

# 継手部に炭素繊維シートとラグスクリューを使用した 集成材はりの弾塑性解析について

秋田大学 学生会員 ○進藤 翔太  
秋田大学 学生会員 佐藤 健次郎  
秋田大学 正会員 長谷部 薫

## 1. はじめに

近年、木材がもつ天然材料としての良さを十分に活かした各種構造物が建造されている。そのなかで集成材は、製作・加工技術、防腐技術の進歩により、建築はもとより小規模な橋梁の主構造材料として注目され使用されてきている。

しかしながら、大断面集成材の製作が可能になり、長スパン部材の架設が可能になった反面、現場への搬入および施工性から部材を分割し、現場継手を行う必要が生じてきている。また、集成材の接合具には、ドリフトピンとラグスクリューおよび従来から用いられるボルトがある。ラグスクリューは側材に鋼板を用いた場合に使用されており、ボルトのように長い先孔と木材中に貫通させる必要がない。側材の鋼板の代わりにアラミド繊維補強プラスチックとラグスクリューを用いた継手に関する試みも報告されている。

本報告では、過去の実験をもとに継手部の炭素繊維シートとラグスクリューを用いた継手部の弾性域および弾塑性域の曲げ挙動を調べ、継手としての適用性または可能性について考察する。

## 2. 解析手法

数値解析において、汎用有限要素解析プログラムMSC/MARC.Mentatを用いて、3次元ソリッド要素の弾塑性解析を行った。図-1において、本研究で対象となる基本解析モデルと軸の定義を示す。過去に実験した試験体と同様のモデルで支間175cmの集成材を2本使用している。解析モデルの支点は、ヒンジとローラーの単純支持条件で、モデルの寸法は、支間350cm、高さ20cm、幅員7cmとし、実物の1/3～1/4程度のモデルとする。

材料特性について、集成材はヤング係数  $E_x=8500\text{N/mm}^2$ ,  $E_y=E_z=E_x/25=340\text{N/mm}^2$ , ポアソン比  $\nu_x=0.4$ ,  $\nu_y=\nu_x/25=0.016$ , せん断弾性係数  $G_{xy}=G_{yz}=G_{zx}=E_x/15=567\text{N/mm}^2$ , 炭素繊維シートはヤング係数  $E_x=E_y=E_z=240000\text{N/mm}^2$ ,  $E_y=E_z=9600\text{N/mm}^2$ , ポアソン比  $\nu_x=0.25$ ,  $\nu_y=\nu_z=0.01$ , せん断弾性係数  $G_{xy}=G_{yz}=G_{zx}=16000\text{N/mm}^2$ , ラグスクリューはヤング係

数  $E_x=E_y=E_z=200000\text{N/mm}^2$ , ポアソン比  $\nu_x=\nu_y=\nu_z=0.3$ , せん断弾性係数  $G_{xy}=G_{yz}=G_{zx}=77000\text{N/mm}^2$  である。

解析モデルでは、過去の実験の条件と同様に進め、完全弾塑性体の挙動を観察し、破壊に至るまでの曲げ挙動をみていく。そこで、部材間の境界条件も同様に設定する。炭素繊維シートと集成材は、接触状態である。また、ラグスクリューと集成材は、ラグスクリューの先端部で固定とする。そして、炭素繊維シートとラグスクリューは、ラグスクリューの頭の部分の中心部から見て外側を固定されている。集成材はりの継手部の高さ方向の接点については、すべて接触状態である。図-2は、応力-ひずみ関係を記しているが、集成材と炭素繊維シートの引張側の直応力とひずみで線形、集成材の圧縮側とラグスクリューの引張側では完全弾塑性モデルを設定し、解析を行った。終局時の応力は、集成材では引張側で約  $29.1\text{N/mm}^2$ , ラグスクリュー約  $345\text{N/mm}^2$ , 炭素繊維シート約  $3000\text{N/mm}^2$  と仮定した。

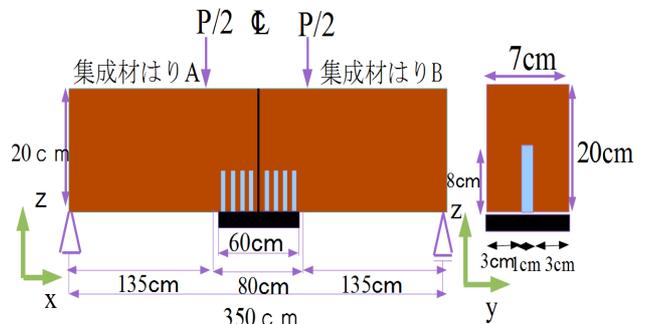


図-1 解析モデル

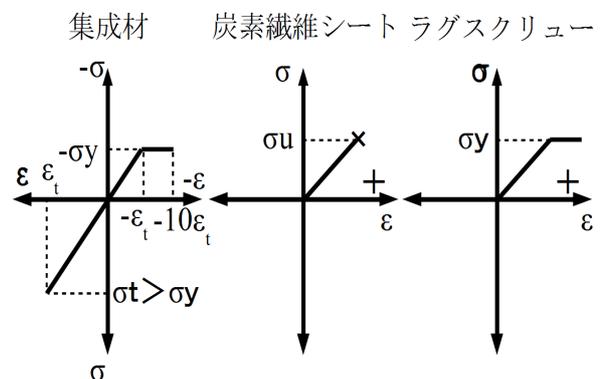


図-2 応力-ひずみ関係

### 3. 解析結果

表-1と図-3～5は、ラグスクリューを内側より2本ずつ減らした場合に対する計算結果を示し、ラグスクリューの本数をパラメータとして解析した。

表-1は、塑性時と終局時の荷重を表している。塑性がはじまる順番に変化はみられなかったが、8本の場合のみが集成材が一番先に終局した。炭素繊維シートは、引張に強く高強度であるため、8本の場合解析範囲30 kN以内では終局することはなかった。

図-3は、荷重-たわみ曲線を示しているが、ラグスクリュー8本の集成材と継手なしの集成材とはたわみはほぼ等しくなる。また、ラグスクリュー8本の塑性開始荷重は13 kNであり、2本の場合は6 kNであり、塑性開始時の荷重比は2.2倍となっている。

図-4は、下縁中央部の開きの変位を示したものである。それぞれの終局時の開き量は、8本0.62mm、6本1.17mm、4本1.65mm、2本2.61mmという結果である。

図-5は、ラグスクリューの終局時の変形を表した図と終局時ラグスクリュー先端部の変位量である。外側から8本 3.19mm、3.17mm、3.15mm、3.14mm、6本 3.36mm、3.55mm、2.97mm、4本 3.22mm、3.20mmで外に行くにつれて、変位が大きくなった。よって、ラグスクリューは、外に行くにつれて、荷重に対する負担が大きくなることわかる。

表-1 塑性開始荷重と終局荷重

ラグスクリュー8本	集成材	ラグスクリュー	炭素繊維シート
塑性順	2	1	×
終局順	1	2	3
荷重(塑性)	13 kN	12 kN	×
荷重(終局)	15 kN	16 kN	30 kN以上

ラグスクリュー6本	集成材	ラグスクリュー	炭素繊維シート
塑性順	2	1	×
終局順	2	1	3
荷重(塑性)	12 kN	11 kN	×
荷重(終局)	14 kN	12 kN	30 kN

ラグスクリュー4本	集成材	ラグスクリュー	炭素繊維シート
塑性順	2	1	×
終局順	2	1	3
荷重(塑性)	9 kN	8 kN	×
荷重(終局)	13 kN	9 kN	24 kN

ラグスクリュー2本	集成材	ラグスクリュー	炭素繊維シート
塑性順	2	1	×
終局順	2	1	3
荷重(塑性)	6 kN	5 kN	×
荷重(終局)	11 kN	7 kN	13 kN

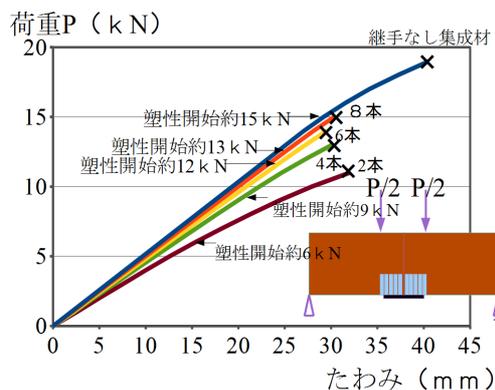


図-3 荷重-たわみ曲線

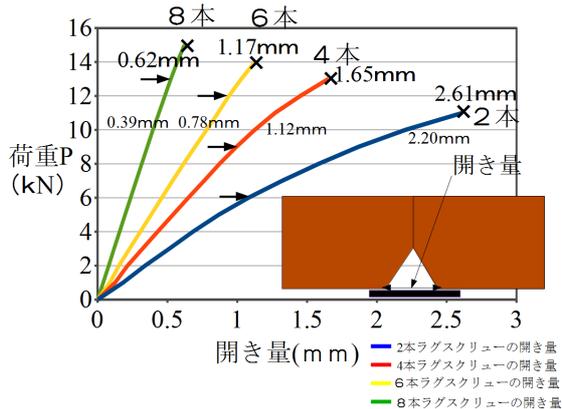


図-4 荷重-開き量曲線

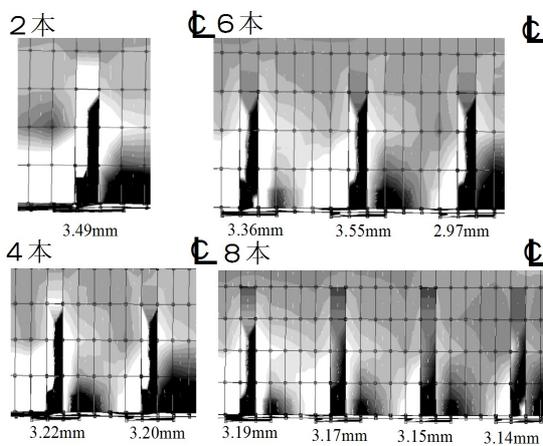


図-5 ラグスクリューの拡大図

### 4. まとめ

- (1) 過去の実験モデルで、ラグスクリューの本数をパラメータとして弾塑性解析を行ったことにより、終局強度を明らかにすることができた。
- (2) ラグスクリュー8本の場合、はじめに集成材の引張部で終局応力に達するが、その他はラグスクリューの一部がはじめに塑性化する。
- (3) 集成材とラグスクリューは、ほぼ同時に塑性や終局し始め、ラグスクリュー8本は継手無し集成材とほぼ近い強度が得られ、継手への適用が可能であると考えられる。