

移動荷重を受ける連続桁の最適特性

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
 名古屋工業大学 正員 松浦 聖

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つ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複雑となり最適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では、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の最適特性を比較し、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。

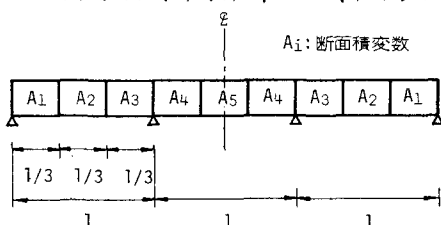


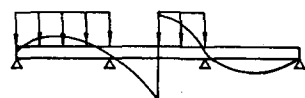
図1 設計対象の3径間連続ゲタ

2. 最大荷重設計の適用: 最大荷重設計による骨組構造の最適化は最終的に、

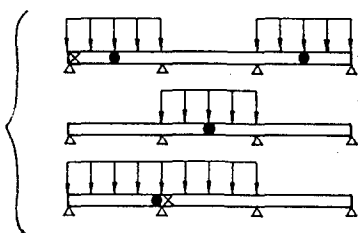
$$\bar{P}_{\max} = \max_{A_i} \left\{ \min_j \bar{P}_j(Q_j, A_i) \right\} \quad (i=1 \sim m-1, j=1 \sim n) \quad (1)$$

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は支間長、 $A_i = A_i/l^2$ 、 i は独立断面積変数の添字、 $\bar{P}_j$ 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、たわみとする。 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 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) の2軸対称工型断面とし、すでに得られている最適特性を活用して、最適係数を $\alpha = 0.280$, $\beta = 0.4493$, $\gamma = 0.015$, $\xi = 1.236$, $\eta = 0.518$ とした。

Case 1



Case 2



● 最大曲げモーメント × 最大せん断力

Case 3



図2 設計荷重のケース

3. 数値計算例と考察: 連続桁の最も基本的な構造として図1に示す3径間連続桁を計算の対象とする。設計荷重

は等分布荷重として図2に示す3ケースを考える。Case1は厳密な移動荷重として、影響線計算で断面力を最大とするように載荷したものである。Case2は3つの固定荷重の組み合わせであり、各断面でこれらの荷重によつて生じる断面力のうち最大のものを選ぶものである。3つの固定荷重は等断面の構造で図中に示した断面力を最大にするものである。Case3は最も単純な固定荷重としての荷重である。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。

各ケースの最適化の結果として得られた最大荷重は、設計荷重が異なるため直接比較することはできない。したがって、Case 1 を基準として Case 2, 3 の結果として得られた断面配分の構造について、Case 1 の載荷状態での許容荷重を単なる構造解析により計算し、Case 1 の最大荷重と比較する。また、比較のために等断面の構造の許容荷重についても同様に計算した。Case 1 の最大荷重と各許容荷重を図 3 に示す。横軸は構造物総体積、縦軸は最大荷重および許容荷重である。図 3 から、まず、Case 2 の許容荷重は $1/R \leq 1.5 \times 10^{-3}$ の範囲では最大荷重 (Case 1) にほぼ一致しているが、 $1/R \geq 1.5 \times 10^{-3}$ では極端に値が低下している。ここで、Case 1 の最適状態を与える支配条件について調べると、実用的なほとんどの $1/R$ の範囲で、支承上の曲げ応力または、せん断応力、支間中央の曲げ応力のいずれかが支配しているが、 $1/R \leq 1.0 \times 10^{-4}$ のときにはたわみ、また、 $1/R \geq 1.5 \times 10^{-3}$ のときには A_5 部材でせん断応力が支配条件となっている。このことから、Case 2 の荷重の設定において考慮した断面力に対応する支配条件が最適解を与える場合には許容荷重は最大荷重に一致し、

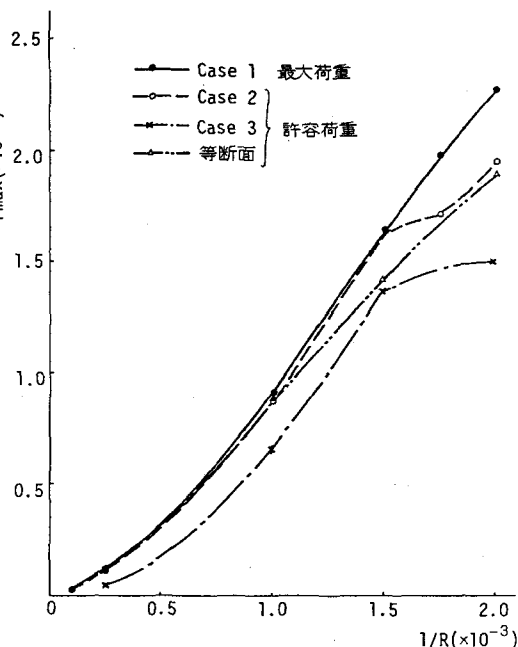


図 3 最大荷重と許容荷重の比較

表 1 各ケースの断面配分

($1/R = 1.0 \times 10^{-3}$)

$\bar{A}_i (\times 10^{-4})$	Case 1	Case 2	Case 3	等断面
$\bar{A}_1$	2.9691	3.0251	2.9725	3.3333
$\bar{A}_2$	3.1157	3.1638	2.9871	3.3333
$\bar{A}_3$	4.0006	3.8433	4.2879	3.3333
$\bar{A}_4$	3.9732	3.9242	4.1753	3.3333
$\bar{A}_5$	1.8828	2.0871	1.1546	3.3333

それ以外の支配条件を含んだ場合には図 3 のように許容荷重が低下することがわかる。つぎに、満載荷重 (Case 3) の許容荷重は $1/R \leq 1.5 \times 10^{-3}$ では最大荷重に対して一様に低く、また $1/R \geq 1.5 \times 10^{-3}$ では Case 2 と同様な低下がみられ、一般に最大荷重との差が認められる。さらに、等断面の構造の許容荷重については、全部材が曲げ応力で支配される $1/R \leq 1.0 \times 10^{-3}$ の範囲では最大荷重とほぼ一致している。

各ケースの最適状態での断面配分の一例として、 $1/R = 1.0 \times 10^{-3}$ の場合を表 1 に示す。この結果では、Case 1, 2 の断面配分は等断面に近く、Case 3 では A_5 部材が極端に細くなっていることがわかる。

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対して次の結論を得た。

支配条件に対応する断面力を最大にする固定荷重の組み合わせに対する最適解は移動荷重に対して十分妥当な解となる。しかし、単一の固定荷重に対する最適解は片寄った断面配分となり妥当な解にはなりにくい。さらに、全部材が曲げ応力で支配されるような比較的 slender な構造では、移動荷重に対する最適断面配分は等断面に近く、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十分妥当な解が得られる。

〈参考文献〉 1) 長谷川他: 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) 長谷川他: 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) 長谷川他: 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