

大断面集成材の鋼ジョイント近傍の応力集中とその緩和法

Stress concentration of timber member near the steel joint and the relaxation method

今井富士夫*, 藤本英稔**, 間瀬英男***, 飯村 豊****, 中澤隆雄*

Fujio Imai, Hidetoshi Fujimoto, Hideo Mase, Yutaka Imura, Takao Nakazawa

* 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)

** 宮崎大学工学研究科博士前期課程 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)

*** 宮崎ウッドテクノ (〒883-0105 宮崎県東臼杵郡東郷町)

**** 農博 宮崎県木材利用技術センター (〒885-0037 都城市花繰町 21-2)

The members in the timber bridge are connected by a bearing force of connection bolts. It was clarified that a stress concentration occurred by local bearing force of the bolt and the analytical stress distribution in the section near the steel joint of the timber member for enlargement of the section was different from the distribution expected by the beam theory. Therefore, we proposed the method to relax the stress concentration by using the tapered bolt hole in the timber member and confirmed the effectiveness of this method.

Key Words: glued laminated timber, bolt joint, stress concentration, stress relaxation

キーワード: 集成材, ボルト接合, 応力集中, 応力緩和

1. まえがき

近年, 自然との共生が望まれるなかで木材を主部材とした橋梁などの大型構造物の建設が増加している. このような大規模な構造物では, 断面の高さが1 mを超える部材も使用されるようになってきた¹⁾. しかしながら, 設計に使用される仕様は木質構造設計規準²⁾などの一般に建築分野の小規模な部材を対象としたものを準用しているようである.

また, 接合法は木材が鋼に比べて軟らかいために, 鋼橋で一般的な摩擦接合は適用できず, ボルトのせん断によるリベット接合に属する支圧接合となっている. この場合, 木材が軟らかいためにボルト近傍の木部材には極端な応力集中による応力の突出や大断面化により梁理論で仮定した応力分布とは異なる性状を示すことが考えられる. 実際に, 2003年に完成した世界でも最大規模のキングポストラス橋(宮崎県)の実橋載荷試験から得られた下弦材の鋼ジョイント近傍でのひずみは梁理論では説明できない分布となっていることを確認している³⁾.

このことから, 大断面を有する集成材の鋼ジョイント近傍の応力分布を解明することは, 大型部材を使用する近代木橋などの設計においては不可欠な課題である. し

かしながら, ボルト接合に関する研究は部材全体に関する接合面のすべりや耐荷力に関する研究⁴⁾となっており, 鋼ジョイント近傍での断面の応力性状を詳細に検討した研究は見受けられないように思われる.

本論文では, まず実際に設計された部材高の高いトラス橋の下弦材を対象に, ボルト接合された鋼ジョイント近傍の集成材の応力やひずみ分布を明らかにするために, 鋼ジョイントとその近傍の集成材を切り出した部材モデルについて有限要素法による数値解析を行い, 断面の大型化によるひずみや応力分布の性状および接合ボルトによる応力集中を確認した. 次いで, ボルトによる応力集中を緩和するための1つの方法として, 木部材のボルト孔の両端にボルト径よりも大きなテーパ孔を施したものを提案して, その効果について考察を行った.

2. 解析モデル

対象とした木橋の接合法は集成材の両面に鋼板を配置してボルト接合したもので, 図-1は本解析で使用したモデルの要素分割を示している. 図-1は後述する図-14のキングポストラス橋の測定部をモデル化したものである. 解析要素は木部とボルトには8節点ソリッド

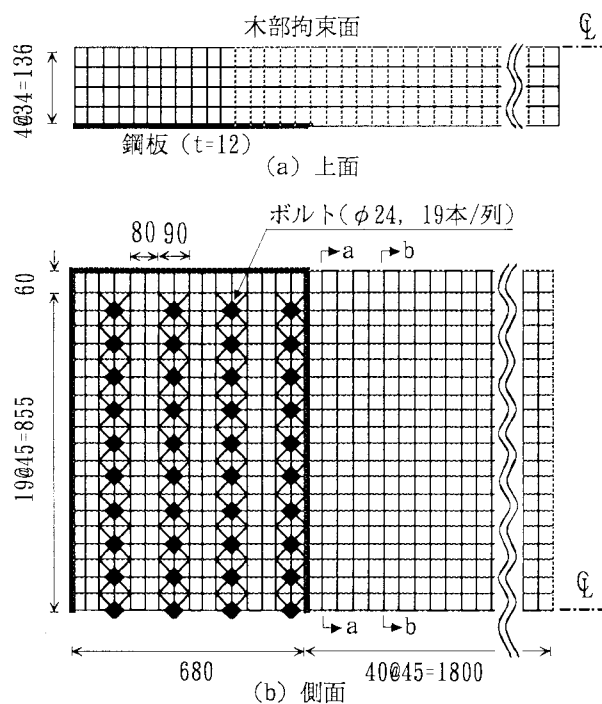


図-1 要素分割 (単位: mm)

要素を、ジョイント用鋼版は4節点シェル要素を使用した。解析では高さ方向については部材高全体の1830mmについて要素分割を行った。図-1(b)には上半分を示す。また、奥行き方向は図-1(a)に示すように半解析とし、木部は4等分割とした。

拘束条件は鋼板のみの左端を、鉛直方向と材軸方向の変位および鉛直軸回りの回転を固定し、さらに木部とボルトの中央面側(図-1(a)の上縁)の材軸直角方向変位を拘束した。

対象とした集成材は対称異等級モデル(E75F240)で、ラミナ(薄板)の配分基準は図-2(a)であり、実橋でのラミナ厚はすべて30mmで、図-2(b)に示すように配置されている。図中の例えばL90は曲げ弾性係数が $E = 8800 \text{ N/mm}^2$ ($= 9 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)を保証するラミナを表しており、集成材の断面では曲げに対応できるように、上下縁端に規格値の高いものが使用されている⁵⁾。

荷重は引張と曲げの2種類を考え、引張の場合には図-3(b)に示すように、木部断面に一樣に 100μ のひずみ

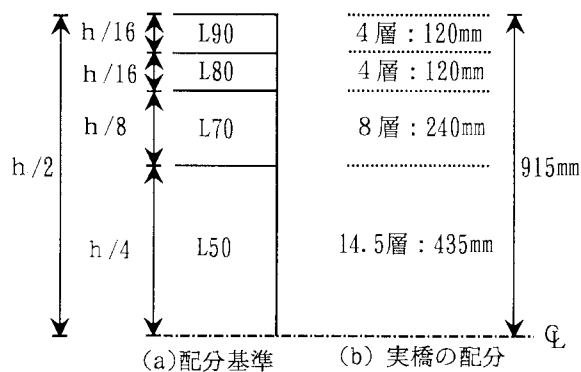


図-2 対称異等級集成材(E75F240)のラミナ配分基準と実橋の配分

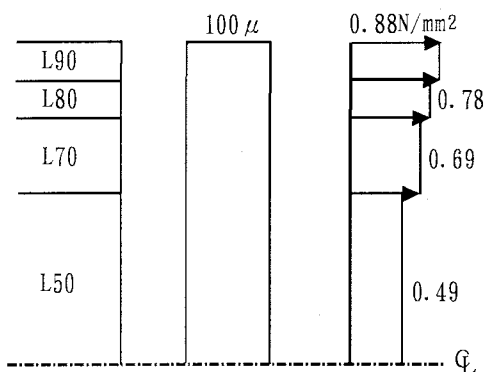


図-3 各ラミナ層と入力応力

が生じるように、ラミナの弾性係数を考慮して図-3(c)のような応力分布を図-1の木部右端に荷した。

曲げ荷重では上下縁に $\pm 100 \mu$ のひずみが発生するような分布荷重を引張荷重と同様に、集成材の各ラミナ層で規定された弾性係数を考慮して作用させた。

本解析での木部と鋼板との連結には以下のような仮定を行った。

- (1) 鋼板と集成材の接合面では力の伝達はない。
- (2) 鋼板と集成材間の力はボルトのみで伝達する。
- (3) 材料はすべて弾性とする。

実橋の鋼ジョイント部では図-4に示すように、木部と鋼板の間に隙間(1mm)を設けて下部導入口から樹脂を注入し、導入面とは反対側の充填確認口から樹脂があふれ出たとき、ボルトと木部ボルト孔の隙間には樹脂が充填されたとするもので、予め実橋と同じサイズの充填試験で充填後、木部を切り裂いて確認したところ、充填は十分であることが確認された。よって、実橋では鋼板と

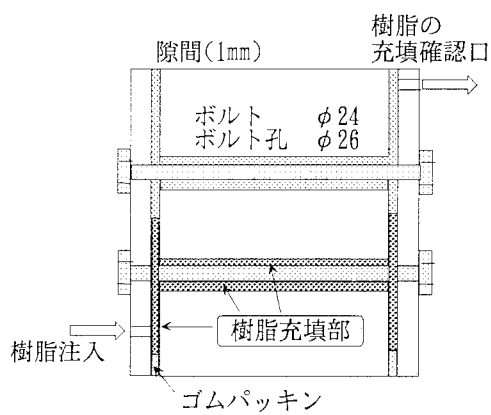


図-4 樹脂充填法

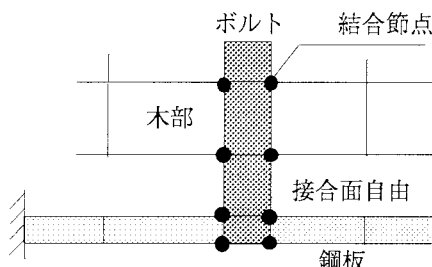


図-5 要素の結合状況

表一1 集成材 (E75F240) とラミナの規格値

		弾性係数 (N/mm ²)		
集成材		圧縮	引張	曲げ
		6500	6500	7500
ラミナ	L50	4900		
	L70	6900		
	L90	8800		
		規準強度 (N/mm ²)		
集成材		圧縮	引張	曲げ
		17.4	15.0	24.0
ラミナ	L50	19.2	14.4	24.0
	L70	23.4	17.4	29.4
	L90	28.2	21.0	34.8
		規準許容応力 (N/mm ²)		
集成材		圧縮	引張	曲げ
		5.8	5.0	8.0
ラミナ	L50	6.4	4.8	8.0
	L70	7.8	5.8	9.8
	L90	9.4	7.0	11.6

表一2 換算断面の諸元

断面積 (mm ²)		
均一断面	換算断面	比
4.978×10 ⁵	4.786×10 ⁵	0.962
断面2次モーメント (mm ⁴)		
均一断面	換算断面	比
1.389×10 ¹¹	1.389×10 ¹¹	1.000

木部間にも樹脂が充填されているが、鋼板と木部の接合面でのすべりに対する樹脂の寄与の度合いが明確でないことから、本解析では(1)と(2)のような仮定を用い、図-5に示すように、鋼板と木部の接合面の節点では座標は同一であるが、節点は異なるものとなっており、ボルトのみが両者と結合されている。

表-1は対象とした対称異等級集成材 (E75F240) の各ラミナと集成材の材料定数を示したものである²⁾。文献2)ではL80の材料定数は記述されておらず、以下の考察では、L70とL90の材料値は比例するものとして算出した値を採用した。ボルトや鋼板の弾性係数は 2.0×10^5 N/mm² とした。また、表-2は表-1での集成材の弾性係数を基準にして算出した断面値を示したもので、「均一断面」とはラミナの規格値に関わりなく、断面が一樣と仮定して求められたものであり、「換算断面」は、集成材の規格弾性係数を基にして換算された断面値である⁶⁾。表から明らかのように、「均一断面」と「換算断面」での断面積と断面2次モーメントの値はほぼ一致しており、集成材の設計では、集成材としての弾性係数を用いれば、断面は均一として取り扱えることを示している。

3. 引張および曲げ載荷による力学性状

集成材から成る橋梁では木部材は鋼ジョイントのボルトを介して結合されている。トラス橋でも鋼ジョイントが剛なために、弦材には軸力に加えて曲げモーメントも

発生する。集成材橋梁ではアーチ橋が多く採用されており、アーチ橋のアーチリブには軸圧縮力と曲げモーメントが作用している。このように、集成材橋梁の部材は多くの場合、軸力と曲げモーメントの複合応力下にある。

本解析では軸力については引張を載荷した場合について論じるが、軸圧縮力が作用する場合のひずみや応力性状は引張載荷での応力が単に正負の反転したものとなっていたことから、軸方向力の結果は引張と圧縮の両者について論じることができる。

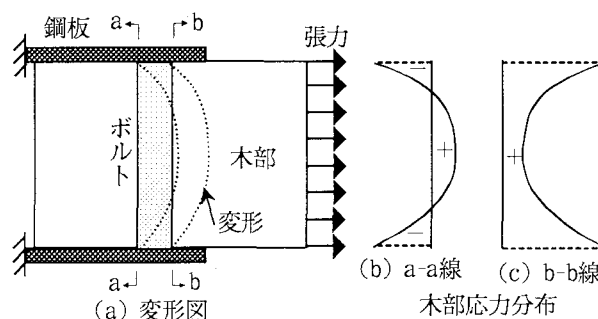
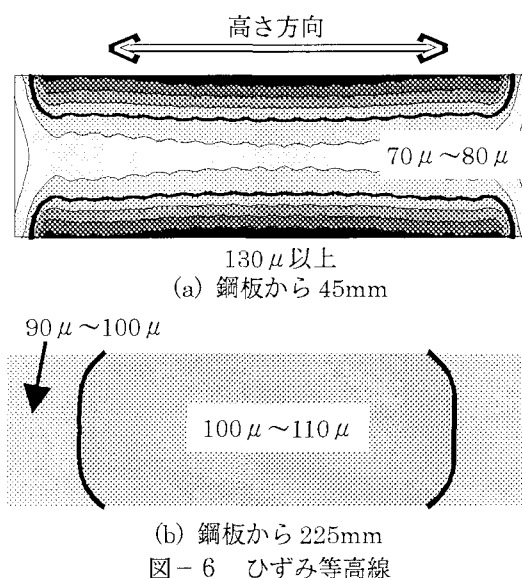
なお、本論文ではボルトの影響が顕著な木部の軸方向ひずみや応力について考察するもので、以後の「ひずみ」や「応力」はすべて軸方向成分を示すものである。

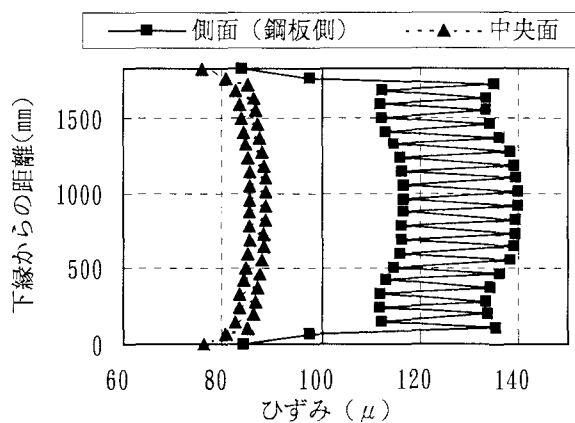
3.1 引張解析

本節では材軸方向に引張載荷した結果について考察する。設定ひずみは断面内一様に 100μ が生じる分布荷重を作用させた。以後の考察では、図-1に示す断面 a-a の鋼板から 45mm の鋼ジョイント近傍 (以後、45mm) と、ジョイントの影響の少ない鋼板から 225mm (以後、225mm) の断面 b-b の位置について行っている。

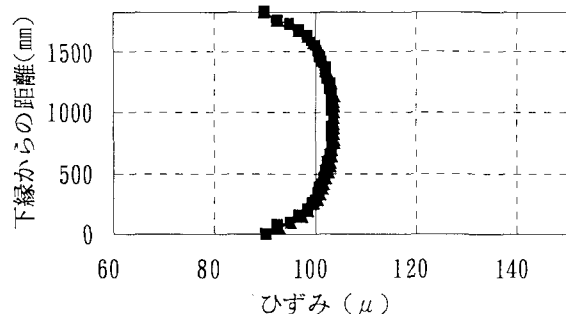
図-6は2つの位置での断面のひずみ等高線を示したもので、便宜的に横方向を断面の高さ方向とし、図中の太線は設定ひずみである 100μ を示すものである。

45mm についてみると、断面の幅方向 (図では上下方





(a) 鋼板から 45mm



(b) 鋼板から 225mm

図-8 高さ方向のひずみ分布

向)では中央が小さく、両縁端が大きくなっており、その変化も大きい。また、高さ方向(図では横方向)では上下の縁端が小さくなっている。225mm では高さ方向にやや変化するもののほぼ均等となっている。

図-7はボルトの変形状態とボルトの木部への支圧応力を図示したものである。図から、b-b 線に生じる支圧応力により、鋼板に接する木部に過大な応力が発生することが判る。

図-8はこれらの位置の側面(鋼板側)と厚さ中央面での高さ方向の木部のひずみ分布を図示したものである。鋼板から 45mm での木部では、図-6での等高線からも明らかなように、側面が中央面に比べて著しく大きくなっており、側面は設定した 100μ を大きく上回る結果となっている。前述したように、側面ではボルトによる支圧接合の影響も大きく、ひずみ分布は凸凹を繰り返し、その変化は 30μ 程度となっている。さらに、縁端ボルトの外側のひずみは大きく減少していることも判る。

これに対して、鋼板から 225mm (部材高さの $1/8$ 程度)離れた箇所ではボルトによる影響や幅方向の変動はほとんど見られず、高さ方向でのひずみ変動は小さくなっているが、高さ中央点を頂点として曲線的な変化となっている。

図-9はひずみが最大となる高さ中央線での奥行き方向のひずみ分布である。図-6に示されるように、225mm では奥行き方向の変化はほとんど見受けられないが、45mm では中央面では 90μ 、縁端では 140μ と大きく変化している。この傾向は鋼桁でみられるせん断遅

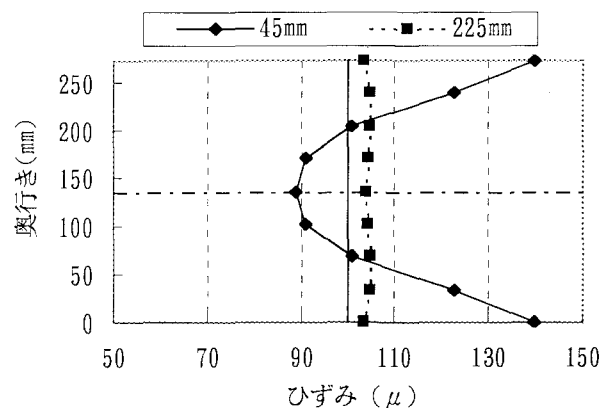


図-9 奥行き方向のひずみ分布
(高さ中央)

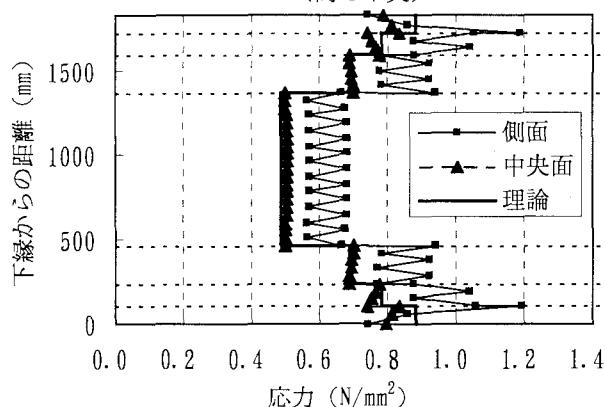


図-10 応力分布(45mm)

れの現象と類似のものであり、断面幅が大きくなれば、さらに増大するものと考えられる。

以上の結果から、部材の鋼ジョイント近傍のひずみは断面が大きくなると一様性は期待できず、ボルト位置では極端なひずみ増加となるうえに、最縁端ボルト以遠はひずみが激減することが明らかとなった。

図-10は 45mm の応力分布を示したものである。図中の「理論」とはひずみ 100μ に対する各ラミナの表-1に示す弾性係数を掛けて算出した応力である。ひずみが大きく生じる側面での最縁端ラミナ L90 では理論的には 0.88N/mm^2 に対して、解析応力は約 1.2N/mm^2 となり 1.36 倍にもなっている。他のラミナにおいても、L80 では理論 0.78N/mm^2 に対して解析では 1.0N/mm^2 以上となり、L70 や L50 でも理論応力を超えるものとなっているが、中央面での各ラミナの応力はほぼ理論応力に近いものとなっている。

表-2で検討したように、各ラミナの弾性係数から算出される換算断面は集成材を均一とした断面とほぼ同等であることが明らかとなっている。よって、均一とした断面から計算されるひずみ 100μ に対する応力と比較すると、計算応力は 0.65N/mm^2 となり、L50 を除くラミナでは側面に関しては大幅に超過したものとなる。

3.2 曲げ解析

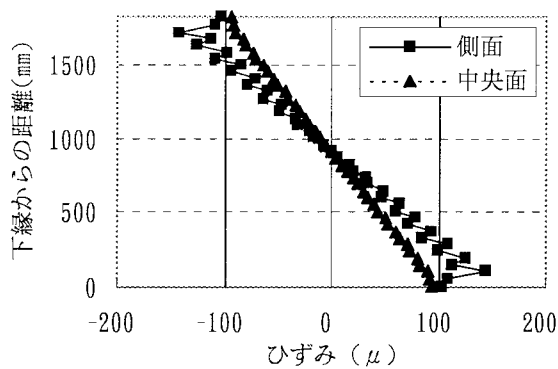


図-11 高さ方向のひずみ分布(45mm)

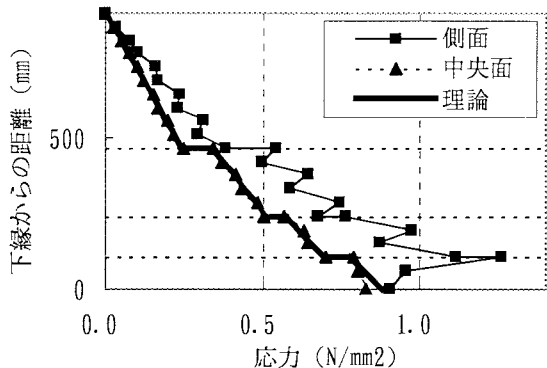


図-12 応力分布(45mm)

本節は純曲げを受けた場合について考察を行うもので、梁理論で上下縁に $\pm 100 \mu$ が生じるように、引張载荷と同様な方法で分布荷重を载荷したものである。引張载荷で明らかなように、ボルト影響は45mmが顕著であることから、ここでは45mmのみを論ずることとする。

図-11は鋼板から45mmでの高さ方向のひずみ分布を示したものである。引張解析結果と同様に、ボルトの影響は側面で大きく、中央面では小さくなっている。さらに側面のひずみ傾斜は中央面に比べて大きいことから、断面内でのひずみは引張载荷と同様に、側面に大きなひずみが分布していることは明らかである。

側面でのひずみは最縁ボルト以遠では激減しており、最大ひずみは最縁ボルトで 140μ 程度出現している。

図-12はこのときの応力分布を示したもので、中立軸から下半分を示している。図中の「理論」は引張载荷と同様に梁理論で生じるひずみに表-1での各ラミナの弾性係数を掛けて算出された応力である。中央面ではほぼ理論応力と同等な値を呈しているが、側面ではいずれのラミナにおいても理論応力を上回るものとなっている。

集成材全体としての応力を表-2の結果から均一断面として算出した場合、縁端部においても 0.75 N/mm^2 であり、曲げの場合にもかなりの超過応力となっている。

3.3 複合荷重下における力学性状

本節では引張力と曲げモーメントの複合した荷重に対する力学性状について検討する。

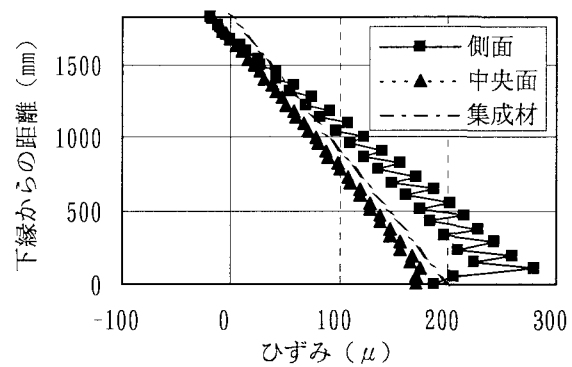


図-13 複合荷重下でのひずみ分布(45mm)

図-13は前述の引張载荷における軸方向ひずみ 100μ と曲げ縁端ひずみ 100μ と設定した解析結果を合成したもので、図中の「集成材」とは複合応力下での均一断面と仮定して得られた梁理論による結果である。中央面はほぼ一致するものの、鋼板側の側面では曲げに対応するひずみ傾斜は見かけ上大きくなり、引張側のひずみは梁理論による解に比べて、1.4倍ほど大きくなっていることが判る。また、引張側では最縁ボルト以遠の木部縁端ではひずみは激減しているが、圧縮側ではその様相は見受けられない。

これらの結果は、「引張+曲げ」に対する解析によるものであるが、先述したように、引張解析と圧縮解析の結果は単に符号が反転するだけで、ひずみ分布の傾向は一致する。このことから、「圧縮+曲げ」については図-13で得られた結果をそのまま参考にてできる。

次に、本解析の契機となった実橋载荷試験での結果との比較を行う。ここで対象とした部材は宮崎県に2003年4月に完成したキングポストトラス橋³⁾の下弦材で、トラス橋ではあるが、剛な鋼ジョイントが木部材端部に付設されるために引張力に加えて、大きな曲げモーメントも作用する。

図-14はキングポストトラス橋の一般図である。本橋は橋長50mの大支間トラス2連と25mの小支間トラスおよび15mの桁橋から成るもので、詳細は文献3)を参考にされたい。

ここでの実橋のひずみデータは小支間トラスの右橋台側の鋼ジョイントから100mmでのものである。载荷試験は1台のクレーン車(前輪荷重:59.0kN、後輪荷重:166.5kN)を支間中央部に静的载荷したもので、鋼ジョイント近傍の概要は写真-1に示すとおりである。

解析では、まず棒要素による3次元骨組解析により測定箇所の軸力と曲げモーメントを算出し、これらの断面力を図-1の解析モデルに適用してひずみ分布を求めた。

図-15はその結果を示したもので、図中の「解析値」は本解析によるもので、「梁理論」は骨組解析から得られた断面力を用いて集成材を均一断面として計算したものである。実験でのひずみ測定位置は鋼ジョイントから100mm離れた箇所であるが、解析ではメッシュ分割の関係上、90mmの位置での比較となっている。ひずみ位

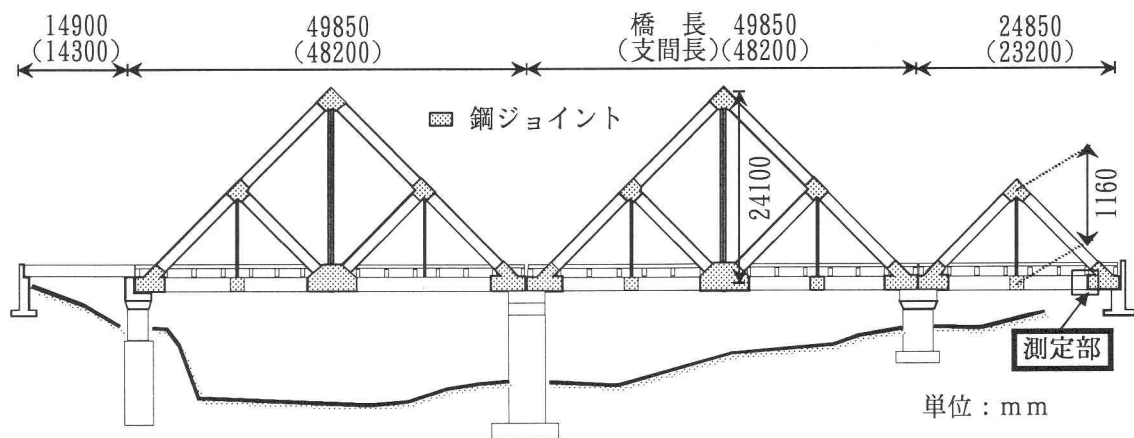


図-14 キングポストトラス橋の一般図

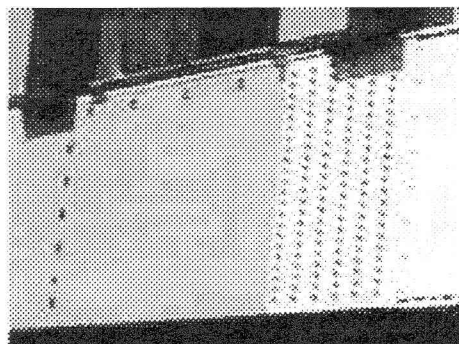


写真-1 計測した鋼ジョイント近傍

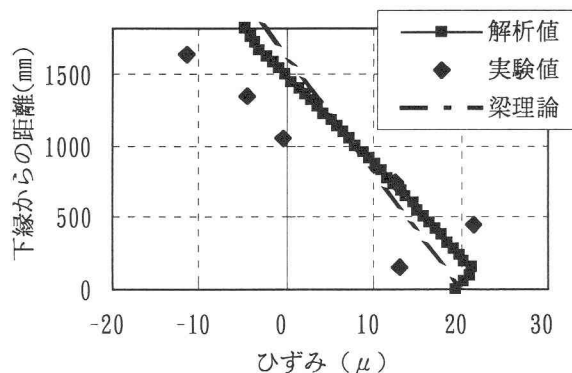


図-15 実験と解析との比較

置が 90mm と離れているために、図-13 のようなボルトによる極端な応力変動は解析では観られない。また、実験から得られたひずみが小さいため、精度を論ずるには十分なものとは言い難いが、最縁ボルトからの縁端部分のひずみ低減などの定性的な面では解析結果は合致しているものと判断される。また、複合荷重下においても断面内部のひずみの均一性や最縁ボルト以遠の木部縁端のひずみ低下は生じていると思われる。

3.4 許容応力に関する検討

前節までの結果から、鋼ジョイント近傍の木部材の側面（鋼板側）では断面の大型化や接合ボルトによる支圧から断面内部のひずみ分布は大きく変動し、ボルトによる過度な応力集中が発生することが明らかとなった。

前節の解析では軸方向荷重については一様な 100μ を、曲げでは縁端ひずみが $\pm 100\mu$ となるような荷重を作用させたが、本節では過度な応力の発生を設計面から考察するために、集成材が基準許容応力に達するひずみが発生する軸力あるいは曲げモーメントを負荷し、各ラミナの最大ひずみから得られる発生応力を算出した。

表-3 はその結果を示すもので、「集成材」は集成材としての許容応力と、「換算断面」は各々のラミナの許容応力との比となっている。ここで、入力荷重のうち、「軸方向」は単軸荷重を意味するものであり、これまでに述べてきたように引張と圧縮の結果は同等であることから、「軸方向」荷重では、「集成材」との比較では圧縮と引張に関して、その比の差異はない。

まず、集成材としての許容値の比から考察する。「軸方向」荷重では規格値が高いほど大きな応力比となっており、L90 では許容値の 1.8 倍にもなる。断面全体では許容値と等しいか、あるいはそれ以上となっている。「曲げ」荷重でも同様に L50 以外は許容値以上となっている。

これらを各ラミナの許容値と比較した場合、「軸方向」荷重での「圧縮」ではほとんどのラミナが 10% 程度の超過に収まっているが、「引張」では圧縮に比べて大きく、いずれのラミナもほぼ 1.3 倍となっている。「曲げ」入力では「軸方向」入力に比べて大きな超過となっており、外側ラミナで「圧縮」では 1.4 倍、「引張」では 1.9 倍にも達している。

このように、いずれの場合についても、鋼ジョイント近傍の鋼板側木部側面の応力は過度に許容応力を超過することが明らかとなった。

表-3 許容応力に対する発生応力比

入力荷重	ラミナ	集成材	換算断面	
			圧縮	引張
軸方向	L90	1.8	1.1	1.3
	L80	1.6	1.1	1.3
	L70	1.4	1.1	1.2
	L50	1.0	0.9	1.3
曲げ	L90	1.7	1.4	1.9
	L80	1.5	1.4	1.9
	L70	1.0	1.0	1.4
	L50	0.5	0.6	1.0

4. 応力集中緩和策とその効果

4.1 応力集中緩和策

これまでの結果から、接合ボルトにより木部に大きなひずみ（応力）が発生し、その影響は鋼ジョイントの鋼板に接する木部側面で大きい。これは鋼板でボルトのせん断を支持するため、木部内のボルトの両端に大きな力が作用するためである。言い換えれば、木部縁端にボルトと直接接することのない空間部を設ければ、そこでの力の集中は緩和されるものと思われる。このような観点から、図-16に示すような木部のボルト孔の両端にボルトに直接接触することのないボルト径よりも大きな孔を有するテーパ付ボルト孔（以後、テーパ孔）を考えた。本解析では試験的なテーパ孔として、テーパ域の長さはボルト径とし、端部の直径はボルト径の2倍とした。

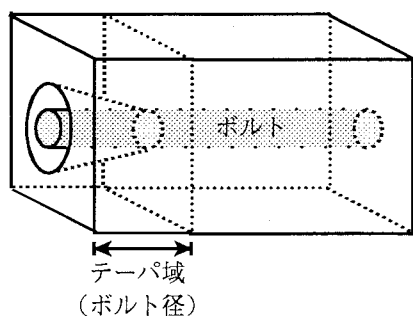


図-16 テーパ付ボルト孔

4.2 応力集中緩和策の効果に関する検討

図-17はテーパ孔の有無について、前章と同様の引張荷重と曲げ荷重に対するひずみ分布を示したもので、引張荷重および曲げ荷重のいずれにおいてもテーパ孔を設けることで、ボルトによる応力集中は大きく緩和されており、特に最縁ボルト位置における過度なひずみ突出は大きく低減している。

2つの荷重について個別に観てみると、引張荷重ではひずみ分布の突出していない部分についてはほとんど変化していないが、突出するひずみはほぼ解消されている。突出していない部分が変化していないのは断面の大型化によるものと考えられ、ひずみ突出を解消した場合についても、設計では何らかの考慮が必要と思われる。

曲げ荷重でも同様にひずみの突出はほぼ解消されている。このように、ボルト径程度のわずかなテーパ孔を付けることで、ボルトによるひずみの突出は大きく低減できているが、最縁ボルト以遠の木部でのひずみ低下は生じたままの状態であり、設計時での断面計算に何らかの低減を検討すべきであることを示唆している。

4.3 許容応力に対する発生応力の比

第3.4節ではテーパ孔のないモデルについて、集成材

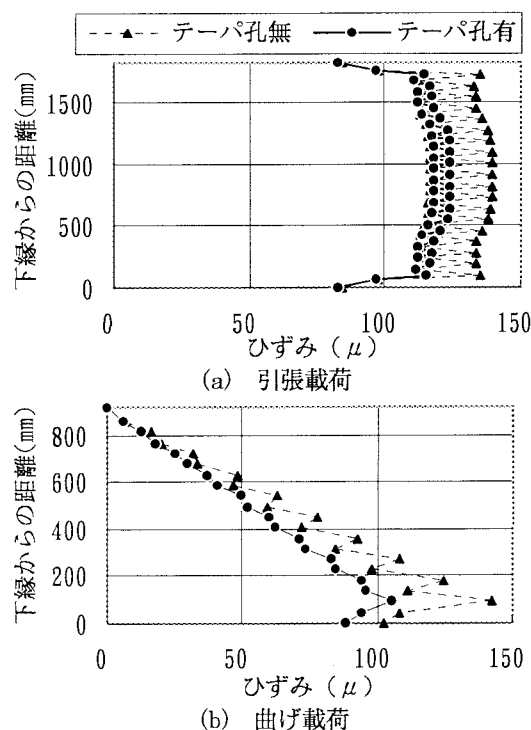


図-17 テーパ孔の有無によるひずみ分布の比較

としての均一断面に許容応力と同等な応力が発生するような荷重による各ラミナの解析応力と集成材やラミナの許容応力との比を表にて検討した。これと同様な考え方をを用いて、テーパ孔の有無に関する発生応力と許容応力との比の関係を整理したものが図-18である。

図-18(a)は軸方向の単軸荷重の結果で、図中の「引張」あるいは「圧縮」とあるのは、それぞれ表記の荷重を載荷したときの各ラミナ許容応力に対する発生応力との比であり、「集成材」とあるのは集成材全体の許容応力との比を示したものである。また、図-18(b)の曲げ荷重での「引張」や「圧縮」はラミナが積層化したものであることから、集成材としては曲げモーメントが作用するもののラミナ自体には軸方向応力が作用していると考えて、ラミナの圧縮および引張の許容応力との比で整理した。

これまでの考察や本図からも明らかなように、テーパ孔はボルトによる極度な応力発生を緩和する効果が認められ、その効果は軸方向荷重よりも曲げ荷重に顕著となっている。

軸方向荷重では、集成材全体で考えると許容応力をかなり上回るものとなっている。各ラミナの許容応力で整理した場合には「圧縮」ではテーパ孔を設けることにより、すべてのラミナで許容応力を満足とするものになるが、「引張」ではテーパ効果は認められるものの、許容応力を上回るものとなっている。ただし、規格値の高いラミナほど大きな効果が認められる。

曲げ荷重では、「引張」のラミナの許容応力が低いためテーパ孔を付設しても引張側では許容応力を超えるものとなっているが、「圧縮」では軸方向荷重と同様に許容応力を満足する結果となっている。

発生応力が集成材としての許容応力を超過しても、断

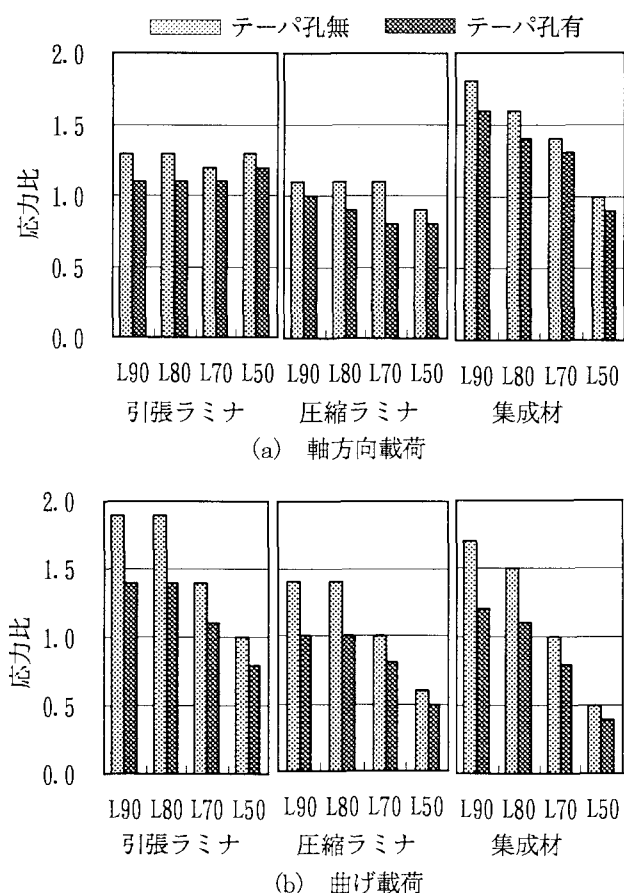


図-18 テーパ孔の有無による許容応力に対する発生応力の比

面の要素であるラミナの許容応力を超えなければ、設計上は安全なものと云える。しかしながら、テーパ孔による応力緩和は効果的なものであることは明らかとなったが、軸方向載荷での引張荷重や曲げ載荷での引張ラミナでの発生応力は許容応力を上回るものとなった。よって、本モデルの引張側の設計では、集成材として許容応力に近くなる場合には細かな検討が必要となる。

5. あとがき

集成材を主部材とする橋梁では、部材断面の大型化に伴って接合ボルトによる支圧力により、鋼ジョイント近傍の断面応力は梁理論で仮定される応力とは異なったものとなると考えられる。本論文では、実際に昨年架設されたキングポストトラス橋の下弦材の鋼ジョイント部を対象にして、軸方向力や曲げを作用させて、鋼ジョイント近傍の木部材のひずみや応力を解析し、その結果、ボルトによる影響により過度な応力集中が発生することを確認した。そこで、応力集中を緩和する施工的に簡便な方法として、ボルト孔の両端にボルトと直接接することのないテーパ孔を開削する方法を提案し、その効果を確認した。

本論文で得られた結果を要約すると以下のようになる。

- (1) 接合ボルトによる応力集中は過大となり、断面内部の応力分布は鋼板側が大きく、断面中央部は小さくなる傾向にある。
- (2) これらの応力は梁理論の仮定とは異なるものであるが、本解析結果は対象とした実橋で得られた試験結果との比較からほぼ妥当と考えられる。
- (3) 集成材として、許容応力とほぼ同等な応力になるように設計した場合には、すべてのラミナにおいて許容値を大きく超過する。
- (4) 最縁ボルト以遠の部材上下縁では大きな応力低減が認められることから、設計では詳細な検討が必要と思われる。
- (5) 提案したテーパ付ボルト孔による応力緩和法は応力集中の緩和に有効なものであるが、集成材としての許容値に対して、ほぼ同等な応力を期待して設計した場合には、緩和法を施しても引張応力が発生する領域では十分とはいえない。

今回提案したテーパ孔はボルト両端を自由にするることによる効果を確認したもので、最適なテーパ孔のサイズを詳細には検討していない。また、テーパ孔はボルトにとっては両端に自由変形する領域を有するものとなることから、ボルトのせん断耐力に影響を及ぼすことが考えられる。

よって、今後はこれらの問題を解決するために、テーパ孔のボルトに及ぼす影響や応力集中による疲労特性などを検討していく予定である。

参考文献

- 1) 渡辺浩志, 久保田努, 齋藤潔, 柴田直明: 日影入線木橋(長野県林道木橋標準設計)の施工, 第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.41-45, 2003
- 2) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説, 2003
- 3) 今井富士夫, 飯村豊, 入江達雄, 中澤隆雄: かりこぼうず大橋の材料および力学性状, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.865-872, 2004
- 4) M.Reid and J.Shin: Capacity Predictions for One Two-row Bolted Timber Connections, 8th World Conference on Timber Eng., pp.291-296, 2004
- 5) JAS: 構造用集成材の日本農林規格, (社)日本合板検査会, pp.12-47, 1996
- 6) 堀江保, 薄木征三, 倉西茂: 曲げを受ける集成木材の力学特性, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.931-940, 1992

(2004年9月17日受付)