I-212　移動荷重下の連続桁の最適化

名古屋工業大学　学生員　○田中 英次
東京大学　正員　長谷川彰夫
名古屋工業大学　正員　後藤 芳顯
名古屋高速道路公社　正員　前野 裕文

1. まえがき：移動荷重を受ける構造物の最適化を行う場合、荷重の載荷状態は影響線によって決定す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最適な断面配分の決定は極めて困難となる。このような理由から、従来行われている最適設計においては、移動荷重を厳密に考慮したものはほとんどなく、その多くは固定荷重によるものであるが、最適化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、移動荷重を受ける場合と固定荷重を受ける場合について最適化を行い、固定荷重に対する最適解の移動荷重に対する妥当性について考察する。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]：最大荷重設計による骨組構造の最適化は最終的に、次式で表現することができる。

$$\overline{P}_{max} \equiv \underset{\overline{A}_i}{\mathrm{Max}}\left\{\underset{j}{\mathrm{Min}}\ \overline{P}_j(Q_j, \overline{A}_i)\right\} \quad (i=1\sim m-1,\ j=1\sim n) \quad (1)$$

ここで、$\overline{P}_{max}=q_{max}/\sigma_y \ell$，$q_{max}$は最大等分布荷重，$\sigma_y$は降伏応力，$\ell$は基準長で、この場合は支間長，$\overline{A}_i=A_i/\ell^2$，$i$は独立断面積変数の添字，$\overline{P}_j$は状態能力関数，$j$は設計項目で、この場合は横座屈を考慮した曲げ応力，せん断応力，たわみの3つとする。

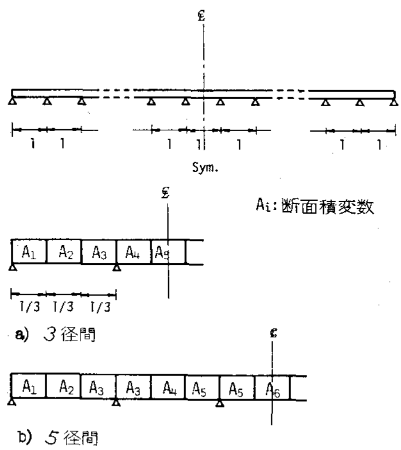

図1　設計対象の連続桁

Q_jは載荷状態を表す荷重比ベクトルで設計項目に対応して決まる。なお、部材断面形状は、全て鋼種SS41（$\sigma_y=2400$ kg/cm²）の2軸対称I型断面とし、すでに得られている最適特性[2]を活用して、最適係数[3]を$\alpha=0.280$，$\beta=0.493$，$\gamma=0.015$，$\xi=1.236$，$\eta=0.518$とした。

3. 数値計算例と考察：図1に示す3径間および5径間の等径間連続桁を設計の対象とする。設計荷重は等分布荷重のみとして、移動荷重として影響線によるものと、固定荷重として満載の場合とのそれぞれについて最適化を行う。式(1)の最大化手法としてはPowellの共役方向法を用い、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$\varepsilon=0.01$とした。

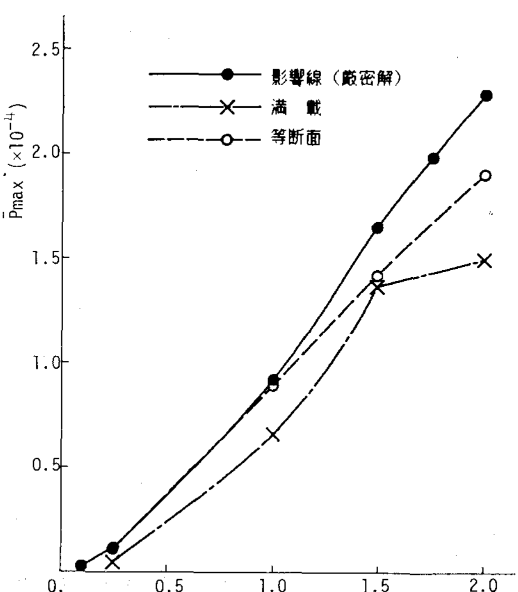

図2　3径間の最大荷重の比較

まず、満載荷重に対する最適解として得られた構造について、影響線による載荷状態での最大荷重を計算し、厳密解と比較する。また、等断面の構造の最大荷重についても同様に計算し、合わせて比較する。3径間および

5径間の最大荷重の比較を図2，図3に示す。ここで、横軸は構造物総体積，縦軸は最大荷重である。これによると、満載荷重の場合には3径間，5径間とも、ほぼ全域で一様に低い値を示していることがわかる。このことは、影響線による移動荷重がどの断面に対しても最も不利となるような荷重であるのに対して、満載荷重のような単一の固定荷重はある特定の断面に対してのみ不利となるような荷重であるという、各荷重の性質の相違に起因するものである。一方、等断面の構造については、体積が3径間で1.0×10^{-3}，5径間で2.0×10^{-3}を境として、それよりslenderな範囲では厳密解とよく一致して、それよりmassiveになると徐々に値が低下していることがわかる。ここで、厳密解と一致している範囲では、3径間，5径間とも厳密解の最適状態において全部材が曲げ応力で支配されていた。

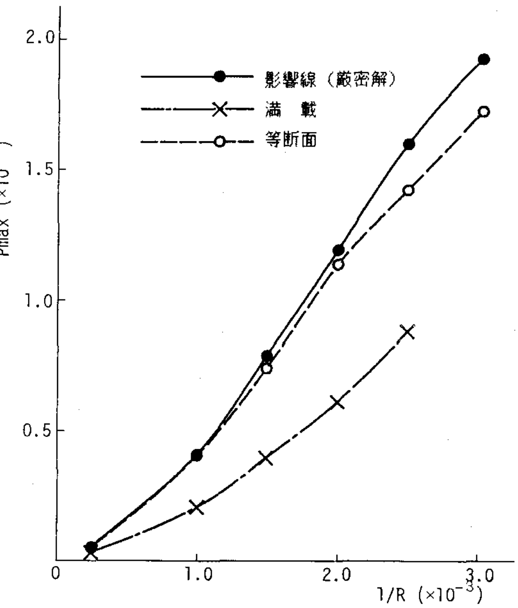

図3　5径間の最大荷重の比較

つぎに、断面配分の比較の一例として、3径間の体積が1.0×10^{-3}の場合を表1に、5径間の2.0×10^{-3}の場合を表2に示す。ここで、3径間，5径間とも満載荷重の場合は支間中央部材が極端に細い、いくらか片寄った配分となっていることがわかる。これは、最大荷重の結果と同様に、荷重の性質の違いによるものである。また、等断面の構造と比較してみると、5径間の場合は等断面の構造の方が厳密解に近いものとなっており、3径間の場合には逆に、A_5部材を除けば満載荷重の解の方が厳密解に近い構造を示している。

表1　3径間の断面配分の比較　$(1/R=1.0\times10^{-3})$

$\bar{A}_i(\times10^{-4})$	影響線	満載	等断面
$\bar{A}_1$	2.9691	2.9725	3.3333
$\bar{A}_2$	3.1157	2.9871	3.3333
$\bar{A}_3$	4.0006	4.2879	3.3333
$\bar{A}_4$	3.9732	4.1753	3.3333
$\bar{A}_5$	1.8828	1.1546	3.3333

上述の最大荷重および断面配分の比較では、3径間の場合に相反する結果を示している。しかし、近似解において重要なことは、断面配分の類似性ではなく、適用可能な荷重がどの程度厳密解に近いかということである。したがって、3径間の場合にも、満載荷重の解と等断面では、最大荷重がより近い値を示している等断面の構造の方が、移動荷重に対してより妥当な解であると判断できる。ここで注意すべきことは、移動荷重に対する最適化の結果が等断面になるということではなく、等断面の構造が厳密解と同程度の荷重に耐え得るということである。

表2　5径間の断面配分の比較　$(1/R=2.0\times10^{-3})$

$\bar{A}_i(\times10^{-4})$	影響線	満載	等断面
$\bar{A}_1$	3.5351	3.5053	4.0000
$\bar{A}_2$	3.9796	3.8434	4.0000
$\bar{A}_3$	4.3702	5.2727	4.0000
$\bar{A}_4$	3.6466	1.5437	4.0000
$\bar{A}_5$	4.2890	4.9239	4.0000
$\bar{A}_6$	3.0406	1.4287	4.0000

4. 結論: 数値計算結果から、等分布荷重を受ける等径間連続桁について、以下の結論を得た。
満載荷重のような単一の固定荷重に対する最適解は片寄った断面配分になりやすく、移動荷重に対しては妥当な解とはなりにくい。また、全部材が曲げ応力で支配されるような比較的slenderな範囲では、等断面の構造が移動荷重に対して十分妥当な解となり、事実上、断面配分の最適化は必要なく、断面形状の最適化のみでよい。

〈参考文献〉 1)長谷川，阪上，松浦: 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
2)長谷川，阪上，後藤，松浦: 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
3)長谷川，岡崎，松浦: 最大荷重設計による柱およびはり一柱の最適特性，第27回構造工学シンポジウム講演集