

I - 404

弾性有限変位解析に基づく骨組構造の
最適断面設計

東京都立大学 正 員 野上 邦栄
 東京都立大学 正 員 成田 信之
 北海学園大学 正 員 杉本 博之

1. まえがき

国内外において許容応力度設計法から限界状態設計法へ移行している現況を踏まえ、設計上の観点から従来の有効座屈長を用いた耐荷力評価法に関する見直しが行われている¹⁾。一方、構造解析理論および電子計算機が著しく進歩している現状において、設計者に非線形解析を委ね、設計基準をわかりやすく、合理的な設計へと進むことが考えられる。現在、土木学会を中心に有効座屈長の概念にとらわれない新しい設計体系(非線形解析による設計法)の確立を目指して活発な議論が行われている^{2),3)}。ここでは、構造物を構成する個々の部材の安全性を確保することにより構造物全体の安全が確保できるとする従来の部材照査法に対して、新しい設計の一方として弾性有限変位解析に基づく構造全体照査体系の確立を目指している。特に、座屈設計が問題となるような構造を対象に、有効座屈長を用いないで終局強度設計を可能にする等価初期不整を用いる方法^{2),4)}により、柱、一層ラーメン構造を中心にした鋼骨組の最適断面設計を試みている。

2. 等価初期不整を用いる方法

弾性有限変位解析に基づく設計法の中で、等価初期不整を用いる方法の具体的な設計手順は次のようになる。

①設計条件として構造物の形状、支持条件、荷重条件などを決定する。②構造物の断面形状、寸法、材料などを仮定する。③設計荷重 F_d 、および照査のための安全係数 ν 倍した照査荷重を設定する。④等価初期不整の形状(座屈モード)や大きさを設定する。⑤弾性有限変位解析により設計断面力 $S_d(\nu F_d)$ を算出する。ここでは、④により仮定された等価初期不整を構造形状に与えて解析することになる。⑥設計断面力 S_d と設計断面耐力 R_d の比較により限界状態の照査($S_d/R_d \leq 1$)を行う。

3. 数値計算例

対象とした構造系は、図-1の2段階変断面を持つ片持柱、両端ヒンジの門型ラーメン構造である⁵⁾。なお、これらの断面形状は、正方形箱型断面、鋼材はSS400、 $\sigma_y = 2400 \text{ kgf/cm}^2$ である。また、等価初期不整を用いる方法における照査荷重としての安全係数は、 $\nu = 1.0$, $\nu = 1.7$ の2ケース計算した。最適設計は、SLP⁶⁾を用いて行った。目的関数は、構造全体の鋼材総容積 $V(= \sum_{i=1}^n 4(b_i + t_i)t_i \ell_i)$ とした。ここで、 n は部材数、 b_i, t_i , および ℓ_i はそれぞれ i 部材の板幅、板厚、部材長である。

設計変数は、 $\{b_1, t_1, b_2, t_2, \dots, b_n, t_n\}$ である。制約条件は、道示により照査する場合、最小板厚制限(g_1)、最大細長比制限(g_2)、最大幅厚比制限(g_3)、安定照査式制限(g_4)、強度照査式制限(g_5)の5式とし、等価初期不整を用いる方法で照査する場合は、 g_4 と g_5 に代わり新強度照査式制限($g_6 = \sigma/\sigma_y - 1 \leq 0$)を加えた4式を制約条件として設計を行った。

まず、柱の最適設計に対して、等価初期不整を用いる方法と現行設計法による柱の最適設計の結果を、表-1に示した。なお、等価初期不整には、 $w^0/L = 0.003\beta$ (β は有効座屈長係数であり、 $\beta = 2$)を用いている⁴⁾。道示に従う照査法をとる場合、板厚を2cmに固定した場合は許容解(すべての照査式を満足する設計)は得られな

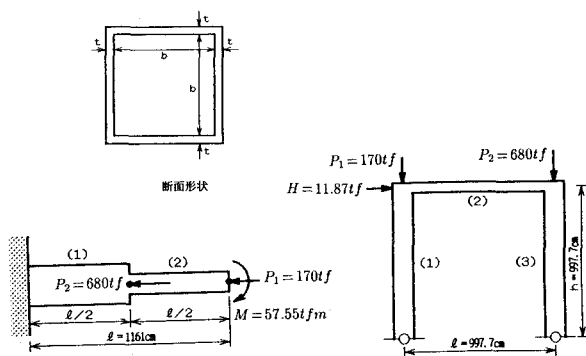
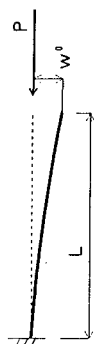


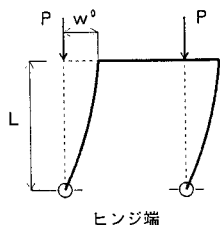
図-1 対象とした柱、門型ラーメン構造

表-1 現行設計法と等価初期不整を用いる方法による柱の最適断面設計



照査法	板厚	V (cm ³)	部材	A (cm ²)	b (cm)	t (cm)	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆
道路橋 示方書	2cm	許容解なし										
	最適	810828	(1)	953.3	95.8	2.43	-2.0327	-0.5176	-0.2976	0.0038*	-0.1835	—
			(2)	443.5	65.4	1.65	-1.0677	-0.2931	-0.2970	-0.0002*	-0.1745	—
等価初期 不整を用いる方法	ν=1.0	2cm	522700	(1)	521.6	63.2	2.00	-1.5000	-0.2734	-0.4379	—	0.0000*
				(2)	378.9	45.4	2.00	-1.5000	0.0000*	-0.5966	—	-0.3536
	最適	407024	(1)	482.7	81.6	1.45	-0.8154	-0.4297	0.0000*	—	—	0.0003*
			(2)	218.4	54.9	0.98	-0.2212	-0.1522	0.0001*	—	—	0.0001*
	ν=1.7	2cm	646655	(1)	735.1	89.9	2.00	-1.5000	-0.4843	-0.2005	—	0.0001*
				(2)	378.8	45.4	2.00	-1.5000	0.0000*	-0.5966	—	-0.1974
	最適	569434	(1)	719.7	99.7	1.77	-1.2167	-0.5329	0.0000*	—	—	0.0004*
			(2)	261.2	60.1	1.07	-0.3354	-0.2248	0.0001*	—	—	0.0001*

表-2 門型ラーメン構造の最適断面設計



照査法	板厚	V (cm ³)	部材	A (cm ²)	b (cm)	t (cm)	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆
道路橋 示方書	2cm	許容解なし										
	最適	1884370	(1)	522.6	70.5	1.81	-1.2596	-0.0140	-0.3066	0.0005*	-0.3053	—
			(2)	336.1	61.9	1.33	-0.6612	-0.6779	-0.1716	-0.0498	-0.0522	—
			(3)	1030.1	99.3	2.53	-2.1606	-0.3004	-0.3012	0.0037*	-0.2950	—
等価初期 不整を用いる方法	ν=1.0	2cm	1163740	(1)	389.4	46.7	2.00	-1.5000	-0.5820	-0.5848	—	0.0003*
				(2)	216.4	25.0	2.00	-1.5000	-0.2491	-0.7772	—	-0.7735
				(3)	560.6	68.1	2.00	-1.5000	-0.7095	-0.3945	—	0.0002*
	最適	881375	(1)	271.1	61.2	1.09	-0.3604	-0.6730	0.0000*	—	—	0.0006*
			(2)	130.6	40.0	0.80	0.0000*	-0.5012	-0.1100	—	—	-0.7507
			(3)	481.7	81.6	1.45	-0.8134	-0.7547	0.0000*	—	—	0.0002*
	ν=1.7	2cm	1447827	(1)	461.2	55.7	2.00	-1.5000	-0.6470	-0.5050	—	0.0002*
				(2)	237.4	27.7	2.00	-1.5000	-0.3152	-0.7539	—	-0.7666
				(3)	752.6	92.1	2.00	-1.5000	-0.7836	-0.1811	—	0.0001*
	最適	1185038	(1)	344.9	69.0	1.23	-0.5342	-0.7101	0.0003*	—	—	0.0002*
			(2)	146.5	45.0	0.80	0.0000*	-0.5551	0.0000*	—	—	-0.7432
			(3)	696.4	98.1	1.74	-1.1802	-0.7960	0.0002*	—	—	0.0000*

かった。等価初期不整を用いる照査法では得られたが、最適設計より当然であるが鋼材総容積は多い。道示に従う照査法による最適設計は、安全係数が1.7の等価初期不整を用いる照査法による最適設計よりも鋼材総容積はかなり多い。

同様に、両端ヒンジの門型ラーメン構造に対して最適設計を行った。その計算結果を示したのが表-2である。等価初期不整には、 $w^0/L = 0.025\lambda + 0.0023$ ($\lambda = 1/\pi \cdot \sqrt{\sigma_y/E} \cdot L/r$) を用いている⁴⁾。鋼材総容積の大小の傾向は、柱の結果と同様であるが、柱部材(1)、(3)の設計が応力に関する条件で支配されているのに対し、梁部材(2)が応力的に余裕のある設計になっている。

参考文献

- 1) 野上邦栄：ラーメン柱の有効座屈長算出法に関する一考察，構造工学論文集，No.39A，1993.3
- 2) 長谷川彰夫・西野文雄：線形化有限変位理論による構造物の設計法の提案，第44回土木学会年次講演会，1989.10
- 3) 野上邦栄：鋼ラーメン柱の実用的座屈設計法に関する一提案，土木学会論文集，No.460/I-22，1993.1
- 4) 野上邦栄・高木真・林一輝・成田信之：弾性有限変位解析に基づく骨組構造の等価初期不整，構造工学論文集，No.40A，1994.3
- 5) 野上邦栄・杉本博之・杉本治晴：鋼骨組の座屈設計法に関する一試み，第2回SGST拡大研究論文集，1993.12
- 6) 山田善一編著：構造工学シリーズ1，構造システムの最適化～理論と応用～，土木学会，1988