

ひずみ硬化を考慮した二径間連続梁の Shake-down 解析

日建技術コンサルタント 正会員 畑 夏樹
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

鋼橋梁構造物の塑性設計、塑性解析上の問題として、橋上を繰り返し通過する自動車荷重により引き起こされる塑性変形の増大、すなわち変動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¹⁾。変形硬化（Shake-down）は、弾性限界を超過する繰り返し荷重作用下において、塑性化を伴う不静定構造物に残留変形量の収束と、以後の同等荷重以下の荷重に対する弾性的挙動をもたらす現象である。Meyer & Kurt²⁾の研究報告によると、鋼材のひずみ硬化を考慮しない単純塑性理論に基づく解析では、実存の構造物の挙動に一致した結果は得られないと結論付けている。本研究は、フランジとウェブが異なる鋼材で構成された Hybrid 桁の変形硬化挙動を調査するとともに、鋼材のひずみ硬化特性が梁の変形硬化に及ぼす影響を定量的に評価することを目的としている。

2. 研究概要

本解析では、支間中央に集中荷重が作用する場合の等断面等二径間連続梁を対象として以下の点に関する定量的検討を行った。

- (1) 崩壊荷重 P_u と変形硬化荷重 P_s の比較による、変動繰り返し荷重が構造物の終局荷重に及ぼす影響
- (2) 単純塑性理論による解析値と本解析値の比較による、ひずみ硬化が変形硬化に及ぼす影響
- (3) 同一断面形状を条件とし、フランジに同一鋼材を用いた場合の Homogeneous 桁と Hybrid 桁の比較

そこで、図-1 に示す鋼材の理想化材料特性モデルと、鋼桁の断面形状特性を種々のパラメータとする Homogeneous 桁および Hybrid 桁の曲げモーメント 曲率関係を理論解析的に導き出し、部材断面の曲げ剛性を定義することで、ひずみ硬化を考慮できる部材特性モデルとした（図-2 参照）。

なお、解析条件は過去の鋼材引張試験データや一般的な断面形状寸法を基に、フランジに対するウェブの鋼材の降伏応力度比が 0.5 となるような Hybrid 桁を想定し、全断面 SM570 材による Homogeneous 桁およびフランジに SM570 材、ウェブに SM400 材を用いた Hybrid 桁を選定した。さらに有限要素法による増分非線形解析手法を用いた電算プログラムを作成し、塑性解析による崩壊荷重 P_u の算出および変形硬化解析による漸増塑性限界荷重（変形硬化荷重） P_s の算出を行った。

解析モデルは図-3 に示すように支間長および荷重を無次元化し、要素分割は無次元された支間長 1 に対する基本

キーワード：塑性解析 変形硬化 ひずみ硬化 Hybrid 桁

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL:077-566-1111(内線:8715) FAX:077-561-2667

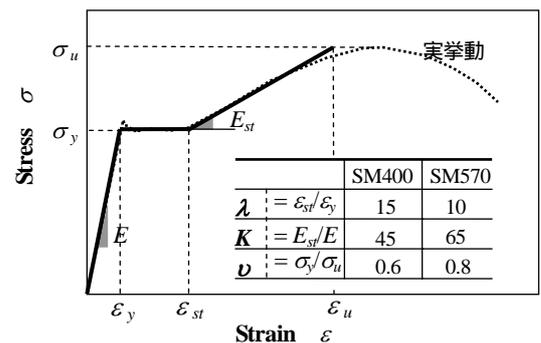


図-1 鋼材の理想化応力 ひずみ関係

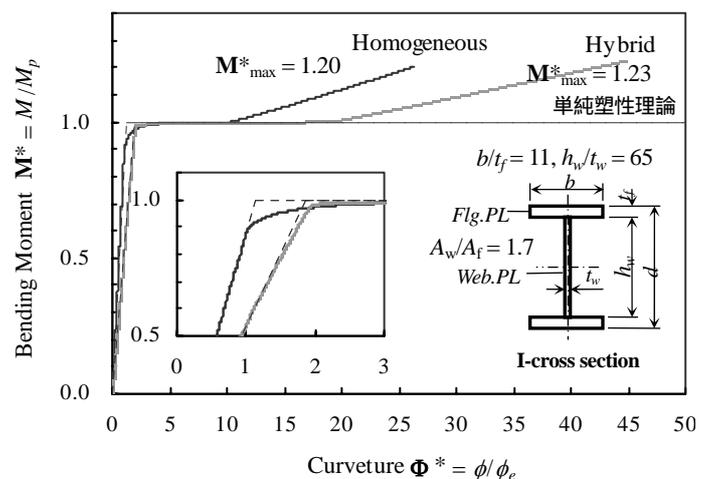


図-2 曲げモーメント 曲率関係

要素長さを 1/50 にとり、荷重点付近（D 点、E 点）および中間支点上（B 点）の各 16 要素を 1/100 とした。なお、塑性解析では荷重条件 Load 1 のみで漸増比例荷重を行い、変形硬化解析は異なる荷重条件 Load 1~3 を 1 Cycle として、除荷を弾性的とする同一荷重レベルに関する繰り返し荷重を行い、荷重レベルを変化させて検討を行った。

3. 解析結果

表-1 に解析結果を示す。図-4 は塑性解析による荷重点（D 点）に関する荷重 たわみ曲線を示したものである。単純塑性理論による崩壊荷重は $P^*_u = 6.0$ であるが、本解析結果によると Homogeneous 桁、Hybrid 桁ともにひずみ硬化の影響による曲げ耐力の増加にとともに、約 15~18% 上昇が見られる。

図-5 は変形硬化解析による各サイクル終了時（Load 3 除荷状態）に関する第二径間荷重点（E 点）の残留たわみとサイクル数の関係を示したものである。単純塑性理論では、変形硬化荷重はおよそ $P^*_s = 5.05$ であり、それ以上の荷重値においては、漸増塑性崩壊の傾向にあるが、本解析によると、単純塑性理論における崩壊荷重近くにおいてもひずみ硬化の影響により変形硬化が見られる。また、変形硬化状態にある梁の中間支点上残留モーメントは一定値に収束する（図-6 参照）。

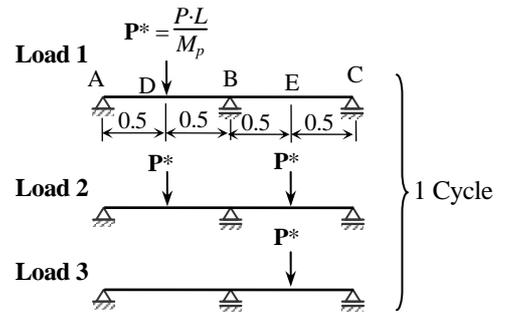


図-3 変形硬化解析の 1 Cycle の荷重条件

表-1 解析結果

	M^*_{max}	P^*_u	P^*_s	P^*_s/P^*_u
単純塑性理論	1.00	6.00	5.05	84.2%
Homogeneous	1.20	6.92	5.80	83.8%
Hybrid	1.23	7.08	6.00	84.7%

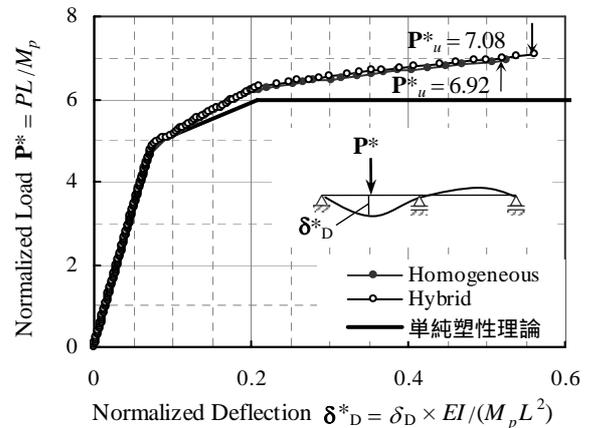


図-4 塑性解析による荷重 たわみ曲線

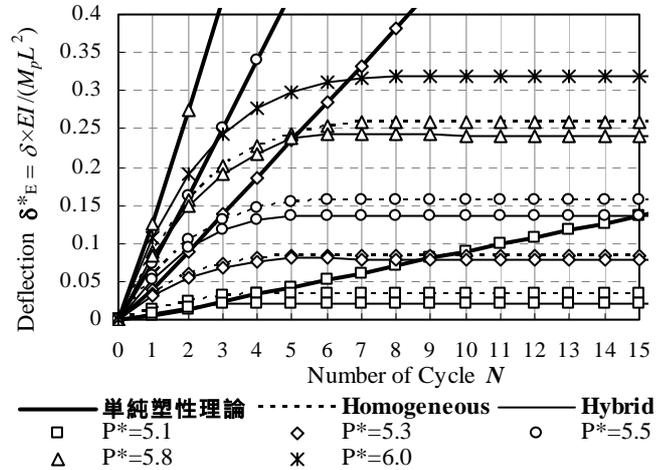


図-5 残留たわみ（E 点） Cycle 数（変形硬化解析）

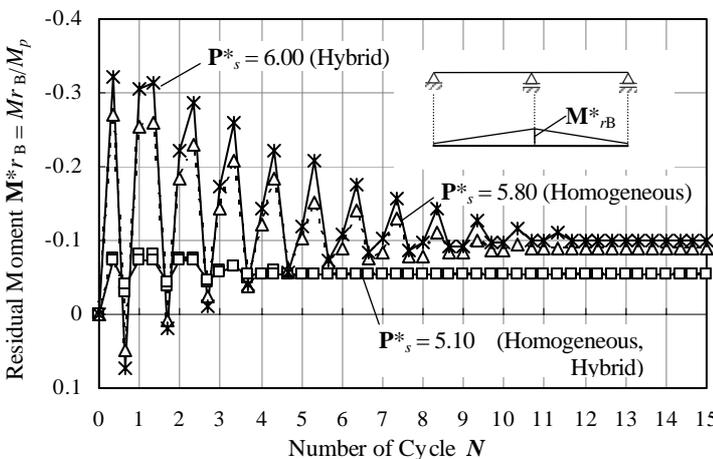


図-6 残留モーメント（中間支点上） Cycle 数（変形硬化解析）

4. まとめ

本研究で明らかにされたことは以下の通りである。

- (1) 単純塑性理論、および本解析ともに変動繰り返し荷重の影響により、構造物の終局荷重は、変動繰り返し荷重を受けない場合の崩壊荷重のおよそ 80~85% に低下する。
- (2) 鋼材のひずみ硬化による影響を考慮する限り、最終的に梁の変形硬化をもたらす。これは、変形硬化に関する過去の見解と一致するものであり、本解析結果は妥当であると考えられる。
- (3) 本解析に用いた断面条件において、Hybrid 桁は Homogeneous 桁と同様な変形硬化挙動を示しうる。

【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.