

鉛直局部荷重を受ける合成桁腹板の安全性照査と耐荷力

首都大学東京大学院 学生会員 ○ 川島 優
 首都大学東京大学院 正会員 野上 邦栄
 JFE エンジニアリング(株) 正会員 深谷 道夫
 (株)長大 正会員 宮下 健治

1. 研究背景と目的

鋼橋の架設工法は、橋梁の形式・現場の地形・工期・費用などの様々な制約条件によって決定される。その中で手延式送り出し工法を用いて鋼桁を移動させる場合には、送り出し装置上で鉛直反力が発生するほか、曲げモーメント・せん断力などの鋼桁腹板に作用する断面力の影響から、腹板座屈および局所崩壊（クリッピング）に対する安全性の確保が不可欠となる。現在、送り出し装置による鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性に対する照査は、鋼道路橋施工便覧¹⁾（以下、便覧と呼ぶ）、鋼構造架設設計施工指針²⁾（以下、指針と呼ぶ）、あるいはDAS³⁾指針012³⁾に基づいて行われることが多い。

ところで、近年、桁橋の設計において、1996年の鋼道路橋設計ガイドライン(案)を契機に、少数主桁橋をはじめとした合理化された橋梁設計が、Nexcoを中心に主に高速道路橋に採用されている。しかし、少数主桁橋は一般的な従来橋梁と比べ断面形状が異なるため、合理化桁橋への前述の基準の適用には疑問が残る。さらに、限界状態設計の導入や性能照査型設計法への移行という観点から、鋼橋の新たな構造設計、施工方法の見直しが求められている。そこで、本研究では、鉛直局部荷重を受ける少数主桁橋の腹板⁴⁾に着目して、便覧と指針の座屈安全性照査式の相違点を明確にし、両照査方法による座屈安全性評価への影響、鋼桁の終局挙動および強度相関関係を明らかにする。

2. 数値解析手法

2.1 解析モデル

対象橋梁は、(a)支間長3@60mの一般桁橋、および(b)支間長3@67.2mの少補剛設計を適用した合理化桁として試設計した3径間連続2主合成I桁橋を解析モデルとする。図1、2に合理化橋梁の一般図および両橋梁の断面図を示す。解析は、送り出し工法によって架設する場合を想定し、送り出し装置上の腹板パネルに着目する。なお、本論文では、曲げが卓越する支間中央の1パネルに着目した結果を扱う。

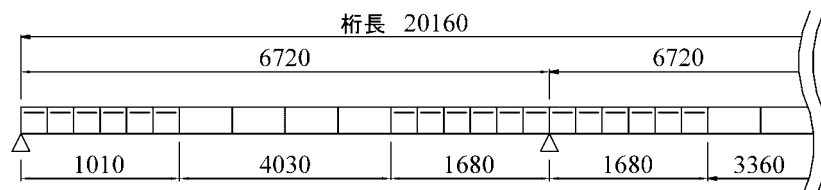


図1：合理化橋梁一般図 [cm]

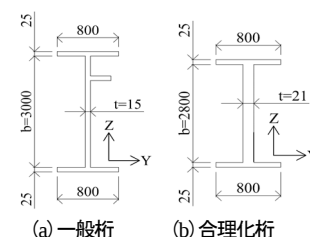


図2：断面形状 [mm]

解析モデルは、図3のように着目パネルとその隣接パネルはシェル要素、それ以外の部分ははり要素とした。ここに、RGを合理化設計した主桁断面、EGは手延桁断面を意味する。また、鋼部材は一般桁でSM490Y材を、合理化桁でSM490Y材とSM570材を用い、降伏条件はvon-mises、構成則は完全弾塑性体とした。

ここで、送り出し装置の受け幅は $c=600\text{mm}$ に固定した。境界条件は、桁端部をローラー支持、中央支点をピン支持とし、横桁位置では面外方向変位を拘束した。また、送り出し装置支承板をローラー支持とし、下フランジとの境界部にはばね要素を配置した。

2.2 解析条件

図4に示す着目パネルのアスペクト比 $\alpha(=a/b)$ は1.0, 1.5, 2.0, 3.0の4種類とした。荷重条件は、鋼桁死荷重と手延機重量を考慮し、鋼桁の断面変化を考慮して荷重を1.25倍した値を用い、荷重を漸増载荷する。

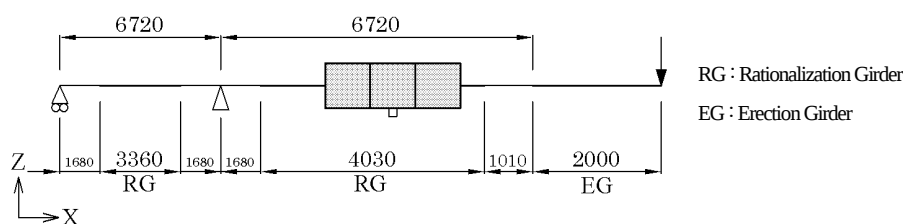


図3：合理化桁解析モデル要素配置 [cm]

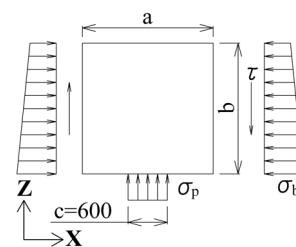


図4：腹板パネル形状 [mm]

キーワード 合理化桁, 座屈安全照査式, 終局強度特性, 分岐点, 強度相関式
 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-1111

3. 座屈安全性照査

鉛直局部荷重を受ける鋼桁腹板の座屈安全性照査式は、便覧において式(1)、指針において式(2)のように規定されている。

$$\left(\frac{\sigma_{xb}}{\sigma_{xbcr}}\right)^2 \cdot F_s^2 + \left(\frac{\pm \sigma_{xc}}{\sigma_{xcr}}\right) \cdot F_s + \left(\frac{\gamma \cdot \tau}{\tau_{cr}}\right)^2 \cdot F_s^2 + \left(\frac{\gamma \cdot \sigma_p}{\sigma_{pcr}}\right)^2 \cdot F_s^2 \leq 1.0 \quad \dots (1) \quad F_s \left\{ \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_{bcr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right) + \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{pcr}}\right) \right\} \leq 1.0 \quad \dots (2)$$

ここに、 F_s を合成座屈安全率、 σ_b を曲げ応力度、 τ をせん断応力度、 σ_p を鉛直圧縮応力度、 σ_{xb} を純曲げ応力度、 σ_{xc} を軸応力度、 σ_{xbcr} 、 τ_{cr} 、 σ_{pcr} 、 σ_{xbcr} 、 σ_{xcr} をそれぞれの座屈応力度、 γ は不均等荷重による割増係数を意味する。設計荷重を載荷したときの便覧、指針による照査結果を、図5および図6に示す。横軸はアスペクト比 α 、縦軸は合成座屈安全率 F_s である。図5の一般桁の照査では、照査を満足するのは $\alpha=1.0, 1.5$ を便覧によって照査したときのみである。一方、図6の合理化桁の照査では $\alpha=3.0$ の指針によって照査したときを除き、所要の座屈安全率を満足する結果となった。また、便覧と指針とを比較すると、同じ条件下では指針の方が安全側の値を示す傾向にあり、アスペクト比が大きくなると F_s の値は減少傾向にある。なお、一般桁において道路橋示方書⁵⁾では許容アスペクト比を $\alpha \leq 1.5$ としており、便覧の照査では、一般桁と合理化桁と共に、許容アスペクト比の適用範囲ならば照査を満足している。

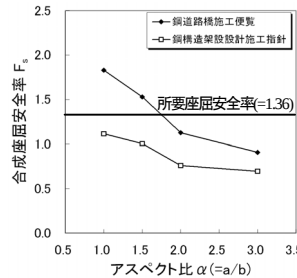


図5：一般桁の座屈安全性照査結果

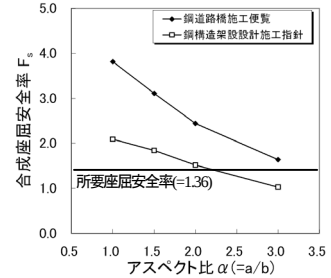


図6：合理化桁の座屈安全性照査結果

4. 終局強度特性

4.1 弾塑性挙動

弾塑性有限変位解析を実施したときの荷重変位曲線を図7に示す。横軸は鋼桁腹板の面外方向変位が最大となる箇所の面外方向変位、縦軸は設計時の荷重に対する荷重倍率である。終局時および初期降伏開始時の荷重倍率は共に、合理化桁より一般桁の方が高い傾向にある。全ケースの終局時の荷重倍率は4.5倍～6.4倍の範囲になった。また、一般桁の荷重変位曲線が初期荷重状態から非線形性が現れているのに比べて、合理化桁は分岐点(σ_a)を境に突然面外変位が大きく増加している。

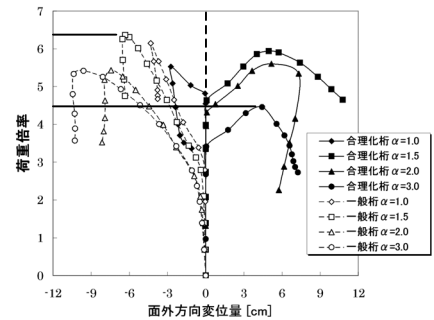


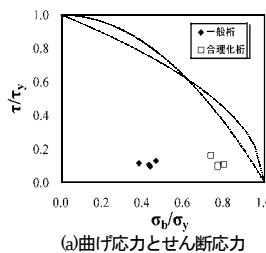
図7：鋼桁腹板の耐荷力曲線

4.2 強度相関関係

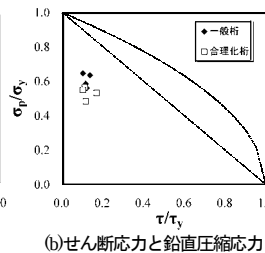
全解析ケースにおける、終局時の鋼桁腹板に作用する曲げ応力度 σ_b 、せん断応力度 τ 、鉛直圧縮応力度 σ_p の組合せ応力状態を図8に示す。ここで、今回の解析では $\sigma_a > \sigma_y$ となったことから、組合せ応力度に対する強度相関式は下記のように提案できた。なお、 σ_y は降伏応力度、 τ_y は降伏せん断応力度である。

$$\text{一般桁: } \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_y}\right) + \left\{ \left(\frac{\tau}{\tau_y}\right) + \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_y}\right) \right\}^2 \leq 1 \quad \dots (3)$$

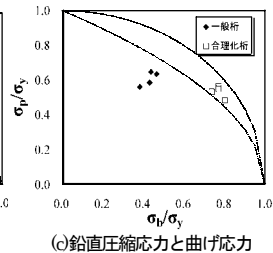
$$\text{合理化桁: } \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_y}\right) + \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_y}\right)^2 \leq 1 \quad \dots (4)$$



(a) 曲げ応力とせん断応力



(b) せん断応力と鉛直圧縮応力



(c) 鉛直圧縮応力と曲げ応力

図8：組合せ応力状態

5. 結論

- 1) 便覧と指針の照査結果を比較すると、指針の方が安全側の結果を与える傾向がある。
- 2) 今回解析を行った一般桁と合理化桁の耐荷力を比較すると、合理化桁の終局時の荷重倍率が低いことが明確になった。
- 3) 終局時の座屈安全性照査に用いる強度相関式として、一般桁では式(3)、合理化桁では式(4)を提案できた。

参考文献 1) 日本道路協会：鋼道路橋施工便覧、(1985年)

2) 土木学会：鋼構造架設計施工指針、(2001年)

3) DASI 指針012、(1978年)

4) 宮下健治、野上邦栄、山沢哲也：鉛直局部荷重を受ける合理化桁腹板のクリップリングとその補強方法、構造学論文集、Vol.54A、(2008年3月)

5) 日本道路協会：道路橋示方書、Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編、(2002年)