

第3章 設計基準に関する課題

3. 1 設計基準の現状

原則的に鋼橋の設計は、最小重量設計＝最適設計という設計理念の下に必要な安全性を確保するために作られた設計基準をベースに行われる。そのため、材料の強度を十分活かし、局部座屈が生じない断面を設計する補剛設計が、設計の実務に於ける大きなウエイトを占めていた。これに関連する研究も数多く行われ、その成果を基に薄肉多補剛の設計はほぼ極限化し鋼桁の薄肉軽量化が達成されてきたといえよう。しかし、このような、終局耐荷力に着目した薄肉多補剛化は、一方では予期しない面外変形や部材接合部の二次応力を惹起し、大型車混入率の高い都市内高速道路高架橋を中心に疲労損傷の顕在化という耐久性の阻害要因を生み出す結果となっている。そのため、耐久性確保の観点からの補剛システムのあり方の見直しが必要とされている。

また、視点を変えて鋼橋の建設費用縮減という観点から見直した場合にも、建設費に占める材料費と加工費の割合の大きな変化を考慮し、必ずしも最小重量設計が最小建設費設計とは言えないことが指摘されている。しかし、最小値を求める目的関数が鋼重であれば、構造力学的な根拠のみで解が求めるが、目的関数が費用となった場合には多数のパラメータを考慮する必要性が生じることになり最適解が複数出てくることが予想される。そこで、このような指摘に対応し、平成7年10月に建設省から積算基準の改訂と組み合わせた形で「鋼道路橋設計ガイドライン（案）」が出された。即ち、材料費と加工費を加えた全製作費が最小となるモデル的な設計法が示された訳である。これに従って設計すれば鋼重は従来設計に比較すれば増加するが、材料費と加工費を加えた全製作費は従来設計よりも低く抑えられることになる。

「鋼道路橋設計ガイドライン（案）」では基本的に以下の3項目を工費縮減の設計上の対策としている。

- 1) 1部材同一断面による板継ぎ等の加工度削減
- 2) 少補剛（部材の厚肉化）による部材数、加工度削減
- 3) 現場継手の簡素化による添接部材数の削減

以上のいずれの対策も一言で言えば「構造のシンプル化」に尽きると考えられる。このような構造のシンプル化は上述した如く耐久性の向上にも寄与するはずであり、さらに積極的に推進してゆくことが望まれる。しかし、本ガイドラインでは道路橋設計示方書を遵守する精神は守られているため、徹底的なシンプル化の対策がとられているとは言い難いのが現状である。現在、引き続いてさらにシンプル化が可能となるように、次期示方書改訂において幾つかの条項の見直しが行われている。

3. 2 検討課題

本章では、設計において構造のシンプル化による耐久性の確保と建設コスト削減という観点から見た場合に、現示方書の条項が設計者の判断を規制していると考えられる点について道路橋を対象に考察する。

鋼橋の構造のシンプル化の基本的な考え方として、

- 1) 二次的な部材機能を鋼橋の立体構造物として見直し、必要度の低い部材は極力省略する。
- 2) 補剛システムを見直し、可能な限り厚肉化又は大断面化による少補剛化する。

3) 上記の観点に付随して、鋼材の適用限界を原則的に J I S の規定に置き換える。

とした場合に、現行示方書と関連する条項の内容を整理して以下に示す。

① 鋼材の選定

現行示方書では J I S の鋼材規格材を使用することを規定しているが、さらに橋梁特有の所要性能等を加味し、追加的に最大板厚制限、鋼種等の制約条件を負荷している。

少補剛、少主桁化等により構造のシンプル化を狙った設計を行う場合に本条項が制約となることが多い。

② 疲労の影響

本項目に関しては、逆に現行示方書では、鋼床版や既に疲労設計の条項を含む鉄道を併用する場合以外は疲労許容応力等による具体的な制約条項がない。そのため、積極的に疲労強度を考慮した設計を行おうとする場合、必要以上あるいは不必要的対策として認められない傾向がある。

特に、省力化ならびにシンプルな構造化を推進するだけでなく、併せて高耐久性設計を実現するためにも疲労の影響を定量的に評価する必要がある。

③ 部材の連結

主要部材の連結において母材の全強の 75%を確保することが規定されていることから板継ぎを省略して厚板部を低応力域まで延長した場合に、継手部が過剰な設計となり経済性を損ねる場合がある。今後、少主桁化に伴う主桁の大断面化がすすむと、さらに板厚の厚い鋼板の使用が不可欠となることから、ボルト孔の断面控除の補強のための増厚や過大なボルト本数の配置等、本規定がさらに連結部の構造を不合理なものとする可能性がある。

④ 床版の適用支間長

部材数削減の観点からも主桁本数を少なくした少主桁構造が望ましい。この場合、R C 床版の適用支間長の最大値が制約となる。長支間床版の研究成果を踏まえ、4 mを超える支間長を有する床版の設計曲げモーメントを規定する必要が生じる。特に、大断面 2 主桁の普及には不可欠である。

⑤ 引張りフランジの自由突出部の板厚

鋼種によらず引張りフランジの板厚は自由突出幅の 1/16 以上と規定されている。フランジ幅を一定にすると、桁端部では板厚の減少によりフランジ幅も狭める加工が必要となる。

溶接ひずみについては製作誤差の検証で、また応力分布の均等を確保するには有効幅の考え方で照査することも可能かと思われる。

⑥ 支点上を除く垂直補剛材の取り付け

垂直補剛材は引張りフランジと適当な間隔を設けて取り付けることになっている。現状では 35mm 程度の間隔を設けて製作されている。疲労設計と座屈設計の観点から、これに定量的な評価法を与える必要がある（詳しくは 7. 5 参照）。

⑦ 溶接部の許容応力度

現場溶接継手の許容応力度は、工場溶接の 90%と規定されているため現場溶接の普及が妨げられている可能性がある。少主桁化による厚肉化に伴い、現場接合方法として高力ボルト摩擦接合より現場溶接の方が継手効率は高く有利となる場合がある。現場溶接でも、品質管理を工場と同様十分に行うこと前提にすれば、同等の許容応力を与えるのが合理的と考えられる。

⑧ 対傾構

現行示方書では対傾構の最大間隔制限があるが、最近の研究から制限間隔以上でも床版の協働作用により問題がない場合が報告されている。この場合の、床版ならびに主桁の断面構成を明らかにし、適用範囲を明確にすることが重要である。

⑨ 横構

現行示方書では、上路プレートガーダーでは上横構のみ省略が認められているが、最近の三次元FEM解析の結果から下横構も省略可能なことが示されている。

3. 3まとめ

本章では設計基準に関する検討課題について簡単に触れた。表-3.1にこれらの課題を整理して示す。

理論的ならびに実験的研究のみならず、実橋において積極的にこれらの課題について取り組む必要がある。

表-3.1 製作工費削減設計に対する道路橋示方書の構造条項

条項	項目	規定	阻害理由と緩和案	根拠
1.6	鋼種の選定	鋼種 SM400, SM490C, SM520, SM570 SMA400CW, SMA490CW, AMA570W 板厚規定 $8\text{mm} \leq t \leq 50\text{mm}$	少主桁化に伴う大断面化 (厚肉鋼板の使用による工数削減) ↓ 鋼種、最大板厚等は J I S に準拠 最大板厚: 100mm~200mm	J I S 規格 TMCP 鋼 その他新機能鋼材
3.1.5	疲労の影響	鋼床版ならびに軌道または鉄道を併用する場合等を除き、疲労の考慮は不要。	疲労許容応力規定がないため、疲労対策設計の効果の評価が困難。 (特に超長寿命設計の場合) ↓ 疲労照査基準の明確化	疲労設計による構造の簡素化 疲労許容応力度による寿命照査
4.1.1	部材の連結:一般	主要部材の連結は作用応力に対するほか、母材の全強の 75%以上の強度を持つように設計しなければならない。(せん断は作用応力のみ)	工数削減のため断面変化を少なくすると高力ボルト摩擦接合による連結が不経済となる ↓ 75%の緩和	
6	床版	RC, 鋼床版のみ詳細規定	6.1.4 床版の設計曲げモーメントで与えられる適用支間は最大 4 m ↓ 最大 4 m を越える床版の設計曲げモーメント	長支間床版の研究成果
6.2.5	デッキプレートの最小板厚	車道部: $t \geq 0.035b$ (ただし $t \geq 12\text{mm}$) b: 縦リブ間隔	輪荷重によるデッキプレート撓みを縦リブ間隔の 1/500 以下に制御 (舗装の耐久性のみ考慮) ↓ デッキプレート板厚の自由選択 (鋼床版デッキプレート設計法の見直し)	
8.3.1	引張フランジ 自由突出部の板厚	鋼種によらず自由突出幅の 1/16 以上	フランジ幅一定の設計をした場合に桁単部で不経済 ↓ 有効幅で照査	
8.5.3	垂直補剛材の取付け方 支点部以外	垂直補剛材と引張りフランジは適当な間隔を空けて取付ける	適当 = 35 mm程度 ↓ 疲労設計上の評価が曖昧	鉄道橋の構造詳細との比較
8.8.1	対傾構 (1)	I 断面及び π 断面プレートガーダーでは、6m 以内でかつフランジ幅の 30 倍を越えない範囲で中間対傾構を設けなければならない。 箱桁断面プレートガーダー橋でもこれに準じるのが良い。	対傾構の取付け部が構造を複雑化 ↓ 構造の単純化のため 6m の制約を拡大	F E M 立体解析結果
8.8.1	対傾構 (2)	床版が 3 本以上の桁で支持されかつ、桁の支間が 10m を越える場合は、それらの桁の間に剛な荷重分配横桁を設けなければならぬ。荷重分配横桁の間隔は 20m を越えてはならない。	荷重分配横桁の最大間隔 20m により部材数が増加 ↓ 最大間隔の緩和	床版の荷重分配作用を積極的に考慮
8.8.2	横構	I 形断面プレートガーダー橋には、横荷重を支承に円滑に伝達するよう上横構、下横構を設けるのを原則とする。 *上路 PG; 上横構は省略可能 *支間 25m 以下で強固な対傾構がある場合: 下横構省略可能 *曲線桁では省略不可	支間 25m 以上の PG では、下横構の部材数と取り付け加工数が大 ↓ 最大支間の緩和による下横構の省略範囲拡大	床版の横荷重分担作用の積極的評価
2.2.3	溶接部の許容応力 (現場溶接)	所要の検査が行われる全断面ガルフ溶接以外の現場溶接継手は工場溶接の許容応力度の 90%	検査を前提に 100%	現場溶接の品質管理規定