

鋼合成桁の設計上の課題

(株)片平新日本技研・中国支店長 正会員 ○田渕 智秀，同・中国支店 技術部長 正会員 高 龍
同・中国支店 技術部 正会員 宮路健太郎

1. はじめに

H29 年に道路橋示方書¹⁾は許容応力度設計法から限界状態設計法へ切替えられ、Ⅰ共通編は一新されたが、上部構造を対象としたⅡ鋼橋・鋼部材編とⅢコンクリート橋・コンクリート部材編の橋種別規定は、S48 年の大改編時から殆ど変わってない。特にプレストレスしない連続鋼合成桁の規定は S48 年に初めて導入されたが、我国では多数の床版の破損事故により鋼合成桁は凍結され、規定は顧みられずに放置されたままにある。新道示Ⅱの基調は実際の挙動に近い床版合成作用の考慮を推奨すると読み取れるものの、合成桁の規定にはここ半世紀間の内外での実験や検討は取り込まれてなく、計算例^{2)~4)}を含めて幾つかの疑問が感じられる。

また数少ない市販の設計計算ソフトを比較するとき、集計値では数値に大きな違いはないものの、応力交番部の集計値や個々の荷重状態の応力を比較すると数値の違いが目につくものがある．このような違いは前道示のときからあり、私共は社報⁵⁾で報告してきた．しかしソフト会社と技術的に同じ土俵上での議論ができず、また計算過程の開示も無いままに新道示に移行した．したがって問題は未だに残っているはずである．

このような状況から設計現場では混乱が増しているため、設計計算の基本方針の試案並びに問題点を幾つか提示し、議論を深めていきたい。

2. 鋼合成桁の設計計算の要点

下記の事項は詳しくは社報⁵⁾を参照されたい。

(1) 施工手順を追った設計計算ステップ

標準的な連続合成桁に対する設計手順を図-1に示し、その要点を次に記す。

- a) 床版コンクリートは区分打設と逐次合成を繰り返して計算を進め、床版の引張応力度の応答値は打設完了まで引張強度の制限値以下となるように打設区分と手順を計画する。床版に無理を強いないための処置である。
- b) ただし後死荷重以降の荷重で中間支点部床版のひび割れは避けられないので、橋面工の完工時点で予め中間支点の両側 0.15l 区間の床版の剛性をゼロとおき、応力を解放して断面力の再分配を図る。

(2) 基準座標の設定と剛性方程式の計算

構造解析の基準線を図心軸に採ると軸方向力と曲げ・せん断のつり合い式が連成せず、剛性方程式も既往の公式を適用できる利点があるが、合成桁ではその時々(合成前・後、合成後でもクリープ、乾燥収縮、床版のひび割れ)に応じて桁の図心軸は変化し(図-2、3)、その度に座標と断面力を定義し直せばならず非常に煩雑になる。そこで私共では解析の基準線は全ての状態に対して共通とし桁上縁と平行に任意の位置に定め(図-3)、その線上で桁の変位と断面力(合成桁断面力 $N_v \cdot S_v \cdot M_v$ 、以下**合断面力**)を定義する。その場合一般に軸方向力と曲げ・せん断のつり合い式が連成して公式が適用できなくなるので剛性方程式は社報⁶⁾を基に算出している。

(3) 分担断面力とその活用

合成前と後のように異なる断面状態での合断面力を集計しても、それを基に応力度を計算できないので意味がない。ただし合成断面を構成する個々の要素の断面力、すなわち図-2 の分担断面力、に分解すれば集計が

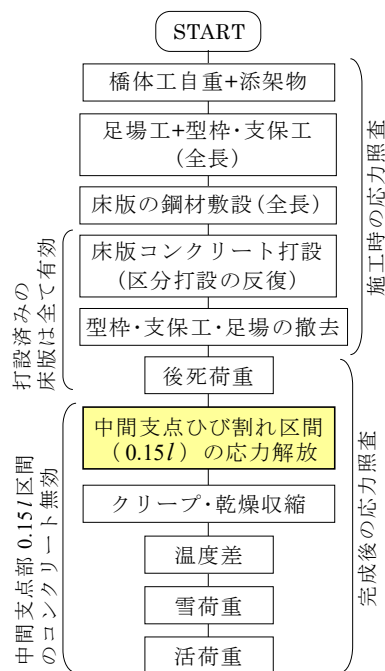


図-1 断面力の計算手順

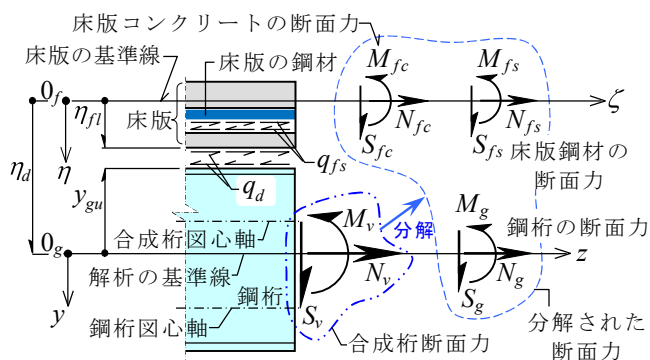


図-2 基準線と分担断面力

キーワード 鋼合成桁，逐次合成，分担断面力，内的自己つり合い系応力，床版のひび割れに伴う応力解放
連絡先 〒733-0013 広島市西区横川新町 13-1 (株)片平新日本技研 中国支社 TEL 082-295-3181

可能になる。この他にも分担断面力はクリープ計算や床版のひび割れによるコンクリート応力の解放計算に便利に活用できる。社報⁷⁾を参照されたい。

(4) 内的自己つり合い系応力に関する問題

床版と鋼桁間の温度差や床版コンクリートのクリープ・乾燥収縮に伴う内的自己つり合い系応力に関しては道示Ⅱの14.2.2～14.2.4にS48年版から変わりがなく図解で概説されている。ただしクリープでは等曲げ状態を設定しており、せん断力が作用する場合には数値上で僅かに誤差を含むが実用上は問題が無い。問題は日本橋梁建設協会の設計例²⁾にあるが、その説明の前に最も単純な温度差応力の計算過程を見ておく。

図-3(a)は両端固定の合成部材の床版に温度下降 $-t^{\circ}\text{C}$ が起き床版全長に亘り $\sigma_f^{(t)} = E_f \cdot t \cdot \alpha_t$ なる温度応力が生じた状態である(E_f は床版のヤング係数、 α_t は線膨張係数)。床版と固定壁の間にも同様に $\sigma_f^{(t)}$ が作用し、それが等価節点力 $\bar{H}_f^{(t)} = -\sigma_f^{(t)} \cdot A_f$ を構成する。図-3(b)は終端側の固定条件を外した状態を示し、 $\bar{H}_f^{(t)}$ が終端断面に表面力として作用して部材に軸方向力 $N_v^{(t)} = \bar{H}_f^{(t)}$ と曲げ $M_v^{(t)} = \bar{H}_f^{(t)} \cdot d_v$ を発生させる。これによる鋼桁の応力度 $\sigma_g^{(t)}$ は式(1)で算出する(A_v と I_v は合成断面の断面定数、 e_v はその図心の y 座標)。

この式(1)までの計算は設計例²⁾でも同様に行われ問題は無い。しかし、床版コンクリート応力の応答値が引張の制限値を超えてひび割れる状態に対して設計例²⁾では鋼桁の応力度を式(2)で算定しており(A_g と I_g は鋼桁の断面定数、 e_g はその図心の y 座標)、これには次の二つの疑問を感じる。

疑問-1: 式(2)において $\bar{H}_f^{(t)}$ を床版が有効の状態で算定しているが、床版コンクリートがひび割れる状態を対象としているので図-3(a)の $\sigma_f^{(t)}$ は発生せず、したがって $\bar{H}_f^{(t)} = 0$ であるべきではないか？

疑問-2: 式(2)では鋼桁を対象としているので曲げの項 $H_f^{(t)} \cdot d_v$ は $H_f^{(t)} \cdot d_g$ とすべきではないか？

これらは力学上では初歩的な誤りに入る。クリープ・乾燥収縮の計算でも同様で、設計例において鋼桁上フランジで6 mmの増厚⁴⁾を招いた原因である。これを工学上の便宜的な扱いとするなら相応の説明が必要と考える。そのため当社のOBが道示改訂委員会に質疑を複数回上げたが、有意な回答はいまだ頂いていない。

3. あとがき

以上は鋼合成桁の設計課題の一部であり、設計現場での扱いはこれまで以上に混乱している。橋梁の設計者は力学の基本を広く理解しておくことが求められるが、OAやAIの導入に伴い設計計算は設計者の手から離れ、必要とされる力学上の判断部分が設計現場並びに関連部門で空洞化してきている。このような状況が続くと思わぬ結果を招きかねず、非常に危険な状態になりつつあるように感ぜられる。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ 共通編、Ⅱ 鋼橋・鋼部材編、Ⅲ コンクリート橋・コンクリート部材編，2017.11(H29.11)
- 2) 日本橋梁建設協会：合成桁の設計例と解説，～道示 平成29年11月版対応～，2018.2
- 3) 日本道路協会：平成29年道路橋示方書に基づく道路橋の設計計算例，2018.6
- 4) 掘井・井原：H29道示による合成桁の設計と非合成桁の照査，橋梁と基礎，2019.5
- 5) 梶田・他：鋼連続合成桁の設計における幾つかの問題点，新日本技研(株)・技術報告，2011-3
- 6) 梶田・他：不完全合成部材の解析，新日本技研(株)・技術報告，2011-1
- 7) 高・他：合成桁の分担断面力，新日本技研(株)・技術報告，2011-2

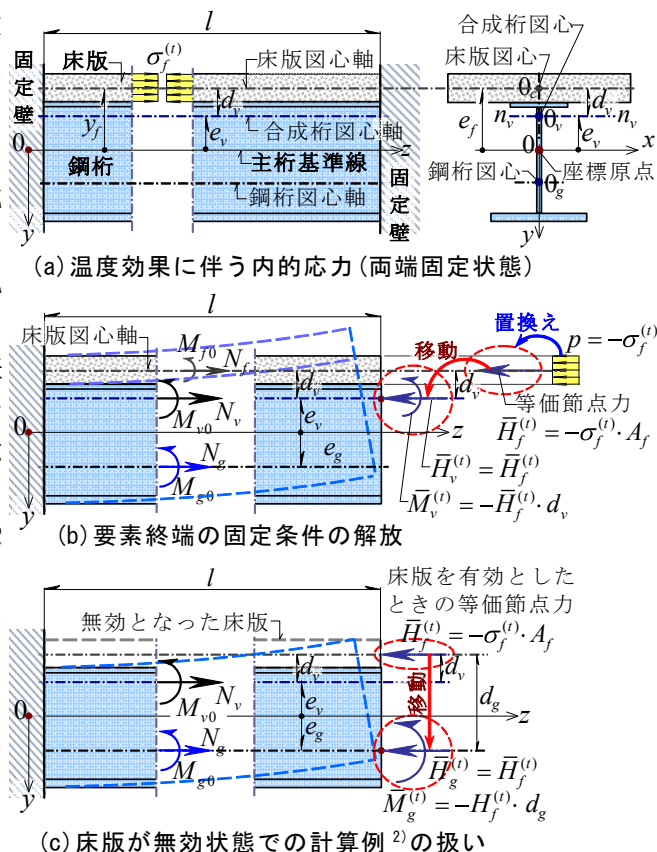


図-3 温度差応力の算定モデル

$$\sigma_g^{(t)} = \frac{H_f^{(t)}}{A_v} + \frac{H_f^{(t)} \cdot d_v}{I_v} (y - e_v) \quad \cdots (1)$$

$$\sigma_g^{(t)} = \frac{H_f^{(t)}}{A_g} + \frac{H_f^{(t)} \cdot d_v}{I_g} (y - e_g) \quad \cdots (2)$$