

木造倒壊家屋の仮想がれき生成と解析 —サイバーフィールドによるレスキュー支援に向けて—

北海道大学大学院情報科学研究科 ○毛利健二, 増田寿信, 小野里雅彦, 田中文基, 伊達宏昭

要 旨

本研究では、がれき内部で活動するレスキュー機器のアクセス性評価手法の確立を目的に、サイバーフィールドによるレスキュー支援の開発を行なっている。本論文で、木造家屋の倒壊シミュレーションによるデジタルがれきモデルの生成と、がれき内部におけるネットワーク情報導出のためのがれき内空間解析、そしてレスキュー機器のアクセス評価手法を報告する。

1. はじめに

1995年1月17日未明に発生した阪神淡路大震災では死者6,400人以上、負傷者4万人を超える多くの犠牲者を出した。約25万棟の家屋が全半壊し、この震災による死者の8割近くの死亡原因が、建物の下敷きとなったと言われている。倒壊した家屋がれきは、余震などにより、被災者のみならず救助者の生命の危険をも脅かした。救助の遅れが問題となったこの震災以降、各地でレスキューロボットなどのレスキュー機器による救助活動支援の研究が進められている¹⁾。

2. 本研究の目的

がれき内で活動するレスキュー機器において、どのような性能が求められているのか、あるいは機器の性能の評価基準は何であるのかといった、機器における定量的評価手法や設計仕様が確立されていないのが現状である。本研究では、機器の定量的評価の1つである、レスキュー機器のがれき環境への適用可能性の評価手法を確立することを目的としている。本論文で、木造家屋の倒壊プロセスシミュレーションによるデジタルがれきモデルの生成、がれき内部の空間解析、そしてレスキュー機器のアクセス性評価手法の3つの項目について報告する。

3. がれきモデルの生成

がれきモデルの生成は、木造家屋モデルの構築とその家屋モデルを用いた倒壊プロセスシミュレーションにより行なわれる。

木造家屋の構築：今回シミュレーションで用いられる家屋モデルは、阪神淡路大震災で被害の大半を占めていた木造軸組構法(建物を梁、桁、柱などの軸材料で構成した日本の伝統的建築構法)で建てられた家屋を対象とし、2階建

ての瓦屋根の木造家屋となっている²⁾。柱や梁、壁、床などの建築部材は、破壊を表現するために、小さな要素(直方体)の集まりとみなし、それらの要素を結合して一つの部材を構成する。部材間においても同様に結合される(図1)。ある部材間や小要素間に結合限界を超える外力が与えられたとき、その結合が外れ、破断という現象が表現される。なお、今回構築した家屋の要素数は9,413、結合数は13,039であり、家の内部には家具が存在しない状態となっている(図2)。

倒壊プロセスシミュレーション：家屋の倒壊は、家屋モデルが置かれた振動可能なプレートに水平面内の往復運動をさせ、模擬的な地震を発生させることで行なわれる(図3)。ここで、要素に加わる力、運動、衝突などの倒壊プロセスのシミュレーションにおける物理計算は、物理エンジンPhysX(NVIDIA社)を用いている³⁾。倒壊プロセスシミュレーションで生成された全壊のがれきモデルの例を図4で示す。一部半壊といったその他のがれきモデルは、プレートの振動や家屋の要素間の結合の強度を変えることで作られる。

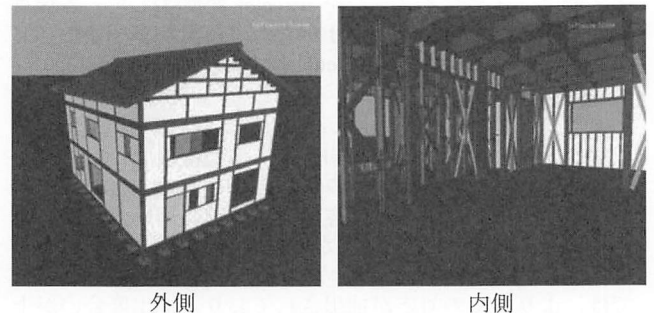


図2 木造家屋モデル

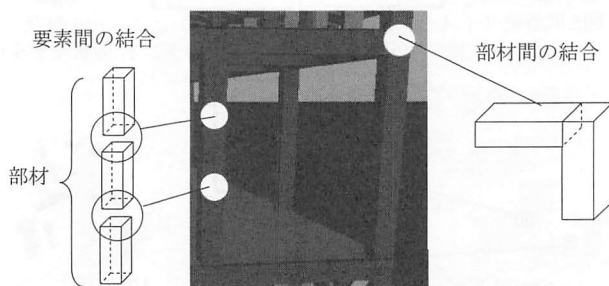
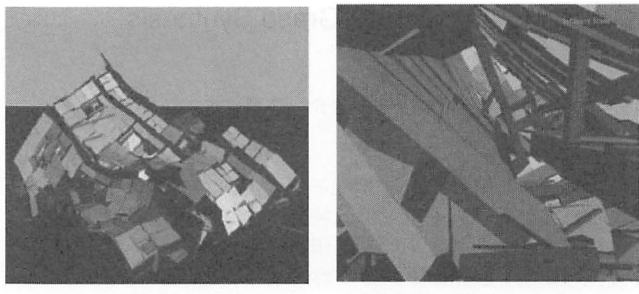


図1 家屋モデルにおける要素と部材の結合



図3 倒壊プロセスシミュレーション



外側 内側

図4 デジタルがれきモデル

4. がれき内空間解析

倒壊させた家屋の内部空間の状態を分析するために、当研究グループが開発したがれき解析ソフトウェア GarekiAnalyzer を使用した⁴⁾。その方法を以下に述べる。がれきを含む空間に対して、4つのがれき要素に接触し、これ以上を大きくすることのできない球を局所最大空球と定義する。この空球はがれき内にいくつか分散して存在し、がれき内空間を分割する、この空球の径を求めることで、がれき内空間の大きさが導出される。

局所最大空球の中心を求めるために、離散ポロノイ分割を行なう。がれき内空間を任意の大きさに分割されたボクセルの中心が、どのがれき要素に近いかをそれぞれ判定することで離散ポロノイ領域が作成される。得られた4つの領域の境界に存在する点が局所最大空球の中心となる。離散ポロノイ分割の境界線を辿ることで、局所最大空球を繋げたがれき内経路ネットワークが導出される。

図4 がれきモデルの内部において空間解析を行ったところ、がれき表面も含めた局所最大空球の数は 36,252 で、そのうちがれきの表面の分を除くと、2,775 の局所最大空球ががれき内の空隙を占めていた。これらの局所最大空球を統計的に分析すると、平均直径は約 13cm、分散は約 7cm となっており、例にあげたがれきの内部においては、かなり径の小さな機材でないとも移動が困難であることがわかる。

5. レスキュー機器のアクセス性評価

レスキュー機器のアクセス性評価は、がれきに対しての機器の性能を評価する項目の1つである。この評価手法は3つの段階に分けられる。

到達可能性評価： がれき内部の到達目標点までのパス、レスキュー機器が通過可能な空間を評価する。がれき内空間解析で得られた情報をベースとしている。

移動容易性評価： 移動経路の長さ、最大勾配（登り／下り）、最大ギャップ、最小旋回半径に関する移動性を調べることで、レスキュー機器の移動容易性を評価する。

がれき安定性評価： ある経路での移動によりレスキュー機器が転倒したり、がれきが崩れたりしないかどうかを確率的に評価を行う。がれきモデルの中で、レスキューロボットの動作シミュレーションを繰り返し行なうようなことが行なわれる(図5)。

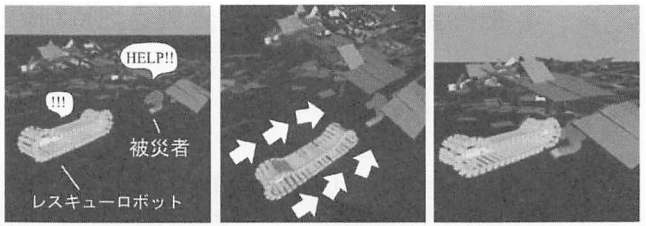


図5 レスキューロボットの動作シミュレーション

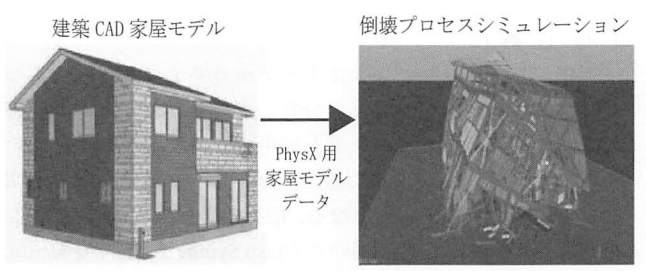


図6 建築 CAD を用いたがれき生成ライブラリ

こうした評価に用いるがれきモデルを様々なタイプのものに変えることで、木造倒壊家屋には向かないが、鉄筋構造物の層崩壊では性能を発揮できる、といったレスキュー機器のがれきに対する適性を調べることが出来る。現在、当研究グループでは、建築 CAD などで作成された種々の家屋モデルを用いた倒壊シミュレーションを行なうようなライブラリを開発し、レスキュー研究者に対して公開していくことを計画している(図6)。

6. 結論および今後の課題

以上、倒壊プロセスシミュレーションとがれき内空間解析により、レスキューロボットのアクセス性評価に必要な局所最大空球やそれに基づく経路ネットワークといった、がれき内での経路探索に必要な情報を得ることができた。

今後の研究として、現実の地震に似た挙動を起こす地震プレートの作成と家具を備えつけた家屋による倒壊プロセスシミュレーションを行ない、シミュレーションの精度を高める方針である。タンスや食器棚、テーブルのような家具は倒壊家屋の中で、生存可能な空間を発生させる可能性が高いため、家具の有無でシミュレーションの結果が大きく変わると考えられる。さらに、がれきモデルを用いたレスキュー機器の動作シミュレーションがあり、機器の転倒、がれきの崩れといったがれき内部で起こりうる事象を統計データとして出力することを考えている。

参考文献

- 1) 高森 年他, "レスキューロボット機器研究会報告書", (社)日本機械学会, 1997.
- 2) 坂本 功, "日本の木造住宅の 100 年", 2001.
- 3) 増田 寿信 他, "物理エンジンを利用したがれきの形態解析とその応用に関する研究", ROBOMECH2007 講演論文集 (CD-ROM), 2P1-K05, 2007.
- 4) 増田 寿信 他, "がれき内空間の定量的評価手法に関する研究", SI2007 講演論文集 (CD-ROM) 3H4-1, 2007.