

異種鋼材を用いた鋼桁溶接組立断面の最適化に関する検討

廣畑 幹人
大阪大学

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¹⁾。これにより、橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS) の適用拡大が注目を集めている。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おり、さらなる普及拡大が期待されている。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の確立を念頭に、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した。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ための基礎的検討を行った。

2 研究方法

鋼I桁の支間中央近傍において、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、桁断面の下フランジとウェブの一部を高強度鋼からなる逆T字形の部材に置換することを想定する (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) により構成される基準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) 降伏モーメントを基準桁の値

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2次モーメントを基準桁の値以上にする ($I/I_0 \geq 1.0$)。
- (3) 下フランジ厚を減少させることで、断面積を基準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、それぞれ基準桁および異種鋼材桁の降伏モーメント、断面2次モーメント、断面積を表す。

3 主な研究成果

上述の条件を満たすよう、 a (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。普通鋼としてSM400、高強度鋼とし

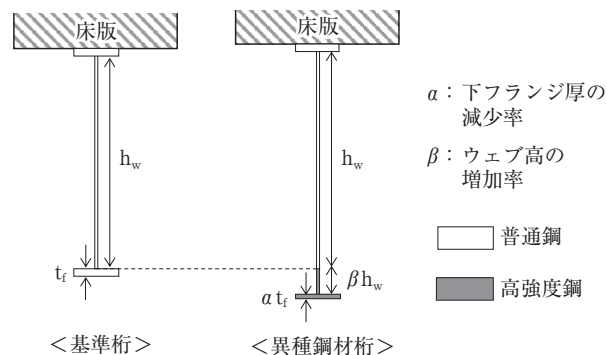


図1 基準桁と異種鋼材桁の概念図

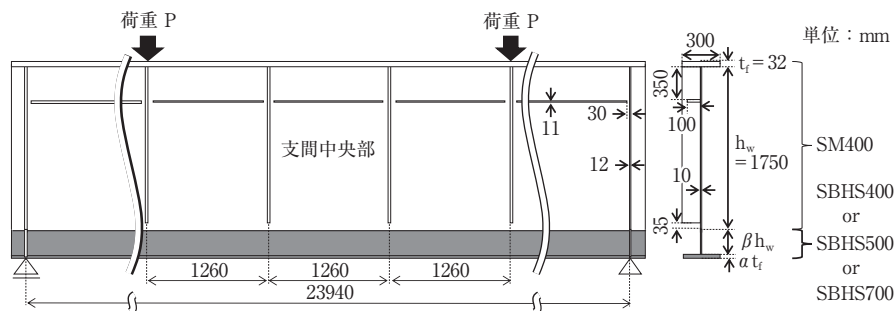


図2 検討モデルの概要

表1 各種鋼材の機械的性質

| 鋼材 | 降伏応力 | 引張強度 |
|---------|-------------------|------|
| | N/mm ² | |
| SM400 | 320 | 462 |
| SBHS400 | 454 | 539 |
| SBHS500 | 535 | 657 |
| SBHS700 | 849 | 852 |

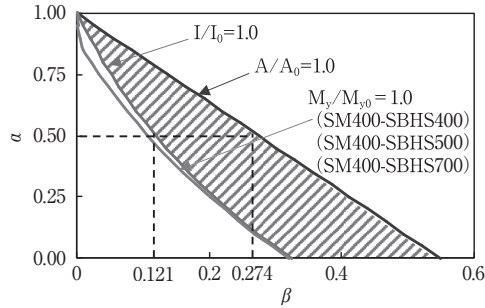


図3 条件を満たす a と β の範囲

てSBHS400, 500, 700の適用を想定しており, 引張試験により得られた各種鋼材の機械的性質を表1に示す。また, 荷重方法は4点曲げ荷重とする。ただし, 基準桁は $a = 1.0$ および $\beta = 0$ とし, SM400のみで構成されるものである。

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, 上述の条件を満足する a と β の範囲である。 $a = 0.5$ で一定とした場合, β の範囲は $0.121 \leq \beta \leq 0.274$ であり, その場合の断面諸量の変化を図4に示す。 β の増加にともない, 断面積と断面2次モーメントは比例的に増加する。降伏モーメントも増加するが, $\beta = 0.165$ を境に, 断面の中で最初に降伏する箇所が異種鋼材接合部から上フランジに変わることになる。このため, 降伏モーメント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, 降伏モーメントは変化しなかった。これは, 断面内で最初に降伏する箇所がすべて普通鋼側となることが原因である。

複雑な弾塑性挙動を経て決定される最大モーメント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, シェル要素で基準桁 ($a = 1.0$, $\beta = 0$) と, 複数の異種鋼材桁 ($a = 0.5$, $0.121 \leq \beta \leq 0.274$) の解析モデルを作成し, 解析を実施した。 β (ウェブ高の増加率) と最大モーメント M_u の関係を図5に示す。最大モーメントは β とともに比例的に増加した。また, 高強度鋼の降伏応力の違いによって, 最大モーメントは変化しなかった。支間中央近傍の上フランジおよび隣接するウェブの一部が大きく塑性変形していたことから, 普通鋼であるSM400の降伏が最大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,

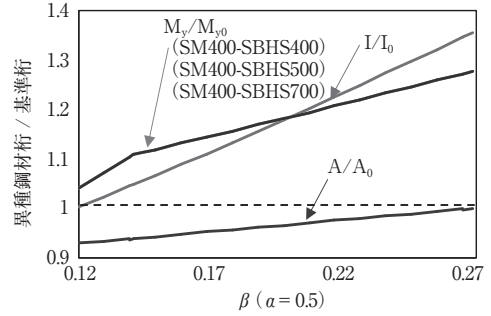


図4 β と断面諸量の関係

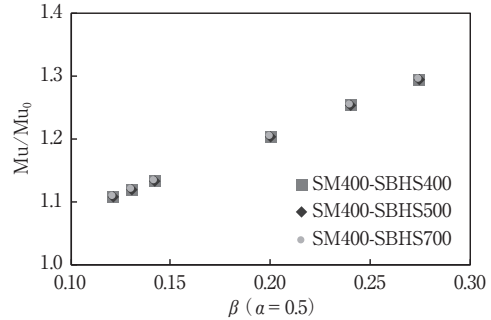


図5 β と最大モーメントの関係

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可能性を結果は示唆している。

4 おわりに

普通鋼 (SM材) からなる鋼I桁断面の下フランジとウェブの一部を, 逆T字形の高強度鋼 (SBHS) 部材に置換する異種鋼材溶接組立断面について, 一連の基礎的検討を行った。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, 曲げ剛性と降伏モーメント, 最大モーメントを向上できることが示唆された。しかし, 本検討の範囲では, 高強度鋼の降伏応力の違いによって, 降伏モーメントと最大モーメントの向上効果に変化が見られなかった。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可能性がある。一方, SBHS500やSBHS700の高い強度を最大限活用するためには, 異種鋼材溶接組立断面の形状についてさらなる検討が必要であり, 今後の課題として継続する³⁾。

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) 村林弘太郎, 廣畑幹人: 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, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, 1-220, 2023.9.