

橋梁用高性能鋼材を用いたハイブリッド桁の曲げ耐力とその評価

東京工業大学 正会員 ○鈴木 啓悟
東京工業大学 フェロー 三木 千壽
東京工業大学 関屋 英彦

1. 序論

2008年にJIS規格化された橋梁用高降伏点鋼材(以下、BHS)は降伏強度を高めるとともに、溶接性を改善し、鋼橋への適用性能を高めている。曲げ応力が支配的となる桁橋に着目すれば、構造上耐力への寄与が大きいフランジにBHS鋼材を適用し、それと比較して寄与の小さいウェブにBHS鋼材より低降伏強度で安価な鋼材を配置したハイブリッド鋼桁が実現すれば、経済性に優れた設計を行うことが出来る。本研究ではフランジにBHS700材、ウェブにSM400材、SM490材を組み合わせたハイブリッド桁に着目し、曲げ耐力の特性を実験から把握する。さらにFEM解析によって残留応力が耐力に及ぼす影響を明らかにした。

2. HYBRID 桁の曲げ耐力試験

(1) 試験体

試験体の概要を図-1に示す。試験体はハイブリッド桁2種、ホモジニアス桁1種の計3種類を用意した。全ての試験体でフランジにBHS700材を適用しており、ウェブにはそれぞれSM400材、SM490材、BHS700材を配置している。材料の特性を完全に発揮させるために、コンパクト断面の設計としている。テストパネルは桁中央部の500mmの区間で、フランジ幅を他の部位よりも30mm狭めて110mmとした。使用した鋼材の材料特性は表-2に示すとおりである。

(2) 試験条件

载荷条件とひずみゲージの配置を図-2に示す。桁中央部の両端には鉛直スティフナを配し、この直上で载荷を行う条件での4点曲げに試験を行った。载荷点には厚さ10mmのゴム層を有する支点板を設置した。ひずみゲージは図-3に示すように、中央部でウェブ面に11点設置した。また変位計を中央部に鉛直方向へ向けて設置した。

(3) 試験結果

図-3に载荷試験より得られた荷重-変位曲線を示す。3体の試験とも、近い軌跡を描いていることが見て取れる。400Hybrid、490Hybridでは最大耐力がほぼ同等であり、Homogeneous桁の最大耐力を100%としたとき、これらハイブリッド桁の耐力は94%とハイブリッド構造に伴う耐力減少

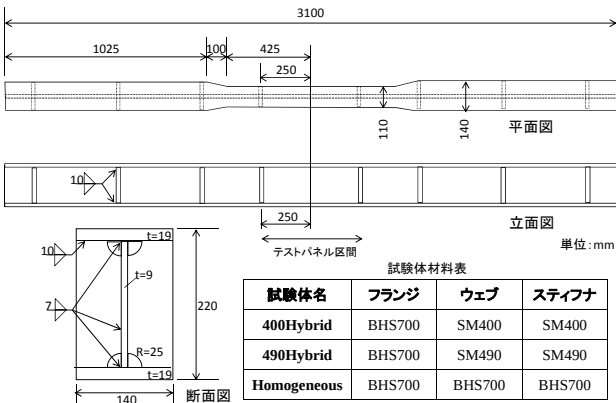


図-1 試験体の概要

表-2 使用鋼材の材料特性

	SM400 (9mm)	SM490 (9mm)	BHS700 (9mm)	BHS700 (19mm)
降伏強度	357	408	763	707
引張強度	433	541	806	737

注：強度の単位は全て MPa

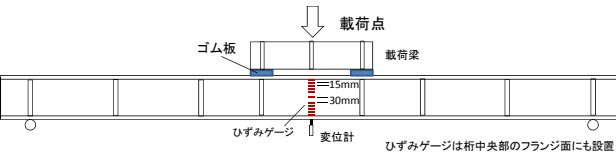


図-2 载荷条件とひずみゲージの配置

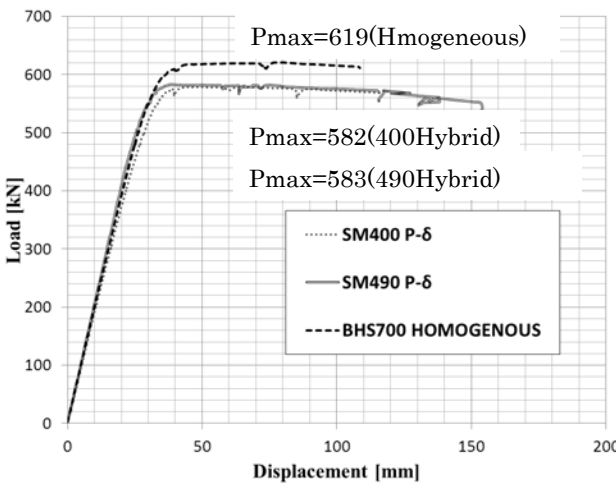


図-3 荷重変位履歴

率は6%にとどまった。
図-4、5にひずみゲージから得られた応力の値をウェブの高さ方向の位置で整理した結果を示す。

キーワード ハイブリッド桁, BHS, 耐力, 残留応力, コンパクト断面
連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-2

荷重の履歴を見ると 400Hybrid 桁ではまずウェブ上下端部が降伏し、次にウェブの端部から中央に向かって降伏が進展していく。最後にフランジが降伏すると、最大の耐荷力に達する。この傾向は 490Hybrid でも同様であった。Hybrid 桁ではフランジの降伏が耐荷力の支配的要因となっていることがわかる。Homogeneous 桁の場合は初期段階では Hybrid 桁と同様の応答を示しており、まずウェブ上下端部が降伏している。これはウェブフランジ首溶接部の残留応力が影響していると思われる。

3. FEM 解析

耐荷力に及ぼす残留応力の影響を確認するために、FEM 解析を行った。ウェブフランジ首溶接部には溶接に伴う残留応力が入っている。シェル解析において溶接熱を導入することは難しいことから、予め応力を要素に導入する手法[1]をとった。導入する残留応力は図-6 に示した。

載荷条件は実験と同様として、FEM 弾塑性解析を行い、荷重たわみ曲線を得た。400Hybrid の解析結果を図-7 に示す。490Hybrid 桁、Homogeneous 桁ともにこれと同様の傾向を示している。残留応力の存在によって荷重と変位の関係曲線の傾きが僅かに小さくなるのがわかる。しかしながら、曲線の軌跡の傾向は近いものが見られ、表-3 に示すように最大耐力の差は約 5%程度であった。この結果から残留応力が終局耐力に及ぼす影響は比較的小さく、2 節で言及した、フランジの材料強度が耐荷力上支配的となると考えられる。

4. 結論

本研究では BHS700 材をフランジに適用したハイブリッド桁について、コンパクト断面を設計し、耐荷力の評価を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) ウェブに SM400 材、490 材を用いたハイブリッド桁の場合、耐荷力の低下はホモジニアス桁と比較して、6%の減少にとどまる。
- (2) ハイブリッド桁の曲げ耐荷力は、コンパクト断面の場合、フランジの材料強度に依存する。
- (3) 全塑性モーメントに達するとき、ハイブリッド桁はウェブの上下端部がまず塑性化する。フランジが降伏応力に達すると、それ以降の耐力の増加はほとんど見込めない。
- (4) 残留応力の影響が耐荷力に及ぼす影響は 5%程度であり、最大耐力にはフランジの強度が支配的となる。

参考文献

[1] ABAQUS user's manual

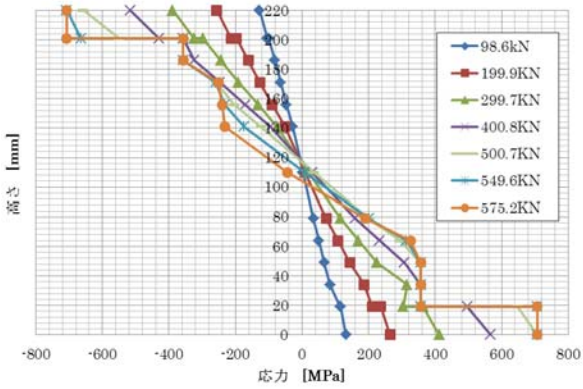


図-4 Hybrid400 桁の応力履歴とその分布

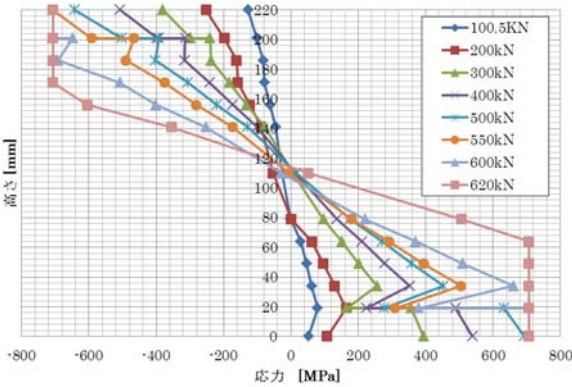


図-5 Homogeneous 桁の応力履歴とその分布

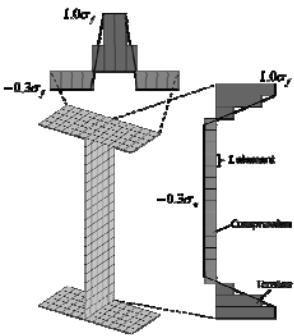


図-6 残留応力の導入モデル

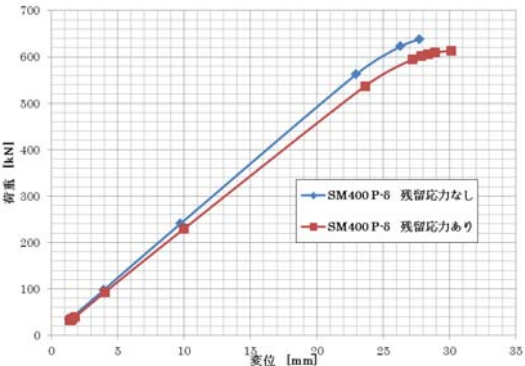


図-7 Hybrid400 の荷重変位曲線

表-3 残留応力の有無と最大耐力

	400 Hybrid	490Hybrid	Homogeneous
残留応力導入	614 kN	616 kN	645 kN
残留応力なし	638 kN	644 kN	670 kN
導入／無し	0.96	0.95	0.96