

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：16401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820267

研究課題名(和文) 木材への破壊力学の明確化とドリフトピン接合部への応用

研究課題名(英文) adaptability of Hillerborg fictitious crack model to timber

## 研究代表者

野口 昌宏 (noguchi, masahiro)

高知大学・自然科学系・講師

研究者番号：80420298

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：Hillerborgモデルを木材割れ破壊へ適応するために、シンプルな形状の試験体を用いて、Hillerborgモデルの木材への適応性および適応範囲を実験的に明らかにした。木材の割れ現象は、Hillerborgモデルだけで表現できるかどうか、その適応範囲を含めて実験的に明らかにした。木造建築物に多用されているボルト接合部の終局変位推定法を提案した。

研究成果の概要(英文)：This study describes the adaptability of Hillerborg fictitious crack model to timber. Using the regression line between the cumulative loss of the potential energy and the fictitious splitting length from the test data, the fracture process zone length was defined. And our data indicated the adaptability of Hillerborg fictitious crack model to timber. Moreover we make the mechanical model for the timber joint of drift pin. From the comparison of the test data and simulation estimated value, it makes clear that our model was valid from the practices.

研究分野：木質構造

キーワード：timber fracture

### 1. 研究開始当初の背景

建築の場合、建築基準法があり、安全性を検証できなければ、違法となり建設できません。設計資料が整備されて、初めて、一般の建築士が設計できるようになります。公共建築物等木材利用促進法以来、発展が大いに期待されている大型木造建築物については、研究知見の備蓄も不十分で、必要な接合部の設計資料は、一部を除き整備されていません。接合方法、部材寸法、樹種、ディテール、等級などの組み合わせごとに強度等のデータが必要であり、ほぼ無限の条件のデータがあるからです。このような場合、工学的なモデルが構築されるのを待ち、モデルから算出された値を強度値として整備するのが一般的です。

木材の割れで部材が破壊する現象については、長年モデル化が出来ませんでした。木質構造の接合部や部材欠点部からの割れ破壊は極めて脆性的で、RC造のせん断破壊、鋼骨造の座屈と同様、構造物の不安定化につながるため、耐震設計上極めて重要な問題です。2000年に、van der Putが、木質ボルト接合を対象に、破壊力学(本報告ではコンクリート分野で発展している Hillerborg の仮想クラックモデルをさす)を用いたモデルを提案して以来、破壊力学を用いたモデルの有用性が知られるようになりました。

研究代表者も多くのモデル化を行ってきた経験から、誌上討論や口頭討論・議論を含め、多くの批判を受け、わが国の木材分野での破壊力学を用いたモデルの正当な評価・健全化のためには、以下の課題解決の必要性を痛感してきました。

### 2. 研究の目的

課題 シンプルな形状の試験体を用いて、破壊力学(Hillerborgの仮想クラックモデル)の木材への適応性および適応範囲を実験的に明らかにする。

実学志向の研究者が多いため、実用的に重要な接合部や部材、つまり、大変複雑な形状のものを対象とした、モデル化の研究は発展してきますが、基礎研究が世界的にも殆ど行われていません。特に、そのモデルの前提である、木材割れの初期から破壊までの過程で破壊エネルギーが一定値をとる事の根拠となるデータもありません。そこで、破壊力学(Hillerborgの仮想クラックモデル)の木材への適応性および適応範囲を実験的に明らかにします。

課題 木材の割れ現象は、破壊力学だけで表現できるかどうか、その適応範囲を含めて実験的に明らかにする

破壊力学で一般的に用いられている、CT試験体を用いて、寸法を、相似に変化させた条件を設定し、どのサイズにおいて破壊力学が当てはまり、どのサイズにおいて、当てはまらないかを明確にする。なお、判断基準は、実験で得られた相似則と理論上の相似則を

比較し、「n倍の相似側が当てはまれば、破壊力学が当てはまる」、「n倍の相似側が当てはまれば、横引張強度が当てはまる」と判断します。

課題 木造建築物に多用されている複数本ドリフトピン接合部の終局変位推定法の提案

割れ破壊を伴う1本のボルトで構成される接合部について、モデル化、終局変位推定法の提案を行ってきましたが、大型木造建築物の殆どの接合部は、ドリフトピンを複数本打ち込んで構成されているため、実務レベルでは役に立ちません。既往のモデルベースに、実務レベルで求められている複数本ドリフトピン接合部の新しいモデルを提案します。

### 3. 研究の方法

研究目的の課題

破壊力学(Hillerborgの仮想クラックモデル)の木材への適応性および適応範囲を実験的に明らかにする目的で、図1に示すような、最もシンプルな形状のCT試験体を用いて、繰り返し加力のオフセット法(M. Wecharatana et al: Cement and Concrete Research, 1980)で試験を行いました。この方法では、図2のような、割れ長さや吸収エネルギーの関係が明確に示すことが出来、割れ長さや吸収エネルギーが比例関係と近似できる関係であれば、破壊力学(Hillerborgの仮想クラックモデル)の木材への適応性があると判断できます。条件を変化させた試験を行い、適応範囲も明らかにした。また、試験後、本研究室所有の実態顕微鏡と電子顕微鏡(HITACHI)を用いて、割れ破壊面を観察し、ミクロレベルの破壊性状など、現象論からも検討しました。

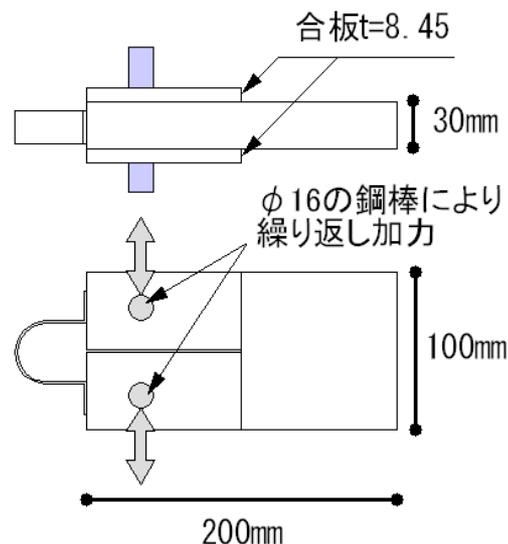


図1 CT試験体

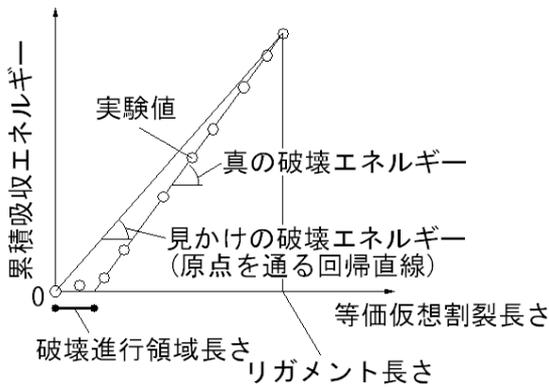


図2 リガメント長さと破壊エネルギー

研究目的の課題

「木材の割れ現象は、破壊力学、又は、横引張強度のどちらで表現できるか、またその適応範囲」を明らかにするため、同上のCT試験体で、樹種特性を考慮して、スギ、ヒノキ、カラマツ、欧州アカマツ、ベイマツ、ホワイトウッドを検討しました。なお、万能試験機（テンシロン 10ton）で試験を行いました。

課題

複数本ドリフトピン接合部の新しいモデルの構築を目的として、図3に示すようなドリフトピン接合部の強度試験を行った。パラメータは、ドリフトピン本数（1~5本）、端距離（3d, 5d, 7d）、ピン間隔（3d, 5d, 7d）、樹種（スギ、ヒノキ、欧州アカマツ）と設定し、多くの条件での実験データを収集しました。他方、図4に示すフローチャートを用いて、コンピュータシミュレーションでの理論上の傾向を把握しました。その二つの知見を参考として、新しいモデルを構築した。試験は、研究代表者の研究室所有の万能試験機（テンシロン 10ton）を用い、計測はデータロガー（協和電気）で行いました。

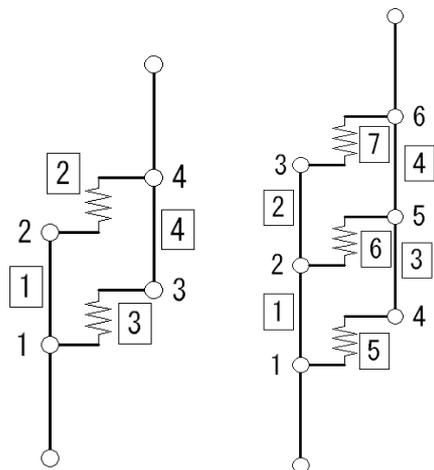


図3 多列本のモデル化

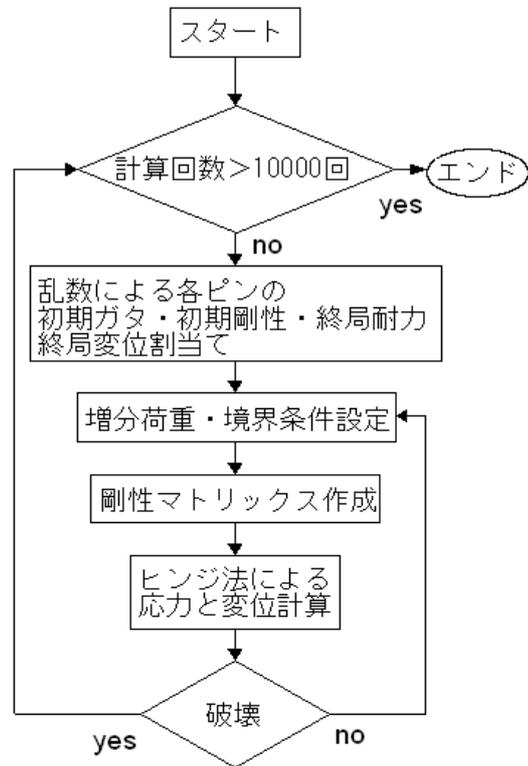


図4 接合部の構造モデルとシミュレーション流れ図

4. 研究成果

研究目的の課題

図5,6に、割裂破壊部の実態顕微鏡レベルの観察と SEM レベルの観察の図を示します。割裂は、スリット先端部のコーナー部からではなく、スリット先端部からまんべんなく発生していました。弾性論的な応力集中などを考えると、スリット先端部のコーナー部から割れると予想していましたが、スリット先端部のコーナー部に傷をつける丸鋸盤を避けて帯鋸を用いた事、木材は弾塑性体であり破壊時には応力集中部で局所的に塑性化がおこるため弾性論の応力分布にならない事が理由と考えられます。この事は、スリット先端部には大きな引張り応力が生じる その部分のうち最も弱い部分に割れが生じる その割れが進展するという破壊過程モデルで表現すると、スリット先端部のまんべんないところからの割裂破壊発生が観察された事の説明が付きます。

また、図7に等価仮想割裂長さとポテンシャルエネルギーの損失累積値の関係を示す。この図から、等価仮想割裂長さとポテンシャルエネルギーの損失累積値の間には、直線関係が成り立つことが分かりました。つまり、本研究の目的である、Hillerborg の仮想クラックモデルの木材への適応性を科学的に明らかにするデータが得られました。

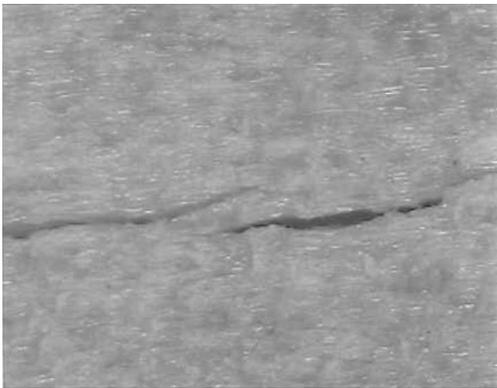


図5 割裂部の実態顕微鏡観察

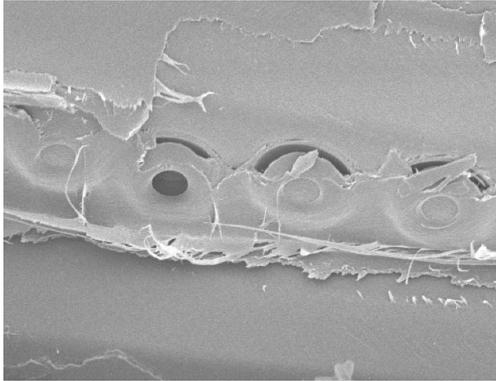


図6 割裂部のSEM観察

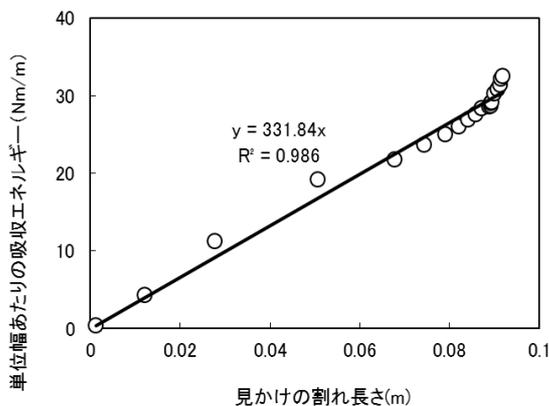


図7 等価仮想割裂長さとポテンシャルエネルギーの損失累積値の関係

#### 研究目的の課題

表1に樹種ごとの見かけの破壊エネルギーの平均値と変動係数を示します。ホワイトウッドリガメント長さ 25,50mm、欧州アカマツリガメント長さ 25mm を除くと、この表からリガメント長さにかかわらず、同じ樹種ではほぼ同一の破壊エネルギーを示すことが確認できます。また、単調加力試験から求めた破壊エネルギーとも概ね一致していることが確認できます。

表1 樹種ごとの破壊エネルギー

樹種	繰り返し			
	見かけの破壊エネルギー(Nm)			
	リガメント長さ(mm)			
	100	75	50	25
スギ	243 (0.07)	230 (0.20)	244 (0.52)	178 (0.19)
ホワイトウッド	441 (0.08)	433 (0.26)	305 (0.17)	326 (0.52)
ベイマツ	436 (0.19)	438 (0.36)	310 (0.34)	374 (0.18)
カラマツ	293 (0.15)	255 (0.06)	252 (0.21)	283 (0.13)
欧州アカマツ	402 (0.26)	390 (0.17)	383 (0.10)	279 (0.16)

#### 研究課題

縁距離・端距離・径長比をパラメータとした木質ボルト接合単体(繊維方向加力)の割裂破壊を主とした破壊強度シミュレーションモデルを提案しました。図8に実験結果とシミュレーション地の荷重-すべり曲線の一例を示します。実験結果によりシミュレーションモデルの妥当性を明らかにしました。

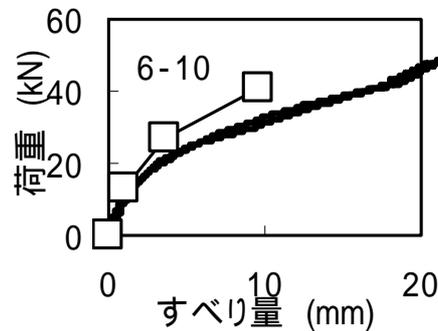


図8 ドリフトピン多列本接合部の実験結果とシミュレーション結果との比較

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

野口 昌宏 (NOGUCHI, Masahiro)  
高知大学・教育研究部自然科学系・講師  
研究者番号: 80420298