

RC 床版内の鉄筋・コンクリート間の付着を考慮した合成桁の負曲げ挙動に関する解析

宇都宮大学 学生員 藤本大輔, 坂口淳一 正会員 中島章典, 鈴木康夫

1. はじめに

負曲げを受ける合成桁の設計において、ひび割れの発生を許容する設計手法の1つである、テンションステイフニング理論を基礎としたひび割れ制御設計を取り入れる設計事例が見られるようになってきている¹⁾。引張領域における、コンクリートの応力分担効果やそれに伴う鉄筋の応力分布を解析的に追跡するためには、コンクリート床版内の鉄筋とコンクリート間の応力伝達性状も考慮する必要がある。このような観点から、合成桁の負曲げ挙動に着目した解析的研究は数多くさてれいるが、コンクリート床版内の鉄筋とコンクリート間の付着を考慮した研究は少ない。

そこで本研究では、コンクリート床版内の鉄筋とコンクリート間の付着を考慮した合成桁の負曲げ挙動を再現できる解析プログラムを構築し、単純支持した負曲げ載荷試験²⁾の実験結果と比較することで解析プログラムの有効性を確認することを目的とする。

2. 解析概要

本研究の解析手法には、コンクリートのひび割れなどの不連続な非線形現象を再現することに適している剛体-ばねモデル解析を採用した。今回解析用いるモデルを図-1に示す。なお、本解析では、実験結果²⁾と比較するために支点間距離が2700mmとなるように単純支持し、鋼桁中央部の節点に集中荷重を与えた。コンクリートには、30本の軸ばねと1本のせん断ばねを設け、軸ばね特性は図-2に示すような構成則とした。コンクリートの軸ばねの圧縮領域の特性はコンクリート標準示方書に従い、図-2の式を用いた。引張領域の特性は、コンクリートの引張負担を考慮し、ひび割れ発生後は応力を受け持たない特性とした。また、本解析では、理想的な位置にひび割れを発生させるために、床版内のスタラップ位置のコンクリートの軸ばねの小断面積をゼロとすることにした。鉄筋には軸、せん断及び回転ばねをそれぞれ1本ずつ設け、軸ばねの特性は完全弾塑性、せん断及び回転ばねの特性は線形弾性とした。鉄筋とコンクリート間には水平、鉛直及び回転ばねをそれぞれ1本ずつ設け、鉛直及び回転ばねの特性は線形弾性とした。水平ばねの特性は鉄筋とコンクリート間の付着性状を表し、図-3中にある田辺らの式を参考にした³⁾。ここで、 α は最大付着応力及び接線勾配を増減できるようにするためのパラメーターであり、 f'_c はコンクリートの圧縮強度、 S はすべり量、 D は鉄筋径を表している。ここで、 α の値は実験結果と解析結果のひび割れ本数や鉄筋とコンクリート間の定着長さなどを比較しな

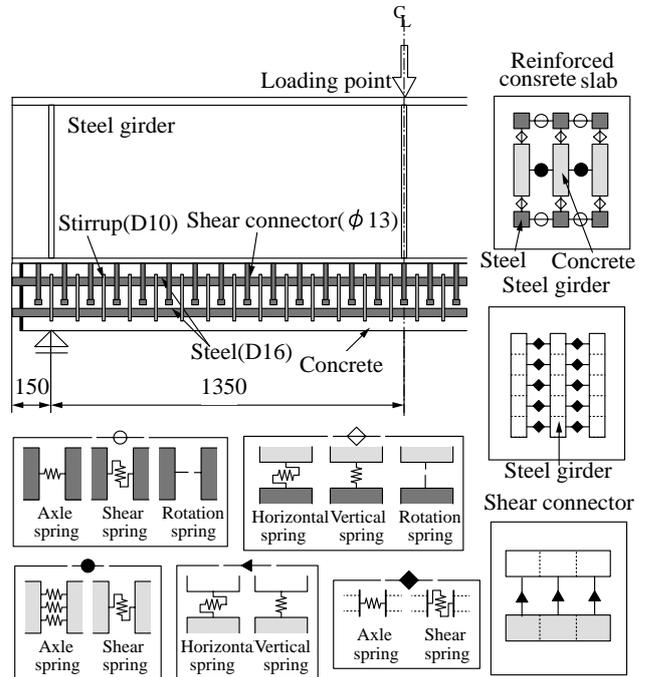


図-1 ばね要素モデル (単位 mm)

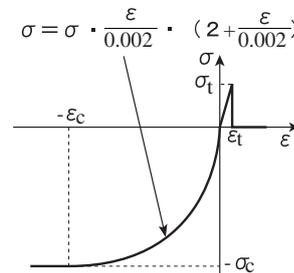


図-2 コンクリートの軸ばね特性

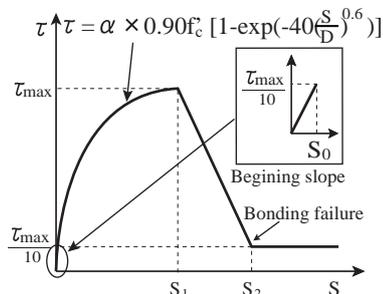


図-3 鉄筋とコンクリート間の水平ばねの特性

がら 0.6 とした。なお、最大付着応力の 1/10 まで初期勾配を与え、最大付着応力後はその 1/10 まで負の勾配を与え、それ以降は付着破壊と見なし、接線剛性をゼロとした。

Key Words: 合成桁, 負曲げモーメント, 鉄筋のひずみ挙動, ひび割れ, 応力伝達, 付着, 剛体ばねモデル

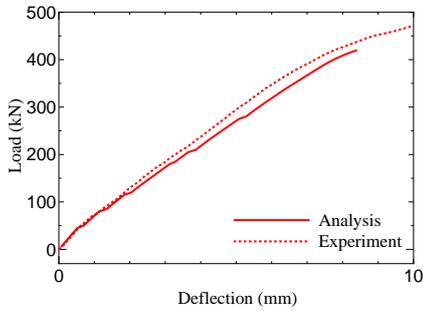


図-4 荷重 - 中央たわみ関係 (比較図)

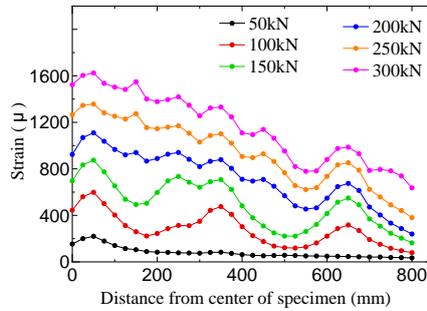


図-5 鉄筋ひずみ分布 (実験)

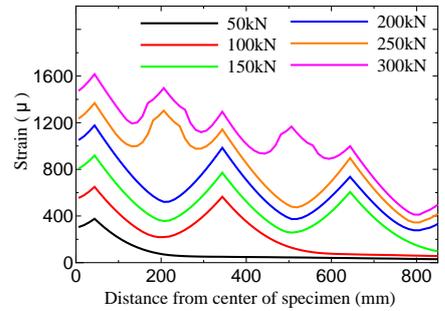


図-6 鉄筋ひずみ分布 (解析)

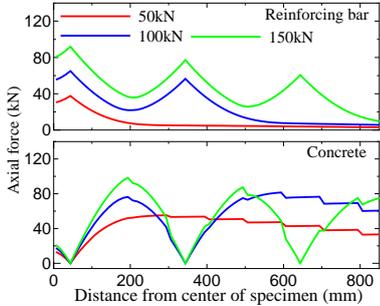


図-7 軸力分布

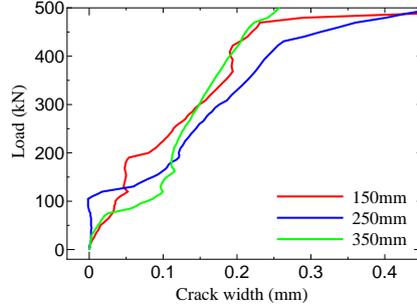


図-8 荷重 - ひび割れ幅関係 (実験)

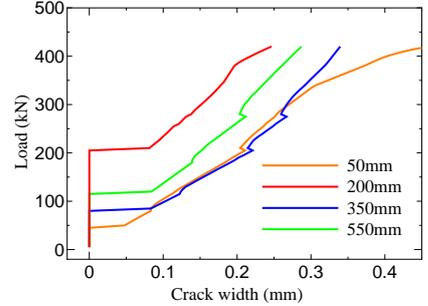


図-9 荷重 - ひび割れ幅関係 (解析)

3. 実験結果及び解析結果

荷重 - 中央たわみ関係の例を図-4に示す．実験結果と解析結果を比較するとほぼ同等の値となっている．解析結果のたわみが多少大きい原因として、図-8、図-9より、解析結果のひび割れ幅の方が実験結果よりも大きくなっているため、解析モデルの剛性が小さくなっているからと考えられる．また、解析が荷重約420kNで止まってしまった原因として、この荷重段階で鉄筋が降伏したからである．

図-5、図-6に実験及び解析から得られた荷重50、100、150、200、250、300kN時での橋軸方向の鉄筋ひずみ分布を示す．図では、鉄筋ひずみを縦軸に、試験体中央からの距離を横軸に示している．一般にコンクリート床版にひび割れが発生すると、その位置でのコンクリートは引張軸力を伝達しなくなり、鉄筋のみが軸力を負担するため、ひび割れ位置で鉄筋ひずみは大きくなる．したがって、鉄筋ひずみ分布の凸な形状付近のコンクリート床版には、ひび割れが発生していることがわかる．実験結果と解析結果を比較すると、ひび割れ発生荷重やひび割れ位置にやや違いが見られるが、同様の傾向を示していることがわかる．

図-7に荷重50、100、150kN時の鉄筋及びコンクリートの軸力分布を示す．図では軸力を縦軸に、試験体の中央からの距離を横軸に示している．ひび割れはコンクリートの負担軸力が極大値の位置から順に発生していく．しかし、本解析ではスターラップ位置に切欠きがあるため、切欠き位置にひび割れが発生する．そのため、本解析では、理想的な位置で発生したひび割れ後の鉄筋とコンクリートの軸力分布を追跡することができた．

図-8、図-9に実験結果及び解析結果の荷重 - ひび割れ幅関係を示す．図中の値は試験体中央からの距離

を示している．ここで、図-8の試験体中央からの距離50mmのひび割れ幅は測定器に不具合が生じたため、載せていない．実験と解析結果を比較すると、実験ではひび割れ発生の順序が理想的に発生していないのに対し、解析では切欠きを設けているため、理想的な順序でひび割れが発生している．また、ひび割れの発生直後の挙動に違いが見られる．これは実験ではひび割れが徐々に鉛直方向に進展するのに対して、解析ではひび割れが急激に鉛直方向に進展しているからである．その後、解析では荷重の増加とともにひび割れ位置での鉄筋ひずみが増加することによって、ひび割れ幅が増加する．また、ひび割れ幅を比較すると上述したように多少の違いは見られるが、両者でひび割れ幅は同程度を示していることがわかる．

4. おわりに

本研究では、床版内の鉄筋・コンクリート間の付着を考慮した合成桁の負曲げ挙動をシミュレーションするための数値解析プログラムを構築し、負曲げ載荷実験結果と解析結果を比較した．その結果、ひび割れ発生による床版内の鉄筋ひずみ挙動を再現することができた．また、実験で不明確であった引張領域におけるコンクリートの分担軸力やそれに伴う鉄筋の軸力分布の詳細を解析的に追跡することができた．

参考文献

- 1) 安川義行他：連続合成2主桁橋の設計・施工，：第4回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告書，土木学会鋼構造委員会，pp.11-24，2001.
- 2) 坂口淳一他：負曲げを受ける合成桁のコンクリート床版内鉄筋ひずみ挙動 土木学会第61回年次学術講演会，pp.89-90，2006.9.
- 3) 田辺忠顕：初期応力を考慮したRC構造物の非線形解析方とプログラム，技報堂出版，pp.242-245，2004.3.