの定式化

履歴吸収エネルギーに及ぼす载荷履歴の影響として、累積吸収エネルギー、载荷繰返し回数および载荷パターンの3つの要因について検討する。初めて载荷を受ける供試体の場合、これらの要因の影響は受けないので、初载荷時の履歴吸収エネルギーを可能最大履歴吸収エネルギー $\Delta E_{max}$ 、各要因による履歴吸収エネルギー低下率をそれぞれ $R_e$ 、 $R_n$ 、 $R_p$ として、任意の载荷サイクルにおける履歴吸収エネルギーを(2)式により求める。

$$\Delta E_{ij} = R_e \cdot R_n \cdot R_p \cdot \Delta E_{max} \quad (2)$$

図-3に変位増加部分における第 $i$ 载荷ステップの履歴吸収エネルギーと直前のサイクルまでの累積吸収エネルギー $E_{(i-1)}$ の関係を示す。横軸が0の場合が可能最大履歴吸収エネルギーで、変位振幅( $m \times \delta_y$ )の関数として表すことができる。

$$\begin{aligned} \Delta E_{max} &= 0.29m + 0.46m^2 \quad (0.5 \leq m \leq 2.5) \\ \Delta E_{max} &= -2.0 + 2.5m \quad (3 \leq m \leq 10) \end{aligned} \quad (3)$$

$3\delta_y$ 以上の範囲においては、载荷直前の累積吸収エネルギーが大きいほど履歴吸収エネルギーは小さい。累積吸収エネルギーの影響による履歴吸収エネルギー低下率 $R_e$ は以下のよう表される。

$$R_e = 1 - E_{(i-1)} / 179.5 \quad (3 \leq m \leq 10) \quad (4)$$

タイプ4について各载荷ステップごとに $R_{nj} = \Delta E_{ij} / \Delta E_{il}$ を求めると図-4のようになる。载荷繰返しにともなう履歴吸収エネルギー低下率 $R_n$ は以下のように表される。

$$R_n = 1 - C \log j \quad (5)$$

ここで、 $C=0.865(m=1)$ 、 $C=0.463(m=2)$ 、 $C=0.333(3 \leq m \leq 6)$

変位増加時と変位減少時の履歴吸収エネルギーの関係を応答荷重の関係をを用いて検討する。図-5に示すようにタイプ1~3の供試体の荷重-変位関係を4本の直線で近似する。変位増加時の荷重と変位減少時の荷重の比率から、変位減少にともなう履歴吸収エネルギー低下率 $R_p$ は以下のように表される。

$$\begin{aligned} R_p &= 0.035 + 0.037m \quad (0.5 \leq m \leq 4.5) \\ R_p &= -0.47 + 0.15m \quad (5 \leq m \leq 10) \end{aligned} \quad (6)$$

履歴吸収エネルギーの実験値と推定値の比較の一例を図-6、図-7に示す。3種類の低減量を考慮することにより、载荷履歴の異なる供試体の履歴吸収エネルギーを精度よく推定することができた。

### 4. まとめ

本研究では、RC橋脚の履歴吸収エネルギーに及ぼす载荷履歴の影響として、载荷直前までに吸収した累積吸収エネルギー、同一変位振幅における载荷繰返し回数および直前のサイクルとの変位振幅の大小関係の3つの要因について検討した。これらの要因の影響を考慮することにより、任意のサイクルにおける履歴吸収エネルギーを精度よく推定することができた。

【参考文献】 1) 川島一彦他：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の開発に関する研究、土木研究所報告 第190号、1993.9

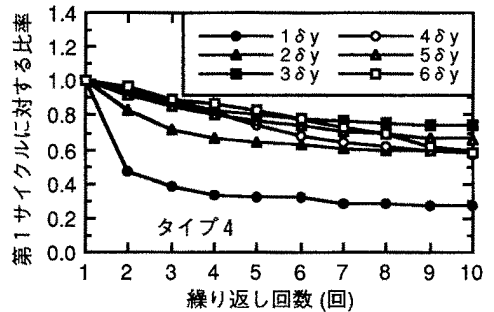


図-4 第1サイクルに対する比率の変化

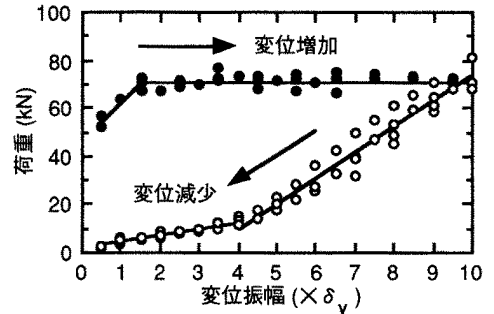


図-5 荷重-変位関係モデル

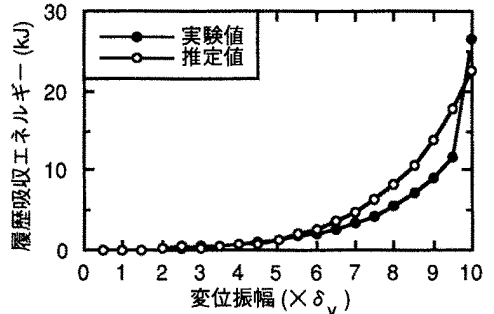


図-6 履歴吸収エネルギーの比較 (タイプ2)

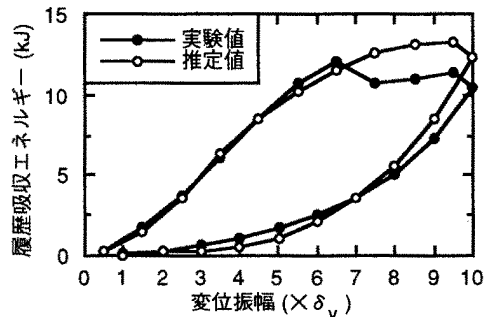


図-7 履歴吸収エネルギーの比較 (タイプ3)