

# 連続合成桁の初期ひび割れ状態を考慮したひび割れ幅制御設計法の提案

建設構造研究室 PHAN QUY THANH

指導教官： 長井 正嗣

岩崎 英治

## 1. はじめに

鋼橋において、経済性の達成のために、1980年代には姿を消した、鋼とコンクリートを合成させた連続合成桁が復活し始め、建設数が増える傾向にある。

合成桁を連続桁に採用すると中間支点上で負曲げモーメントが発生し、コンクリート床版に引張力が生じて床版のひび割れ発生の原因となり耐久性を阻害することになる。

具体的な設計法として、ひび割れを許さない設計と許容する設計がある。前者はプレストレスの導入が必要となりコストアップの要因となる。後者はひび割れ幅を許容値以内に制御する手法で、コストを低減する意味からも多用され始めている。

## 2. 研究の背景

道路橋示方書<sup>1)</sup>(以後、道示と呼ぶ)では、ひび割れ幅を計算せず、コンクリート床版内に鉄筋を2%以上配置すること、また、発生する鉄筋応力を材質に関係なく120~140N/mm<sup>2</sup>以下に抑えることで間接的な制御設計を行っている。

さて、ひび割れ幅(w)の算定式は、コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>に次のように規定されている。

$$w = \{4C + 0.7(C_s - \phi)\} \left[ \frac{\sigma_{se}}{E_s} + 150\mu \right] \quad (1)$$

基本的にひび割れ間隔に鉄筋の平均ひずみを乗じる。また、150 $\mu$ はひび割れ後のクリープや収縮によるひび割れの広がりを考慮する係数である。コンクリート標準示方書の $\sigma_{se}$ の定義は明確ではないが、複鉄筋断面での鉄筋応力を求めることから、平均ではなく最大を用いているものと考えられる。

さて、現在合成桁を対象としたひび割れ幅の算定法は先に説明したコンクリート標準示方書<sup>2)</sup>に準じており、(社)日本橋梁建設協会の設計例<sup>3)</sup>(2001年発行)と日本道路公団(JH)マニュアルの設計例<sup>4)</sup>(2002年発行)が利用されている。前者は $\sigma_{se}$ に、コンクリートを無視した「鋼桁+鉄筋」断面で求まる鉄筋応力を使用する。後者の $\sigma_{se}$ は、コンクリートの tension stiffening 効果(引張剛性)を考慮し、かつ平均応力を使用する。このように、両者では異なった対応が取られている。

これを図示すると、図1ようになる。縦軸が床版の分担軸力( $N_c$ )で、横軸が作用モーメント(M)である。作用モーメントとともに分担軸力が大きくなっているが、ひび割れが一旦入ると、次々とひび割れが生じ、この領域では軸力がほぼ一定となる。この状態を初期ひび割れ状態と呼ぶ。更に曲げ

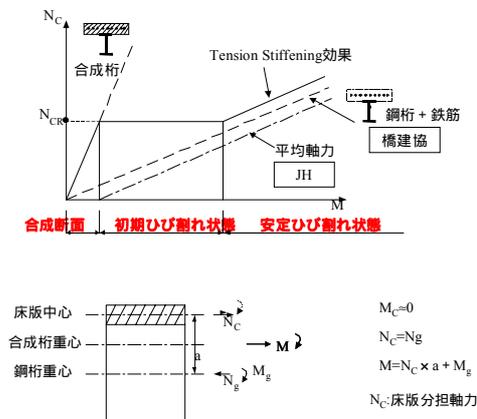


図 - 1 M-N<sub>c</sub> 関係

モーメントを増加させると、新たなひび割れの発生はほとんど無くなり、ひび割れ幅が広がっていく。この状態を安定ひび割れ状態という。

さて、橋建協は図中の破線の軸力を鉄筋断面積で割って  $s_e$  を算出する。一方、JHは一点鎖線（平均）の軸力を鉄筋断面積で割って  $s_e$  を算出する。

### 3. 研究の目的

先に説明した設計手法では、

- (1) ひび割れ幅の計算は、ひび割れ状態に関係なく安定ひび割れ状態を対象としている。
- (2) 軸力の評価にあたり、初期ひび割れ状態の軸力が評価できていない。

もし、設計曲げモーメントが初期ひび割れ状態にある場合には、現行法には問題があると考えられる。そこで、本研究では、初期ひび割れ状態を考慮した新しいひび割れ幅制御設計法を提案する。

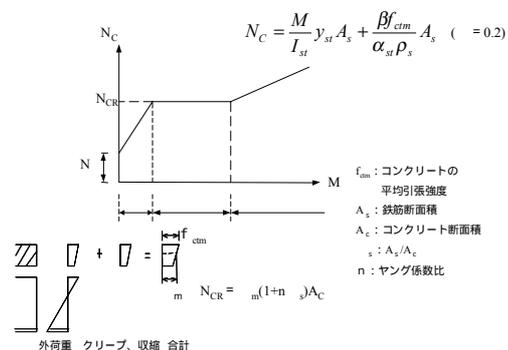


図 - 2 M-N<sub>c</sub> 関係作図

### 4. 新しいひび割れ幅制御設計法の提案

#### (1) M-N<sub>c</sub> の関係図

作用曲げモーメント(M)と床版の分担軸力(N<sub>c</sub>)の関係を作図する(図 2 参照)。図中に示す式を用いて作画が可能となるが、クリープや収縮による応力(軸力: N)は当初、コンクリートがひび割れていないとして計算し求める。一方、設計モーメントについては、コンクリートがひび割れているとして、すなわち不静定モーメントのみを考える。

この図より、設計曲げモーメントが初期ひび割れ状態にあるか、安定ひび割れ状態にあるかを判定する。

#### (2) ひび割れ幅

ひび割れ間隔と鉄筋応力の平均値が必要になる。まず、初期ひび割れ時のひび割れ幅には CEB-FIP の規定値を使う。安定ひび割れ移行時には JH マニュアルの式を使用する。

これより、初期ひび割れ時と安定ひび割れ時のひび割れ幅はここに示すように定義される。

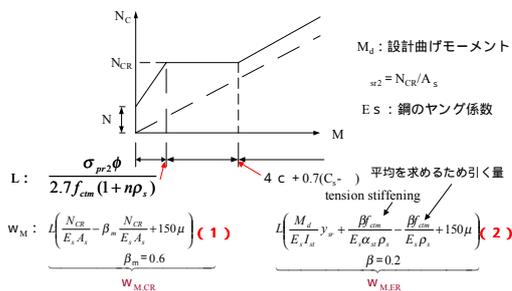


図 - 3 ひび割れ幅

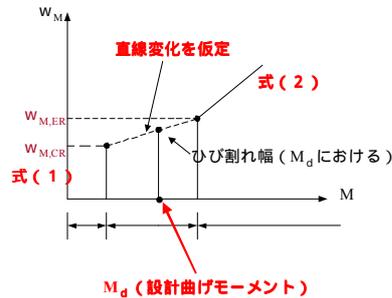


図 - 4 ひび割れ幅の推定

### (3) ひび割れ幅の推定

設計曲げモーメントが安定ひび割れ状態にある場合は、図 3 に示す安定ひび割れ状態でのひび割れ幅の式(2)を用いる。一方、初期ひび割れ状態にある場合は、図 - 4 に示すよう、初期ひび割れ時と安定ひび割れ移行時のひび割れ幅算定式(1)(2)から直線変化を仮定してひび割れ幅を求める。

### (4) ひび割れ幅照査法

#### a) 主桁作用：

$$W_M < W_a \quad (2)$$

#### b) 床版作用：

$$W_B = \left\{ 4C + 0.7(C_S - \phi) \right\} \left( \frac{\sigma_B}{E_S} - \frac{\beta f_{ctm}}{E_S \rho_s} + 150\mu \right) \quad (3)$$

$W_B < W_a$

重ね合わせは、ひび割れが雨水の進入の可能性が低い床版下面に生じることから行わない。

### (5) 鉄筋応力の参照法

#### a) 主桁作用

初期ひび割れ状態：

$$\sigma_M = \frac{N_{CR}}{A_S} \leq 140 \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

安定ひび割れ状態：

$$\sigma_M = \frac{M_d}{I_{st}} y_{sr} + \frac{\beta f_{ctm}}{\alpha_{st} \rho_s} \leq 140 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

#### b) 床版作用

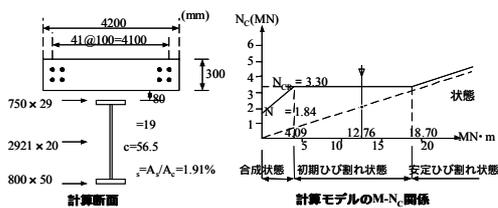
$$\sigma_B \leq 120 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

#### c) 重ね合せ

$$\sigma_M + \sigma_B \leq 1.4 \times 180 \text{ N/mm}^2 \quad \text{提案} \quad (7)$$

$1.2 \times 140 \text{ N/mm}^2 \quad \text{道示}$

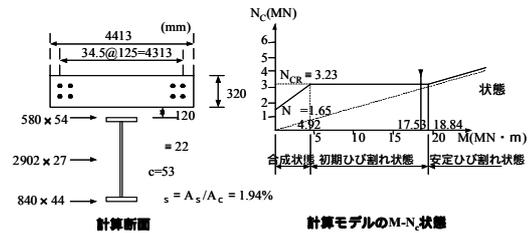
主桁作用、床版作用による許容鉄筋応力度は、現行道路橋示方書の規定値を使う。道示では、ひび割れ幅を照査しないことから鉄筋応力を材質に関係なく低く抑えている。一方、重ね合わせについては、本研究では制限を緩めることとする。



計算モデルのひび割れ幅の算定(mm)

| 初期ひび割れ時 | 安定ひび割れ時 | 推定ひび割れ       | $w_s=0.0085C$ | 橋建方式         | JH方式         |
|---------|---------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| 0.149   | 0.209   | <b>0.188</b> | <b>0.188</b>  | <b>0.167</b> | <b>0.181</b> |

図 - 5 計算例 1



計算モデルのひび割れ幅の算定(mm)

| 初期ひび割れ時 | 安定ひび割れ時 | 推定ひび割れ       | $w_s=0.0086C$ | 橋建方式         | JH方式  |
|---------|---------|--------------|---------------|--------------|-------|
| 0.136   | 0.187   | <b>0.182</b> | <b>0.186</b>  | <b>0.201</b> | 0.175 |

図 - 6 計算例 2

## 5. 計算例

### (1) 計算例 1

この計算例は、橋建協の計算モデル(スパン 50m)を参照にしたものである。中間支点部の断面形状・寸法及び M-N<sub>c</sub> 曲線を示す。このケースでは、ひび割れ状態は初期ひび割れ状態にありことが分かる。表には、推定ひび割れ状態と、橋建方式、JH方式の結果を示す。本手法がもっとも大きなひび割れ幅を予測している。

### (2) 計算例 2

この計算は、JHの計算モデル(スパン 60m)を参照したものである。先と同様に、断面情報と M - N<sub>c</sub> 関係を示す。この場合、設計曲げモーメントでのひび割れ状態は安定ひび割れ状態に近いものの、初期ひび割れ状態にある。表には、推定ひび割れ幅を示すが、橋建方式では、許容値をオーバーすることになる。

## 6. 結論

本研究で得られた成果を要約すると以下

のようになる。

(1)初期ひび割れ状態と安定ひび割れ状態を使い分ける新たな設計法を提案した。

(2)本手法により、現行法で要求されるジャッキアップ、ダウンによるプレストレスの導入や鉄筋の大幅なアップ(3%近く)を不要とできる。

本研究では基本的な考え方をしめしたが、設計式に用いた係数は過去に提案された値を用いている。今後、実験等により改善していく必要があると考えている。

## [参考文献]

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説設計基準( 共通編, 鋼橋編, コンクリート橋編), 丸善, 2002。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書, 1996。
- 3) (社) 日本橋梁建設協会：PC 床版を有するプレストレスしない連続合成桁の設計例と解説, 2001。
- 4) (財) 高速道路技術センター：PC 床版連続合成2 主桁橋の設計, 施工マニュアル, 2002。