# ボルト孔に充填された樹脂が接合部の引抜け性状に与える効果

Effect of resin filled up into bolt-hole clearance on pull-out properties of bolted connection

今井富士夫\*, 尾上幸造\*\*, 中澤隆雄\*, 飯村 豊\*\*\* Fujio Imai, Kozo Onoue, Takao Nakazawa, Yutaka Iimura

\* 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)
\*\* 博(工),宮崎大学助教,工学部土木環境工学科(〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)
\*\*\* 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)

In a timber bridge, resin is filled up into bolt-hole clearances to prevent backlash. However, the effect of resin on the mechanical properties of bolted connections has not been sufficiently clarified. The authors carried out static tensile tests to clarify the effects of filled up resin on the pull-out properties of a bolted connection. As a result, it was cleared that filled up resin in bolt-hole clearance increases not only the pull-out capacity but also the stiffness of a bolted connection. It was also indicated that filling up resin into a bolt-hole clearance has the same effect as increasing the bolt diameter to the size of a bolt-hole from the viewpoint of strength, and remarkably improves the toughness of a bolted connection.

*Key Words: glued laminated timber, bolt joint, filled up resin, pull-out property* キーワード:集成材,ボルト接合,充填樹脂,引抜け性状

# 1. まえがき

近年,環境問題が大きく取り上げられているなか で,木材は人間が生活する環境に対して負荷が少な く,再生産が可能な循環型資源であり,CO2削減に よる温暖化防止に寄与できる「エコマテリアル」と して注目されている<sup>1),2)</sup>.森林資源が豊富な日本で は,古くから木材を利用した構造物が多く造られ, 木橋も木構造物を代表するものである.戦後は永久 橋として鋼橋やコンクリート橋の建設が中心とな ったが,集成材の開発によって木橋の建設も進めら れてきた<sup>3),4)</sup>.しかしながら,公共投資の低下とと もに木橋架設は減少してきており,木橋の活用を広 めるためには,環境面に加えて,耐久性や設計の合 理性を高めることが必要となる.

木道路橋のように大型部材を使用する場合,その 接合に鋼板を添接材として使用することも多く,連 結にはドリフトピンやボルトが利用されるが,木材 が鋼に比べて柔らかいために,ボルトの木材へのめ り込みなども生じることから,ボルト孔を他の材料 を利用しての補強を試みた研究も見受けられる<sup>5),6)</sup>.

ボルト接合の場合には、ボルトのねじ部の損傷や 木部材のボルト孔の裂けを防ぐために、ボルト孔は ボルトよりも大きく穿ち、その隙間にはガタを防止



するために,樹脂を充填する工法が採用される場合 がある.

図-1 は実際の木トラス橋の施工で使用された 樹脂充填法を示したものである.この工法はボルト 径 24mm に対して径 27mm のボルト孔を穿ち,ボ ルトとボルト孔の隙間に樹脂を充填するもので,下 側の樹脂注入口から樹脂を注入し,上の充填確認口 から樹脂が出てきたら,全体のボルト孔の隙間に樹 脂が充填されたとするものである.

このように、ボルトとボルト孔の隙間に充填する 樹脂が木部材の接合部の耐荷力を向上させること は山田らの研究によって、既に明らかとなっている. 山田らは 1986 年から木部材の中央に鋼板を挿入し たモデルを対象に樹脂充填接合について研究して おり<sup>7),8)</sup>,樹脂充填が耐荷力や剛性の向上に寄与し ていることや L/d (部材厚/ボルト径)の影響,温度 が樹脂に与える影響などを検討し,多数の報告をし てきたが,その効果は設計基準や仕様には反映され ていないのが現状のようである.

著者らは、これまで実橋での樹脂充填法を用いた 接合部における鋼板と木部材との接触面に注入さ れた樹脂独自の付着性状や鋼ジョイント部近傍の 木部材に与える影響について実験的・解析的に検討 してきており<sup>9),10</sup>, また、ボルト孔へ充填された樹 脂の補強効果についても供試体による実験を実施 して、充填樹脂はボルト孔に対する補強に効果的で、 接合部の耐荷力は向上することを明らかにしてき た<sup>11</sup>.

本論文は充填樹脂の効果を設計に反映すること を目的に静的引張試験を実施した結果を報告する もので,まず同一ボルトを利用して,充填樹脂の効 果を確認し,次に樹脂充填のために大きくしたボル ト孔と同径のボルトとの引抜け性状の比較を行い, 樹脂充填の具体的な使用性について検討している.

#### 2. 実験概要

充填樹脂が接合部に与える効果を確認するため に,実験での荷重は静的引張荷重とした.図-2は 供試体と載荷状況を模式的に示したものある.

実験での集成材は図-3に示すように, 異等級対称構成集成材(8層)と同一等級構成集成材(6層) で,両者は宮崎県産オビスギ(気乾比重0.32)で作成されており, 異等級対称構成集成材(以後, 異等級モデル)は強度等級 E75-F240に相当し<sup>12)</sup>,同一等級構成集成材(以後,同一等級モデル)はすべてのラミナが L60 の等級で構成されている.各層の ラミナは等厚であり,実験時の供試体の含水率は 15.5%~17%で,平均は16.5%であった.

ボルト孔(先孔)は図-4に示すもので、木質構 造設計規準から表-1のような配置とした<sup>12)</sup>.なお、 実験は1列2本と3列2本のボルト配列の供試体を 使用しており、1列モデルは図-4の中央線のみに 配置されている.使用したボルト( $F_y=235N/mm^2$ )





		生きな				
	記号	規程	最小值	厌叫伴		
材端距離	e1	>7d	112	120		
ボルト間隔	S	>7d	112	120		
縁端距離	e <sub>2</sub>	>1.5d	24	30		
列間隔	r	>3d	48	50		

※ 最小値はd16に対する値

の径は d12 と d16 の 2 種類とし, 鋼ジョイントに相 当する鋼板は板厚を 12mm とした.また,使用した 樹脂は 2 液混合型のエポキシ樹脂で,引張弾性係数 は 3300N/mm<sup>2</sup>である.

図-5は接合部の状況を表したものである.図に 示すように,載荷時に木部材と鋼板間の摩擦抵抗が できるだけ生じないように,全供試体について,図 に示すようなプラスチックシート(縁切りシート) を木部材と鋼板間に挿入した.また,樹脂充填の際 にはボルト孔からの樹脂漏れを防ぐために,ボルト 孔の端部にはパテを薄く塗りつけている.

実験での測定部は図-2の供試体の固定側(左 側)のみとし、測定項目は木部材の鋼板からの引抜 け量と木部材のひずみである.引抜け量は図-5に 示すように、鋼材縁端から200mm離れた木部材と 鋼板の相対変位をディジタル変位計(500µ/mm)に て測定し、ひずみは図-4に示すラインに貼付した ひずみゲージにて測定した.



#### 3. 充填樹脂が接合部の引抜け挙動に与える効果

本章ではボルト孔に充填された樹脂のボルト 耐力や変形(引抜け)性状に与える効果について 検討する.ここで使用した供試体は図-3(a)に示 す異等級モデルで,ボルトの配列は1列2本であ る.また,静的引張荷重の載荷法は漸増載荷(以 後の図表では漸増と称す)と繰返し載荷(以後, 繰返し)の2つで行った.繰返し載荷法は旧木質 構造設計規準<sup>13)</sup>で計算された短期耐力を参考に して,25kNから始め,引抜け量を監視しながら, 次のステップの荷重を決めていった.これは規準 に即したものでない.次章の繰返し載荷は規準に 準拠して実施している.

本実験では d16 のボルトを使用し、ボルト孔を ボルトと同径とした供試体(以後、打込み型)と ボルト孔の径を 20mm とし、その隙間には樹脂を 充填した供試体(以後、樹脂型)の2種類を作成 した.

#### 3.1 荷重-引抜け量の関係

図-6は荷重に対する木部材の鋼板からの引抜 け量を示したもので、図中の楕円で囲った図は最 終ステップでの荷重の繰返しに対する引抜け量 の変化を示したものである.繰返し荷重は1つの ステップ内で荷重の繰返しに対する変化が 0.01mm以下となったとき、次の荷重ステップへ 移行するようにし、7回の繰返しに対して収束し ない場合には「漸増崩壊」に相当するものとして、 載荷を終了した.そのため、繰返し載荷の最終荷 重は終局荷重とは云えないとも考えられる.

図から,打込み型では初期の引抜け量は2つの載 荷法による違いはほとんど見受けられないが,荷重 が 60kN を超えたあたりから,繰返し載荷の引抜け 量が大きくなっている.一方,樹脂型での引抜け量 は繰返し載荷が小さくなっているように見受けら れるが,30kN~60kN をみると,その引抜け剛性は ほぼ同等であると思われる.



引抜け量とひずみの変化

打込み型と樹脂型の比較では,終局荷重は樹脂型 が大幅に大きくなっており,漸増荷重については打 込み型の約 70kN に対して,樹脂型では 90kN と 1.3 倍となっている.また,引抜け量は,荷重初期では ほぼ同じであると思われるが,60kN 以上では樹脂 型のほうがやや大きな引抜け剛性となっている.

図-7は最後の荷重ステップでの荷重の繰返し 回数に対する引抜け量とひずみの変化を示したも ので,打込み型と樹脂型で大きな差異は認められな かったので、ここでは樹脂型の結果のみを示している.図から判るように、引抜け量は荷重の繰返しに対して増加するのに対して、ひずみは逆に低減する傾向にあることが判る.

#### 3.2 ひずみ分布

図-8 に漸増載荷ならびに繰返し載荷の木部材の側面で計測されたひずみ分布を示す.測定位置は図-4のg<sub>1</sub>-線で内側ボルトから15mmのところである.(初期)は荷重30kN前後の,(終局)は終局荷重近傍のそれぞれ10kN当たりのひずみを示したものとなっている.図中の「設計値」は作用荷重から算定されたひずみで,この集成材の弾性係数を E=6500N/mm<sup>2</sup>として計算した結果,96µとなった. いずれも,実験で得られたひずみは,中央部では

設計値よりも大きく、緑端では小さくなっており、 ひずみが一様でないことを示している.ボルト位置 (高さ 0mm)とは完全に一致してはいないが、ボ ルト近傍には応力集中が発生していることは明ら かである.また、漸増荷重の樹脂型を除くと、いず れも(初期)の顕著な応力集中が(終局)になると 大幅に低減している.これは、終局時では7回の荷 重繰返しを行っているためで、図-7で示したよう に、荷重の繰返しとともに、ひずみは低減しながら 収束する傾向があることから生じたと思われる.

# 

前章で、ボルト孔に充填された樹脂はボルト接合 部の耐力を向上させることが明らかにされた.本章 では樹脂の効果をさらに具体的に検討するために、 ボルト孔と同一径を有するボルトとの引抜け性状 の比較を試みる.

#### 4.1 供試体と載荷方法

前章での供試体は異等級モデルを採用したが、樹 脂についての効果を検討するには、一様な断面が適 切であると判断し、本章での供試体は図-4に示す 3列2本で同一等級モデル(図-3(b))とした.使 用ボルトは d12と d16の2種類で、これらのボルト に対して同径のボルト孔を穿ってボルトを挿入し た打込み型と、ボルト d12に対してボルト孔の径を 16mmとし、その隙間に樹脂を充填した樹脂型を準 備した.

ボルト接合の設計耐力はボルト耐力 ( $P_{uj}$ ),集合 型せん断破壊による耐力 ( $P_{uw}$ ),ならびに純断面か ら計算される木部材全体の耐力 ( $P_{wt}$ )および鋼板 耐力 ( $P_{st}$ )の4つの最小値となる<sup>12)</sup>.ここで,集 合型せん断破壊にはせん断破壊と割裂破壊の2つ



があり,式(1)のように,両者の大きい方がその耐 力と定義されている.

$$P_{uw} = \max(A_{et} \cdot F_t \text{ or } A_{es} \cdot F_s)$$
(1)

ここに、 $A_{et} = t \times \Sigma a_{t}$ -line (図-4を参照)  $A_{es} = t \times \Sigma a_{s}$ -line (図-4を参照) t: 板厚  $F_{t}: 木材の引張基準強度$  $F_{s}: 木材のせん断基準強度$ 

表-2 は2種類のボルトの上記の種々の設計耐力を示したもので、ボルトdl6で、ボルト耐力が集合型耐力よりも上回ったものとなった.このため、 打込み型dl6や樹脂型dl2の実験の一部には木部材の集合型破壊を生じる結果となっている.

載荷は前章と同様に,静的漸増載荷と繰返し載荷 の2種類について行った.繰返し載荷は木質構造設 計基準では漸増載荷で得られた終局変位を基準と した変位制御となっているが,本実験では手押し型 の油圧ジャッキを使用するため,変位制御による載

表-2 設計耐力(単位:kN)

-11 a 1 /27	ボルト	集合型		引張	
ホルト径		せん断	引張	木部材	鋼板
(mm)	Puj	Puw		Pwt	Pst
12	114	120	131	238	525
16	202	117	118	215	474

表-3 荷重ステップ(単位:kN)

	甘油	打论	樹脂	
	基準	d12	d16	d12
1	0.0125 δ u (1)	0-5(1)	0-5(1)	0-10(1)
2	0.025 δ u (1)	5-10(1)	5-15(1)	5-15(1)
3	0.05δu(1)	5-20(1)	5-20(1)	5-25 (1)
4	0.075 δ u (1)	5-30(1)	5-25 (1)	5-40(1)
5	0.1 δ u (3)	5-40 (3)	5-50(3)	5-50 (3)
6	0.2 δ u (3)	5-70 (3)	5-100(3)	5-100 (3)
7	0.4 δ u (3)	5-110 (3)	5-150 (3)	5-140 (3)
8	0.6 δ u (3)	5-160 (3)	5-200 (3)	5-180 (3)
1.1	144 H + 11			

※ δuは終局変位, ()は繰返し回数

荷は困難と考え,荷重制御とした.表-3は基準お よび実際の実験で行った繰返し載荷の荷重ステッ プを示している,

## 4.2 荷重一引抜け挙動

図-9 は荷重に対する引抜け量を示したもので, (a)は打込み型 d16 の,(b)は樹脂型 d12 の荷重に対 する引抜け量の変化を示したものである.図中の供 試体の記号で,例えば,Id16-1 の I は載荷法を意 味しており,I は漸増載荷を,R は繰返し載荷を示 すものである.また,d16は打込み型 d16を意味し, r12 の場合には樹脂型 d12 となる.さらに,実験で それぞれの種類について 2 体の供試体について実 験しており,記号の〇〇-1 は供試体番号である.

図-9(a)から明らかなように,打込み型 d16 では 漸増載荷に比べて,繰返し載荷の引抜け量がやや大 きくなっているが,終局荷重には差異は見受けられ ない.図-9(b)の樹脂型では,漸増と繰返しの荷重 形式による差異はほとんど見受けられず,終局荷重 ならびに引抜け量ともにほぼ同等となっている.

破壊形式についての詳細は後述するが,打込み型 d16の供試体にうち,Id16-2とRd16-2および樹脂 型 Rr12-1で木部がせん断破壊した.打込み型 d16 でのせん断破壊は,いずれも非線形挙動が明確でな い荷重 165kN 付近で木部がせん断破壊を生じてい るが,樹脂型の Rr12-1 ではボルト耐力と思われる 変形挙動後にせん断破壊に至っている.

図-10は打込み型d12とd16ならびに樹脂型d12 の漸増載荷についての荷重に対する引抜け量の変 化を示したものである.2つの打込み型から明らか なように,d16は引抜け剛性や終局耐力は高いが, 終局時変形は小さい.それに対して,d12の終局耐



(漸増荷重)

カは小さいものの,荷重 80kN から顕著な引抜けが 生じ,終局時の引抜け量は d16 の2 倍近いものとな っている.

樹脂型 d12 は図から判るように、樹脂の耐力に対 する効果は明らかであり、その終局荷重は打込み型 d16 とほぼ同等となっている.また、変形率が増加 を始める荷重は打込み型 d12 とほぼ同じで、終局荷 重まで引抜け量がその後も大きく伸長していき、終 局時の引抜け量は、打込み型 d16 の約 3 倍で、大き な靭性を呈するものとなっている.このことから、 樹脂の弾性係数は木部材の 1/2 程度であるため、引 抜けに対する剛性や靭性はボルト径に依存するも のと考えられる.

## 4.3 ひずみ分布

ひずみゲージは長手方向の配置された 2 本のボ ルトの中央(図-4の $g_3$ -線)で、すべてのラミナに 貼付した.いずれのラミナのひずみは荷重に対して ほぼ線形に変化していた.

図-11 は各供試体の高さ方向のひずみ分布の変 化を示したもので,終局荷重近傍の 10kN あたりの ひずみ量である.ボルトは高さの中央点 0mm と ±50mm に設置されている.

打込み型 d12 ではボルトが配置されている位置 に近い箇所のひずみが他の箇所よりも大きくなっ ており,前章と同様な結果となっている.しかしな がら,打込み型 d16 と樹脂型 d12 は逆にボルト位置 近くのひずみは小さくなり,ひずみの変化も大きく なっている.また,この2つのひずみは分布形状お よび量的にもほぼ同じとなっている.

前章の1列2本の結果や従来の著者らの結果<sup>9)</sup>では、ボルトの支圧によってボルト近傍の木部材に は応力集中が発生し、卓越したひずみが発生してい た.ボルト位置でひずみが減じた2つのモデルとの 違いは、応力集中が生じた供試体はひずみ測定位置 が中央側のボルト近傍であったのに対して、この2 つのモデルではボルト間中央であったことに起因 していると思われる.すなわち、図-12に示すよ うに、ボルトに挟まれた位置の木部材には2本のボ



ルトの変形から、木部材には引張と圧縮が同時に作 用して、相殺するからと考えられる.これらの詳細 な分布性状を明らかにするためには、ボルトのめり 込みを考慮できる非線形解析が必要であろう.

#### 4.4 終局荷重と終局状況

ここでの実験では写真-1 に示すように2種類の破壊形式が生じた.1つは(a)のボルトが木部にめり込む破壊形式で,他の1つは(b)のように接合部の木部が局部的に破壊する形式である.これらの破壊形式のうち,(a)はボルト破壊であり,(b)は木部材接合部の集合型せん断破壊で,図-4での破線と一点鎖線で囲まれる木部が局部的に引抜ける形式のプラグ破壊<sup>14)</sup>と呼ばれるものである.

写真-2 は実験終了後に木部材からボルトを取



(a) ボルトのめり込み



(b) 木部材の破断写真-1 ボルト接合部の破壊状況



写真-2 ボルトの終局状況

形式	ボルト径	載荷法	供試体	終局荷重 (kN)	破壊形式	設計値との 比較 *1)	d16の設計値 との比較 *2)
打込み	d12	漸増	Id12-1	146	ボルト破壊	1.28	0.72
			Id12-2	140	ボルト破壊	1.23	0.69
		繰返し	Rd12-1	127	ボルト破壊	1.11	0.62
			Rd12-2	147	ボルト破壊	1.29	0.73
	d16	漸増	Id16-1	205	ボルト破壊	1.01	1.01
			Id16-2	165	集合型破壊	1.41	_
		繰返し	Rd16-1	204	ボルト破壊	1.01	1.01
			Rd16-2	173	集合型破壊	1.47	_
樹脂	d12	漸増	Ir12-1	203	ボルト破壊	1.78	1.01
			Ir12-2	204	ボルト破壊	1.79	1.01
		繰返し	Rr12-1	185	集合型破壊	1.41	
			Rr12-2	190	ボルト破壊	1.67	0.94

表-4 実験で得られた終局荷重と破壊形式

\*1) 破壊形式の設計耐力に対する実験値の比

\*2) d16ボルトの設計ボルト耐力との比

り出して、ボルトの最終状況を確認したもので、写 真右端のボルトは未使用ボルトである.未使用ボル トとの比較から明らかなように、木部材中央点にあ たるボルト箇所に大きな曲がりが生じていること が判る.また、充填樹脂とボルトあるいは木部材と の接着(付着)状況は樹脂とボルトとの間はほとん ど付着していなかったが、樹脂と木部材とは十分な 接着が認められた.このことは星井らの検討とも一 致する<sup>15)</sup>.

表-4 は今回の実験で得られた終局荷重と破壊 形式についてまとめたもので、表中の「設計値との 比較」の欄は実験と同じ破壊形式となる設計値との 比を表したものであり、設計値は表-2 に示すもの である.また、樹脂型 d12 は使用ボルトが d12 であ ることから、表-2 の d12 での破壊形式の設計値と の比となっている.

「d16の設計値との比較」は d16 のボルト破壊の 設計値に対する実験値の比を示したものである.

打込み型 d12 ではすべてボルト破壊となってお り、実験値は設計値の 1.2 倍程度となっている. 打 込み型 d16 での実験では接合部の木部が局部的に 破壊する集合型せん断破壊も生じているが,同じ破 壊形式の設計値と比較すると,ボルト破壊では設計 値とほぼ一致し,集合型せん断破壊では 1.4 倍とな っている.一方,樹脂型については集合型せん断破 壊したものは,打込み型 d16 と同じ 1.4 倍であるが, ボルト破壊した終局荷重はボルト径 d12 の設計値 に対して 1.7 倍とかなり大きくなっている.

樹脂型 d12 と打込み型 d16 を比較すると(表の右端欄),樹脂型の終局荷重は漸増載荷では打込み型 d16 とほぼ一致し,繰返し載荷での終局荷重はやや

減ずるが,ボルト d16 の 0.94 倍となっており,ほぼ同等と考えられる.

このことは、ボルトとボルト孔との間に樹脂を充 填した場合には、設計ボルト径にボルト孔径を使用 して設計できることを示唆するものである.

前章での1列モデルでも,繰返し載荷の場合には, 漸増載荷よりも 10%程度低くなっており,今回の ボルト破壊でもその傾向は見受けられる.

## 5.まとめ

木橋の部材接合でボルト接合する場合,ボルトね じ部の破損や木部材のボルト孔の裂けを防止する ためにボルト孔をボルトよりも大きくし,その隙間 によるガタを防ぐために隙間に樹脂を充填する工 法が採用されることがある.充填樹脂はボルト接合 部の耐力や剛性を向上することは知られていたが, その樹脂の効果は設計規準に未だ反映されていな いように思われる.

本論文では、その効果を具体的に考察するために、 ボルト孔をボルトよりも大きく穿ち、その隙間に樹 脂を充填した供試体を作成し、静的引張荷重下での ボルト接合部の引抜け挙動を実験的に検討した.

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) ボルト孔に充填された樹脂はボルト接合部の 耐力を向上させる.
- (2)樹脂をボルト孔に充填することにより、その耐力は樹脂を充填するために穿ったボルト孔の 径と同じ径を有するボルトの耐力とほぼ同等 となる。

(3) 引抜け挙動において、ボルトの径が太くなると、耐力は増加するが、靭性に乏しいものとなるようである。樹脂充填するとボルト孔と同径のボルトの引抜け量より大きくなり、靭性は大幅に向上する。

本論文で得られた結果は、ボルトとボルト孔の隙間に樹脂を充填するボルト接合を用いる場合、接合部耐力の計算において、設計ボルトは使用するボルト径ではなく、ボルト孔の径としてよいと示唆している.このことは、設計において、接合ボルト本数を大幅に軽減できることになる.

しかしながら、ここでの結果はボルト径 12mm に 対してボルト孔を16mm とした1種類の供試体のみ の結果で、樹脂の効果を設計基準に反映させるには、 樹脂の厚さや L/d (部材厚/ボルト径)の影響をさら に検討する必要がある.また、本論文の3章では異 等級モデルを、4章では同一等級モデルを採用して いるが、両者のモデルについての特性や差異を考察 するには至っていない.本論文の結果を汎用的に使 用するためにも、その特性や差異を詳細に検討する 必要があると考えている.さらに、道路橋を対象と する場合には渡辺ら<sup>16)</sup>が最近検討しているような 疲労性状の把握も重要な課題であり、今後の課題と して疲労試験も計画している.

接合部の応力性状を詳細に把握するためには,ボ ルトの変形による木部材へのめり込みや肌離れな どを取り入れた非線形モデルによる解析的な検討 も必要であろう.

#### 謝辞

本実験を遂行するに当たり,山佐木材株式会社 (鹿児島県)の原田浩司様,村田忠様には供試体製 作するに対するご助言と精度の良い供試体を製作 して戴きましたことに感謝の意を表します.なお, 本研究は科学研究費・基盤研究(C)の助成を受け たものである.

#### 参考文献

- 1) 有馬孝禮:エコマテリアルとしての木材,木質 材料小特集, Vol.43, No.485, pp.127-136, 1994
- 2) 岩本恵三:木と木材がわかる本、日本実業出版 社、pp.149-169、2008
- 3) 土木学会工構造委員会木橋技術小委員会:木橋 技術の手引き 2005, p.1-8, 土木学会, 2005
- 4) 五十嵐恒夫:ヨーロッパにおける最近の木橋技術等について、第7回木橋技術に関するシンポ

ジウム論文報告集, pp.37-42, 2003

- Masafumi Inoue, Yuko Sirakawa, Kei Tanaka, Zhongwei Guan : Study on reinforcement around bolt hole at fastener joint timber structure, 9<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering, 2006
- Thomaz Lodygowski, Marci Glapiak : The change of timber joint rigidity under cyclic load, Found of Civil and Environmental Engineering, 2006
- 7) 山田伸典, 手塚升, 松井源吾:エポキシ充填鋼 板挿入式ボルト接合に関する研究, 日本建築学 会構造系論文報告集, 第448 号, pp.69-78, 1993
- 8) 山田伸典,手塚升:エポキシ充填ボルト接合に 関する研究・その19 多数本打ちボルトのピッ チが耐力に及ぼす影響、日本建築学会大会学術 講演梗概集、pp.65-66、1997
- 今井富士夫,藤本英稔,間瀬英男,飯村豊,中 澤隆雄:大断面集成材の鋼ジョイント近傍の応 力集中とその緩和策,構造工学論文集,Vol.51A, pp.1203-1210,2005
- 今井富士夫,村上弥生,間瀬英男,飯村豊,中 澤隆雄:接合法の違いによる鋼ジョイント近傍 の木部材の力学性状,構造工学論文集,Vol.52A, pp.829-836,2006
- 11) Fujio Imai, Takao Nakazawa, Yutaka Iimura : Influence of Resin injected into Bolt Hole on Mechanical Properties of Timber-Steel Connection, 10<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering, 2008
- 日本建築学会:木質構造設計規準・同解説-許 容応力度・許容耐力設計法-,p.402,p.42,p.368, pp.239-247,2006
- 日本建築学会:木質構造設計規準・同解説-許 容応力度・許容耐力設計法-, p.236-245, 2003
- H. Johnsson and L. Stehn : A Linear Fracture Mechanics Evaluation of Plug Shear Failure, 8<sup>th</sup> World Conference on Timber Eng., pp.253-258, 2004
- 15) 星井睦, 手塚升, 山田伸典, 松井源吾: エポキ シ充填ボルト接合に関する研究・その4 ボル ト近傍の応力分布と剛性-数値解析による実 験結果の検討-, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.95-96, 1989
- 16) 渡辺浩,飯村豊,樋口友三,山田朗央:木橋に おける集成材ボルト接合部の繰返し挙動に関 する実験的研究,第4回木橋技術に関するシン ポジウム論文報告集,pp.95-100,2005 (2009年9月24日受付)