

連続合成桁の初期ひび割れ性状の解明に関する実験的研究

建設構造研究室 中川治士
指導教官 長井正嗣
岩崎英台

1. 研究の背景及び目的

近年、鋼橋の建設コスト縮減要求に対応すべく、PC床版や合成床版等の高い耐久性を有する床版の使用を前提に、連続合成桁の建設が盛んになっている。連続合成桁では、中間支点部に負曲げモーメントが作用し、床版に引張力が導入され、ひび割れ発生の原因に併せて耐久性の低下を招く。制御方法としては、プレストレスを導入して引張力を打ち消す方法と、ひび割れ幅を許容値以内とするひび割れ幅制限設計手法がある。前者はプレストレスの導入がコストアップ要因となることから、後者の手法が注目され、多用され始めている。

こうした状況を受け、最近になって、我が国においてもひび割れ幅算定法の提案が行われた¹⁾²⁾。いずれもコンクリート標準示方書に規定される鉄筋コンクリート桁のひび割れ幅算定法をベースに算定されているが、ひび割れ状態は安定ひび割れ状態(新たなひび割れが発生しない程度までひび割れが生じ、既存のひび割れ幅が広がっていく状態)にあることが前提とされている。しかし実際の橋梁、特にスパン60m以下の領域においては、初期ひび割れ状態(最初のひび割れが発生し、その後新たなひび割れが次々に発生する状態)にあることが多く、その適用について疑問が生じる。そこで、当研究グループでは、クリープ、収縮による初期内力を考慮し、初期ひび割れ軸力を正しく同定した新たな設計法³⁾を提案している。

本論文では、上記設計手法の妥当性を検討するための実験的研究を行う。実験桁を3体用意し、2体は通常のコンクリートとビニロン短繊維を混入したもの、もう1体はケミカルプレストレスを導入したケースである。以上の3体を用い、初期ひび割れ軸力について、設計法の妥当性を検

討するとともにひび割れ幅の差異について比較を行う。

2. 設計法の提案

(1) M-Nc 関係

図-1より、初期ひび割れ軸力(N_{CR})を算出。

$$N_{CR} = m(1 + n_s)A_c \quad (1)$$

(2) ひび割れ間隔 (L)

a) 初期ひび割れ時

$$L = \frac{s_r^2}{2.7 f_{ctm}(1 + n_s)} \quad (2)$$

b) 安定ひび割れ状態

$$L = 4C + 0.7(C_s -) \quad (3)$$

(3) ひび割れ幅 (w_M)

a) 初期ひび割れ時

$$w_M = L \left(\frac{N_{CR}}{E_s A_s} - \frac{m N_{CR}}{E_s A_s} - c_{sd} \right) \quad (m = 0.60) \quad (4)$$

b) 安定ひび割れ状態

$$w_M = L \left(\frac{M_d}{E_s I_{st}} y_{sr} + \frac{f_{ctm}}{E_s} - \frac{f_{ctm}}{E_s} - c_{sd} \right) \quad (= 0.20) \quad (5)$$

(4) 鉄筋応力 (σ_m)

a) 初期ひび割れ時

$$\sigma_m = \frac{N_{CR}}{A_s} \quad (6)$$

b) 安定ひび割れ状態

$$\sigma_m = \frac{M_d}{I_{st}} y_{sr} + \frac{f_{ctm}}{\sigma_s} \quad (= 0.40) \quad (7)$$

及び鉄筋のひずみは一軸ゲージで、ひび割れ幅は型変位計により測定した。

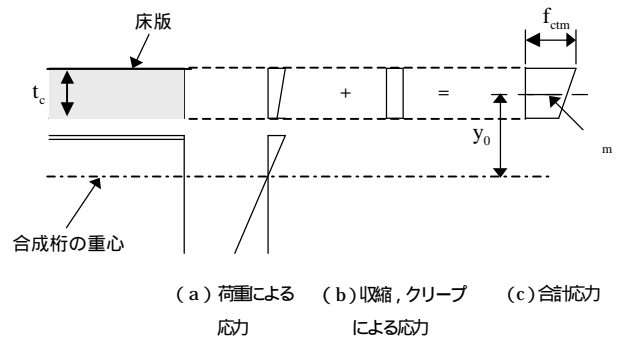


図-1 N_{CR} 算出のための応力 σ_m の定義

3. 実験概要

(1) 供試体パラメータ

本実験でのパラメータを以下に示す。

Case-1：普通コンクリート

Case-2：膨張コンクリート

Case-3：ビニロン短繊維混入普通コンクリート
以上の3体を用いて設計法の妥当性を検討すると共に、ひび割れ幅の差異について比較を行う。

(2) 実験桁と荷重載荷

実験桁を図-2に、鉄筋配置を図-3に示す。各ケースとも設計は同一である。載荷は図-1に示すように、試験桁中央1.5mの位置に支点を設け、支点から1.5m離れた桁先端部において鉛直荷重を作用させ、中央1.5m区間を等負曲げ区間とした。荷重は油圧ジャッキにより初期ひび割れ発生まで載荷して、一旦除荷する。それを3回繰り返し、3回目でジャッキ容量800kNまで載荷する。

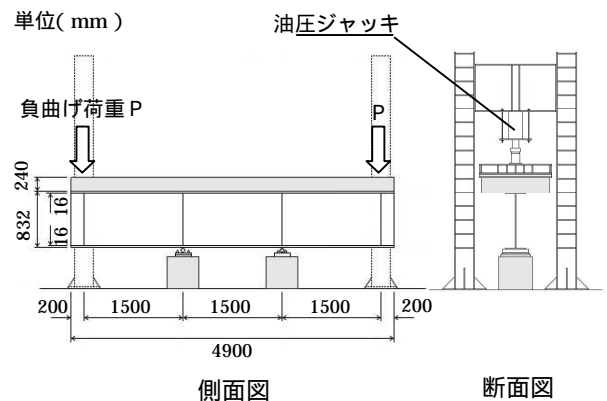


図-2 供試体と載荷装置概要図

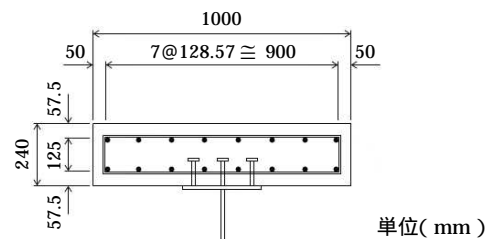


図-3 床版断面図

(3) 使用材料

供試体に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。計算値算出にあり、引張強度は表-2に示す材齢28日の値を、その他のものは載荷日の値を用いた。

(4) 計測項目

図-4に計測位置を示す。コンクリートと鋼桁

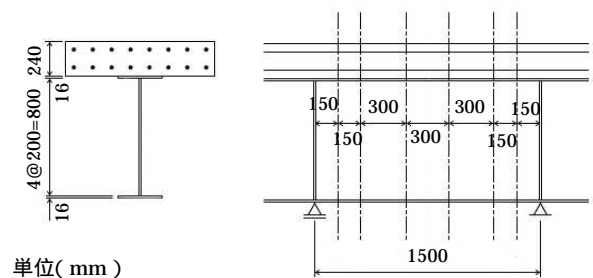


図-4 計測位置図

表-2 各種材料試験結果

| | コンクリート | 圧縮強度 (N/mm ²) | 静弾性係数 ($\times 10^4$ N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 一軸拘束膨張 収縮率 (μ) |
|-------|--------|------------------------------|--|------------------------------|-------------------------|
| 材齢7日 | 普通 | 53.4 | 3.68 | | -86 |
| | 膨張 | 50.0 | 3.45 | | 531 |
| | ピニロン | 49.7 | 3.36 | | -67 |
| 材齢28日 | 普通 | 59.7 | 3.96 | 4.61 | -217 |
| | 膨張 | 57.5 | 3.69 | 3.90 | 363 |
| | ピニロン | 57.9 | 3.72 | 4.96 | -253 |
| 載荷日 | 普通 | 60.2 | 4.03 | | -250 |
| | 膨張 | 58.9 | 3.84 | | 293 |
| | ピニロン | 59.1 | 3.78 | | -279 |

4. 実験結果と考察

(1) ひび割れ荷重

図-5 に M-N_c 関係を示す．初期ひび割れ発生時において，実験値と計算値の差異は 7% 程度と比較的良好一致を示した．

(2) ひび割れ間隔

最終荷重状態での Case-1 のひび割れ図を図-6 に示す．ひび割れは主鉄筋位置またはその近傍となる傾向が見られる．ひび割れ間隔は中央域において平均値 250mm 前後となり，計算値との差異は 13% 程度となる．

(3) ひび割れ幅

図-7 にひび割れ幅の比較結果を示す．図中には有効計測できた最大ひび割れ幅を示している．また，最大ひずみを用いた計算値，平均ひずみを用いた計算値を併せて示している．実験値は，ひび割れ発生直後は平均ひずみを用いた計算値に近い値を示すが，その後の挙動は最大ひずみを用いた計算値に近い値を得る結果となった．

(4) 鉄筋応力

鉄筋のゲージ位置とひび割れ箇所は必ずしも一致しないため，実験値はひび割れ位置に最も近い箇所の値を取り出した．したがって，ひび割れ発生時のひずみは，初期ひび割れ発生位置のひずみとは対応していない．

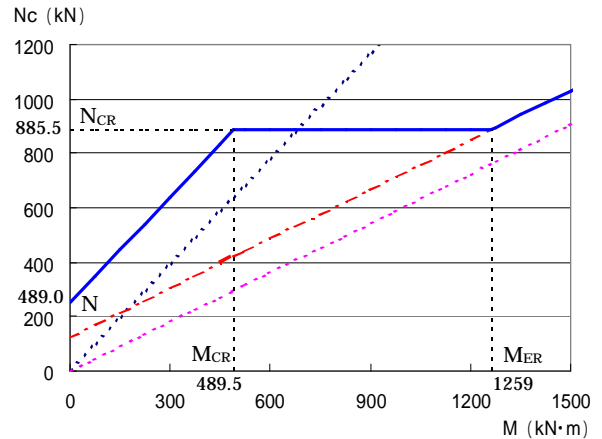


図-5 M-N_c 関係

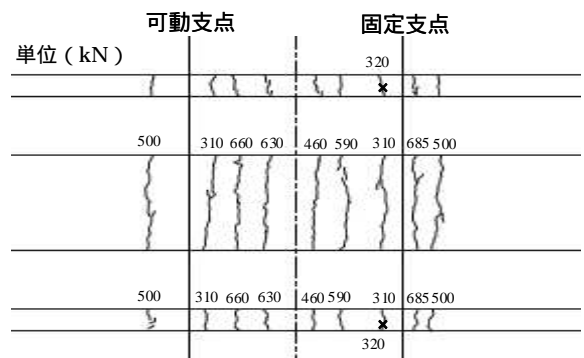


図-6 最終荷重状態でのひび割れ図

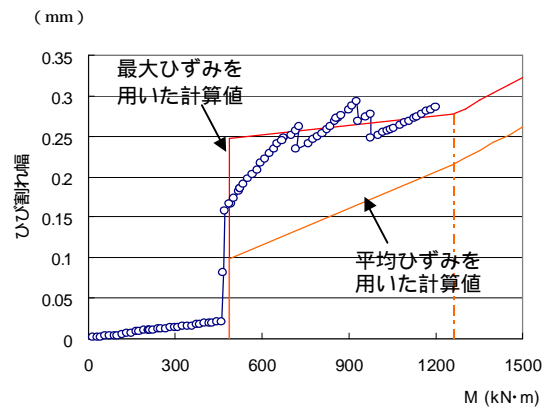


図-7 ひび割れ幅

実験値は，ひび割れによりひずみが急増した後は徐々に増加する傾向を示した．合成状態，ひび割れ発生に伴う増加，安定ひび割れ状態での傾きなどで比較的良好一致を示した．

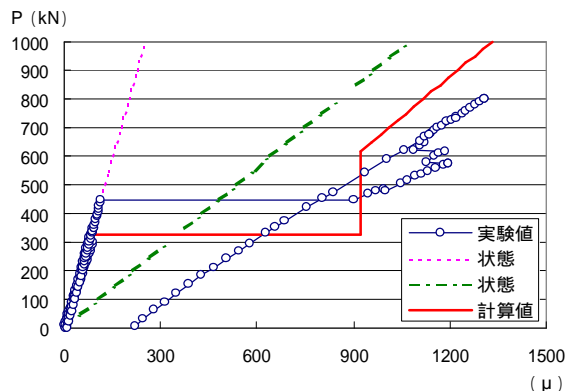


図-8 荷重 - 鉄筋ひずみ

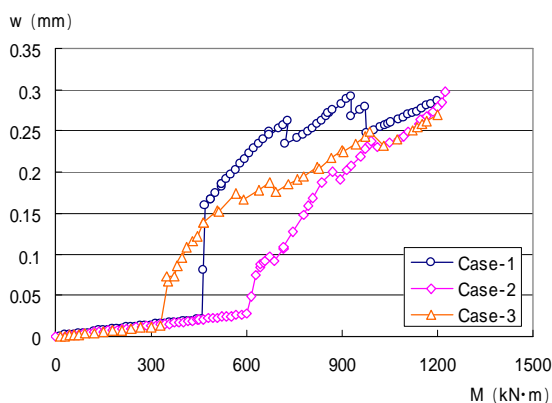


図-9 ひび割れ幅の比較

(5) パラメータによるひび割れ幅の比較

Case-2 は Case-1 に比べ、初期ひび割れ発生後から 40% 程度の低減効果がみられ、初期ひび割れ状態におけるケミカルプレストレスの効果は十分に期待できる。Case-3 は初期ひび割れ直後では Case-1 に近い値を示したが、その後の荷重の増加に伴う挙動ではビニロン短繊維混入によるひび割れ幅の急増を防ぐ効果が得られると考えられる。

またいずれのケースにおいても、載荷荷重が大きな値となると、ひび割れ幅は同程度となった。

5. 結言

以上の結果を結論としてまとめる。

- 1) 初期ひび割れ荷重，軸力とも比較的良い一致を示した。
- 2) ひび割れ幅算定には最大ひずみを用いると最大ひび割れ幅との対応を示す。
- 3) 鉄筋ひずみの実験値は，最大ひずみを用いた計算値との対応を示す。
- 4) ケミカルプレストレスによる初期ひび割れ幅の大幅な低減効果が確認できた。
- 5) ビニロン短繊維混入によるひび割れ幅の低減効果が認められたが，今回その原因の同定には至らなかった。

付録 記号

- n : ヤング係数比
- s : 鉄筋比
- A_c : コンクリートの断面積
- d : 鉄筋径
- f_{ctm} : コンクリートの平均引張強度
- C : 配力筋の純被り
- C_s : 鉄筋ピッチ
- A_s : 鉄筋の断面積
- I_{st} : 「鉄筋+鋼桁」断面の断面 2 次モーメント
- A_{st} : 「鉄筋+鋼桁」断面の断面積
- α : $(= A_{st} I_{st} / A_g I_g)$
- I_g : 鋼桁の断面 2 次モーメント
- A_g : 鋼桁の断面積

参考文献

- 1) (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。
- 2) (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。
- 3) 長井正嗣，奥井義昭，岩崎英治：連続合成桁の初期ひび割れ状態を考慮したひび割れ幅，鉄筋応力算定の一提案，土木学会論文集，No.759 / -67，283-292，2004.4。