The Society of Materials Science, Japan

601

木質構造材の切欠部における応力波伝播経路

名古屋大学[院]　○取違俊弥　　山崎真理子　　佐々木康寿

Stress Wave Propagation Route along Notch Part

Toshiya TORICHIGAI, Mariko YAMASAKI and Yasutoshi SASAKI

1 緒　　言

木質構造物の改築・修繕計画に際して部材のリユースを促進する上で，構造部材の強度保証は重要かつ有効な要件である．著者ら[1,2]は実際の構造物での非破壊検査法として，モンテカルロシミュレーション法により，木質構造部材のヤング率を応力波伝播速度から推定する手法を提案した．一般に，使用中あるいは使用済の構造部材は切欠等の欠損を有しており，これを構造部材として評価するためには，欠損を有した状態での強度を評価する必要がある．既往の研究では，杉山ら[3]や平井ら[4]が切欠モデル梁の強度評価を，また荘所ら[5]が欠損材（ほぞ穴による断面欠損）の剛性評価を行っている．

本研究では，切欠梁の曲げ剛性について応力波伝播速度を用いた予測法を検討した．本報では，繊維傾斜が応力波伝播速度に及ぼす影響を調べ，これを基に切欠部を迂回する応力波の伝播時間を解析し，実測の伝播時間との比較から，切欠部の応力波伝播経路を推定した．

2 実 験 方 法

2.1 対象材料および切欠条件　供試材はベイマツ製材（等級 E110 以上，含水率 20%以下，120(b) x 210(h) x 4000(L)mm）6 本である．切欠の大きさは深さ h_n 3 種類（35，70，105mm）と長さ l_n 3 種類（100，200，300mm）の組み合わせ（計 9 種類，試験体 1 つにつき 6 種類）により決定し，スパン中央部全幅に作成した．切欠が無い状態から，切欠を段階的に大きくし，都度，応力波伝播試験を行った．

2.2 応力波伝播試験　応力波伝播試験には測定精度が±1μs の共鳴式のハンディータイプ伝播時間測定器（FAKOPP）を用いた．測定では，発・受信センサーを，これらの中央部に切欠が位置するように，切欠側の材表面に対して 45°に打込み，木材の繊維方向に応力波を伝播させた．測定距離 L_0 は 500～4000mm の間で 500mm 刻みに 8 段階を設定した．また，この測定により木材の繊維傾斜が応力波伝播速度に影響を及ぼすことが示唆されたため，これについて，同試験体で追加実験を行った．追加試験の模式図を Fig. 1 に示す．試験体の材軸を繊維方向（$\theta = 0°$）とし，送・受信の両センサーを結ぶ直線と材軸の角度を繊維傾斜角θとした．材端から送信センサーまでの距離L_0と受信センサーまでの距離yを変化させながら応力波を伝播させ，その際の応力波伝播時間 t とセンサー間の直線距離 L_θより応力波伝播速度 v を求めた．実験は，上記のベイマツ試験体 6 体を用い，1 体につき 4 箇所で行った．

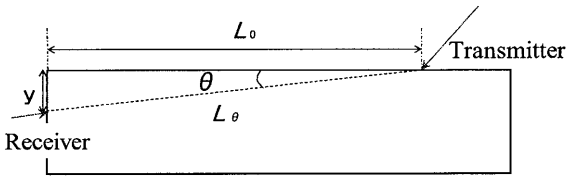

Fig. 1. Schematic diagram of the experiment.

3 結果および考察

3.1 応力波伝播速度に及ぼす切欠の影響　切欠が応力波伝播速度に及ぼす影響を検討するために，切欠の深さ h_n あるいは長さ l_n と応力波伝播速度 v_n の低下率（切欠を設けない状態での速度を v_0 として，v_n/v_0）の関係を調べた．Fig. 2(a) に速度の低下率に及ぼす切欠深さの影響を，Fig. 2 (b) に切欠長さの影響を示す．図示するように，切欠深さ，長さのいずれについても，その増大に伴い v_n/v_0 は低下したが，切欠深さに対してより線形的に低下した．また，低下の割合は測定距離が短いほど大きくなった．これらの結果は，切欠深さの増大あるいは測定距離の短縮に伴い，応力波伝播経路が木材の繊維に対して傾斜したことに因ると考えられる．

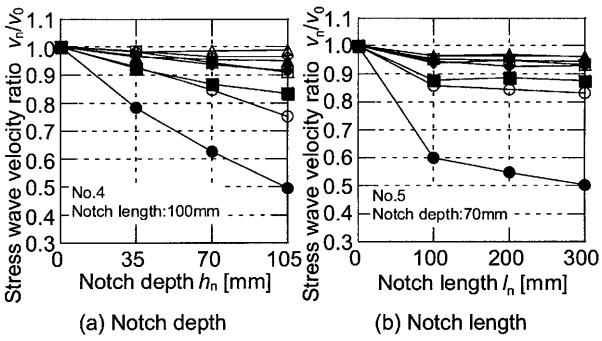

Fig. 2. Influence of notch size on stress wave velocity.
Legend:●, L_0= 500mm; ○, 1000mm; ■, 1500mm; □, 2000mm; ◆, 2500mm; ◇, 3000mm; ▲, 3500mm; △, 4000mm.

3.2 繊維傾斜による応力波伝播速度　Fig. 3 には，繊維傾斜角の増加に伴う伝播速度の変化の一例を示す．伝播速度は繊維傾斜角の増加に伴って低下し，θ= 60°以上では概ね一定となった．θ= 90°における伝播速度はθ = 0°の場合の約 0.3 倍である．この変化を Hankinson 式により回帰した結果（Fig. 3 には回帰結果を併せて示した），Hankinson 式のべき指数 n は 1.46～1.60（平均 1.55 ±0.05）となった．

$$v_\theta = \frac{v_0 \times v_{90}}{v_0 \sin^n\theta + v_{90}\cos^n\theta}$$

NII-Electronic Library Service

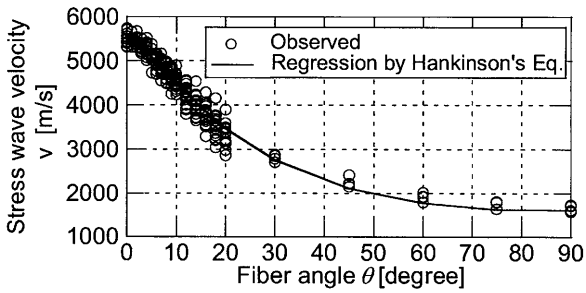

Fig. 3. Relationship between stress wave velocity and fiber angle.

3.2 応力波伝播経路の推定 前節の結果を用いて，切欠部の応力波伝播経路を推定した．すなわち，繊維傾斜の増加に伴う伝播速度の変化を上記の Hankinson 式の回帰結果で表し，これを用いて応力波がある経路を伝播した時の伝播時間 t_s を計算して実験値 t_o と比較した．解析した伝播経路は次の 5 通りである（Fig. 4）．

I. 梁の表面を切欠に沿って伝わる伝播経路型（切欠表面伝播型）

II. 梁の最下部を伝わる伝播経路型（下面伝播型）

III. センサー間中央位置の下面でV字型に反射する伝播経路型（V字反射型）

IV. 切欠を迂回する図形的最短経路（図形的最短経路）

V. 切欠底部の角を通る２次曲線型（２次曲線型）

計算結果の一例として，105(h_n)×300(l_n)mm の切欠における各伝播経路の伝播時間 t_s を Fig. 5 に示す．繊維傾斜の影響のみを考慮すると，図示するように，計算上は経路IV（▲）が最速経路となるが，実際にはこれより遅く伝播した（●）．これについて，経路IV，経路Vを詳細に解析すると，これらの経路では角度 θ_{in}（センサーの設置位置と切欠きの底端部を結んだ角度）の増加に伴い，計算値 t_s が実測値 t_o と比べて速い値となっていることがわかった（Fig. 6）．この原因として，応力波が材表面を伝播しない，もしくは伝播しにくいことや，早材・晩材や木目のわずかな変化といった木材特有の不均一性の影響を受けていることが考えられる．Fig. 7 (a)には，経路IVにおける推定伝播距離 L_n と測定距離 L_0 の比 L_n/L_0 と，その際の速度比 v_n/v_0 の関係を示す．図示するように，木材の切欠梁では，速度に異方性がない場合（◇）と比べて切欠による速度低下は大きく（○），これは繊維傾斜の影響により概ね説明できる（◆）．ただし，実験値（○）はこれよりさらに低下していることから，繊維傾斜のほかにも，材の不均質性や切欠の端部の影響といった他の低減因子の存在が示唆された．

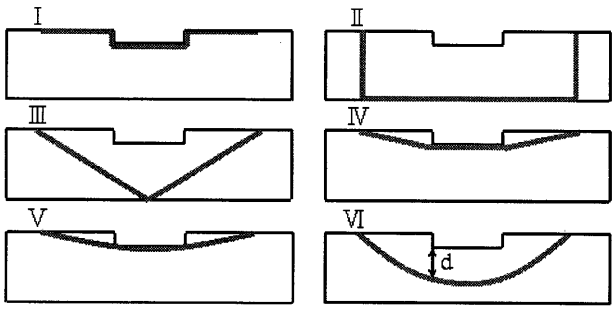

Fig. 4. Assumption of propagation routes.

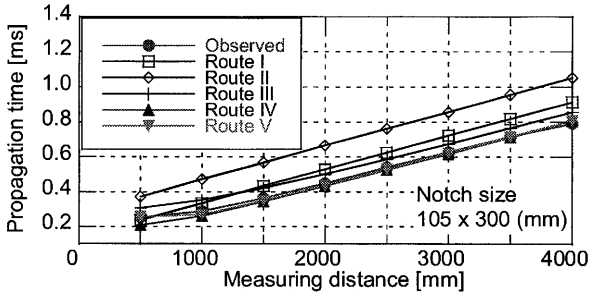

Fig. 5. Relationship between propagation time and measuring distance at each propagation routes.

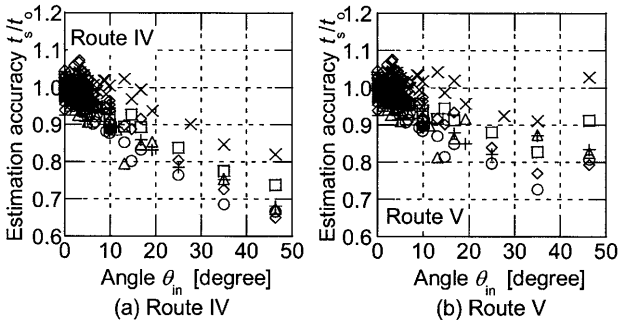

Fig. 6. Estimation accuracy in the case of Route IV and V.

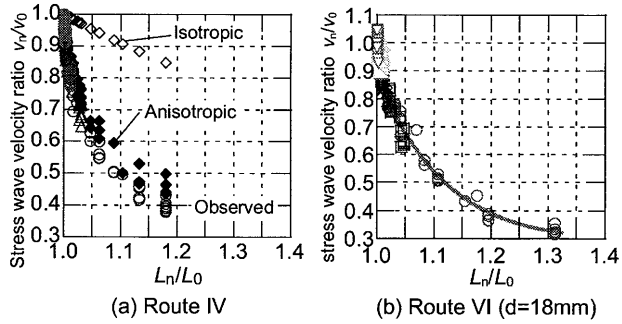

Fig. 7. Relationship between v_n/v_0 and L_n/L_0.

切欠部を迂回する伝播時間を表現するような伝播経路として，Fig. 4 に示す経路VIを検討した結果，最も良い一致を示す経路は距離 d=18mm の場合となった．経路VI（d=18mm）での L_n/L_0 と v_n/v_0 の関係は Fig. 7 (b)となり，この関係は二重の減衰関数（R^2=0.97）となった．

参考文献

1) Yamasaki, M.; Sasaki, Y.: Journal of Wood Science, **56**, 4, 269-275(2010)

2) Yamasaki, M.; Sasaki, Y.; Iijima, Y.: Journal of Wood Science, **56**, 5, 380-386(2010)

3) 杉山英男：木材学会誌，**37**，9，790-794(1991)

4) 平井卓郎, 沢田稔:北海道大学農学部演習林研究報告, **36**(2)(1979)

5) 荘所直哉，早崎洋一，大橋好光：日本建築学会構造系論文集，**74**，635，97-103(2009)

6) 山崎真理子，佐々木康寿，土井康生，靖本夏紀，内田みゆき，鬼頭彩：日本木材学会大会要旨集，60(2010)

NII-Electronic Library Service