

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06204

研究課題名(和文)連動型地震における被害進行を考慮した時系列的地震リスク評価手法の開発

研究課題名(英文)Chronological earthquake risk evaluation for the continuous earthquake in consideration of damage progress

研究代表者

池田 隆明(Ikeda, Takaaki)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：40443650

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文):現状の耐震設計や地震被害想定手法では、地震の連動による被害進行を考慮しておらず、単独の地震と同様に評価すると、地震被害を過小評価する恐れがある。そこで複数の震源破壊が連動する地震における被害の進行状況の把握が必要となる。そこで、大きい規模の地震が連続した2016年熊本地震を対象に航空写真から住宅被害の推定を行い、さらに最初の震度7の地震と二番目の震度7の地震の後の被害状況を比較し、被害の進行状況の評価した。また、連動型地震の震源特性を明らかにするため、経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリング法により、二番目の震度7の地震の震源モデルの構築を行った。

研究成果の概要(英文): Seismic design does not consider multiple motions. So it may underestimate earthquake damage against continuous earthquake. In the 2016 Kumamoto earthquake, 2 intense earthquakes of 7 on the Japanese seismic intensity occurred for a short span of time. So, the 2016 Kumamoto earthquake is regarded as a continuous type earthquake. We attempt damage assessment of the houses by using the aerial photographs after the earthquake. And we compare the house damage before and after the earthquake and estimate progress of the house damage. Furthermore, we make a source model of 2016 Kumamoto earthquake as a continuous earthquake by forward modeling using the empirical Green's function method. And we make a source model of 2016 Mid. Tottori earthquake of Mj6.6 and 2017 South Nagano earthquake of Mj5.6 for upgrade of the source modeling of the crustal earthquake.

研究分野：地震工学

キーワード：地震被害軽減 震源のモデル化 強震動予測 即時被害推定 経験的グリーン関数法 連動型地震 航空写真

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震では、複数の震源が連動して破壊したとされている。地震観測記録から大きな破壊だけでも3つの震源(震源A、震源B、震源C)の3つが時間差をもって連動したと考えられており、震源近傍の観測記録には震源Aと震源Bの破壊により生成された地震動が連続して記録されている。震源Aと震源Bの地震規模はMw7.9とMw8.1と推定されており、大規模地震が連続して発生したことになる。地震の連動は海溝型地震に限らず、中央構造線や糸川-静岡構造線でも想定されており、我国の地震防災上最も注意すべき地震の一つである。しかし、現状の耐震設計や地震被害想定手法では、地震の連動による被害進行を考慮しておらず、単独の地震と同様に評価すると、地震被害を過小評価する恐れがある。そこで複数の震源破壊が連動する地震における被害の進行状況の把握、さらに連動地震に対する地震被害評価手法が必要となる。

2. 研究の目的

将来発生する地震に対して、人命を守るとともに経済社会への被害を最小限に抑制し、被害からの迅速な回復力を備えた国土、経済社会システムを継続させるための予測・評価・対策技術を確立する必要がある。

従来の地震被害想定および耐震設計では、単一の地震動に対する検討が行われてきた。2011年東北地方太平洋沖地震のように複数の地震が連動するような地震は規模の大きい余震が続発した2004年新潟県中越地震等があるが、地震の連動に対する被害進行の把握を含め、被害の評価は行われていなかった。

本研究は、日本各地で発生する可能性があり、発生すると甚大な被害が想定される複数の震源が連動する地震の被害および震源特性の評価を行う。研究内容は連動型地震による被害進行の把握と、連動型地震の震源特性の評価で構成される。双方とも、ほぼ同じ領域で震度7の地震が2度発生するとともに震度6弱以上の地震が短期間に発生した2016年熊本地震での被害を対象に検討を行う。

3. 研究の方法

(1)連動型地震による被害進行の把握

2016年熊本地震では短期間に震度7の地震が2度発生し、二つの地震により住宅には甚大な被害が発生した。しかしながら、住宅被害が何時発生したのか、二度の震度7の地震によって被害がどのように進展したのかについては明らかにされていない。そこで、最初の震度7の地震(Mj6.5の地震)と二度目の震度7の地震(Mj7.3の地震)の直後に撮影された垂直写真から作成された正射投影画像を用いて建物被害の推定を行った。さらにMj6.5とMj7.3での被害を比較して、2つの地震による建物被害の進行状況を推定した。ここでは、建物被害が地震動による慣

性力により生じたと仮定し、建物の被害程度に応じ、屋根にも被害が発生すると考えられることから、屋根の被害を建物被害の指標とした。

(2)連動型地震の震源のモデル化

2016年熊本地震のうち、震度7を観測したMj7.3の地震の震源モデルを経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングで実施する。震源の不均一性は強震動生成域(SMGA: Strong Motion Generation Area)を断層面上に単数もしくは複数配置して考慮する。この手法はM7クラスの国内外で発生した内陸地殻内地震の不均一震源モデルに適用され、有効性が確認されている。地震動の評価対象地点が震源近傍であることから、既往の知見に従い、強震動はSMGAのみから生成されると考え、SMGA以外の背景領域は考慮しない。合成地震動との比較には観測記録に地盤の非線形性の影響が小さいKiK-netの地中観測地震動を使用する。

4. 研究成果

(1)連動型地震による被害進行の把握

検討対象地域は震度7を二度観測した益城町の中心部であり、図-1の赤枠内の1,987棟の家屋のうちブルーシートがかかっている1,813棟を対象とした。

建物被害が地震動による慣性力により生じたと仮定し、屋根の被害から建物被害の推定を試みた。建物被害の区分は岡田・高井(1999)の破壊パターンチャートを参考に被害なしから被害Rank-Dまでの5段階に区分し、屋根の損傷面積の割合により評価した。表-1に被害の判定結果を示す。Mj6.5の地震の後では65%の建物には被害が見られなかったが、Mj7.3の地震の後には被害がなかった家屋は50%に減少している。

表-2に被害の進行状況を示す。Mj6.5の地震の後、「被害なし」と判定した建物を分析すると、本震後に「被害なし」と判定されたものが78.1%、以下同様に「被害Rank-A」が14.9%、「被害Rank-B」が0.5%、「被害Rank-C」が0.1%、「被害Rank-D」が6.4%となった。このように、前震で被害を受けていない建物のうち、80%近くの建物は本震で再び震度7の揺れを受けても被害が生じていないと判定された。一方で、最も被害レベルが大きい「被害Rank-D」と判定された建物が6.4%みられた。前震で被害を受けていないにも関わらず、本震によって全壊相当の被害を受けたことには、地震動以外にも被害を引き起こす原因があると考えられる。そのため、建物の建築年代や構造による違いだけでなく、地形や地盤の特性などを考慮して、被害原因の検討が必要と考えられる。

(2)連動型地震の震源のモデル化

断層面は布田川断層を想定した1枚の断層面でモデル化する。断層面は余震分布、地表断層分布を参考に、断層面基準点の位置は32.9174N、131.0537E、走向235度、傾斜65

度とした．図-2 に設定した断層面を示す．
 経験的グリーン関数イベントとして使用する要素地震は4月16日11時02分頃に発生した余震（Mj4.4）を使用した．
 波形インバージョンの結果を参考に，震源の東北側のすべり量の大きい場所に SMGA を配置した初期モデルを作成し，合成波形と観測波形の一致度に基づき SMGA の位置や大きさ，破壊開始点を調整した．検討の結果，SMGA を震源の東北側に2つ設置した震源モデルを構築することができた．図-3 に震源モデルを示す．

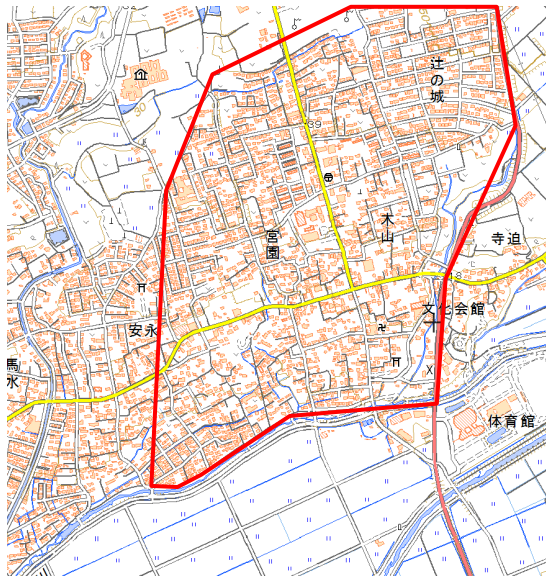


図-1 建物被害の進行の検討対象範囲

表-1 建物被害判定結果

被害判定	Mj6.5 後		Mj7.3 後	
	棟数	%	棟数	%
なし	1171	64.6	914	50.4
Rank A	467	25.8	360	19.9
Rank B	70	3.9	107	5.9
Rank C	40	2.2	76	4.2
Rank D	65	3.6	356	19.6
	1813	100.0	1813	100.0

表-2 建物被害の進行

Mj6.5 後	Mj7.3 後				
	なし	Rank A	Rank B	Rank C	Rank D
なし	78.1%	14.9%	0.5%	0.1%	6.4%
	914 棟	175 棟	6 棟	1 棟	75 棟
Rank A	-	39.6%	18.6%	10.7%	31.0%
		185 棟	87 棟	50 棟	145 棟
Rank B	-	-	20.0%	28.6%	51.4%
			14 棟	20 棟	36 棟
Rank C	-	-	-	12.5%	87.5%
				5 棟	35 棟
Rank D	-	-	-	-	100.0%
					65 棟

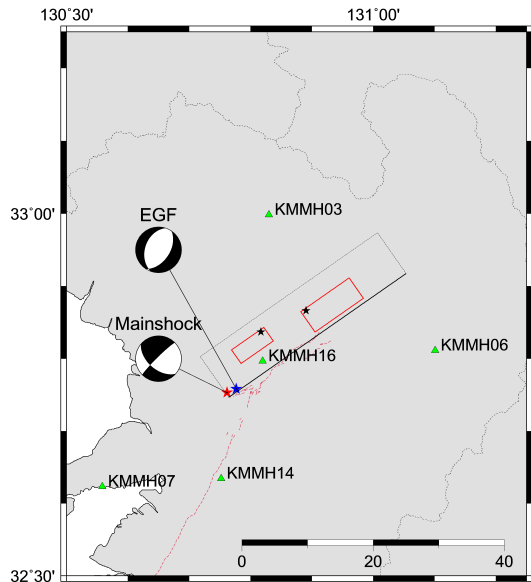


図-2 2016年熊本地震(Mj7.3)の想定断層面

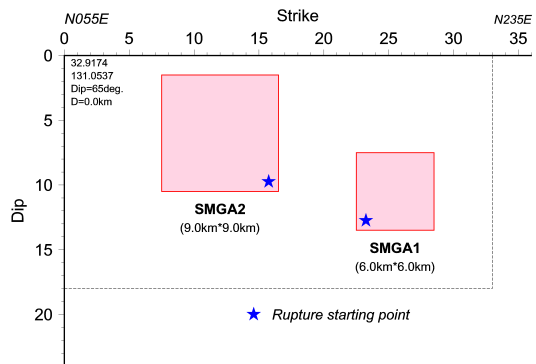


図-3 2016年熊本地震(Mj7.3)の震源モデル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計20件)

池田隆明, 小長井一男, 清田隆: 2016年熊本地震の震源近傍の地震被害と震源モデルの構築, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No. 4, pp. I_970-I_980, 2017. 【査読】

Takaaki IKEDA, Kazuo KONAGAI and Takashi KIYOTA: Preliminary report of geotechnical and structural damage along the surface rupture in Nishihara Village caused by the April 16th, 2016 Kumamoto earthquake, JSCE Journal of Disaster FactSheets, FS2016-E-0004, 2016. 【査読】
 池田隆明, 小長井一男, 釜江克宏, 佐藤京, 高瀬裕也: 2014年長野県北部の地震の被害調査と震源のモデル化, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No. 4, pp. I_975-I_983, 2016. 【査読】

池田隆明, 釜江克宏, 小長井一男, 高瀬裕也: 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域を対象とした地震規模の推定, 土木学会論文集 A1, Vol.71, No. 4, pp. I_855-I_864, 2015. 【査読】

小島由記子, 内田至, 池田隆明, 対島宏洋: 航空写真を用いた2016年熊本地震に

よる益城町の建物被害進行状況の分析，土木学会論文集 A1, Vol73, No.4, pp.I_949-I_958, 2017. 【査読】
Konagai, K., Shiga, M., Kiyota, T. and Ikeda, T.: Ground deformation built up along seismic fault activated in the 2016 Kumamoto earthquake, 土木学会論文集 A1, Vol73, No.4, pp.I_208-I_215, 2017. 【査読】
Kiyota, T., Ikeda, T., Konagai, K. and Shiga, M.: Geotechnical Damage Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan, International Journal of Geoenvironment Case Histories, Volume 4, Issue 2, pp.78-95, 2017. 【査読】
清田隆，池田隆明，合田且一朗，Rama Mohan POKHREL, Gabriele CHIARO, 片桐俊彦：2015年ネパール・ゴルカ地震による道路の地盤災害調査報告，土木学会論文集 A1, Vol.72, No. 4, pp.I_934-I_939, 2016. 【査読】
Konagai, K., Pokhrel, R. M., Ikeda, T., Shiga, M. Rahman, Md. A. and Okuda, H.: Follow-up report of damage caused by the Gorkha Earthquake, Nepal, of April 25th, 2015, FS2016-E-0002, Journal of Disaster FactSheets, 2016. 【査読】
池田隆明，小島由記子，高瀬裕也，佐藤京：経験的グリーン関数法を用いた 2017年長野県南部の地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション，断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム論文集，土木学会，CD-ROM, 2017.
池田隆明，染井一寛，倉橋奨，宮腰研，釜江克宏，高瀬裕也，小島由記子：経験的グリーン関数法を用いた 2016年鳥取県中部の地震の震源のモデル化，第37回地震工学研究発表会概要集，1184, 2017.
池田隆明，小長井一男，清田隆：2016年熊本地震の震源近傍の被害調査と震源のモデル化，第36回地震工学研究発表会講演論文集，A24-1019, 2016.
池田隆明，小長井一男，釜江克宏，佐藤京，高瀬裕也：2014年長野県北部の地震の被害調査と震源のモデル化，第35回地震工学研究発表会講演論文集，A22-794, 2015.
志賀正崇，小長井一男，Pokhrel R. M., 池田隆明：2015年ネパール・ゴルカ地震による高速道路盛土部とその周辺部の亀裂及び段差の発生原因に関する考察，第37回地震工学研究発表会概要集，1234, 2017.
小島由記子，内田至，池田隆明，対島宏洋：航空写真を用いた 2016年熊本地震による益城町の建物被害進行状況の分析，第36回地震工学研究発表会，A12-1032, 2016
佐藤京，小長井一男，池田隆明，西弘明：表層地盤の凍結が入力地震動に与える影

響，第36回地震工学研究発表会，C13-966, 2016.

紺野克昭：芝浦工業大学豊洲キャンパス内の地震記録に対する NIOM 解析，神戸大学都市安全研究センター，研究報告，第21号，2017.3.

〔学会発表〕(計4件)

池田隆明，高瀬裕也，小島由記子，2016年鳥取県中部の地震(Mj6.6)の震源のモデル化，土木学会第72回次学術講演会講演概要集，部門，2pp(CD-ROM)，2017.

池田隆明，釜江克宏，小長井一男，高瀬裕也：2014年長野県北部の地震(Mj6.7)の震源のモデル化，土木学会第70回年次学術講演会，部門，2pp(CD-ROM)，2015.

紺野克昭，三浦太郎，茂木秀則，西川貴文，藤野陽三：芝浦工業大学豊洲校舎の基礎スラブ上と支持基盤内の地震記録に対する NIOM 解析，土木学会第70回年次学術講演会，部門，2pp(CD-ROM)，2015.
渡邊敬土，金子陸，紺野克昭：強震計で得られた微動連続記録に対する地震波干渉法の適用性の検討，土木学会第73回年次学術講演会，部門，2pp(CD-ROM)，2018.(投稿中)

6. 研究組織

(1)研究代表者

池田 隆明 (Takaaki IKEDA)
長岡技術科学大学・工学研究科・教授
研究者番号：40443650

(2)研究分担者

紺野 克昭 (Katsuaki KONNO)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号：40276457

(3)連携研究者

清田 隆 (Takashi KIYOTA)
東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号：70431814

高瀬 裕也 (Yuya TAKASE)
室蘭工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号：30515911

(4)研究協力者

小長井 一男 (Kazuo KONAGAI)
横浜国立大学・教授(2013-2014)
研究者番号：50126471

釜江 克宏 (Katsuhiko KAMAE)
京都大学・原子炉実験所・教授
研究者番号：50161196