

第I部門 地震時における建物倒壊と内部空間被災度について

京都大学工学研究科

正会員

清野純史

京都大学大学院

学生会員

古川愛子

京都大学工学部

学生会員

○原口祐子

1. はじめに

1995年の阪神・淡路大震災では、全壊戸数が約10万5千戸、半壊戸数が約14万4千戸にもものぼり、死者6,430名、負傷者43,782名に及んだ。死傷者の多くは、建物の倒壊による圧死・窒息死であった。このような人的被害を軽減するには、建物を構造的に強くすると同時に、内部空間を確保することが必要である。したがって本研究では、3次元個別要素法¹⁾を用いて建物の破壊挙動シミュレーションを行い、建物の種類や家具の数によって建物の構造的被害及び内部被害がどの程度異なるかを検証した。

2. 3次元個別要素法

本研究では、3次元個別要素法を用いて数値解析を行った²⁾。各要素は全て剛体とし、頂点を1/8球、辺を1/4円柱と仮定した(図1)。各要素が接触した場合仮想のばねとダッシュポットが発生し、要素に作用する力はこれらのばねを介して伝達される(図2)。従来の個別要素法では、要素間の力の伝達は接触している時のみ行われる形になっていた。本研究では、梁と柱の間の引張抵抗を表現するために、要素のばねとは別にジョイントを導入した。初期状態において各要素はジョイントによって結合されており、建物全体は連続体としての挙動を示すが、ジョイントの引張抵抗を越える強い地震動によって一度ジョイントが切れると、その後はばらばらな単体として運動する。

解析には図3に示すモデルを用いた。木造モデルについては、家具を配置した場合も考える。接触ばねは要素の密度に比例するとし、またジョイントについては、防災科学技術研究所で行われた実物大の建物倒壊実験の映像をうまく再現しうる値を基準値として設定し、値を変えて解析することで様々な破壊パターンを表現できるようにした。入力地震動としては、1995年の兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測された加速度波形の3成分を用いた。

3. Damage Index と W score

構造的被害の尺度として、Damage Index³⁾を用いた。これは無被害から完全崩壊までを0~1までの数値尺度で表したものである。シミュレーション結果より、この値を決定した。

内部被害の尺度として、内部被災度³⁾(W score)を用いた。これは、損失面積(体積)を初期面積(体積)で除したものである。木造モデルについては、1階・2階・モデル全体について算出した。3次元量である体積のW scoreを主として考えた。

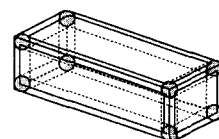


図1: 要素モデル

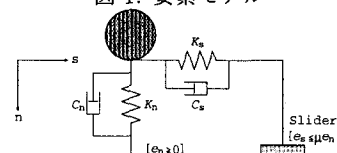


図2: 接触ばねモデル



(a) 木造 A



(b) 木造 B

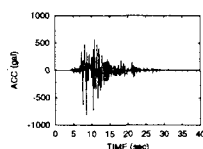


(c) 木造 A 家具数 6

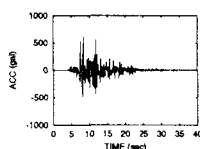


(d) 組積造

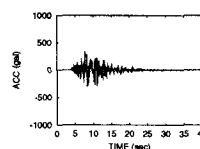
図3: 解析モデル



(a) NS 成分



(b) EW 成分



(c) UD 成分

図4: 入力地震動

4. 解析結果

シミュレーション結果の一部を図5から図7に示す。解析領域においてはNS成分が卓越しているため、倒壊した木造モデルはすべて(家具の重みで潰れたもの以外)、地震動のNS成分とEW成分を入れ換えても、NS成分を入力した方向(南側)に倒れた。また、組積造モデルは南側の壁から崩壊し始め、北・西の方向に倒れた。組積造モデルは早い段階から倒壊し、2秒後には全壊したのに対し、木造モデルは倒壊し始める時間が遅く、ジョイントを強くすれば構造被害も小さくなった。特に木造Bは構造的被害がほぼ発生しない場合もあった。家具の影響としては、家具数が多い程倒壊し始める時間が早かった。また、家具の重みに耐えられず床が抜けたモデルもあり、全体として構造的被害も大きくなった。

Damage Index と W score のグラフを描き、構造的被害と内部被害の関係を調べた。グラフが図の右下に行く程安全であることを示す。構造物の種類による比較を行うと、木造モデル全体と組積造モデルでは木造モデルの方が安全なことがわかる。しかし木造モデルを1階部分2階部分と区別した場合、2階部分は他と比べて格段に安全だが、1階部分については組積造よりも内部被害が大きくなっており、危険性が大きくなる。家具数による比較に関しては、同じ構造モデルでは、それぞれの破壊レベルにおける最終破壊状態は似たようなものとなる。したがって、体積には家具による大きな影響は現れにくいので、ここでは平面損失に着目した。家具数を増やしていくと、内部被災度も大きくなっていったが、家具数が12となったところで、家具同士が転倒を妨げ合うことにより空間ができ、内部被災度は小さくなった。これは、梁や家具が崩落・転倒する方向にそれを妨げる物体が存在すれば、平面損失が小さくなるということを意味している。この結果をうまく利用することができれば、人的被害の予防策となりうる可能性がある。

5. 結論

本研究では3次元個別要素法を用いて建物の破壊挙動のシミュレーションを行った。またそのシミュレーション結果より、構造的被害と内部空間被災度の関係を導いた。これより、構造的被害は同程度でも内部被害は構造物の種類や家具数などで大きく変化することがわかった。ここで求めた構造被害と内部被害の関係を基にして、今後内部被害と人的被害の関係を示すことにより、人的被害の軽減や災害時の救助活動に役立てていく予定である。

参考文献

- 1) Cundall, P.A.: Rational Design of Tunnel Supports - A Computer Model for Rock Mass Behavior Using Interactive Graphics for the Input and Output of Geometrical Data, Technical Report MRD-2-74, Missouri River Division, U.S. Army Corps of Engineers, 1974
- 2) J. Kiyono・A. Furukawa: Three Dimensional Simulation of Collapse Process and Casualties Induced by Earthquake, KKCNN, 2002
- 3) 岡田成幸・高井伸雄: 建物の破壊パターンと死傷, 東農地震科学研究所報告, No2, pp.246~241, 1993

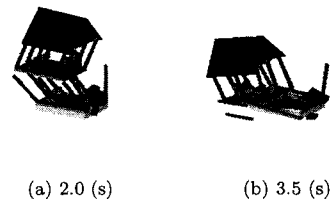


図 5: 木造 A 家具数 6

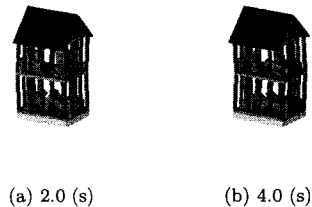


図 6: 木造 B 家具数 12 ジョイント強

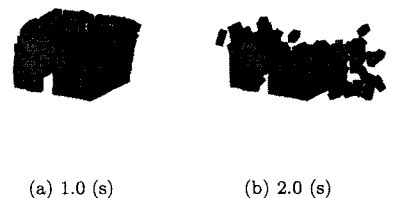
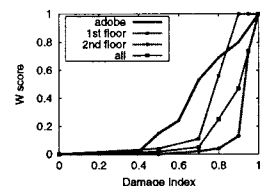
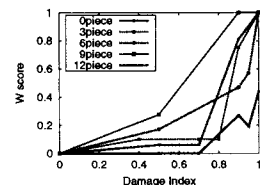


図 7: 組積造



(a) 構造物の種類(体積)



(b) 家具数(平面)

図 8: Damage Index - W score