

木材のめり込みの評価方法に関する研究
 -3次元有限要素法を用いためり込み挙動に関する数値解析的検討-
 Study on Evaluation Method for Penetration of Wood
 -Numerical Analysis Study on Penetration using 3-D Finite Element Method-

○西尾誠司², 宮里直也¹, 岡田章¹, 廣石秀造¹, 鴛海昂¹
 *Seiji Nishio², Naoya Miyasato¹, Akira Okada¹, Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹

Abstract: Traditional wooden construction methods can be evaluated as a major seismic factor when considering the orthogonal fiber penetration of wood. From this point of view, in order to widely use the grid wall, it is necessary to make an appropriate modeling taking into account the resilience due to the penetration in Half-lap Joint. However, setting of in past modeling^[1] is complicated to formulate the joint and set the parameters. In this paper, the authors will consider a three dimensional elastic analysis model of isodisplacement sinking and triangular sinking.

1. はじめに

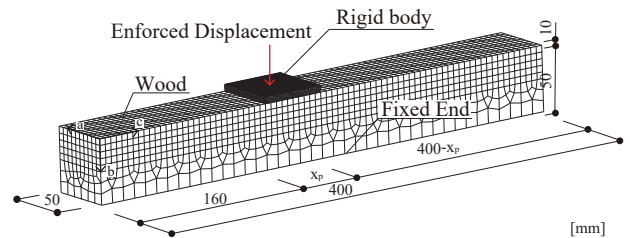
社寺等に用いられる伝統構法は一般に仕口が木組みのみで構成されており、木材の繊維直交方向のめり込みを考慮すると、主要な耐震要素として評価可能である。そのため、伝統構法の耐震性を検討するには、接合部のめり込みに起因する復元力を考慮した適切なモデル化が必要である。めり込み変形を予測する解析モデルとして棚橋らが提案するパステルマーク・モデル^[1]が挙げられるが、めり込みが生じる接合部の定式化やパラメータの設定が複雑である。一方、湯川ら^[2]はより汎用性の高い解析手法として、相欠き仕口を対象に材料特性のみで評価可能な3次元有限要素を用いた弾塑性解析モデルを提案しているが、初期剛性と降伏応力が共に実験値を上回るといった問題点が報告されている。

以上を踏まえ、本研究ではめり込み理論式を参考にし、材料諸元を見直し、より有効性の高い3次元弾塑性解析モデルの提案を目標としている。本報では、3次元弾塑性モデルを用いた等変位めり込みおよび三角形状めり込みの挙動に対する検討について報告する。

2. 等変位めり込みに対する検討

2-1. 数値解析概要

等変位めり込みを模擬した数値解析を対象にして、理論値^[3]と比較することで、数値解析手法の妥当性の検証を行う。数値解析概要をFig.1に示す。モデルは、木材を400×50×50mm、上部の剛体をx_p×50×10mmとし、荷重はモデル上部に配置した剛体を下方方向に強制変位させることで等変位を模擬した。境界条件は、木材底面を固定とした。また、解析モデルは3D-solid要素を用い、3方向(繊維(E_c), 接線(E_a), 半径(E_b)方向)の弾性係数^[4]を考慮



《Analysis Model》

【Structure・Material Specification】

Material	: Cedar (Ungraded)
Direction	: a : Tangent, b : Radius, c : Fiber
Boundary Condition	: Bottom fixed support for wood
Loading Condition	: Enforced displacement of the top of the rigid body
Consideration Case	
Elastic Coefficient	: E _a =E _b =1/25E _c , 1/50E _c
x _p	: 10, 20, 30

Elastic Coefficient(N/mm ²) ^[4]			Poisson's Ratio ^[4]			Shear Modulus of Elasticity(N/mm ²) ^[4]		
E _c	E _{a,b}		v _{ab}	v _{ac}	v _{bc}	G _{ab}	G _{ac}	G _{bc}
7000	280	140	0.9	0.6	0.4	15	343	637

Initial Yield Stress(N/mm ²) ^[4]						Tangent Modulus ^[5]
σ _a	σ _b	σ _c	σ _{ab}	σ _{ac}	σ _{bc}	α
1.4	1.4	22.6	0.3	1.8	3.3	1/8

Figure 1 Outline of Numerical Analysis for Isodisplacement Sinking

した。圧縮部分のひずみ度が20%程度となるまで強制変位させた。木材のめり込みの評価を行う場合、繊維直交方向の弾性係数E_{a,b}は、繊維方向の弾性係数E_cに対して1/25~1/50^[5]とされているため、E_a=1/25E_c, 1/50E_cを設定した。また、スギの等変位めり込み実験^[5]において降伏後の2次勾配は1次勾配の1/8とされているため、モデルの接線係数を1/8とした。

パラメータは剛体の寸法x_pとし、3種類を設定した。各モデルの表記は、「剛体の寸法_繊維直交方向の弾性係数_算出法」の順に記載し、算出法は数値解析結果を「A」、理論値を「T」とする。例えば、x_p=10, E_a=1/25E_c, 解析結果の場合は、「x_p10/25E_c-A」となる。

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築

2-2. 数値解析及び考察

変位-応力関係をFig.2に示す。Fig.2(a)より、初期剛性は両モデルとも数値解析結果より理論値の方が高い結果を示した。これは、数値解析では年輪傾斜の影響を考慮していないためだと考えられる。

一方、Fig.2(b)より降伏後は、 $x_p20/25E_c$ のAとTが概ね一致しているが、 $x_p20/50E_c$ のAはTより応力が大きくなる傾向を示した。これは、理論式による応力評価は繊維直交方向の弾性係数のみに比例するが、数値解析ではその他の材料諸元の影響を受けるためである。数値解析において、2次勾配は接線係数に寄与するため、 E_a を $1/25E_c$ より小さく評価する場合は、接線係数も $1/8$ より小さく設定する必要があることが示唆された。

剛体寸法をパラメータとした変位-応力関係をFig.3に示す。降伏応力は $x_p=30$ のみ理論値の方が高く、剛体寸法が小さいほど、解析値が理論値より大きくなる傾向を示した。一方、降伏後の挙動はめり込み寸法によらず概ね一致することを確認した。

3. 三角形めり込みに対する検討

3-1. 数値解析概要

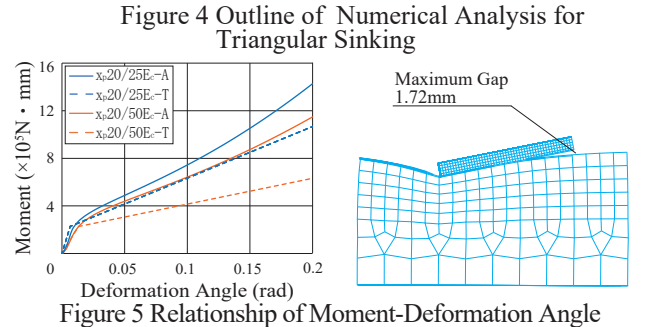
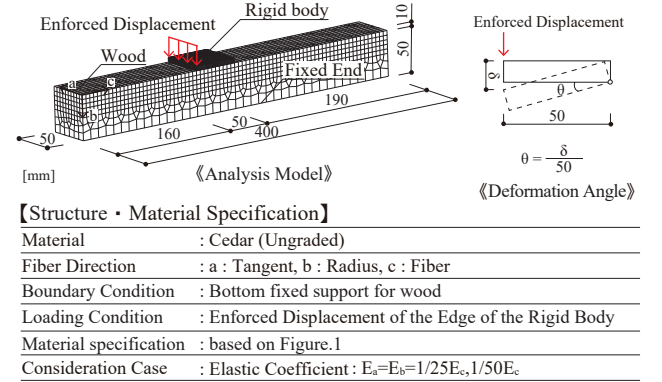
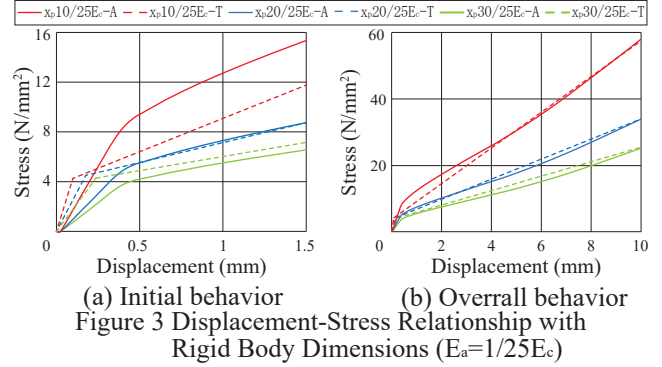
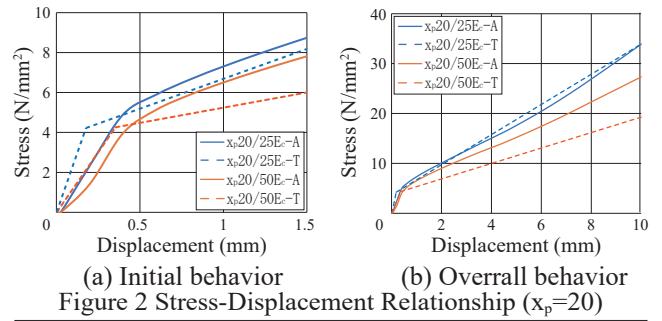
三角形めり込みを模擬した解析を行い、理論値^[4]と比較する。数値解析概要をFig.4に示す。材料諸元及び木材寸法は、Fig.1の等変位めり込みと同様とした。一方、本検討では剛体の一辺をピン支持とし、対辺を下方向の強制変位することにより三角形めり込みを模擬した。変形角は、載荷辺の鉛直移動量を剛体寸法(50mm)で除した値とする。

3-2. 数値解析及び考察

変形角-モーメント関係と最大変形時の変形図をFig.5に示す。Fig.5より、初期剛性は $x_p20/50E_c$ のAとTが概ね一致しているが、降伏後の挙動は $x_p20/50E_c$ のAの方がTよりも大きくなっている。これより、等変位めり込み同様、 E_a を $1/25E_c$ より小さく設定する場合は、降伏後の応力の挙動が理論値より大きくなる傾向が見られるため、接線係数も $1/8$ より小さく設定する必要性が示唆された。またFig.2(b)及びFig.5より、 $x_p20/25E_c$ -Aは等変位めり込みと比べて、三角形めり込みの方が降伏後の挙動における数値解析結果と理論値の差が大きい。これは、三角形めり込み解析において剛体の端辺をピン支持としているため、変形が進行するに従い、支持部付近で剛体と木材間に隙間が生じ接触面積が小さくなっていることが要因と考えられる。

3. まとめ

本報では、木材のめり込みを3次元弾塑性解析モデルを用いて数値解析的に検討を行った。今後は、相欠き接合部及び面格子壁のモデル化を行う予定である。



4. 参考文献

[1] 棚橋, 他: 「パステルナーク・モデルの伝統構法仕口のめり込み解析への適用」, 日本建築学会大会学術講演会, 構造III, pp.1-2, 2004.7

[2] 湯川, 他: 「異方性を考慮した木造面格子壁の数値解析モデルの評価に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演会, 構造III, pp.325-328, 2019.7

[3] 稲山正弘: 「木造のめり込み理論とその応用」, 東京大学学位論文, 1991.12

[4] 木材工業ハンドブック・林業試験場編, 丸善, 1959.2

[5] 稲山正弘, 中大規模木造建築物の構造設計の手引き, 彰国社, 2019.7