

第 I 部門

2 径間連続桁の変形硬化解析における載荷形態の影響

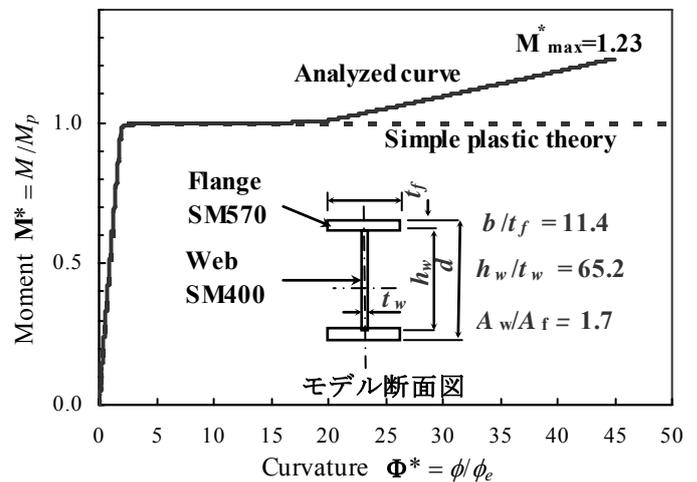
立命館大学大学院	学生員	○北本 篤志
立命館大学理工学部	正会員	野阪 克義
立命館大学理工学部	正会員	伊藤 満

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、塑性設計法の考え方を取り入れた限界状態設計法もその1つである。終局限界として構造物の崩壊を考えた時、構造物のある一点に載荷した場合の崩壊荷重に比べて、橋上を移動する繰り返し荷重による漸増塑性崩壊荷重が小さくなるという危険性が指摘されている¹⁾。このような漸増塑性崩壊に至らず、弾性限界を超過する繰り返し荷重作用下において、弾性的挙動をもたらす現象を変形硬化と言い、Meyer & Gerstle²⁾の報告によると、鋼材のひずみ硬化特性が変形硬化に与える影響は顕著であるとされている。本研究では、鋼材のひずみ硬化特性を考慮できる変形硬化解析プログラムを開発し、鋼桁のみの2径間連続桁において荷重の載荷形態が漸増塑性崩壊荷重に与える影響を検討した。

2. 解析プログラム概要

使用した解析プログラムは、2次元はり要素を用いた有限要素法によるものであり、はりの曲げ剛性に対して任意の断面特性、形状を考慮できる。荷重の載荷と除荷は漸増比例的に行い、部材の降伏による断面の剛性低下を $M-\Phi$ 曲線を用いて定義する。本研究で用いた解析モデル断面と、その断面寸法および鋼材の応力-ひずみ曲線から導きだした $M^*-\Phi^*$ 曲線を図-1 に示す。ここでアスタリスク(*)は無次元化された値を示しており、 M_p は全断面塑性モーメント、 ϕ_e は断面のどこかが最初に降伏した時の曲率である。また、 M^*_{max} は鋼材の応力-ひずみ曲線において最大ひずみを設けることにより設定される値である。各要素両端に働くモーメントの平均値を用いて、要素が降伏したかの判定および、 $M^*-\Phi^*$ 曲線と照合することにより、その時点における傾き(すなわち剛性)を求めている。変形硬化以前に、いずれかの要素におけるモーメントが M^*_{max} に達した時にもモデルが崩壊したとみなすこととした。比較のため、図中には M_p に達するまでを弾性範囲、 M_p 到達後を完全塑性と仮定した単純塑性理論による $M^*-\Phi^*$ 関係も併せて示す(点線)。

図-1 モデル断面と $M^*-\Phi^*$ 関係

3. 変形硬化解析モデルおよび載荷形態

等二径間等断面連続桁の解析モデルを図-2 に示す。要素分割はスパン長 1 に対して 1/100 を基本とし、載荷点付近および中間支点付近の各 24 要素を 1/200 とした。載荷位置は図-2 に示すとおり、最大 14 点 (D~J および K~Q) とし、左から右に向かって荷重が移動する組み合わせを 1Cycle とし繰り返し載荷を与えた。本研究で行った解析の載荷形態を表-1 に示す。Load 1~3 を 1Cycle、および Load 1~21 を 1 Cycle とした場合の 2 種類を用い、漸増塑性崩壊荷重を求めた。また、ひずみ硬化を無視した場合と比較するため、単純塑性理論による $M-\phi$ 曲線(図-1 点線)を用いた解析も行った。

Atsushi KITAMOTO, Katsuyoshi NOZAKA, and Mitsuru ITO

表-1 各変形硬化解析における1Cycleの荷重順序

Cycle	1			2			...
Load	1	2	3	1	...		
Loading Position	G	G N	N	G	...		

(a) 3Loadによる繰り返し荷重

Cycle	1																					2			...
Load	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1	...		
Loading Position	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	K	L	M	N	O	P	Q	D	...		

(b) 21Loadによる繰り返し荷重

4. 解析結果

ひずみ硬化を考慮した場合 (P_s^*)、および単純塑性理論 ($P_{s\ simple}^*$) により求められた漸増塑性崩壊荷重を表-2に示す。また、 P_u^* は、3Loadの場合ではG点、21Load

の場合ではF点において1点漸増荷重を行った塑性解析による崩壊荷重である。表中のすべての限界荷重はスパン長 L と M_p によって無次元化された値である (図-2 参照)。表より、ひずみ硬化を考慮した場合、漸増塑性崩壊荷重は単純塑性理論と比べて約 15~18%増加し、塑性解析による限界荷重と比べると約 15~17%の減少となったことが分かる。また、3Loadの場合と 21Loadの場合を比較すると P_s^* は 4%程度、 P_u^* は 2%程度減少した。

変形硬化後の断面における塑性域の拡がりを図-3に示す。ここで、断面内の黒線は降伏域、薄い黒線はひずみ硬化域の拡がりを示している。この図より、21Loadの場合では3Loadの場合に比べ、支間中央と荷重点付近で降伏域とひずみ硬化域が広い範囲に発生していることが分かる。これより、B点における残留モーメントとN点における残留たわみ量の変化 (図-4) においても、21Loadの場合では3Loadの場合に比べて、約2倍の大きさで収束する結果となっている。

表-2 漸増塑性崩壊荷重と各限界荷重の比較

Loading condition	Simple plastic theory	Strain-hardening considered	Plastic collapse load	$\frac{P_s^*}{P_{s\ simple}^*}$	$\frac{P_s^*}{P_u^*}$
	$P_{s\ simple}^*$	P_s^*	P_u^*	%	%
3 Load	5.0530	5.98	7.05	118	85
21 Load	5.0098	5.75	6.90	115	83

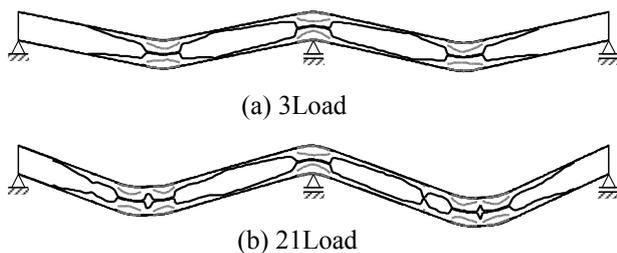


図-3 変形硬化後の塑性域の拡がり

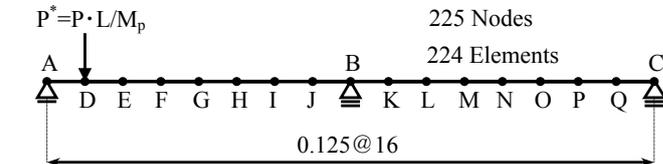


図-2 解析モデルおよび荷重荷重位置

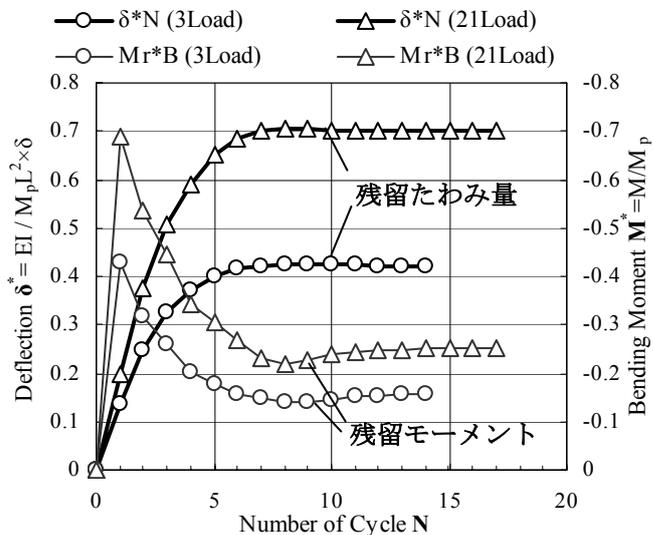


図-4 残留たわみ、残留モーメントの変化

5. おわりに

- (1) 1Cycleにおける荷重荷重点数を増やした場合、ひずみ硬化を考慮した漸増塑性崩壊荷重 P_s^* は減少する傾向にあり、本研究で扱った3Loadと21Loadにおいては4%程度となった。
- (2) 荷重荷重点数の増加による影響は限界荷重よりも、変形量に対しての方が顕著である。

参考文献 1) 福本 秀士, 小堀 為雄, 吉田 博: くり返し荷重による連続桁橋のたわみ安定性について, 土木学会論文集 第120号, pp.25-32, 1965. 2) J. D. Meyer and H. G. Kurt: Shakedown of Strain-hardening Structures, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. ST1, pp.95-110, 1972.