

プレビーム合成桁での曲げひび割れ幅算定式の誘導

川田テクノシステム株式会社 正会員 ○小川 利之 清水 良平
 川田工業株式会社 正会員 野呂 直樹 藤林 博明
 大阪工業大学 フェロー 栗田 章光

1. はじめに

ひび割れを許容するコンクリート部材の設計では、精度の高いひび割れ幅算定式から設計応答値を把握することが重要である。一般的なRC部材の曲げひび割れ幅の算定式は、コンクリート標準示方書¹⁾(以下、コン示)に示されている。これに対し、プレビーム合成桁(以下、プレビーム)は、鋼桁、下フランジコンクリートおよび床版コンクリートからなる合成構造であるため、独自の構造を踏まえた算定式を誘導することが重要であると考えられる。

本文では、プレビーム独自の構造を考慮した下フランジコンクリートの曲げひび割れ幅算定式を誘導し、コン示式から求めたひび割れ幅と比較した結果を報告する。なお、算定式の誘導に際しては、Eurocode 4に示されているひび割れ後のRC部材にテンションスティフニング効果を考慮した力学モデルを使用した。

2. ひび割れ幅算定の基本式

参考文献2)では、安定ひび割れ状態にあるRC部材のひずみ分布図が、図-1のように示されている。これによると、最大ひび割れ幅 W_{max} は伝達長 L_{es} 内の鉄筋の平均ひずみ ϵ_{sm} とコンクリートの平均ひずみ ϵ_{cm} の差から式(1)のとおり、求められる。

$$W_{max} = 2L_{es}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、コンクリートの引張強度と付着強度の関係から、 L_{es} は式(2)で示される。

$$L_{es} = \frac{f_{ctm} \cdot A_c}{\tau_{sm} \cdot U_s} = \frac{f_{ctm} \cdot d_s}{4 \cdot \tau_{sm} \cdot p} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 f_{ctm} : コンクリートの引張強度(N/mm^2)

A_c : コンクリートの断面積(mm^2)

τ_{sm} : コンクリートの付着強度(N/mm^2)

U_s : 鉄筋の周長(mm)

d_s : 鉄筋径(mm)

p : 鉄筋比(= A_s / A_c)

A_s : 鉄筋の断面積(mm^2)

ϵ_{sm} : 鉄筋の平均ひずみ

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_{sm}}{E_s} = \frac{1}{E_s} \{ \sigma_s(1 - \beta) + \beta \cdot \sigma_s' \} \quad \dots\dots (3)$$

ϵ_{cm} : コンクリートの平均ひずみ

$$\epsilon_{cm} = \frac{1}{E_c} \cdot \beta \cdot \sigma_c \quad \dots\dots (4)$$

σ_{sm} : 鉄筋の平均応力度(N/mm^2)

E_s, E_c : 鋼, コンクリートの静弾性係数(N/mm^2)
 β : 鉄筋とコンクリートの付着性状より求まるパラメータ(=0.4)
 σ_s : 鉄筋断面のみの場合の鉄筋応力度(N/mm^2)
 σ_s' : RC断面での鉄筋応力度(N/mm^2)
 σ_c : コンクリートの応力度(N/mm^2)

3. プレビームの曲げひび割れ幅算定式の誘導

プレビームの下フランジコンクリートは活荷重載荷時に引張応力の発生を許容した設計を行っている。したがって、供用時の断面照査は図-2に示すように、全断面有効とした状態Iと下フランジコンクリートを無視した状態IIの2ケースを行っている。

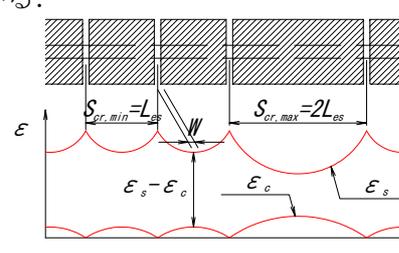


図-1 安定ひび割れ状態でのひずみ分布図

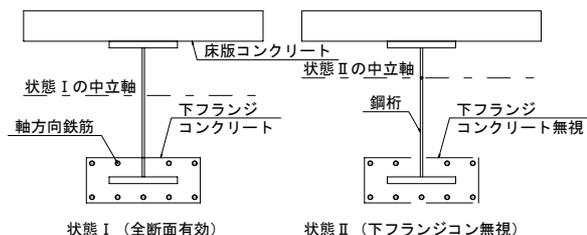


図-2 抵抗断面の概要図

キーワード プレビーム, 合成桁, テンションスティフニング, ひび割れ

連絡先 〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江1-22-19 川田工業株式会社 大阪支社 鋼構造事業部 技術部

式(1)を用いて、プレビームのひび割れ幅算定式を誘導するにあたり、状態Ⅰ・Ⅱでの鉄筋ならびに下フランジコンクリートの発生応力度の差を求める必要がある。分担断面法を用いて各状態での発生応力度の算定式を基本式に代入すると、式(5)で示すプレビームの曲げひび割れ幅算定式が誘導できる。

$$w_{\max} = \frac{f_{ctm} \cdot d_s}{2\tau_{sm} \cdot p} \cdot \frac{M_v}{E_s} \cdot \left\{ \frac{a_{rl2}}{I_{v2}}(1-\beta) + \frac{(a_{rl1} - a_{cl1})}{I_{v1}}\beta \right\} \dots (5)$$

ここに、 M_v : 曲げモーメント ($N \cdot mm$)
 I_{v1}, I_{v2} : 状態Ⅰ, Ⅱでの断面剛度 (mm^4)
 a_{rl1}, a_{rl2} : 状態Ⅰ, Ⅱでの中立軸から下フランジの軸方向鉄筋中立軸までの距離 (mm)
 a_{cl1} : 状態Ⅰでの中立軸から下フランジコンクリートの中立軸までの距離 (mm)

4. コン示式との比較

コン示の曲げひび割れ幅算定式は、式(6)のとおりである (用語説明は省略)。

$$w = 1.1k_1k_2k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se} + \epsilon'_{csd}}{E_s} \right] \dots (6)$$

表-1 に示す通り、コン示式で係数として評価されている事項は、誘導式でも鉄筋のかぶり厚以外はほぼ同様の事項が含まれていることがわかる。コン示式におけるかぶり厚の影響を把握するために、かぶり厚をパラメータとしてひび割れ幅を試算した (図-3)。この結果では、かぶり厚の影響は無視できないと判断できるため、今後、載荷試験等でこの影響を確認したい。

また、コン示式での ϵ'_{csd} は、コンクリートの収縮およびクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値である。プレビームではこれらの影響を考慮した断面計算を行っているため、今回の誘導式は、 ϵ'_{csd} のように別途数値を考慮してひび割れ幅を算定する必要はないと考える。

表-2 に橋梁条件の異なるプレビーム橋において、誘導式とコン示式を用いてひび割れ幅を試算した。今回の試算結果では、鉄筋応力度の大小にかかわらず、誘導式による設計応答値がコン示式より 1.4

表-1 コン示式と誘導式の評価事項の比較

	コン示	誘導式
鉄筋の付着・表面形状に関する事項	K_1	β, τ_{sm}
コンクリートの品質・強度に関する事項	K_2	f_{ctm}
鉄筋の段数・鉄筋比に関する事項	K_3, C_s	ρ
鉄筋のかぶり	C	—
鉄筋の径	ϕ	d_s

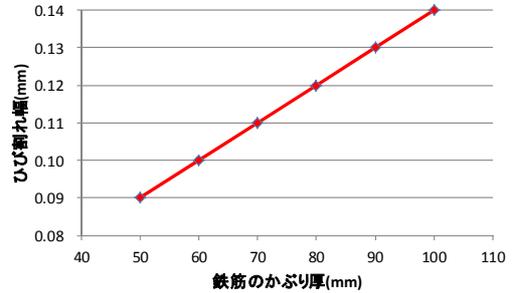


図-3 鉄筋のかぶり厚と曲げひび割れ幅の関係

表-2 曲げひび割れ幅の試算結果比較表

	桁高支間比	鉄筋比 ρ	σ_{rl2} (N/mm^2)	誘導式 ① (mm)	コン示式 ② (mm)	①/②
A橋	1/25	0.74%	47.3	0.10	0.06	1.82
B橋	1/27	0.83%	45.0	0.09	0.06	1.58
C橋	1/27	0.83%	38.5	0.14	0.09	1.54
D橋	1/20	0.84%	32.5	0.12	0.08	1.56
E橋	1/22	0.82%	33.5	0.13	0.08	1.59
F橋	1/29	0.83%	32.3	0.12	0.08	1.55
G橋	1/23	0.82%	34.1	0.12	0.07	1.57
H橋	1/22	0.83%	34.9	0.15	0.09	1.55
I橋	1/24	0.84%	34.6	0.15	0.11	1.40
J橋	1/21	0.84%	24.1	0.08	0.06	1.41

~1.8 倍程度大きくなることがわかった。このことから、著者らはコン示式に新たな係数を加味したプレビーム独自のひび割れ幅算定式の導入を考えている。

5. まとめ

本文では、Eurocode 4 に示されているひび割れ後のRC部材の力学モデルを用いて、プレビーム独自の曲げひび割れ幅の算定式を誘導した。今後は、試験体を用いたプレビーム桁の載荷試験を行い、上記誘導式の精査を行う予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編), 2012
- 2) G.Hanswille : Cracking of Concrete, Mechanical Models of the Design Rules in Eurocode 4, Composite Construction in Steel and Concrete III, ASCE, 1997
- 3) 土木開発技術研究センター：プレビーム合成げた橋設計施工指針第3版, H9.7