

I-A1

高強度鋼材適用による鋼橋構造の合理化の可能性

東京工業大学 学生会員 高橋 和也

東京工業大学 フェロー 三木 千壽

1. はじめに

鋼橋ではトータルコストの低減に代表される合理化が大きなテーマとなっている。この合理化のために、より高強度な鋼材が開発され、構造の軽量化、製作および架設の効率化が行われている。しかしながら、鋼材の高強度化がどの程度合理化に効果があるのかについてはさほど検討されていない。鋼橋の設計において桁の断面形状は、各限界状態や最小板厚の規定により決まる。そこで本検討では、高強度鋼材の強度特性、主桁本数や床版幅員といった橋梁形式に焦点を置き、限界状態設計法に基づいたプレートガーダー橋の試設計および最適化を行った。

2. 検討方法

最適設計するにあたり、汎用 FEM 解析プログラム MARC を用いて断面力を算出し、この断面力の照査を作成した解析プログラムにより行った。その結果として、高強度鋼の有効利用の可能性を検討した。その際、限界状態設計法を適用することが有用であるが、終局および使用限界状態については我が国の示方書に未だ規定がないため、AASHTO の荷重抵抗係数設計法(LRFD)を用いた。また、疲労限界状態については日本鋼構造協会(JSSC)の疲労設計指針を用いた。

2-1. FEM 解析

検討の対象として、主桁間隔および床版幅員の異なる 4 種類の $2 \times 53\text{m} = 106\text{m}$ の 2 径間連続桁橋の橋梁モデルを作成した。4 つのモデル橋の概要を表 1 に示す。2 主桁橋 A は合理化桁の先駆けとなった北海道縦貫自動車道のホロナイ川橋をモデル化したものであり、3 主桁橋については第 2 東名自動車道の天府高架橋を参考に断面諸元を決定した。ホロナイ川橋および天府高架橋は非合成桁の設計がされているが、実際に非合成桁で設計された橋梁が合成的な挙動をすることを考慮すると、非合成桁での設計は必ずしも妥当で合理的な設計であると言えない。そこで本解析では合成桁と考えて、主桁と床版は剛なビーム要素で連結することにした。また FEM 解析モデル化する際、床版にはシェル要素を、桁にはビーム要素を用いた。

この FEM 解析では、各限界状態の照査に必要な断面力の算出を行った。この断面力算出のための荷重には、終局および使用限界状態の場合、LRFD に規定されている設計用トラック荷重と設計用レーン荷重を適用し、疲労限界状態の場合、本州四国連絡橋の鋼床板の疲労照査用設計自動車荷重を適用した。

2-2. 解析プログラム

本研究では、鋼 2 径間連続合成プレートガーダー橋の正最大モーメントが生じる特定断面を対象に、その断面形状、主桁本数、主桁間隔および床版幅員をパラメータとし、各種の降伏強度が 24、36、46、60、70、85(kgf/mm²)の鋼材について各限界状態の照査を行った。この後に主桁の最適断面を求め、降伏強度と最適断面の関係を比較することで高強度鋼の有効利用の可能性についての検討を行った。その際、合理化の指標には鋼重を用いた。

表 1 モデル橋の概要

	床版幅員 (m)	主桁本数 (本)	主桁間隔 (m)	横桁間隔 (m)	垂直補剛材 間隔(m)	床版厚 (mm)
2 主桁橋 A	11.4	2	6.0	5.3	5.3	310
2 主桁橋 B	15.65	2	8.0	5.3	5.3	310
3 主桁橋	15.65	3	6.0×2	5.3	5.3	310
4 主桁橋	15.65	4	4.0×3	5.3	5.3	310

(1) 一般事項

最小鋼材厚 断面二次モーメント比 高さスパンの比

(2) 終局(供用時)

ウェブ局部座屈 曲げ強度 せん断強度

(3) 終局(架設時)

ウェブ局部座屈 フランジ局部座屈 フランジ横倒れ座屈
曲げ強度 せん断強度

(4) 使用

弾性的なたわみ制限 永久たわみ制限

(5) 疲労

最大応力照査 等価応力照査

図1 照査内容

キーワード：合理化 高強度鋼材 限界状態設計法 最適化 合成非合成

〒152 東京都目黒区大岡山 2-1-2 TEL 03-5734-2596 FAX 03-5734-3578

図1は主桁断面の照査すべき限界状態をまとめたものである。供用時の終局限界状態についてはコンパクト断面とノンコンパクト断面の概念のもと、強度とウェブの局部座屈の照査を行い、架設時ではさらに圧縮フランジの局部座屈および横倒れ座屈の照査も行った。疲労限界状態については JSSC の疲労設計指針に基づいてフランジとウェブの突き合わせ溶接部の照査を行った。また本プログラムは、断面形状を変化させ、その各断面ごとに設計条件の照査を行い、最適断面を抽出するように設定してある。なお本研究では、モデル橋を死活荷重合成桁橋として設計した。

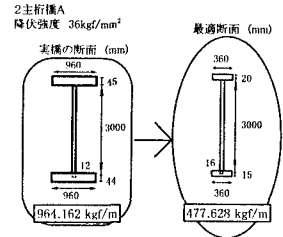


図2 ホロナイ川橋の実橋断面と最適断面の比較

3. 解析結果

3-1. 最適断面の一例

図2は、2主桁橋 A の実在橋梁断面と最適化した断面を比較したものである。これによると、鋼重がかなり低減されている。その要因としては、実橋では非合成設計しているものを、本研究では死活荷重合成桁橋として設計したことが最も大きい。

3-2. モデル橋の降伏強度と最適断面の関係

図3に3主桁橋の各降伏強度における最適断面の関係を示す。図中には参考として疲労限界状態を考慮しない場合も示してある。これによると、降伏強度の増加に伴う鋼重の低減は低強度側では見られるが、高強度側になると疲労の影響を受けるため見られなくなる。

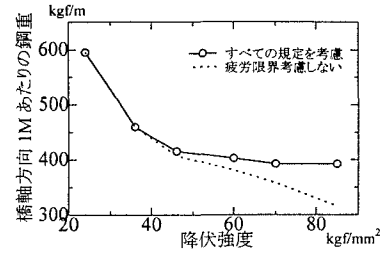


図3 降伏強度と最適鋼重の関係（3主桁橋）

3-3. 主桁本数が鋼橋の合理化に与える影響

図4は、床版幅員が同じ 15.65m で、主桁本数が2本、3本、4本と異なる場合を比較したものである。まず、鋼重の低減がどの降伏強度まで可能かという点に注目してみると、4主桁橋では降伏強度 60kgf/mm² まで可能であるのに対して、2主桁橋 B と3主桁橋は 70kgf/mm² まで可能となっており、4主桁橋より2、3主桁橋の方が疲労の影響を受けにくいことがわかる。次に、橋梁の全鋼重（1本分の鋼重に主桁本数を掛けたもの）について比較してみると、主桁本数が少ないほど鋼重は少なくなることがわかる。つまり、2主桁橋が有効である。

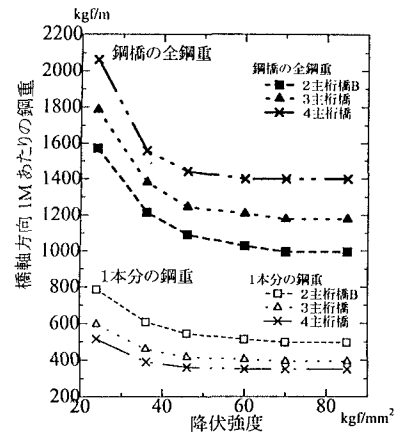


図4 主桁本数別の降伏強度と最適鋼重の関係

3-4. 高強度鋼を適用した床版幅員の異なる橋梁の比較

図5は、2主桁橋で 11.4m と 15.65m と床版幅員が異なる場合の比較を示したものである。これによると、2主桁橋 A では鋼重低減が降伏強度 60kgf/mm² まで可能であるのに対して、2主桁橋 B では 70kgf/mm² まで可能である。つまり、床版幅員が大きい橋梁形式の方がより効果的である。

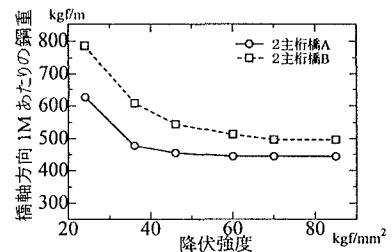


図5 床版幅員が最適鋼重に与える影響（2主桁橋A、2主桁橋B）

4. 結論

- (1) 鋼材の高強度化に伴い主桁鋼重は低減する傾向にある。しかし、高い降伏強度の範囲では疲労がクリティカルとなるため、鋼重の低減が制限される。
- (2) 高強度鋼材の鋼橋への適用は2主桁橋が優れている。また同じ2主桁橋でも、床版幅員の大きい方が効果が大きく現れる。

[謝辞]本研究は東京工業大学創造プロジェクト、都市基盤施設研究体、高性能鋼の橋梁への利用技術研究会の活動の一環として、鋼材倶楽部からの研究助成を受けて実施したものである。