FEM による連続合成桁のひび割れ解析とひび割れ幅の算定に関する研究

埼玉大学	学生員	本田	卓士	正員	奥井	義昭
長岡技術科学大学	正員	長井	正嗣	大日本コンサルタント(株)正員	永尾	豊明
(株)栗本鐵工所	正員	笠原	竜介	駒井鉄工(株)     正員	細見	雅生

#### 1 はじめに

連続合成桁は、コストの縮減の対策から近年本格的な採用が進んでいる構造形式の橋梁である。欧州では連 続合成桁中間支点近傍のコンクリート床版においてひび割れを許容する設計法が主流となっており、わが国に おいても、ひび割れを許容した設計法が用いられつつある。このような設計法において長期の耐久性を保証す るには、床版コンクリートのひび割れ性状、特にひび割れ幅の予測が重要となる。そこで本研究は長岡技術科 学大学で行われた負曲げ載荷試験の FEM 解析を実施し、数値解析による合成桁のひび割れ幅の算出方法を検 討し、その方法の妥当性を検討することを目的とした。

#### <u>2 ひび割れ幅の算出方法</u>

コンクリートのひび割れ挙動のモデル化には分布ひび割れモデルを用いた。この場合、ひび割れを含むコン クリートの平均ひずみは計算されるが、ひび割れ幅、ひび割れ間隔は直接算出することはできない。そこで FEM 解析より得られた平均ひずみと次式で表される鉄筋とコンクリートの付着の微分方程式

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \frac{1 + n \boldsymbol{r}_s}{E_s} \frac{4}{d_s} A \boldsymbol{s}_{cu} v(x)^N$$
(1)

よりひび割れ幅を算出した。ここでvは鉄筋とコンクリートのずれ量、nはヤング係数比、 $r_s$ は鉄筋比、 $E_s$ は鉄筋のヤング係数、 $d_s$ は鉄筋径、 $s_{cu}$ はコンクリートの圧縮強度、A、Nは付着に関するパラメータであ

る。なお、(1)式は Hanswille 理論 <sup>1)</sup>で用いられたものと同じであり、 同じずれ量と付着力間の構成関係を用いていることになる。以下の解析 ではこの付着パラメータの値を *A* =0.5, 0.6, *N* =0.3, 0.2 と変化させて、 計算を行った。

### <u>3 解析対象の実験供試体とFEM モデル</u>

長岡技術科学大学で行われた負曲げ載荷試験に用いられた実験桁は、 連続合成桁の中間支点部を想定した鋼I桁と床版からなる供試体であ る。この供試体のFEMモデルを図1に示す。FEMモデルは対称性を 利用し、半分のみをモデル化した。対称面はスパン中央断面であり、 図1の黒く塗りつぶした面である。コンクリート床版は8節点のソリ ッド要素、鉄筋は埋め込み鉄筋要素、鋼桁は4節点のシェル要素でモ デル化している。解析では、実験供試体に対応させて、配力鉄筋比 1.8%(case1)と2.1%(case2)の2ケースを検討している。

コンクリートの構成則はクラック発生までは線形弾性、クラック発 生後は、引張硬化を考慮した応力 - ひずみ関係を与えた(図 2 参照)。 この RC 部材としての応力 - ひずみ関係は、CEB-FIP-90<sup>2)</sup>に従い決 定している。またひび割れ発生後のせん断強度の低下を表す Shear retention factor は 0.25 で一定とした。コンクリートの引張強度は 3.18MPa、乾燥収縮ひずみは 100 µ である。これらの値は、物性試験 Key Word:ひび割れ解析、連続合成桁、ひび割れ幅、FEM 解析

〒338-8570 埼玉県浦和市下大久保 255



図 1 解析モデル



平均応力 - 平均ひずみ関係

より得られたものである。なお解析には汎用構造解析コード DIANA を用いた。

## <u>3 解析結果と考察</u>

図1の点 B における鉛直変位と荷重 P の関係を図3に示 す。ひび割れ発生前の荷重 - 変位関係については FEM 解析 とせん断変形を考慮したはり理論の結果は、ほぼ等しいのが 分かる。実験においてはひび割れ発生後、載荷除荷を繰り返 しているため、引張硬化の影響が徐々に減少し、残留変位が 生じたため、荷重 - 変位曲線が右に移動する挙動を示してい る。解析ではこのような挙動は考慮していないため、ひび割 れ発生後の挙動が大きく異なっている。しかし、ひび割れ発 生後の荷重 - 変位曲線の勾配は、ほぼ一致していることが分 かる。

FEM 解析結果の平均ひずみから(1)式を用いて算出し たひび割れ幅の分布を図4、5に示す。荷重の大きさは 784KN、床版上の位置は、図1のA線上である。これらの 図には、パイゲージにより測定されたひび割れ幅の実験値も プロットされている。 $A \ge N$ を変化させてひび割れ幅の算 出を行ったところ、A = 0.5、N = 0.3の時が最も計算値が実 験値に近い値を示した。しかし、実験値に比べ、計算値の方 がひび割れ幅はやや小さな値を取る結果となった。

次に、ひび割れ幅と同様な方法を用いてひび割れ間隔を算 出した結果を図6に示す。実験より得られたひび割れ間隔は 2ケースとも約150mmと読み取れる。付着のパラメータと して*A*=0.5、*N*=0.3を用いた場合、ほぼ実験値に近い値が 得られた。

### <u>4 まとめ</u>

分布ひび割れモデルを用いたFEM解析より得られた平均ひ ずみと付着の微分方程式を用いて、ひび割れ幅、ひび割れ間隔 を求める方法を示した。実験値と算出したひび割れ性状を比較 すると、ひび割れ間隔はほぼ一致したが、ひび割れ幅は解析値 の方がやや小さい値を示す結果となった。FEM 解析の結果は 変位も過小評価していることからFEM解析でのモデル化を更 に検討していく必要があるものと考える。Hanswilleの理論で は、はり理論を用いているため、ひび割れ幅等の橋軸直角方向 の変化を検討することができない。本文で示した方法によりこ れらのことが可能であり、今後はひび割れ幅に対する有効幅の 検討を行いたいと考えている。

# 参考文献

- 1) Hanswille.G:「合成桁におけるひび割れ制御」 科学技術報告 1986
- 2) COMITE EURO-INTERNATINAL DU BETON 「CEB-FIP MODEL CODE 1990」 Thomas Telford Service Ltd,1993



土木学会第56回年次学術講演会(平成13年10月)