

木造・RC造・S造建物に対する崩壊解析 耐震診断法の信頼性向上と実用化

Development of method for simulating seismic collapse of wooden, RC and steel buildings

プロジェクト代表者:川上 英二(地圏科学研究センター・教授)

Hideji Kawakami (Geosphere Research Institute, Professor)

1 はじめに

阪神大震災の被害を見てもわかるように、地震に対する国民生活の安全確保のために必要な最大の課題は、木造家屋などの建物の耐震性を向上させることである。本研究では、近年の計算機の機能の向上を、建物の地震応答崩壊解析に活用し、建物の弱点を発見し、効率的な補強を行うためのプログラムシステムを開発し、その信頼性、汎用性、実用性を向上させることを目的とした。

本耐震性評価方法では、まず建物を構成する柱・梁・壁などの各部材の強さを実験結果に基づいて正確にモデル化する。次に、これらの部材を組み上げることにより、建物全体のモデルを作成する。これに大地震で観測された地震動を与えることにより、建物がどのように応答・崩壊するかを力学的に精密に計算する。阪神大震災で観測された地震記録、およびその2倍の地震動を、建物に対して与え応答を計算し、どのように安全であるか、または崩壊するかを可視化した。

動画で最初に壊れた部材(場所)が建物の弱点であり、どの部分が弱いかが視覚的にわかることから、家全体を耐震補強するのではなく、弱い部分だけを補強すれば良いことになる。このため、不必要な補強や過剰設計を避けることが可能であり、費用が安くすむ。改修後の応答も動画で確認できるため、家を新築・改築する際の設計のチェックや設計変更役に役立つ。

木造建物に対して開発した崩壊解析 耐震診断法を埼玉大学のホームページ(<http://www.saitama-u.ac.jp/kawakami/>)で公開しており、実際の設計図に基づき、壁量の変化に伴う家屋の応答の変化の解析や、壁の分布のバランスの違いに伴う建物の応答の違いなどの解析を行った。

2 研究目的

1995年の阪神大震災では、6000名以上の人命が失われた。その第一の理由は地震により家屋が倒壊したためであり、その後、建物の耐震化の必要性が繰り返し指摘された。しかし、阪神大震災での教訓にも拘らず建物の耐震化は殆んど進んでいない。著者は、この主な理由を、

- (1) 地震時に建物が具体的にどのように壊れるかが想像できない
- (2) 従って、どこをどう補強すれば良いかが判らない
- (3) 全てを補強するなら建替えた方が経済的であるためであると考えた。そして、
- (4) 地震時に具体的にどのように壊れるかを動画(アニメーション)で示し、
- (5) どこを補強すべきであるか、設計変更すべきであることを明らかに示し、
- (6) 補強箇所を2, 3箇所に限定した経済的な補強、

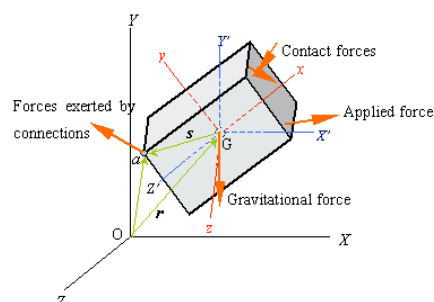


図1 大変形を考え微分方程式を作成することにより、幾何学的非線形性を考慮

設計変更を提案する

ことを可能にすれば、建物の耐震化が飛躍的に進むものと考えた。そして、新しい耐震診断方法として「崩壊解析 耐震診断法」の計算プログラムを開発した。

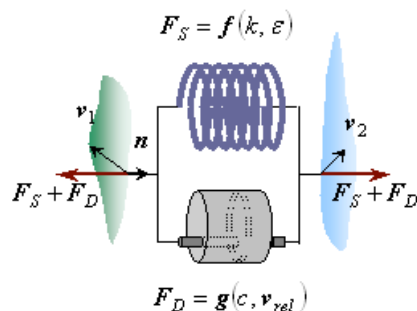
3 本方法の特徴

本方法は従来の耐震診断法と比較して下記の特徴を有する。

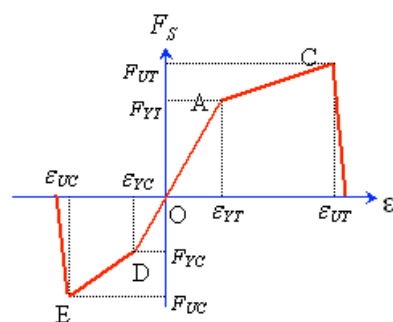
- ① 従来の耐震診断法は静的解析であり、破壊・崩壊・振動を直接扱っていないのに対し、本方法では、動的な幾何学的（図1）および材料（図2）非線形崩壊解析を行うことにより、耐震診断の精度を向上させた。
- ② 従来は安全性を考えた設計・診断であるため、本当に破壊する外力が判らないのに対し、本方法では、実際の現象をなるべく正確に表すことを目的とし、実際の外力に対する平均的な応答を求めており、これが本方法の特徴である。強度としては下限値ではなく平均値を使用し、起こり得る大きな外力に対する平均的な（最も起こりそうな）応答を算定した。
- ③ 本方法では、設計において各部材の強度の余裕がばらついていることを利用した。すなわち、建物の破壊はすべての部材が同時に破壊して生ずる訳ではなく、1番の弱点箇所から始まり、全体の崩壊に進行してしまう。従って、建物内の少数箇所の弱点を補強しておけば、建物全体として非常に強くなる可能性が高い。
- ④ 従来の耐震診断では、判定結果が数値の羅列として表されてきたのに対し、本方法では、動画（アニメーション）で判定結果を表した。

4. 本耐震診断法の適用例と補強例

図4、5には、木造住宅の耐震診断を実際に行い、設計変更・補強・改修・耐震リフォームに役立てた例を示す。また、ホームページ (<http://www.saitama-u.ac.jp/kawakami/>) では、阪神大震災の地震動（図3）などを、幾つかの建物に対して与えた場合の応答を動画で示している。建物がどのように安全であるか、または崩壊するかを見ることができる。これらの図より、木造住宅の崩壊がどのように生ずるかが判る。また、現状では阪神大震災の1倍の外力でも崩壊していたような住宅であっても、住宅の弱点を正確に把握すれば、わずか2～



(a)



(b)

図2 材料の降伏、破壊を考慮ることにより、材料非線形性を考慮

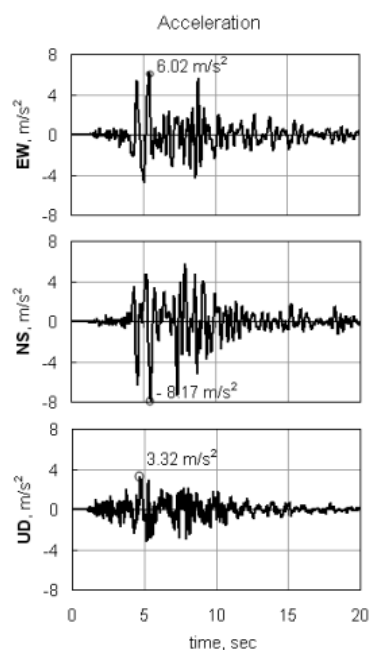


図3 入力地震動として観測波形を使用

3箇所を補強することにより、阪神大震災の2倍の外力でも崩壊しないような補強が可能になることが理解できる。

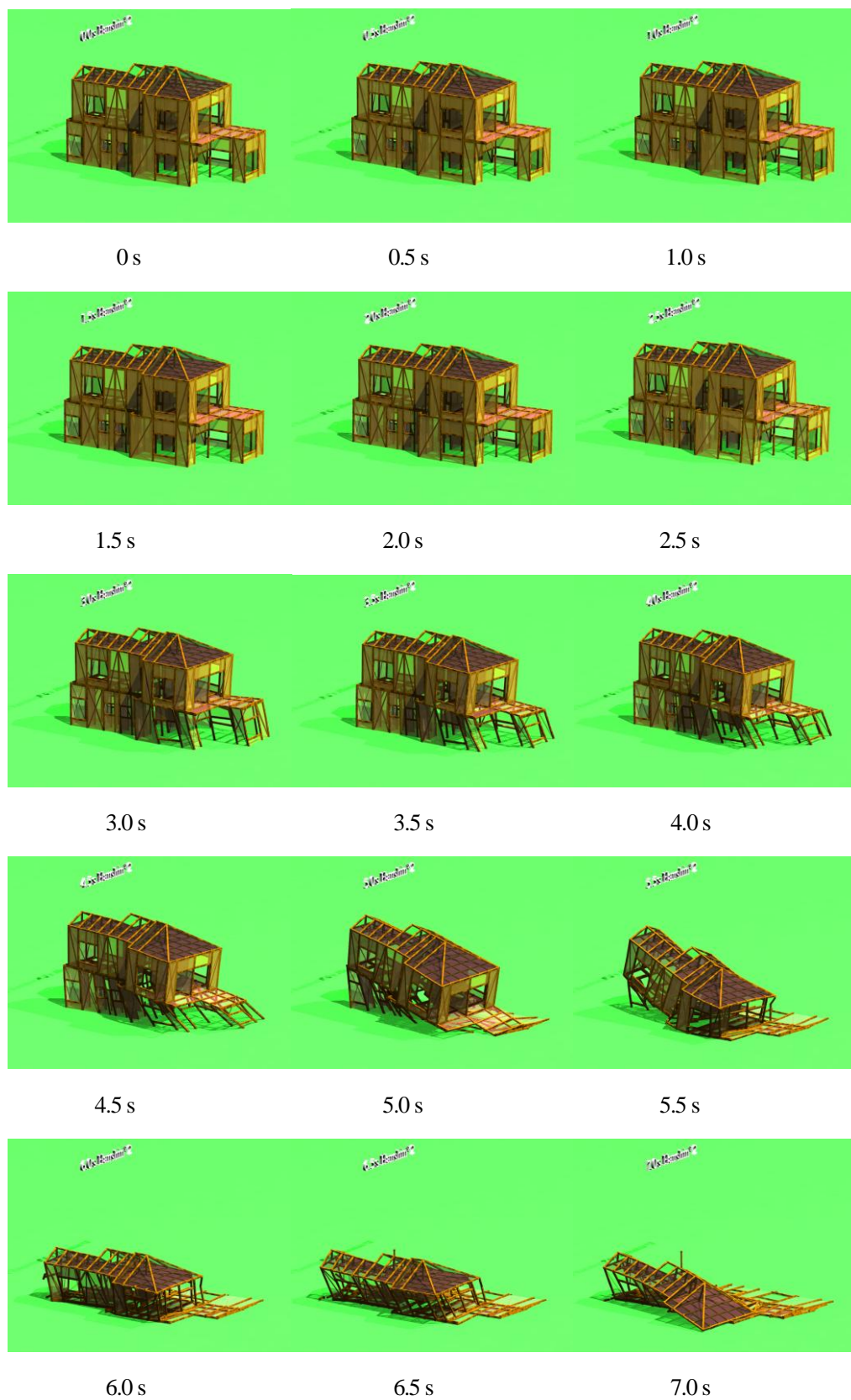


図4 木造家屋の崩壊過程の例

5. 本耐震診断法の信頼性

木造住宅は、軸組および壁要素により構成されている。実際の木造建物全体に対して適用したプログラムシステムと同一のシステムを用いて要素の崩壊応答の計算を行い、実験データとの比較を行うことにより、この崩壊解析 耐震診断法の信頼性を確認した。

6 まとめ

本プロジェクトでは、新しい耐震診断方法として「崩壊解析 耐震診断法」の計算プログラムを開発、改良した。そして、埼玉大学のホームページで公開している。本ホームページは、YAHOO の登録サイトにも採用され、本耐震診断法は、着実に実用化に向け改良されつつある。尚、本研究は、研究分担者（茂木秀則）と役割分担を行い共同して行ったものである。

発表論文

- (1) Kawakami, H., Tingatinga, E. and Chang, H.Y., Three-dimensional Seismic Damage Simulation of Wooden Houses Using Rigid Body-Spring Method, Earthquake Resistant Engineering Structures VI, WIT Press, Vol. 93, pp.421-430, 2007.
- (2) Kawakami, H., Mogi, H. and Tingatinga, E., A Note on Spatial Variations in Response Spectra of Earthquake Ground Motions, ISET Journal of Earthquake Technology, Vol. 44, No. 1, pp.101-110, 2007.
- (3) Mogi H. and Kawakami H., Analysis of Scattered Waves on Ground with Irregular Topography Using the Direct Boundary Element Method and Neumann Series Expansion, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.97, No.4, pp.1144-1157, 2007.
- (4) 茂木秀則, 川上英二, 境界要素-摂動解法による起伏地形の散乱波の波形の検討, 土木学会論文集A, Vol. 63, No. 3 pp.454-463, 2007.
- (5) Kawakami, H., Tingatinga, E. and Chang, H.Y., Seismic Retrofitting of Woodframed Buildings Using Three-Dimensional Rigid Body-Spring Method, First International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, PROTECT2007, 2007.
- (6) Tingatinga, E., Kawakami, H. and Shrestha, S. M., Three-dimensional Seismic Collapse Analysis of Wooden Houses Using Rigid Body-Spring Method, The Open Construction and Building Technology Journal, 2008, Vol. 2, pp.116-123.



(a)



(b)

図5 木造家屋の補強案。黒い壁は、筋交と構造用合板で補強した場所を示す。

発表論文リスト

木造・RC造・S造建物に対する崩壊解析 耐震診断法の信頼性向上と実用化
プロジェクト代表者：川上 英二（地圏科学研究センター・教授）

誌上発表

- (1) Kawakami, H., Tingatinga, E. and Chang, H.Y., Three-dimensional Seismic Damage Simulation of Wooden Houses Using Rigid Body-Spring Method, Earthquake Resistant Engineering Structures VI, WIT Press, Vol. 93, pp.421-430, 2007.
- (2) Kawakami, H., Mogi, H. and Tingatinga, E., A Note on Spatial Variations in Response Spectra of Earthquake Ground Motions, ISET Journal of Earthquake Technology, Vol. 44, No. 1, pp.101-110, 2007.
- (3) Mogi H. and Kawakami H., Analysis of Scattered Waves on Ground with Irregular Topography Using the Direct Boundary Element Method and Neumann Series Expansion, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.97, No.4, pp.1144-1157, 2007.
- (4) 茂木秀則, 川上英二, 境界要素－摂動解法による起伏地形の散乱波の波形の検討, 土木学会論文集A, Vol. 63, No. 3 pp.454-463, 2007.
- (5) Tingatinga, E., Kawakami, H. and Shrestha, S. M., Three-dimensional Seismic Collapse Analysis of Wooden Houses Using Rigid Body-Spring Method, The Open Construction and Building Technology Journal, 2008, Vol. 2, pp.116-123.

学会発表

- (6) Kawakami, H., Tingatinga, E. and Chang, H.Y., Seismic Retrofitting of Woodframed Buildings Using Three-Dimensional Rigid Body-Spring Method, First International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, PROTECT2007, 2007.
- (7) Rhommel, G., Mogi, H. and Kawakami, H., Basement Rock in Metro Manila, Philippines Inferred Using Receiver Function Analyses of Strong Motion Accelerograms, IUGG XXIV General Assembly, 2007.
- (8) Rhommel, G., Mogi, H. and Kawakami, H., Identification of Basement Rock Beneath Kanto Plain by Normalized Input-output Minimization (NIOM) Method and Conventional Receiver Function Using Strong Motion Accelerograms, IUGG XXIV General Assembly, 2007.