

大規模木造建築物を想定した 接合部の割裂耐力の推定方法の提案

- 神戸 渡(関東学院大学)、
中島昌一(建築研究所)、澤田 圭(北海道大学)
落合 陽(東京都市大学)、岡本滋史(大阪公立大学)
瀧野敦夫(大阪工業大学)、小林研治(静岡大学)

研究の背景

地球温暖化対策



中大規模木造建築の普及・社会的需要



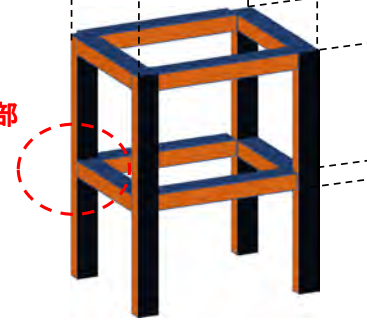
木造ラーメン構造(骨組構造)への需要

終局設計→**接合部の終局状態の解明が重要**



構造設計者の意見 ・割裂破壊とせん断破壊の違いがわからない
・終局状態を想定して設計ができない
・現行の設計式が荷重-変形関係のどの程度の荷重か不明

接合部



木造ラーメン構造

研究の背景・事例



ミョースターネット(現在、世界最高高さ 木造)
18階建て、高さ約85.4m



鋼板挿入型接合(部分的)

<https://www.moelven.com/news/news-archive/2019/a-renewable-journey-from-seed-to-the-worlds-tallest-timber-building/>

本試験体における破壊性状・研究の目的

加力試験

割裂破壊

せん断破壊

接合部周辺 木材が割れている状態(終局状態)
どれが割裂?せん断?(全部、割裂では?)
↓
【目的】破壊性状を正しく判断し、
その耐力の算出方法・設計式の
適切な活用方法の提案

研究の流れ

【接合部の加力試験】

ドリフトピンの配置をパラメータ・梁せいをパラメータ

接合部の加力試験(1期、図14)

接合部の加力試験(2期、図15)

接合部の加力試験(3期、図16)

破壊性状の詳細な観察・破壊形態の定義

↓
適切な・材料値の選定

↓
接合部の破壊性状をの正しく予測
計算値と実験値の精度を検討

【材料試験→材料定数の選別】

割裂破壊定数の試験

↓
統計処理

せん断強度の試験

↓
イス型のせん断試験(JISの応用)
逆せん断試験(HOWTEC法)

↓
統計処理

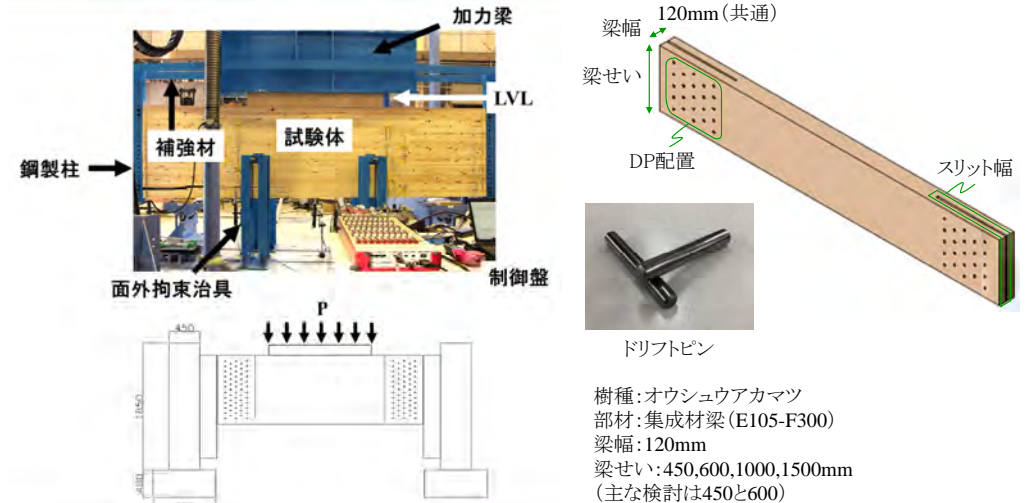
【終局耐力式】

$$P_{uw} = \min\{P_{uw1}, P_{uw2}\}$$

$$\text{割裂耐力式} \quad P_{uw1} = \frac{2}{\sin \theta} \cdot C_r \cdot l_e \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

$$\text{せん断耐力式} \quad P_{uw2} = \frac{2}{3 \sin \theta} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l_e \cdot F_s$$

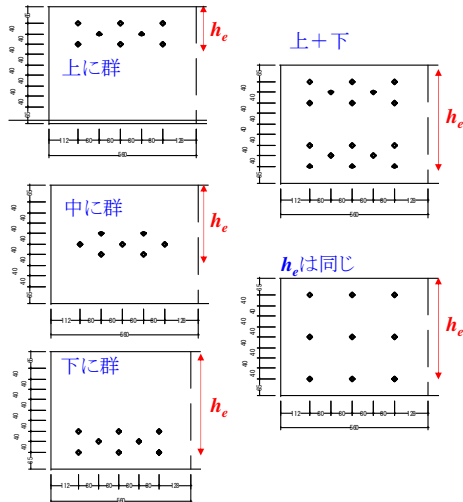
接合部の試験方法



ドリフトピン
樹種: オウシュウアカマツ
部材: 集成材梁 (E105-F300)
梁幅: 120mm
梁せい: 450, 600, 1000, 1500mm
(主な検討は450と600)

接合部の試験パラメータドリフトピン配置

2期(図15)
3期(図16)



【終局耐力式】

$$P_{uw} = \min\{P_{uw1}, P_{uw2}\}$$

$$\text{割裂耐力の式} \quad P_{uw1} = \frac{2}{\sin \theta} \cdot C_r \cdot l_e \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

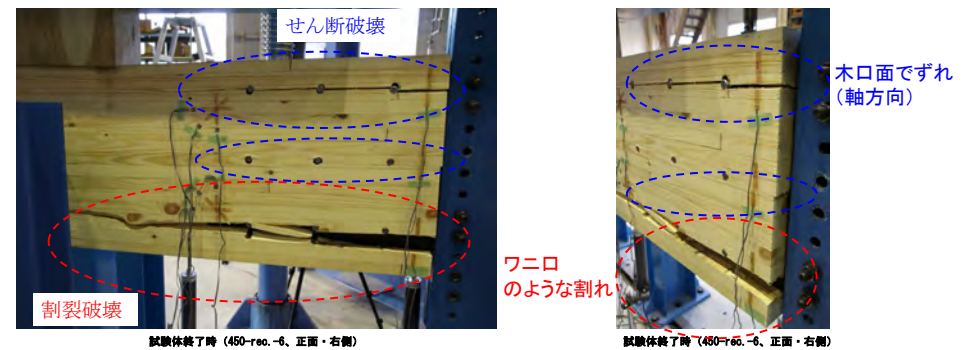
$$\text{せん断耐力の式} \quad P_{uw2} = \frac{2}{3 \sin \theta} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l_e \cdot F_s$$

【着眼点】

h_e が設計式に大きく関わると考え、
意図的に h_e を変化させ、
破壊性状の変化を誘導できると考えた。

3期では、それをさらに拡張
梁せいは450mmと600mm

破壊性状の分類(2期で分類)



割裂破壊: ワニ口のような割れとなり、開口量が明らかに大きい(横引張に起因しているため)
せん断破壊: 繊維方向に木口面でずれが確認できる割れ。割れの開口量は割裂破壊より小さい

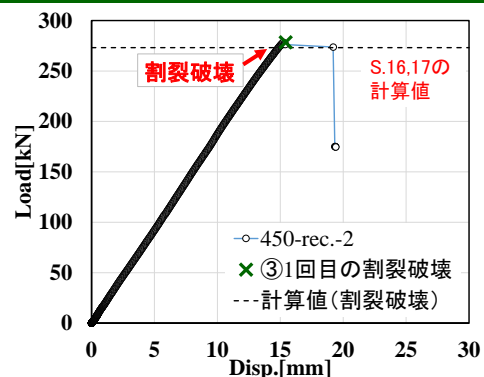
600-rec.-7-2 (前面、右側)



600-rec.-7-2 (前面、右側)



荷重-変位関係、破壊性状、450-rec.-2

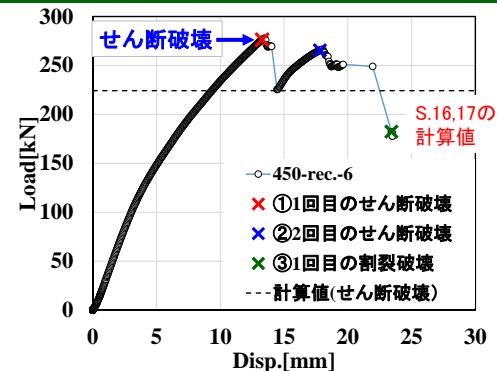


※ 点線は計算精度最も高ったもの

最初に、割裂破壊 → 大きな荷重低下



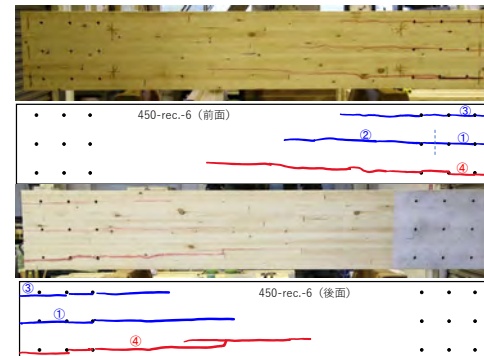
荷重-変位関係、破壊性状、450-rec.-6



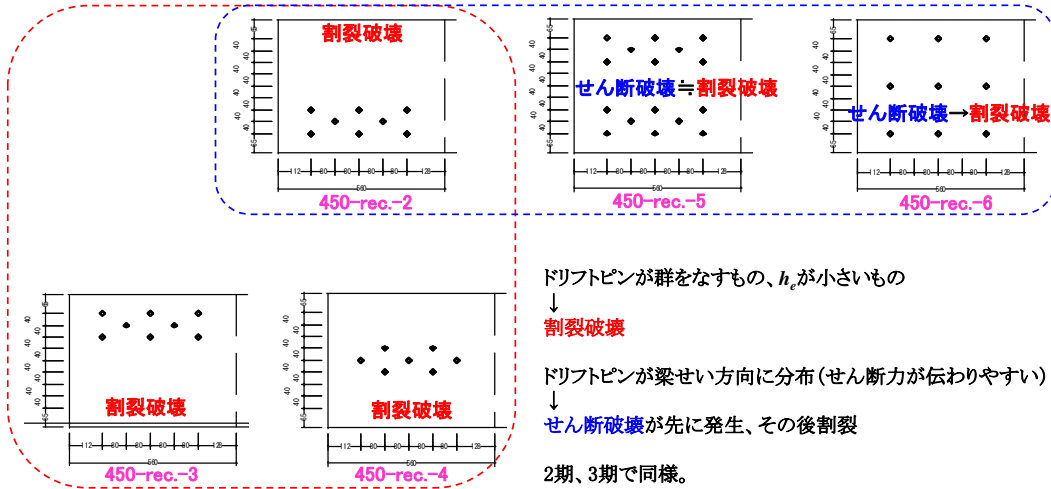
※ 点線は計算精度最も高ったもの

最初に、せん断破壊→連続的にせん断破壊 or 割裂破壊が発生

本研究では、割裂破壊orせん断破壊が最初に発生した荷重を対象とする



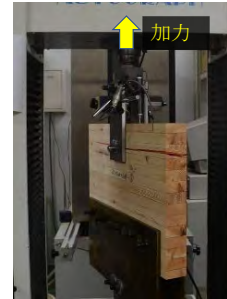
破壊性状の分類(2期-梁せい:450)



材料試験 ①

割裂破壊定数 C_r

木質構造設計規準に準拠 → 幅:60,120mm、ドリフトピン径:16,18,20mm

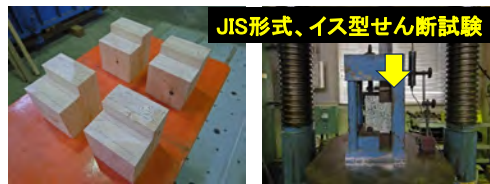
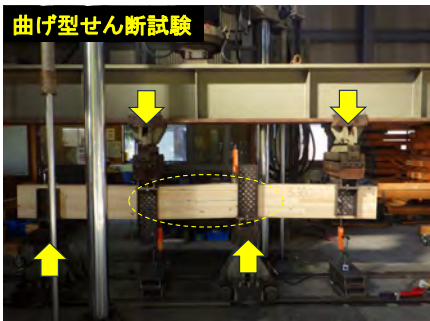


大きな音を伴い、
割れが一気に進む
↓
接合部試験の
割裂破壊と
破壊性状が類似

材料試験 ②

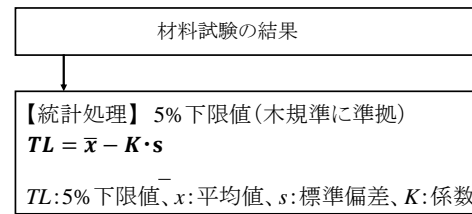
せん断強度 F_s

1. 曲げ型せん断試験 →幅:120mm、梁せい:200,300,600mm
(日本住宅・木材技術センター、HOWTEC法)
2. イス型せん断試験(JISを応用)→幅:120mm



1. HOWTEC法 →○ 強度の安定
破壊性状が接合部の
せん断破壊と類似
2. JIS型 →△ 強度のばらつき大

木質構造設計規準における割裂耐力・せん断耐力



	木規準	5%下限値	平均値
C_r [N/mm ^{1.5}]	12.0	12.6	16.3
F_s [N/mm ²]	3.0	4.16	6.22

C_r :木規準=材料試験の5%下限値
 F_s :木規準×1.39倍=材料試験の5%下限値

終局耐力の設計式

$$P_{uw} = \min\{P_{uw1}, P_{uw2}\}$$

割裂耐力の式

$$P_{uw1} = \frac{2}{\sin \theta} \cdot C_r \cdot l_e \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

せん断耐力の式

$$P_{uw2} = \frac{2}{3 \sin \theta} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l_e \cdot F_s$$

実験値と計算値および破壊形態の比較

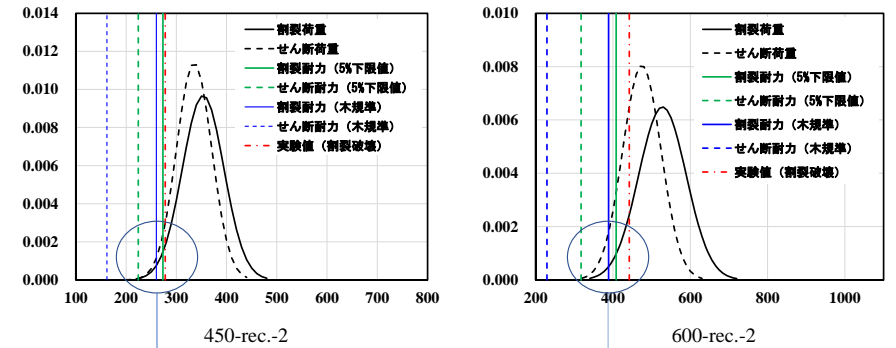
表6 実験値と計算値の比較(抜粋)

	実験値[kN]		木規準に対する検討			材料試験の5%下限値に対する検討		
	割裂破壊	せん断破壊	計算値[kN]		破壊形態の判定	計算値[kN]		破壊形態の判定
			割裂破壊 (Cr=12.0)	せん断破壊 (Fs=3)		割裂破壊 (Cr=12.6)	せん断破壊 (Fs=4.16)	
450-rec.-2	278	-	260.2	161.7	×	273.2	224.2	×
450-rec.-3	98	-	73.7	60.9	×	77.4	84.4	○
450-rec.-4	224	-	128.0	111.3	×	134.4	154.3	○
450-rec.-5	335	323	260.2	161.7	○	273.2	224.2	○
450-rec.-6	249	276	260.2	161.7	○	273.2	224.2	○
600-rec.-2	442	-	388.6	228.9	×	408.0	317.4	×
600-rec.-3	174	-	95.6	94.5	×	100.4	131.0	○
600-rec.-4	257	-	165.2	161.7	×	173.5	224.2	○
600-rec.-5	346	475	388.6	228.9	○	408.0	317.4	○
600-rec.-6	354	437	388.6	228.9	○	408.0	317.4	○

木規準の値を用いた場合
実際≠予測が多い
(安全側なので
設計上は問題ない)

材料強度の5%下限値を用いることで、
破壊性状をより正しく予測
(全試験体中、2体は未解決
→これに対して統計的検討もその後進めている
特に、せん断強度を大きなものとする事で、正しく
予測できるようになった。

追加検討



材料のばらつき度合を考慮すると、
割裂破壊とせん断破壊の発生確率は近い
(今後検討を進め、発表する予定)

実験値と計算値の比較→材料試験の5%下限値による精度および木規準との比較

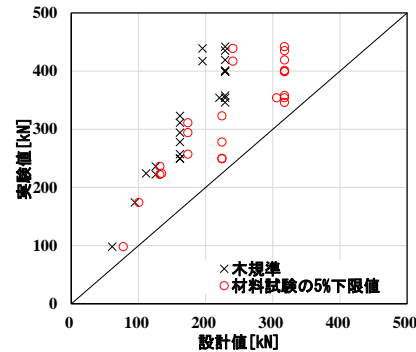
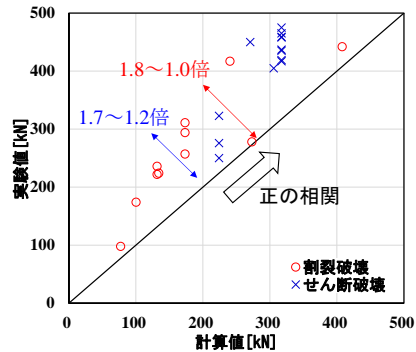


図25,26より材料試験の5%下限値を抜粋
実験値÷計算値
割裂破壊:1.8~1.0倍
せん断破壊:1.7~1.2倍

材料試験の5%下限値 と 木規準 の比較
実験値-設計値
5%下限値の方が精度が高い

まとめ・本研究の成果

1. 接合部での破壊性状を詳細に観察することで、**割裂破壊とせん断破壊の特徴を定義づけ**した。
2. 材料試験の5%下限値を現行の耐力式に適用することで、
接合部で先行して発生する破壊性状を、木規準の値を用いるより、
正しく破壊性状を判別できたことを示した。
3. **材料試験の5%下限値**を用いることで、現行の木規準より**耐力の予測精度が高い**ことを示した。
4. 実験値と計算値に**正の相関**がみられた。

これまで、木質ラーメン構造の接合部に発生する割裂破壊・せん断破壊には不明な点が多く、
より正しく設計することの難しさが指摘されていたが、
それらの問題を解決する手法の提案ができた。

ご清聴ありがとうございました

本研究を進めるにあたり、ご支援いただき、ありがとうございました