

1. 背景

合成桁とは、コンクリートと鋼 I 桁を組み合わせた複合構造である。コンクリートは圧縮に強く、鋼桁は引張に強いといったそれぞれの特性を活かした合理的な構造となっている。鋼桁はウェブの板厚を薄く抑え、桁高を高くすることが求められる。しかし、ウェブが薄すぎたり、高すぎると構造が不安定になり、座屈などの危険性が高まる。そのため、道路橋示方書¹⁾では、一定の板厚の薄さ、桁高の高さを超えた場合に垂直方向、水平方向に鋼材での補剛が必要とされている。鋼材で補剛した場合、材料数や製造費が大幅に加算され、更に溶接部分は弱点になる。そこで、十分に薄い板厚かつ有効な桁高の鋼 I 桁を木材で補剛しようと考えた。木材は圧縮に強く、鋼材に比べ安価で重量も軽く、環境にも十分に良い。

2. 解析手法

有限要素解析ツール「Salome-Meca2019」を用いて曲げ強度の解析を行い、さらに横ねじれ座屈解析を行う。横ねじれ座屈解析は架設時の横ねじれ座屈防止の観点から解析を行った。また、弾塑性解析では片側ピン、片側ローラーの単純梁において部材スパン中央で線載荷した。横ねじれ座屈解析では片側完全固定の片持ち梁で自由端側に上から面載荷をかけて解析を行った。

(1) 解析モデル

解析モデルは 2 通りあり、図-1 に示すようにモデル 1 はウェブが $6\text{mm} \times 900\text{mm}$ の鋼 I 桁で、モデル 2 はウェブが $12\text{mm} \times 2300\text{mm}$ の実橋モデルを基に設計したもので両モデルともにスパン長は 10000mm である。本研究では鋼 I 桁において (a) 補剛なし、(b) 垂直補剛材、(c) 木材補剛、(d) 垂直補剛材と木材補剛の両方、さらに、モデル 2 においては実橋と同じく (e) 垂直・水平補剛の 5 つの補剛

パターンで解析を行った。

本研究で用いた鋼材は鋼種を SM490Y 材とし (ヤング率 205GPa 、ポアソン比 0.3 、降伏応力 355MPa)、木材はスギ材 (ヤング率 7GPa 、ポアソン比 0.4 、降伏応力 30MPa) とした。

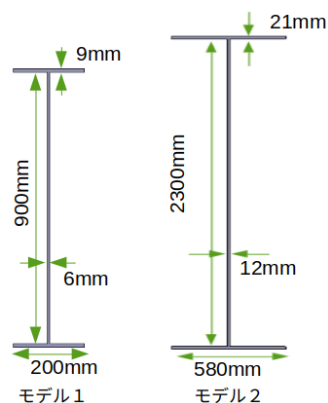


図-1 鋼 I 桁モデル

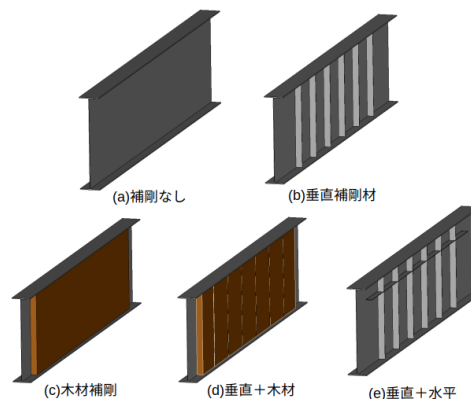


図-2 補剛材

(2) 理論値

横ねじれ座屈解析では、式-1 の Andrade²⁾ の式を用いて座屈荷重を求めた。このとき、 P_{cr} は座屈荷重、 I_y は断面二次モーメント、 ℓ はスパン長、 G はせん断弾性係数、 J はねじれ定数をそれぞれ示す。

$$P_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_y}{4 \ell^3} \sqrt{\frac{4 I_w}{I_y} + \frac{4 \ell^2 G J}{\pi^2 E I_y}} \quad (1)$$

スパン長を 5000mm から 1000mm 間隔で 10000mm まで、横ねじれ座屈解析と式-1 をもとに計算それぞれを行い、グラフ化した。その結果が図-3 であり、スパン長が大きいほど理論値に近づくことがわかり、 10000mm での解析を行った。

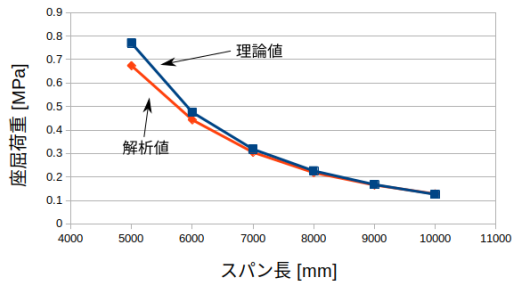


図-3 スパンによる座屈挙動の変化

3. 解析結果

(1) 曲げ強度

各解析モデルで曲げ解析を行い、载荷線に対する線の真下で引張の荷重-たわみ曲線を作成し曲げ強度比較した。図-4 にモデル 1 の結果を示す。これより (a) 補剛なしと、(b) 垂直補剛材はそれぞれ約 110kN と大きな違いは見られなかった。一方、(c)(d) の木材を補剛に用いた 2 つのモデルでは (a)(b) と比較して、20kN ほど曲げ強度が大きくなった。また、木材のみで補剛されたものと木材と垂直補剛材で補剛されたもので違いは見られなかった。

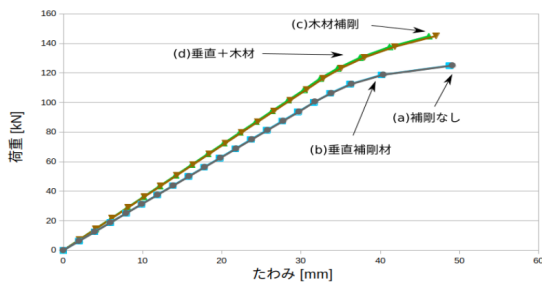


図-4 曲げ強度 モデル 1

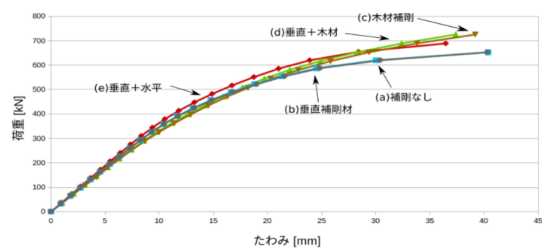


図-5 曲げ強度 モデル 2

図-5 にモデル 2 の結果を示す。先程同様に (a)(b) の鋼材のみのモデルに変化はなく、木材による強度への効果が見られ、実際に使用されている垂直・水平方向で補剛されたモデルに遜色のない曲げ強度が得られた。

(2) 横ねじれ座屈解析結果

次に横ねじれ座屈について結果を示す。図-6 はモデル 1、図-7 はモデル 2 の結果をそれぞれ示し、

これらより補剛材なしや鋼材での補剛モデルと比較して木材補剛による座屈強度の上昇が見られ、図-7 では (c)(d) の木材をはめ込んだモデルでは実際に実橋で使用されているモデルに比べ 4 倍程度の座屈強度が見られた。

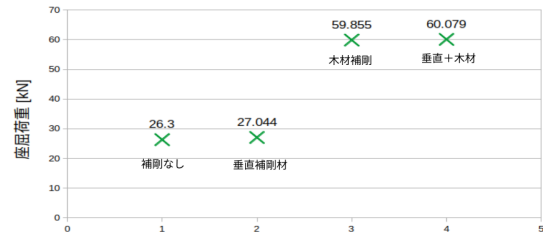


図-6 座屈結果 モデル 1



図-7 座屈結果 モデル 2

4. まとめ

本研究では木材を補剛材として利用する新しい鋼 I 桁の提案をし、その基礎的な挙動を数値解析的に検討した。曲げ強度に関しては木材の補剛材は鋼材の補剛材より強度がある程度上がることがわかった。水平補剛材の組み合わせたモデルと比較して有意差はなかった。架設時に懸念される横ねじれ座屈に関しては木材の補剛効果は非常に大きいと言える。これらから木材を用いて合成桁の補剛材として期待できると考えられる。今後の課題としては、実際に補剛材として使用する際の接着方法の検討、熱膨張率や含水率の検討、実験的検討など多くの課題が挙げられる。しかし、今回の研究から木材による効果は十分に期待できる結果となり、実現された場合は費用、環境など様々な面から従来の補剛方法に比べて上回ることは確かである。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説、平成 14 年 3 月改訂
- 2) A.Andrade,D.Camotim,P.Providencia e Costa : On rhe evaluation of elastic critical moments in doubly and singly symmetric I-section cantilevers,Journal of Constructional Steel Research 63,2007,pp.894-908