

PC 梁と RC 柱により構成される骨組の復元力特性に関する研究

その 1 解析概要

Study on Restoring Force Characteristics Model for Framed Structures Consisting of Prestressed Concrete Beams and Reinforced Concrete Columns

Part 1 Outline of Analysis

姜建毅¹, ○矢田光輝², 福井剛³, 浜原正行³Jianyi Jiang¹, *Kouki Yata², Tsuyoshi Fukui³, Masayuki Hamahara³

Abstract : This paper showed the restoring force characteristics model for prestressed concrete members and outline of analysis on prestressed concrete frames consisting of prestressed concrete beams and reinforced concrete columns. The variables in analysis include; the ratio of the amount of prestressed steels to that of total longitudinal steels and the ratio of the numbers of yield hinges at the column to that of total hinges in the mechanism.

1. はじめに

PC 部材は緊張力や普通鉄筋量によって履歴性状が変化するため、その復元力特性は RC 部材と比較すると多様である。また PC 骨組には RC 柱が用いられることが多く、PC 梁の設計条件が長期荷重支配型となる場合には RC 柱にもヒンジが生じ、多様なヒンジが混在することになる。したがって、その履歴性状は部材の復元力特性だけでなく降伏機構にも支配される。内田らは、梁を PC、柱を RC とした 3 層キ型骨組に対して正負繰り返しパラメトリック解析を行い、PC 骨組の復元力特性モデルを提案した¹⁾。本研究はこれに倣い、6 層キ型骨組に対して同様な解析を行い、履歴性状に及ぼす部材の復元力特性と降伏機構の影響を検討すると共に、機構時における柱頭および柱脚降伏ヒンジが形成される層の違いが等価粘性減衰定数と骨組の変形モードに及ぼす影響を明らかにしようとするものである。

2. 部材の復元力特性モデルの概要

部材モデルのスケルトンカーブはトリリニア型とし、履歴ループは紡錘型のモデル I と、S 字型のモデル II により構成する。具体的には、このモデル I とモデル II をパラメータ α を用いて一次結合することにより、RC 部材から PC 部材までの多様な履歴性状を再現することが可能となっている²⁾。詳細は以下のように示す。

2.1 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ひび割れ点(C)と降伏点(Y)を特異点とするトリリニア型とする。初期剛性 K_e は弾性剛性とし、ひび割れモーメント M_{cr} および曲げ終局モーメント M_u は PC 規準の略算式³⁾により算出する。降伏モーメント M_y は、(1)式で与えられる M_u の 90% の値とする。

$$M_u = T_{py} \cdot d_p + T_{ry} \cdot d_r + \frac{N \cdot D}{2} - \frac{(N + T_{py} + T_{ry})^2}{2 \cdot b \cdot \sigma_B} \dots (1)$$

ここに、 T_{py} = PC 鋼材の降伏荷重 T_{ry} = 鉄筋の降伏荷重 d_p = PC 鋼材の有効せい d_r = 鉄筋の有効せい σ_B = コンクリートの圧縮強度 b = 部材幅 D = 部材せい降伏部材角 R_y は (2) 式による。

$$R_y = M_y / (\alpha_y \cdot K_e) \dots (2)$$

ここに、降伏剛性低下率 α_y を (3) 式で与える⁴⁾。

$$\alpha_y = \left\{ \begin{array}{l} 1.64 \cdot \left(n \cdot p_t + 3.5 \cdot n_s \cdot p_g \cdot \frac{d_g}{D} \right) \\ + 0.043 \cdot \left(1 + \frac{a}{D} \right) + 0.33 \cdot \eta_0 \end{array} \right\} \cdot \left(\frac{d_r}{D} \right)^2 \dots (3)$$

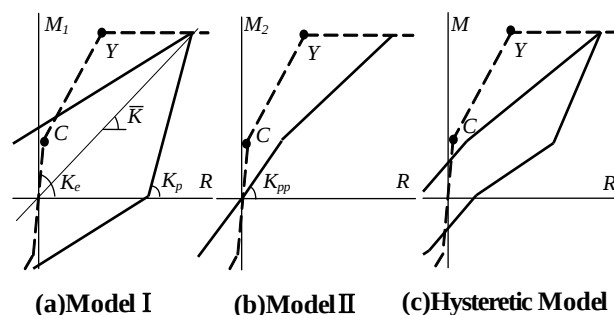
ここに、 a = せん断スパン p_g = PC 鋼材の鉄筋比 p_t = 引張鉄筋比 η_0 = 軸力比 = $N/(b \cdot D \cdot \sigma_B)$ n, n_s = 鉄筋, PC 鋼材のヤング係数比 d_g = 圧縮縁から PC 鋼材の重心までの距離

Fig. 1 Idealization of Hysteresis Loop

2.2 履歴ループ

PC 部材の復元力特性はモデルⅠとモデルⅡをパラメータ α を用いて一次結合することで算出する.

$$M = \alpha \cdot M_1 + (1 - \alpha) \cdot M_2 \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\mu \cdot q_r + \eta_g \cdot (\eta_o + \sqrt{\eta_g})^2}{\mu \cdot q_r + \eta_g} \quad (5)$$

ここに, M_1, M_2 = モデルⅠ,Ⅱの曲げモーメント

$$q_r = \text{軸方向鉄筋の鋼材係数} = a_i \cdot \sigma_{ry} / (b \cdot D \cdot \sigma_B)$$

$$\eta_g = \text{プレストレスレベル} = \Sigma P_e / (b \cdot D \cdot \sigma_B)$$

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

モデルⅠは経験最大変形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. このモデルの除荷勾配 K_p は, 初期剛性 K_e と経験最大変形点を結んだ直線の勾配 $\bar{K}$ と除荷勾配のパラメータ r を用いて (6) 式で与える⁴⁾.

$$K_p = r \cdot K_e + (1 - r) \cdot \bar{K} \quad (6)$$

$$r = a_r \cdot \mu \cdot \alpha_y \quad (7)$$

ここに, $\bar{K}$ = 正負経験最大変形点を結んだ直線の勾配

$$\mu = R_{max} / R_y \quad \text{ただし, } \mu > 1 \text{ のときは, } \mu = 1$$

$$R_y = \text{降伏部材角} \quad \alpha_y = \text{降伏剛性低下率}$$

$$a_r = a / (4D) \quad \text{ただし, } a_r > 1 \text{ のときは, } a_r = 1$$

モデルⅡは履歴ループ面積がゼロの S 字型の折れ線で表される. このモデルの第一剛性は (8) 式で与えており⁵⁾, 折れ曲がり点はひび割れモーメントの位置に設定する.

$$K_{pp} = \frac{K_e}{\mu / \alpha_y - \sqrt{\mu} / \alpha_y + \sqrt{\mu}} \quad (8)$$

3. 繰り返し水平力を受ける PC 骨組の弾塑性解析の概要

検討に用いた骨組は, Fig. 2 に示すような柱を RC, 梁を PC とした階高 4m, スパン 18m の 6 層無限均等ラーメンの中柱を想定したキ型フレームとした. 部材の剛性マトリクスは材端バネ法より, 骨組に作用する水平力は A_i 分布の層せん断力より求め, 軸方向力は単位面積重量を 12kN/m^2 で算定した. 代表変形はサイクル毎に, それぞれの変位を 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1200 (単位: mm) に制御変位とし, おおのおおの変位振幅で正負 2 回ずつの交番漸増解析を行った. 代表変位 D_b は以下のように定義する.

$$D_b = \frac{\sum \delta_i^2}{\sum \delta_i} \quad (9)$$

解析は, 機構時における a) 柱頭ヒンジと柱脚ヒンジの層, b) 柱降伏ヒンジ率 ((10) 式), c) 梁の鋼材係数比

((11) 式) を要因とした計 132 ケースについて実施した.

$$v = \frac{\text{機構時の柱のヒンジ数}}{\text{機構時の全ヒンジ数}} \quad (10)$$

$$\lambda_p = \frac{\text{引張側 PC 鋼材の降伏荷重}}{\text{引張側 PC 鋼材と主筋の降伏荷重}} \quad (11)$$

解析要因の水準は Table 1, 解析に用いたモデル骨組の断面諸元, 材料諸元を Table 2, Table 3 に示す.

4. まとめ

RC から PC 部材までを統一的に評価可能な復元力特性モデルの概要と降伏ヒンジ率と梁の鋼材係数比を要因とした 6 層キ型フレームの解析概要を示した.

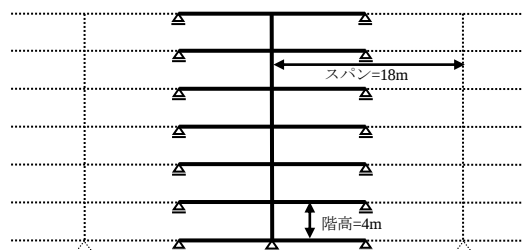


Fig. 2 Outline of Frame

Table 1 Parameters for Analysis

解析要因	水準
柱降伏ヒンジ率(v)	0, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1
鋼材係数比(λ_p)	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1

Table 2 Dimension of Cross Section

部材	b (mm)	D (mm)	d_r (mm)	d_p (mm)
梁	750	1200	1140	840
柱	1000	1000	940	---

(共通因子) 階高: 4m, スパン: 18m, 柱の支配面積: 6m×スパン, 単位床重量: 12kN/m²

Table 3 Properties of Material

コンクリート		普通鉄筋		PC 鋼材	
σ_B (N/mm ²)	E_c (N/mm ²)	σ_{ry} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	σ_{py} (N/mm ²)	E_p (N/mm ²)
36	26000	380	205000	1600	205000

【参考文献】

- 1) 内田ほか: プレストレストコンクリート骨組の復元力特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2009, 8, pp.789-790
- 2) 浜原正行, 尹元奎ほか: プレキャストプレストレストコンクリート柱の復元力特性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 1996, 2, No.480, pp.151-160
- 3) 日本建築学会: プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説, 1998
- 4) 浜原, 岡田: プレストレストコンクリート曲げ部材の復元力特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, pp.63-66, No.410, 1990 年
- 5) 大川峻ほか: プレストレスト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