

第 I 部門

単純鋼 I 形桁が局所的に降伏した場合の荷重分配に関する検討

立命館大学大学院 学生員 ○西川 源太郎
立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

1. はじめに

近年、鋼橋梁構造物に対しても性能照査型設計法への移行が検討されており、限界状態設計法もそのひとつとして挙げられる。その場合、終局限界として構造物の一部が降伏域に達している状態も考慮できることになり、今までの弾性解析だけでは構造物の挙動を正確に把握できない可能性もある。現在の設計法では、複数の主桁を有する橋梁に対して格子計算などを用いて、荷重分配を考慮しているが、一部の桁が局所的に降伏している場合などに適用できるかの検討も必要になると考えられる。本研究では、単純鋼 I 桁の非弾性解析を行い、横桁数を変化させた場合における桁の局所的な降伏が荷重分配に与える影響を検討する。

2. 解析プログラム概要

本研究では、鉛直方向変位、面内曲げ回転角、ねじれ回転角の 3 自由度を有する、3 次元はり要素を用いた有限要素解析プログラムを開発した。設定した断面緒量(図-1、表-1)と鋼材の応力-ひずみ曲線から求めた理論理想 $M^*-\Phi^*$ 曲線を図-2 に示す。本解析モデルは図-2 のように横桁も含めると 5 つの断面(section1-5)からなる。アスタリスク(*)は無次元化された値を示しており、 M_{e1} は section1 の弾性限界モーメント、 ϕ_y は各 section の弾性限界曲率を示す。解析では、各要素両端に働くモーメントの平均値を用いて要素が降伏したかを判定、 $M^*-\Phi^*$ 曲線よりその時点における剛性を求めている。

3. 解析モデル

解析モデルは、4 主桁単純鋼 I 桁である。支間長の 1/100 を基本要素長としてモデルを作成した。図-3 に本解析に使用した解析モデルを示す。断面区分を色で表現しており、各 section の断面緒量を表-1 に示す¹⁾。また、荷重分配横桁による支間の分割数(n)を 0,2,4,6,8 と変化させることで 5 つのモデルを作成した。分割数以外はすべて同条件とした。載荷位置は、図-3 で示すように girder3 の支間中央に集中荷重を載荷した。載荷位置・載荷荷重に関しては、全モデル同一とした。一般的に、荷重分配への影響は、荷重分配横桁の数がある一定数を超えた場合に収束することが分かっているが、これは弾性範囲の検討であり、桁が局所的に降伏した際に荷重分配への影響が変化するかどうか、本解析モデルによって検討を行う。

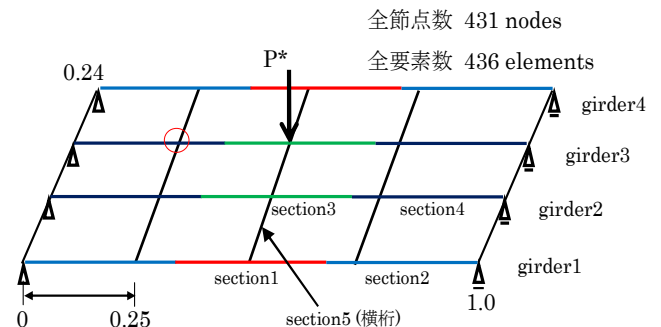


図-3 解析モデル(n=4 の例)

表-1 断面緒量

	Main Girder				Cross beam
	section1	section2	section3	section4	section5
b_u (mm)	310	310	310	310	240
t_u (mm)	22	17	21	17	12
b_l (mm)	550	550	550	550	240
t_l (mm)	32	32	29	29	12
h_w (mm)	1700	1700	1700	1700	1280
t_w (mm)	9	9	9	9	9
Flange	SM490Y	SM490Y	SM490Y	SM490Y	SS400
Web	SM490Y	SM490Y	SM490Y	SM490Y	SS400
I (mm ⁴)	1.97×10^{10}	1.78×10^{10}	1.87×10^{10}	1.71×10^{10}	3.98×10^9
J_t (mm ⁴)	7.53×10^6	6.93×10^6	5.85×10^6	5.43×10^6	1.49×10^6
E (N/mm ²)	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5
G (N/mm ²)	7.7×10^4	7.7×10^4	7.7×10^4	7.7×10^4	7.7×10^4
M_e (KN-m)	6322	5493	6086	5429	1494
M_p (KN-m)	6478	5521	6286	5521	1815
M_p/M_e	1.02	1.01	1.03	1.02	1.21

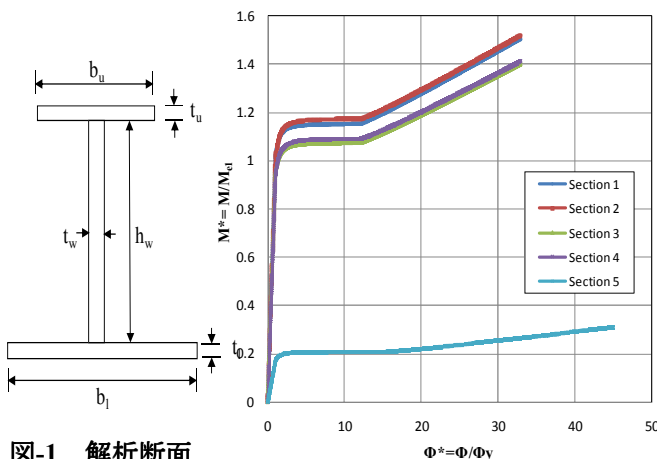


図-1 解析断面

図-2 $M^*-\Phi^*$ 曲線

4. 解析結果

各モデルに対して、桁の一部が塑性域に達するまで荷重を増加させた時の、荷重増加に伴う桁ごとの塑性化進行状況を表-2 に示す。P*は無次元化集中荷重であり、n=0 の場合

表-2 桁ごとの塑性化状況

	塑性化する荷重			
	girder1	girder2	girder3	girder4
	P*	P*	P*	P*
n=0			3.50	
n=2	Elastic	12.50	10.00	13.00
n=4	Elastic	12.75	10.75	10.75
n=6	Elastic	12.75	10.50	10.75
n=8	Elastic	12.75	10.25	10.75

P*=3.5 の時には girder3 が塑性域に達していることを示している。表より、n=4 以上では弾性限界荷重が P*=10.5 付近に収束している。また、荷重分配横桁の効果によって girder3,4 の断面力差が小さくなり、girder4 の弾性限界荷重も n=4 以上では girder3 の荷重値とほぼ同じとなっている。

このことを踏まえ、横桁による荷重分配についてモデルごとに図-4 を用いて検討する。図-4 は、縦軸に girder3 橋軸方向左から 0.25 の位置(図-2 の赤丸)でのモーメントを、横軸に分割数 n をとったグラフである。

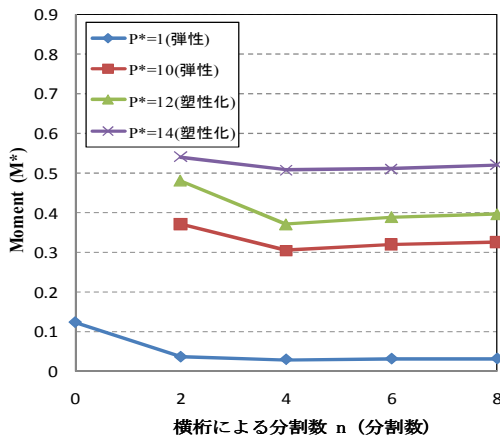


図-4 分割数と曲げモーメントの関係

弾性範囲である P*=1,10 では、一般に認められているように、横桁数の増加に伴い、モーメントが一定値に収束し、荷重分配も収束していることがわかる。また、局所的な降伏が生じる P*=12,14 においても、n=4 以上であるならば、モーメント値、すなわち荷重分配はある一定値に収束することがわかった。したがって、局所的な降伏を考慮した場合、支間を 4 分割以上するように荷重分配横桁を設ける必要があることになる。

図-5 では、本解析での最大荷重 P*=14 載荷時の橋梁全体のモーメント分布を、その大きさに応じて色分けして示している。ここでは、荷重分配効果が若干異なる境界線であった n=2 と n=4 に着目した。

る境界線であった n=2 と n=4 に着目した。モーメントの値は無次元化されているため、絶対値で 1 以上であるならば塑性域に達していることになる。図より、girder2,3,4 とともに塑性化していることがわかる。表-2 より、塑性化は girder3 から生じ、それに伴い荷重が横桁を介して girder2 に伝達されモーメントが増加、塑性化が生じている。モーメント分布を比較すると、n=2 の方が girder2 におけるモーメントの大きな範囲が広いことがわかる。これは、n=2 では横桁が支間中央にしかなく、荷重分配が局所的に行われ、n=4 では桁全長にわたって荷重が分配されたためであると考えられる。桁の局所的な降伏に伴う荷重分配を考慮した場合、局所的な断面力の増加が起こるのを防ぐためにも、支間を 4 分割以上するように荷重分配横桁を設置することが望ましいと考えられる。

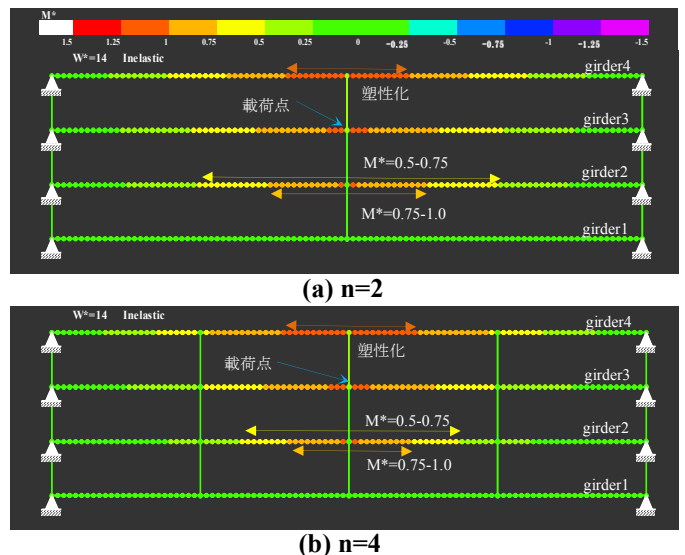


図-5 橋梁全体のモーメント分布

5. 結論

本解析結果より、単純鋼 I 桁においては、弾性範囲だけでなく塑性範囲においても、支間を 4 分割以上するように横桁を設置する必要があることがわかった。また、分割数が 4 以上であれば局所的な塑性化、荷重分配を防げると考えられる。

参考文献

- 1) 日本橋梁建設協会：合成桁の設計例と解説，2005 年 1 月。
- 2) 北本篤志：2 径間連続桁の変形硬化挙動に関する解析的研究，立命館大学理工学研究科修士論文，2007 年 3 月。