

立命館大学大学院 学生員 ○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、塑性解析上の問題点の一つに、自動車荷重などが橋上を繰り返し通過することによって、塑性変形によるたわみ量が徐々に増大していく、いわゆる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して弾性的挙動をもたらす現象である。鋼材のひずみ硬化特性が変形硬化に与える影響を研究した Meyer & Kurt²⁾の報告によると、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。

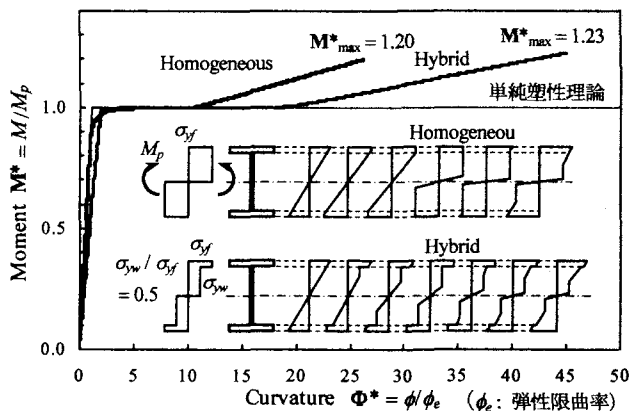
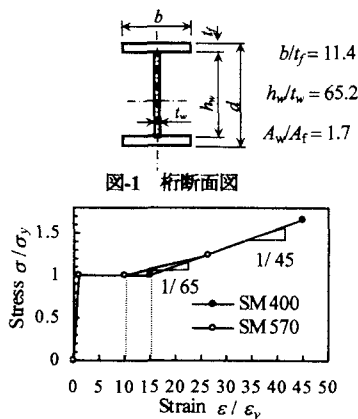
2. 研究概要

本解析では、鋼材の理想化材料特性モデルと、断面形状特性をパラメータとした 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により、ひずみ硬化を考慮できる部材特性モデルを作成した。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、二径間連続梁を対象として、崩壊荷重 P_u の予測を目的とした塑性解析、および漸増塑性限界荷重 (変形硬化荷重) P_s の予測を目的とした変形硬化解析を行い、以下の点について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結果と本解析結果の比較による、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

3. 部材特性モデル

本解析に用いた断面形状、および鋼材の理想化材料特性モデルを図-1, 2 に示す。これらは、過去の引張試験データや一般的な断面寸法を基に決定した。図-3 は Homogeneous 桁 (全断面 SM570 材) および Hybrid 桁 (フ



ランジに SM570 材、ウェブに SM400 材) の塑性モーメント M_p で無次元化した曲げモーメント M^* - 曲率 Φ^* 関係である。ここで、塑性モーメント M_p は、全断面降伏時の曲げモーメント値であり、図-3 に示す細線は M_p に達するまでを弾性範囲と仮定した単純塑性理論による M^* - Φ^* 関係である。なお、SM400 材の SM570 材に対する降伏応力度比は 0.5 と仮定した。

4. 構造解析モデルおよび荷重条件

二径間等断面等径間連続梁の解析モデルを図-4 に示す。支間長および荷重は無次元化し、要素分割は基本要素長を 1/50、荷重点付近 (D 点、E 点) および中間支点上の各 16 要素を 1/100 とした。なお、単純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。

5. 解析結果

表-1 に解析結果を示す。図-5 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 Hybrid 桁、Homogeneous 桁ともにひずみ硬化の影響により、約 15~18% 上昇する。

図-6 は変形硬化解析による各サイクル終了時の第二径間荷重点 (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。

表-1 解析結果

	M^*_{max}	P^*_u	P^*_s	P^*_u/P^*_s
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%

7. 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およそ 80~85% である。
 - (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す。

【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.

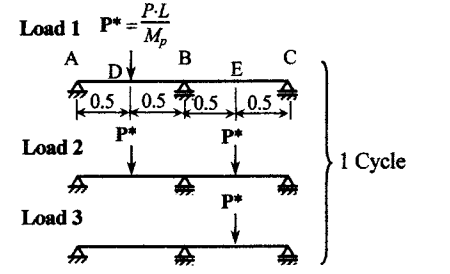


図-4 変形硬化解析の 1 Cycle の荷重条件

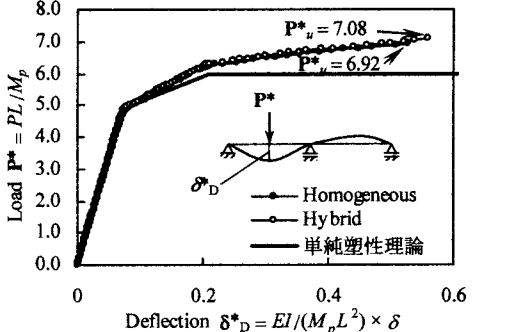


図-5 塑性解析による荷重 - たわみ曲線

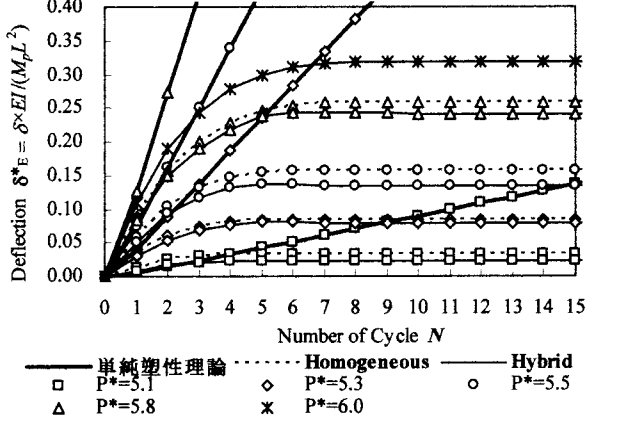


図-6 残留たわみ (E 点) - Cycle 数 (変形硬化解析)