

単純合成桁の連続化工法を用いた連続合成桁の F E M 解析

山口大学大学院 学生会員○坂井隆記 山口大学大学院 学生員 坂本直樹
協和設計（株） 正会員 本下稔 山口大学工学部 正会員 中村秀明・宮本文穂

1. はじめに

連続合成桁は剛性が高く、耐震性も単純桁橋に比較して極めて有利である。しかしながら、連続化合成桁橋設計への梁理論適用の妥当性および鋼合成桁と RC 横桁の境界面の応力伝達機構は解明されていない。そのため、本橋梁の実用化と合理性を明確にするためには、中間支点上の応力伝達機構の解明は重要な要因となっている。よって、応力伝達機構を解明するため、有限要素法による応力解析（FEM 解析）を実施した。FEM 解析結果と既往の梁理論による解析結果の比較を通じて梁理論の妥当性の確認を行った。さらに、FEM 解析結果により鋼桁と RC 横桁を結合するずれ止め（スタッドジベル）の負担力の把握を確認する。本研究は、橋梁設計技術者が連続化合成桁橋の解析における梁理論の妥当性ならびに鋼桁と RC 横桁の境界面の応力伝達を確認するためのシステムを構築した。

2. FEM 解析

FEM 解析を行う対象モデルは、ワイヤー緊張プレストレス力を導入した単純合成桁の連続化工法¹⁾を用いた橋梁（橋長 60m）で、橋軸方向の FEM 解析範囲は、左右対称な 3 径間連続桁橋のうちの中央径間に着目し、中央支点から中央径間中心までとする全長の 1/6 を対象としており、そのうちの 1 主桁あたりの解析を行う。実際の解析では、この 3 次元の橋梁を水平方向の橋梁部分を縮めて 1 つの平面とした 2 次元モデルとし FEM 解析を行った。

本研究でモデル化したものを FEM 解析するにあたり、連続化工法架設ステップ（FEM 解析ステップ）を 7 段階に分けて解析を行った。以下に FEM 解析したモデルの架設ステップを示す。

段階 1：単純鋼主桁を架設する。ここでは、鋼重を等分布荷重として載荷する。

段階 2：鋼主桁上に先行 RC 床版を打設する。ここでは RC 床版コンクリートの重量を等分布荷重、中間横桁を集中荷重として載荷する（合成前死荷重）。先行 RC 床版の剛性は考慮せず、荷重は鋼主桁のみで抵抗する（単純桁系）。

段階 3：床版コンクリート硬化後、ワイヤーにより支間中央に下向きの力を作用させる。ここではワイヤー緊張力を集中荷重として径間中央に載荷する（単純桁系）。

段階 4：ワイヤー緊張をおこなった状態で、中間支点付近の主桁端部を包含する横桁コンクリートを打設する。ここでは横桁コンクリートと横桁コンクリート上の RC 床版コンクリートの重量を等分布荷重として載荷する（単純桁系）。

段階 5：横桁コンクリート硬化後、ワイヤー緊張を除荷する。それと同時に、支点を鋼主桁下フランジ下面からコンクリート横桁下面にもり換える。

段階 6：車道としての機能を持たせるために床版コンクリート上面にアスファルト舗装を敷設する。

段階 7：橋梁完成後自動車が走行する状態。いわゆる活荷重載荷状態である（連続桁系）。

3 荷重条件と境界条件

FEM 解析に用いた 1 径間、1 主桁あたりの荷重条件は下表（表-1）の通りである。支点条件：段階 1～段階 4 までは鋼主桁下フランジ下面を単純支点とする。実際には橋軸方向、鉛直方向を固定とし、回転は拘束しない。一方段階 4 において中間支点上 RC 横桁コンクリート硬化後は、

表-1 荷重条件

合成前・後	段階	名称	荷重
合成前	段階1	鋼重（主桁、補剛材など）	2.989KN/m
	段階2	先行RC床版、ハンチ	19.629KN/m
		中間RC横桁	52.567KN/箇所
	段階3	ワイヤー緊張	294KN
合成後	段階4	中間支点上後打RC床版、ハンチ	19.629KN/m
		中間支点上RC横桁	105.105KN/箇所
	段階5	ワイヤー解放	上向きに294KN
	段階6	舗装	4.733KN/m
	段階7	活荷重	B活荷重

連続桁系となるため中間支点上横桁下面に支点をもち換えることが必要となる。FEM 解析においては、1/2 モデルとしているため中間支点上 RC 横桁の鉛直面である一辺を完全拘束とする。

4. FEM 解析結果と検証

FEM モデルの妥当性を確認するため、梁理論で求めた反力との比較をおこなった。表-2 に反力比較表を示す。各段階において FEM 解析値と梁理論で求めた合計反力が一致しているのが分かる。これにより FEM 解析にインプットした荷重の妥当性が確認できる。紙面の関係で変位比較の結果については載せてないが、変位比較では、各段階とも若干の違いが出たが、累積された鉛直変位をみるとほぼ等しくなった。これにより梁理論の妥当性が確認できる。昨年度の研究により、支点上において大きな曲げモーメント 931kN が発生することから、スタッドジベルの応力照査を行った。応力照査では本モデルに使用した横桁部分にあるスタッドジベルを鉛直方向に分類してグループ A～F とした。スタッドジベルの発生剪断力（図 - 1）は、下フランジ側ほど大きく上フランジに近づくに従って小さくなっている。これは床版と鋼主桁の合成断面の合成重心が上フランジ下面近傍に位置しており、曲げモーメントが作用した場合の応力度分布とよく近似している。この結果から合成重心からの距離が遠いスタッドほど応力伝達に大きく寄与していることがわかる。また、手計算で必要本数を求める計算方法の妥当性が確認できたと言える。発生剪断力をグループ別に比較するとグループ F に比べて、グループ A のスタッドに働く剪断力の方が大きいことがわかる。この結果から推定できることは桁端部に近いスタッドほど応力伝達に大きく寄与することがわかる。この結果は手計算で必要本数を求める場合は評価できなかった点である。

界面特性評価システムの大きな内容は、その一つは FEM 解析結果から連続化合成桁の変位および各構成材の応力を抽出して、梁理論による計算結果との比較表や応力図を作成する。二点目は FEM 解析結果から各スタッドジベルに作用する剪断力を抽出して作用剪断力一覧表および剪断力分布が容易に把握できる作用剪断力分布図の作成を行う。この二点から設計技術者を支援するシステムを構築した。

5. まとめ

以下に本研究で得られた成果を示す

①解析結果と梁理論との比較による作用力伝達の検証

FEM 解析による桁の変位（撓み）および各部材の応力と梁理論を利用した計算結果とを比較した結果、両解析結果は極めてよく一致しており、合成桁と RC 横桁間の作用力の伝達は十分であることが判明した。同時に、本工法を採用した連続桁の断面力および変位の解析は、梁理論による結果で十分であることが検証された。

②システムの構築

FEM 解析を適用した「梁理論の検証」および「スタッドジベル剪断力の検証（界面特性評価システム）」を目的とする設計技術者支援システムの構築ができた。

参考文献 1)久後雅治,宮本文穂,本下稔,駿河敏一：単純合成桁の連続化工法—RC 横桁による連結とワイヤーによるプレストレス力導入—,1998.11

表-2 反力比較表

	反力 (kN)	
	FEM	梁理論
段階1	29.59	29.59
段階2	221.50	221.54
段階3	368.50	368.54
段階4	504.10	504.04
段階5	357.10	357.04
段階6	427.60	427.60
段階7	706.90	706.90

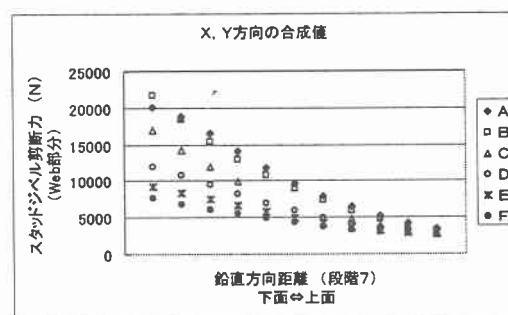


図-1 Web 部分における剪断力