

普通鋼と高強度鋼を組み合わせた I 形断面桁の曲げ挙動

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○村林 弘太郎

大阪大学大学院工学研究科 正会員 廣畑 幹人

1. はじめに

2017 年の道路橋示方書の改定により、我が国の道路橋の技術基準が性能照査型設計の体系へと移行したことで、多様な構造や新材料の導入が促進されるようになった。これにより、橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）の適用拡大が近年注目を集めている。SBHS は、従来の鋼材（SM 材）と比較して降伏点が高く、溶接性や加工性等において優れた性能を有しているが、未だ施工事例が少なく、広く普及するには至っていない。本研究では、SBHS の高機能を活かしながらコストを抑えた合理的な設計手法を確立することを念頭に、普通鋼と高強度鋼を組み合わせた異種鋼材の複合構造に注目する。既往のハイブリッド桁とは異なる概念で、普通鋼と高強度鋼で I 形断面桁を構成することで、桁の曲げ強度および曲げ剛性を向上させつつ、桁としての軽量化を実現することを目的に一連の検討を行う。

2. 異種鋼材 I 形断面桁の概念

鋼 I 桁において、ウェブ中央部は曲げ応力の作用は小さく、上フランジは床版によって変形の拘束効果が望まれる。その一方で、下フランジは曲げ応力の作用が大きく、構造上曲げ強度への寄与が大きい。これに注目して、桁断面の下部に高強度鋼からなる逆 T 字形の部材を配置する（図-1）。この構造は既往の研究²⁾でその概念が提示されたが、断面を構成する高強度鋼の具体的な材料特性が十分に検討されていなかった。これに対し、本研究では SBHS を高強度鋼として採用する。この断面によって、普通鋼（SM 材）により構成される同種鋼材桁と比べ曲げ強度および曲げ剛性の向上、桁の軽量化を満たすための条件を以下に示す。

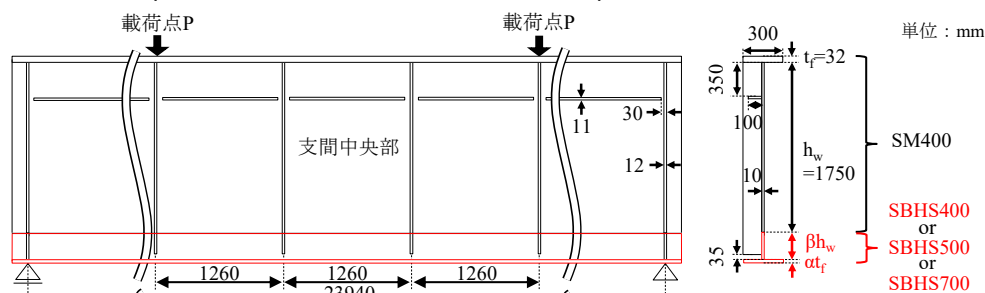
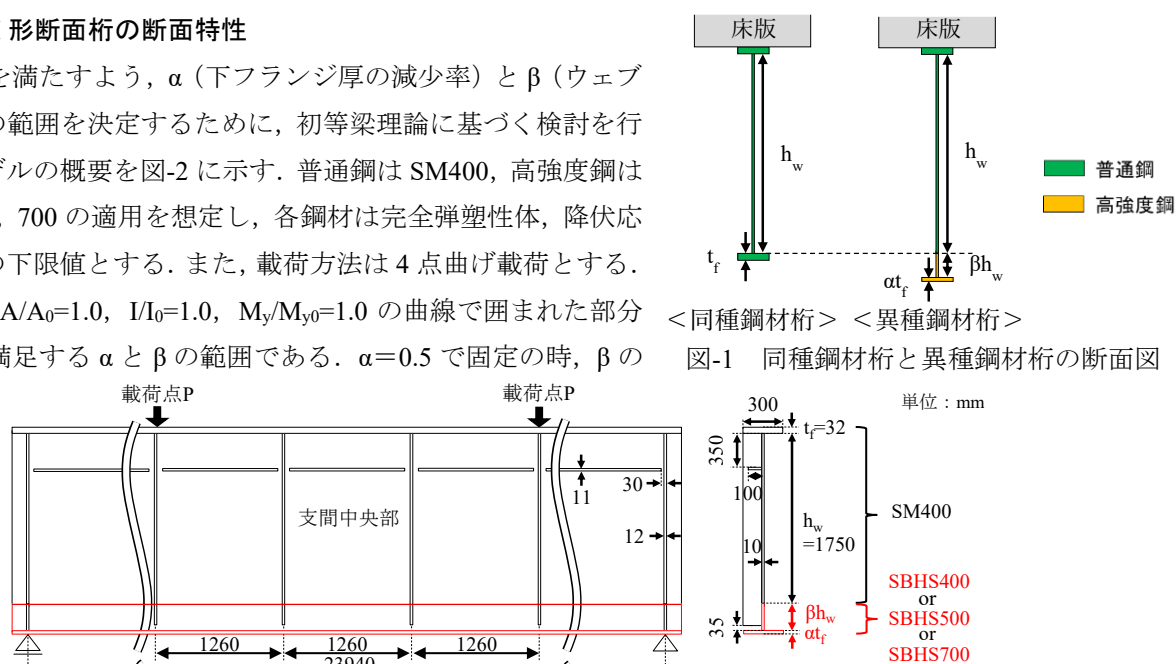
- (1) 降伏曲げモーメントを同種鋼材桁の値以上にする ($M_y/M_{y0} \geq 1.0$)。
- (2) ウェブ高を増加させることで、断面二次モーメントを同種鋼材桁の値以上にする ($I/I_0 \geq 1.0$)。
- (3) 下フランジ厚を減少させることで、断面積を同種鋼材桁よりも小さくする ($A/A_0 \leq 1.0$)。

ただし、 M_{y0} 、 I_0 、 A_0 および M_y 、 I 、 A は、それぞれ同種鋼材桁および異種鋼材桁の降伏曲げモーメント、断面二次モーメント、断面積を表す。

3. 異種鋼材 I 形断面桁の断面特性

上述の条件を満たすよう、 α （下フランジ厚の減少率）と β （ウェブ高の増加率）の範囲を決定するために、初等梁理論に基づく検討を行った。検討モデルの概要を図-2 に示す。普通鋼は SM400、高強度鋼は SBHS400、500、700 の適用を想定し、各鋼材は完全弾塑性体、降伏応力は JIS 規格の下限値とする。また、荷重方法は 4 点曲げ荷重とする。

図-3 に示す $A/A_0=1.0$ 、 $I/I_0=1.0$ 、 $M_y/M_{y0}=1.0$ の曲線で囲まれた部分が必要条件を満たす α と β の範囲である。 $\alpha=0.5$ で固定の時、 β の



キーワード 鋼桁, 異種鋼材, SBHS, 曲げ挙動

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7598

範囲は $0.120 \leq \beta \leq 0.274$ であり, その場合の断面諸量の変化を図-4 に示す. β の増加に伴い, 断面積と断面二次モーメントは比例的に増加する. 降伏曲げモーメントも増加するが, $\beta=0.141$ を境に, 先行降伏箇所が異種鋼材接合部から上フランジに変わったことで, その増加傾向が変化した. また, 高強度鋼の降伏応力の違いによって, 降伏曲げモーメントは変化しなかった. これは, 先行降伏箇所がすべて普通鋼側となることが原因である.

4. 異種鋼材 I 形断面桁の曲げ挙動

最大曲げモーメントなど, 複雑な弾塑性挙動を経て決定される曲げ挙動を明らかにするため, 弾塑性有限変位解析を行った. 図-2 に基づき, シェル要素で同種鋼材桁 ($\alpha=1.0$, $\beta=0.000$) および 6 種類の異種鋼材桁 ($\alpha=0.5$, $0.120 \leq \beta \leq 0.274$) の解析モデルを作成した. ただし, 初期たわみおよび溶接部は考慮していない.

β (ウェブ高の増加率) と最大曲げモーメント M_u の関係を図-5 に示す. 最大曲げモーメントは β とともに増加した. また, 高強度鋼の降伏応力の違いによって, 最大曲げモーメントは変化しなかった. これは, 上フランジ側の普通鋼の降伏が最大曲げモーメントを決定しているためと考えられる. すなわち, 普通鋼が SM400 の場合, 高強度鋼の中で降伏応力の低い SBHS400 を用いても, 桁の曲げ強度の向上が実現できる.

5. 異種鋼材 I 形断面桁の経済性

力学的検討に併せ, 実用化へ向けた経済的検討として, 鋼材の組合せが SM400 と SBHS400 の場合について, 桁断面寸法に基づく材料コストを算出した. ただし, 各鋼材の材料単価は建設物価³⁾を参考しており, 溶接などの加工にかかるコストは考慮していない. 図-6 に示す C/C_0 は同種鋼材桁に対する異種鋼材桁の材料コストの比である. $C/C_0=1.0$ および $A/A_0=1.0$, $I/I_0=1.0$, $M_y/M_{y0}=1.0$ の曲線で囲まれた α と β の範囲では, 材料コストを削減しつつ, 桁の曲げ強度および曲げ剛性の向上, 桁としての軽量化を図ることができる.

6. まとめ

(1) 普通鋼 (SM 材) からなる鋼 I 形断面の下部に逆 T 字形の高強度鋼 (SBHS) 部材を配置する構造の検討を行った. 本検討の範囲では, 逆 T 字形部材の寸法を調整することで, 桁の断面積を増やすことなく, 曲げ剛性と降伏曲げモーメント, 最大曲げモーメントを向上できる可能性が示唆された. 一方, 高強度鋼の降伏応力の違いによって, 降伏曲げモーメントと最大曲げモーメントの向上効果に変化が見られなかった.

(2) 鋼材の組合せが SM400 と SBHS400 の場合, 材料コストを削減しつつ, 桁の曲げ強度および曲げ剛性の向上, 桁としての軽量化を図ることができる形状と寸法の範囲を確認した.

謝辞: 本研究の一部は, 一般社団法人日本溶接協会 2022 年度次世代を担う研究者助成事業を受けて実施した. 記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 白戸真大: 道路橋示方書の改定概要と I 共通編の内容, 特集報文, 道路橋示方書の改定, 土木技術資料, 60-2, 2018.
- 2) 廣畑幹人, 安藤元, 金裕哲: 高強度鋼を用いた既設鋼 I 桁補修補強法の提案と健全度診断, 応用力学論文集, Vol.11, pp.911-918, 2008.
- 3) 一般財団法人 建設物価調査会: 建設物価, 2021, 8 月号.

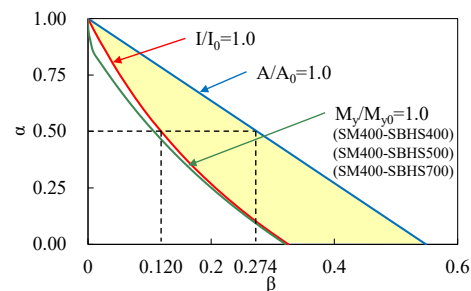


図-3 必要条件を満たす α と β の範囲

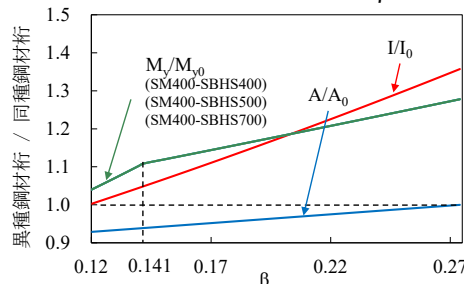


図-4 β と桁断面諸量の関係 ($\alpha=0.5$)

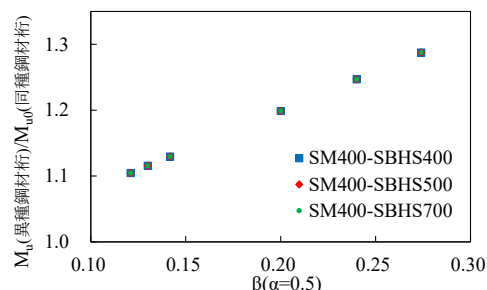


図-5 β と最大曲げモーメントの関係

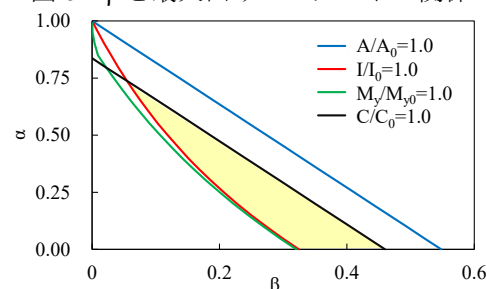


図-6 コスト削減を図った α と β の範囲