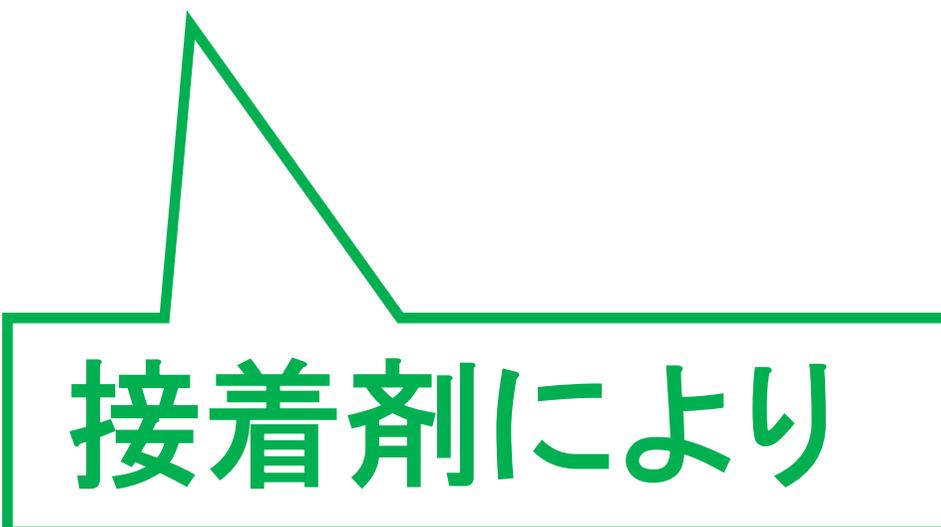


# 木が鉄になった？！

(株)ユ一建築工房・木工法研究所

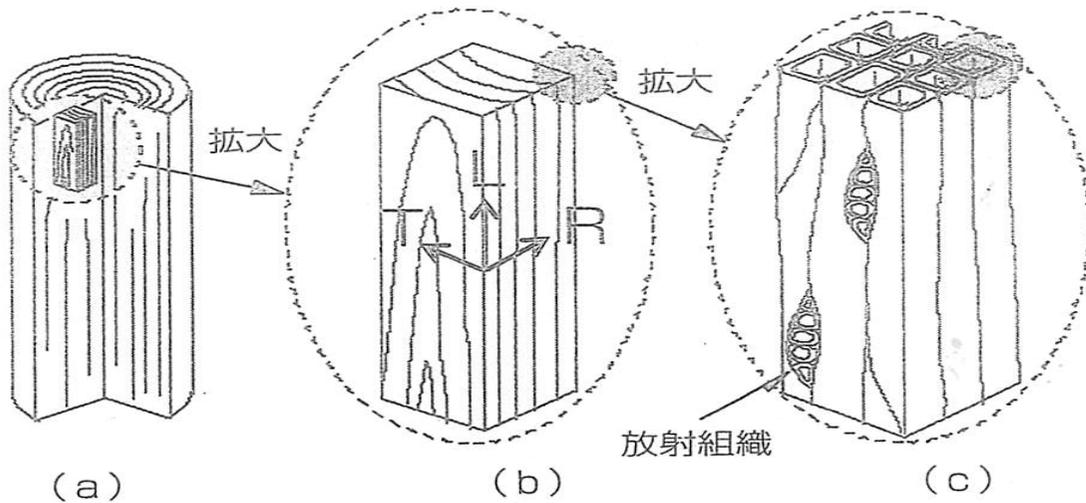
# 木の特性から解放される



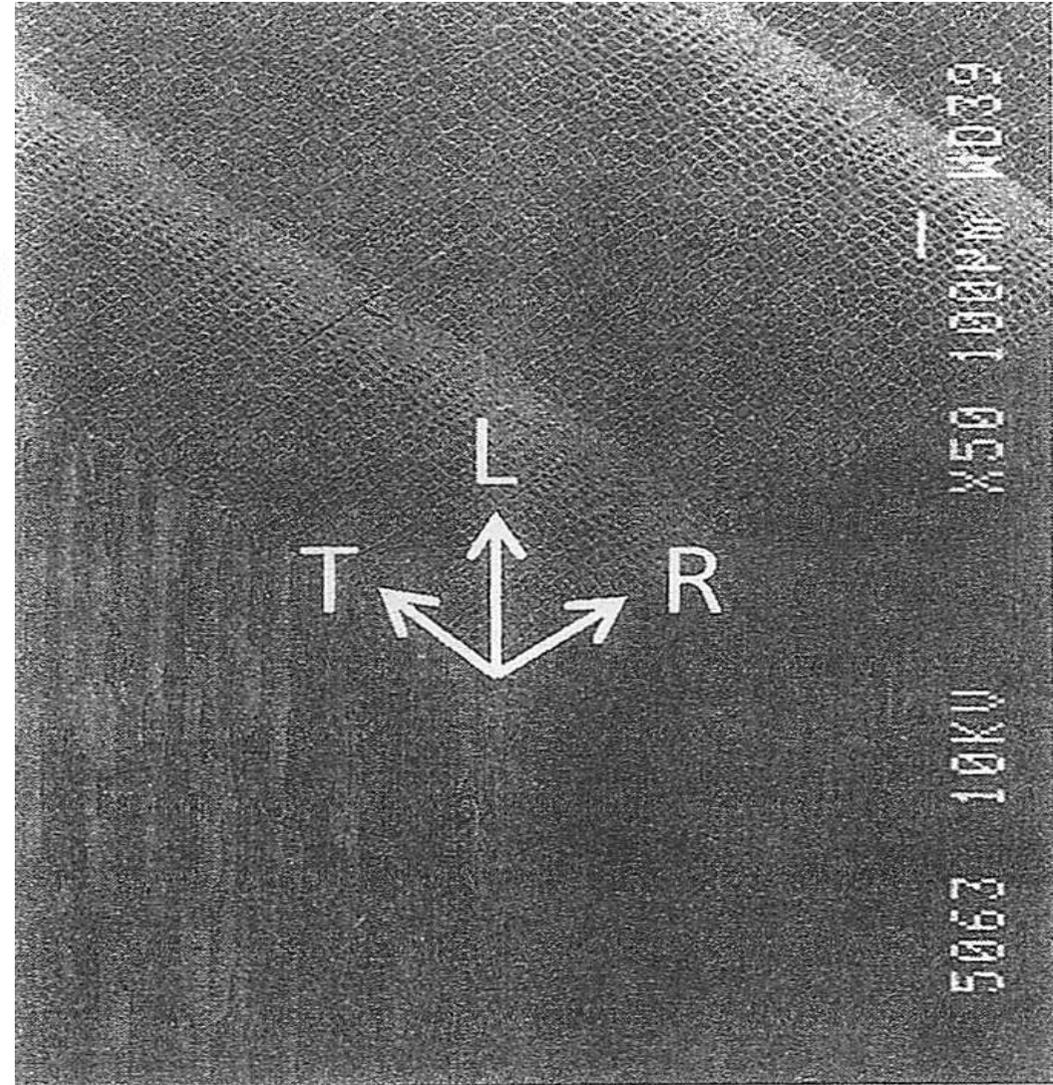
接着剤により

# 異方性 不均一性

L : 繊維方向  
R : 放射方向  
T : 接線方向



木材細胞の配列と方向の呼び方



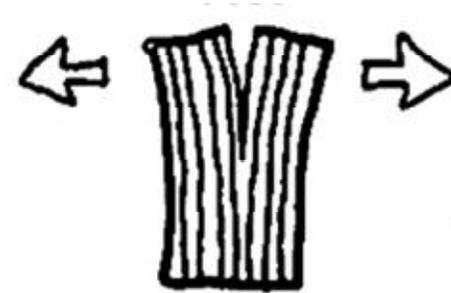
スギ電子顕微鏡写真

# めり込み



めり込み: 木材が柔らかいため圧力により材面がへこむ弾塑性的な状態。

# 割裂



割裂: 木材の繊維方向に割り箸を割るように引裂かれる脆性的な状態。

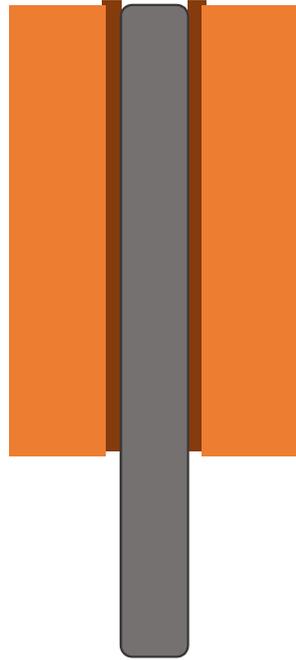
# 応力経路を変える



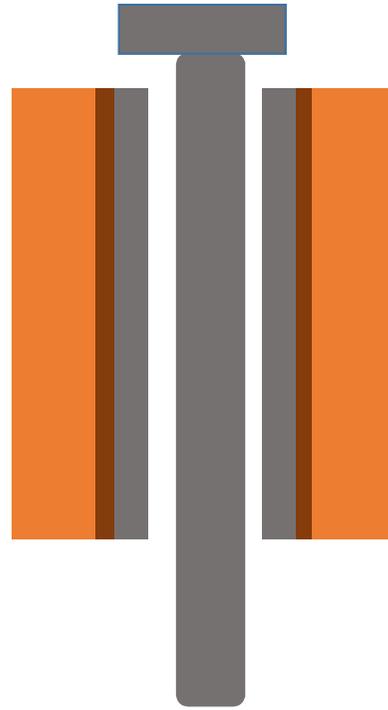
接着剤により



A接合



B接合



C接合



木



鉄



接着剤





鋼管と接着剤の付着の抜け出し  
No1



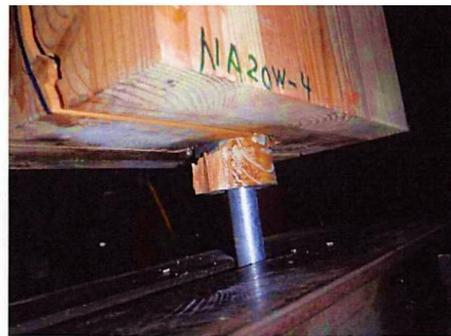
木部と接着剤の付着の抜け出し  
No3



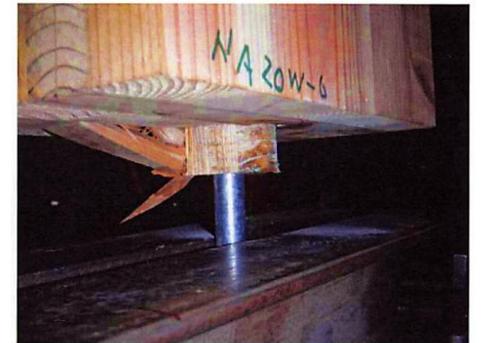
アンカーボルト軸部の破断  
No5



鋼管と接着剤の付着の抜け出し  
No2



木部と接着剤の付着の抜け出し  
No4



木部と接着剤の付着の抜け出し  
No6

# 鉄の強度が生まれた



接着剤により

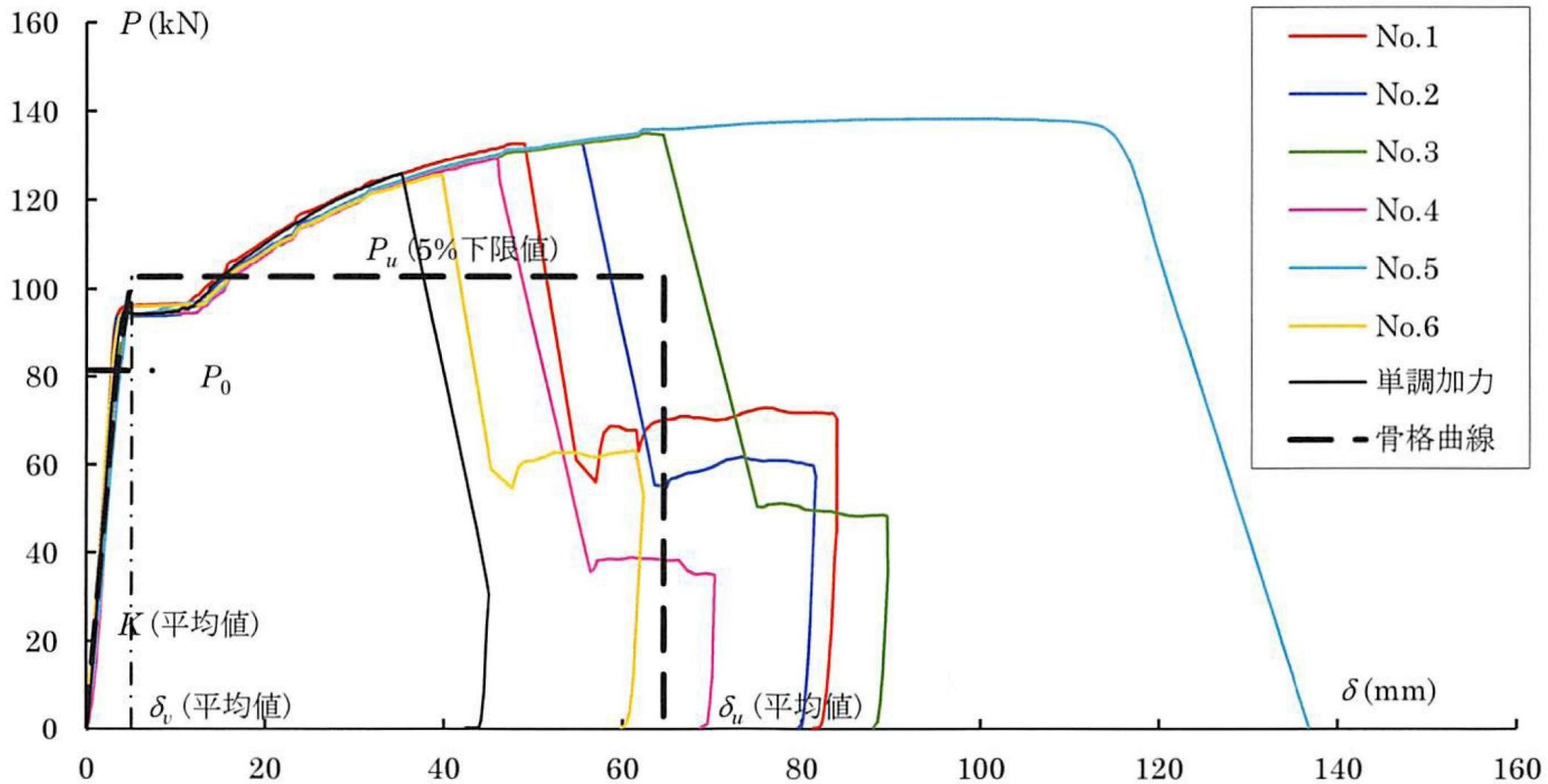
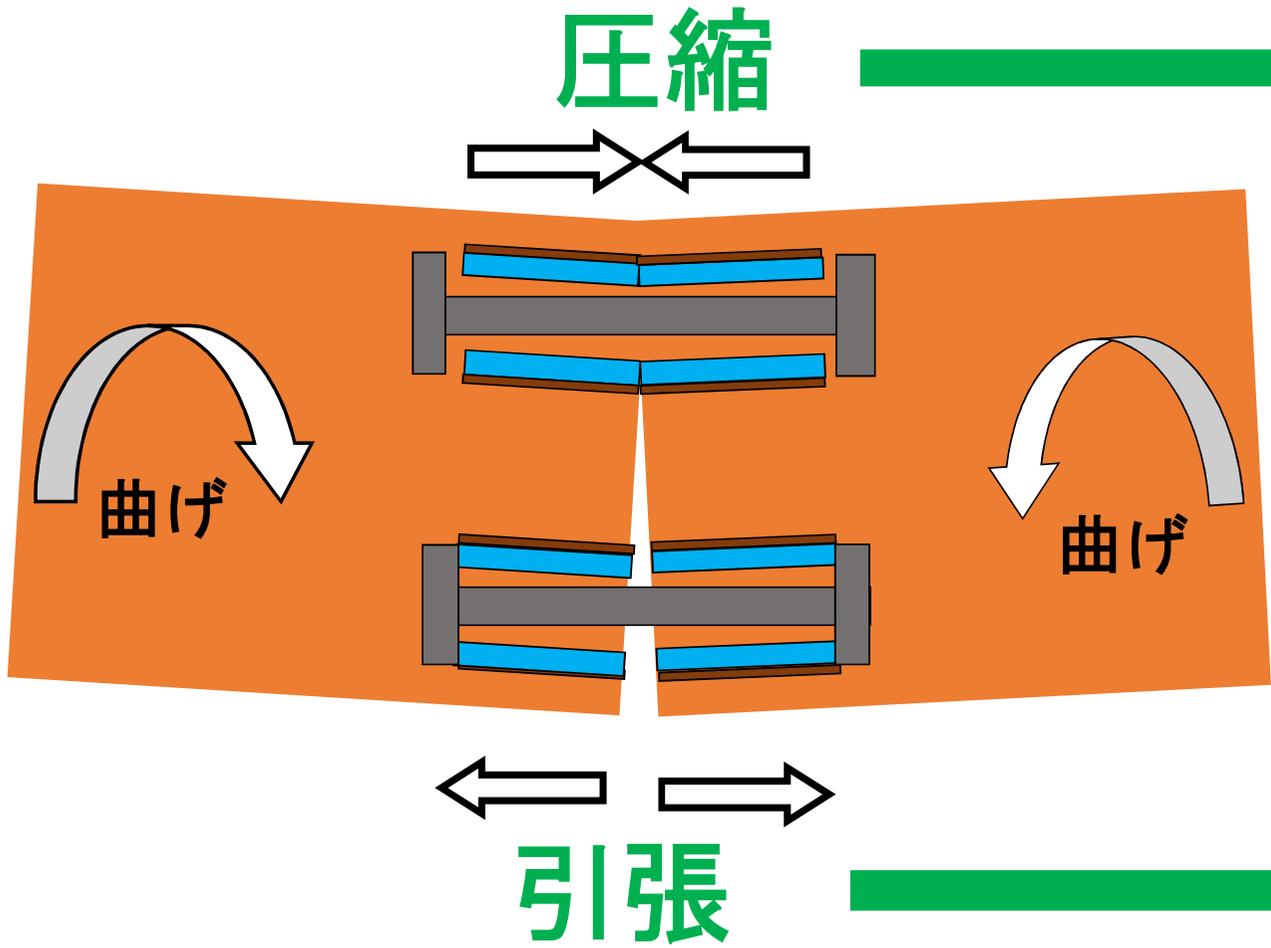


図3.1  $P-\delta$  関係の包絡線 (試験体相互の比較, 計算方法1の場合: バイリニア曲線)

# 鋼管のメタルタッチ



鉄の強度

ボルトの伸び

特許出願済



木造も鉄骨造と同じ  
大型・高層建築が  
可能になる

接着剤により

# 内蔵接着鋼管による引きボルト 接合の提案とその力学的特性

# PROPOSAL OF BOLT JOINT BY EMBEDDED AND ADHERED STEEL PIPE ENABLING DISASSEMBLY EVEN WITH ADHESIVE AND THE MECHANICAL PROPERTIES

丸山純夫 — \* 1

キーワード：  
木構造, 応力伝達メカニズム, 接合部の剛性低下, 接着剤,  
リユース

Keywords:  
Timber structure, Stress transmission mechanism, Reduction of  
rigidity in joint, Adhesive, Reuse

Sumio MARUYAMA — \* 1

Rigidity of joint with timber structure can be weakened because of the poor accuracy in its installation and the occurrence of backlash with the joint metal due to the timber shrinkage which is a property that material of timber materials have. In addition, due to the nature of natural timber, the mechanical properties of the joint are unclear which makes the mechanical analysis of the timber structure more complicated. In order to solve this problem, direct jointing method which applies adhesive to connect timber parts and joint metal is developed. However, such jointing method does not allow timber parts to be disassembled, same as the reinforced concrete construction. In this report, we propose connection method that provides high-intensity and can be disassembled even when using adhesive in order to enable the reuse of timber materials from the viewpoint of the environment. We also examine mechanical characteristics and confirm that it is feasible.

## 1. はじめに

世界的に木は地球環境の持続性から重要な資源材料になっている。これからの建築は木で構成することが求められ、日本でも住宅に限らず木造で大規模建築の建設を実現する気運になっている。国は新たな木質材料の一つである直交集成板<sup>1)</sup>(以後、CLT パネル)を利用する大規模木造建築を推進している。具体的に 2016 年 4 月に建築基準法に基づく「CLT パネル工法による構造方法・構造計算に関する技術基準(平成 28 年国土交通省告示第 611, 612 号)」(以後、CLT 告示仕様)が公布され施行された。この様な中で、木材や木質材料による新たな空間を得ようと様々な工法が開発されている。これは一重に接合部の構成方法に集約される。本報もこの域を出るものではないが、新しい接合方法を提案する。

これまでの木造の接合金物は、露出している鋼板をビスで止めるものや、内蔵した鋼板やパイプをボルトやドリフトピンで緊結するものが多い。この接合金物は、接合部の応力伝達を木部材に金物を直接接触させて行い、分解できる仕組みになっている。そのため、接合部の施工精度や木部材の特徴である木やせによる接合金物とのガタの発生から、接合部の剛性低下が生じる。また自然材の木の性質から、接合部の力学的特性が不確定であり、木構造の力学的解析を複雑にしている。この様な木構造の特性を改良するため、接着剤と異形鉄筋<sup>2)</sup>やコネクター<sup>3)</sup>を用いた接合方法が提案されている。これらは木部材と接続金物は接着剤で直接、固定する接合方法であり、接合部材は鉄筋コンクリート造と同様に、分解可能な仕組みになっていない。そこで本報では、環境の観点から木部材のリユースを可能にするため、接着剤を併用しても分解可能な仕組みの接続方法を提案する。この接続方法による

接合部の繰り返し引張試験の結果から力学的特性をまとめ、実用可能なことを確かめる。

## 2. 接合方法による接合部応力伝達メカニズム

接合部の応力伝達メカニズムを一般的な金物による接合方法(以後、接合法 A)と既存の接着剤による接合方法(以後、接合法 B)と本報の接合法(以後、接合法 C)を図 1 の模式図を参照して説明する。

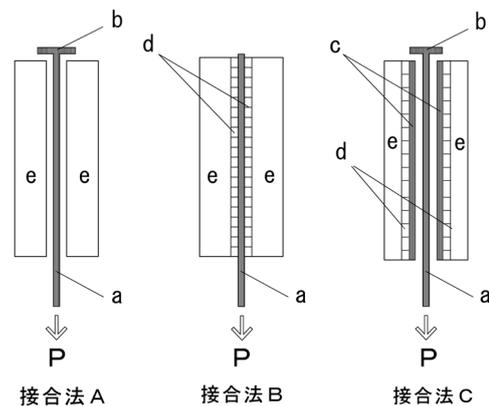


図 1 接合方法の模式図

接合法 A は木部材 e に穴を開け、そこに金物 a を挿入して金物 b で緊結したものである。金物 a の応力 P は金物 b に伝達され、木部材 e に直接的に伝わる。その結果、木部材 e にめり込みが生じ、副次的に割れが発生する。自然材の木の特質から、この力学的性質は不確定である。接合法 B は、木部材 e に金物 a を挿入するための穴を開けて、相互のクリアランスに接着剤を注入し、金

<sup>1)</sup> (株)ユー建築工房 工博  
(〒326-0337 栃木県足利市島田町 151-1)

<sup>1)</sup> U-builders Workshop Co., Ltd., Dr. Eng.

物 a を木部材 e に接着し固定するものである。その応力伝達経路は、応力 P を金物 a は直接、接着剤 d に伝えて、木部材 e に伝達される。この時の接着強度は金物 a と木部材 e の接着剤 d による接着力で決定される。しかし、この接着力の力学的特性は木部材 e が自然材の木の性質から、これまでの知見では不明確な傾向<sup>4)</sup>である。接合法 C の応力伝達経路は、応力 P を受ける金物 a から、金物 b が受圧して木部材 e に接着剤 d で接着した金物 c へ伝える。この応力は金物 c に固着する接着剤 d に伝わり、木部材 e に伝達する。この時の接合強度は金物 c と接着剤 d、あるいは木部材 e と接着剤 d のどちらかの接着力、または接着剤が許容できるせん断力で決定される。ここでも木部材 e と金物 c との関係は木部材 e の自然材の性質から、接着力の特性が不明確になる。しかし金物 c と接着剤 d の関係は、双方とも工業材料のため材料性能が明確であり、接着力も人為的<sup>5), 6), 7)</sup>に設計できる。これは接合法 B よりも接合法 C の方がより明確な応力伝達<sup>8)</sup>ができることになる。

### 3. 接合法 C による NA20 接合の概要

木質構造の NA20 接合は、接合法 C による建物最下層における CLT パネル壁隅角部の基礎接合部である。NA20 接合の実例の形状を図 2 と写真 1 に示す。また NA20 接合を構成する接続金物を図 3 と表 1 に示す。

#### 3.1 NA20 接合の構成部品と組み立て要領

まず基礎コンクリートに ABR アンカーボルト M20 に M20 ナットで保持する丸座金 (60φ×t13) の取り付け端を定着させる (写真 1 のアンカーボルト目視部分)。次に CLT パネルに内蔵して接着剤であらかじめ固定した内蔵接着鋼管 (SP20, 写真 2) の中空内に、基礎コンクリートから突出している ABR アンカーボルト M20 を貫通させる。ABR アンカーボルト M20 に CLT パネル壁下部の小判型の穴内で座金 (WW20) を差し入れ、M20 ナットを緊結して基礎コンクリートに固定する。

#### 3.2 NA20 接合の接合部応力伝達メカニズム

図 1 の接合法 C に対応させた図 3 と表 1 に示す接続金物の応力経路記号 a~f を、図 2 に示す NA20 接合に当てはめて説明する。

地震の水平外力による CLT パネル脚部の回転モーメントにより基礎に緊結される CLT パネル e に引張力 (引き抜き力) と圧縮力が生じる。この引張力は内蔵接着管 c の外周に施した接着剤 d の許容される接着界面の接着力と接着剤層のせん断力により内蔵接着鋼管 c に伝わる。このせん断力は内蔵接着鋼管 c の端面に圧縮力として座金 (WW20) b の曲面を押押し、M20 ナット b<sub>1</sub> に伝わる。座金 b の巾と内蔵接着鋼管 c の外径はほぼ等しく、座金 b による CLT パネル e への支圧はなく、めりこみは生じない。座金 (WW20) b への押圧する力は、すべて ABR アンカーボルト M20 a の引張力になり、基礎コンクリートに定着する丸座金 f に伝わる。

#### 3.3 NA20 接合の接合部形状の詳細

CLT パネル工法は高層建物が可能なことから、NA20 接合の壁脚部は応力が過大になりやすく、十分な塑性変形性能が求められる。NA20 接合は図 2 に示す様に、CLT パネル隅角部に ABR アンカーボルト M20 緊結用の小判型の穴 (外形・巾 60mm×高さ 120mm) を強軸方向 (表層ラミナが長辺方向) の端距離 210mm (実質 180mm) 弱軸方向 (表層ラミナが短辺方向) の縁距離 135mm (実質 105mm) に

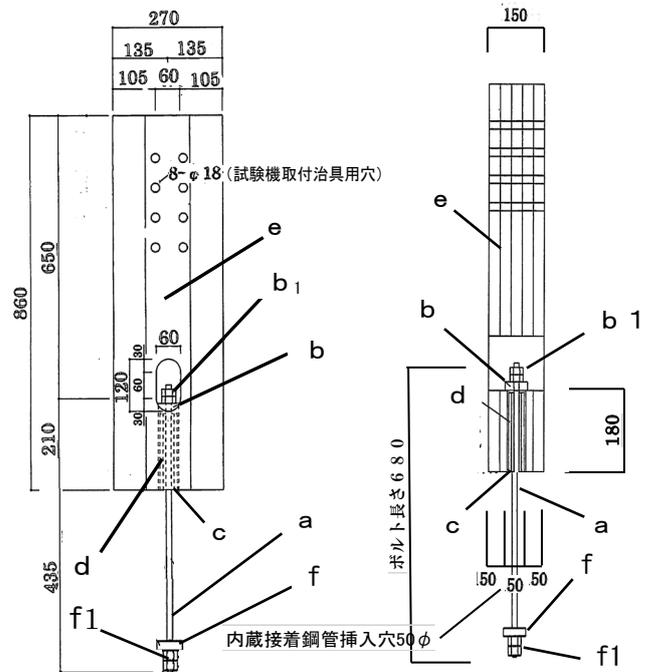


図 2 NA20 接合 (CLT パネル壁脚部) 詳細



写真 1 NA20 接合の外観



写真 2 NA20 下端面の内蔵接着鋼管

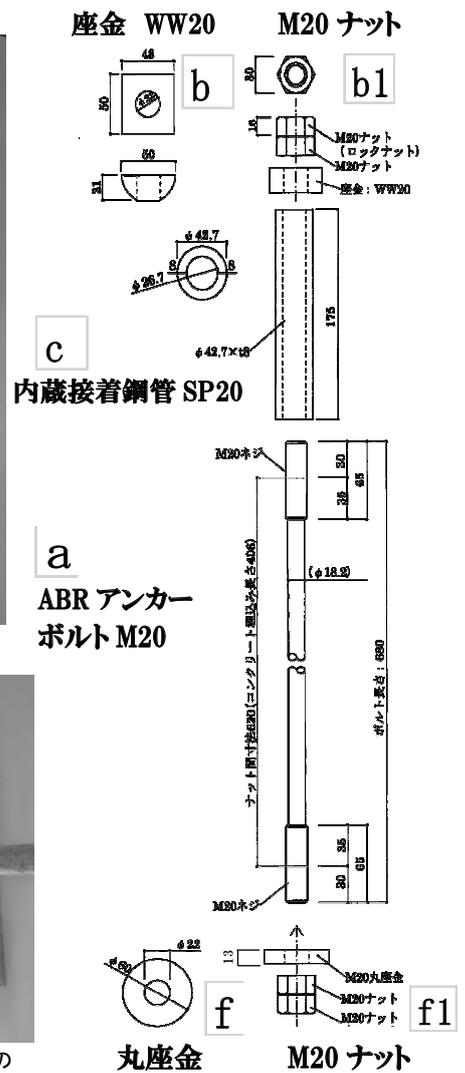


図 3 NA20 接合の接続金物詳細

表1 NA20 接合の構成部品一覧表

応力経路 記号	名称	部品名	規格・材質・寸法		備考	
a	ABRアンカーボルトM20	両ネジボルト(転造ネジ)	ABR490	M20×L680	素材降伏比80%以上	
b	座金	WW20	S35C	50×48×t21	ボルト穴径22φ	
b1	M20ナット	M20六角ナット	ABR490	30×t16	ダブルナット	
c	内蔵接着鋼管	SP20	STKM13A	42.7φ×t8×L175	内径26.7φ	
d	接着剤 (オキシカダイTE-243L2)	2液反応硬化型エポキシ樹脂系接着剤	主材 エポキシ樹脂 1	硬化剤 ポリアミン 0.5	養生日数 7日	接着層厚 3.65mm
e	CLTパネル	Mx50-50-50	接着剤	t=150×270×860	密度	含水率
	杉直交集成板	異種等級構成	水性高分子イソシアネート樹脂	使用環境C	0.42	12.3%
f	丸座金		S45C	60φ×t13		
f1	M20ナット	M20六角ナット	ABR490	30×t16	ダブルナット	

設けている。また CLT パネルの強軸方向厚さ 150mm の中心に、小判型の穴に直交する内蔵接着鋼管 (SP20, 42.7φ×8、表面を保護する油脂をシンナーで洗浄した。) の挿入穴 50φを開ける。この穴と内蔵接着鋼管の外径とのクリアランスの 1/2 が接着剤層の厚さ 3.75mm になる。また内蔵接着鋼管挿入穴 50φと CLT パネル外面までのラミナ厚さは 50mm になる。これは接合金物部分に燃え代 45mm 以上<sup>9)</sup>が確保できている。そのため防火上の仕上げを施さずに素地でも、準耐火構造 (平成 28 年国交省告示第 563 号) が可能になり、提案する本接合法の主要な利点である。

なお CLT 告示仕様の引きボルト仕様<sup>9)</sup>を参照すると、ナット緊結用角穴 (巾 90mm×高さ 100mm) の縁距離は強軸方向で実質 400mm、弱軸方向では実質 100mm にして M16 アンカーボルト貫通穴 25mm を開けている。

そこで、NA20 接合の端距離を 210mm にするのは、深穴の加工精度を保つためと、内蔵接着鋼管の長さ、その外周による接着強度が、要求される接合強度を確保するためである。また室内の床や天井の下地スペース内に、接続金物を納めて防火的にすることと、CLT パネル壁に接続金物が見えずに、木の素地で表す意匠的要求に応えるものとした。そして CLT 工法の建物は高層になることが見込まれ、床や天井の下地スペースの所要寸法を小さくし、階高を押えて建物高さを低くしたいためである。なお、ロッキング挙動による CLT パネル接合部の引張力 (引き抜き) に対して、引きボルトが有効に働く様に、圧縮縁の縁距離は少なくして、引きボルトから圧縮縁までの距離を可能な限り大きくしたい。しかし、圧縮縁が少ないと高層の建物では、自重と共に圧縮力が過大になり、圧縮縁に圧壊が起こる。そこで圧縮縁の縁距離を安全のため、実大実験<sup>10)</sup>で検証した告示仕様と同じ実質寸法 105mm にして、内蔵接着鋼管で補強することにした。

なお接続金物のボルトは、CLT 告示仕様による接合部の要求性能の伸び率から、構造用アンカーボルト<sup>11)</sup>M20 (転造ネジ ABR490、両ネジボルト、長さ 680mm) を使用した。基礎コンクリートへの定着板である既製の丸座金 (60φ×t13) は、ABR アンカーボルト M20 の軸部が先行降伏するように作られたもの<sup>11)</sup>である。よって CLT 壁パネルを緊結するアンカーボルト他端の座金 (WW20) も図 3 で示す様な十分に剛性が高い形状にした。

### 3.4 NA20 接合の接合法 C の特徴

このような NA20 接合の構成から、接合法 C の機能は以下の特徴が上げられる。

- ① 木のめり込みはないので接続金物の形を小さくできる。
- ② 接着剤を使用した接合でも木部材が分解可能になる。

- ③ 接着剤注入作業を現場で行わず工場で行える。
- ④ 現場の組み立て作業に要する時間が短縮できる。
- ⑤ 木部材に内蔵される接続金物なので結露や火災から守れる。
- ⑥ 接続金物の緊結用穴を木栓で塞げば意匠的に見栄えがよい。
- ⑦ 接着剤の損傷の修復は容易である<sup>12)</sup>。
- ⑧ 接合金物に特別な金物を要さずコストが抑えられる。
- ⑨ 木の性質による接合部性能の影響は少ない。

## 4. 試験

図 2 に示す NA20 接合の試験を CLT 告示仕様に示される文献<sup>9)</sup>の「CLT 関連告示等解説書・付録参考 5: CLT 工法における接合部試験・評価方法」の引張接合部の壁パネル-基礎の引きボルトに準じて行う。

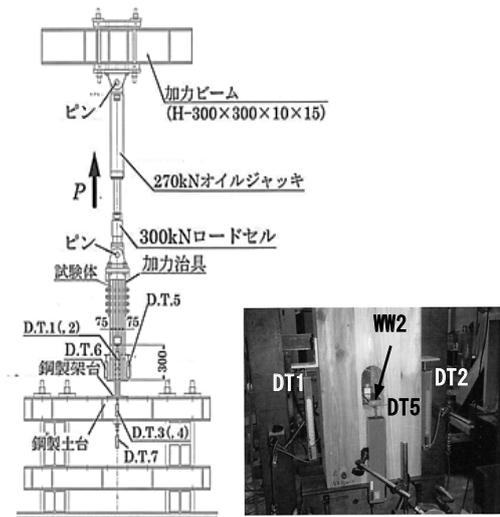


図 4 試験装置

写真 3 変位計設置

### 4.1 試験体

NA20 接合の試験体の形状は図 2 に示し構成部品は表 1 に示す。CLT パネルは JAS 規格<sup>1)</sup>の (杉直交集成板: 使用環境 C、異種等級構成 Mx50-50-50、平均密度 0.42 平均含水率 2.3%) 厚さ 150mm 巾 270mm、強軸方向長さ 860mm を使用する。また試験体数は予備試験用 1 体、本試験用 6 体の計 7 体とした。

### 4.2 試験方法

試験体 7 体のうち予備試験用の 1 体は単調加力試験 (単調引張载荷) を行い、本試験用の 6 体は一方方向繰返し引張载荷とした。繰返し载荷は単調加力試験で得られた降伏変位  $\delta_y$  の 1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 倍の順で各 1 回行った。試験体の設置方法は図 4 に示す様な試験装置の鋼製土台下端に試験体の ABR アンカーボルト M20 の丸座金 (60φ×t13) を掛けて固定した。他方は CLT パネルを加力治具に取り付けて 270kN オイルジャッキに固定した。ABR アンカーボルト M20 の締め付けは手締め程度とした。荷重値の検出には 300kN ロードセルを用い、試験体の変位量の測定は、図 4 (写真 3) に示す位置に変位計 (DT1~DT7) を設置した。なお、試験体全体の変位  $\delta$  は (DT1, 2) から鋼製架台による変位 (DT3, 4) を、ABR アンカーボルト M20 単体の特定変形時の変位  $\delta_b$  は (DT5, 6) から鋼製土台による変位 (DT7) を差し引いた絶対変位を求める。

## 5. 試験結果と考察

一方向繰返し引張載荷とした試験体6体の試験結果のP- $\delta$ 関係の包絡線を図5に示し、この図から読み取った特性値と短期基準耐力の算定結果を表2に示す。また表3に特定変形時におけるABRアンカーボルトM20単体の伸び量(図3のナット間寸法620mmの伸び量計測長さにおける)の結果を示す。なお、これらに基づく考察は試験の計測と観察による知見から定性的に判断する。

### 5.1 試験結果

NA20接合の図5におけるP- $\delta$ 関係の曲線の大きな特徴は、No.1~6試験体の最大耐力 $P_{max}$ の値に大きな差はなく、そこに至るまでのP- $\delta$ 関係の曲線は弾性域と塑性域に渡り完全に一致していることである。破壊状況を見ると、内蔵接着鋼管と接着剤の剥離の破壊状況A(表2,写真5)が2体と、CLTの剥離の破壊状況B(表2,写真6)が3体あった。これは写真5,6から分かるように、内蔵接着鋼管がCLTパネル端から抜け出ている。また破壊状況C(表2,写真7)のABRアンカーボルトM20の破断は各試験体中でNo.5試験体が1体あり、最大耐力 $P_{max}=138\text{kN}$   $P_{max}$ 時変位 $\delta_{max}=89.7\text{mm}$ になり、最大値を示している。なお、図5のNo.4試験体に示す変位量Qは、最大耐力 $P_{max}$ 後にCLTパネルから内蔵接着鋼管が抜け出て耐力が急に低下する状況での変位量である。この変位量Qは、各試験体でほぼ等しく、P- $\delta$ 関係の曲線は互いに平行な負勾配になっている。またその後の変位量Rは各々の試験体で異なるが、耐力は維持しながら推移する。この変位量Rの範囲で、CLTパネル特有のローリングシア(直交ラミナの回転作用による層内せん断破壊)によるCLTパネル端部の直交ラミナ界面の割裂(写真4)が観察できた。文献14)により以下の特性値が示せる。表2において短期基準耐力 $P_o$ は $2/3 \cdot P_{max}$ から、試験体ばらつき係数0.923により81.3kNになり、JIS規格のABR490 M20ボルトの短期許容耐力79.6kNとほぼ同等である。また平均の初期剛性は $K=23.7\text{kN/mm}$ を示した。なお平均の終局変位は $\delta_u=64.7\text{mm}$ になり、終局耐力 $P_u=103\text{kN}$ である。このような特性値から、図5の破線

で示す完全弾塑性モデルの骨格(バイリニア)曲線を描くことができる。

### 5.2 考察

CLT告示仕様の壁パネル-基礎の引きボルトによる引張接合部の要求性能は、構造計算ルートにより異なっている<sup>14)</sup>。構造計算ルート1は接合金物の形状と接合部性能の仕様規定を設けている。構造計算ルート2,3は、接合金物の形状に規定がなく「当該接合部で先行降伏すること、終局変位 $\delta_u > 40\text{mm}$ 、伸び率 $> 10\%$ 」とする接合部の性能規定を定めている。NA20接合は接合金物の形状に規定がない構造計算ルート2,3の接合部性能の規定に準ずる。

NA20接合のABRアンカーボルトM20は、終局耐力 $P_u=103\text{kN}$ (5%下限値)で先行降伏し、変位量QにおいてCLTパネルから内蔵接着鋼管が抜け出するため「当該接合部で先行降伏する」の条件は満たしている。また伸び量計測長さを図3のナット間寸法620mmとする表2の終局変位 $\delta_u$ は平均で64.7mmであり、その伸び率は $100 \times 64.7\text{mm}/620\text{mm}=10.4\%$ になる。「終局変位 $\delta_u > 40\text{mm}$ 、伸び率 $> 10\%$ 」の条件を満たしている。

なお、ABRアンカーボルトM20単体の伸び量計測長さ620mmにおける特定変位時の伸び量 $\delta_b$ は、表3の7サイクル目の $\delta_b=41.0\text{mm}$ であり、構造計算ルート2,3の接合部性能の終局変位 $\delta_u > 40\text{mm}$ を満足している。しかし、実際の施工では、伸びが可能な長さ(基礎コンクリートにアンカーされない部分)は納まりの寸法により、図3のナット間寸法620mmからコンクリート埋め込み長さ406mmを減じた216mmになる。この長さの降伏点変位 $\delta_{b1}$ は $41.0 \times 216/620=14.2\text{mm}$ である。これは構造計算ルート2,3の要求される接合部性能の規定の終局変位 $\delta_u > 40\text{mm}$ を満足しない。そこで本実験の伸び量計測長さ620mmを確保して、伸び量 $\delta_u > 40\text{mm}$ になるようにしなければならない。そのためABRアンカーボルトM20のコンクリート埋め込み部分は、弾性域に限れば、コンクリートの付着力が働かないような設計が必要になる。

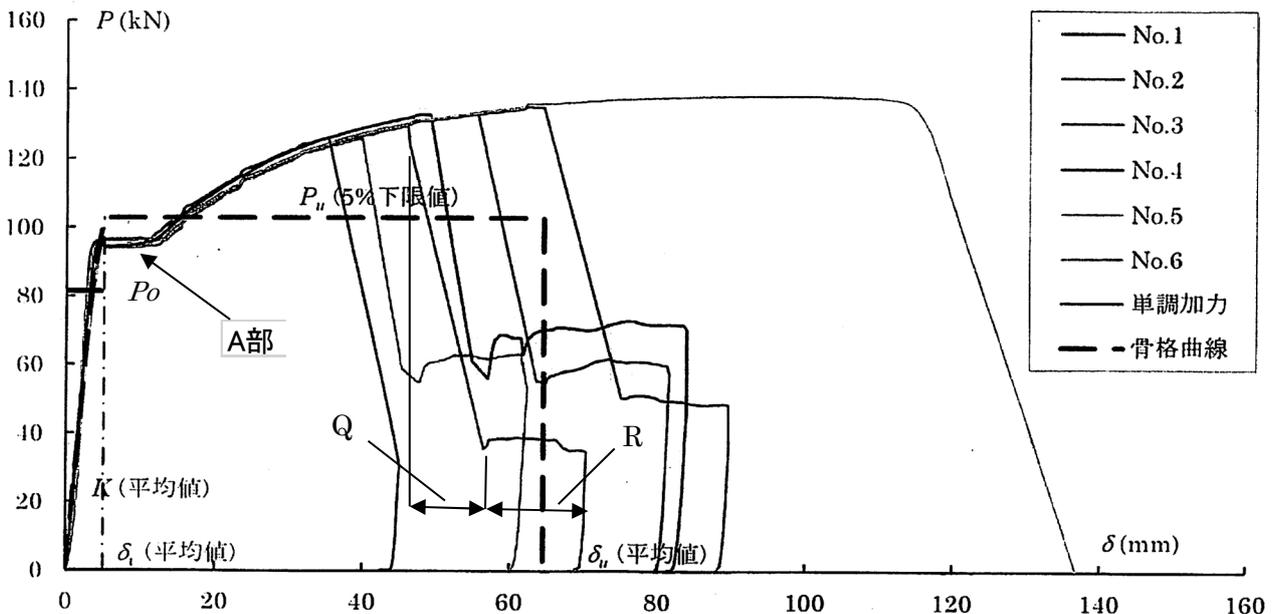


図5 NA20接合のP- $\delta$ 関係の曲線(試験体相互の比較)

表 2 NA20 接合の特性値と短期基準耐力算定結果の一覧表

特性の種類			試験体							短期基準耐力 $P_o$		
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	平均値	変動係数 $C_v$	ばらつき係数	5%下限値
降伏耐力	$P_y$	(kN)	94.5	93.6	91	91.9	93.1	93.1	92.9	0.013	0.969	90
最大耐力の2/3	$(2/3) \cdot P_{max}$	(kN)	88.4	88.5	90	86.2	92.1	83.7	88.2	0.033	0.923	81.3
最大耐力	$P_{max}$	(kN)	133	133	135	129	138	126	132.3	0.029	0.932	
終局耐力	$P_u$	(kN)	116	116	119	113	128	110	117.0	0.052	0.878	103
$\delta_u$ 時耐力	$P_{\delta_u}$	(kN)	106	106	108	103	110	101	105.7	0.028	0.935	
初期剛性	$K$	(kN/mm)	26.7	27.7	21.3	20.7	20.3	25.5	23.7	破壊状況		
降伏変位	$\delta_y$	(mm)	3.54	3.38	4.28	4.45	4.58	3.65	3.2	A : 鋼管のCLTパネルからの抜け出し (鋼管と接着剤が剥離)		
降伏点変位	$\delta_v$	(mm)	4.35	4.2	5.61	5.45	6.29	4.34	4.1			
終局変位	$\delta_u$	(mm)	51.2	58.4	68	48.7	120	41.9	64.7			
$P_{max}$ 時変位	$\delta_{max}$	(mm)	47.5	55.6	62.4	46.1	89.7	39.8	56.9	B : 鋼管のCLTパネルからの抜け出し (CLTの剥離)		
$P_o$ 時変位	$\delta_{pt}$	(mm)	2.82	2.84	3.44	3.77	3.85	2.89	2.6	C : アンカーボルト軸部の破断		
破壊状況			A	A	B	B	C	B		C		

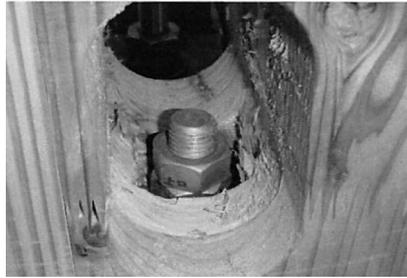


写真 5 破壊状況 A (鋼管と接着剤が剥離) の内蔵接着鋼管と座金 WW20 の状況



写真 6 破壊状況 B (CLT の剥離) の内蔵接着鋼管と座金 WW20 の状況

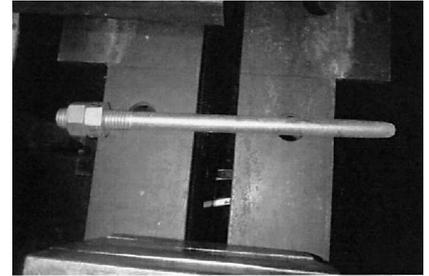


写真 7 破壊状況 C の内蔵接着鋼管と破断したアンカーボルトの状況

表 3 ABR アンカーボルト M20 特定変形時の伸び量

特定変形時			No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		平均値	
サイクル	$\delta$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta b$ (mm)	
1サイクル	1/2 $\delta_y$	1.91	49.7	0.49	52.6	0.6	43.8	0.25	35.4	0.2	36.3	-0.93	35.4	0.2	42.2	0.1
2サイクル	$\delta_y$	3.82	95.4	1.47	93.5	1.58	86.3	0.72	82.2	0.8	80.9	-0.73	82.2	0.8	86.8	0.8
3サイクル	2 $\delta_y$	7.64	94.6	5.19	92.5	5.1	93.2	3.81	92.5	4.02	94.3	2.19	92.5	4.02	93.3	4.1
4サイクル	4 $\delta_y$	15.3	103	12.6	102	12.5	100	11.2	99.5	11.4	100	9.59	99.5	11.4	100.7	11.4
5サイクル	6 $\delta_y$	2.9	115	20.1	112	19.7	111	18.4	111	18.8	112	16.9	111	18.8	112	18.8
6サイクル	8 $\delta_y$	30.5	122	27.5	120	27	120	25.6	119	26.1	120	24.2	119	26.1	120	26.1
7サイクル	12 $\delta_y$	45.8	132	42.4	130	41.8	130	40.4	129	41	130	39.1	129	41	130	41
8サイクル	16 $\delta_y$	61.1	67.7	-	80.1	-	134	55.1	38.9	-	135	54.1	38.9	-	82.4	-

注) 一印は試験体損傷により変位計が外れたため測定不能になった。

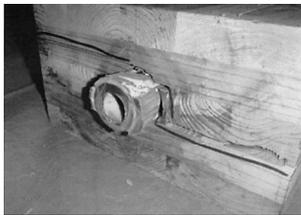


写真 4 試験体No.4のローリングシアによる端部の割裂

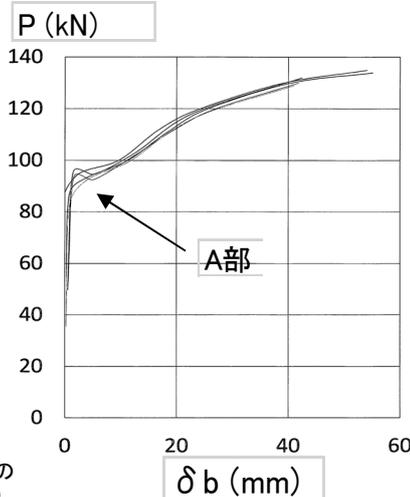


図 6 ABR アンカーボルト M20 特定変形時の伸び量と引張力の関係 (表 3 の各試験体の比較)

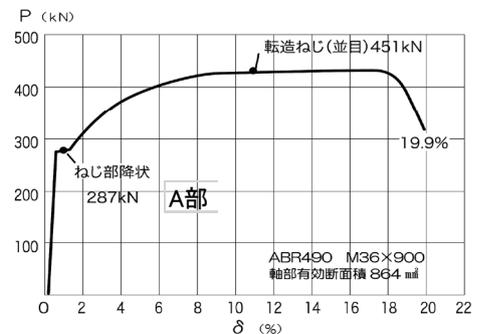


図 7 ABR490 M36 伸び量と引張力の関係

また、破壊状況 A、B の試験体 5 体の変位量  $Q$  は、No.4 試験体とほぼ等しい値(変位量  $Q$ =計測値 46.3-56.4mm)10mm を示している。これは内蔵接着鋼管が CLT パネル端から抜け出る変位量であり、ローリングシア発生前の変位量と推察する。この等しい変位量  $Q$  は、各試験体のローリングを起す直交ラミナの中が同じであり、隣接で接着して協働するラミナとの接着力も同じであると考えられる。そこで既往の研究での CLT ローリングシア耐力の試験結果<sup>15)</sup>(試験体は 3 層 3 プライ、異等級、スギ Mx60・B 種、200×300×t90)のローリングシア強度 1.21N/mm<sup>2</sup>を用いて、本試験体のローリングシア耐力を試算すると、直交ラミナの中 120mm 長さ 270mm から 39.2kN になる。この算定値は No.4 試験体のローリングシア耐力(変位 R 域の耐力の計測値 35.6~38.4kN) とほぼ一致しているが、他の試験体のローリングシア耐力は、本試験体の CLT パネルが 5 層 5 プライのため、それ以上を示していると思われる。

なお CLT パネルと内蔵接着鋼管の接着力は、破壊状況 A、B、C の頻出度合と最大耐力  $P_{max}$  の値がさほど違いがないことから、各試験体の接着界面の強度は拮抗しているものと考えられる。これは図 5 の ABR アンカーボルト M20 が破断した No.5 試験体の  $P$ - $\delta$  関係の曲線と、試験体 No.1~4 及び No.6 も同じ軌跡のグラフなので分かる。図 6 のグラフは表 3 から作成した ABR アンカーボルト M20 単体の特定変形時の伸び量と引張力の曲線である。この曲線は図 5 の NA20 接合の  $P$ - $\delta$  関係の曲線と整合している。それは表 2 において NA20 接合のばらつき係数は 0.9 以上を示し、一般的な CLT パネルの金物接合部のばらつき係数<sup>13)、14)</sup>0.7 よりも高精度示している。また ABR アンカーボルト M20 は挿入する内蔵接着鋼管内径の隙間と内蔵接着鋼管の上端部と座金(WW20)の曲面との接触により、内蔵接着鋼管の中空内で自在に変移できる。そのため、NA20 接合の ABR アンカーボルト M20 は純粋に引張力だけが生じて、曲げやせん断等の付随的な応力は発生していないことが、図 5 と図 6 のグラフから推察できる。

なお、NA20 接合の ABR アンカーボルト M20 は(JIS 規格の ABR490 M20 は短期許容耐力 79.6kN、全塑性耐力 84.5kN、設計用最大耐力 110kN である。)単独で引張試験は行っていないので、図 7 に参考文献 11)から抜粋した ABR490 ボルト M36 (L=900mm)の軸力と伸びの関係のグラフを参考に示す。ボルト径と長さが違うので耐力や伸び量は ABR アンカーボルト M20 と異なるが、降伏の過程を見ると、降伏点を示し塑性変形が始まり、耐力は少し低下してほぼ一定の耐力を維持する(図 5、6、7 の A 部)。その後は伸びが追従して再び耐力が増していく。この現象は鋼特有のものであり、NA20 接合の ABR アンカーボルト M20 も同じ軌跡を描いている。

この様に接合法 C に準じた NA20 接合の内蔵接着鋼管による引きボルト接合は、ABR アンカーボルト M20 単独の、鋼の材質そのままの力学的特性を示している。ほかの木構造や木質構造も、この接合法 C の力学的特性を得れば、鉄骨構造と同様に、精度良く、接合部設計が行える可能性がある。また NA20 接合の内蔵接着鋼管による引きボルト接合は、CLT 告示仕様における接合金物の要求性能を満たすために実用可能である

## 6. まとめ

本報の接合法 C の内蔵接着鋼管による引きボルト接合の引張試

験結果から、以下のことが分かった。

- ① 最大耐力  $P_{max}$  までの  $P$ - $\delta$  関係の曲線は全ての試験体で一致している。
- ② 各試験体の最大耐力  $P_{max}$  の値の差は小さい。
- ③ CLT パネルから内蔵接着鋼管が抜け出る後にローリングシアが発生した。
- ④ CLT パネルの内蔵接着鋼管による引きボルト接合の力学特性は、引きボルトだけの力学特性を示す。
- ⑤ CLT 工法の接合部設計を明解に行える可能性がある。

この様に、接合法 C による木質構造の接合部設計は、明解に鉄骨構造と同様に行える可能性がある。また内蔵接着鋼管による引きボルト接合は、CLT 工法の建物に実用可能である。

## 謝辞

本報の実験に際して接合金物を制作した(有)久保田製作所、試験体の加工組み立てをした(株)ユー建築工房と丁寧に試験を行っていただいた財団法人日本建築総合試験所の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) JAS (日本農林規格) 農林水産省告示第 3079 号、2013.12.26 制定
- 2) 小野泰、鷺海四郎、小林明、高坂清一：木質ラーメン構造の接合部に關する構造耐力実験その 2：柱脚部、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp.119-120、1989.10
- 3) 伊藤和俊、佐藤希、野口雄史、田中圭、森拓郎、井上正文：接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構について(その 2)CLT の繊維平行層からの引抜き性能、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.111-112、2015.9
- 4) 塔村真一郎、構造用木質材料に使用される接着剤の性能とその評価法。木材学会誌、Vol.62、No.2、p.27-41、(2016)
- 5) 斎藤誠、中島章典、小高暁、大江浩一、鋼部材を接合するための接着剤の適用に関する基礎的研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、61 巻 1 号、2006 年、論文番号 1-0374
- 6) 山内秀文、木質材料における接着塗量と接着性能、木材工業 Vol.70、No.10、2015
- 7) 桑村仁、鉄骨木質構造の発展に向けた木材の割裂に関する研究(その 5.割裂補強用の強化材と接着剤の選定)、2007 年度日本建築学会大会関東支部研究報告集 2018
- 8) 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 446 号、1993 年 5 月
- 9) 2016 年度公布・施行 CLT 関連告示等解説書、(公財)日本住宅・木材技術センター、平成 28 年 6 月第 1 版、付録参考 5 他：CLT 工法における接合部試験・評価方法(暫定版)
- 10) CLT パネルを用いた建築物の構造性能検証振動台実験、国立研究開発法人防災科学技術研究所・兵庫耐震工学研究センター、(一社)日本 CLT 協会、(一社)木を活かす建築推進協議会、(株)日本システム設計、(独)建築研究所、平成 23 年 2 月
- 11) 建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説、日本鋼構造協会、2009 年 10 月
- 12) 軽部正彦、林知行、原田真樹、エポキシ接着剤の減圧充填による大断面集成材ドリフトピン接合部の補修とその効果、日本建築学会技術報告集、第 20 号、93-95、2004 年 12 月
- 13) 新規木材需要創出事業のうち CLT 新たな木質部材・工法の開発等支援事業・事業報告書、(一社)日本 CLT 協会、平成 28 年 3 月
- 14) 2016 年度版・CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル、(公財)日本住宅・木材技術センター、平成 28 年 10 月、pp.122-145、pp.146-163、
- 15) 「平成 26 年度 CLT を用いた木造建築基準の高度化推進事業」報告書・ローリングシア強度を導くための面内せん断実験、(一社)日本 CLT 協会、(一社)木を活かす建築推進協議会、2016.4、pp.7-17~16

[2017 年 1 月 24 日原稿受理 2017 年 6 月 6 日採用決定]