八代市およびその周辺地域の日奈久断層系による地震被害想定

DAMAGE PREDICTION OF YATSUSHIRO CITY AND ITS VICINITY
DUE TO A HYOPTESIZED HINAGU FAULT EARTHQUAKE

川瀬 博*, 増田有周**

Hiroshi KAWASE and Arichika MASUDA

We estimate building damage in Yatsushiro City and its vicinity by using predicted strong motions for hypothesized rupture scenarios along the Hinagu fault and our vulnerability functions. Since the basin structure of the target area was not constructed yet, we estimate it based on boring databases and S-wave velocity structures determined by H/V ratios of microtremors at several points inside the basin. Assuming shallow and deep basin structure we use our hybrid simulation technique to estimate broadband strong motions and building damage by using both nonlinear models and vulnerability functions. The result of our simulation shows that we have to prepare for a severe disaster along the hypothesized fault in Yatsushiro City.

Keywords : Hybrid method, basin structure, strong motion prediction, damage prediction, vulnerability function

ハイブリッド法, 盆地構造, 強震動予測, 被害予測, 被害関数

1. はじめに

都市防災研究において、内陸直下型地震における建物被害を想定するためには、地震動を精度よく推定することが必要となる。地震学的知見を生かした定量的な強震動予測に関する研究は兵庫県南部地震以降急速に発展を遂げ、低周波数から高周波数までの広周波数帯域の予測にはハイブリッド法が優れていることが多く報告されている^{1)~3)}。しかしこれらの結果はその多くが過去の地震の再現を試みたものであり、未だ発生していない地震の予測例の報告は、政府の地震調査研究推進本部が実施中のものを除くと極めて限られているのが現状である⁴⁾など。我々は、統計的グリーン関数法(以下 SGFM)と三次元有限差分法(3D-FDM)を組み合わせたハイブリッド法を用いて、福岡市直下を横切る警固断層による強震動評価を行い⁵⁾、さらに兵庫県南部地震の被害統計で校正した被害予測用建物群モデル⁶⁾~⁸⁾を用いて発生被害の予測を行った⁹⁾。その結果、万一活動した場合には福岡市街中心部に大きな被害が出るであろうことを予測している。しかし、この警固断層の活動度はB級とC級の間際のレベルで、今後30年間に発生する確率は0.4%と見積られている。

これに対して、2002年5月に地震調査推進本部の発表した熊本県の布田川一日奈久断層帯の地震発生確率(長期評価)は、今後30年以内で最大6%とされており¹⁰⁾、不確実性はあるものの日本の活断層の中でも「地震発生確率の高いグループ」に属する。この発生確率は九州ではこれまでのところ最大であるにもかかわらず、未だこの地震に対する被害推定はなされていない。そこで我々は同じハイブリッド法によりまず強震動評価を行い、それを用いて熊本市および八代市域の建物被害率を予測することにした。その際、兵庫県南部地震の被害率から評価された被害予測用建物群を用いて得られた被

害関数¹¹⁾を用いて、建物種別毎に簡便に広域の被害想定を行い、詳細評価の場合と比較してその得失を論じた。

2. 方法

内陸直下型地震による建物被害を想定するためには、地震動を精度よく推定し、その地震動によって受ける建物被害を定量的に推定する必要がある。本研究では、北部・中部・南部の3セグメントのうち、動く確率の高いとされている日奈久断層中部付近の、熊本市・八代市、およびその周辺地域を被害想定領域として設定し、まず統計的グリーン関数法(SGFM)と3次元有限差分法(3D-FDM)のハイブリッド法により強震動評価を行う。この予測強震動波形を用いた被害予測に関しては長戸・川瀬^{6)~8)}により、兵庫県南部地震の被害率(以下本論文でいう被害率とは大破・崩壊率)と松島・川瀬¹²⁾の求めた再現強震動から、被害予測用の建物群モデルがRC造、鉄骨造、木造建物について構築されているので、このモデルに観測強震動を入力して地震応答解析を行い、熊本市・八代市およびその周辺地域での建物被害率を求めるとともに、強震動の強度指標と対応させて構築した被害関数¹¹⁾によっても被害率を求め、上記の応答解析から求めた被害率と比較し考察する。

3. 強震動評価

最初に日奈久中部断層による強震動を評価する。ここで用いたハイブリッド法は中道・川瀬(2002)⁵⁾と同じもので、理論的計算に用いる三次元盆地構造と統計的グリーン関数法に用いるS波速度1km/secより上の一次元構造が必要となる。さらにハイブリッド合成をしたあとと表層の増幅を考慮するために表層構造も必要となる。

* 九州大学人間環境学研究院 教授・工博
** 清水建設(株) 工修
(元 九州大学大学院)

Prof., Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., Dr. Eng.
Shimizu Corporation, M. Eng.
(Graduated from Kyushu Univ.)

以下では、まず強震動評価に必要な地盤モデルと震源モデルについて記述し、そのモデルによって得られた予測強震動を示す。

3.1 解析対象領域の設定

対象とする領域は、日奈久断層に沿って平野部が広がっている西側の地域とし、熊本市から八代市に及ぶ地域とする。基準点を緯度(32.402°)、経度(130.286°)に取り、この点から北に64km、西に26.4kmの領域を設定して、断層に平行になるよう北から時計回りで35.06°回転させた領域とする。この領域の長さは、ディレクティブティが顕著に現れる大振幅地域が含まれるように、断層全長に前後8km程度を加えたものとし、また人口密度の高い熊本市中心部が含まれるように領域の幅と位置に配慮した。なお解析領域の全体サイズは3次元FDMの計算時間で制約され、少なくとも深さ20kmまではモデル化することから、2003年時点ではこのサイズ(解析メモリで約6GB)が我々にとってほぼ限界となっている。

日奈久断層中部は3セグメントにモデル化する。北部(北端: 32.722° N, 130.786° E、南端: 32.581° N, 130.710° E、長さ: 約17.1km)、中部(北端: 32.578° N, 130.701° E、南端: 32.487° N, 130.637° E、長さ: 約11.7km)、南部(北端: 32.487° N, 130.637° E、南端: 32.379° N, 130.510° E、長さ: 約17.0km)と仮定し、北から南まで総延長約46kmの断層として設定した。断層の設定にあたっては新編「日本の活断層」¹³⁾および地震調査研究推進本部の情報¹⁰⁾を参考とした。解析対象領域を図1に示す。

図1 解析対象領域と日奈久断層

3.2 地盤構造の推定

日奈久断層における強震動予測のため地盤構造を推定する。我々は2002年9月29日と30日に、熊本八代平野において常時微動計測を行った。この微動観測記録を解析し、地盤のH/Vスペクトルを求める。近年、単点観測データのH/Vスペクトルの周期特性をRayleigh波の理論H/Vに合わせることで地盤構造を推定する研究成果が発表されており^{14) 15)}、ここでもその方法を用いる。まず八代平野の基準S波地盤構造を設定する。表層地盤についてはK-NET観測点KMM012(八代市役所)と相似な構造を全域に仮定し、深層地盤については同じような地盤環境と推定されるKiK-net観測点KMMH16(益城)の構造を参照速度構造として用いる。

微動計測の結果から1秒以下の短周期成分のH/Vのピークは顕著

だったものの長周期成分についてはその振幅レベルが低く、ピークがはっきりしなかったため、川瀬・原田(2002)¹⁶⁾が得たKMM012地点での地震波の coda 部分(S波よりもずっと後の表面波部分)によるH/Vを使って深層地盤の層厚を求め、一方表層地盤については我々の微動計測で得た微動のH/Vを使って、まずKMM012における地盤のS波速度構造を求めた。そのフィット状況を図2に、求めたKMM012のS波速度構造を図3に示す。なおここで理論のH/VはVのゼロ点でピークとなるので振幅は無限大となるが、観測値では有限となっている。この速度構造を基準として実施した微動観測点各点の地盤

図2 KMM012(八代市役所)におけるコーダ波と微動のH/VとRayleigh波の理論H/V比との比較

図3 KMM012における推定した基準地盤構造

図4 常時微動計測の観測点

YAT003

YAT005

図5 八代市内の微動観測点におけるH/Vと理論H/Vの比較

盆地の地盤構造			
P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	層厚比
1420	530	1.91	0.04
1779	680	1.91	0.51
2500	1157	1.91	0.45

表層地盤 熊本平野			
P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	層厚比
700	100	1.6	0.14
1100	200	1.7	0.28
1420	300	1.8	0.58

表層地盤 八代平野			
P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	層厚比
720	165	1.7	0.64
1420	310	1.8	0.36

図6 $V_s=2,700\text{m/s}$ の層の上面深さ(m)と推定地盤構造

構造を推定した。図4に実施した八代市の微動観測点位置を、図5にそのH/Vのフィット状況の例を2地点について示す。

これらの結果と、防災科学研究所の深部地盤モデルの資料¹⁷⁾、地震調査推進本部の深部構造の情報¹⁸⁾、および(社)熊本県地質調査業協会で収集したボーリングデータ、PS検層データを参考にして解析領域における地盤モデルを構築した。得られた盆地構造の深さコンターと速度構造を図6に示す。ここで各層の層厚は盆地の深さに比

Asperity NO	$M_0 \times 10^{18}$ ($\text{N} \times \text{m}$)	SIZE ($\text{km} \times \text{km}$)	D0 (m)	Dip	C	N	τ (sec)
1	0.62	4.5×5	0.85	90°	0.9	2	0.6
2	1.07	4.5×5	1.47	90°	1.56	2	0.6
3	2.59	8×10	1	90°	0.53	5	0.6
4	4.83	8×10	1.9	90°	1.01	5	0.6

図7 松島・川瀬の震源モデルに準拠したシナリオ1&2 (C, N, τ は応力降下量比、時間軸の重ね合わせ数、およびすべりの継続時間で、統計的グリーン関数法でのみ使用)

図8 日奈久断層全体に分布させたシナリオ3&4

例させており、図にはその層厚比を示した。なお表層地盤の減衰は2%とし、深部地盤には速度に応じた振動数反比例型減衰を与えた。

3.3 震源モデルと破壊シナリオ

これまでの研究によって、定量的被害予測のためには震源破壊の不均一性を考えることが不可欠であることがわかっている。ここでは、最近50年間に於いて最大の被害をもたらした兵庫県南部地震の震源破壊過程を中規模内陸地震の典型として考え、その神戸側セグメントの震源破壊モデルである松島・川瀬(2000)¹¹⁾の4アスペリティモデル(図7)を基本的な破壊シナリオと設定した。その断層の南端を震源(発震点)として同じ4アスペリティを仮定した場合(Scenario1)、同様に北端を震源とした場合(Scenario2)、南端を震源とし4アスペリティを断層全体に分布させた場合(Scenario3)、同様に北端を震源とした場合(Scenario4)の4シナリオを考え、さらにこれらのアスペリティ配置はそのままにして破壊開始点を第3アスペリティと第4アスペリティの間にしたScenario5~Scenario8を設定した。この8シナリオ全てに対し、日奈久断層がかなりの上下オフセット(正断層成分)を伴っていることから、各シナリオのすべり角を縦ずれと横ずれが1:1となる 135° としたScenario1d~Scenario8dを設定し、都合16シナリオの強震動評価を行った。なお、すべり角がある場合には放射特性が変化し、純横ずれの場合よりも直上での地震動が増大することがあるので検討の対象としたものである。

3.4 予測強震動

中道・川瀬(2002)¹⁾は、高振動数域をSGFMで、1.75Hzよりも低振動数域を3D-FDMで計算し、それらを組み合わせるハイブリッド法を用いて兵庫県南部地震による強震動の再現および仮想福岡地震の強震動予測を行い、良好な結果を得ている。本研究でもこれと同じ手法で、解析領域を400mのメッシュに細分し(ただしFDMのメッシュは80m)各メッシュの中心点の強震動を評価した。SGFMでは伊藤・他¹⁹⁾が抽出した統計的経時特性とスペクトル特性に基づき、

まず $V_s=1,070\text{m/s}$ の露頭層での波形を計算し、さらに本論文において工学的基盤と見なす $V_s=530\text{m/s}$ の層の波形を一次元重複反射理論により計算した。3D-FDM も $V_s=530\text{m/s}$ の層までモデル化して Graves (1996)²⁰⁾ の FDM コードで計算し、そのレベルでマッチング周波数を 1.75Hz としてハイブリッド合成を行い、最後に図 6 右に示した熊本・八代平野の表層地盤構造をもとに、地表面波形を再び一次元重複反射理論で計算した。なおこれら一次元重複反射理論の計算では入射角の影響は小さいとしてすべて鉛直入射を仮定している。最も広域に大加速度領域が分布した Scenario 3 を代表として、その最大加速度 PGA および最大速度 PGV の分布および代表地点(八代市役所と熊本市役所)での速度波形、加速度フーリエスペクトルを図 9・図 10 に示す。この図から、断層に近い八代市役所では 100cm/sec を超える卓越振動数約 1Hz の大振幅速度パルスを生じることがわかる。これは予測強震動が兵庫県南部地震での観測強震動と同じ性質を有しているということを意味しており、同じアスペリティを仮定した当然の帰結であるが、Scenario3 では分布を幅広くしたことにより、最も近接した第一アスペリティからのパルスが最大振幅となり、他のアスペリティからの寄与が相対的に小さくなっているという特徴が得られている。また盆地の深さも神戸より浅いので表層の影響で 2Hz 付近が卓越している波形となっている。

震源プロセスの違いによる影響を見るために全 16 シナリオによ

図 9 Scenario3 の PGA(左: gal) と PGV(右: cm/sec) 分布

図 10 Scenario3 の予測強震動特性(上: 八代市役所 下: 熊本市役所)

図 11 八代市役所における工学的基盤上での速度波形 (cm/sec)
(上から順に Scenario1~16, 青が FN=S55° E, 赤が FP=N35° E)

る八代市役所での工学的基盤上での予測波形を比較して図 11 に示す(表示した値は断層直交成分の PGV)。この図からシナリオによって波形にはかなりの違いが生じるが、多くの場合大振幅速度パルスが生成されることがわかる。Scenario9~16 の縦ずれ成分を有する場合は、観測点近傍のアスペリティからの寄与が、特に断層直交(FN)成分において、大振幅のパルスとなって現れることがわかる。

4. 被害関数

解析領域が広域にわたり、かつシナリオの数が大量である今回のシミュレーションの場合、長戸・川瀬^{6)~8)}が求めた実耐力分布を反映した建物モデル群の非線形応答解析に基づいて被害を予測することは大きな計算負荷となる。これは長戸・川瀬モデルでは、1地点につき1建物種別毎に12棟の建物群の応答解析を行なう必要があり、その建物種別も15種類に及ぶからである。この計算負荷を軽減するため増田・他(2000)¹²⁾の作成した長戸・川瀬モデルの予測被害に適合した被害関数も用いて簡便に被害を予測し、精算解と比較することとした。増田・他(2000)¹²⁾では被害関数に用いる地震動強度指標として、確率紙上での相関性および兵庫県南部地震の被害再現性に基づいて、最大加速度と最大速度を掛け合わせたPGA*PGVもしくは計測震度(河角の式で震度を計算する前のフィルター波の最大加速度 A_0)を用いることを推奨している。その被害関数を図12~14に示す。ここでPGA*PGVはパルス幅あたりのエネルギーに相当する物理量であり、 A_0 とよく対応する¹²⁾。

なお、長戸・川瀬の被害予測建物群モデルもそれに基づいた被害関数も、兵庫県南部地震の神戸市域の観測被害率から求めたもので、それを熊本地方の建物に適用してよいかという所謂地域性の問題はある。それについては最近耐震診断の際に得られる I_s 値を地域係数0.9の地域と1.0の地域で比較したところ、有意な差はなかったことが報告されている²¹⁾。

図12 長戸・川瀬モデルから構築したRC造建物の被害関数

左：旧耐震(1981年以前) 右：新耐震(1981年以前)

図13 長戸・川瀬モデルから構築した鉄骨造建物の被害関数

左：旧耐震(1981年以前) 右：新耐震(1981年以前)

図14 長戸・川瀬モデルから構築した被害関数

木造物被害関数 年代区分なし

5. 被害予測結果

ここでは熊本および八代平野において最も広い範囲で高い地震動レベルが得られたScenario3を中心に被害予測結果を示す。まず予測強震波形を入力とし、長戸・川瀬モデルで400m間隔の格子上の各点において12棟の耐力の異なる建物について非線形応答解析^{6)~8)}をし、各建物種別ごとの被害率分布を計算した。その結果を図15に示す。一方、同じ予測強震動波形の最大値指標(PGA*PGVおよび A_0)を被害関数に入力し、建物種別ごとの被害率を求め比較した(図16・図17)。ここでRC造と鉄骨造建物については、最も数が多いと予想される旧耐震3F建(2階建~4階建を代表する)の計算結果のみを示す。RC造を除いて、かなりの被害が見られる。特に木造建物では、八代平野において、断層近傍であること、破壊が進行する方向で地震波が重なり合うことによって振幅が増大するディレクティブティの影響をまともに受けること、および盆地端部で生成される盆地生成表面波と回折波が下方から伝播してきたS波と増幅の干渉を起こすことによって「エッジ効果」が生じることから、計測震度でも見ても6.5以上の領域が生じており、その広い範囲で木造家屋が20%以上倒壊するという結果となっている。これに比べると熊本市内では最大アスペリティNo.4の影響から、計測震度で6.0以上の領域が一部に生じているものの、その予測被害レベルはかなり小さい。

図15と図16・図17から、RC造・鉄骨造では被害関数の予測はやや過大であることがわかる。これは図12・図13に示したように、被害関数構築の際のデータに大きな被害を出せる地震動が相対的に少なく、同定された関数が外挿傾向となっていることに起因するものと推定される。長戸・川瀬モデルの予測被害率によりフィットさせるためにはここで計算した予測強震動を含む大振幅記録を用いて被害関数を再構築する必要がある。長戸・川瀬モデルを用いた被害関数の構築においては、そのようにリアリティのある大振幅入力を用いて、広い被害レベルまで有効な被害関数を求めることが可能である。しかし、通常の実被害から求める被害関数ではその予測範囲の上限は実被害レベル、すなわち高々30%程度に留まるので、ここで見られたのと同様の外挿に伴う誤差の問題が生じるものと推定される。なお、増田・他の被害関数から推定した被害率と長戸・川瀬モデルで計算された被害率の相関係数を求めると、それぞれ3種類の建物に対して表1のようになり、増田・他の提案した被害関数の適応性もある程度は確保されていることがわかる。またその適応性はPGA*PGVと A_0 でほとんど優劣つけ難いことがわかる。なお、建物種別ごとのデータへの適合度(パラツキ)を見ると図12のRC造よりも図13の鉄骨造の方が適合度は低めとなっている。一方相関係数

図 15 長戸川瀬モデルで予測した Scenario3 の被害率分布 (一番左は計測震度分布)

図 16 A_0 を指標とする被害関数で予測した Scenario3 の被害率分布 (一番左は計測震度分布)

図 17 $PGA*PGV$ を指標とする被害関数で予測した Scenario3 の被害率分布 (一番左は $PGA*PGV$ 分布)

図 18 A_0 を指標とする被害関数で予測した Scenario1 の被害率分布 (一番左は計測震度分布)

図 19 A_0 を指標とする被害関数で予測した Scenario11 の被害率分布 (一番左は計測震度分布)

は RC 造の方が低くなっており、必ずしもデータに対する適合度だけでは被害関数の精度が論じられないことがわかる。木造建物の相関が良好な点を考え合わせるとむしろデータ点数が豊富な場合には良好な関数が同定されるのではないかと推察され、今後詳細に検討したい。

表 1 被害率分布の相関係数

地震動強度指標	RC造3F 旧耐震	鉄骨造3F 旧耐震	木造
計測震度(A_0)	0.566	0.730	0.877
PGA+PGV	0.582	0.739	0.814

図 18 には震源が松島・川瀬モデルと同じ Scenario1 の予測被害率 (A_0 被害関数による) 結果を、図 19 には同じく Scenario3 に縦ずれ成分を考えた Scenario11 の結果を示す。図 18 からアスペリティが密集している場合は被害も集中すること、図 19 から縦ずれ成分がある場合アスペリティ近傍のみで被害が大きくなるのがわかる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、九州地方では今のところ発生確率が最も高く、発生した場合にはその規模も大きな活断層である熊本県日奈久断層に対して、複数の震源破壊シナリオを考え、強震動を最も精度よく予測でき、その妥当性が既に検証されているハイブリッド法により深部および浅部地盤構造の影響を考慮して強震動波形を予測し、非線形応答解析モデルとそれから構築した被害関数に基づいて熊本・八代地域の建物の地震被害を予測した。ここでは示さなかった他のシナリオについては、多くの場合熊本平野での被害は Scenario 3 より少ないものの八代平野においては同程度か、場合によってはアスペリティの近傍でより大きな被害率が予測されている。またすべり角に縦ずれ成分を与えた場合には、アスペリティ近傍の最大速度振幅が純横ずれの場合に比べ大きくなるが全体の被害分布としては大振幅領域が限定されるので逆に小さくなるのがわかった。

本論文で明らかになったように、八代平野は断層近傍にあり、兵庫県南部地震の際の神戸市のように、断層の破壊伝播に伴う「ディ

レクティビティ効果」および盆地端部での波動干渉による「エッジ効果」の影響を大きく受ける可能性が高い。従って八代市東部地域の断層近傍においては、日奈久断層地震の発生に備えた十分な地震防災対策が必要であると考えられる。実際には八代平野の断層側端部はそれほど都市化されておらず、神戸市のような大規模な建物被害の集中は起こらないものと考えてよいが、耐震化対策においてはこれらディレクティビティおよびエッジ効果の影響を考慮した合理的な判断が重要である。

今後は、大入力時の被害関数の精度を向上させて簡便に、しかし高精度に広域の被害予測ができるようにするとともに、この地域の実在建物ストックを調査して想定すべき被害の全貌を明らかにしていきたいと考えている。

今回行った物理モデルに基づいた一連の被害予測手法は、震源プロセスや地盤構造、被害予測計算のそれぞれの段階において、多くのパラメータを必要としている。我々のアプローチは物理モデルに基づくものである、そのパラメータは明解に規定されており、より確度の高い情報が得られればいつでもそれを反映させることが可能である。現在用いているモデルはそのパラメータの多くを兵庫県南部地震での観測事実や解析結果から得ているが、我々はモデルの開発と平行して検証作業も鳥取県西部地震²²⁾ ²³⁾や台湾集集地震²⁴⁾などを対象に行ってきており、それらの地震においても観測事実と対応する結果が得られている。しかし、今後とも検証作業を通して必要があれば随時新たな情報を強震動予測モデルや被害予測モデルに反映していきたい。

謝辞

本研究には Robert Graves 博士の FDM コードを使わせて頂いた。また熊本・八代地域のボーリング情報は田尻雅則氏(双葉工務店)を通して(社)熊本県地質調査業協会より借用した。記して感謝の意を表する。なお本研究は文部科学省振興調整費「地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究」(研究代表者:入倉孝次郎)の研究資金によって実施したものである。

参考文献

- 入倉孝次郎・釜江克宏: 1948 年福井地震の強震動-ハイブリッド法による広周期帯域強震動の再現, 地震, 第 2 輯, 第 52 巻, 129-150, 1999.
- 川瀬博・松島信一: 半経験的方法・理論的方法およびそれらのハイブリッド合成法による強震動評価-兵庫県南部地震の場合-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B2, 171-172, 1998. 9.
- 佐藤俊明・壇一男: 1923 年関東大地震 ($M_s=8.2$) の断層の非一様すべり破壊を考慮した 3 次元差分法と半経験的波形合成法のハイブリッドによる東京における広帯域強震動シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B2, 173-174, 1998. 9.
- 早川崇: 名古屋市における強震動予測事例, 一濃尾平野の 3 次元堆積盆地モデルの作成と適用一, 地盤震動シンポジウム, 日本建築学会地盤震動小委員会, 2003. 10.
- 中道聡・川瀬博: 福岡市における三次元地下構造を考慮したハイブリッド法による広周期帯域強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 560, 83-91, 2002. 10.
- 長戸健一郎・川瀬博: 建物被害データと再現強震動による RC 造建物群の建物予測モデル, 日本建築学会構造系論文集, 544, 31-38, 2001. 6.
- 長戸健一郎・川瀬博: 鉄骨造建物群の被害予測モデルの構築, 日本建築学会構造系論文集, 559, 101-106, 2002. 9.
- 長戸健一郎・川瀬博: 観測被害統計と非線形応答解析に基づく木造建物被害予測モデルの構築と観測強震動への適用, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, 2002. 11.
- 川瀬博・長戸健一郎・中道聡: ハイブリッド法強震動予測結果に基づいた福岡市におけるシナリオ地震の被害予測, 構造工学論文集, Vol. 49B, 2003. 3.
- 地震調査研究推進本部, 布田川・日奈久断層帯の評価, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02may_futagawa/index.htm, 2002. 5.
- 松島信一・川瀬博: 1995 年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 534, 33-40, 2000. 8.
- 増田有周・長戸健一郎・川瀬博: RC 造建物の地震応答解析結果に基づく被害関数構築に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 558, 101-107, 2002. 8.
- 活断層研究会: [新編]日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会, 1995. 5.
- 時松孝次・新井洋・浅香美治: 微動観測から推定した神戸市住吉地区の深部 S 波速度構造と地震動特性, 日本建築学会構造系論文集, 491, 37-44, 1997. 1.
- Satoh, T., H. Kawase, T. Sato, and A. Pitarka: Three-dimensional finite-difference waveform modeling of strong motions observed in the Sendai Basin, Japan, Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 812-825, 2001.
- 川瀬博・原田裕之: K-NET 観測データから求めた P 波, S 波, coda 波の H/V スペクトル比と地盤増幅特性との関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2 分冊, p. 47, 2002. 8.
- 防災科学技術研究所: 基盤強震観測網 KiK-net, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>, 1997. 6.
- 地震調査研究推進本部: 布田川・日奈久断層帯の地震を想定した強震動評価について, http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/03jul_futagawa/index.htm, 2003. 7.
- 伊藤茂郎・久原寛之・川瀬博: K-net データから抽出した地震動の統計的性質とそれを用いた波形合成用グリーン関数の生成, 日本建築学会構造系論文集, 543, 37-44, 2001.
- Graves, R.W.: Simulation Seismic Wave Propagation in 3D Elastic Media Using Staggered-Grid Finite Differences, Bulletin of the Seismological Society of America, 86, 1091-1106, 1996.
- 高橋雅人・澤田幸司・藤井賢志・中埜良昭・真田靖士・岡田恒男: 既存鉄筋コンクリート造学校建築の耐震診断・耐震補強事例の分析, 第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2002. 11.
- 川瀬博・長戸健一郎: 鳥取県西部地震の震源域で観測された強震動とその構造物破壊能, 日本建築学会研究報告九州支部, 第 40 号・1 構造系, 221-224, 2001.
- 斉藤裕輔・川瀬博: 理論的グリーン関数を用いた鳥取県西部地震の震源モデルの構築, 日本建築学会九州支部研究発表会梗概集, 第 42 号・1 構造系, 253-256, 2003. 3.
- 川瀬博: 震源近傍における入力地震動評価, 第 28 回地盤震動シンポジウム, 震源近傍の強震動と設計用入力地震動, トルコ・コジャエリ地震, 台湾・集集地震の経験を踏まえて, 日本建築学会, 85-96, 2000.

(2003年11月10日原稿受理, 2004年4月8日採用決定)