

(24) 移動荷重下の連続桁の一簡易最適化

* 田中英次, ** 長谷川彰夫, *** 後藤芳顕, 松浦 聖

1. まえがき

構造物の断面配分の最適化を行う場合、それに伴う構造解析の繰り返し計算時間の大部分を占める。移動荷重を受ける構造物では、構造解析において影響線を用いるのが厳密であるが、これによると計算は非常に繁雑となり、その結果、最適な断面配分の決定は極めて困難となる。従って、実用的な最適設計を行うためには、構造解析および、その繰り返しにおいて簡略化をはかる必要がある。

従来行なわれている最適設計において、移動荷重を厳密に考慮したものはほとんどなく、多くは固定荷重によるものであるが、その設定の根拠、ならびにその結果として得られた解の移動荷重に対する妥当性については、何ら明らかにされていないのが現状である。

本研究では、対象構造として、橋梁で多用される等径間連続桁を選び、その力学的特性を考慮した簡易最適化手法を提案し、数値計算により、その妥当性および計算効率について考察する。

なお、最適化手法としては、最大荷重設計法を用いる。

2. 最大荷重設計の適用¹⁾

図1に示す等径間連続桁を計算の対象とする。ここに A_i は断面積変数である。荷重としては、等分布荷重 q を影響線計算で断面力を最大とするように載荷した場合と、ある特定の位置に固定荷重として載荷した場合を考える。

最大荷重設計による骨組構造の最適化は、体積一定の条件より断面積変数を1変数消去でき、最終的に、

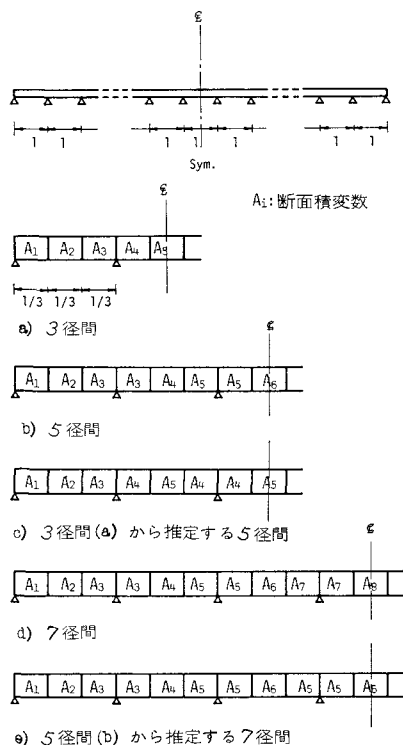
$$\bar{P}_{\max} = \max_{\bar{A}_i} \{ \min_j \bar{P}_j(Q_j, \bar{A}_i) \} \quad (i=1 \sim m, j=1 \sim n) \quad (1)$$

と表現することができる。ここで、 $\bar{P}_{\max} = q_{\max} / \sigma_y l$, $q_{\max}$ は最大等分布荷重, σ_y は降伏応力, l は基準長でこの場合支間長, $\bar{A}_i = A_i / l^2$, i は独立断面積変数の添字, j は考慮する設計項目を示す。 Q_j は荷重の載荷状態を表す荷重比ベクトルで設計項目 j に対応して決まる。 $\bar{P}_j$ は、

$$\bar{P}_j \equiv \bar{C}_j / \bar{S}_j \quad (2)$$

で定義される設計項目 j の無次元化状態能力関数である。

桁構造の最適化では、曲げ応力、せん断応力、たわみが設計項目となる。規定関数 $\bar{C}_j$ は道路橋示方書に基づき、安全率を1.7として、具体的に次のように表される。曲げ応力の規定関数 $\bar{C}_b$ は、横座屈を考慮して、



$$\bar{C}_b = \begin{cases} \frac{\sigma_y}{1.7} & (0 < \lambda_b < 0.2) \\ \frac{\sigma_y}{1.7} \{1 - 0.412(\lambda_b - 0.2)\} & (0.2 \leq \lambda_b < \sqrt{2}) \\ \frac{\sigma_y}{1.7} \frac{1}{\lambda_b^2} & (\lambda_b \geq \sqrt{2}) \end{cases} \quad (3)$$

とする。ここで、

$$\lambda_b = \frac{2}{\pi} \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_{cf}}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{z_b}{b} \quad (4)$$

であり、固定点間距離は、 $l_b = l / 3$ とする。せん断応力の規定関数 $\bar{C}_t$ は、ミゼスの降伏条件に従って、

$$\bar{C}_t = \frac{1}{1.7} \frac{\tau_y}{\sigma_y} = \frac{1}{1.7} \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

とする。たわみの規定関数 $\bar{C}_\delta$ は、

$$\bar{C}_\delta = \frac{\sigma_{all}}{l} = \frac{1}{500} \quad (6)$$

を用いる。構造解析関数 $\bar{S}_j$ は、単位荷重系 ($\bar{P} = 1$) のもとで応力や変位などの構造応答を表し、構造解析の結果として求まる。具体的には、文献(2)に掲げた定義式を用いる。

なお、ここでは文献(2)と同様に断面最適特性を活用して部材断面形状を仮定する。部材断面を鋼種SS41 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) の2軸対称I型断面とすれば、最適係数は文献(4)の結果、 $A_w/A_{cf} = 2.15$, $h/\sqrt{A_{cf}} = 18$, $h/b = 4.05$ より、

$$\alpha = 0.280, \beta = 0.493, \gamma = 0.015, \xi = 1.236, \eta = 0.518 \quad (7)$$

となる。また、本研究の計算においては、各部材端での曲げ応力、せん断応力、たわみおよび、各部材中央での曲げ応力を、状態能力関数にとる。

3. 簡易最適化手法

簡易最適化手法として、2つの手法を提案する。

第1の手法は、影響線により得られる最大断面力と近似的な値を、複数の固定荷重パターンの組み合わせにより得ることで、構造解析の簡略化をはかるものである。以下“固定荷重による簡易法”と呼ぶ。この手法によれば、固定荷重パターンの個数に応じてかなり高い近似度を得ることが期待できる。しかし、多くの固定荷重パターンを組み合わせることは簡略化の意味を持たないので、いかに少ないパターンにより高い近似度を得るかということが問題となる。さらに、多径間の場合には構造解析の計算量自体が問題となり、この手法の適用には径間数に限界がある。従って、これ以上に簡略化を進めて第2の手法を考える。

第2の手法は、多径間の最適値を、直接的な最適化計算を行わずに、構造形態として基本的なより少径間の最適値を利用して推定するものである。以下“基本構造による簡易法”と呼ぶ。連続桁の場合、径間数の増加に伴い最大断面力の収束が予測されるため、ある径間数以上の連続桁に対してこの手法は有用であると考えられる。

(1) 固定荷重による簡易法

固定荷重パターンの選定にあたって、最適設計での支配断面について考える。支配断面となるのは各部材中で最も大きな断面力が発生する断面であり、このような支配断面での断面力を、正確に表すような固定荷重パターンを選定すれば、厳密な最適設計が可能となる。しかし、各部材の支配断面は最適化以前には未知であるので、本簡易法では、構造全体で各断面力の比較的大きな値が発生する位置が、部材の支

配断面にはほぼ等しいという事実に注目し、これらの断面に最大の断面力が発生するように近似的な固定荷重パターンを設定する。

断面力特性の概略を把握するために、等分布移動荷重を受ける等断面の連続桁を考える。ここでは、簡単のため等断面連続桁を対象とするが、変断面の連続桁の場合も、通常範囲では断面力特性にほとんど差がなく、これをもとに一般の固定荷重を設定しても実用上問題はないと考えられる。この連続桁の最大曲げモーメント図、最大せん断力図から、比較的大きな断面力の発生位置として、支承上の曲げモーメント、せん断力、および支間中央での曲げモーメントに着目する。そして、固定荷重としては、影響線形状からそれぞれに最も不利な等分布荷重として図2に示すものを設定する。なおこれらの固定荷重パターンにより各断面に生ずる断面力のうち最大のものを選択することは、影響線の面積計算により最大断面力を求めることと、ほぼ等価になる。図2をもとに、3径間（図1.a）および、5径間（図1.b）の各連続桁に対して設定した固定荷重パターンを最大断面力が生ずる位置とともに示せば、図3のようになる。

（2）基本構造による簡易法

連続桁の中央付近の支間で断面配分が一樣となると仮定すれば、それらの支間の断面配分は各支間中央について対称となる。したがって、本簡易法での基本構造は奇数径間とするのが適当である。そこで、断面力が工學上収束したと考えられる基本構造をm径間（ $m=2k-1$ ）として、その最適断面配分により、n径間（ $n>m$ ）の断面配分を推定する方法を以下に述べる。すなわち、図4に示すように、n径間の構造において、両端部のk-1支間はm径間の場合と同様にし、中央部のn-m+1支間はすべて一様にm径間での中央支間（ S_k ）の断面配分を用いるのである。この場合、2つの構造の総体積の関係は次式で示される。

$$V_n = V_m + v_k(n-m) \tag{8}$$

ここに、 V_n, V_m はn径間、m径間の総体積、 v_k は支間 S_k の体積を表す。なお、この手法では基本構造に対して最適化計算をするだけであり、n径間での許容荷重は、その構造に対する1回の影響線による構造解析のみで求められる。

固定荷重による簡易法と同様な理由で、断面力の収束性を等断面の連続桁について調べる。3径間から10径間の等断面の連続桁について、支承上および支間中央での最大曲げモーメント

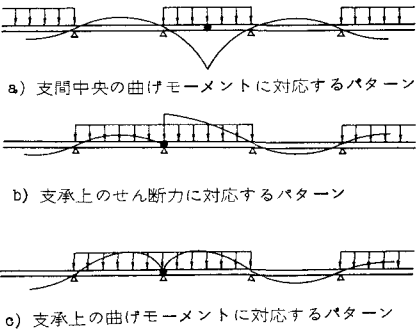


図 2 固定荷重パターン

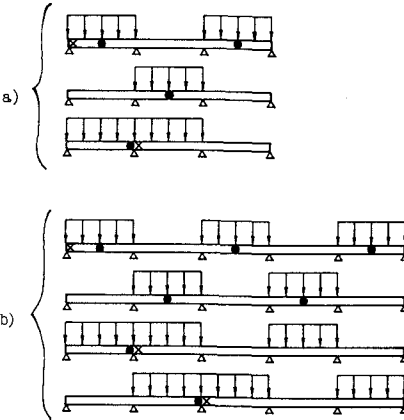
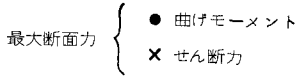


図 3 3径間、5径間の固定荷重パターン

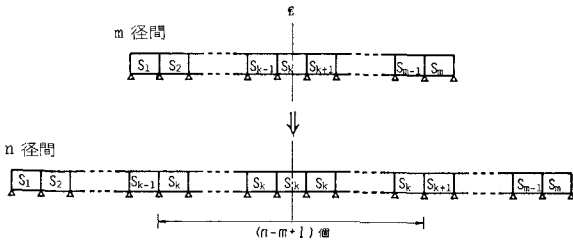


図 4 m 径間から推定するn 径間の構造

の収束性を調べた結果を図5に示す。図5.aはn径間の各支承上の最大曲げモーメントMfの中央支承上の最大曲げモーメントMfcに対する比、Mf/Mfcを表す。図5.bは支間中央の最大曲げモーメントについての同様な値、Ms/Mscを表す。これらの図から、最大曲げモーメントについては両端から3番目の部材より内側では断面力がほぼ収束すると判断できる。よって、本研究では5径間を連続桁の基本構造として計算を行う。なお、図示していないが最大せん断力についても同様の収束特性がある。

4. 解析結果とその考察

鋼種SS41の2軸対称I型断面からなる図1に示した等径間連続桁に対して簡易最適化手法を適用し、影響線による厳密な最適化計算との比較検討を行う。式(1)に与える最大化問題を数値的に探索する最適化手法として、Powellの共役方向法を用いる。収束判定条件としては、独立変数の許容相対誤差εを用い、ここではε=0.01とした。最適化の結果は、文献(1)で述べたように、次の無次元量を用いて整理する。

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\max} (= q_{\max} / \sigma_y l) & \quad \text{適用可能最大荷重} \\ R (= 1 / \Sigma \bar{A}_i \bar{L}_i) & \quad \text{構造物総体積の逆数} \end{aligned} \quad (9)$$

(1) 固定荷重による簡易法

まず、連続桁の最も基本的な構造として、図1.aに示した3径間連続桁に対し、図3.aに示した3つの固定荷重による最適化計算を実施した。これにより得られた“近似解”と影響線により得られた“厳密解”を比較する。式(4)に示した座屈パラメータ λ_b を、厳密解の各部材について表1に示す。この値は部材の形状を表す指標であり、細長い部材ほどその値は大きくなる。

近似解と厳密解との最大荷重の比較を図6に示す。横軸は構造総体積 $1/R$ 、縦軸は最大荷重 $\bar{P}_{\max}$ である。

なお、本簡易法での荷重条件は影響線によらないため移動荷重についての最も厳しい条件にはならない。すなわち、ここで得られた最大荷重は厳密な移動荷重に対して危険側の値となるため適用不可能となる。したがって、厳密解との比較の対象にはならず、最大荷重の比較を行うため、簡易法で得られた断面配分の構造に対して、影響線によ

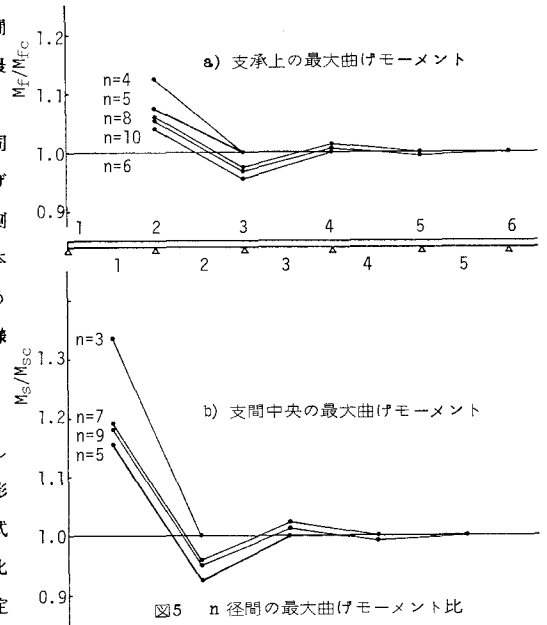


図5 n径間の最大曲げモーメント比

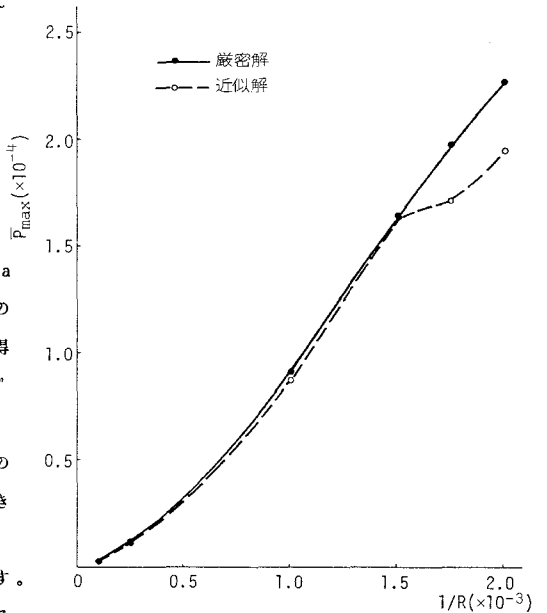


図6 3径間の最大荷重

表1 3径間の最適状態での座屈パラメータ

$1/R (\times 10^{-3})$		0.10	0.25	1.00	1.49	1.75	2.00
A ₁	λ_{b1}	1.21	0.77	0.38	0.32	0.29	0.27
A ₂	λ_{b2}	1.09	0.75	0.37	0.31	0.29	0.28
A ₃	λ_{b3}	1.27	0.69	0.34	0.27	0.25	0.23
A ₄	λ_{b4}	1.24	0.69	0.34	0.28	0.25	0.24
A ₅	λ_{b5}	1.31	0.79	0.46	0.36	0.35	0.33

る載荷状態での許容荷重を単なる構造解析により計算し、近似解での最大荷重としている。

この図で、近似解での最大荷重は $1/R = 1.5 \times 10^{-3}$ を境として、それより slender な構造では厳密解とほぼ一致しているが、massive な構造では極端に値が低下している。ここで最適状態を与える支配条件について調べると、計算した $1/R$ のほとんどの範囲で支承上の曲げ応力およびせん断応力、支間中央での曲げ応力のいずれかが支配していた。ただ、極端に小さな $1/R \lesssim 1.0 \times 10^{-4}$ のときにたわみが、一方、極端に大きな $1/R \gtrsim 1.5 \times 10^{-3}$ の範囲では A_5 部材でせん断応力が支配条件となっていた。しかし、支間中央部でのせん断力については、図 3.a のいずれの載荷状態でも考慮されておらず、このことが図 6 の massive な構造での最大荷重の低下の原因と考えられる。したがって、このような支配条件を考慮した載荷状態を追加すれば、よりよい近似解が得られると考えられる。しかし、表 1 によれば、 $1/R \gtrsim 1.5 \times 10^{-3}$ での座屈パラメータの値は $\lambda_b \leq 0.35$ の範囲にあり、構造としてはかなり massive な実用上はあまり問題にはならない領域である。また、 $1/R \leq 1.0 \times 10^{-4}$ のとき、たわみが支配条件となっているが、図 6 において最大荷重の低下は見られない。これは、たわみの影響線形状が支間中央での曲げモーメントの影響線形状と同等であることから、図 3.a に示した固定荷重が、結果的にたわみも考慮したものになったためである。

一例として、 $1/R = 1.0 \times 10^{-3}$ の場合について、断面積 A_i の近似解と厳密解との比較を表 2 に示す。これにより、断面配分においても近似解は厳密解とほぼ一致していることがわかる。さらに、 $\bar{A}_4 = \bar{A}_5$ であり、

支承上での断面変化はほとんどない。これは最適状態での支配条件が支承上の応力であり、支承の左右の最大断面力に差がないことに起因する。したがって、これらを独立変数としてとることによる最大荷重の増加の程度は小さいものと考えられるので、以後の多径間の計算では、最適状態において連続桁の中間支承の左右の部材の断面積は同じであると仮定する。(図 1.b,d)

つぎに、図 1.b に示した 5 径間連続桁に対して、図 3.b に示した 4 つの固定荷重による最適化計算を実施して、3 径間と同様に比較した。

図 7 に最大荷重の比較、表 3 に厳密解での座屈パラメータ、表 4 に $1/R = 1.0 \times 10^{-3}$ の断面積の比

表 2 3 径間の断面積
($1/R = 1.0 \times 10^{-3}$)

$\bar{A}_i (\times 10^{-4})$	近似解	厳密解
$\bar{A}_1$	3.0251	2.9691
$\bar{A}_2$	3.1638	3.1157
$\bar{A}_3$	3.8433	4.0006
$\bar{A}_4$	3.9242	3.9732
$\bar{A}_5$	2.0871	1.8828

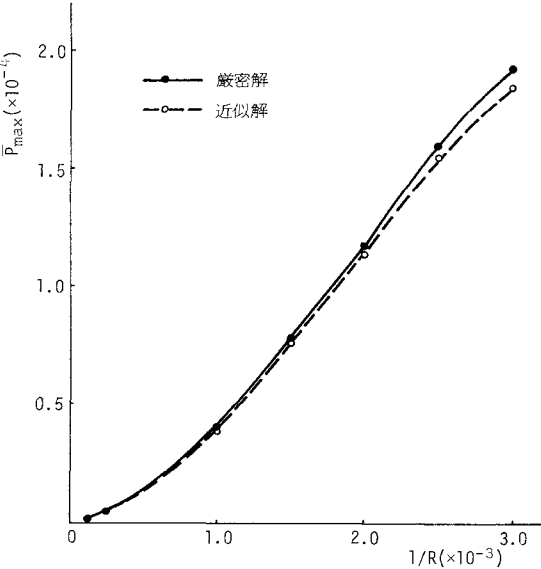


図 7 5 径間の最大荷重

表 3 5 径間の最適状態での座屈パラメータ

$1/R (\times 10^{-3})$		0.31	0.25	1.00	1.49	2.00	2.50	3.03
A_1	λ_{b1}	1.42	1.00	0.51	0.41	0.43	0.32	0.30
A_2	λ_{b2}	1.17	0.95	0.45	0.41	0.37	0.32	0.30
A_3	λ_{b3}	1.37	0.89	0.48	0.35	0.40	0.28	0.25
A_4	λ_{b4}	1.24	1.10	0.41	0.39	0.43	0.35	0.28
A_5	λ_{b5}	1.40	0.93	0.50	0.38	0.40	0.27	0.25
A_6	λ_{b6}	1.30	0.92	0.44	0.41	0.39	0.31	0.34

表 4 5 径間の断面積
($1/R = 1.0 \times 10^{-3}$)

$\bar{A}_i (\times 10^{-4})$	近似解	厳密解
$\bar{A}_1$	1.7054	1.7350
$\bar{A}_2$	2.1339	1.9570
$\bar{A}_3$	1.9424	1.8546
$\bar{A}_4$	2.6647	2.3052
$\bar{A}_5$	1.7424	1.7707
$\bar{A}_6$	2.2530	3.5044

較を示す。表 4 によれば、支間中央の A_4, A_6 部材で
 厳密解と近似解の断面積の違いがみられる。しかし、
 図 7 に示した範囲 ($0.25 \leq \lambda_b \leq 1.4$) では、3 径間
 の場合のような急激な最大荷重の低下はみられず、
 良好な近似となっていることがわかる。このことから、
 断面積変数 $\bar{A}_4, \bar{A}_6$ に対して目的関数 $\bar{P}_{\max}$ は鈍感
 であり、 A_4, A_6 部材の最大荷重に与える影響は小さく、
 その違いは大きな問題ではないと考えられる。
 また、最適状態を与える支配条件は $1/R = 1.25 \times 10^{-4}$
 でのためを除いて、すべて固定荷重の前提条件
 通り、支承上の曲げ応力、せん断応力および、支
 間中央での曲げ応力のいずれかによるものであった。

以上のことから、支間中央部材でせん断応力が
 支配条件になるような massive な連続桁でない限りは、図 2
 に示した固定荷重による簡易法によってかなりよい近似解を
 得られることがわかった。また、計算時間については厳密計
 算に比べて約 0.6 倍程度であった。

なお、この手法を実際に適用する場合の解の妥当性は、
 まず予想される支配条件を考慮した固定荷重により最適化を
 行ったのち、予想した支配条件と最適状態での支配条件との
 一致状況を調べることにより確認できる。

(2) 基本構造による簡易法

まず、図 1.e の 7 径間の断面配分を、基本構造である図
 1.b の 5 径間 ($1/R = 1.0 \times 10^{-3}$) の最適解により決定し
 た。この断面配分の構造に対して、影響線による載荷状態での許容荷重を求め、近似解の最大荷重とした。
 このとき、7 径間での総体積は $1/R = 1.38 \times 10^{-3}$ となった。比較のため、図 1.d, e の各構造について近
 似解と同じ体積 ($1/R = 1.38 \times 10^{-3}$) の場合の最適化計算を行った。この近似解と図 1.d, e の各最適解
 との断面積および最大荷重の比較を表 5 に示す。ここで、図 1.d の最適解は 7 径間の厳密解であり、断面
 配分を仮定した図 1.e の最適解は 7 径間の近似的な構造の最適解である。

2 つの最適解についてみると、断面積は各支間中央の部材に違いがみられるものの、最大荷重はほと
 んど一致していることがわかる。このことは、本簡易法の断面配分の仮定を裏づけるものである。また、
 この結果をみる限り、近似解の断面配分は同一構造 (図 1.e) の最適解よりも図 1.d の厳密解に近い値を
 示している。さらに、最大荷重においても厳密解との違いは約 3 % 程度であり、基本構造 (5 径間) が比
 較的近い構造ということもあって、良好な近似となっている。

本簡易法において、最も大きな利点はその近似度ではなく計算効率である。その比較は実質的には、
 対象とする構造と基本構造とのそれぞれにおける最適化計算の比較となる。この計算例についてみれば、
 7 径間の最適化には 5 径間のその約 4 倍の時間を要した。したがって、ある程度の誤差を受け入れる場
 合には、この簡易法は計算効率の面でかなり大きなメリットがあると思われる。

つぎに、図 1.c の 5 径間の近似解を図 1.a の 3 径間 ($1/R = 2.5 \times 10^{-4}$) の最適解により求め、図
 1.b の 5 径間の厳密解と比較した結果を表 6 に示す。この場合にも、ほぼ良好な近似となっており、本簡

表 5 5 径間 (基本構造) による 7 径間の近似値
 ($1/R = 1.38 \times 10^{-3}$)

対象構造	図 1.e 注)		図 1.d	
	近似解		最適解	
$\bar{A}_i (\times 10^{-4})$	$\bar{A}_1$	1.760	1.844	$\bar{A}_1$ 1.696
	$\bar{A}_2$	2.134	2.723	$\bar{A}_2$ 2.227
	$\bar{A}_3$	1.942	1.807	$\bar{A}_3$ 1.887
	$\bar{A}_4$	2.665	2.177	$\bar{A}_4$ 2.605
	$\bar{A}_5$	1.742	1.839	$\bar{A}_5$ 1.701
	$\bar{A}_6$	2.253	2.015	$\bar{A}_6$ 2.200
	$\bar{A}_7$	1.742	1.839	$\bar{A}_7$ 1.764
	$\bar{A}_8$	2.253	2.015	$\bar{A}_8$ 2.613
$\bar{P}_{\max} (\times 10^{-5})$		3.874	2.015	3.977

注) 7 径間の中央部の 3 支間が一様な断面配分と仮定した構造

表 6 3 径間 (基本構造) による 5 径間の近似解
 ($1/R = 4.22 \times 10^{-4}$)

対象構造	図 1.c		図 1.b	
	近似解		最適解	
$\bar{A}_i (\times 10^{-5})$	$\bar{A}_1$	7.483	$\bar{A}_1$	7.257
	$\bar{A}_2$	7.752	$\bar{A}_2$	7.411
	$\bar{A}_3$	9.348	$\bar{A}_3$	9.524
	$\bar{A}_4$	9.347	$\bar{A}_3$	9.524
	$\bar{A}_5$	7.141	$\bar{A}_4$	8.853
	$\bar{A}_4$	9.347	$\bar{A}_5$	8.522
	$\bar{A}_5$	7.141	$\bar{A}_6$	7.369
$\bar{P}_{\max} (\times 10^{-5})$		1.138		1.179

易法は対象構造に近い基本構造を用いれば、断面力の収束に関係なく良好な近似解を与えることが予想される。

この手法は、計算容量の問題で実質的に最適化が困難な大きな規模の構造に対して、連続桁のような構造の規則性を利用して近似解を得るものである。したがって、本手法の考え方は、移動荷重に限らず適用可能であり、規則的な大規模構造に対する一つの簡易最適化手法となりうる。

5. 結論

移動荷重を受ける連続桁に対する2つの簡易最適化手法を提案した。これらの手法を等分布荷重を受ける等径間連続桁に適用し、最大荷重設計法により最適化計算を実施して妥当性と計算効率を検討した。その結果から以下の結論を得た。

- 1) 最適解を与える支配条件は、実用上普通に用いられると思われる領域では支承上での曲げ応力、せん断応力および、支間中央での曲げ応力である。かなり slenderな領域ではたわみ制限の影響が、また逆にかなり massiveな領域では支間中央付近でのせん断力の影響が現れる。
- 2) 支承上での曲げモーメント、せん断力、および、支間中央での曲げモーメントに対して、最も不利な固定荷重の組み合わせによる最適解は、厳密な移動荷重による最適解とほぼ一致する。
- 3) したがって、支配条件に対応する断面力を最大とする固定荷重の組み合わせにより、厳密な移動荷重の最適解と実用上等価な解を得ることができる。(固定荷重による簡易法)
- 4) 多径間の最適解の近似値は、より少径間の基本構造の最適解を求めれば得ることができる。このとき所要計算時間は大きく短縮できる。(基本構造による簡易法)

以上の結論は、連続桁に対して得た結果であるが、他の構造や、集中荷重などの他の荷重状態に対しても、同様な結果が得られることが予想される。特に4)の結果は、対象がある規則性を持った構造である場合に得られるもので、大きな規模の構造物の最適化において、文献(2)で述べられた多段階最適化とともに効率性の上から有用であると予想される。

参考文献

- 1) 長谷川彰夫, 阪上精希, 松浦 聖: 最大荷重設計による骨組構造の最適化,
土木学会論文報告集, 第 321号, pp.29-36, 1982年 5月
- 2) 長谷川彰夫, 阪上精希, 後藤芳顕, 松浦 聖: 骨組構造の最適特性に関する一考察,
第28回構造工学シンポジウム講演集, pp.19-29, 1982年 2月
- 3) 長谷川彰夫, 岡崎光央, 松浦 聖: 最大荷重設計による柱およびはり—柱の最適特性,
第27回構造工学シンポジウム講演集, pp. 1-10, 1981年 2月
- 4) 長谷川彰夫, 小桜義隆, 松浦 聖: 最大荷重設計による2軸対称プレート・ガーダーの最適化,
土木学会論文報告集, 第 310号, pp.45-56, 1981年 6月

A Simplified Optimization of Continuous Girders under Moving Loads

Eiji Tanaka*, Akio Hasegawa**, Yoshiaki Goto***, Sei Matsuura***

This paper presents a simplified procedure to obtain the optimum configurations of steel continuous girders subject to moving loads. Rigorous optimization of structures subject to moving loads seems a very difficult task for practical applications, and at present has not been made so far. Moreover, it may not be worthwhile to undertake the exact calculations, because practice does not necessarily require the very precise optimum configuration for the design purpose in spite of too much complexed and tedious calculations involved. Thus emphasis is placed on how to simplify the effects of moving loads for the purpose of optimization without detriment to the substantial consequence due to moving loads.

It is proposed in this paper that the moving loads be transformed to a variety of fixed loads which appropriately reflect the moving effects on the continuous girders of interest. This procedure makes it very easy to perform the computations of optimization. The results of the proposed simplified method is compared with the exact analysis, and a good agreement is confirmed. Secondly, in order to apply the proposed simplified method for the continuous girders of many spans, an additional simplification is proposed to reduce the degrees of freedom for computations, introducing the fact that the intermediate spans tend to display similar structural response as the number of span increases. The results with this additional simplification is also compared with the exact analysis, and a good coincidence is given.

* Graduate Student, Nagoya Institute of Technology

** Department of Civil Engineering, University of Tokyo

*** Department of Civil Engineering, Nagoya Institute of Technology