

論文の内容の要旨

生物材料科学専攻
平成 27 年度博士課程入学
落合 陽
指導教員 稲山正弘

論文題目 木材の割裂破壊耐力推定のための基礎的研究

平成 22 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、木造建築物は従来の住宅規模から事務所や学校・役所などの公共建築物といった中大規模建築物にスケールアップする動きが活発になっている。建築規模の巨大化により、規模によっては従来の壁量計算や許容応力度計算といった中小地震を想定した設計法よりも高度な、大地震を想定した保有水平耐力計算も求められる可能性がある。保有水平耐力計算は靱性型の設計法であり、建築物の塑性変形能力が重要な意味合いを持つが、木造建築物は塑性変形能力の評価が難しい。なぜなら、木材は自然由来の材料であるがゆえに強度性能のばらつきがあり、単一部材でさえ破壊モードが一定でないために、建物全体で崩壊メカニズムを予測することが困難であるためである。そのため、平成 12 年建告 1452 号や平成 13 年建告 1024 号に規定されている木材及び木質材料の基準強度は、実験によって得られた強度値にばらつき係数や、低減係数を適宜乗じることで安全率を見込んでおり、その数値を用いて設計を行うことで脆性的な木材の破壊を概ね回避することができるとしている。しかし、ここで問題となるのが木材の割裂破壊である。

木材の割裂破壊は“木材が横引張力やせん断力により繊維と直交方向に引き裂かれる破壊”と定義できる。割裂破壊は木造建築物の主に接合部でよく観察され、例えば、鋼板挿入ドリフトピン接合部が荷重を受けた際に円孔から生じる割裂破壊や腰掛け鎌継ぎ接合部が鉛直荷重を受けた際に腰掛部分から生じる割裂破壊⁴⁾などが実際に起こりうる破壊として知られている。割裂破壊は脆性破壊現象で望ましくない破壊形態である上、そのメカニズムや発生条件が依然として不明である。そのため、本論文では割裂破壊のメカニズムや

耐力推定手法を提案するための基礎的研究を行った。

本論文は6つの章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、割裂破壊についての国内外での設計手法と研究のレビューを行い、現状の課題を洗い出し、本研究の位置づけを示した。

第2章では、木材の繊維直交方向に横引張力を加えた際に発生する割裂破壊について応力分布や変形性状を明らかにし、耐力を推定する手法を提案した。そのために、スギ製材を用いてコンパクトテンション試験（以下、CT試験）を実施した。CT試験は中央にスリットを設けた試験体に、横引張力を加えることでき裂を発生させる試験法である（Fig.1）。CT試験ではスリット長が耐力に与える影響が大きいですが、本章ではスリット長を変化させて、割裂破壊への影響を観察した。その結果、モーメントの影響が大きいスリット長が長い試験体ほど割裂耐力が低下する傾向が見られた。その後、CT試験について有限要素法解析を行い、割裂発生時の応力分布や変形性状を解析的に測定した。その結果を基に、エネルギー量の釣り合いから割裂耐力の推定式を提案した。

第3章では、横引張力による割裂破壊について、更に樹種による影響を観察するため、建材として一般的であるスギ・ヒノキ・カラマツ・ベイマツの製材を用いてCT試験を行った。それによって、それぞれの樹種の割裂破壊定数を測定し（Fig.2）、第2章で提案した割裂耐力推定式を用いて耐力の推定を行った。推定値は、スギ・カラマツでは実験値と概ね一致し、ヒノキ・ベイマツについても安全側に評価することが出来た。この結果より、第2章で想定した割裂メカニズムと耐力推定式は妥当であったと考えられた（Fig.3）。

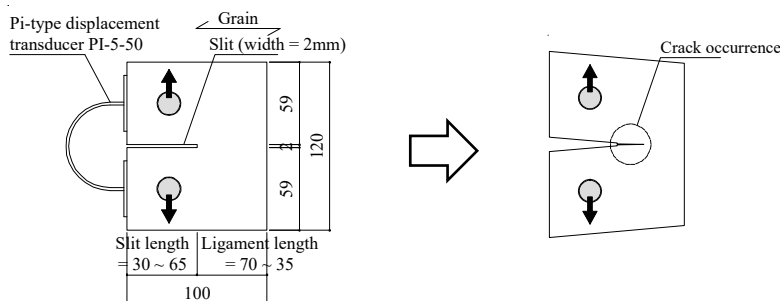


Fig.1 Specimen of CT test.

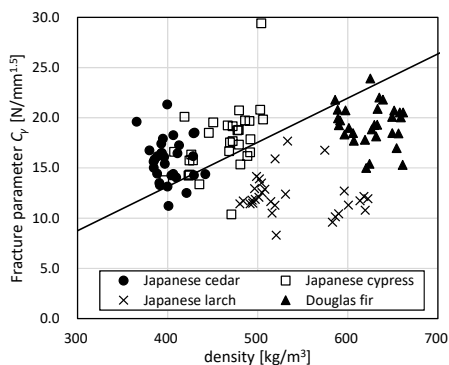


Fig.2 Fracture parameter of various wood species.

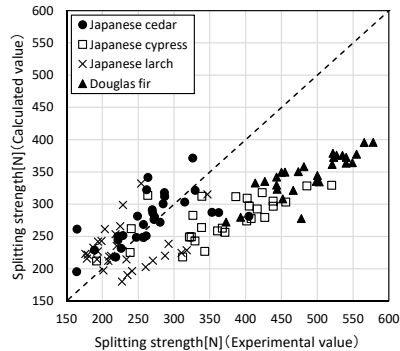


Fig.3 Comparison between estimated and experimental value of splitting on CT test.

第4章では、木材の繊維方向にせん断力を加えた際に発生する割裂破壊（以下、縦割裂）について、縦割裂試験を実施し、試験体寸法が割裂耐力に与える影響を実験的に観察した。縦割裂試験は鋼板添え板ドリフトピン接合部に、繊維方向にせん断力を加え、ドリフトピン直下から割裂破壊を起こすという試験法である（Fig.4）。試験体は樹種・接合具径・端距離・縁距離・材厚を変化させ、組み合わせた計 100 種類とした。試験結果より以下の知見が得られた。

①樹種について、ベイマツはスギの耐力の約 1.2 倍となり、第3章で測定した割裂破壊定数の樹種による比率とほぼ等しくなった。

②接合具径について、材厚が厚い試験体ではドリフトピン径が $\phi 16$ の試験体 $\phi 12$ の約 1.45 倍となった。材厚が薄くドリフトピンの曲げ変形が小さい試験体では $\phi 16$ の試験体に対する $\phi 12$ の比が 1.29 倍となり、純粋な接合具の投影面積の比に近い値になった。

③端距離について、短い場合はせん断破壊となり、せん断面積に比例して耐力が上昇するが、割裂破壊に完全に移行する $7d$ 以上では耐力が概ね一定値となった。

④縁距離について、材厚が薄い試験体では縁距離が割裂耐力に与える影響はほぼなかったが、材厚が厚い試験体では、縁距離が長くなることによって、耐力が 1~2 割上昇した。

⑤材厚について、厚くなるにつれ縁距離が短い試験体以外では耐力は概ね比例関係で上昇した。ただし、縁距離が短い試験体は材厚が確保できていても割裂耐力が低くなり、材厚と線形比例にはならなかった。

⑥破壊性状について、端距離の長くなるにつれ、せん断から割裂破壊へ移行し、材厚が厚くなるにつれ、割裂の範囲が全幅(Full width splitting)から部分的(Partial width splitting)に変化した (Table 1)。

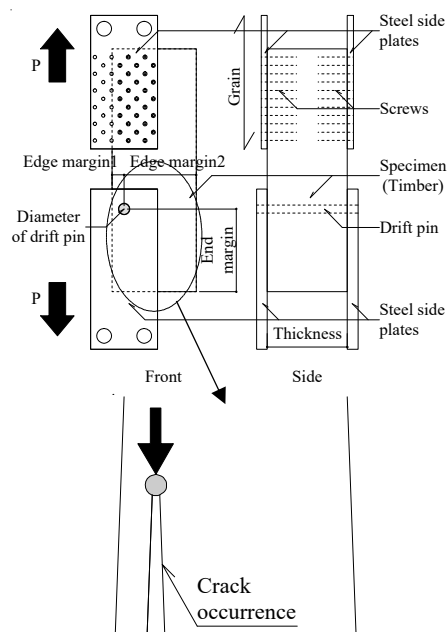


Fig.4 Specimen of splitting test loaded parallel to grain.

Table 1 Fracture mode of drift pinned joint with steel side plates loaded parallel to grain.

	Short	Long	
	Shear	Splitting	
Failure mode			
Thickness	Thin	Thick	
Failure area	Full width splitting (shear)	Partial width splitting (shear)	
		One side	Both sides
Failure mode			
	Side	Side	Side

第 5 章では、縦割裂のメカニズム解明のため、ドリフトピンが母材に与える支圧応力度を、弾塑性フレーム解析を行い、算出した。縦割裂はドリフトピンが母材に与える支圧応力度がある一定の値に達した時に発生すると考えたためである。その結果より、縦割裂破壊は、①最大支圧応力度が支圧強度に達した時点で初期き裂が発生し、②割裂破壊の進展とともに応力の再分配が起こり、支圧面全体の応力度が上昇する。その後、③支圧面全面の支圧応力度が支圧強度に達した時点で割裂が全厚に渡って伝播する。④割裂の伝播とともに母材が開き、接合具が母材で支持できなくなるため、荷重が低下する、というメカニズムによって起きている現象であると考えられた。(Fig.5)

そのメカニズムを基に、簡易式および解析による耐力推定手法を提案した。簡易式は限定された条件下のみであったが、どちらの方法でも縦割裂耐力を高い精度で推定することが可能であった (Fig.6)。

第 6 章では、本研究により得られた知見をまとめた。

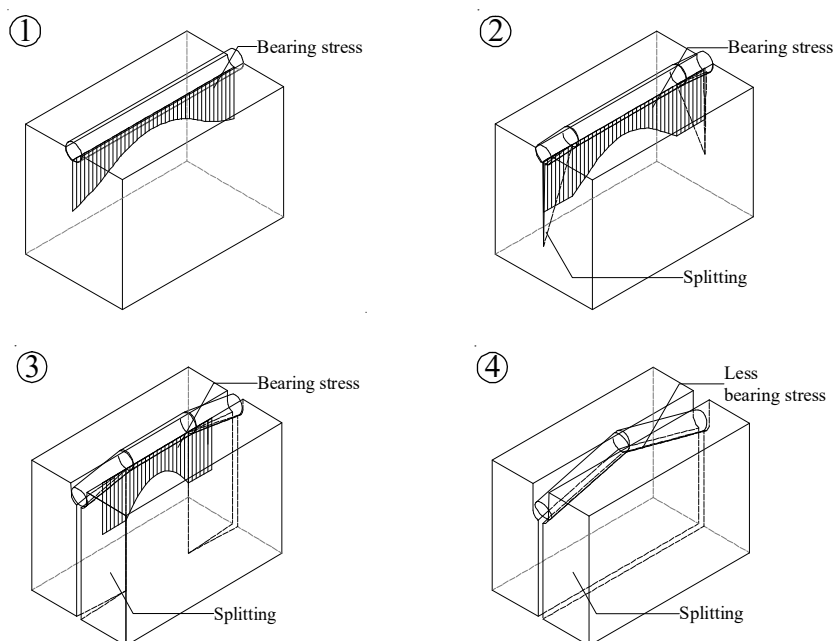


Fig.5 The mechanism of splitting loaded parallel to grain.

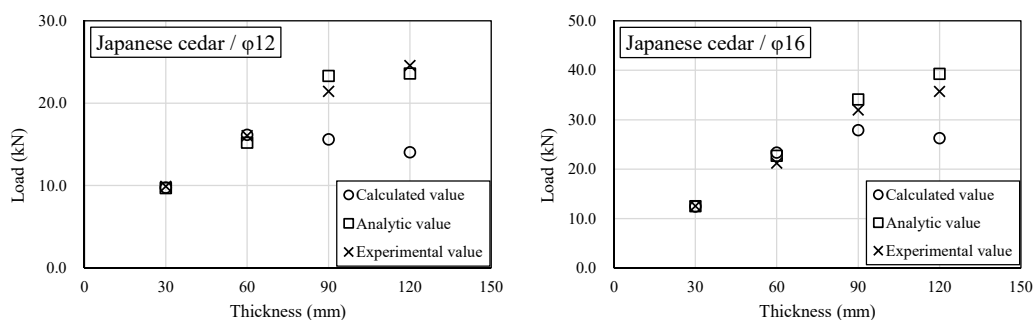


Fig.6 Comparison between experimental and estimated value of splitting loaded parallel to grain.