

連続合成桁の各種ひび割れ幅算定法の比較

新日本技研(株) 正会員 ○徳力 健 (株)東京鐵骨橋梁 正会員 大柳 英之  
 前橋工科大学 正会員 谷口 望 由井技術士事務所 フェロー 由井 洋三  
 立命館大学 正会員 野阪克義 JIPテクノインクス(株) 正会員 津久井 友  
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 橘 吉宏

1. はじめに

プレストレスしない連続合成桁の設計では、中間支点上に発生する床版コンクリートのひび割れ形成の影響を設計に導入するのが合理的である。欧州では、Roik, Hanswille らにより、合成桁のひび割れ制御設計の研究が盛んに行われ、現行の設計に導入されている。一方、国内では、NEXCOにより欧州の動向を積極的に取り入れ、ひび割れ幅算定式にコンクリート標準示方書の式を適用するなど、独自のひび割れ制御設計の導入により設計の合理化を図っている。ひび割れ制御設計において、ひび割れ幅の算定精度が合理的な設計を行ううえで重要である。そこで、国内外において提案されている種々のひび割れ幅算定法について比較を行い、その違いについて整理した。

2. 各種ひび割れ幅算定式の相違点の整理

比較対象としたひび割れ幅算定式は、表1の5種類とした。(1)式は、算定式②の最大ひび割れ幅  $w$  の算定式である。ひび割れは、発生状態により初期ひび割れ状態と安定ひび割れ状態の2段階があるが、本文では安定ひび割れ状態を対象とする。

表1 ひび割れ幅算定式

	出典
算定式①	鋼・合成構造標準示方書
算定式②	コンクリート標準示方書
算定式③	鉄道構造物設計標準
算定式④	中園らの式 <sup>1)</sup>
算定式⑤	Hanswilleの式 <sup>2)</sup>

$$w = 1.1k_1k_2k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[ \frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \quad (1)$$

ここで、 $k_1, k_2, k_3$  はそれぞれ鉄筋の表面形状、コンクリートの品質、鉄筋の段数の影響を考慮した係数、 $c$  はかぶり、 $c_s$  は鉄筋ピッチ、 $\phi$  は鉄筋径、 $\sigma_{se}$  は鉄筋応力度、 $E_s$  は鉄筋のヤング係数を示し、 $\varepsilon'_{csd}$  はコンクリートの収縮とクリープの影響で通常  $150 \mu$  を用いる。国内の算定式①、③、④は、係数や鉄筋応力度の設定に違いはあるが基本的には(1)式をベースとしている。一般に、最大ひび割れ幅は、最大ひび割れ間隔と鉄筋とコンクリートの平均ひずみ差の積で与えられる。国内の算定式①~④の最大ひび割れ間隔  $L$  は、すべて(1)式の第1項である  $4c + 0.7(c_s - \phi)$  で与えられ、コンクリート構造物のひび割れ設計で広く用いられている。なお、この式は、角田により鉄筋コンクリートはり部材を対象とした実験で得られた評価式である。一方、欧州では、ユーロコードを基準とした合成構造物の設計において算定式⑤が広く用いられる。ここで、最大ひび割れ間隔  $L$  は、コンクリートの付着応力状態から力学的に導かれるコンクリートのひび割れ導入長さ  $L_{es}$  の2倍としている(図1、(2)式)。最大ひび割れ幅  $w$  は(3)式で与えられる。なお、コンクリートの収縮とクリープの影響は  $150 \mu$  を考慮している。

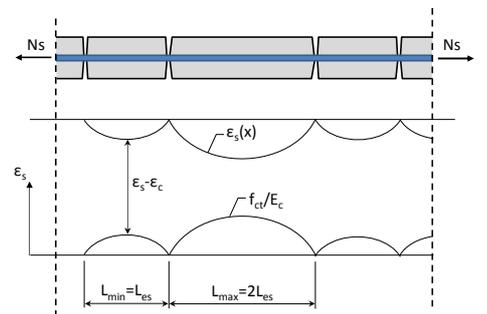


図1 安定ひび割れ時のひずみ分布

$$L_{es} = \frac{f_{ct} A_c}{\tau_{sm} U_s} = \frac{f_{ct} d_s}{4 \tau_{sm} \rho_s} \quad (2) \quad w = L(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 2L_{es}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (3)$$

ここで、 $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  は鉄筋とコンクリートの平均ひずみ差、 $f_{ct}$  はコンクリートの引張強度、 $A_c$  はコンクリートの断面積、 $d_s$  は鉄筋径、 $\tau_{sm}$  は平均付着応力、 $U_s$  は鉄筋周長、 $\rho_s$  は鉄筋比を示す。このように、国内と欧州では、ひび割れ幅算定式に関して実験式と理論式の違いがある。

キーワード 連続合成桁, ひび割れ幅, ひび割れ間隔

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23 新日本技研(株) 東京支社 設計部 TEL03-3453-4321

次に、各算定式を用いて算出したひび割れ間隔、ひび割れ幅の比較を行った。

表2 ひび割れ間隔、ひび割れ幅の比較

$\phi = 22\text{mm}$ , $c_s = 100\text{mm}$ , $c = 56.5\text{mm}$	最大ひび割れ間隔 (mm)	鉄筋とコンクリートの平均ひずみ差	最大ひび割れ幅 (mm)
①鋼・合成構造標準示方書	280.6	0.000485	0.136
②コンクリート標準示方書	280.6	0.000510	0.143
③鉄道構造物設計標準	280.6	0.000396	0.111
④中園らの式	280.6	0.000488	0.137
⑤Hanswilleの式	236.8	0.000401	0.095

3. 計算値の比較

計算結果を表2に示す。ここで、橋梁モデル、荷重条件、断面力は文献3)を用いた。

本計算結果では、算定式①～④は算定式⑤に比べて大きなひび割れ間隔とひび割れ幅を与えおり、国内のひび割れ幅算定式は、欧州に比べて安全側の評価を与えていることがわかる。算定式①～④のひび割れ幅は、コンクリートのテンションステイフニング (TS) 効果の有無や付着係数のとり方により微妙な差が生じているが、本計算結果からは、TS 効果がひび割れ幅に与える影響は小さいといえる。また、算定式③は、永久荷重を対象としており、収縮・クリープの影響、さらに低減係数が他の式と異なる。なお、算定式①～④は、安全側の立場よりコンクリートのひずみを無視した計算式となっている。

次に、算定式②と⑤に対して、鉄筋径と鉄筋ピッチを変えて最大ひび割れ間隔を算出した結果を表3, 4および図2に示す。算定式②は、鉄筋径の違いによる影響がほとんど見られず、鉄筋ピッチの影響も小さい。式の構成から、ひび割れ幅はかぶりの影響が支配的であり、鉄筋応力とかぶりでひび割れ制御が可能であると推測できる。なお、鉄筋比が小さいほど算定式②と⑤の差が広がる傾向が見られるが、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編では、ひび割れ幅抑制の観点から床版の鉄筋径はD22以下、鉄筋比は2%以上と規定しており、これを満たす範囲では両者に大きな違いは生じない。

4. まとめ

- ① 今回の計算例では、国内基準類によるひび割れ幅は、欧州に比べて安全側の評価を与える結果となった。鉄筋比2%以上に限定すると概ね同様の傾向が得られるが、その差は大きなものではない。
- ② ひび割れ幅の算定において、コンクリートのTS効果が与える影響は小さい。本計算の場合、ひずみ差の約3割を占めるコンクリートの収縮とクリープの影響のほうが大きい。
- ③ ドイツなど欧州では、ひび割れ幅は鉄筋応力度に応じて最大鉄筋径とピッチを制限することで制御する設計が行われている。国内においても、鉄筋応力度あるいは鉄筋比とかぶりの制限により、複雑な計算をせずともひび割れ幅の制御は可能と思われる。そのためのデータ整理が必要である。

本報告は、鋼構造委員会「鋼橋の合理的な構造設計法に関する調査研究小委員会」(委員長：野上邦栄)の成果の一部を編集したものである。

参考文献

- 1) 中園ら：PC床版を有する鋼連続合成2主桁橋の設計法(上)，橋梁と基礎，2002.3
- 2) Gerhard Hanswille：Cracking of concrete -Mechanical models of the design rules in Eurocode4-, Conference Report, Composite Construction in Steel and Concrete, ASCE, 1996.6
- 3) (社)日本橋梁建設協会：連続合成2主桁橋の設計例と解説，平成17年8月

表3 算定式②によるひび割れ間隔(mm)

		鉄筋ピッチ(mm)				
		100	125	150	200	250
鉄筋径	D16	284.8	302.3	319.8	354.8	389.8
	D19	282.7	300.2	317.7	352.7	387.7
	D22	280.6	298.1	315.6	350.6	385.6
	D25	278.5	296.0	313.5	348.5	383.5

表4 算定式⑤によるひび割れ間隔(mm)

		鉄筋ピッチ(mm)				
		100	125	150	200	250
鉄筋径	D16	336.8	427.4	505.0	673.4	823.0
	D19	276.4	351.8	415.6	555.6	685.4
	D22	236.8	301.0	355.2	473.8	587.6
	D25	205.4	262.0	308.6	411.0	506.8

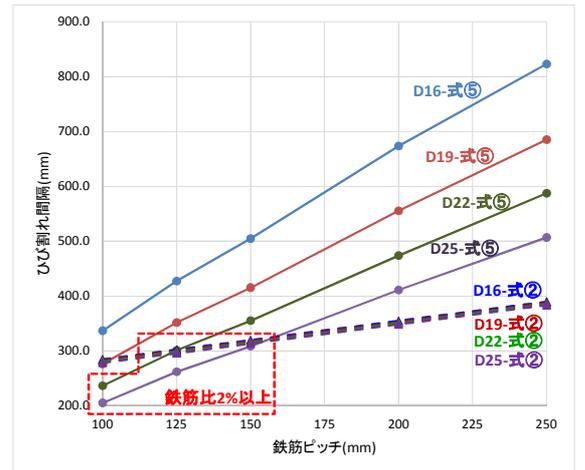


図2 鉄筋径・ピッチとひび割れ間隔の関係