第 I 部門 Hybrid 桁断面における鋼材の降伏比が漸増塑性崩壊荷重に及ぼす影響

立命館大学大学院	学生員	〇北本	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いる中、終局限界として構造物の崩壊を 考えた時、橋上を移動する繰り返し荷重による漸増塑性崩壊の危険性が指摘されている<sup>1)</sup>。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 & Gerstle<sup>2)</sup>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。また、Neal <sup>3)</sup>は、鋼材料のひずみ硬化が際限なく許容されるならば、そのような構造物は、繰り返し載荷のもとで常に変形硬化 するであろうと推論している。Hybrid桁は、橋梁の主桁断面において、フランジに高強度鋼、ウェブに低強度鋼を 組み合わせることで鋼材の節約と合理化設計を図ったものである。また、現在我が国では、降伏比と一様伸びを改 善した低降伏比高張力鋼が製造可能となっている。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、I型断面Hybrid桁におけるWeb鋼材の降伏比が漸増塑性崩 壊荷重に与える影響を検討した。

### 2. Hybrid桁断面

本研究では、せん断力による局部座屈などは生じないような断 面形状を持ったHybrid桁において(図-1)、Web鋼材の降伏比を 様々なパターンで変化させて変形硬化解析を行った。表-1は本 研究に用いた基準断面の鋼材特性値であり、FlangeにSM570 材、 WebにSM400 材を仮定している。本研究では、σ-ε関係において、  $σ_{uw}$ 、 $ε_{uw}$ および、 $λ_w$ (= ε<sub>stw</sub>/ε<sub>yw</sub>)、 $K_w$ (=E/E<sub>stw</sub>)、 $ε_{stw}$ のいずれかを一 定とした3種類について、降伏比 $v_w(=\sigma_{vw}/\sigma_{uw})$ を5段階に変化 させた全 15 パターンについて解析を行った。その中で、λwを一 定として降伏比を変化させた 5 パターン(Section1~5)の $\sigma-\epsilon$ 関係 を図-2に示す。また、各Sectionの $\sigma-\epsilon$ 関係および断面寸法から 導きだしたM<sup>\*</sup>-Φ<sup>\*</sup>曲線を図-3 に示す。ここで, σはFlangeとWebの 降伏応力の比(σ<sub>yw</sub>/σ<sub>yf</sub>)、アスタリスク(\*)は無次元化された値で あることを示しており、M<sub>p</sub>は全断面塑性モーメント、Q<sub>e</sub>は断面の どこかが最初に降伏した時の曲率である。比較のため、図中には M<sub>p</sub>に達するまでを弾性、M<sub>p</sub>到達後を完全塑性と仮定した単純塑 性理論によるM\*-Φ\*関係も併せて示す(点線)。

, b ,;∓	表-1 基準断面の鋼材特性値			
Flange $b/t_f = 11.4$ Web $b/t_f = 62.5$	Hybrid	Flange	Web	
	$\sigma = \sigma_{yw} / \sigma_{yf}$	0.5		
$\rightarrow t \qquad $	$\lambda_{f,w} =  \epsilon_{stf,w}  / \epsilon_{yf,w}$	10	15	
	$1/K_{f,w} = E / E_{st f,w}$	65	45	
図-1 Hybrid 桁断面	$\upsilon_{f,w} = \sigma_{yf,w} / \sigma_{uf,w}$	0.8	0.6	

Atsushi KITAMOTO, Katsuyoshi NOZAKA, and Mitsuru ITO



Section2 ( $\sigma=0.4$ )

Section 3 ( $\sigma=0.5$ ) Section 4 ( $\sigma$ =0.6) Section 5 ( $\sigma$ =0.7)

60

80

- Simple

40

Curvature  $\Phi^* = \varphi/\varphi_{\rho}$ 図-3 各SectionにおけるM<sup>\*</sup>-Φ<sup>\*</sup>関係

0 0

20

# 3. 変形硬化解析概要

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前述のM\*-Φ\*曲線を用いて定義 した。また、載荷と除荷に伴う剛性変化の履歴曲線は等方硬化 則を仮定した。変形硬化解析における解析モデルを図-4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。一定の 荷重Pを、Load1~3を1Cycleとする荷重条件で繰り返し載荷し、 残留モーメント、残留たわみが一定値に収束すれば変形硬化と みなし、その限界荷重である漸増塑性崩壊荷重Psを求めた。この ような変形硬化解析を全ての断面について行い、Psと残留た わみ量について比較検討を行った。

## <u>4. 解析結果</u>

図-2に示した各Sectionを用いた変形硬化解析結果を表-3に示す。ここで、 $P_s^*$ は解析によって求められた漸増塑性崩 壊荷重、 $P_s^*_{sim}$ は単純塑性理論を基に求められた漸増塑性崩壊 荷重、 $\delta^*$ は変形硬化時における最大変形位置での残留たわみ 量である。また、 $\sigma$ とそれぞれの値の関係について図-5に 示す。図より、 $\sigma$ が大きくなれば、 $M^*_{max}$ は減少し、それに 伴って $P^*$ 、 $\delta^*$ は減少することが分かる。ここで、 $\sigma$ が大きく なれば $M_p$ も大きくなることを注意しておく。これは、 $M^*-\Phi^*$ 曲線により剛性低下と崩壊基準を定義した本解析の場合、漸 増塑性崩壊荷重 $P_s^* と M^*_{max}$ には比例的関係があることを示し ている。また、Section1 とSection5 を比較すると、 $M^*_{max}$ が約 10%増加することにより、 $\delta^*$ は約 300%増加する結果となっ た。 $K_w$ 、 $\epsilon_{stw}$ のそれぞれを一定として、降伏比 $v_w$ を5 段階に 変化させた 10 パターンの解析結果についても、これと同じ ような傾向が見られた。



	σ	$v_{ m w}$	$M^*_{max}$	$P_s^*$	$P^*$	δ*
Section	$\sigma_{_{yw}}$	$\sigma_{_{yw}}$	$M_{\rm max}$	$P_s \cdot L$	$P_s^*$	EI s
	$\sigma_{\scriptscriptstyle y\!f}$	$\sigma_{_{uw}}$	$M_p$	$M_p$	$\overline{P^*_{s\ sim}}$	$\overline{M_p L^2}^{O}$
1	0.3	0.36	1.30	6.28	1.24	1.28
2	0.4	0.48	1.26	6.10	1.21	0.86
3	0.5	0.60	1.23	5.98	1.18	0.65
4	0.6	0.72	1.20	5.85	1.16	0.47
5	0.7	0.84	1.18	5.79	1.15	0.40

### <u>5. おわりに</u>

本研究で得られた結論は以下の通りである

(1)Hybrid 桁における Web 鋼材降伏比を低下させても、繰り返し荷重作用下における漸増塑性崩壊荷重に及ぼす影響 は小さいと考えられる。

(2)本解析結果は、鋼材のひずみ硬化が漸増塑性崩壊荷重を決定するという Neal の見解と一致する。

<u>参考文献</u> 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. 3) B.G. Neal: Plastic Collapse and Shakedown Theorems for Structures of Strain-Hardening Material, Journal of The Aeronautical Sciences, Vol. 17, pp.297-306, 1950.