

等価初期不整法によるラーメン構造物の最適断面設計

OPTIMUM DESIGN OF FRAMED STRUCTURES
BY THE EQUIVALENT INITIAL IMPERFECTION METHOD

野上邦栄*・栗原康行**・成田信之***・杉本博之****

Kunie NOGAMI, Yasuyuki KURIHARA, Nobuyuki NARITA
and Hiroyuki SUGIMOTO

*工博 東京都立大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

**工修 NKK 基盤技術研究所都市工学研究部 (〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡辺町 1-1)

***工博 (社) 日本鋼構造協会専務理事 (元東京都立大学教授) (〒100-0005 東京都千代田区丸の内 3-3-1)

****工博 北海学園大学教授 工学部土木工学科 (〒064-0926 北海道札幌市中央区南 26 条西 11-1-1)

As the safety verification system of the steel structures in future, the development of the new design method which is simplified and rationalized a present design procedure is wanted. The design method which is based on the elastic finite displacement analysis was proposed but wasn't yet applied to the actual design. This paper presents a new design method which use the equivalent initial imperfection. We determine the equivalent initial deflections to 1 layer and 2 layer framed structure newly, and design these optimal sections because it changes a safety factor ν as a parameter. For the optimum design they are used GA and SLP procedures. As a result, it becomes clear that the new design method is effective.

Key Words : finite displacement theory, initial imperfection, framed structure, optimum design

1. はじめに

許容応力度設計法¹⁾は、構造物を構成する全ての部材に対して安全性を確保するように設計する方法である。我が国の道路橋はこの許容応力度設計法を用いて毎年どの国よりも数多くの橋梁を手がけており、その設計・施工技術の多くの蓄積を有する実績のある設計法である。その間、設計荷重の増加、材料強度の高強度化さらには設計技術の発達などが、その折々の基準に反映されてきた。

一方、諸外国では、荷重の大きさと荷重分布の変動性、材料の強度、構造要素、構造部材、構造システムなどの強度の変動性をそれぞれ確率分布と捉え、これらの組み合わせの重なり具合により構造物の安全性を部分安全係数で表示する限界状態設計法が検討され、導入が進められてきた。

欧州では、1979年にSIA基準²⁾が、1980年代前半にBS基準³⁾が、さらに1991年にはDIN基準⁴⁾が限界状態設計法に移行している。また、欧州統一機構EUの発足を受けて、CEN/TC250⁵⁾では1999年完成を目指して構造に関するEurocodesを作成中である。一方、米国では、建築物および橋梁の設計基準において、1986年にAISC/LRFD⁶⁾および1994年にAASHTO/LRFD⁷⁾が荷重抵抗係数法を採用している。さらに、カナダでは1983年にオンタリオ州の橋梁に関するコードが限界状態設計法となり、現在カナダ統一コードとしてCAN/LRFD基準の作成作業が進められている。

このような世界の動向に対して、我が国の道路

橋は限界状態設計法への移行に関する検討が昭和60年から平成元年にかけて行われ、現在性能照査型設計の検討が進められている。一方、鋼鉄道橋の設計基準⁸⁾は、1992年にこれまでの許容応力度設計法から限界状態設計法に改訂された。また、土木学会では1992年に「鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則」⁹⁾をまとめ、1997年にはこの原則に基づいて一般鋼構造物を対象にした「鋼構造物設計指針」¹⁰⁾が限界状態設計法に改訂された。

このように構造物の現行設計法の見直し、将来の安全性照査体系のあるべき姿として、現行設計手順の単純化および合理化を図った新しい設計法の開発研究が進められている。このような状況の中、照査荷重の基での弾性有限変位解析による設計断面力が終局限界状態の照査を満足することにより、構造物の安全を確保する「弾性有限変位解析に基づく設計法」¹¹⁾が提案された。

しかし、この方法による具体的設計の実績は無く、長谷川¹²⁾、織田¹³⁾らの研究成果のみである。したがって、ここでは1層及び2層ラーメン構造に対する等価初期たわみを新たに提案し、最適化手法を用いて解析的に安全係数 ν をパラメータにした最適断面設計を行い、本設計法の有効性を明らかにする。なお、最適化手法には逐次線形計画法(SLP)¹⁴⁾と遺伝的アルゴリズム(GA)¹⁵⁾を用い、設計変数の離散量と連続量の違いが最適解に及ぼす影響についても合わせて比較検討する。

2. 等価初期不整を用いる方法

構造物の設計法は、構造物の終局強度に大きく影響する材料非線形特性、初期たわみ、局部座屈などを如何に考慮するかが重要な問題となる。本来、厳密な終局強度を求めるには弾塑性有限変位解析を行う必要があるが、この解析は、まだ十分に精度が確認されているわけではなく、汎用プログラムの整備も不十分なこと、さらには計算量の増大による経済性の問題から実設計に用いるのは時期尚早と考えられる。

そこで、現行設計と弾塑性有限変位解析を用いる設計の中間的な設計法として弾性有限変位理論に基礎を置く設計法が提案された。この設計法は、現行設計における線形解析からの急激な変化を避け、しかも弾塑性有限変位解析と同等の評価を可能にするように構造物の初期たわみや残留応力などの複合非線形を考慮した等価初期不整を導入して弾性有限変位解析を行い、終局限界状態の照査により構造物の安全性を確保することになる。以降、この設計法を等価初期不整法と呼ぶ。

この具体的な設計手順¹¹⁾は以下になる。

- 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、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や大きさを設定する。
- 5) 照査荷重の基、弾性有限変位解析により設計断面力 S_d を算出する。
- 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を行う。ここでは、設計断面耐力 R_d には初期降伏を用いる。

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

もし、式 (1) を満足しない場合断面を変更し、

2) ステップに戻って繰り返し計算を行う。

以上の手順を流れ図で図-1 に示す。

(1) 安全係数

この設計法では、3) ステップにおいて安全係数 ν 倍した照査荷重に対して構造解析を行うことを要求している。これは、構造の2次的変形や材料の非線形性の影響により断面に生じる応力と設計荷重との間の非線形性を配慮し、構造物を構成する部材が破壊に対して一様な安全率を満足させるためである。

なお、安全係数は非線形性の影響、構造解析誤差、荷重強度のばらつきや鋼材の強度のばらつき、および製作・架設の誤差等、構造物の不確実性、構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響、経済性などを考慮して定められるものであり、構造物の施工中および耐用期間中の一定の安全性を保証する係数である。この安全係数は、著者ら

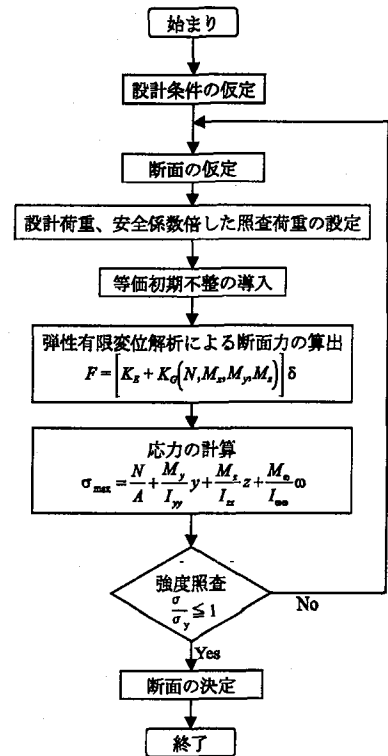


図-1 等価初期不整法の設計手順

により一義的に決定できるものではないことから、ここでは $\nu=1.0, 1.2, 1.4, 1.7$ のパラメータとして検討する^{16), 17)}。

(2) 等価初期たわみの形状と大きさ

設計技術者は、4) ステップの段階で直接等価初期不整の形状・大きさを選択して用いることになる。ここでは、等価初期不整としてたわみを採用する。等価初期たわみを設計に導入する場合、その形状と大きさをいかに与えるかが断面設計に大きく影響する。等価初期たわみの形状は、(a) 固有値解析による初期座屈モード形状、(b) 架設、製作誤差としての初期変形モード、(c) 設計荷重下での変形モード、(d) さらには崩壊時の変形モードなどを用いることができるが、ここでは (a) の座屈モードを採用する。

この場合、構造物の終局強度の精度は、等価初期たわみの大きさを如何に精度良く評価できるかに支配される。そこで、著者らはこれまでに等価初期たわみの大きさを決定する方法を開発し、はり、柱、はり-柱およびラーメン構造の具体的な大きさを提示してきた¹⁸⁾⁻²⁰⁾。特に、ここで対象とする1層および2層ラーメン構造の等価初期たわみの大きさは、固定端の場合次のように与えられる²⁰⁾。

$$\left. \begin{aligned} v_0/\ell &= 0.0275 \quad (1 \text{ 層ラーメン}) \\ v_0/\ell &= 0.0138 \quad (2 \text{ 層ラーメン}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 v_0 は頂部横変位、 ℓ はラーメン構造の柱

高である。

(3) 弾性有限変位解析

弾性有限変位解析では、4) ステップにより仮定された等価初期たわみを座標値として考慮することになる。設計断面力 S_d は、照査荷重の基、等価初期不整を考慮した弾性有限変位解析により算出するため、従来の設計荷重の組み合わせ荷重を用いて構造解析する場合よりも大きな非線形性の影響を考慮していることになる。一方で、非線形構造解析を行うため、従来のような各荷重ごとに算出した断面力の重ね合わせで、組み合わせ荷重状態の断面力を求めることはできない。

なお、一般に非線形構造解析法は、基本となる理論により幾何学的非線形性の評価方法やその程度が異なる。しかし、これまでの実績、解析精度、経済性および汎用プログラムの整備等の面を考慮すると、鋼構造物の有限変位解析には線形化有限変位解析が有効な計算法と考えられる。

3. 最適化手法

等価初期不整を用いる方法による骨組構造物を構成する部材の断面設計を行うにあたり、ここでは最小重量設計を目的とする最適設計法を適用する。このような最適化問題では、式(4)の制約条件の基、目的関数を最小化することにより定式化される。

目的関数 : $F(x) \rightarrow \min$ (3)

制約条件 : $g_j(x) \leq 0 \quad (j = 1 \sim m)$ (4)

上下限值 : $x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad (i = 1 \sim n)$ (5)

設計変数 : $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ (6)

ここに、 $F(x)$ 、 $g_j(x)$ は、それぞれ目的関数、制約条件、 x は設計変数のベクトル、 x_i^L 、 x_i^U は設計変数 i の上下限值、 m は制約条件の数、 n は設計変数の数である。

式(3)の目的関数は、次式で定義される構造全体の鋼材総容積 $V(m^3)$ とする。

$$V = \sum_{i=1}^n 4(b_i + t_i)t_i l_i \tag{7}$$

ここに、 n は部材数、 b_i 、 t_i は設計変数であり、正方形箱型断面を有する i 部材の板幅、板厚を意味する。また、 l_i は、 i 部材の部材長である。

また、式(4)の制約条件は、座屈設計の立場から以下の条件式を適切に組み合わせて導入する。

$$g_1 = -\frac{t}{0.8} + 1 \leq 0 \tag{8}$$

$$g_2 = \frac{\ell_e}{r} \frac{1}{120} - 1 \leq 0 \tag{9}$$

$$g_3 = \frac{b}{t} \frac{\sqrt{\sigma_y}}{2754} - 1 \leq 0 \tag{10}$$

$$g_4 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}(1 - \sigma_c/\sigma_{ea})} - 1 \leq 0 \tag{11}$$

$$g_5 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{cal}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{cal}(1 - \sigma_c/\sigma_{ea})} - 1 \leq 0 \tag{12}$$

$$g_6 = \left(\frac{P}{A} + \frac{M}{I}y\right) \frac{1}{\sigma_y} - 1 \leq 0 \tag{13}$$

ここに、 g_1 は最小板厚制限、 g_2 は最大細長比制限、 g_3 は最大幅厚比制限、 g_4 は安定照査式制限、 g_5 は応力度照査式制限、 g_6 は新強度照査式制限である。また、 σ_y は降伏応力度、 σ_c は作用軸圧縮応力度、 σ_b は作用曲げ圧縮応力度、 σ_{ca} は許容軸圧縮応力度、 σ_{ba} は許容曲げ圧縮応力度、 σ_{cal} は局部座屈に対する許容応力度、 σ_{ea} は許容オイラー応力度、 P 、 M は各々軸力、曲げモーメント、 ℓ_e は有効座屈長、 r は断面2次半径、 A は断面積、 I は断面2次モーメント、 y は断面の中立軸からフランジ中心までの距離である。

現行設計法により照査する場合は、式(8)~(12)の計5式を制約条件とし、等価初期不整法は、式(8)~(10)と、式(11)と式(12)の2式に代わり式(13)の強度式を合わせた計4式を制約条件とすることになる。

表-1 GA法のパラメーターとその値	
パラメータ	値
人口サイズ(1層)	100
人口サイズ(2層)	300
交叉の確率	0.6
突然変異の確率	0.005
淘汰係数	0.05
収束条件1(繰り返し最大数)	300世代
収束条件2(解が改善されない最大数)	300世代
収束条件3(最良線列の割合)	1.5
外点ペナルティ関数での制約条件のべき数	1.0
ランダムシード	133997
数値計算上のゼロ	0.0001

最適設計においては、上記の制約条件の他に、各設計変数に上下限值を設定するのが一般的である。ここでは、設計変数が連続量の場合、

$$10(\text{cm}) \leq b_i \leq 200(\text{cm}),$$
$$0.8(\text{cm}) \leq t_i \leq 5.0(\text{cm}) \quad (i=1 \sim n)$$

離散量の場合、

$$15(\text{cm}) \leq b_i \leq 109.5(\text{cm}),$$
$$0.8(\text{cm}) \leq t_i \leq 2.375(\text{cm}) \quad (i=1 \sim n)$$

のように設定した。なお、GAの場合 b_i は1.5cm刻み、 t_i は0.025cm刻みの離散量とした。最適化は、前述したようにSLP法と単純GA法を採用し、具体的に用いたGA法のパラメーター値を表-1に示す。

4. ラーメン構造の最小重量設計

4.1 解析モデル

解析に用いた構造系は、図-2 のように両端固定の1層及び2層ラーメン構造である。断面形状は、無補剛正方形箱型断面とし、荷重条件は、非対称鉛直荷重と横荷重である。1層及び2層ラーメン構造の部材分割総数は各々9、および18である。

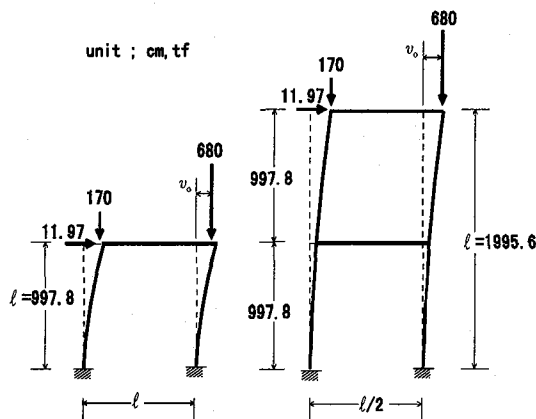


図-2 対象としたラーメン構造

ここでは、式(4)の制約条件の他に断面の制約条件として、図-3の様に(a)変断面モデル(全要素の断面形状に制限を与えないモデル)、(b)対称断面モデル(左右の柱要素、及び梁要素の断面形状を対称としたモデル)、(c)等断面モデル(左右柱要素全ての断面形状を等しくし、さらに梁要素の全て等しい断面形状としたモデル)の3種類のモデルに対して解析を行った。

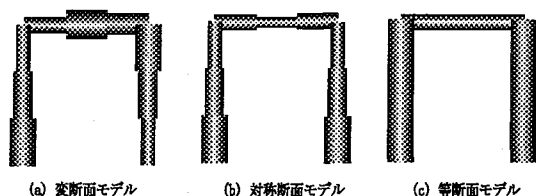


図-3 断面の制約(概念図)

等価初期不整の形状は図-2のように実線の座屈モード形状を与える。また、その最大振幅 v_0 は、式(2)の値を用いる。なお、構造全体系の固有値解析の結果、はり部材にも座屈モードが発生するが、柱部材に比べてその大きさは小さいことから無視している。

4.2 現行設計法との精度比較

まず、1層ラーメン構造に対して安全係数 ν をパラメータにして最適断面設計を行った。表-2は、変断面モデルについてSLP法により最適設計した現行設計法の結果とSLP法とGA法により最適設計した等価初期不整法の結果をまとめたものであ

る。表には、式(7)の総体積重量、各分割要素ごとに最適値(断面積(cm^2)、板幅(cm)、板厚(cm))、およびその時の制約条件式(式(8)~式(13))の値を示している。表中の部材①②③と⑦⑧⑨は各々左右柱の3要素、④⑤⑥ははり要素を示す。

同様にして、2層ラーメン構造の変断面モデルに対して最適断面設計を行った結果を示したのが表-3である。表中の部材①~⑥と⑬~⑮は各々左右柱の要素、⑦~⑨および⑩~⑫は各々上部はり、および中間はり要素である。なお、対称断面および等断面についても解析を行い、同様な結果が得られている。

以上の計算結果について、まず設計法の違いによる安全係数 ν と総体積重量(目的関数値) V の関係について明らかにする。図-4と図-5は、各々1層、2層ラーメン構造において変断面、対称断面、等断面に対する解曲線である。横軸には、安全係数 ν 、縦軸は、総体積重量を採っている。

道路橋示方書(以後、道示と呼ぶ)に基づく解析は、設計荷重の基、強度に対して1.7の安全率が考慮されている応力度・安定照査式の制約条件を満足するように設計しているため、安全係数 ν に関係しないことから図のように直線で表現できる。また、等価初期不整法に基づく解析では、安全係数 $\nu = 1.0, 1.2, 1.4, 1.7$ に対してそれぞれSLP法による結果を黒丸実線、GAによる結果を白丸点線で表している。

等価初期不整法の場合、全ての解析モデルに於いてSLP法の総体積重量は、GA法に比べて総体積重量が小さく、GA法の総体積重量の93%になった。これは、GA法が離散値を、SLP法が連続値を扱うため、GA法の方が緩い解が出てしまう事に起因する。また、同じ安全係数の基、対称断面、等断面では比較的SLP法との差が一定であるが、変断面モデルではばらつきが大きい。これは、最適設計で決定する設計変数が多い程、SLP法の方が有利になっている為である。

また、実線で表したSLP法による解析結果について比べると、1層ラーメン構造では、安全係数 $\nu = 1.4$ 以下の領域において等価初期不整法が道示に基づく設計よりも総体積重量が少なく経済的な断面になっており、2層ラーメン構造では、安全係数 $\nu = 1.7$ 以下の全領域において等価初期不整法が道示よりも経済的な断面になっている。したがって、照査荷重に用いる安全係数として1層ラーメン構造では $\nu = 1.4$ 、2層ラーメン構造で $\nu = 1.7$ を用いるならば、現行設計レベルの安全性は確保できることになる。

次に、図-6~図-11は、各最適化手法において、断面の制約(変断面、対称断面、等断面モデル)が総体積重量へ与える影響を表している。また、 $\nu = 1.7$ に於ける最適断面の概念図を載せている。

1層及び2層ラーメン構造の総体積重量の大小

表-2 現行設計法 (道示) と等価初期不整法に基づく設計 (1 層、変断面)

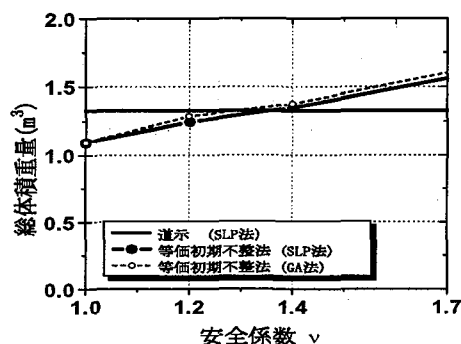
照査法 最適手法	荷重 係数 γ	V(m ³)	部材 要素	最適値			制約条件値					
				A(cm ²)	b(cm)	t(cm)	g1	g2	g3	g4	g5	g6
現行設計法 (SLP 法)	-	0.9552	①	118.7	14.1	2.56	-2.2040	-0.5982	-0.9019	0.0009	-0.1435	-
			②	109.8	13.3	2.57	-2.2080	-0.5766	-0.9081	0.0008	-0.1685	-
			③	110.3	13.3	2.56	-2.2030	-0.5780	-0.9076	0.0018	-0.1661	-
			④	63.1	10.0	1.96	-1.4550	-0.4400	-0.9094	-0.7098	-0.7448	-
			⑤	67.2	10.0	2.14	-1.6730	-0.4492	-0.9168	-0.8150	-0.8457	-
			⑥	66.4	10.0	2.10	-1.6280	-0.4473	-0.9154	-0.6969	-0.7284	-
			⑦	570.9	63.6	2.33	-1.9120	-0.8971	-0.5142	0.0006	0.0006	-
			⑧	655.0	80.1	2.10	-1.6250	-0.9174	-0.3217	0.0026	0.0026	-
			⑨	733.0	86.3	2.18	-1.7230	-0.9233	-0.2956	0.0039	0.0039	-
等価初期 不整法 (SLP 法)	1.0	0.7192	①	90.4	29.0	0.80	-0.0010	-0.6439	-0.3554	-	-	-0.0002
			②	67.2	21.7	0.80	-0.0041	-0.5288	-0.5188	-	-	0.0011
			③	108.4	34.7	0.80	-0.0007	-0.7004	-0.2301	-	-	0.6244
			④	97.2	31.1	0.80	-0.0010	-0.7875	-0.3084	-	-	0.6244
			⑤	113.0	36.1	0.80	-0.0002	-0.8161	-0.1974	-	-	0.4671
			⑥	179.1	50.6	0.90	-0.1255	-0.8682	0.0000	-	-	0.4204
			⑦	309.7	38.4	2.13	-1.6680	-0.7384	-0.6798	-	-	0.0000
			⑧	492.6	83.9	1.49	-0.8672	-0.8756	-0.0006	-	-	0.0008
			⑨	596.9	92.4	1.64	-1.0550	-0.8871	-0.0001	-	-	0.0000
	1.2	0.7726	①	63.3	10.0	1.97	-1.4660	-0.4405	-0.9098	-	-	0.0003
			②	106.0	33.9	0.80	0.0000	-0.8045	-0.2457	-	-	-0.0006
			③	92.0	29.6	0.80	0.0000	-0.7764	-0.3429	-	-	0.0023
			④	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.5303
			⑤	29.6	10.0	0.80	0.0000	-0.3753	-0.7768	-	-	0.7541
			⑥	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.5596
			⑦	457.3	80.9	1.44	-0.7987	-0.9176	0.0000	-	-	-0.0002
			⑧	639.7	95.7	1.70	-1.1270	-0.9303	0.0000	-	-	-0.0001
			⑨	752.8	103.8	1.85	-1.3070	-0.9357	0.0000	-	-	-0.0001
	1.4	0.8633	①	94.9	17.6	1.47	-0.8377	-0.6452	-0.7870	-	-	0.0002
			②	123.0	39.2	0.80	0.0000	-0.8304	-0.1277	-	-	-0.0032
			③	108.0	34.6	0.80	0.0000	-0.8081	-0.2315	-	-	0.0001
			④	29.5	10.0	0.80	0.0000	-0.3743	-0.7772	-	-	-0.5666
			⑤	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.7548
			⑥	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.5806
			⑦	518.9	86.2	1.53	-0.9159	-0.9226	0.0000	-	-	0.0000
			⑧	712.7	101.0	1.80	-1.2460	-0.9340	0.0000	-	-	0.0000
			⑨	832.0	109.1	1.94	-1.4260	-0.9389	0.0000	-	-	0.0000
	1.7	0.9991	①	135.7	36.2	0.96	-0.8377	-0.6452	-0.7870	-	-	0.0002
			②	151.9	46.0	0.84	0.0000	-0.8304	-0.1277	-	-	-0.0032
			③	132.7	42.2	0.80	0.0000	-0.8081	-0.2315	-	-	0.0001
			④	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3743	-0.7772	-	-	-0.5666
			⑤	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.7548
			⑥	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.5806
			⑦	609.9	93.4	1.66	-0.9159	-0.9226	0.0000	-	-	0.0000
			⑧	819.5	108.3	1.93	-1.2460	-0.9340	0.0000	-	-	0.0000
			⑨	946.7	116.4	2.07	-1.4260	-0.9389	0.0000	-	-	0.0000
等価初期 不整法 (GA 法)	1.0	0.7770	①	95.0	21.0	1.20	-0.5000	-0.5000	-0.6887	-	-	-0.1281
			②	68.0	18.0	1.00	-0.2500	-0.4158	-0.6798	-	-	-0.0291
			③	110.0	28.5	1.00	-0.2500	-0.6234	-0.4930	-	-	0.0437
			④	88.9	27.0	0.85	-0.0625	-0.7563	-0.4350	-	-	-0.6364
			⑤	111.1	34.5	0.83	-0.0312	-0.8079	-0.2561	-	-	-0.4644
			⑥	216.0	37.5	1.50	-0.8750	-0.8260	-0.5553	-	-	-0.4539
			⑦	327.1	37.5	2.33	-1.9062	-0.7214	-0.7131	-	-	-0.0043
			⑧	530.2	73.5	1.85	-1.3125	-0.8525	-0.2933	-	-	-0.0015
			⑨	637.0	91.5	1.78	-1.2188	-0.8809	-0.0830	-	-	-0.0372
	1.2	0.8731	①	102.4	21.0	1.30	-0.6250	-0.6961	-0.7126	-	-	-0.0233
			②	80.0	21.0	1.00	-0.2500	-0.6917	-0.6264	-	-	-0.0569
			③	131.8	37.5	0.90	-0.1250	-0.8232	-0.2588	-	-	-0.0444
			④	122.2	39.0	0.80	0.0000	-0.8295	-0.1328	-	-	-0.5889
			⑤	83.8	25.5	0.85	-0.0625	-0.7425	-0.4663	-	-	-0.6949
			⑥	138.9	37.5	0.95	-0.1875	-0.8235	-0.2978	-	-	-0.4345
			⑦	440.6	63.0	1.80	-1.2500	-0.8953	-0.3774	-	-	-0.0537
			⑧	632.2	76.5	2.13	-1.6562	-0.9137	-0.3596	-	-	-0.0007
			⑨	746.2	87.0	2.20	-1.7500	-0.9239	-0.2965	-	-	-0.0033
	1.4	0.9705	①	120.2	24.0	1.33	-0.6562	-0.5864	-0.6778	-	-	-0.0051
			②	91.3	21.0	1.15	-0.4375	-0.5271	-0.6752	-	-	-0.0035
			③	182.0	46.5	1.00	-0.2500	-0.7792	-0.1728	-	-	-0.2070
			④	122.2	39.0	0.80	0.0000	-0.8295	-0.1328	-	-	-0.5586
			⑤	124.6	37.5	0.85	-0.0625	-0.8230	-0.5065	-	-	0.4671
			⑥	218.0	55.5	1.00	-0.2500	-0.8799	0.0127	-	-	0.4674
			⑦	440.6	63.0	1.80	-1.2500	-0.8382	-0.3774	-	-	0.0398
			⑧	675.7	73.5	1.49	-1.9688	-0.8618	-0.4495	-	-	-0.0039
			⑨	781.2	90.0	2.23	-1.7813	-0.8863	-0.2805	-	-	0.0000
	1.7	1.1093	①	145.4	31.5	1.20	-0.5000	-0.6814	-0.5330	-	-	-0.0062
			②	114.0	27.0	1.10	-0.3750	-0.6293	-0.5634	-	-	-0.0470
			③	182.0	46.5	1.00	-0.2500	-0.7806	-0.1728	-	-	-0.0709
			④	145.8	45.0	0.83	-0.0312	-0.8519	-0.0297	-	-	-0.6428
			⑤	169.6	48.0	0.90	-0.1250	-0.8612	-0.0513	-	-	-0.6405
			⑥	265.9	55.5	1.23	-0.5312	-0.8803	-0.1941	-	-	-0.4854
			⑦	512.3	72.0	1.83	-1.2812	-0.8588	-0.2982	-	-	-0.0170
			⑧	757.3	85.5	2.28	-0.8672	-0.8756	-0.0006	-	-	0.0008
			⑨	880.2	99.0	2.28	-1.8437	-0.8971	-0.2259	-	-	0.0000

表-3 現行設計法(道示)と等価初期不整法に基づく設計(2層、変断面)

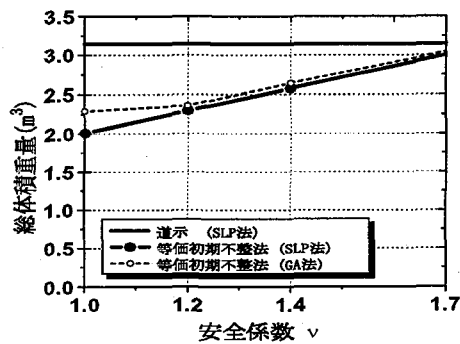
照査法 最適手法	荷重 係数 γ	V(m ³)	部材 要素	最適値			制約条件値					
				A(cm ²)	b(cm)	t(cm)	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆
現行設計法 (SLP 法)	-	2.107	①	168.8	36.7	1.19	-0.4864	-0.6204	-0.4511	0.0000	-0.1146	-
			②	151.0	38.0	1.02	-0.2777	-0.6311	-0.3392	0.0000	-0.1219	-
			③	138.9	37.1	0.96	-0.2003	-0.6223	-0.3123	-0.0004	-0.1400	-
			④	218.5	44.6	1.26	-0.5763	-0.6863	-0.3711	-0.0001	-0.0602	-
			⑤	184.8	41.4	1.15	-0.4338	-0.6622	-0.3575	-0.0198	-0.1042	-
			⑥	233.3	48.1	1.25	-0.5571	-0.7082	-0.3138	-0.0006	-0.0479	-
			⑦	172.6	46.4	0.95	-0.1862	-0.8567	-0.1299	-0.0007	-0.0007	-
			⑧	111.5	35.6	0.80	-0.0013	-0.8135	-0.2095	-0.0044	-0.0052	-
			⑨	240.0	57.8	1.06	-0.3212	-0.8847	-0.0271	0.0000	0.0000	-
			⑩	163.7	39.7	1.06	-0.3233	-0.8335	-0.3328	-0.3367	-0.3367	-
			⑪	93.2	27.0	0.89	-0.1164	-0.7567	-0.4624	-0.2356	-0.2371	-
			⑫	213.7	46.6	1.18	-0.4716	-0.8578	-0.2966	-0.4925	-0.4925	-
			⑬	568.5	74.7	1.95	-1.4420	-0.8123	-0.3200	0.0003	-0.0122	-
			⑭	580.9	74.9	1.99	-1.4910	-0.8129	-0.3313	-0.1097	-0.1216	-
			⑮	641.3	79.9	2.06	-1.5760	-0.8244	-0.3107	-0.1001	-0.1048	-
			⑯	657.6	79.4	2.13	-1.6590	-0.8236	-0.3359	-0.0685	-0.0735	-
			⑰	703.0	80.7	2.24	-1.7990	-0.8267	-0.3585	0.0001	-0.0031	-
			⑱	769.5	88.1	2.24	-1.8010	-0.8408	-0.3007	0.0005	0.0005	-
等価初期 不整法 (SLP 法)	1.0	1.330	①	251.5	60.0	1.07	-0.3342	-0.7888	0.0000	-	-	0.0003
			②	107.8	34.5	0.80	0.0000	-0.6344	-0.2334	-	-	0.0024
			③	204.0	54.0	0.96	-0.2014	-0.7655	0.0000	-	-	-0.0001
			④	172.8	49.7	0.88	-0.1055	-0.7451	0.0000	-	-	-0.0013
			⑤	63.3	20.6	0.80	0.0000	-0.3969	-0.5425	-	-	-0.0408
			⑥	176.3	50.2	0.89	-0.1167	-0.7477	0.0000	-	-	-0.0007
			⑦	126.9	40.5	0.80	0.0000	-0.8355	-0.1003	-	-	-0.0020
			⑧	92.7	29.8	0.80	0.0000	-0.7779	-0.3384	-	-	-0.3619
			⑨	174.5	50.0	0.89	-0.1112	-0.8665	0.0000	-	-	0.0011
			⑩	266.2	61.7	1.10	-0.3722	-0.8919	0.0000	-	-	-0.0008
			⑪	128.4	40.9	0.80	0.0000	-0.8374	-0.0896	-	-	-0.0028
			⑫	29.4	10.0	0.80	0.0000	-0.3731	-0.7776	-	-	-0.3261
			⑬	337.5	69.5	1.24	-0.5455	-0.8177	0.0000	-	-	-0.0002
			⑭	383.6	74.1	1.32	-0.6473	-0.8289	0.0000	-	-	0.0008
			⑮	342.5	66.9	1.31	-0.6330	-0.8108	-0.0895	-	-	0.0008
			⑯	138.8	11.9	5.00	-5.2500	-0.2697	-0.9575	-	-	0.0004
			⑰	341.2	53.3	1.65	-1.0650	-0.7653	-0.4263	-	-	-0.0005
			⑱	279.6	32.1	2.35	-1.9430	-0.6260	-0.7578	-	-	-0.0014
	1.2	1.652	①	335.5	69.1	1.23	-0.5357	-0.8165	0.0001	-	-	0.0001
			②	233.2	46.8	1.28	-0.6004	-0.7319	-0.3495	-	-	-0.0005
			③	160.3	34.8	1.19	-0.4883	-0.6422	-0.4794	-	-	-0.1602
			④	187.2	37.0	1.31	-0.6410	-0.6632	-0.4992	-	-	0.0002
			⑤	69.9	16.6	1.13	-0.4134	-0.2734	-0.7391	-	-	0.0001
			⑥	184.7	38.8	1.23	-0.5374	-0.6777	-0.4393	-	-	-0.0009
			⑦	111.5	25.5	1.14	-0.4287	-0.7456	-0.6029	-	-	-0.0878
			⑧	152.9	33.9	1.17	-0.4589	-0.8067	-0.4829	-	-	-0.0007
			⑨	263.4	50.3	1.34	-0.6802	-0.8687	-0.3338	-	-	-0.0009
			⑩	234.4	48.0	1.25	-0.5677	-0.8622	-0.3193	-	-	-0.1033
			⑪	105.1	24.0	1.15	-0.4369	-0.7304	-0.6286	-	-	-0.6801
			⑫	97.9	22.4	1.15	-0.4399	-0.7120	-0.6543	-	-	-0.4460
			⑬	417.7	75.4	1.41	-0.7641	-0.8321	-0.0495	-	-	-0.0001
			⑭	468.7	73.9	1.62	-1.0280	-0.8291	-0.1901	-	-	-0.0003
			⑮	410.6	62.7	1.68	-1.1040	-0.7996	-0.3375	-	-	-0.0002
			⑯	270.7	20.7	4.06	-4.0720	-0.4867	-0.9091	-	-	0.0002
			⑰	416.3	40.6	2.75	-2.4330	-0.7032	-0.7369	-	-	0.0003
			⑱	331.5	25.0	3.95	-3.9310	-0.5577	-0.8875	-	-	0.0008
	1.4	1.826	①	356.7	70.5	1.29	-0.6103	-0.8204	-0.0261	-	-	0.0000
			②	265.3	46.8	1.46	-0.8273	-0.7330	-0.4302	-	-	-0.0002
			③	137.9	34.8	1.02	-0.2770	-0.6395	-0.3949	-	-	-0.1017
			④	198.2	43.1	1.18	-0.4792	-0.7086	-0.3526	-	-	-0.0003
			⑤	79.8	18.8	1.13	-0.4109	-0.3542	-0.7035	-	-	-0.0006
			⑥	203.6	42.0	1.25	-0.5630	-0.7016	-0.4031	-	-	-0.0014
			⑦	116.2	28.9	1.04	-0.3033	-0.7733	-0.5072	-	-	-0.0890
			⑧	155.5	37.5	1.07	-0.3343	-0.8241	-0.3750	-	-	-0.0037
			⑨	274.4	54.2	1.30	-0.6228	-0.8776	-0.2580	-	-	-0.0004
			⑩	234.1	48.9	1.23	-0.5354	-0.8646	-0.2921	-	-	-0.1114
			⑪	102.3	25.3	1.06	-0.3192	-0.7425	-0.5737	-	-	-0.6239
			⑫	99.5	24.1	1.08	-0.3539	-0.7301	-0.6051	-	-	-0.4613
			⑬	487.7	71.3	1.75	-1.1910	-0.8236	-0.2759	-	-	0.0008
			⑭	530.1	64.2	2.14	-1.6700	-0.8056	-0.4656	-	-	-0.0002
			⑮	458.3	52.4	2.29	-1.8560	-0.7645	-0.5919	-	-	0.0000
			⑯	297.2	20.7	4.62	-4.7760	-0.4987	-0.9203	-	-	0.0005
			⑰	493.1	46.9	2.80	-2.4950	-0.7408	-0.7016	-	-	0.0001
			⑱	448.0	38.1	3.21	-3.0110	-0.6887	-0.7888	-	-	0.0001
			①	326.1	66.9	1.24	-0.5514	-0.8108	-0.0406	-	-	-0.0004
			②	199.5	37.0	1.40	-0.7523	-0.6641	-0.5308	-	-	0.0002
			③	234.0	53.5	1.12	-0.3967	-0.7639	-0.1483	-	-	-0.0010
			④	210.0	40.8	1.33	-0.6614	-0.6942	-0.4535	-	-	0.0005
			⑤	98.1	21.2	1.23	-0.5358	-0.4255	-0.6932	-	-	0.0003
			⑥	208.8	44.2	1.23	-0.5182	-0.7159	-0.3530	-	-	0.0000
			⑦	109.9	26.0	1.11	-0.3816	-0.7495	-0.5820	-	-	-0.2447
			⑧	181.3	40.4	1.15	-0.4419	-0.8368	-0.3767	-	-	-0.0007

表-3 現行設計法 (道示) と等価初期不整法に基づく設計 (続き、2 層、変断面)

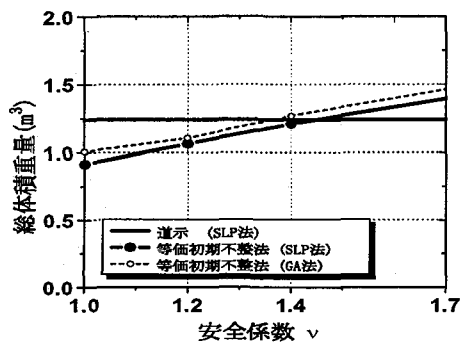
照査法 最適手法	荷重 係数 ν	V(m ³)	部材 要素	最適値			制約条件値					
				A(cm ²)	b(cm)	t(cm)	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆
等価初期 不整法 (GA 法)	1.7	2.112	⑨	297.9	57.1	1.34	-0.6699	-0.8838	-0.2400	-	-	0.0003
			⑩	284.0	63.7	1.14	-0.4193	-0.8953	-0.0024	-	-	-0.1938
			⑪	130.9	31.2	1.09	-0.3614	-0.7895	-0.4913	-	-	-0.5295
			⑫	124.6	30.0	1.08	-0.3463	-0.7817	-0.5044	-	-	-0.4481
			⑬	560.7	74.4	1.93	-1.4170	-0.8311	-0.3155	-	-	0.0008
			⑭	649.6	70.8	2.38	-1.9690	-0.8237	-0.4701	-	-	-0.0009
			⑮	570.2	48.8	3.12	-2.9000	-0.7520	-0.7217	-	-	0.0004
			⑯	418.8	29.1	4.21	-4.2650	-0.6155	-0.8772	-	-	0.0007
			⑰	576.6	46.3	3.36	-3.2010	-0.7406	-0.7552	-	-	-0.0004
			⑱	513.4	35.7	4.05	-4.0660	-0.6773	-0.8432	-	-	0.0006
	1.0	1.54976	①	226.3	46.5	1.25	-0.5625	-0.7299	-0.3383	-	-	-0.2132
			②	88.6	25.5	0.90	-0.1250	-0.5117	-0.4960	-	-	-0.1639
			③	206.0	52.5	1.00	-0.2500	-0.7589	-0.0661	-	-	-0.2651
			④	107.1	16.5	1.83	-1.2812	-0.2995	-0.8392	-	-	-0.0033
			⑤	91.4	27.0	0.88	-0.0937	-0.5375	-0.4511	-	-	-0.0112
			⑥	155.7	33.0	1.23	-0.5312	-0.6233	-0.5208	-	-	-0.0653
			⑦	63.2	18.0	0.93	-0.1562	-0.6417	-0.6538	-	-	-0.6350
			⑧	158.8	45.0	0.90	-0.1250	-0.8521	-0.1106	-	-	0.0000
			⑨	267.8	57.0	1.20	-0.5000	-0.8834	-0.1550	-	-	-0.0540
			⑩	200.0	51.0	1.00	-0.2500	-0.8695	-0.0928	-	-	-0.3142
			⑪	102.2	22.5	1.20	-0.5000	-0.7139	-0.6665	-	-	-0.9265
			⑫	122.2	39.0	0.80	0.0000	-0.8295	-0.1328	-	-	-0.4951
			⑬	363.7	67.5	1.38	-0.7188	-0.8127	-0.1267	-	-	-0.0081
			⑭	488.0	63.0	2.00	-1.5000	-0.8016	-0.4397	-	-	-0.0500
			⑮	404.0	52.5	2.00	-1.5000	-0.7635	-0.5330	-	-	-0.0108
			⑯	359.9	57.0	1.63	-1.0312	-0.7801	-0.3760	-	-	-0.0034
			⑰	481.5	78.0	1.58	-0.9688	-0.8379	-0.1190	-	-	-0.0013
			⑱	508.6	76.5	1.70	-1.1250	-0.8351	-0.1995	-	-	-0.0024
	1.2	1.76887	①	335.5	46.5	1.90	-1.3750	-0.7337	-0.5646	-	-	-0.2022
			②	199.8	42.0	1.23	-0.5312	-0.7017	-0.3901	-	-	-0.1572
			③	131.1	33.0	1.03	-0.2812	-0.6211	-0.4273	-	-	-0.0932
			④	155.2	46.5	0.85	-0.0625	-0.7276	-0.0269	-	-	-0.0096
			⑤	85.3	18.0	1.28	-0.5937	-0.3322	-0.7489	-	-	-0.1114
			⑥	212.8	33.0	1.70	-1.1250	-0.6287	-0.6547	-	-	-0.1370
			⑦	112.6	36.0	0.80	0.0000	-0.8156	-0.1995	-	-	-0.4365
			⑧	189.8	30.0	1.68	-1.0938	-0.7860	-0.6814	-	-	-0.1160
			⑨	317.4	66.0	1.23	-0.5312	-0.8990	-0.0416	-	-	-0.3562
			⑩	218.0	55.5	1.00	-0.2500	-0.8799	-0.0127	-	-	-0.3835
			⑪	103.0	33.0	0.80	0.0000	-0.7992	-0.2662	-	-	-0.7342
			⑫	131.8	42.0	0.80	0.0000	-0.8414	-0.0661	-	-	-0.5147
			⑬	421.8	67.5	1.60	-1.0000	-0.8134	-0.2495	-	-	-0.0154
			⑭	483.8	69.0	1.80	-1.2500	-0.8179	-0.3181	-	-	-0.0001
			⑮	428.2	52.5	2.13	-1.6562	-0.7640	-0.5605	-	-	-0.0026
			⑯	391.7	58.5	1.73	-1.1562	-0.7859	-0.3967	-	-	-0.0043
			⑰	530.5	76.5	1.78	-1.2188	-0.8352	-0.2333	-	-	-0.0027
			⑱	552.4	76.5	1.85	-1.3125	-0.8354	-0.2644	-	-	-0.0006
	1.4	2.06147	①	289.4	61.5	1.20	-0.5000	-0.7943	-0.0883	-	-	-0.1503
			②	157.4	25.5	1.65	-1.0625	-0.5258	-0.7251	-	-	-0.2817
			③	311.0	66.0	1.20	-0.5000	-0.8081	-0.0216	-	-	-0.3433
			④	296.6	63.0	1.20	-0.5000	-0.7991	-0.0661	-	-	-0.4386
			⑤	122.6	19.5	1.73	-1.1562	-0.3943	-0.7989	-	-	-0.1628
			⑥	393.0	63.0	1.60	-1.0000	-0.8004	-0.2996	-	-	-0.5288
			⑦	214.5	45.0	1.23	-0.5312	-0.8532	-0.3465	-	-	-0.4500
			⑧	123.5	25.5	1.28	-0.5937	-0.7467	-0.6442	-	-	-0.3911
			⑨	310.0	64.5	1.23	-0.5312	-0.8967	-0.0634	-	-	-0.5190
			⑩	353.0	70.5	1.28	-0.5937	-0.9054	-0.0164	-	-	-0.3600
			⑪	206.0	52.5	1.00	-0.2500	-0.8731	-0.0661	-	-	-0.5026
			⑫	46.8	15.0	0.83	-0.0312	-0.5716	-0.6766	-	-	-0.6387
			⑬	440.0	57.0	2.00	-1.5000	-0.7815	-0.4930	-	-	-0.0482
			⑭	561.3	70.5	2.05	-1.5625	-0.8223	-0.3882	-	-	-0.0041
			⑮	506.0	64.5	2.03	-1.5313	-0.8062	-0.4334	-	-	-0.0053
			⑯	461.1	70.5	1.68	-1.0938	-0.8213	-0.2513	-	-	-0.0038
			⑰	525.7	82.5	1.63	-1.0312	-0.8467	-0.0969	-	-	-0.0012
			⑱	533.3	61.5	2.25	-1.8125	-0.7978	-0.5138	-	-	-0.0081
	1.7	2.30919	①	303.8	64.5	1.20	-0.5000	-0.8037	-0.0439	-	-	-0.1493
			②	155.2	25.5	1.63	-1.0312	-0.5253	-0.7209	-	-	-0.1604
			③	282.2	60.0	1.20	-0.5000	-0.7893	-0.1106	-	-	-0.1542
			④	210.2	45.0	1.20	-0.5000	-0.7209	-0.3329	-	-	-0.0321
			⑤	167.3	27.0	1.65	-1.0625	-0.5505	-0.7089	-	-	-0.1367
			⑥	393.0	63.0	1.60	-1.0000	-0.8004	-0.2996	-	-	-0.4355
			⑦	179.7	49.5	0.93	-0.1562	-0.8654	-0.0481	-	-	-0.2683
			⑧	86.2	25.5	0.88	-0.0937	-0.7427	-0.4816	-	-	-0.3474
			⑨	303.8	64.5	1.20	-0.5000	-0.8967	-0.0439	-	-	-0.5165
			⑩	353.0	70.5	1.28	-0.5937	-0.9054	-0.0164	-	-	-0.3628
			⑪	393.0	63.0	1.60	-1.0000	-0.8949	-0.2996	-	-	-0.7859
			⑫	46.8	15.0	0.83	-0.0312	-0.5716	-0.6766	-	-	-0.6387
			⑬	488.0	63.0	2.00	-1.5000	-0.8016	-0.4397	-	-	-0.0412
			⑭	678.1	81.0	2.15	-1.6875	-0.8449	-0.3298	-	-	-0.0002
			⑮	611.9	93.0	1.68	-1.0938	-0.8638	-0.0123	-	-	-0.0165
			⑯	593.5	67.5	2.28	-1.8437	-0.8152	-0.4722	-	-	-0.0023
			⑰	680.0	87.0	2.00	-1.5000	-0.8551	-0.2262	-	-	-0.0068
			⑱	663.4	91.5	1.85	-1.3125	-0.8618	-0.1202	-	-	-0.0015



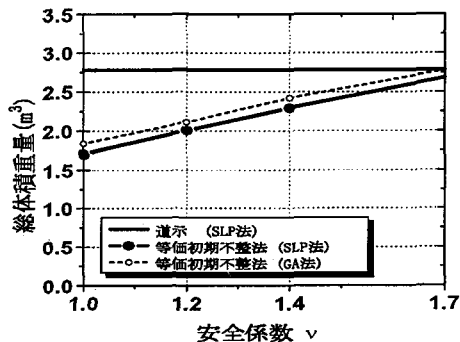
(a) 等断面モデル



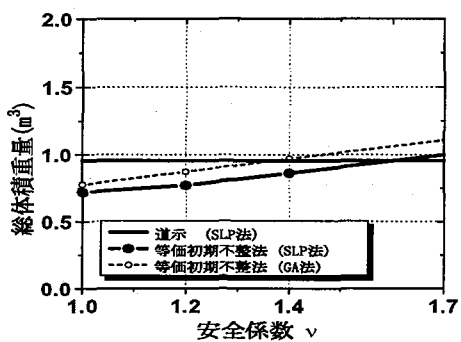
(a) 等断面モデル



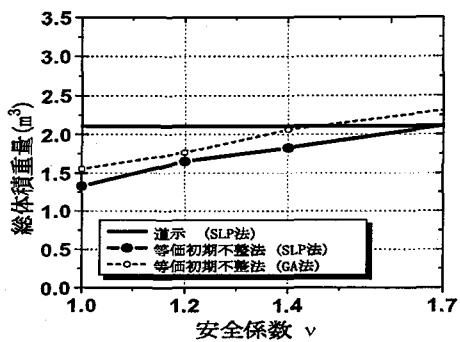
(b) 対称断面モデル



(b) 対称断面モデル



(c) 変断面モデル



(c) 変断面モデル

図-4 目的関数-安全係数関係 (1層)

図-5 目的関数-安全係数関係 (2層)

関係は、共に変断面モデル<対称断面モデル<等断面モデルの関係にあり、断面の制約条件が厳しいほど総体積重量が大きくなっている。さらに、安全係数 ν の増大とともに総体積重量も線形的に増加している。

今回の解析モデルの荷重条件は非対称鉛直荷重と横荷重であることから、右柱部材には左柱部材およびはり部材に比べてかなり大きな断面力が生じるため、断面制約のない変断面モデルでは右柱断面が極端に大断面に設計される傾向にある。しかし、実際の断面設計では構造系にとって最悪な荷重条件に対して設計することから、対称断面モデ

ルに対する断面が現実的になるものと考えられる。

(1) 支配的な制約条件

表-2と表-3には、代表例として変断面モデルの各安全係数に対する最適断面要素の制約条件式の値を示したが、同様に得られた対称断面および等断面モデルの値をも考慮して、ここでは、変断面、対称断面および等断面モデルの安全係数において最も支配的な制約条件について検討した。なお、 $g_1 \sim g_6$ の各制約条件式に対して、全部材の各制約条件式の値の総和をとり、その中で0に最も近い制約条件を支配的な制約条件と定義した。表-4は、制約断面モデルと各設計法に対する支配

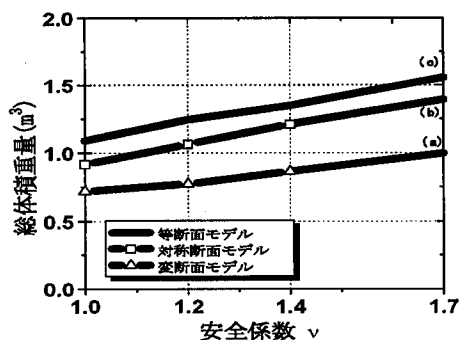


図-6-a 目的関数-安全係数関係

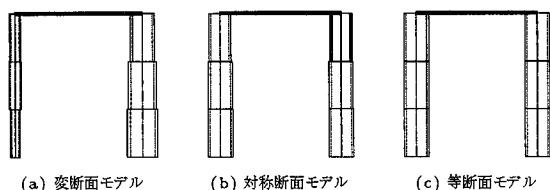


図-6-b 最適断面概念図

図-6 等価初期不整法 (1層、SLP 法)

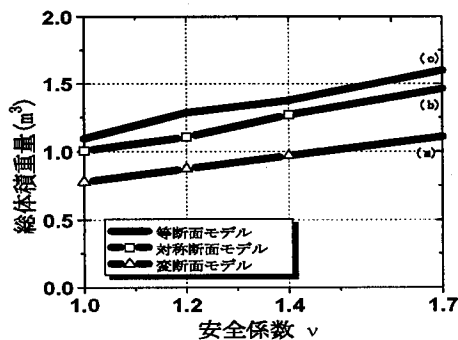


図-8-a 目的関数-安全係数関係

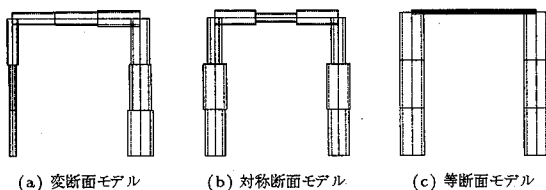


図-8-b 最適断面概念図

図-8 等価初期不整法 (1層、GA 法)

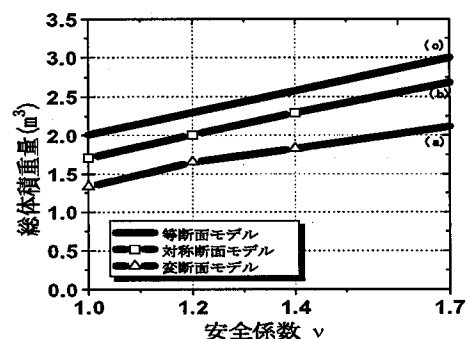


図-7-a 目的関数-安全係数関係

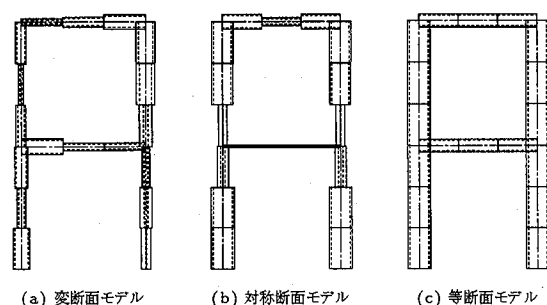


図-7-b 最適断面概念図

図-7 等価初期不整法 (2層、SLP 法)

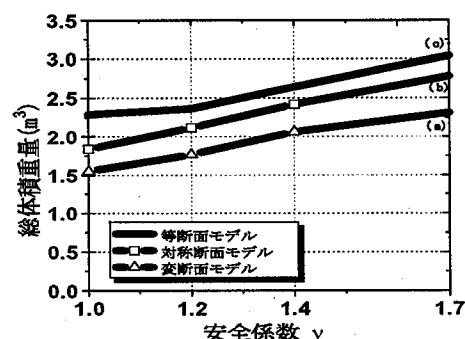


図-9-a 目的関数-安全係数関係

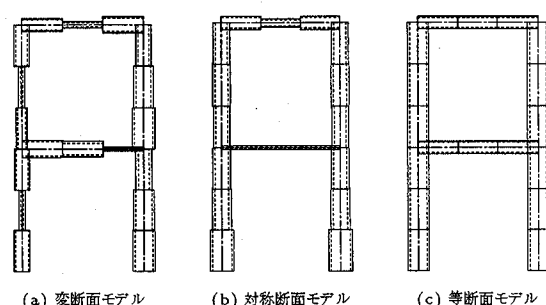


図-9-b 最適断面概念図

図-9 等価初期不整法 (2層、GA 法)

的制約条件式をまとめたものである。

道示に基づく設計では、変断面モデルの1層、2層ラーメン構造及び対称断面モデルの2層ラーメン構造において g_4 の安定照査式制限が最も支配的な条件となっており、対称断面モデルの1層

ラーメンと等断面モデルの1層、2層ラーメンにおいては g_3 の最大幅厚比制限が最も支配的な条件となっている。一方、等価初期不整法では、変断面モデルの全てと対称断面モデルのSLP法の $\nu = 1.0, 1.2$ において g_6 の新強度照査式制限が支

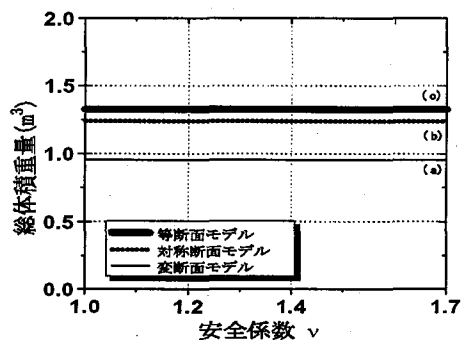


図-10-a 目的関数-安全係数関係

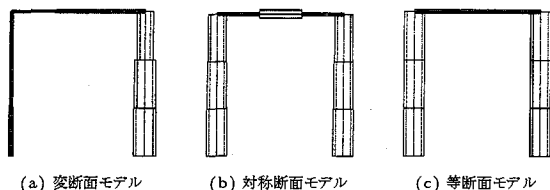


図-10-b 最適断面概念図

図-10 道示 (1層、SLP 法)

表-4 最も支配的な制約条件

断面 モデル	安全 係数 ν	道示		等価初期不整法			
		SLP 法		SLP 法		GA 法	
		1層	2層	1層	2層	1層	2層
変断面	1	g_4	g_4	g_6	g_6	g_6	g_6
	1.2			g_6	g_6	g_6	g_6
	1.4			g_6	g_6	g_6	g_6
	1.7			g_6	g_6	g_6	g_6
対称断面	1	g_3	g_4	g_3	g_6	g_3	g_3
	1.2			g_3	g_6	g_3	g_3
	1.4			g_3	g_3	g_3	g_3
	1.7			g_3	g_3	g_3	g_3
等断面	1	g_3	g_3	g_3	g_3	g_3	g_3
	1.2			g_3	g_3	g_3	g_3
	1.4			g_3	g_3	g_3	g_3
	1.7			g_3	g_3	g_3	g_3

配的な条件となり、その他は全て g_3 の最大幅厚比制限が支配的な条件となっている。

以上のように断面に制約を加えない変断面では、安定照査や新応力度照査が支配的条件と、また断面の制約が大きくなると最大幅厚比制限が支配的になっていることが明らかである。

5. 結論

本論文では、構造全体系の安全性照査体系の確立の立場から、新しい設計法として弾性有限変位解析に基づく設計法を提案し、具体的にラーメン構造を対象にした、最適断面設計を試みた。得ら

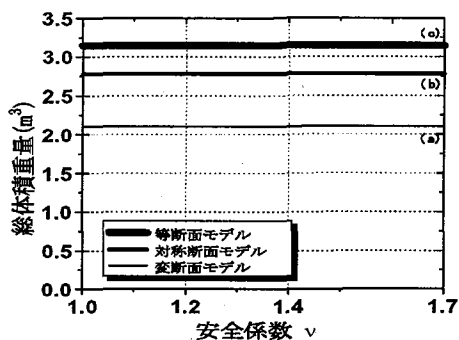


図-11-a 目的関数-安全係数関係

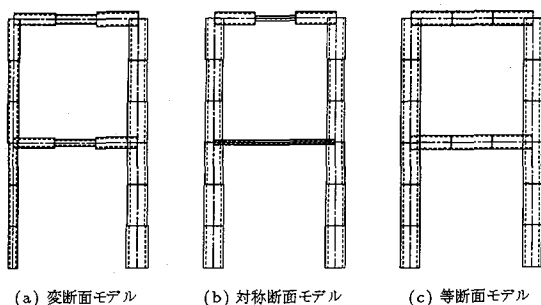


図-11-b 最適断面概念図

図-11 道示 (2層、SLP 法)

れた結果は、以下のようにまとめることが出来る。

1. 等価初期不整法による最適設計では、変断面モデルの場合、新強度照査式制限の制約条件が最も支配的な条件であるのに対し、対称断面モデルや等断面モデルでは最大幅厚比制限が最も支配的な条件となる。
2. 道示に基づく設計法による最適設計では、変断面モデルと対称断面モデルの大部分において安定照査式制限が支配的な条件となり、等断面モデルでは、最大幅厚比制限が最も支配的な条件となった。
3. 対称断面モデル及び等断面モデルのように断面に制約のある条件で最小重量設計を遂行した場合は、最大幅厚比制限に抵触するため局部座屈に対して注意する必要がある。さらに、変断面モデルに比べて総体積重量は大きい。
4. 等価初期不整法による総体積重量は、安全係数 ν の増加に比例して増加し、その割合は SLP 法、GA 法共に一定になった。また、SLP 法による総体積重量は、GA 法のそれよりも全てのケースにおいて低めの値を示し、安定した解が得られた。また、GA 法の計算時間は SLP 法に比べてかなり長時間必要とする。なお、GA 法は設計変数を離散量で扱えるため、規格寸法値が規定されている断面の選択などに有効になるものと考えられる。
5. 安全係数 $\nu = 1.0, 1.2, 1.4, 1.7$ の 4 ケースを

パラメータにして最適設計をした結果、等価初期不整法による総体積重量は、1層ラーメン構造において $\nu = 1.5$ 以上で、2層ラーメン構造の変断面モデルにおいて安全係数 $\nu = 1.7$ で道示の総体積重量値を上回ったが、それ以外ではすべて道示を下回った。したがって、ここで対象とした骨組構造に対して、1層ラーメン構造において $\nu = 1.4$ 、2層ラーメン構造で $\nu = 1.7$ の安全係数を用いることにより、等価初期不整法は現行設計レベルの安全性を確保できること、さらにより経済的な設計が可能になることを明らかにした。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 共通・鋼橋編，1990.2
- 2) SSEA : SIA161, *Steel Structures*, 1979.
- 3) BS5400 : *British Standard Institution*, 1980.
- 4) DIN18800 : *Die Deutsches Institut für Normung E.V.*, Teil 1,2, 1988.
- 5) EUROCODE 3 - PART3 : *Steel Bridges and Plated Structures*, 2nd draft, 1995.
- 6) AISC/LRFD : *Load and Resistance Factor design Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1994.
- 7) AASHTO/LRFD : *LRFD bridge design specifications*, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994.
- 8) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，1992.
- 9) 土木学会構造工学委員会鋼・コンクリート共通構造設計基準小委員会：鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則，土木学会論文集，No.450/I-20, pp.13-20, 1992.
- 10) 土木学会鋼構造委員会鋼構造物設計指針小委員会：鋼構造物設計指針 -Part A : 一般構造物-，土木学会，1997.
- 11) 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、土木学会第 44 回年学術講演会講演概要集，pp.108-109, 1989.10
- 12) 長谷川彰夫・堀井秀之・藤野陽三：固有値解析に基づく有効座屈長を用いた骨組構造物の設計の精度と実務に対する応用、文部省科学研究費補助金研究成果報告書，1988.3
- 13) 織田博孝・宇佐美勉：弾性 2 次解析法による変断面骨組の設計法，土木学会論文集，No.489/I-27, pp.129-138, 1994.4
- 14) 土木学会構造工学委員会構造物最適性研究小委員会：構造システム最適化～理論と応用～；土木学会，1988.
- 15) 土木学会構造工学委員会 AL 技術の構造システム最適化への応用に関する研究小委員会：新しい構造システム最適化手法；土木学会，1998.
- 16) 栗原康行・野上邦栄・成田信之・杉本博之：一層ラーメンの終局強度最適断面設計，土木学会第 52 回年次学術講演会，I-A, pp.328-329, 1997.9
- 17) 栗原康行・野上邦栄・成田信之・杉本博之：ラーメン構造部材断面設計への等価初期不整法の適用，土木学会第 53 回年次学術講演会，I-A, pp.490-491, 1998.10
- 18) 野上邦栄・林 一輝・高木 真・成田信之：弾性有限変位解析に基づく設計における骨組構造の等価初期不整，土木学会 構造工学論文集，Vol.40A, pp.263-274, 1994.3
- 19) 野上邦栄・成田信之：はり - 柱の等価初期たわみに及ぼす荷重パラメータの影響，構造工学論文集，Vol.41A, pp.171-178, 1995.3
- 20) 伊藤博昭・野上邦栄・成田信之：ラーメン構造物における荷重および構造パラメータを考慮した等価初期たわみ，土木学会第 52 回年次学術講演会，I-A, pp.228-229, 1997.9

(1998 年 9 月 18 日 受付)