

シナリオ地震に基づく長野市の地震危険度について

和田彩花*1・古本吉倫*2・柳澤吉保*3

On the Seismic Risk of Nagano city
Based on Scenario Earthquakes

WADA Ayaka, FURUMOTO Yoshinori and YANAGISAWA Yoshiyasu

This study predicted the earthquake damage in Nagano city when the Sinanogawa-fault lines has been moved. This fault lines are located in the north area of Nagano Prefecture and serious damage in Nagano city is expected if the earthquake occurs. In this research, the firstly the seismic scales and the indexes of liquefaction on the ground are predicted based on earthquake scenarios which vary in the earthquake's magnitude. The secondly, the damage points of the road network, the number of collapse in a building and the casualties are estimated.

キーワード：信濃川断層帯, シナリオ地震, 道路構造物, 住家被害, 死傷者数

1. はじめに

長野県には活断層が多く存在しその中には糸魚川-静岡構造線断層帯をはじめとする活動度の高い断層も複数含まれている。そのため、長野県では内陸型の地震によって甚大な被害を受けると考えられる。2014年長野県北部の北安曇野郡白馬村を震源とする地震も、陸側のプレート(ユーラシアプレート)内部で発生する活断層が震源となるものであった。このような地震は、震源が地表に近いと、地震の規模が小さくても局所的に大きな被害をもたらす可能性がある。

兵庫県南部地震以降にこれらの活断層について国や県では被害想定が行われてきた¹⁾。各県で、当時最新の科学的知見に基づく地震現象及び今後の地震防災の基礎とすべく地震対策基礎調査が行われた。長野県では平成14年度に調査がなされ²⁾、次いで平成27年度には第三次報告書³⁾が提出されている。しか

し、市町村レベルでの詳細な被害想定が十分ではないのが現状である。

以上を考慮し本研究では、長野市に最も被害を及ぼすとされる信濃川断層帯⁴⁾を中心とする地震及びそれに伴って発生する液状化現象によって、寸断の恐れのある道路構造物、木造・非木造構造物の全半壊数及び死傷者数を、シナリオ地震に基づいて予測²⁾し、地域防災に役立てることを目的とした。具体的には、(1)長野市の主要な道路構造物が橋梁、盛土、切土・斜面の崩壊によって閉塞状態(通行可・通行制限・通行不可)となる被害確率の算出、(2)木造建物の全半壊数及び非木造建物の大中破数の算出(3)死者数、重軽傷者数の算出を行う。

2. シナリオ地震の設定

一般にシナリオ地震に基づく地震被害想定⁵⁾では、過去に被害をもたらした活断層や県内主要都市の被害が甚大になると考えられる活断層、活動度の高い活断層を選定する。本研究では長野市に最も被害を及ぼすとされる図1に示す信濃川断層帯を選んだ⁶⁾。ここで、正確な断層の破壊状態や位置を特定することは現状の技術では困難であるとして、破壊パター

*1 平成27年度卒業研究生(現長野高専専攻科)

*2 環境都市工学科教授

*3 環境都市工学科教授

原稿受付 2016年5月20日

ンを表1に示すとおり3つ用意しEMPRにより基盤地震動を算出する。次いで平成14年長野県地震対策基礎調査²⁾による地盤資料を基に、3つのシナリオパターンにしたがって、FDFL⁵⁾により地表の計測震度を求めた。



図1 長野県周辺の活断層²⁾

表1 シナリオ3パターンのパラメータ

シナリオ	破壊状態	想定M	断層長さ
A	断層全体	7.8	58km
B	南半分	7.3	29km
C	中南部	6.8	14.5km

表2 橋梁の震度階別被害確率²⁾

被害程度 耐震ランク 震度階	不 通		通行制限		通行可	
	S39年 S46年	S55年 H2年	S39年 S46年	S55年 H2年	S39年 S46年	S55年 H2年
5弱	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
5強	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
6弱	0.03	0.00	0.03	0.00	0.94	1.00
6強	0.12	0.00	0.13	0.02	0.75	0.98
7	0.14	0.02	0.14	0.04	0.72	0.94

表3 盛土の震度階別被害確率

被害程度 耐震ランク 震度階	不 通			通行制限			通行可		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5弱	0.16	0.00	0.00	0.25	0.28	0.00	0.59	0.72	1.00
5強	0.18	0.00	0.00	0.29	0.33	0.22	0.53	0.67	0.78
6弱	0.23	0.00	0.00	0.37	0.42	0.28	0.40	0.58	0.72
6強	0.29	0.00	0.00	0.45	0.52	0.34	0.26	0.48	0.66
7	0.44	0.00	0.00	0.56	0.80	0.53	0.00	0.20	0.47

表4 切土・斜面の震度階別被害確率

被害程度 耐震ランク 震度階	不 通			通行制限			通行可		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5弱	0.19	0.02	0.00	0.11	0.02	0.00	0.70	0.96	1.00
5強	0.22	0.05	0.00	0.13	0.02	0.01	0.65	0.93	0.99
6弱	0.29	0.06	0.01	0.16	0.03	0.02	0.55	0.91	0.97
6強	0.35	0.08	0.01	0.20	0.03	0.02	0.45	0.90	0.97
7	0.54	0.12	0.02	0.31	0.05	0.03	0.15	0.83	0.95

表5 計測震度別の建物被害率²⁾

計測震度	木造建物被害率(%)		非木造建物被害率(%)	
	全壊	半壊	大破	中破
5弱	0	0	0	0
5強	0	0.9	0.1	0.7
6弱	2.8	9.5	1.5	6.2
6強	16.4	21.2	8.4	16.3
7	30.5	16.6	13.9	15.9

3. 地震動及び液状化被害の想定

3-1 道路構造物の被害

本研究で道路構造物とは、「橋梁」「切土・斜面」「盛土」のことをいう。地震動による被害と液状化(PL値)による被害について、平成14年長野県地震対策基礎調査報告書を参考に被害確率を算出する。まず、地震動については強地震動予測法EMPRによって解析された震度と同報告書記載の橋梁、切土・斜面、盛土の震度階別被害確率表を用いる(表2、3、4)。また、東京都(1989)は、1964年新潟地震と1983年日本海中部地震の液状化被害をまとめて、大規模な液状化が発生した地域での全壊率は10%、半壊率は20%程度になると推定している。本研究では、PL値が15以上のメッシュを大規模な液状化地域として、そこでの被害確率を20%とした。理由は、構造物の半壊でも道路の通行に大きな支障を与えると考えられるとして安全側をとるためである。これらを考慮し、地震動による被害確率とダブルカウントしないように以下の式により集計する²⁾。

$$\text{被害確率} = \text{地震動による被害確率} + (1 - \text{地震動による被害確率}) \times 0.2 \quad (1)$$

3-2 住家被害・死傷者数の想定

「木造」「非木造」を対象に、報告書記載の表5に基づき、強地震動予測法EMPRで解析された計測震度よりそれぞれの全壊、半壊数を算出する。

ここで検討する被害形態は、地震動と液状化による破壊であり土砂移動現象(崩壊や地滑り等)に伴う建物損壊は考慮していない。備考として、長野県には多くの土砂災害危険箇所が存在しており、地震による土砂災害で建物被害が拡大する可能性がある。全壊、半壊の定義として、(1)全壊:住家が滅失したもので、具体的には住家の損壊した部分の床面積が、その住家の延べ面積の70%以上に達するものまたは住家の主要構造部の被害額が、その住家の時価の50%以上に達する程度のもの、(2)半壊:住家の損壊が著しいが、補修すれば元通りに使用できるもので、具体的には損壊部分はその住家の時価の20%以上50%未満のもの、死者数の想定手法として、以下の式を用いた²⁾。

$$D = 1.45 \times N^{0.93} \times \begin{cases} 1.00(\text{大規模}) \\ 0.34(\text{中規模}) \\ 0.12(\text{小~なし}) \end{cases} \times \begin{cases} 1.00(\text{夜}) \\ 0.73(\text{昼}) \end{cases} \times \begin{cases} 1.00(1930 \text{以前}) \\ 0.96(1931 \sim 1955) \\ 0.22(1956 \text{以降}) \end{cases} \quad (2)$$

ここに、D: 死者数(人)、N: 全壊建物数(棟)

Nは、木造建物の全壊数と非木造建物の大破数を足し合わせたものである。

式中における火災係数については、今回は火災による被害を考慮しないので0.12(小～なし)。時刻係数は、地震発生時に人々がより行動が困難な時間帯を選び、1.00(夜)。時代係数は1956年以降であるので0.22とした。なお、死因については地震火災による焼死及び避難生活における心労・疲労によるものを考慮していない。

負傷者数の想定手法として、以下の式を用いた²⁾。

$$\text{重傷者} : \log R = 0.676 \times \log H - 1.409 \quad (3)$$

$$\text{軽傷者} : \log R = 0.660 \times \log H - 0.105 \quad (4)$$

ここに、R：負傷者発生率(%)、

H：住家被害率(%)

Hは、(全壊・大破棟数+1/2半壊・中破棟数+焼失棟数)/全建物数 とした。ここでも、焼失棟数は0である。

4. 結果と考察

4-1 概要

算出した被害確率や住家被害及び死傷者数のデータを、GIS上の数値地図と重ね合わせを行う⁷⁾。図2にシナリオA、B及びCの震度マップを示す。

4-2 道路構造物破壊による交通容量評価

交通容量の評価を行う準備として長野市内の主要道路の道路構造物における、3パターンそれぞれの被害確率を算出した。地震動と液状化被害を考慮した長野市内の道路構造物は、震度階が大きいく程、交通容量が0%になる確率が高い傾向にあることが分かる。特に橋梁については、建設年度が古い程その確率が高い。これは、3パターンいずれにおいても確認できた。

橋梁よりも耐震性の低い切土・斜面や盛土については、3つのシナリオパターンのうち一番小規模なCにおいて震度6弱の揺れで交通容量0%になる確率が20%を超えてしまう地点もあり(表6参照)、長野市の直下で大地震が発生した際は、高い確率で不通になると考えられる。なお、震度が地震の規模に比例しない点がいくつか存在する。この原因は、震度計算の時点で誤差が震度±0.5程度発生するためだと考えられる。

4-3 住家被害と死傷者数

建物の全壊、半壊、大破、中破数を区町村別に集計する。特に被害が大きくなると予想される場所が、

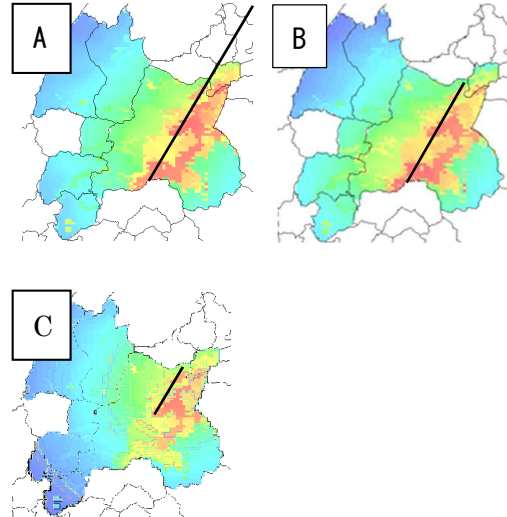


図2 シナリオA,B,Cの震度マップ

表6 県道76号線芋井局付近(盛土)の交通容量

4分の1(北から3番目)による寸断確率					
震度	地震動による被害確率		液状化による被害確率	PL値	双方を考慮した被害確率
	A	B,C			
6弱	5.63	0.6		0	0.6

交通容量		
0%	50%	100%
0.23	0.37	0.4

表7 川中島地区の住家被害・死傷者数

シナリオ	木造		非木造		死者数	重傷者数	軽傷者
	全壊棟数	半壊棟数	大破棟数	中破棟数			
A	1052.15	1273.81	672.923	1520.03	49.1531	5.19458	106.591
B	1052.15	1214.38	672.923	1249.55	49.1531	5.16318	105.963
C	221.943	622.83	150.225	627.365	18.4228	2.54846	53.1521

表8 長野市の住家被害・死傷者数

シナリオ	木造		非木造		死者数	重傷者数	軽傷者
	全壊棟数	半壊棟数	大破棟数	中破棟数			
A	13976.8	14889.5	8738.857	14983.04	609.15	63.0894	1294.48
B	13088.24	11787.06	8241.744	14434.46	573.266	59.4675	1221.36
C	5838.268	9861.279	3906.411	9204.366	268.269	44.0054	908.697

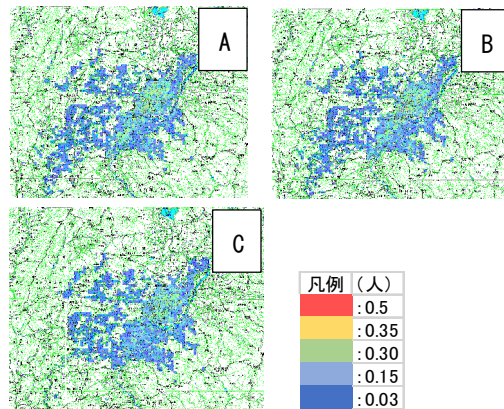


図3 シナリオ別重傷者被害結果の地図化

「松代地区」「川中島地区」「吉田、三輪、第1～5地区」「篠ノ井地区」という結果になった。その中でも川中島地区はメッシュ数が40個と少ない数だが、シナリオA、Bにおいて木造建物の全壊数が1000棟を超える。表7に川中島地区の、さらに表8に長野市全体の住家と死傷者数をまとめたものをそれぞれ示す。

死傷者についても区町村別に集計すると、住家被害と同様の地区が多い。メッシュの数に関わらず、1メッシュ中の建物数や人口⁸⁾が多いと被害の規模や死傷者数が大きくなることが確認できた。

長野市全体の結果を見ると信濃川断層帯全体が破壊した場合、予想される死者数は600人を超え、重傷者と軽傷者を合わせると死傷者数は約2000人という結果になった。シナリオ3パターンを比較するとAとBが非常に近い値になっている。AとBは断層の破壊状態がほぼ同じで、計測震度も似た値である。本研究ではこの計測震度に準じて様々な被害を予測しているの、その数値が近いと必然的に結果が似たものになる。

また、数値結果を長野市の地図上に重ね合わせた。この作業によって、どの地域にどの程度の被害が予測されているのかを一目で確認することが可能となった。図3にシナリオA、B、Cの場合の重傷者被害結果を示す。シナリオCはAとBに比べ被災する範囲は若干小さくなるが、断層に沿った場所や建物数と人口が多いところは同様に大きな被害を受ける可能性がある。

5. まとめ

以下、本研究で得られた知見を述べる。

- (1) 今回の研究では、活断層の破壊状態を3パターンに分けた。各シナリオの道路構造物、住家被害、死傷者数を500×500mメッシュ毎に算出し、比較する⁹⁾ことができた。
- (2) 盛土や切土・斜面が存在する道路では交通被害を受けやすい。長野県地震対策基礎調査報告書から、長野市内の盛土と切土・斜面の耐久ランクはほとんどがAで壊れやすい箇所が多いと予想される。橋梁は通行制限を受ける箇所が盛土等と比べて多い。長野市直下の地震が発生したとき、交通不能となり道路ネットワークが寸断され、一部の地域が孤立する可能性もある。
- (3) 橋梁は建設年が古いほど被害確率が高い。本研究の被害確率は、長野県地震対策基礎調査報告書の震度階別被害確率の表により算出している。この確率は兵庫県南部地震の際の被害に準じている。

つまり当時被害を受けた構造物は旧耐震基準で設計された橋梁で耐震性が低く、被害確率も高めに設定されていると考えられる。

- (4) 建物の全壊、半壊、大破、中破数を区町村別に集計し、被害が大きくなると予想される地域を予測した。結果によると、特に河川に挟まれた川中島地区は地盤も柔らかく、地震動や液状化被害が発生した際に交通被害や建物被害が他の地区よりも大きくなると予想される。
- (5) 長野市に最も被害を及ぼすと考えられる活断層が信濃川断層である。これの1/4程度が破壊した場合でも、山間地、地盤の柔らかい場所、人口が集中している都市部等は、多くの道路ネットワークの寸断や住家被害、人的被害がでてしまう。
- (6) 本論文図2に示すように、長野市内に関しては、信濃川断層の全体が破壊したときと半分が破壊したときそのシナリオの相違による震度分布の違いはほとんど無かった。
- (7) 本研究では、地震動と液状化による被害予測を行った。今回取り入れることの出来なかった、地震時の火災による住家被害や避難者数など多くのパラメータを用意し計算が出来れば、さらに正確な地震被害予測が可能になる。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部 <http://www.jishin.go.jp/>
- 2) 平成14年長野県地震対策基礎調査報告書、長野県地震対策基礎調査専門委員会
- 3) 平成27年長野県地震対策基礎調査報告書、長野県地震対策基礎調査専門委員会
- 4) 独立行政法人産業技術総合研究所、活断層データベース
- 5) 地震防災マップ作成技術資料、内閣府、pp. 97-142、2005. 3
- 6) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T., Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Auckland, New Zealand, January 2000.
- 7) 杉戸真太、合田尚義、増田民夫：周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察、土木学会論文集、No. 493/II-27、pp. 49-58、1994.
- 8) 長野県地震被害想定調査報告書(全体版)
- 9) 平成22年国勢調査、総務省統計局