

平成 21 年 6 月 25 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007 ～ 2008
 課題番号：19760391
 研究課題名（和文） 高精度な巨大地震被害予測スキームを用いた時系列被害予測とその耐震
 施策への応用
 研究課題名（英文） EVOLUTIONAL DAMAGE PREDICTION FOR A MEGA-THRUST EARTHQUAKE AND ITS
 APPLICATION TO THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD
 研究代表者
 包 那仁満都拉（HO NARENMANDULA）
 飛鳥建設株式会社 技術研究所・副主任研究員
 研究者番号：30432876

研究成果の概要：

本研究では、想定南海地震を例として、地震の規模が、対象とする地震の前回の発生からの経過年数によって年々少しずつ増大すると仮定して強震動を推定し、対象地域における建物については、地震が発生する時点での建物棟数やその構成比率などが時系列で変化していくと仮定して建物被害を予測する手法、即ち「時系列地震被害予測スキーム」を提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	330,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：時系列地震動予測，時系列被害予測，環境負荷，南海地震

1. 研究開始当初の背景

海溝型地震は発生する確率が相対的に高く、影響する地域が広域にわたるという特徴があり、その震源域は日本列島を囲むように分布している。ところで、予測する地震は未来で発生し、その地震で被害を受ける建物も未来の建物であり、対象とする地震の経過年数が長くなるほど地震の規模も変化するだけではなく、現存する建物の全体棟数やタイプ別比率も大きく変化していくことが当然想定される。しかし、これまでの巨大地震に対する被害想定では限られた歴史地震の推定規模などから今後起こり得る地震の規模を固定し、過去の地震による建物被害率に基づいた経験的被害関数と現在の建物統計デー

タを用いて建物被害を推定する手法が一般的である。そのモデルパラメーターが適切でなければ、いくら高精度な技術で被害予測を行っても実被害は大きく異なってしまう可能性が否定できない。当然その被害予測を前提とした地震対策の計画や対策の合理性も大きく損なわれる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では発生が危惧されている巨大地震を対象にして、地震の規模はその地震の前回の発生からの経過年数によって年々少しずつ増大すると仮定して強震動を推定し、対象地域における建物については、地震が発生する時期までの現存建物の耐力やその全体の

構成比などが時系列で変化していくと仮定してより現実的な建物の地震被害予測を行う。即ち「時系列被害予測手法」の開発・実用化を目指している。社会的な変化や建物の経年変化の情報・そのライフスパンから考えて予測する期間を最大 50 年間と設定し、現時点から毎年更新するモデルを構築する。今回は、前回から 60 年が経過し今後 30 年間のうちに発生することが危惧されている想定南海地震による四国を中心とする西日本地域における建物被害予測に着目して検討し、以下の項目を明らかにする。本研究のフローチャートを図 1 に示す。

- (1) 経過年数による南海地震の規模の変化は対象地域における地震動の強さにどれほど影響するのかを検討する。
- (2) 建物棟数やその構造比率の時間変化モデルを構築する。
- (3) 現時点から 50 年後まで時系列で構造種別・階数別に大破する建物の被害率と被害床面積を算定し、さらに、破壊される建物による環境負荷を評価する。

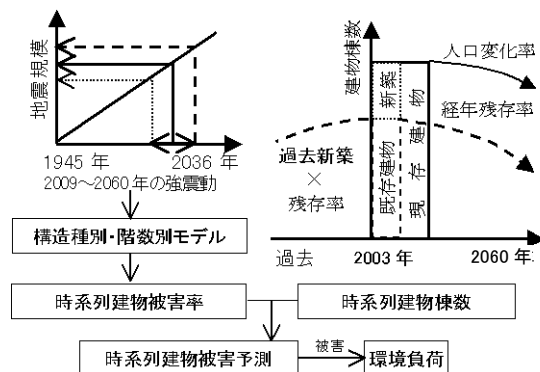


図 1 本研究のフローチャート

3. 研究の方法

(1) 時系列強震動推定

①南海地震の発生時期が変動するとその地震規模がどのくらい変化するかを調べる。方法としては地震調査研究推進本部による南海地震の次回までの標準的な発生間隔 (90.1 年) と昭和南海地震の発生年 (1946 年 12 月 21 日) を参考にして 2036 年に南海地震 (M8.4、平均すべり量 363 (cm)) が発生すると仮定し、さらにフィリピン海プレートの沈み込み速度とカップリングの強さを参考しながら地震規模 (すべり量) と経過年数の関係を設定する。同時に、地震調査研究推進本部が公開している巨視的および微視的震源特性の標準的設定手法を用いた震源モデル (ケース 2) の公開資料 (2001) と釜江モデル (2002) を参考して作成した震源モデルと既に作成した長周期まで有効な統計的グリーン関数 (2007) を用いて、Irikura (1986) による波形合成法を用いて、想定南海地震が 2036 年

(基準モデル) に発生した場合の対象地域における強震動波形を作成する。図 2 に想定南海地震のアスペリティと背景領域の平均すべり量の時系列変化を示す。

②すべり量以外のすべての次元は同一とし、既に作成した基準モデルによる強震動波形を予測地震の平均すべり量と基準モデルの平均すべり量の比率で変化させて、2009 年、2018 年、2027 年、2045 年、2054 年、2060 年に発生した場合の対象観測点におけるそれぞれの強震動波形を作成する。

(2) 時系列南海地震動による時系列建物被害率

非線形建物被害予測モデル (長戸・川瀬モデル 2001) に想定南海地震が 2009 年、2018 年、2027 年、2036 年、2045 年、2054 年、2060 年に発生した場合の 200 Gal 以上の観測点の加速度波形を入力して建物の大破以上の被害率 (ここでは被害率とは大破・倒壊率) を算定する。

(3) 時系列建物モデルの構築

建物棟数や構造比率の時間変化モデルに関しては現存する建物と今後建てられる建物に区別して構築する。

①総務庁の建物の統計データに基づいて構造種別・階数別に建物の棟数分布と建てられた年数を算定する。さらに、得られた棟数・建てられた年数と小松らによる平均寿命曲線 (1992) から 2003 年における建物棟数を構造種別・階数別・年代別に推定する。

②2004 年以後の建物床面積の推定に関してはいろいろな要因に影響されると思われるが、本研究では全国人口予測曲線とその時点での総建物床面積が比例すると仮定して「建物床面積推定曲線」を作成し、その「建物床面積推定曲線」と 2003 年における各市町村の既存建物床面積から 2004 年から 2060 年までの対象建物の時系列床面積を推定した。

(4) 時系列地震被害の総量予測

時系列的に得られた被害率と時系列的な建物床面積を用いて、地震規模と建物床面積が時間的に変化する新たに提案した時系列被害予測モデルと地震規模が変化せず建物床面積だけが時系列で変化する地震規模不変モデル、地震規模の変化は考慮するが建物床面積が変化しない建物ストック不変モデルによる大破建物床面積を評価して、それらの差を明らかにする。

(5) 被害建物による環境負荷を評価

中破した建物の場合は修復工事を行い、大破した建物を全部建替えると仮定した時の破壊された建物を建てる時に必要な新築時の排出 CO₂ 量と廃棄物量を時系列的に推定する。その時に推定した建物の被害率と総務省統計局や統計データによる市・県における建物の床面積及び日本建築学会の LCA データベースを用いる。

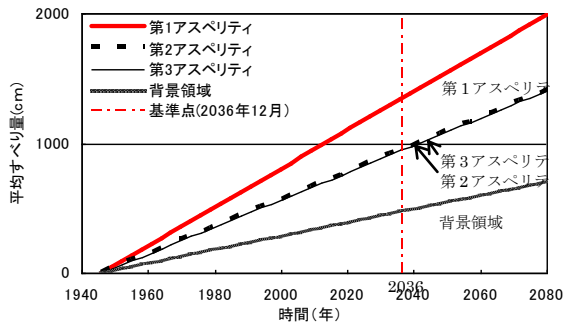


図2 想定南海地震の平均すべり量の時系列変化

4. 研究成果

(1) 南海地震動による時系列強震動推定

表1に2036年とその他の年に発生した場合の最大速度・加速度の比と用いた平均すべり量を示しており、南海地震の発生が現在予測されている年代から9年間ずれると最大値が約一割程度大きくなるか小さくなるかすることが分かる。図3に2036年、2054年の強震動波形による計測震度階級を比較して示した。全体として想定南海地震の発生時期が遅くなると対応する震度階級が変化し、約9～18年間ずれると震源域近くの地域における震度階級が1段階アップする可能性があるが生じている。

(2) 時系列建物被害率の算出

図4に平均大破被害率とその近似直線を建築年代別、構造種別に示す。南海地震の発生時期が遅くなるほど平均建物被害率は大きくなる傾向が明瞭である。構造種別の平均被害率は低層鉄骨建物、木造建物、中低層RC造建物の順に小さくなっている。年代別では中低層RC造建と低層S造建物いずれも旧耐震より新耐震の方が被害率が小さくなっている。表2では、2036年における建築年代別、構造別の被害率に対するその他の年の平均被害率（ただし存在比率の重みなし）の比を示す。全体として南海地震が2036年以前に発生した場合には、基準モデルによる建物被害予測結果は安全側に、2036年以降に発生した場合は危険側に評価する結果となること分かる。定量的に言えば、発生時期が約10年間遅れると木造・S造建物被害率は概ね3割増加し、RC造建物被害率は概ね6割増加し、全体建物被害率（重みなし平均）としては概ね4割増加することがわかる。

表1 時系列評価による強震動変化

時系列強震動／2036年における強震動							
時系列(年)	2009	2018	2027	2036	2045	2054	2060
最大値の変化率	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.27
平均すべり量							
時系列(年)	2009	2018	2027	2036	2045	2054	2060
すべり量(cm)	399	455	512	570	626	683	721

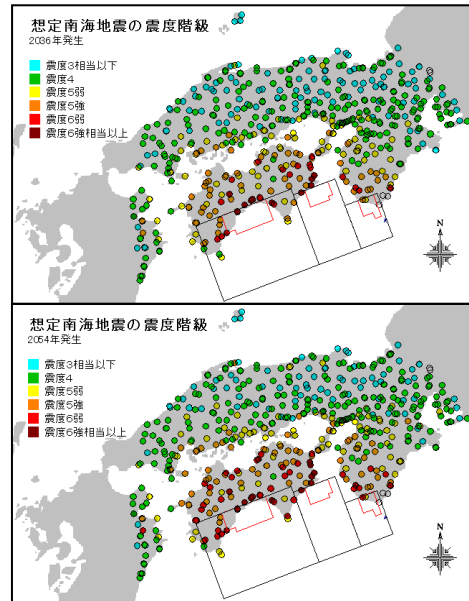


図3 時系列的な強震動評価による震度階級

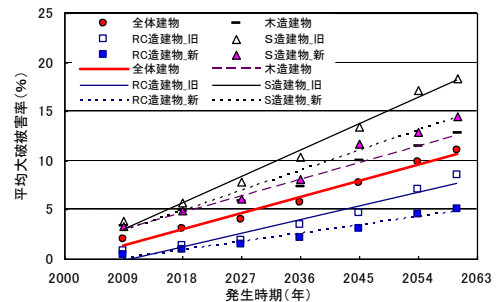


図4 築年代別構造別の建物被害率の時系列変化

表2 時系列平均被害率と2036年の被害率との比率変化

時系列被害率／2036年における大破建物被害率							
年代	2009	2018	2027	2036	2045	2054	2060
木造建物	0.45	0.67	0.80	1.00	1.36	1.56	1.74
RC造建物_旧	0.19	0.38	0.55	1.00	1.40	2.03	2.51
RC造建物_新	0.15	0.39	0.65	1.00	1.69	2.68	3.19
RC造建物_全	0.17	0.39	0.60	1.00	1.55	2.35	2.85
S造建物_旧	0.35	0.53	0.76	1.00	1.32	1.68	1.78
S造建物_新	0.40	0.58	0.74	1.00	1.47	1.62	1.90
S造建物_全	0.38	0.55	0.75	1.00	1.39	1.65	1.84
全体建物	0.33	0.54	0.72	1.00	1.43	1.85	2.14

(3) 対象建物の時系列床面積の推定

地域別の統計データが限定されていることから、全国の総建物床面積が総人口の変化（総務省統計局2005）を反映して同じ率で変化すると仮定して「建物床面積推定曲線」を作成する。同じく、建物構造比率や階数割合に関しても全国におけるデータから推定し、対象地域における建物床面積の算定に用いた。図5に全国における1913-2003年までの現存建物床面積と2004-2060年までの建物床面積推定曲線、および用いた総人口統計値および予測値（右目盛）を重ねて示す。

図から 2003 年までの構造別現存建物床面積は総人口の増大とともに増加してきたことがわかる。現在一人当床面積は既に欧米並み（住宅だけで約 41.5m²/人）となっており、それが今後有意に増大していかない限り、人口減少に伴い将来の現存建物床面積は減少すると仮定した。図 5 から 2060 年における建物床面積は 2003 年の約 7 割にまで減少すると推測される。その減少傾向の予測近似式を図 5 中に示しているが、2003 年における既存建物面積と近似曲線のピークを繋ぐところでは、急変しないように調整している。図 6 は、2003 年に現存する建物（現存ストック）が経年残存率に従って廃棄されていくとした場合の床面積の変化を示しており（旧：旧耐震；新：新耐震）、現在の寿命曲線が不変なら 2030 年以降旧耐震建物は殆どなくなり、その時期は RC 造建物より S 造建物のほうが早いことが分かる。その際設定した仮定の変動が予測結果に与える変動量を求め、想定できる範囲内のパラメーター変動では結果の解釈に影響するような大きな違いは生じないことを確認した。なお今後平均寿命が年率 1% で延長していった場合には S 造以外は 2050 年以前に新築市場が消滅するという予測となった。

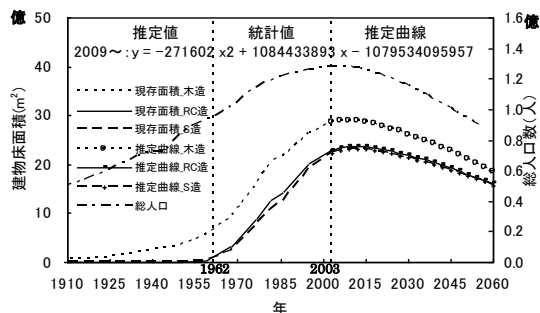


図 5 全国現存建物床面積、総人口および床面積推定曲線

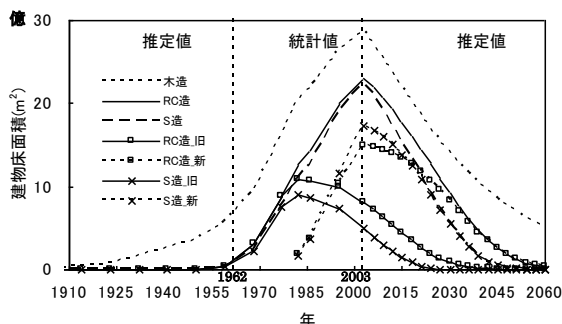


図 6 2003 年に現存する建物が残存率に従って変化した場合の建物床面積の構造変化

(4) 時系列地震被害の総量予測

時系列建物被害率とここで得られた時系列建物床面積から大破建物床面積を時系列的

に推定したところ、大破建物床面積は地震発生時期によって大きく変化することが分かった。図 7 に時系列的な建物大破率およびそれぞれの年に対応する各市町村の現存建物床面積（太棒）から得られた大破建物床面積を構造毎、建築年代別にして示す（細棒）。図 8 に 2036 年の強震動と時系列建物面積による被害予測を示し、図 9 に時系列被害率と 2003 年における現存建物床面積による被害予測結果を示す。以上の結果から、南海地震の発生する時期が遅くなるほど大破床面積は大きくなり、2045 年まではほぼ直線的に増大するが、2045 年前後から頭打ち傾向となった。これは規模の増大に対して被害が増大する傾向と人口減に伴って被災対象建物数が減少する傾向が相殺するからである。しかし RC 造建物の場合は、その高い耐震性により当初は大破床面積が非常に少ないが、地震規模の増大に伴い被害発生市町村が増え、結果として発生時期が遅ければ遅いほど大きくなった。比較検討のために、地震規模が 2036 年のままであり、建物床面積だけが時系列変化する場合（地震規模不変モデル）による予測結果を求め、時系列大破建物床面積と比較したところ、2036 年より前に地震が発生した場合には、どの構造種別の建物においても被害予測結果は安全側に（被害を大きめに）評価することになること、一方 2036 年以後に発生した場合にはそれとは逆に被害を少なめに評価してしまうことがわかった。従ってかなり将来の地震を予測するに当たっては規模の発生時期依存性を考慮に入れる方が安全側になる。また、建物床面積が 2003 年のままとして（建物ストック不変モデル）大破建物被害床面積を計算して、同じく時系列大破建物床面積と比較したところ、地震が遅くに発生するほど両者の差が大きくなることがわかった。非木造建物に関しては両者の差は殆ど旧耐震建物によるものであり、これまでの一人当り床面積や建物寿命が今後も大きく変わらないとすれば現存ストック量を用いた予測はかなり被害を過大評価すると考えられる。特に実際に居住に供する建物総量は今後の人口減に伴って減少することはほぼ確実であり、建物ストックの時系列予測を被害予測に組み込むことの重要性が指摘できる。

(5) 被害建物による環境負荷を評価

大破建物の解体、廃棄物運搬、建替に伴う CO₂ 環境負荷を推定し、また兵庫県南部地震による大破以上の被害率と中破被害率の比を用いて中破建物の修復に必要な CO₂ 環境負荷を算定した。図 10 に基準モデルによる構造種別対象建物の総床面積と被害による必要 CO₂ 負荷量・廃棄物量を示したが、木造被災建物の床面積は非木造被災建物より小さいにも関わらず、CO₂ 負荷量・廃棄物量は非木造建物

とほぼ同じであることがわかる。表 3、表 4 に環境負荷量を京都議定書（1997 年）に設定した削減年間目標値（目標値/5 年）及び 1990 年の全国産業廃棄物量と比較検討結果を示す。想定南海地震が 2009 年から 2060 年までの間に発生したとした場合、全建物による CO₂ 排出量は京都議定書に設定した年間目標値の 41%から 76%を占める結果になり、廃棄物量は 1990 年の全国産業廃棄物の約 4%から約 9%を占める結果になった。巨大地震による環境負荷の影響は無視するにはかなり大きく、特に本研究で実施した地震規模と建物ストックの時間依存性を考慮した時系列的な評価はその長期的な対策立案に適しているといえる。

5. 主な発表論文等
〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ① 那仁満都拉、川瀬 博、時系列的な建物被害率評価- 巨大地震被害予測スキームを用いた時系列被害予測とその環境負荷評価への応用に関する研究 その 1 -、日本建築学会構造論文集、Vol.74, No.636、pp253~258、2009 年、査読の有

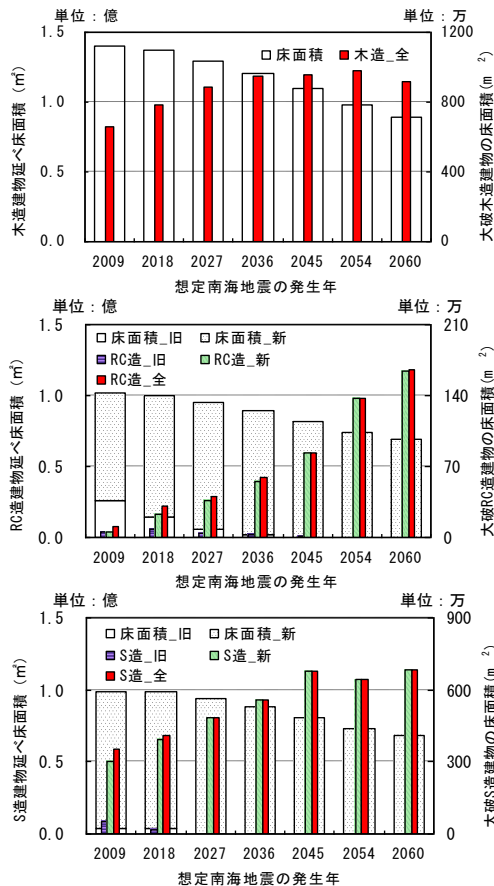


図 7 構造種別ごとの時系列建物床面積の推移とそれに時系列建物被害率を考慮して求めた大破建物床面積

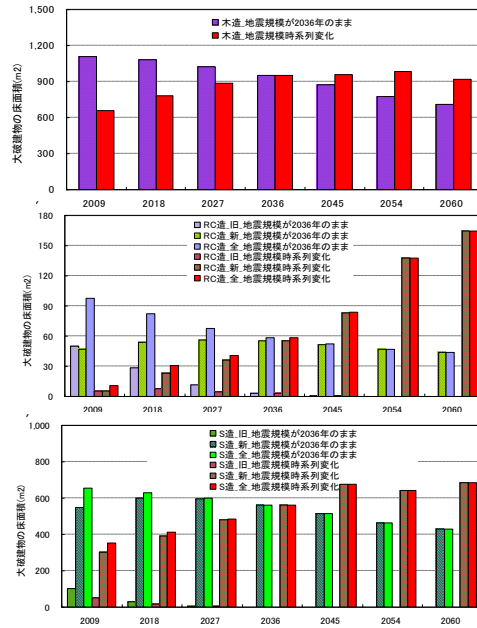


図 8 地震規模が時間依存する場合（右側）としない場合（左側）による大破建物床面積の地震発生時期による違い

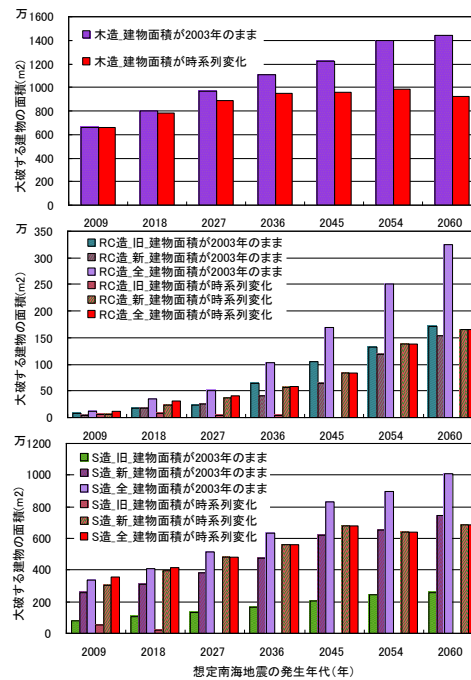


図 9 建物床面積が時系列変化する場合（右側）としない場合（左側）による大破建物床面積の地震発生時期による違い

表 3 中破・大破建物による CO₂ 量の比率

中破・大破建物によるCO ₂ 量 / (2008-2012年6%削減目標値/5年) * 100%							
年代	2009	2018	2027	2036	2045	2054	2060
木造建物	23%	27%	31%	33%	33%	34%	32%
RC造建物	1%	2%	2%	3%	5%	8%	10%
S造建物	18%	21%	25%	29%	35%	33%	35%
全体建物	41%	50%	58%	65%	72%	75%	76%

表4 中破・大破建物による廃棄物量の比率

中破・大破による廃棄物量／1990年の全国産業廃棄物量*100%							
年代	2009	2018	2027	2036	2045	2054	2060
木造建物	2.4%	2.8%	3.2%	3.4%	3.4%	3.5%	3.3%
RC造建物	0.1%	0.4%	0.6%	0.8%	1.2%	1.9%	2.3%
S造建物	1.6%	1.9%	2.2%	2.6%	3.1%	3.0%	3.1%
全体建物	4.1%	5.1%	6.0%	6.8%	7.7%	8.4%	8.8%

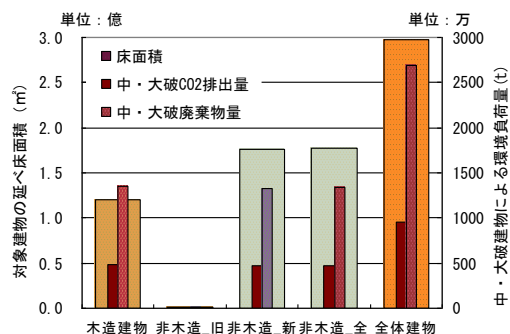


図10 対象建物の床面積(左)と想定被害による構造種別環境負荷量と廃棄物量(右)

- ② 那仁満都拉、川瀬 博、時系列的な建物被害率評価-巨大地震被害予測スキームを用いた時系列被害予測とその環境負荷評価への応用に関する研究 その1-、日本建築学会構造論文集、Vol.74,No.636、pp253～258、2009年、査読の有
- ③ 包 那仁満都拉、川瀬 博、想定南海地震の予測被害率から推定される環境負荷とそれに対する耐震施策の与える影響、日本地震工学会総合論文誌、No.6、pp87～93、2008年、査読の有
[学会発表] (計5件)
- ① 那仁満都拉、時系列を考慮した巨大地震被害予測スキームの提案、日本建築学会、2008年9月18日、広島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

包 那仁満都拉 (HO NARENMANDULA)

研究者番号：30432876

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()