

連続合成桁橋のひび割れ解析に対する マルチスケール法の適用性の検討

日本道路公団 正会員 浅井 貴幸 宇都宮大学 正会員 中島 章典
宇都宮大学 正会員 斉木 功

1. はじめに

近年、プレストレスしない連続合成桁橋が再度見直されてきており、負曲げ領域の鉄筋コンクリート床版（以下RC床版）に対して種々のひび割れ制限方法が検討されている¹⁾。しかし、連続合成桁橋全体系の弾塑性挙動とともに、RC床版のひび割れ性状などを精緻に追跡する解析手法はこれまでのところ見当たらない。

そこで本研究では、合成桁各部の材料非線形性に加え、RC床版のひび割れ幅あるいは鉄筋の局所的なひずみなどを追跡できるマルチスケール法を用いた新しい数値解析手法を構築した。そして、ここで得られた解析結果を著者ら²⁾が行った2径間連続合成桁の静的載荷実験結果と比較し、本解析手法の有用性を確認した。

2. 解析方法

解析モデルは文献²⁾の実験に用いた2径間連続合成桁模型試験体であり、その形状と断面を図-1、図-4に示す。RC床版内には主鉄筋としてD13を上下2段に配筋した。また、RC床版と鋼桁とのずれ止めには、スタッドを支点上より橋軸方向に100mm間隔で2列に設置した。載荷位置は図-1の左支点より1000mmであり、解析に用いた材料特性については実験に用いた模型試験体の値とした²⁾。

解析では、連続合成桁のRC床版と鋼桁を橋軸方向に分割し（要素分割数40）、剛体とそれぞれを結合するばねにモデル化している。剛体間に配置するばね要素を図-2に示す。鋼桁要素の剛体間については、要素の断面を分割し、各分割断面重心位置に軸ばねとせん断ばねを設置した。また、鋼桁部ウェブの弾塑性に及ぼすせん断力の影響を考慮するため、軸ばねによる垂直応力と、せん断ばねによるせん断応力を合成した相当応力を用い、Misesの降伏条件より判定した。その際の硬化則は完全弾塑性型とした。RC床版と鋼桁との剛体間ずれ止め要素については、鉛直ばねと橋軸方向のずれに抵抗する水平ばねを設けた。水平ばね特性については、Fisherらが提案したずれ止めせん断力とずれ変位の関係を用いた。

一方、RC床版については局所的な挙動を追跡するために、マルチスケール法を導入した剛体ばねモデル解析を行った。マルチスケール解析の巨視モデルと微視モデルは図-3のように仮定し、巨視モデルの軸ばねによる内力と相対変位の関係に対してのみ、マルチスケール解析を行うこととした。よって微視モデルのばね要素については、この相対変位に対応できるよう、軸ばねと付着ばねを剛体間に設置した。この際、付着ばね特性については線形を仮定し、鉄筋の軸ばね特性は完全弾塑性とした。一方、コンクリートの軸ばね特

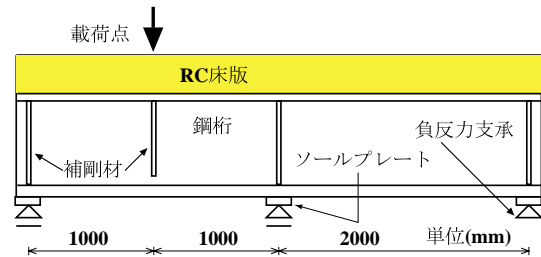


図-1 解析モデル

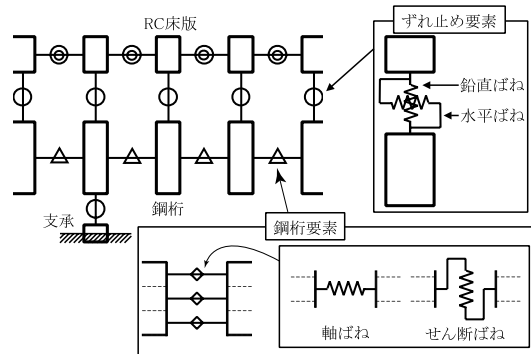


図-2 剛体間のばね要素形状

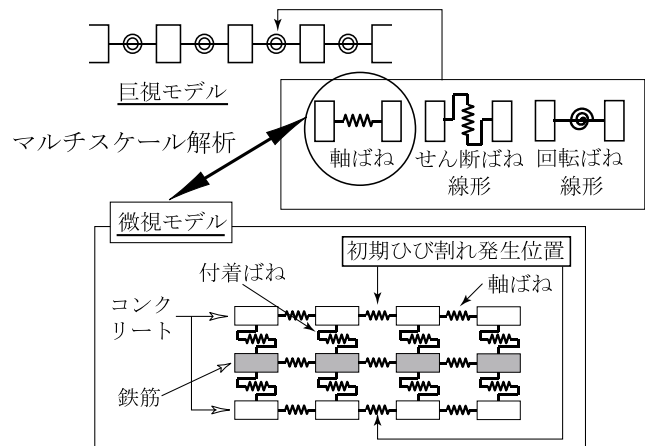


図-3 RC床版のマルチスケール解析

性については図-5の構成則に従うものとした。これは引張強度(3.0kN/mm²)以降、コンクリートの応力は常にゼロとしたものである。また、微視モデルの解析範囲である代表体積要素は、RC床版と鋼桁との合成效果を考慮し、スタッド間(100mm)に設定した。

巨視モデルと微視モデルの相関については、まず巨視モデルの軸ばねに生じた相対変位を微視モデルに一定変位境界として与える。この条件のもと、微視モデル解析を行うことにより微視モデルの平均内力が求まり、この平均内力を巨視モデルの軸ばねの内力としてフィードバックする。

Key Words: 連続合成桁, 負曲げ領域, RC床版のひび割れ, マルチスケール法, 数値解析

〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6230

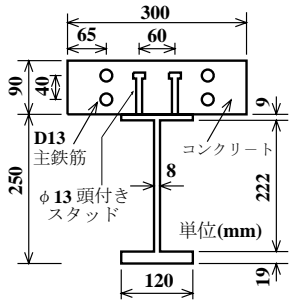


図-4 合成桁試験体断面

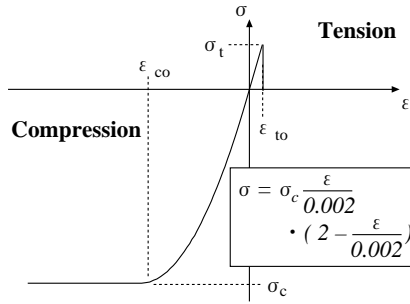


図-5 コンクリートの構成則

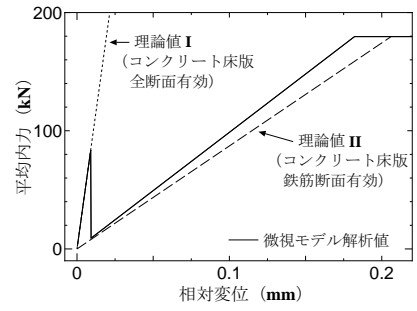


図-6 平均内力-相対変位関係

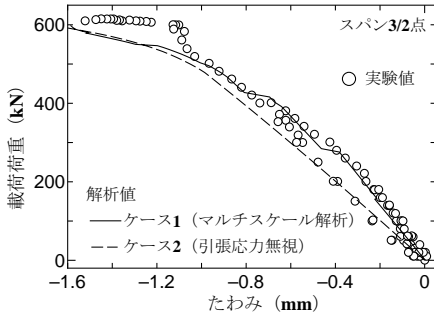


図-7 荷重-たわみの関係

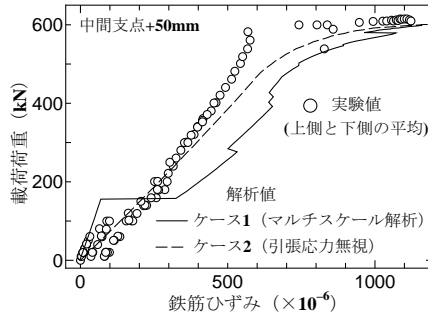


図-8 荷重-鉄筋の平均ひずみの関係

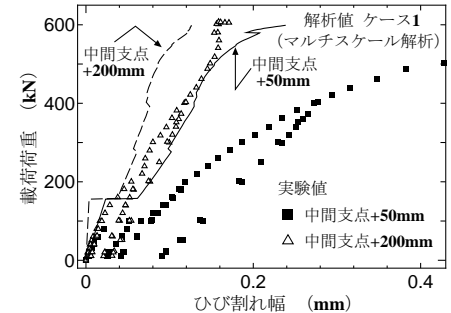


図-9 荷重-ひび割れ幅の関係

図-6に巨視モデルの軸引張状態に対応する、微視モデルの解析より求まる平均内力と相対変位の関係を示す。解析の際には微視モデルの中央点に位置するコンクリートの軸ばねに、初期ひび割れが発生するよう初期不整を設定しておく。解析結果より微視モデルに初期ひび割れが発生すると、平均内力は一時減少するが、さらに変位が増加すると鉄筋断面のみを考えた図中の理論値 II よりも高い剛性を維持することがわかる。これは、ひび割れ発生後の RC 床版のテンションステイフニングのメカニズムを、マルチスケール解析により再現できることを示している。

3. 解析結果と実験結果との比較

図-7にスパン 3/2 点における荷重とたわみの関係を示す。解析値は先に説明したマルチスケール解析をケース 1 とし、ケース 2 として巨視モデルのみの解析結果も図に示した。その際の軸ばね特性は、引張領域においてコンクリートは応力を負担しないものとした。実験値と解析値を比較すると、ケース 1 はケース 2 より実験値との対応性が向上している。これは、マルチスケール法を用いた本解析が RC 床版のテンションステイフニング効果をより実験に近い状態で再現できたためである。結果として本解析は、試験体の負曲げ領域の変形性状を精度良く評価できている。

図-8は中間支点+50mmにおける荷重と鉄筋ひずみの関係を示している。実験値の鉄筋のひずみは、上側鉄筋と下側鉄筋との平均値である。つまり、試験体の RC 床版に生じた軸ひずみに対応していると考えられる。また、ケース 1 の解析値は微視モデルの各剛体間の鉄筋ひずみの平均値である。ケース 1 はケース 2 と比べ、初期ひび割れ発生以降の実験値の勾配（剛性）を定性的に評価できていると言える。これは微視モデルにおいて、鉄筋とコンクリート間の付着作用を考慮したためであると考えられる。ケース 1 と実験値が定

量的に一致しない理由としては、付着ばねの特性に線形関係を用いていることに問題があると思われる。また、巨視モデルの回転ばね特性を線形としたため、曲げの影響が大きい中間支点付近において、ケース 1 は実験値の鉄筋ひずみを過大評価したと考えられる。

図-9に荷重と中間支点部 RC 床版のひび割れ幅の関係を示す。実験値は中間支点と中間支点+200mm 位置の RC 床版上面に設置した π 型ゲージの計測値である。解析値は微視モデルにおいて、設定した初期ひび割れ発生位置の軸ばねの相対変位をひび割れ幅とした。実験値と比較すると、ケース 1 は着目点の微視モデルに初期ひび割れが発生することにより、ひび割れ幅が急激に増大する傾向を表しているが、定性的には実験値と一致していない。また、計測位置にもよるがケース 1 のひび割れ幅は実験値の 1/2 から 1/3 倍程度であり、実験値を過小評価している。これは、本解析においてコンクリートの乾燥収縮や曲げによる影響を考慮していないためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、合成桁各部の材料非線形の影響に加え、RC 床版のひび割れ幅、あるいは鉄筋の局所的なひずみなども追跡することができる新しい解析手法として、マルチスケール法を導入した剛体ばねモデル解析法を構築した。そして、文献²⁾の 2 径間連続合成桁の実験結果と本解析結果を比較することにより、今後改善の余地があるものの、本解析手法の有用性を示せた。

参考文献

- 1) Roik, K., Hanswille, G. (伊藤鉦一, 平城弘一 訳): 合成桁におけるひび割れ幅の制限, 橋梁と基礎, pp.33-40, 1993.2.
- 2) 中島章典, 浅井貴幸ら: 連続合成桁負曲げ領域の力学性状の着目した実験的研究, 鋼構造年次論文報告集 Vol.8, pp.485-492, 2000.11.