

I-49

疑似水平力を用いた骨組構造物設計法の適用性

北海学園大学 学生員 高松 潤

北海学園大学 正 員 当麻庄司

1. はじめに

現在、世界的には多くの設計基準で有効座屈長を用いない方法が採用されている¹⁾²⁾。先に、文献3)および4)において、限界状態設計法を行なう際、有効座屈長を用いないで部材長と疑似水平力を用いる設計方法を示した。そこでは、片持梁柱を例にとり部材長、すなわち有効座屈長換算係数 $K=1.0$ として設計を行なった。ここでは、最も基本的な骨組構造物である門型フレームを例にとり、その柱部材について設計を行ない、 K -factor法と疑似水平力を用いた方法との相関曲線の比較をする。また、疑似水平力を用いた設計法の適用性、そして最適な疑似水平力の値のとり方について検討する。

2. 疑似水平力を用いた門型フレームの設計モデル

今回、Fig.1およびFig.2に示すような鉛直軸方向力 P と水平力 H の作用する門型フレームをモデルとして解析する。柱脚の支持条件は、Fig.1の固定、Fig.2のヒンジの両方について検討した。Fig.1(a)およびFig.2(a)に示される有効座屈長換算係数(K)はLRFDのノモグラフによって求めたものである。両図の(b)にはこの有効座屈長換算係数を $K=1.0$ とし、その代わりに疑似水平力 $2\alpha P$ を与えた場合を示している。この疑似水平力は鉛直力 P に比例しており、その比例定数で α は疑似水平力係数と呼ぶ。計算に当たっては、LRFD⁵⁾と日本道路橋示方書(JSHB)⁶⁾の両基準で示している相関式を用いた。

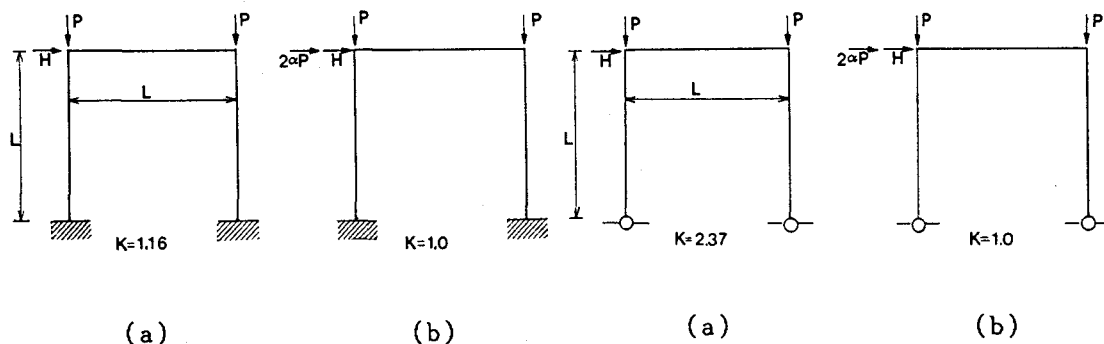


Fig.1 Portal Frame (Fix - Support)

Fig.2 Portal Frame (Pin - Support)

Applicability of the Frame Design Using Notional Horizontal Force

by Jun TAKAMATSU and Shouji TOMA

3. LRFDによる設計

LRFDでは、梁柱の相関式は次のように示されている⁵⁾。

$$\frac{N}{\Phi N_u} + \frac{8}{9} \frac{M}{\Phi M_p} \leq 1.0 \quad \frac{N}{N_u} \geq 0.2 \quad (1-a)$$

$$\frac{N}{2\Phi N_u} + \frac{M}{M_p} \leq 1.0 \quad \frac{N}{N_u} < 0.2 \quad (1-b)$$

ここに、 N =作用軸力、 N_u =圧縮柱の強度、 M =作用曲げモーメント、 M_p =塑性モーメント、

Φ =抵抗係数（ここでは $\Phi=1.0$ を用いる）

また作用モーメント M は、次式により求める。

$$M = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (2)$$

ここに、 B_1 =部材の2次効果（ $P-\delta$ 効果）を含むための増幅係数、 B_2 =構造物の2次効果

（ $P-\Delta$ 効果）を含むための増幅係数、 M_{nt} =側方拘束されたとした場合の曲げモーメント、 M_{lt} =側方拘束がない場合の曲げモーメント

今、Fig.1に示す柱脚固定そしてFig.2の柱脚ヒンジの門型フレームに疑似水平力（ $2\alpha P$ ）を与えて計算するとすれば、両図の(a)に示す構造を図(b)のような構造と考えることができる。このときの相関式は式(2)を(1)に代入して、次の式(3)が得られる。この時の作用モーメントの値は疑似水平力（ $2\alpha P$ ）の影響で増幅するためその増分を ΔM とした。また、 N_u の算出の際の有効座屈長換算係数は、 $K=1.0$ とする。

$$\frac{N}{N_u} + \frac{8}{9} \frac{M + \Delta M}{\left(1 - \frac{\Sigma N \Delta_0}{H L}\right) M_p} \leq 1.0 \quad \frac{N}{N_u} \geq 0.2 \quad (3-a)$$

$$\frac{N}{2N_u} + \frac{M + \Delta M}{\left(1 - \frac{\Sigma N \Delta_0}{H L}\right) M_p} \leq 1.0 \quad \frac{N}{N_u} < 0.2 \quad (3-b)$$

ここに、 Δ_0 =横方向変位、 ΣN =対象とする層の柱に作用する軸方向力の総和

各断面力は、柱脚固定そして柱脚ヒンジの門型フレームを弾性1次解析して以下のように得られる。

柱脚固定の時：

$$N = P + (3/7) (H + \alpha P)$$

$$\Sigma N = 2P$$

$$M = (2/7) HL$$

$$\Delta M = (2/7) \alpha PL$$

$$\Delta_0 = 0.0595 (H + \alpha P) L^3 / EI$$

柱脚ヒンジの時：

$$N = P + (1/2) (H + \alpha P)$$

$$\Sigma N = 2P$$

$$M = (1/2) HL$$

$$\Delta M = (1/2) \alpha PL$$

$$\Delta_0 = 0.25 (H + \alpha P) L^3 / EI$$

以上の式より α の値を $\alpha=0, 1/200, 1/100$ と変えて計算を行ない、それぞれ相関曲線を描いたものがFig.3およびFig.4に示す一点鎖線である。また、同時に有効座屈長法により求めた相関曲線も実線で示してある。このときの有効座屈長換算係数はAISCノモグラフより求め、柱脚固定が $K=1.16$ 柱脚ヒンジが $K=2.37$ とした。Fig.3の柱脚固定フレームに対する計算結果によれば、換算細長比の小さい($\lambda_c=0.5$)ときは、疑似水平力がなし($\alpha=0$)でも有効座屈長法と近い値になる。換算細長比が大きくなるにつれて $\alpha=1/200$ の曲線がよく近似しており、 $\lambda_c=1.5$ の時は特によく一致している。また、Fig.4の柱脚ヒンジフレームについては、柱脚固定フレームよりは大きな疑似水平力が必要であり、 $\alpha=1/100$ から $1/200$ で有効座屈長法に近い曲線を示している。これは柱脚ヒンジフレームではもともとK-factorが大きいことから、これを $K=1.0$ とするにはより大きな疑似水平力を必要とするためである。また、各グラフに示してある $B_2 < 1.4$ の線は、カナダの設計基準¹⁾において B_2 の値は2次モーメントが1次モーメントの40%を越えない($B_2 < 1.4$)ことを基本としていることから参考のために示した。同基準によれば、もし B_2 が1.4より大きくなれば、弾塑性2次解析を行なうことを推奨している。

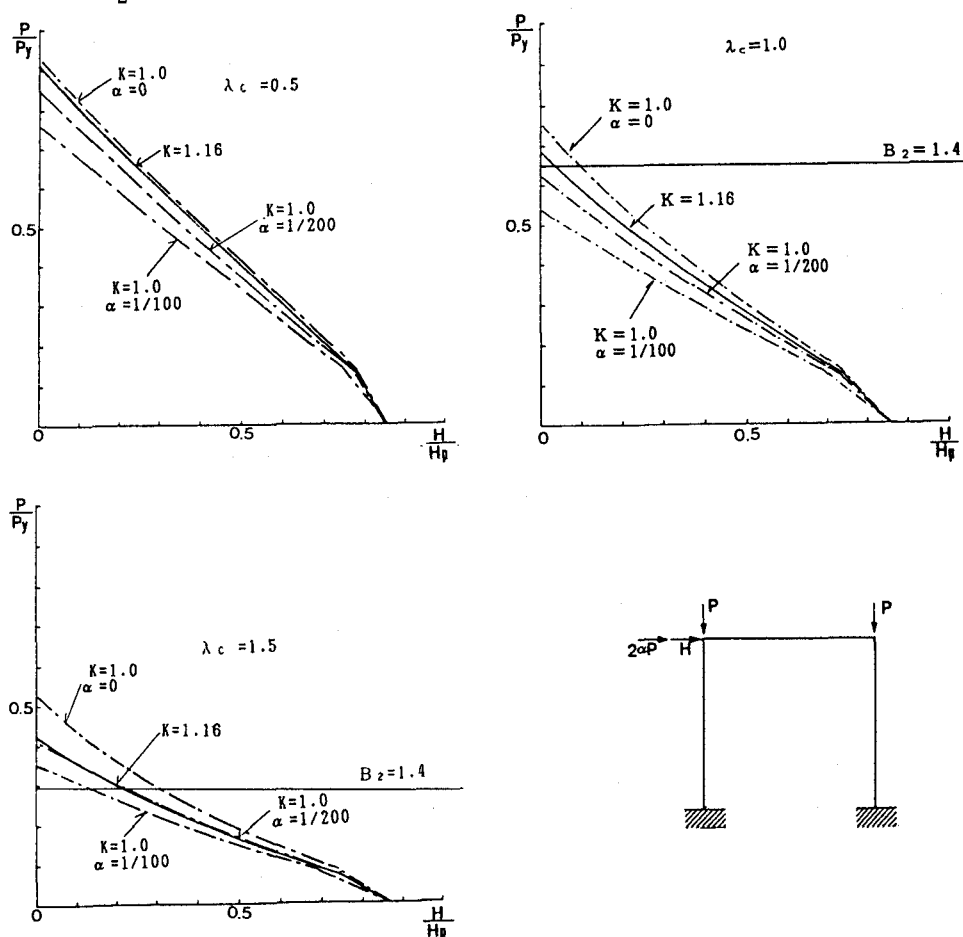


Fig.3 Interaction Curve for Portal Frame
(LRFD, Fix-Supported)

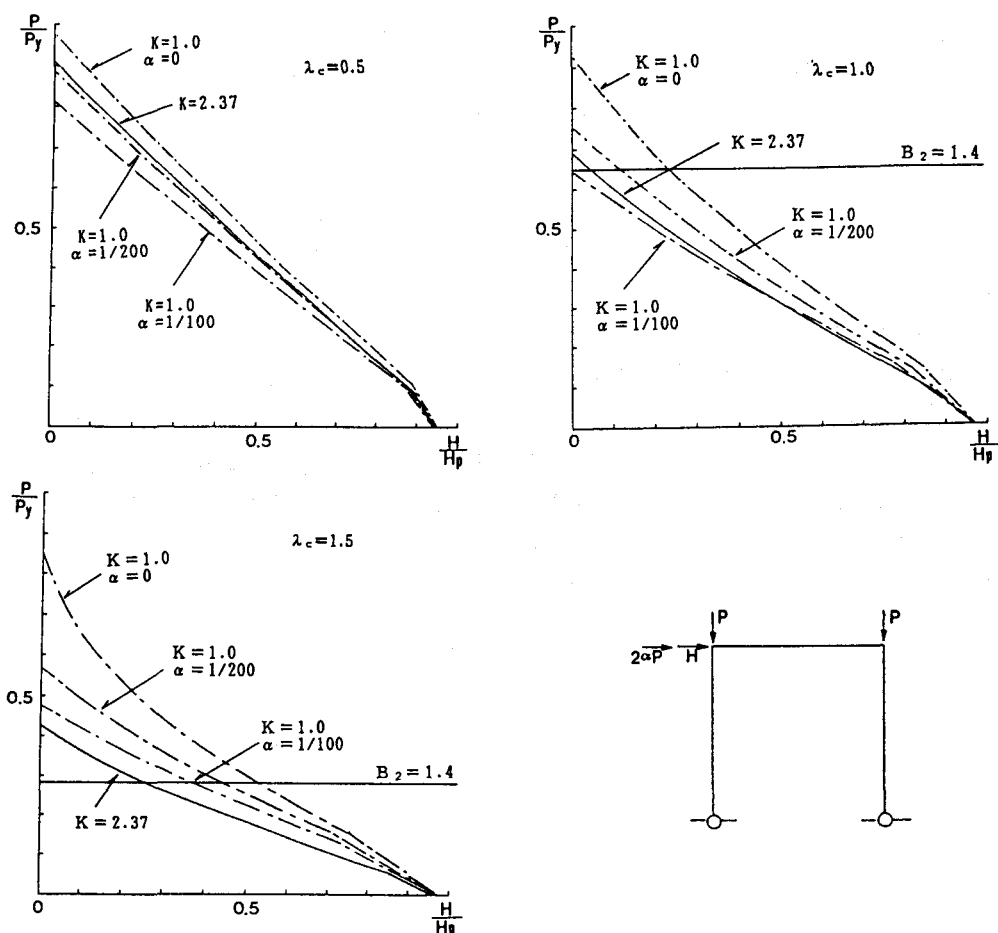


Fig.4 Interaction Curve for Portal Frame
(LRFD, Pin-Supported)

4. JSHBによる設計

JSHBによれば梁柱の安定相関式は次式で表される⁶⁾。

$$\frac{N}{N_u} + \frac{C_m M}{(1 - N/N_e) M_y} \leq 1.0 \quad (4)$$

ここに、 M_y = 降伏モーメント、 N_e = 弾性座屈荷重、 C_m = 等価モーメント換算係数
また、断面強度の相関式は次式を用いた。

$$\frac{N}{N_y} + \frac{M}{M_y} \leq 1.0 \quad (5)$$

先に行なったLRFDの計算同様に、Fig.1およびFig.2に示すような門型フレームに疑似水平力を与え上の2式を適用させて計算する。この際、断面強度の相関式については、もともと有効座屈長の算出が不要であるため疑似水平力を用いない。また、等価モーメント換算係数 (C_m) については、P-Δ効果を考

慮した値である $C_m=0.85$ を使い、 N_u 、 N_e 算出の際の K -factor の値は $K=1.0$ を用いる

以上のように疑似水平力を与えて計算する場合、結局式(4) は次式のようにになる。

$$\frac{N}{N_u} + \frac{C_m (M + \Delta M)}{(1 - (N/N_e) M_y)} \leq 1.0 \quad (6)$$

上式に用いた各断面力は、LRFD の計算で用いたものと同じである。

以上のように疑似水平力を与えて式(5)および式(6) により計算した相関曲線を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。Fig. 5 の柱脚固定フレームについては、LRFD と似た傾向を示し換算細長比の小さい ($\lambda_c=0.5$) ときは疑似水平力がないときでも有効座屈長法と近い値になり、換算細長比が大きくなると $\alpha=1/200$ の値でよい近似を与える。また Fig. 6 の柱脚ヒンジフレームについては、細長比によってはかなり大きな疑似水平力を与えなければならず、 $\lambda_c=1.0$ のとき $\alpha=1/100$ を与えても有効座屈長法との誤差は大きい。これは、JSHB の設計基準におけるモーメント増幅係数内の N_e の算出の際に有効座屈長法では比較的大きな K -factor の $K=2.37$ を用いているのに対し、疑似水平力を用いる式(6) では $K=1.0$ としているため誤差が大きくなったと思われる。

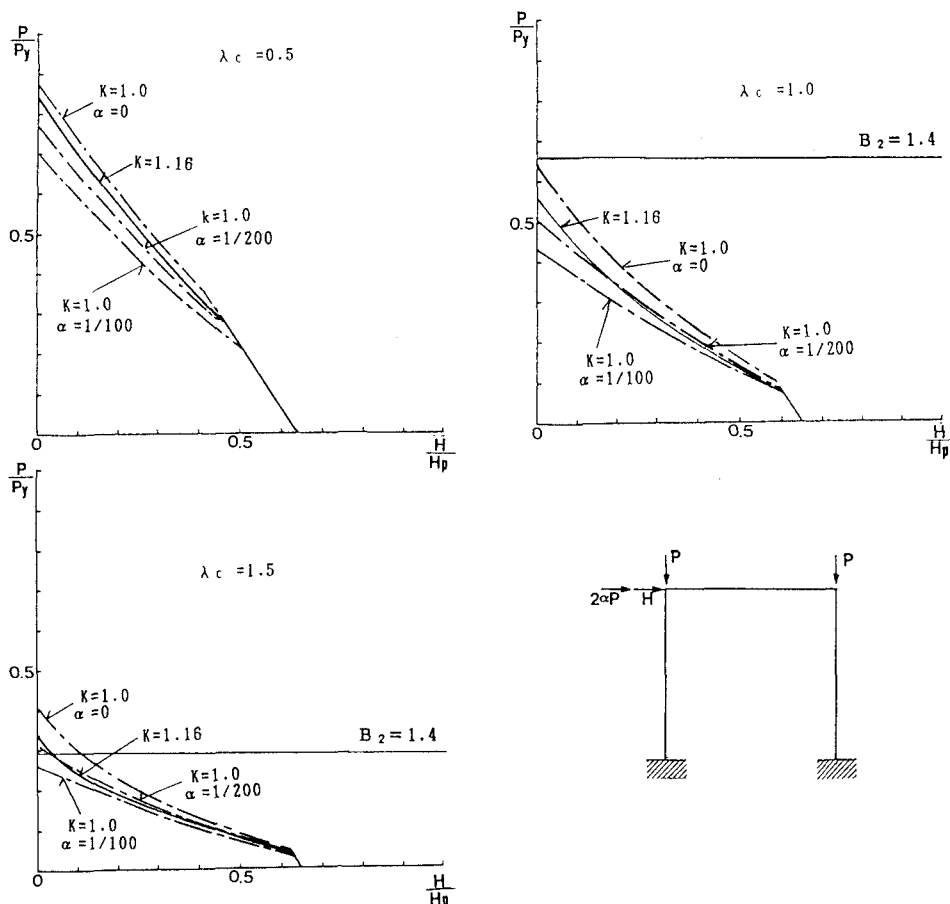


Fig. 5 Interaction Curve for Portal Frame
(JSHB, Fix-Supported)

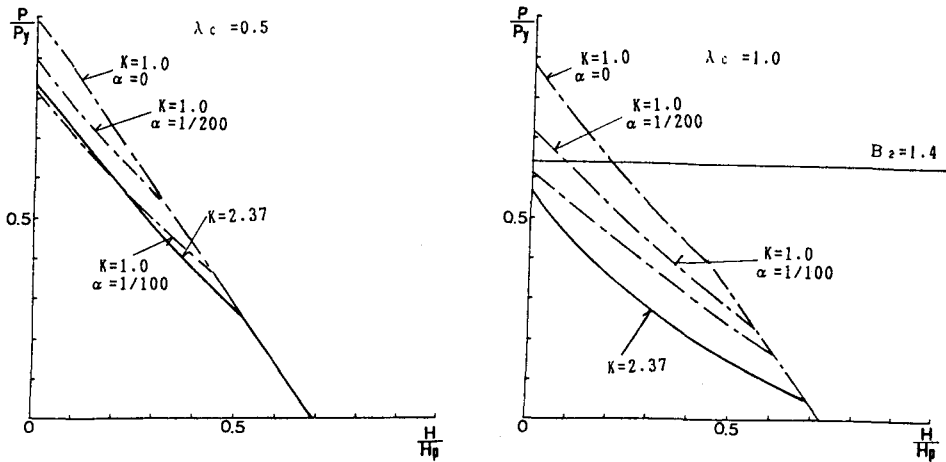


Fig. 6 Interaction Curve for Portal Frame
(JSHB, Pin-Supported)

5. 結論

Fig.1およびFig.2に示すような柱脚固定と柱脚ヒンジの門型フレームを例にとって、有効座屈長の代わりに疑似水平力を用いて設計した。文献3)、4)で行なっている片持梁柱の設計と同様に、LRFDの設計基準に基づいた場合、今回も疑似水平力係数の値は $\alpha=1/200$ から $1/100$ をとると従来の有効座屈長を用いた設計に近い結果を与えることが判明した。そして、この疑似水平力の大きさはK-factorと密接な関係があり一定の値に固定することは難しいことがわかった。道路橋示方書に基づいた場合、疑似水平力法は、有効座屈長法との誤差が大きくその適用性には疑問がある。今後は、多層フレーム等の他の構造に対してもこのようなことが言えるかどうか、検討する必要がある。

参考文献

- 1) CSA : Limit States Design of Steel Structures, 1989.
- 2) AS4100 : Australian Standard, Steel Structures, 1990.
- 3) 高松, 鈴木, 当麻 : 疑似水平力を用いた骨組み構造物の設計, 第48回土木学会年次学術講演会, 平成5年9月.
- 4) 鈴木, 当麻 : 疑似水平力を用いた片持梁柱の設計, 第48回土木学会年次学術講演会, 平成5年9月.
- 5) AISC : Load and Resistance Factor Design, 1986.
- 6) 日本道路協会 : 日本道路橋示方書・同解説, 平成2年2月.