

PC 造骨組の復元力特性に関する研究

その1 平均減衰の推定式

Study on Restoring Force Characteristics Model for Prestressed Concrete Frames

Part 1 Equation for Predicting Substitute Damping

○小西智貴¹, 大川峻², 福井剛³, 浜原正行³

*Tomoki Konishi¹, Shun Ohkawa², Tsuyoshi Fukui³, Masayuki Hamahara³

Abstract: This paper showed a restoring force characteristics model of prestressed concrete members. Elasto-plastic dynamic analyses using the model were performed to obtain the substitute damping of prestressed concrete frames. On the basis of the analyses equations for predicting the substitute damping were presented.

1. はじめに

2007年にPC建築物に関する建設省告示1320号が改正され、PC建築物にも限界耐力計算法が適用可能となった。この計算法は、地震応答スペクトルと、建物を等価1質点系モデルに置換した荷重-変位関係および平均減衰から建物の応答値を評価する方法である。

文献1)では、PC部材の復元力特性モデルを用いた平均減衰の推定式の提案が行われている。この式を骨組に適用させるには、部材モデルの考え方を踏襲した骨組の復元力特性モデルが必要となる。

本報告では部材モデルについて紹介を行い、さらに文献1)に掲載された地震応答解析および平均減衰の推定式について述べる。そして、この推定式に適用させるためのPC骨組の復元力特性モデルの提案を行う。

2. 部材の復元力特性モデル^{2), 3), 4)}

スケルトンカーブ スケルトンカーブは、Fig. 1(a)~(c)中の破線で示すようにトリリニア型とし、初期剛性(K_e)は弾性梁理論、ひび割れモーメント(M_{cr})はPC規準式で評価する。降伏モーメントは終局モーメントの90%の値とする。

降伏部材角 R_y は(1)式による。

$$R_y = M_y / (\alpha_y \cdot K_e) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 M_y : 降伏モーメント = $0.9 \cdot M_u$

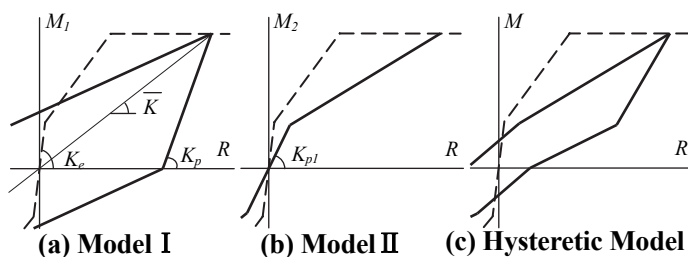


Fig. 1 Outline of Model

降伏剛性低下率 α_y を(2)式で与える。

$$\alpha_y = \left\{ \begin{array}{l} 1.64 \cdot (n \cdot p_t + 3.5 \cdot n_s \cdot p_g \cdot d_g / D) \\ + 0.043 \cdot (1 + a/D) + 0.33 \cdot \eta_0 \end{array} \right\} \cdot (d_r / D)^2 \dots \dots (2)$$

ここに、 p_g : PC鋼材の鉄筋比, p_t : 引張鉄筋比
 η_0 : 軸力比 = $N / (b \cdot D \cdot \sigma_B)$, a : せん断スパン
 n, n_s : 鉄筋, PC鋼材のヤング係数比
 d_g : 圧縮縁からPC鋼材の重心までの距離

履歴ループ PC部材の復元力特性はモデルI (Fig. 1(a)) とモデルII (Fig. 1(b)) をパラメータ α を用いて一次結合することによって与える。

$$M = \alpha \cdot M_1 + (1 - \alpha) \cdot M_2 \dots \dots \dots (3)$$

$$\alpha = \frac{\mu \cdot q_r + \eta_g \cdot (\eta_0 + \sqrt{\eta_g})^2}{\mu \cdot q_r + \eta_g} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 M_1, M_2 : モデルI, モデルIIの曲げモーメント

q_r : 普通鉄筋の鋼材係数 = $a_r \cdot \sigma_y / (b \cdot D \cdot \sigma_B)$

η_g : プレストレスレベル = $\Sigma P_e / (b \cdot D \cdot \sigma_B)$

$\mu = R_{max} / R_y$ ただし、 $\mu < 1$ のときは、 $\mu = 1$

モデルIはピーク点を指向する剛性低下型の履歴ループによって構成されている。このモデルの除荷曲線の勾配は初期剛性と正負ピーク点を結んだ直線の勾配(\bar{K})とパラメータ r を用いて(5)式で与える。

$$K_p = r \cdot K_e + (1 - r) \cdot \bar{K} \dots \dots \dots (5)$$

$$r = a_r \cdot \mu_r \cdot \alpha_y \dots \dots \dots (6)$$

ここに、 $\mu_r = R_{max} / R_y$ ただし、 $\mu_r > 1$ のときは、 $\mu_r = 1$

$a_r = a / 4D$ ただし、 $a_r > 1$ のときは、 $a_r = 1$

モデルIIの第一剛性は(7)式で与えている。

$$K_{p1} = \frac{\alpha_y \cdot K_e}{\mu - \sqrt{\mu} + \alpha_y \cdot \sqrt{\mu}} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、 $\mu = R_{max} / R_y$ ただし、 $\mu < 1$ のときは、 $\mu = 1$

1: (株)ピーエス三菱 2: 日大理工・院(前)・海建 3: 日大理工・教員・海建

3. 文献 1)で行われた平均減衰に対する検討

3.1 地震応答解析

地震応答解析には、日本建築センター模擬波（最大加速度 207gal）を用い、応答の解析には、Newmark の β 法 ($\beta=1/6$) を用い、(8)式に示す平均減衰 h_s を求めた。解析に際し、初期減衰は 5%とした。

$$h_s = \frac{-\int_0^t \ddot{y}_0 \dot{y} dt}{2\omega_e \int_0^t \dot{y}^2 dt} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 \ddot{y}_0 =地動加速度 \dot{y} =建物の速度
 ω_e =等価角振動数

解析は、質量を 1000ton とし、Table 1 の解析要因の水準を組み合わせた 1620 ケースについて実施した。

Table 1 Parameters for Analysis

解析要因	水準
降伏震度 (Q_y/W)	0.2, 0.3, 0.4, 0.5
ひび割れ荷重(Q_{cr})/降伏荷重(Q_y)	0.3, 0.4, 0.5
初期周期(T_1)	0.2, 0.4, 0.6
降伏周期(T_2)/初期周期(T_1)	$\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, 2
普通鉄筋の鋼材係数(q_r)	0, 0.1, 0.2, 0.3
プレストレスレベル(η_g)	0, 0.1, 0.2, 0.3

3.2 平均減衰の推定式

提案の平均減衰の推定式を(9)式に示す。式中の α については(10)式、 β については(11)式を用いて算出する。本推定式は、PC 部材の諸元である普通鉄筋の鋼材係数、プレストレスレベルを用いることで、応答解析を行わず平均減衰を算出することを可能とした式である。

$$h_s = \frac{0.38 \cdot \alpha \cdot (\mu - \mu_{cr})}{(\mu - \mu_{cr}) + \beta} + h_0 \dots\dots\dots (9)$$

$$\alpha = (\mu \cdot q_r + \eta_g^2) / (\mu \cdot q_r + \eta_g) \dots\dots\dots (10)$$

$$\beta = 1.4 / (r \cdot T_2 / T_1) \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 μ_{cr} =ひび割れ時の変形量/降伏時の変形量
 r =除荷勾配のパラメータ h_0 =初期減衰

Fig. 2 は地震応答解析より求まる平均減衰と推定式より求めた平均減衰を比較したものである。応答解析より求まる値は推定式により比較的精度よく推定されており、相関係数は 0.974 となっており、両者の相関性は高いと言える。この結果より、推定式を用いることで、応答解析を行うことなく、平均減衰を推定することが可能であることが分かる。

4. 骨組の復元力特性モデル化の方針

前節で示した平均減衰の推定式は、スケルトンカーブの特異点、モデル I の除荷曲線の勾配を規定するパラメータ r 、モデル I とモデル II の寄与の割合であるパラメータ α を用いることで、応答解析を行うことなく平均減衰を精度よく算出することを可能とした式である。骨組の復元力特性モデルについても部材モデルと同様に、トリリニア型のスケルトンカーブ、紡錘型のモデル I と S 字型のモデル II をパラメータ α で 1 次結合する履歴ループで構成することにより、本推定式で骨組の平均減衰を算出することが可能となる。詳細な規定方法については、その 2 に記述する。

5. まとめ

文献 1)に掲載された平均減衰の推定式について述べた。平均減衰の推定式を骨組に適用させるためには、部材の復元力特性モデルの考え方を踏襲した骨組の復元力特性モデルが必要となることを示した。

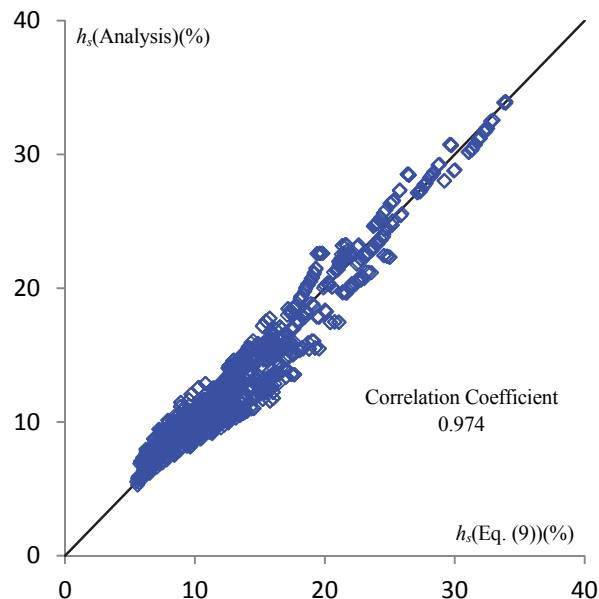


Fig. 2 Correlation between $h_s(\text{Analysis})$ and $h_s(\text{Eq. (9)})$

参考文献 1) 大川ほか:プレストレスコンクリート構造の復元力特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.733-734, 2014 2)岡田, 浜原ほか:プレストレスコンクリート曲げ部材の復元力特性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.410, pp.63-70, 1990, 4 3)浜原正行, 尹元奎ほか:プレキャストプレストレスコンクリート柱の復元力特性に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 1996, 2, No.480, pp.151-160 4)大川ほか:プレストレスコンクリート構造の復元力特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.731-732, 2014