

1. はじめに

RC 構造物は繰り返し外力を受けるとせん断耐力劣化現象を引き起こす。その主要因はせん断耐力コンクリート負担分の低下である。せん断耐力劣化現象については多くの研究がされているが、その劣化過程については未だ解明されていない部分が多く残されている。そこで本研究ではせん断耐力劣化現象を定量的に評価する動的劣化モデルを提案した。

2. 強震下におけるせん断耐力劣化現象

2-1 動的劣化モデル

Priestley らのせん断劣化曲線と修正トラス理論を基に繰り返しに伴う劣化せん断耐力式(式 1)と振幅履歴ごとの劣化係数 ζ_k に重みを付けて評価する累乗型累積損傷モデルを提案した(図 1)。

・繰り返しに伴う劣化せん断耐力式 V_{uk}

$$V_{uk} = V_s + \zeta_k V_{c0} \quad (1)$$

・累乗型累積損傷モデル

$$\mu_d < 2: \zeta_k = 1$$

$$2 \leq \mu_d < 4: \zeta_k = -0.3275m_{k-1}\mu_d + 0.655m_{k-1} + 1 \quad (2)$$

$$4 \leq \mu_d < 8: \zeta_k = -0.04325m_{k-1}\mu_d - 0.482m_{k-1} + 1$$

$$8 \leq \mu_d: \zeta_k = -0.828m_{k-1} + 1$$

$$\zeta_k = \prod_{i=1}^k \zeta_i(m_{i-1}) \quad (3)$$

$$m_k = \beta \zeta_k^\gamma \quad (4)$$

本研究では任意の応答一波を一周期とした。そのため単発劣化係数 ζ_k を算出するため特定の塑性率を算出する必要がある。また応答一波における劣化程度は正負振幅量にも影響を受けると考えられる。そこで正負振幅比 χ (式 5)に重みを付けて評価した等価振幅 μ^* (式 6)を特定の塑性率として用いることとした。

・正負振幅比 χ

$$\chi = \left| \frac{\mu_1}{\mu_2} \right| \quad (5)$$

・等価振幅 μ^*

$$\mu^* = \frac{(1 + \chi^\alpha)}{2} \mu_2^\lambda \quad (6)$$

ここで α, λ は感度係数であり、精度の高い動的劣化モデルの確立には多くの実験結果と比較することでこの2係数を決定する必要がある。

2-2 検討方法

本研究で用いた RC 単柱の静的ランダム載荷実験結果と動的劣化モデルを用いた解析結果を比較し、提案モデルの妥当性について検討する。試験体は片持ち梁形式とし、想定地震動として神戸海洋気象台観測波(s12-0-RSD)、開北橋記録地震波(s15-0-RSD)の2波を用い、柱頭に変位制御で載荷した。各載荷ステップにおけるせん断補強筋負担分 V_s を算出し、載荷荷重 V_{uk} との差により劣化コンクリート負担分 V_{ck} を算出する。鉄道構造物等設計標準式を用い初期コンクリート負担分 V_{c0} を算出する。算出した初期コンクリート負担分 V_{c0} と劣化コンクリート負担分 V_{ck} より実験値における劣化係数 ζ を算出する(図 3 参照)。

解析結果は試験体柱頭での応答変位より動的劣化モデルを用い算出する。

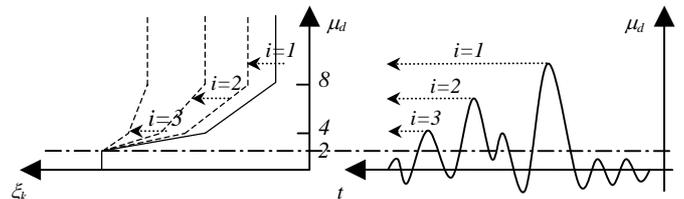


図 1 累乗型累積損傷モデル

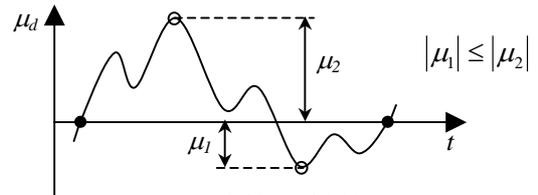


図 2 応答一波詳細図

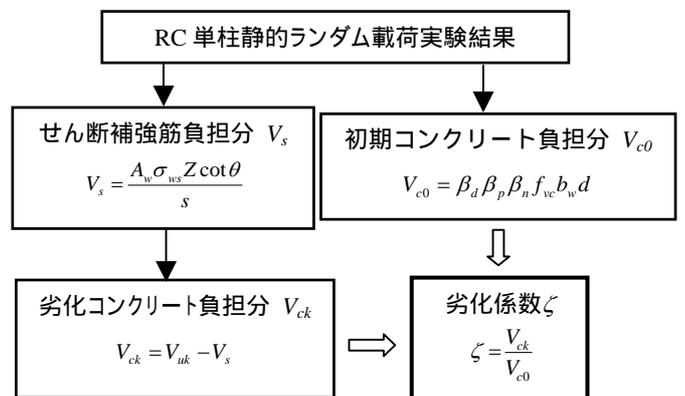


図 3 劣化係数算出フロー

3. 解析結果

せん断耐力劣化現象を定量的に評価する動的劣化モデルの確立のため、感度係数 α, λ を0.1~1.5に0.1刻みでスケールングしパラメトリック解析を行い、最適感度係数を算出した。

解析結果より感度係数 α, λ は図4に示すような影響をせん断劣化係数 ζ_k に与えることが確認できた。また実験値の劣化傾向を最もよく再現できた感度係数は $\alpha=1.2, \lambda=1.0$ であった。図5に最適感度係数を用いたときの時刻歴における劣化係数 ζ_k の低下を示す。

載荷実験において s12-0-RSD ではせん断ひび割れが生じたものの損傷の程度が軽微であったため破壊には至らず、劣化が徐々に進行していく傾向を見られた。これは劣化を引き起こすような繰り返し大変形が少なく、破壊に至るものではなかったためと考えられるため解析値においてこのような劣化傾向を示したと考えられる。s15-0-RSD では初期で著しいせん断耐力低下が起こり、それ以降は徐々に劣化が進行していく傾向が見られたが破壊には至らなかった。これは初期に大きな応答が繰り返し作用しており、これがせん断劣化を決定付け、それ以降は初期のような繰り返し大変形が作用しなかったため、解析値においてこのような劣化傾向を示したと考えられる。

解析結果と比較すると、両試験体において解析結果が実験結果の劣化傾向をよく追従しており、想定地震動による劣化傾向の違いを動的劣化モデルにより評価することができた。

また本研究では最適感度係数を $\alpha=1.2, \lambda=1.0$ とすることで2体の試験体の劣化傾向をよく再現することができたが、今後更に比較対象を増やし、同様の解析を行い最適感度係数の検討をすることにより、より精度の高い動的劣化モデルを確立することができると考えられる。

4. まとめ

本研究で提案した動的劣化モデルを用いた解析を行い、実験結果と比較した結果、以下のような知見が得られた。

本研究で提案した動的劣化モデルは、せん断耐力劣化現象の定量的評価法として有効である。

感度係数 $\alpha=1.2, \lambda=1.0$ のときせん断劣化傾向を最も再現することができた。今後最適感度係数について更なる検討を行うことにより、より精度の高い動的劣化モデルの確立が可能であると考えられる。

[参考文献]

- 1) M.J.N.Priestley, F.Seible, G.M.Calvi 著, 川島一彦 監訳: SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES 橋脚の耐震設計と耐震補強, 技報堂出版, 1998.4
- 2) 吉川弘道・青戸拓起・高丸弘美・大江亮二: 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, 土木学会 応用力学論文集 Vol.3, 645-656
- 3) 大江亮二: 繰り返し大変形を受ける鉄筋コンクリート単柱のせん断強度劣化の評価に関する研究, 土木学会論文集 No.711/V-56, 59-71, 2002.8

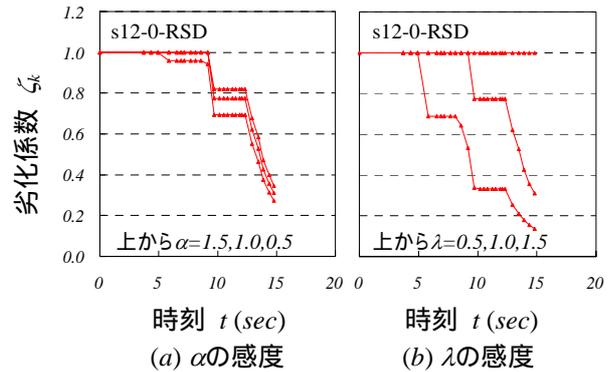


図4 感度係数の劣化程度への影響

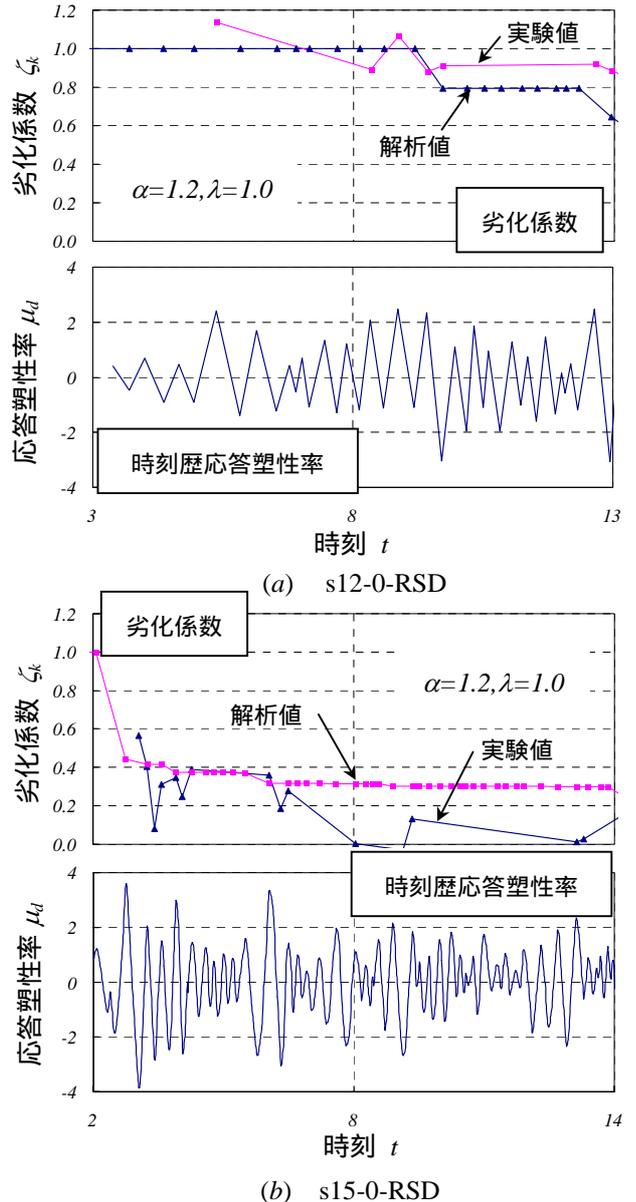


図5 せん断劣化傾向