曲線合成2主桁橋の架設時における合成度評価に関する研究

Study on the evaluation of the composite degree of composite curved twin I-girder bridges under construction

北海道大学大学院工学研究科	学生員	松本繁治	(Matsumoto Shigeharu)
函館工業高等専門学校	正会員	平沢秀之	(Hirasawa Hideyuki)
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	林川俊郎	(Hayashikawa Toshiro)

1. まえがき

鋼橋の合理化・省力化構造の一つである2主桁橋を曲線 橋に適用させるために、著者らは横桁を斜めに配置する 方法を提案した¹⁾。この方法は主桁に対して通常直角に連 結されている横桁を、約45°の角度で連結し、且つ主桁 の下段に配置するものである。このような配置方法とす ると橋梁完成時の断面は擬似箱形断面とみなすことがで き、ねじりに対して効果的となることが明らかとなって いる。しかし、床版に場所打ちPC床版を使用すると、架 設時は開断面となるため、曲線橋としては不利な構造で ある。

開断面のためねじり剛性が低くなることを改善するために、床版に鋼-コンクリート合成床版を用いることとし、底鋼板の効果を検討した研究も行なっている²⁾。その結果、床版コンクリート硬化前の状態において、底鋼板と斜め配置横桁により桁のたわみとねじり角及び主桁断面に生じる応力を低減できることが判明した。

本研究は曲線2主桁橋の架設工法として送り出し工法を 採用した場合、横桁を斜めに配置する効果及び底鋼板を 設置する効果を検討するものである。すなわち、架設途 中にあり、非常に長い張り出しを有する構造系を対象に してFEM解析を行い、耐荷力を求めることを目的として いる。なお合成床版に関しては、現在数多くの形式が提 案されている³⁾が、これまで本研究では底鋼板が架設時に おいて主桁に剛に結合されていると仮定していた。実際 には底鋼板と主桁上フランジはボルト接合されている場 合が多く、全くずれの生じない完全剛性と見なせないこ とが考えられる。本研究では多少のずれが生じることを 想定した半剛結のモデルを用い、送り出し先端部の変位 を解析した。

2. 送り出し架設系の解析モデル

解析対象とする曲線2主桁橋は、図 1に示すように2径 間連続桁を想定しており、床版施工前の鋼桁と底鋼板の みからなる構造とする。橋長Lを一定として中心角を8° ~32°の4通りとする。表 1は各中心角における曲率半 径を示している。橋梁全体を前方支点2箇所、後方支点2 箇所の計4箇所で支持している。前方支点から先端までは 7L/16=35[m]の張り出し部を有している。送り出し時は全 ての支点がローラーとして機能すると考えられるが、解 析では後方支点をヒンジ、前方支点をローラーとして境 界条件を与えている。荷重は主桁と横桁の連結部の各点 に鉛直集中荷重を作用させ、等分布荷重に近似させた。 FEM解析では全て4節点シェル要素を使用した。



(a)横桁直角配置モデル(Model-A)



(b)横桁斜め配置モデル(Model-B)

図 1 曲線2主桁橋送り出し架設系モデル(平面図)

表 1 各々の中心角における曲率半径

中心角[゜]	8	16	24	32
曲率半径 [m]	573	286	191	143



また本研究では、図 1に示すように、(a)主桁に横桁 を直角且つ中段に配置し、底鋼板を設置しないモデルを Model-A、(b)横桁を斜め下段に配置したモデルをModel-B とし、さらにModel-Bの主桁の上フランジ上に、横リブ のある底鋼板(共に厚さ8[mm]、幅10.2[m]、横リブ高 0.2[m]、横リブ間隔1.25[m])を設けた解析モデルを Model-Cとして、比較、検討を行なう。なお、Model-Cに おいては、底鋼板と主桁は剛に結合されている。Model-Cの底鋼板と主桁の接合を半剛結とした解析モデルが Model-Dである。Model-Dは前頁の図 2に示すように、 底鋼板と主桁の間に仮想部材としてソリッド要素を挿入 したモデルである。Model-Dのソリッド要素のヤング係 数を変化させることにより、剛結度を変化させることが できる。

表 2は主桁と横桁の寸法及び材料定数を表している。 弾塑性解析を行なうに当たって、ここでは材料の応力ひ ずみ関係を、バイリニア型の線形硬化弾塑性体に理想化 できるものと仮定し、ひずみ硬化部の硬化係数を弾性域 のヤング係数の0.01倍とする。図 3はその材料の応力ひ ずみ関係を図で表したものである。

3. 曲線合成2主桁橋の主桁と底鋼板の剛結度

3.1 剛結度の算出

主桁のたわみは底鋼板の結合の程度により変化する。 すなわち、剛に結合されているときは主桁と底鋼板のず れが生じなく、たわみは最も小さい。底鋼板と結合して いない場合は大きなずれが生じ、たわみも大きい。半剛 結(不完全剛性)の場合は、たわみはこれらの中間の値を とる。

Model-BとModel-Cのたわみをそれぞれ δ_B 、 δ_C とする。 また、主桁と底鋼板の接合が半剛結であるモデルを Model-Rとし、そのたわみを δ_R とおく。これらのたわみは $\delta_C < \delta_R < \delta_B$ の関係にある。本研究では、このModel-Rの剛 結度 α_R を次式のように定義する。

$$\alpha_{R} = \frac{\delta_{B} - \delta_{R}}{\delta_{R} - \delta_{C}} \tag{1}$$

ここで、 $\delta_R = \delta_B$ すなわち結合していないとき、 $\alpha_R = 0$ となる。また、 $\delta_R = \delta_C$ すなわち剛結であるとき、 $\alpha_R = 1$ となる。式(1)を変形して、

$$\alpha_{R} = \frac{1 - \delta_{R} / \delta_{B}}{1 - \delta_{C} / \delta_{R}}$$
(2)

を得る。

3.2 中心角と剛結度

中心角 8°, 16°, 24°, 32°の曲線橋の δ_B 、 δ_C をFEM解析に より求め、更に式(2)において、 $\delta_R/\delta_B = 0.84$ と仮定したと きの α_R の値を表 3 に示す。ここで、荷重は等分布死荷 重を載荷した。

図 4 は中心角と剛結度の関係をグラフ化したもので ある。本来、主桁と底鋼板の剛結度は中心角によって変 化するものではないが、本研究では前節で述べたように

表 2 断面寸法と材料定数

		主桁	横桁
	上フランジ幅[mm]	500	300
断	上フランジ厚[mm]	30	25
面	腹板高[mm]	2960	975
寸	腹板厚[mm]	24	16
法 下フランジ幅[mm] 下フランジ厚[mm]	800	300	
	下フランジ厚[mm]	50	25
材	ヤング係数[N/mm ²]	2.0 >	< 10 ⁵
料	降伏応力[N/mm ²]	3.5×10^2	
定	線形硬化係数	0.01	
数ポアソン比		0.3	





中心	角[°]	δ _B [m]	$\delta_{C}[m]$	$\alpha_{\rm R}$
8	内桁	0.163	0.134	0.89
	外桁	0.159	0.133	0.97
	平均	0.161	0.134	0.93
16	内桁	0.170	0.137	0.82
	外桁	0.164	0.136	0.93
	平均	0.167	0.136	0.87
24	内桁	0.181	0.141	0.72
	外桁	0.172	0.140	0.85
	平均	0.177	0.141	0.78
32	内桁	0.197	0.147	0.63
	外桁	0.185	0.146	0.75
	平均	0.191	0.147	0.69

表 3 Model-R の剛結度

剛結度を桁先端の変位で評価しており、それに加えて中 心角が増加すると共にねじり変形が起こりやすくなるた めに、剛結度は中心角の増加と共に減少する結果となっ た。また、内桁先端の変位から求めた剛結度と外桁先端 の変位から求めた剛結度の2種類に加え、内桁・外桁先 端の平均の変位から求めた剛結度の3種類のグラフとなっている。 図 4に表示されている式は、中心角をx、剛結度をyとして最小2乗法により直線に近似した式である。定式化による誤差は、最大で約17%、平均で約9%の範囲で収まる結果となった。



図 3 中心角と剛結度

3.3 仮想部材のヤング係数と桁先端の変位

Model-D は主桁の上フランジと底鋼板の間に仮想部材 としてソリッド要素を挿入したモデルである。したがっ て、ソリッド要素のヤング係数を変化させることにより、 桁先端の変位が変化する。その変化の様子を中心角毎に 図 5(a)(b)(c)(d)に示している。内桁・外桁先端、及びそ の平均に関わらず、ヤング係数が増加すると共に桁先端 の変位は減少している。これはヤング係数の大小で、底 鋼板のずれ量を変化させることが可能であることを意味 している。



図 5(a)桁先端の変位とヤング係数(中心角8°)

図 5(a)(b)(c)(d)の右端の式は、Model-D における仮想 部材であるソリッド要素のヤング係数と桁先端の変位の 関係を最小 2 乗法により累乗関数に近似させ、定式化し たものである。その際の誤差は、最大で約 0.25%、平均 で 0.09%の範囲で収まることが判明している。

また図 5 を中心角が増加する、つまり曲率が大きく なる(a)(b)(c)(d)の順に、平均のグラフから内桁と外桁のグ ラフの幅が大きくなっていることが分かる。これは中心 角の増加と共に、ねじり変形が起こりやすくなることに より内桁と外桁における先端の変位の差が大きくなった ためであると考えられる。仮に平均の式を用いた場合、 外桁と内桁の変位は最大で約 30%、平均で約 20%の誤差 が生じる。



図 5(b)桁先端の変位とヤング係数(中心角 16°)



図 5(c)桁先端の変位とヤング係数(中心角 24°)



図 5(d)桁先端の変位とヤング係数(中心角 32°)

3.4 仮想部材のヤング係数の決定

本章の 3.2 節で算出したModel-Rの剛結度 _RにModel-D の底鋼板と主桁の剛結度 _Dを一致させることにより、 Model-Dがより現実的な底鋼板と主桁の結合を有したモ デルになる。そのために _R= _DとなるようなModel-D のソリッド要素のヤング係数Eを決定する必要がある。 その際、本研究では剛結度を桁先端の変位で評価してい るため、前節の結果を用いると容易にヤング係数を決定 することができる。表 4 はその結果を示している。中 心角毎に剛結度が減少するため、ソリッド要素のヤング 係数も減少している。

表 4 Model-D のソリッド要素のヤング係数

中	心角	$\alpha_{\rm R}$	$E[N/m^2]$
8	内桁	0.89	1.18E+07
	外桁	0.97	1.60E+07
	平均	0.93	1.30E+07
16	内桁	0.82	9.50E+06
	外桁	0.93	1.40E+07
	平均	0.87	1.10E+07
24	内桁	0.72	7.00E+06
	外桁	0.85	1.05E+07
	平均	0.78	8.00E+06
32	内桁	0.63	5.25E+06
	外桁	0.75	7.50E+06
	平均	0.69	6.00E+06

4. あとがき

曲線合成2 主桁橋の底鋼板と主桁の複雑な結合を、仮 想部材を挿入することでモデル化の簡略化を試みた。そ の際に底鋼板と主桁の剛結度を桁先端の変位で評価し、 底鋼板と主桁がより現実的な結合に近づくモデルを作成 した。

主桁と底鋼板の間に仮想部材としてソリッド要素を挿入したモデルは、ソリッド要素のヤング係数が増加すると共に桁先端の変位は減少する結果となった。これは、 ヤング係数を大きくすることで底鋼板のずれ量が小さくなったためである。

本研究では、仮想部材を挿入した解析モデルが底鋼板 と主桁の結合具合を表現できることを利用して、底鋼板 と主桁の結合を実際の状態に近づけることを試みた。そ の結果、中心角の増加と共にヤング係数は減少する結果 となった。これは本研究で用いる剛結度が桁先端の変位 で評価されていることに起因していると考えられる。

今後、仮想部材であるソリッド要素に用いるヤング係 数は内桁・外桁先端の平均の変位から算出したものを用 い、終局強度解析を行なう予定である。実際に使用され ている底鋼板と主桁の結合とは多少誤差があると思われ るが、完全剛結である Model-C と比較すれば、実際の結 合に近づいたと言える。

参考文献

- 平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一、田上優介:横桁を 斜めに配置した曲線2 主桁橋の静的挙動に関する-考察、構造工学論文集、Vol.48A,pp.1091-1098,2002.
- 2) 平沢秀之、福島敦、林川俊郎、佐藤浩一:合成床版 と斜め配置横桁を有する曲線2 主桁橋の解析、土木 学会北海道支部論文集、第59号、pp.90-93,2003.
- 阿部幸夫、久保圭吾、高木優任、武内隆文:各種合成床版の構造と適用例、第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、pp.23-30,1998.