

武蔵工業大学大学院 学生会員 大江 亮二 学生会員 青戸 拓起  
 武蔵工業大学工学部 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

RC 単柱橋脚が地震時に繰り返し挙動を受けた場合、脆性的な破壊もしくは、大損傷が橋脚基部で生じることが多い。特に曲げ降伏後のせん断破壊は、耐震上重要なポイントとなっている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、RC 単柱橋脚の損傷を定量的に評価する方法を提案し、実地震波における応答と累積損傷理論のシミュレーションを行い、強震下におけるせん断耐力の劣化過程を再現するものである。

2. 解析概要

**解析対象モデル:** 兵庫県南部地震にて著しい被害を受けた RC 単柱橋脚を対象とし、その橋脚断面から、主筋量を標準、1.5 倍、2 倍 ( $pt=1.2\% \sim 2.4\%$ ) と変化させた 3 つのモデルを 1 質点系のモデルに置き換えた(図-1)。復元力モデルは Tri-linear 型 Takeda モデルで与え、減衰定数は 2% とした。

**入力地震波:** 地震波としては、El-Centro 1940 NS, JMA-KOBE 1995 NS, HACHINOHE 1968 NS を用い、その加速度波形を最大加速度 300 Gal~1000 Gal まで 100 Gal 刻みで基準化し、基部直接入力とした。

**コンクリートのせん断強度劣化の評価方法:** 繰り返し荷重下の評価方法として、既に Priestley らの劣化モデルが提案されており<sup>2)</sup>、本研究でもこの理論を基にして累積損傷評価を試みるものである。しかし上記の劣化モデルは、静的漸増繰り返し実験より同定されたものであり、地震動を対象とする不規則振動の場合、それぞれの応答に応じた評価が必要になる。そこで応答半波ごとの損傷を考慮し、かつ累積の概念を加味した累乗型累積損傷モデル<sup>3)</sup>を導入した(図-1)。

この劣化モデルは、コンクリート寄与分の初期せん断強度  $\tau_{c0}$  に対する半波の低下の割合  $\xi_k$  を評価し、その累積値  $\zeta_k$  よりせん断強度  $\tau_{ck} = \zeta_k \cdot \tau_{c0}$  として算出する。また損傷の進行に伴い劣化状況は収束するため、劣化勾配低減係数  $m_k$  により劣化の度合い( $\xi_k$  の進行)を緩和するモデルとした。k 個の半波が作用した時の各係数は次式のように定義される。

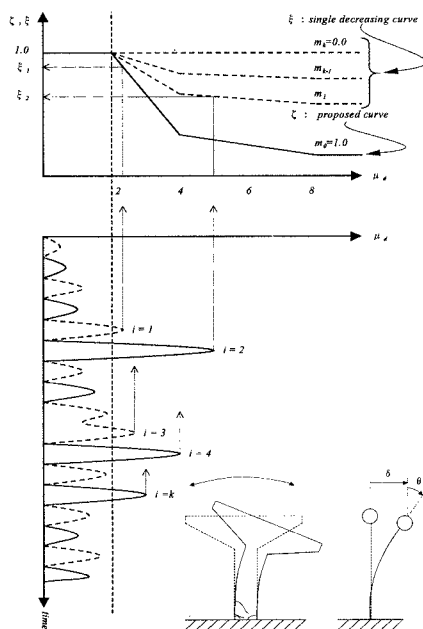


図-1 累乗型累積損傷モデルの概念図

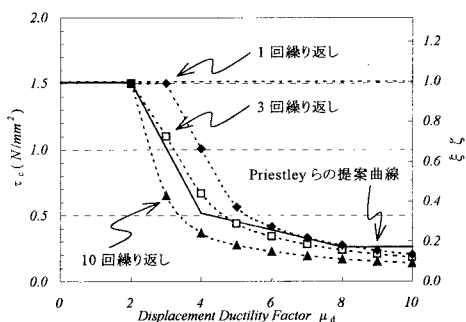


図-2 静的漸増繰り返し載荷の違いによる強度低下の比較

キーワード: せん断劣化, 繰り返し挙動, 累乗型累積損傷モデル, 非線形動的応答解析

連絡先: 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-3703-3111 FAX:03-5707-1165

半波ごとの低減係数  $\xi_k$ :

Priestley らの提案曲線に準ずる<sup>2)</sup>

累積低減係数  $\zeta_k$ :

$$\zeta_k = \xi_1(m_0) \cdot \xi_2(m_1) \cdot \xi_3(m_2) \cdots \xi_k(m_{k-1})$$

劣化勾配低減係数  $m_k$ :

$$m_k = \beta \cdot \zeta_k^\gamma \quad (\text{ただし } m_0 = 1.0)$$

ここで  $\beta$  は定数,  $\gamma$  は進展係数であり, 以降のシミュレーションはともに 1.0 とした.

### 3. 解析結果

図-2 は静的漸増繰返し載荷を想定したシミュレーション結果である. ここで  $\mu_d$  は降伏変位で基準化した応答変位である. 図より同一変位の繰返し回数が多い(b)の方が著しい低下を示し, 繰返し回数の違いが表現できている.

図-3 は本学耐震実験結果と上記のシミュレーション結果とを比較したものである. 応答塑性率  $\mu_d$  の増大に伴う劣化傾向がほぼ同等であり, 実験, シミュレーションともに応答塑性率  $\mu_d = 2$  から低下することが確認された.

図-4 は 3 つの地震波の各設定加速度におけるせん断強度  $\tau_{ck}$  と最大応答塑性率  $\mu_d$  との関係を整理したものである. 地震波, 最大入力加速度, 鉄筋比の大小によらずせん断強度  $\tau_{ck}$  は応答塑性率  $\mu_d$  増加に伴い Priestley らの提案曲線上に散在し, 特に初期劣化勾配に帰着するものが多かった.

図-5 は最大入力加速度 Acc と累積低減係数  $\zeta_k = \tau_{ck} / \tau_{c0}$  との関係を示したものである. ここでは, 3 つの地震波に対し  $\mu_d > 2$  の応答変位のあった 700 Gal ~ 1000 Gal に関して図化した. 最大入力加速度の増加に伴い  $\mu_d > 2$  の応答回数も増え, 損傷が大きいことが予想される. せん断強度の劣化は, 入力地震波と RC 単柱橋脚の構造特性が大きく影響を受けることがわかった.

### 4. まとめ

- ① 静的漸増繰返し載荷を想定したシミュレーションは, 繰返し回数の違いを再現することができ, 本学耐震実験結果と同等の劣化傾向が確認された.
- ② 累乗型累積損傷モデルは, 地震動の大きさやその繰返し性状に応じた劣化過程が表現できるものであり, 強震下における損傷の定量化するのに有用である.

#### 【参考文献】

- 1) Xuehui AN and Koichi MAEKAWA: SHEAR RESISTANCE AND DUCTILITY OF RC COLUMNS AFTER YIELD OF MAIN REINFORCEMENT, *Proc. of JSCE*, NO. 585/V-38, pp233-247, 1998. 2
- 2) M. J. N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi : SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES, Wiley-Interscience Publication, 1996
- 3) 吉川弘道, 青戸拓起, 高丸弘美: 鉄筋コンクリート橋脚の非線形応答解析とせん断劣化を考慮した動的破壊解析, 第 8 回コンクリートフォーラム資料, 1999. 2

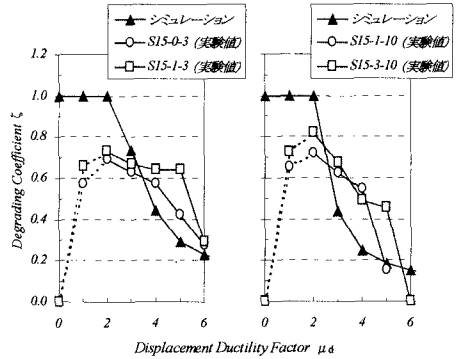


図-3 実験値とシミュレーション結果との比較  
(a) 3 回繰返し (b) 10 回繰返し

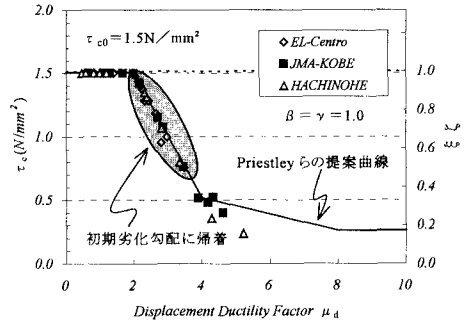


図-4 実地震波におけるせん断強度  $\tau_{ck}$  の劣化傾向

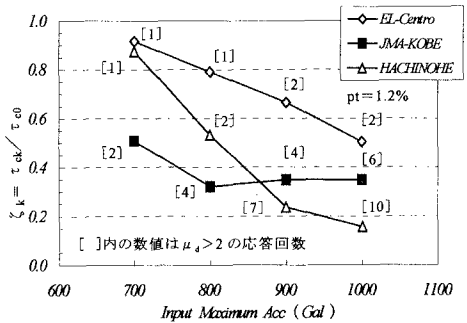


図-5 最大入力加速度と劣化過程の関係