

梁とトラスの重合構造における構造負担 の評価と造形の効果

安河内 亮¹・関 文夫²・李 英然³

¹学生会員 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻
(〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-8-14, E-mail:csry21027@g.nihon-u.ac.jp)

²正会員 工博 日本大学理工学部土木工学科
(〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-8-14, E-mail:seki.fumio@nihon-u.ac.jp)

³非会員 中铁大桥勘测设计院集团有限公司
(江苏省南京市鼓楼区江东北路 121 号辰龙广场, E-mail:1043041699@qq.com)

近年、解析技術の発展と共に、構造デザインの新しいムーブメントとして、重合構造という新しい構造形態が出現している。重合構造とは、筆者らが提唱する構造形態で、同一材料を用いながら二つの構造形態を重ねた構造形式のことを指す。最近の重合構造としてはLaurant Neyが設計したラーメン構造とトラス構造のEsch Bridge, sbpが設計したアーチ構造と梁構造のFootbridge TRUMPFが該当する。重合構造の場合、構造特性が複雑になるだけでなく、その挙動も曖昧となる。ここでは、梁構造とトラス構造の重合構造をベースに二種類の構造負担や構造特性について分析するものである。

キーワード:重合構造, 構造特性, 構造負担率, 梁構造, トラス構造

1. はじめに

近年、解析技術の発展と共に、構造デザインの新しいムーブメントとして、重合構造という新しい構造形態が出現している。¹⁾合体構造とは筆者らが提唱する構造形態で、同一材料を用いながら二つの構造形式を重ねた重合構造や二つの構造形式を結合した結合構造のことを指す。重合構造において、過去にはラーメン構造とアーチ構造を重ねたシュプロイヤー橋(Spreuer Bridge, Luzen, 17世紀)、斜張橋と吊構造を重ねたブルックリン橋(Brooklyn Bridge, NY Brooklyn, 1883)などが重合構造となる。最近の重合構造としてはLaurant Neyが設計したラーメン構造とトラス構造のEsch Bridge(Esch-sur-Alzette, 2009)、sbpが設計したアーチ構造と梁構造のFootbridge TRUMPF(Ditzingen, 2018)が該当する。

重合構造の場合、構造特性が複雑になるだけでなく、その挙動も曖昧となる。ここでは、梁構造とトラス構造の重合構造をベースに二種類の構造負担や構造特性について分析するものである。

2. 複合構造と融合構造

(1) 複合構造

複合構造は、合成構造と混合構造に分類される。2種類

以上の材料を用いて、同一桁断面等で床版にコンクリートを用いて、梁や構造などの異なる材料を用いた構造を合成構造とし、主桁や主桁の一部に鋼材とコンクリートを併用した構造を混合構造という。



図-1 複合構造の分類

(2) 融合構造

融合構造は、筆者らが提唱する構造分類であり、同一材料で異なる構造を合体させた重合構造と結合構造に分類した。重合構造は、主構造に補剛材を重ね合わせた構造や、二つの主構造を重ね合わせた構造とした。結合構造は二つの構造を結合した構造を結合構造とした。



図-2 融合構造の分類

3. 検討方法

(1) 重合構造

重合構造とは同一材料における2つ以上の構造の重ね合わせによる構造と定義した。実構造物としては、Laurant Neyが設計したEsch Bridge(図-3)やsbpが設計したFootbridge TRUMPF(図-4)などが挙げられる。Footbridge TRUMPFは梁構造のウェブを倒し、ウェブのエッジを立てることにより、アーチ作用を発生させることにより、重合構造として成り立っている。このようにウェブを倒すような動きを与えることで造形の自由度が高まる。倒すことにより剛性の低下などが起こるが、重合構造の考えを取り入れることにより、構造として合理的かつ新しいデザインの考え方として使用できるのではないかと考える。

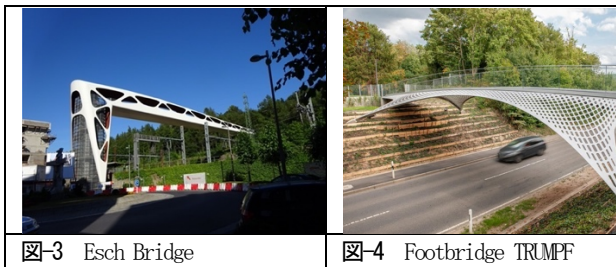


図-3 Esch Bridge

図-4 Footbridge TRUMPF

(2) 梁構造とトラス構造の重合構造

梁構造のウェブを倒すという動きを与えることにより、造形としての自由度が高まる。しかし倒すことにより剛性の低下などが起こると考えられる。そこで本研究では重合構造の考えとして倒したウェブにトラス構造を重ね合わせることにより、デザインとしての自由度を高めながら、合理的な構造として成り立つという考えのもと進めていく。

4. 基礎形状モデル

(1) ウェブ長さ一定モデル

(a) 解析概要

梁構造におけるウェブ材長さを一定とし、ウェブ角度を変化させたことによる挙動の変化を分析するため、構造解析を行う。解析ソフトは汎用有限要素解析プログラム(MSC. Mentat/Marc)を使用した。

解析モデルは表-1、図-5に示す寸法とし、材料諸元は表-2に示す。要素は200mmメッシュとし、ソリッド要素を用いてモデルを作成した。支点条件は図-6に示すように、ウェブの端部から1mとし、4点ともにx, y, z方向を拘束した。荷重条件は自重及び群衆荷重 3.5kN/m² とする。なお使用解析ソフト、材料諸元、メッシュサイズ、支点条件、荷重条件は以下の章も同様とする。

表-1 解析モデル寸法

ウェブ角度 θ [°]	橋長 L[mm]	支点間距離 l [mm]	ウェブ長さ h[mm]	幅員 B[mm]	板厚 t[mm]
90	20000	18000	900	4000	20
105					
120					
135					
150					

表-2 材料諸元

項目	記号	数値	単位
弾性係数	E	205×10 ³	N/mm ²
ポアソン比	ν	0.3	
質量密度	ρ	7.85	g/cm ³

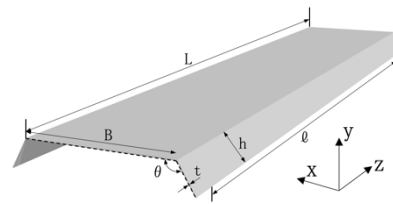


図-5 解析モデル概要図($\theta=120^\circ$)

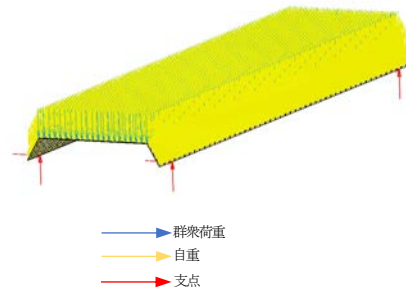


図-6 有限要素解析モデル($\theta=120^\circ$)

(b) 解析結果

各モデルの支間中央ウェブ下縁部変位の解析結果と等分布荷重作用時におけるたわみの理論値を図-7、図-8に示す。ウェブ角度が大きくなることにより剛性低下が起こり、y方向変位が増加する。解析結果と理論値を比較すると、解析によって得られたy方向変位が理論値よりも大きくなった。これはx方向変位によって更なる剛性低下が起こり、増加したものと考えられる。

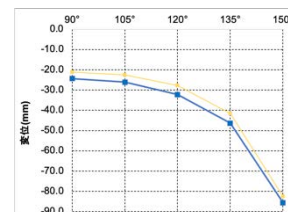


図-7 y方向変位

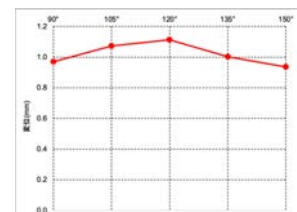


図-8 x方向変位

(2) ウェブ高さ一定モデル

(a) 解析概要

本解析はウェブ高さ一定の条件下におけるx方向変位の挙動を確認することを目的として有限要素解析を行う。解析モデルは表-3、図-9に示す寸法とする。

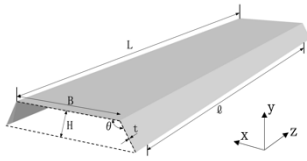


図-9 解析モデル概要図

(b) 解析結果

解析によって得られた各モデルの支間中央ウェブ下縁部変位を図-10、図-11に示す。y方向変位に関しては、ウェブ高さ一定のため、角度による大きな差異は見られなかった。x方向変位は、ウェブ角度90° から120° までは増加傾向にあるが、120° 以降は減少傾向であった。図-12、図-13に示すコンター図を比較すると、120° モデルに比べ150° モデルはウェブ中央全体が潰れるように変形していることがわかる。そのため、x方向変位が減少したと考えられる。

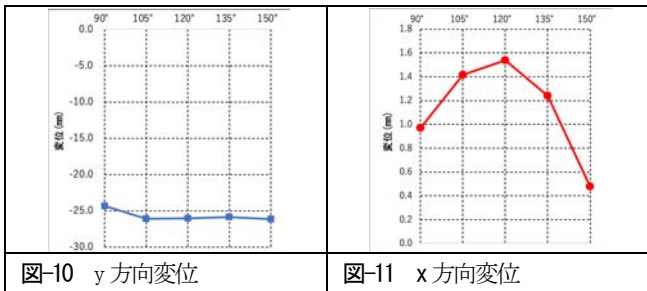


図-10 y 方向変位

図-11 x 方向変位

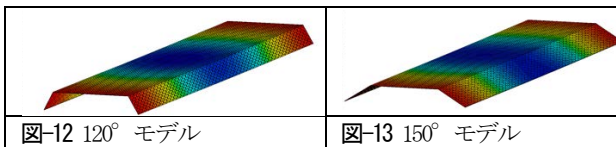


図-12 120° モデル

図-13 150° モデル

(3) 垂直補剛材モデル

(a) 解析概要

本解析では補剛材の枚数及び幅による変位の減少を評価することを目的として解析を行う。解析モデルを図-14、表-4に示す。前章にて解析を行った。ウェブ高さ一定モデルに、図-15に示すピッチで補剛材を設けた。また、補剛材の幅Wは100mm、150mm、200mmの3つのパラメータで解析を行なった。(図-16)

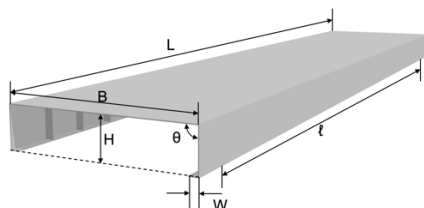


図-14 解析モデル概要図

表-4 解析モデル寸法

ウェブ角度 θ [°]	橋長 L[mm]	支点間距離 l [mm]	ウェブ高さ h[mm]	幅員 B[mm]	板厚 t[mm]	補剛材幅 W[mm]
90	20000	18000	900	4000	20	
105						100
120						150
135						200
150						

表-3 解析モデル寸法

ウェブ角度 θ [°]	橋長 L[mm]	支点間距離 l [mm]	ウェブ高さ h[mm]	幅員 B[mm]	板厚 t[mm]	補剛材幅 W[mm]
90	20000	18000	900	4000	20	
105						100
120						150
135						200
150						

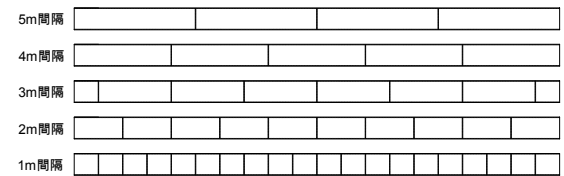


図-15 補剛材ピッチ 側面図



図-16 補剛材取り付け 断面図

(b) 解析結果

解析によって得られた各モデルの支間中央ウェブ下縁部変位を図-17, 18, 19, 20, 21, 22に示す。解析の結果より補剛材の幅wを変更しても、変形の拘束に関して大きな差がないことが読み取れる。そのためy方向への変形を拘束する場合は5m間隔の幅100mmで十分であると考えられる。ただし、5m間隔の場合x方向への変形拘束効果は少ない。そのためx方向の変形は3m間隔以下で補剛材を設けることにより、変形拘束効果が得られると考えられる。

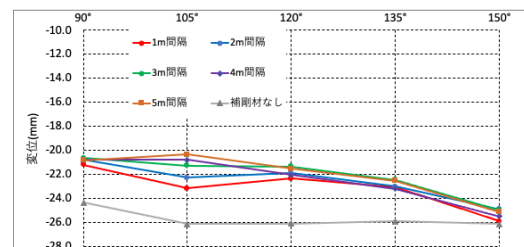


図-17 W=100mm y 方向変位

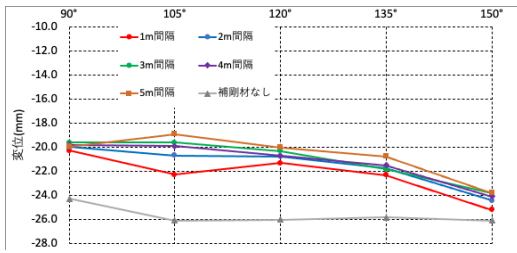


図-18 W=150mm y方向変位

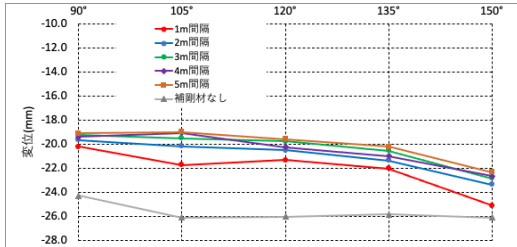


図-19 W=200mm y方向変位

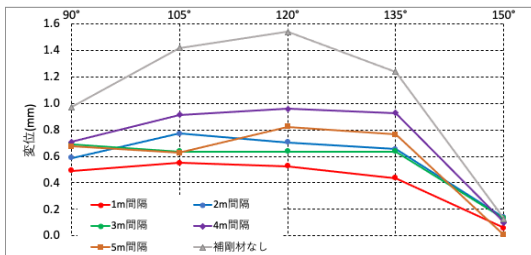


図-20 W=100mm x方向変位

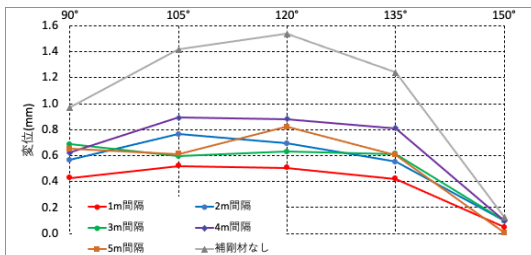


図-21 W=150mm x方向変位

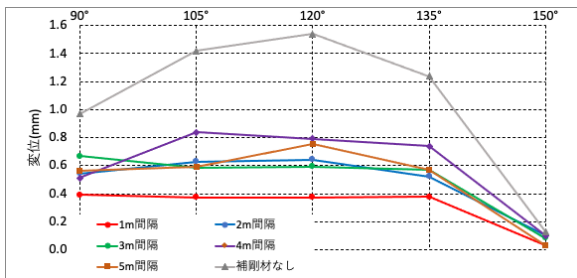


図-22 W=200mm x方向変位

5. 重合構造モデル

(1) 解析概要

本解析では梁とトラスの重合構造の解析を行い、構造特性を明らかにすることを目的とする。解析モデルを図-23、表-5に示す。またトラスのピッチを図-24に示す。前節と同様補剛材幅Wをパラメータとする。

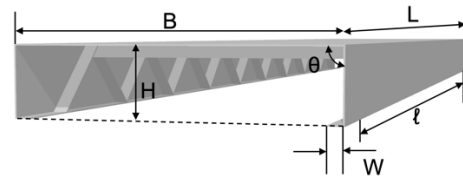


図-23 解析モデル概要($\theta=90^\circ$)

表-5 解析モデル寸法

ウェブ角度 θ [°]	橋長 L[mm]	支点間距離 l[mm]	ウェブ高さ h[mm]	幅員 B[mm]	板厚 t[mm]	補剛材幅 W[mm]
90	20000	18000	900	4000	20	100
105						
120						
135						
150						

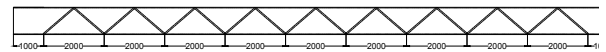


図-24 トラスピッチ

(a) 解析結果

解析結果から得られた変位と、比較対象として前節で行った補剛材間隔2mの変位を図-25、図-26に示す。y方向変位に着目すると、ほとんど変わらない値を示した。x方向変位に着目すると、補剛材幅100mmの場合は垂直補剛材と比較して大きく出たが、150mmと200mmの場合は垂直補剛材モデルよりも小さくなった。

構造特性を明らかにするため、y方向変位が最も小さくなった、補剛材幅200mm、ウェブ角度105°の垂直補剛材モデルとトラス補剛モデルの最大主応力コンター図及び最小主応力コンター図を示す。(図-27, 28, 29, 39)

コンター図を比較すると最大主応力図では支点間中央ウェブ下縁付近、最小主応力図では支点部付近の応力レベルの低下が確認できる。より詳しく確認するため、下フランジにおける主応力図を図-23, 24に示す。グラフより、x軸と主応力からなされる面積が、垂直補剛材モデルと比較して、小さくなっていることが確認できる。これはトラス補剛材が垂直補剛材と比較して、下フランジに効率よく力を伝達するため、全体の応力レベルが下がったものだと考えられる。

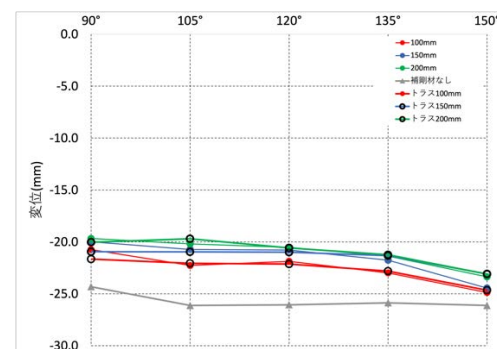


図-25 y方向変位

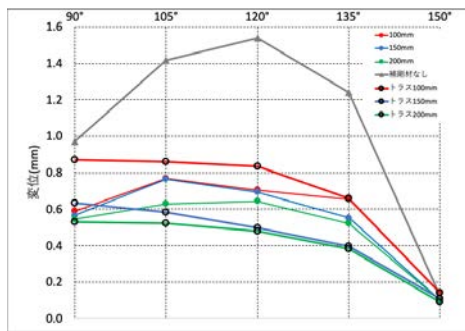


図-26 x 方向変位

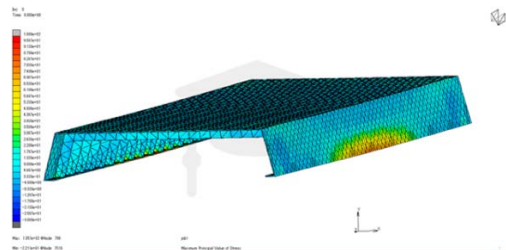


図-27 垂直補剛材 最大主応力コンター図

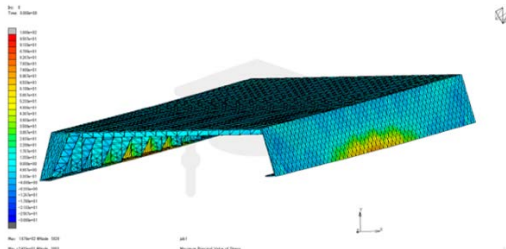


図-28 重合構造 最大主応力コンター図

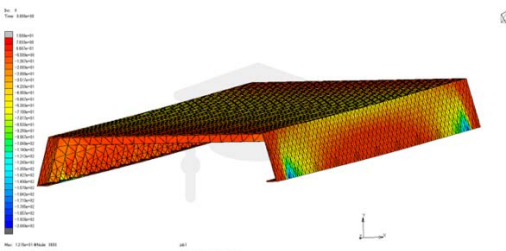


図-29 垂直補剛材 最小主応力コンター図

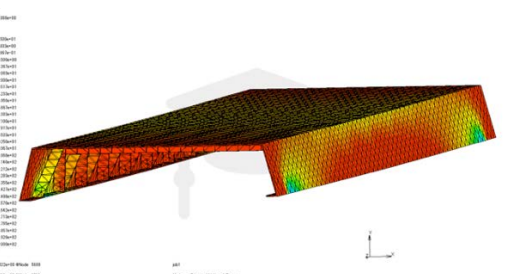


図-30 重合構造 最小主応力コンター図



図-31 垂直補剛材 主応力図

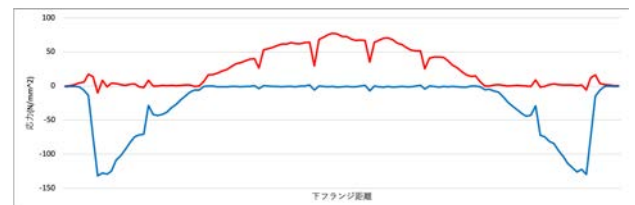


図-32 トラス補剛材

6. まとめ

梁構造の変形を拘束する方法を補剛材の幅や、ピッチ、補剛材の形状による構造特性の変化を、解析を通じて明らかにした。得られた結果を以下に示す。

- 1) 梁構造において垂直補剛材の幅を変化させても変形拘束に至っては大きな差はない。そのため補剛材幅に関しては経済性なども考慮し、100mm程度の幅で十分であると言える。
- 2) 補剛材ピッチをパラメータとして解析を行った結果 x方向への変形の観点から3mピッチ以下で行うことによりx方向への変形拘束効果が得られることがわかった。
- 3) 補剛材にトラス形状を用いることで変形に対しては垂直補剛材と同程度の効果を発揮し、応力状態を見ると、下フランジに効率よく力を伝達することにより構造物全体の応力レベルを低下させることがわかった。

7. おわりに

構造解析を通じて、梁とトラスの重合構造においては垂直補剛材と比較して、より効率よく力を伝達させることができることを確認した。また重合構造という新しい構造形態を用いて橋梁の設計を行うことで、今までにない新しいデザインの考え方として利用することができ、構造に対する発想の豊かさにつながることを期待できる。

本研究では梁とトラスの重合構造を取り上げたが、トラスの効果の依存率を増加させるためにどのように考えていけばよいかを明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 李英然: リブ付き面トラス構造の構造特性と造形による効果, 日本大学大学院 修士論文