

善光寺地震(1847)におけるお寺の被害と地震動 ——本堂の被害及び山崩れから見た地震像——

長野工業高等専門学校*1 服部秀人・小林 清
大林組技術研究所 菊地敏男・奥田 暁 トランス・コスモス 大沼万孫
東京都立大学 岩楯敏広 信州大学名誉教授 島 垣

Distribution of Seismic Intensity due to Strong Ground Motion Estimated from Damage of Temples in the Zenkoji Earthquake (1847)

Hideto HATTORI and Kiyoshi KOBAYASHI

*1 Nagano National College of Technology, 716 Tokuma, Nagano City, 381-8550 Japan

Toshio KIKUCHI and Satoshi OKUDA

Obayashi Corporation Technical Research Institute

Kazuhiko OHNUMA

Trans Cosmos Inc.

Takahiro IWATATE

Tokyo Metropolitan University

Hiromu SIMA

Professor Emeritus of Shinsyu University

Seismic investigation is made for disaster of temples near the source of the 1847 Zenkoji earthquake of $\lambda=138.2^{\circ}$ E, $\phi=36.7^{\circ}$ N and $M=7.4$. Peak horizontal accelerations near the seismic fault are found as a function of magnitude and distance following Joyner and Boore's empirical formula. As a result, distribution of landslide is obtained in a relation with ground acceleration. The difference of seismic disaster is significant for the east and west sides of the fault, and this fact may be attributed to the effect of reverse fault in which the west side is over the east side.

§ 1. はじめに

平成 8 年 12 月に道路橋示方書が改定され、設計地震力に関して、兵庫県南部地震 (1995) のように規模の大きい内陸直下型地震による地震動を考慮する方針が打ち出された。そして活断層による地震動の影響について、構造物が造られる地域における個々の活断層の状況を直接設計に盛り込む必要性が指摘されている。

そのため、活断層の位置や活動に関する情報を踏まえて、耐震設計のための入力地震動を推定するための研究が急がれる状況にある。

このような背景のもとに、筆者らは善光寺地震 (1847 年, $M=7.4$, 震央 138.2° E, 36.7° N) に着目して、当該地震動推定のための基礎的研究を行っている。この一連の研究で、これまで、服部ら (1997, 1999) はお寺の被害調

*1 〒381-8550 長野市徳間 716
E-mail : hattori@eu.nagano-nct.ac.jp

査をもとに、当地震で生じた地震断層の近傍に位置するお寺本堂の常時微動観測を行い、本堂と地盤の常時微動特性と被害との関係について調べてきた。善光寺地震については、宇佐美(1996)が家屋の被害等について詳細に研究している。また、佐山・河角(1973)は当時の行政範囲ごとに被害を調べ、震度や山崩れの分布を求めている。

一方、Bouchon(1973)及びKawase and Aki(1990)は、実記録と理論解を用いて、山地形により地震動が増幅されることを指摘している。

本報文では、地表で確認された地震断層を想定震源として、Joyner and Boore(1981)の距離減衰式(以下JB式と略記)による加速度強度と山崩れ及び本堂の被害との関係を調べ、上述の山地形による地震動の増幅作用も視野に入れ、震源付近の地震動について考察する。

お寺に着目したのは、当該地域に広く分布して存在していること、本堂の構造が類似した特徴を持っているであろうこと、被害に関することの伝承が確かであろうこと、そして、過去から存在する一つの地震計として本堂をとらえ、現存する本堂の振動観測によりその応答特性を知るならば、善光寺地震における地震動の特性を知るうえで、お寺の本堂はかなり有効な構造物であろうと考えたからである。

§ 2. 善光寺地震断層

図1に長野県の活断層と長野盆地西縁活断層系を示す。本研究の対象地域は長野県北部であり、着目する長野盆地西縁活断層系を破線で囲んで示した。図2に長野盆地西縁活断層系に沿って善光寺地震によって生じた地震断層の連なり(太線)を示す。138°E~138.5°Eにかけて、地震断層は長野盆地西縁活断層系の東の縁に沿って確認されている。長野盆地ならびに飯山盆地は、それら西縁に位置する逆断層性の長野盆地西縁活断層系によって形成されたと考えられている。

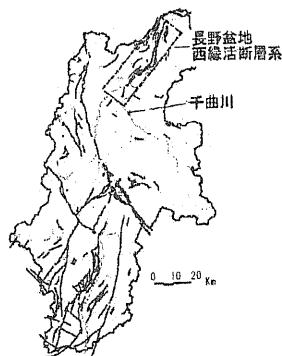


図1 長野県の活断層と長野盆地西縁活断層系

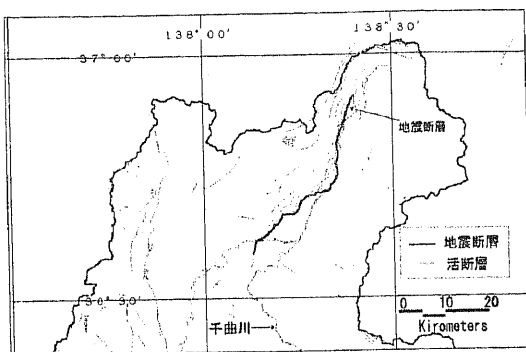


図2 長野盆地西縁活断層系に沿う善光寺地震で生じた地震断層

長野盆地西縁活断層系はN-SないしNE-SW方向の並走もしくは雁行する断層群から成り、総延長50km以上に及ぶ。赤羽(1982)は同断層系は第四紀後半に形成されたもので、山地側に位置する断層ほどその形成時期が古く、盆地側に位置する断層ほどその形成時期は新しいと指摘し、仁科ら(1985)は同断層系の中でも、最近の3万年前以降に活動している活断層は、主として断層系の東縁部に位置すると述べている。

善光寺地震では、長野盆地西縁活断層系の東縁に沿って多くの地震断層が出現した。断層系の南西から北東へ、小松原、安茂里、善光寺、城山、三才、浅野、長丘、飯山、長峰と名付けられた諸断層が同時に活動したものと考えられる。栗田ら(1987, 1990)は、善光寺地震断層系の規模は延長40km以上であり、飯山市市

地籍でのボーリング調査から、善光寺地震の再来間隔は約950年、1回の地震での上下変位量は2~3m程度であると推定している。これらの地震断層には、おおむね北西側が隆起し、南東側が沈降する相対変位が認められる。したがって震源断層は、西側山地が上盤、長野盆地や飯山盆地が下盤となる、逆断層型であると考えられる。

§ 3. 善光寺地震におけるお寺の被害

長野盆地西縁活断層系が発達する長野県北部地域、即ち、信州新町から長野市、飯山市を経て栄村にいたる市町村内の624寺院に善光寺地震における被害アンケート調査を行った。その結果、278寺院から回答があり、その内、

不明123、有効回答155であった。寺院本堂の被害の内訳は、倒壊57、半壊17、一部損壊11、ほとんど被害なし70である。図3にそれらの分布を示す。図中、倒壊したものを「被害大(○)」、傾いたりして半壊したものを「被害中(◇)」、壁が落ちたりひびが入るなど一部損壊したものを「被害小(▽)」、そしてほとんど被害のないものを「ほとんどなし(△)」として示している。ほぼ千曲川を挟んで被害分布にコントラストが見られる。この傾向は宇佐美(1996)による家屋の被害分布ときれいに調和している。これは逆断層の上盤(西側)と下盤(東側)の動きとに対応することを示唆するものかもしれない。

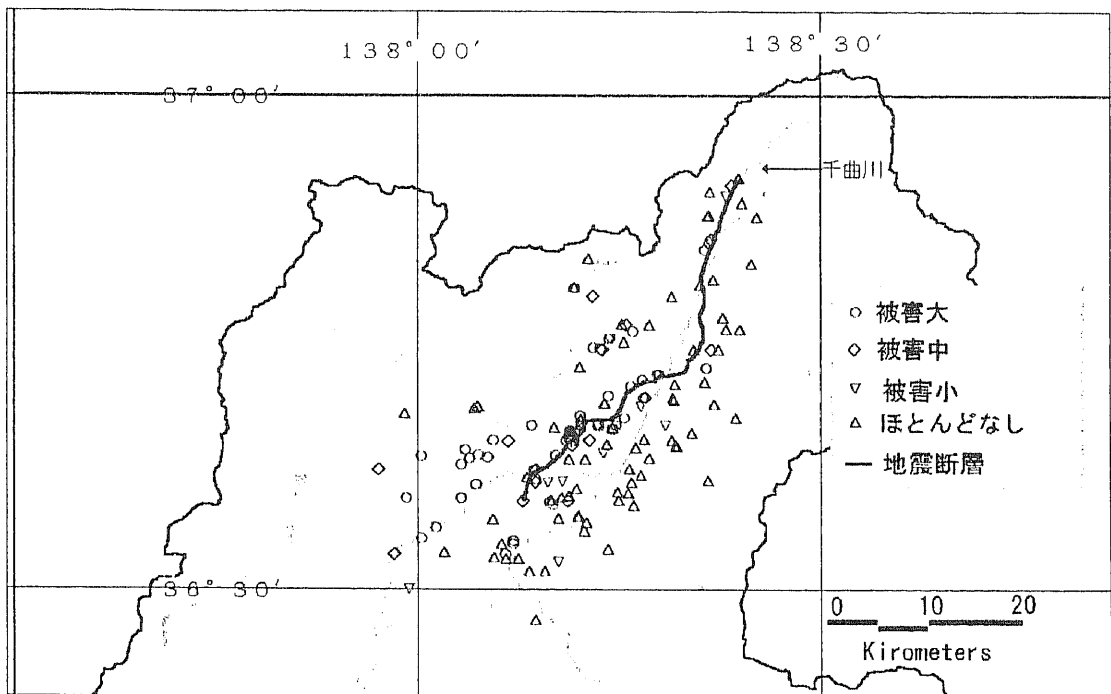


図3 本堂の被害分布

§ 4. 山崩れと本堂の倒壊

図4に本堂の被害と山崩れの分布を示す。図中の×印は佐山ら(1973)による当該地震で生じた山崩れである。太線は地表で確認された地

震断層である。この地震断層の南西端から138° Eの範囲に倒壊が多く、また山崩れも多く発生している。両者の分布が重なるこの地域のお寺に聞き取り調査をした結果、5箇所の

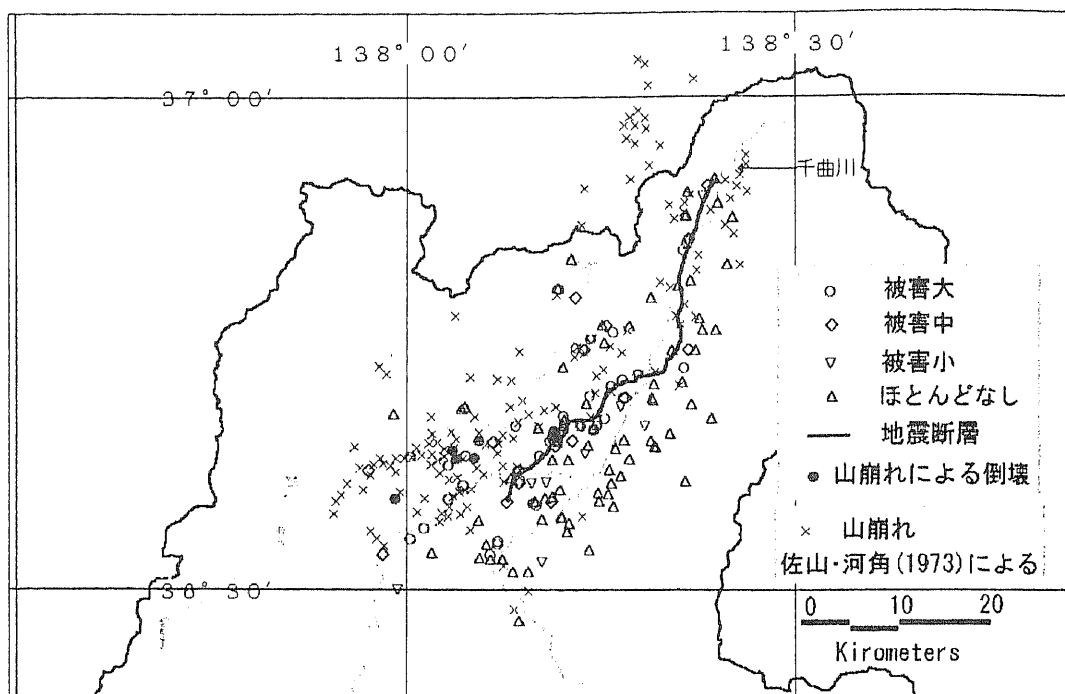


図4 本堂の被害と山崩れ

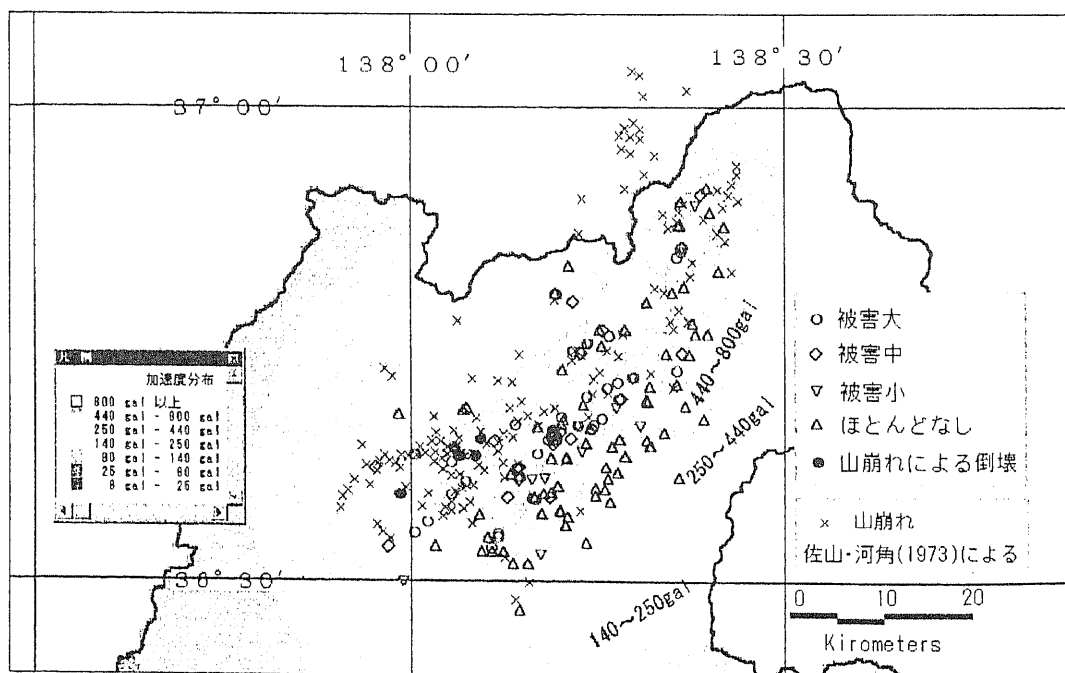


図5 想定地震動強度と本堂の被害・山崩れ

本堂が山崩れによる倒壊であることが確認された。この5箇所の本堂を●印で示した。

地震断層の北東端付近には断層の両側に山崩れが発生している。この辺りは両側が山地形である。さらにその北方（長野県境の北方）の上越地域に山崩れが集中しているが、善光寺地震の5日後に起こった越後頸城郡の地震によるものと判別が困難のようである。図4においても、図3の本堂の被害分布と同様、地震断層の西側に多くの山崩れが見られる。

§ 5. 本堂の被害と想定地震動強度

図5は、地表で確認された地震断層を連ねた線震源を想定し、その線震源からの距離を用いてJB式に地盤特性を加えて加速度強度を求め、本堂の被害と山崩れを重ねたものである。震源のごく近傍では800gal以上となっている。440

～800galの範囲を見ると、線震源の西側に倒壊（○）が生じ、東側にはほとんど被害無し（△）が多く分布している。JB式では地震断層からの単純な距離を用いており、加速度分布は線震源を挟んでほぼ対称となるので善光寺地震の被害分布を良く説明できていない。また、地震断層の東側は盆地構造であり、西側山地に比べて地盤が一般に軟らかいにもかかわらず、盆地側の被害が軽微であり、地盤条件を反映した被害分布となっていない。したがって、§3末尾にも触れたように、逆断層型の震源を考慮して考察する必要があると思われる。Ohno et al.(1993)は等価震源距離の概念を導入し、震源断層の形状を考慮して震源近傍の強震動を評価する距離減衰式を提案している。以上のことから見て、被害分布を説明するには震源断層の傾きを考慮する必要があると思われる。

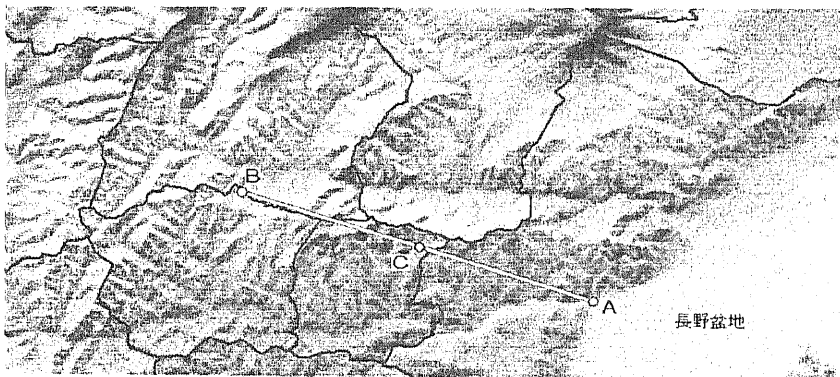


図6 断面位置A-C-B付近の地形

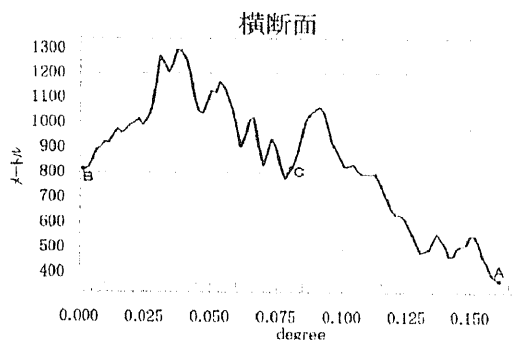


図7 山地形の断面A-C-B

なお、線震源南西端西側の 138° E 付近は $250\sim 440\text{gal}$ であるが、倒壊と山崩れが分布している。Bouchon (1973) は、山地形について、理論的に、尾根とか斜面で地震動が増幅することを示し、San Fernando 地震 (1971) において Pacoima ダムで記録された $1.25g$ もの加速度は、一様でない地形の影響によって $30\sim 50\%$ 地震動が増幅されたものであろうと解釈している。一方、Kawase and Aki (1990) は、Los Angeles の近くで起きた地震 (1987, $M=5.9$) において、震源から $8\sim 10\text{ km}$ 離れた丘陵地帯で生じた大きな地震被害は、やはり、不規則な地形による増幅の影響も手伝っていると指摘している。

そこで、長野盆地の西側山地について地形を見てみたい。図 6 に山地形断面の一例を眺める位置 $A-C-B$ を示す。A 点は長野盆地の西端部で、C 点は、山崩れによる倒壊も含め本堂の倒壊が多く分布している所である。図 7 に山地形の断面を示す。C 点は A 点から約 6 km 離れ、高低差は約 400 m の山地である。想定震源から $5\sim 10\text{ km}$ 離れても倒壊が生じているのは、山地部で、地形及び地表構造の影響により地震動が増幅される影響もあるためと考えられる。しかし、不整形地盤の影響は局所的にはあるかもしれないが現状のデータと解析からははっきりしない。

§ 6. おわりに

善光寺地震 (1847) におけるお寺本堂の被害は特徴的な分布を示していることがわかった。筆者らが調べたお寺本堂の被害と、これまでの宇佐美、佐山・河角、Bouchon、Kawase and Aki および Ohno et al. の研究成果とを合わせて考察した結果、以下のような知見が得られた。

(1) 断層の西と東で異なる被害分布の特徴は逆断層性の震源構造と関わりをもつものと思われる。

(2) 善光寺地震における被害分布を説明するためには、震源断層の傾きを考慮して考察す

る必要がある。

(3) 西部山間地の山崩れと重なって分布する本堂の倒壊は、不安定な地質に加え、山地形における地震動の増幅の影響を受けたことも考えられる。

上記 (2) で述べたように、今後の展開として、震源断層を想定して善光寺地震の被害を眺め、地震像を探てみたい。

謝辞

筆者らの日頃の作業内容を第 17 回歴史地震研究発表会で紹介するよう勧めてくださった日本地すべり学会中部支部幹事の明治コンサルタント (株) 内藤 哲氏に、そして、その機会をお許しいただいた東京大学地震研究所 都司嘉宣先生はじめ歴史地震研究会のコアメンバーの皆様に心から御礼申し上げます。また、発表会場において、鹿島建設 (株) 武村雅之氏から「断層の広がり方を考慮してみても」との貴重なご示唆をいただき、今後の展開にはずみがつきました。更に、小論をまとめるに当たり、懇切なご助言をいただきました。ここに記して武村氏に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 宇佐美, 1996, 日本被害地震総覧, 東京大学出版会, pp111-117.
佐山, 河角, 1973, 古記録による歴史的大地震の調査 (第一報), 震研速報, No.10-2.
服部, 小林, 吉澤, 菊池, 奥田, 近藤, 岩楯, 島, 1997, 善光寺地震 (1847) におけるお寺の被害, 第 32 回地盤工学研究発表会, 574.
服部, 小林, 吉澤, 菊池, 奥田, 岩楯, 島, 1999, 善光寺地震 (1847) の地震断層近傍におけるお寺の被害と常時微動特性, 土木学会第 54 回年次学術講演会, I-B513.
Michel Bouchon, 1973, Effect of topography on surface motion, BSSA, Vol.63, No.3, pp 615-632.
Hiroshi Kawase and Keiiti Aki, 1990,

- Topography effect at the critical SV-wave incidence : Possible explanation of damage pattern by the Whittier Narrows, California, earthquake of 1 October 1987, BSSA, Vol.80, No.1, pp1-22.
- Joyner, W.B. and Boore, D.M., 1981, Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial valley, California, earthquake, BSSA, Vol.71, No.6, pp.2011-2038.
- 赤羽, 1982, 長野盆地西縁部における地質構造と丘陵の形成過程, 地団研専報, No. 24
- 仁科, 松島, 赤羽, 小坂, 1985, 長野県の活断層, 信州大学理学部紀要, 第20巻, 第2号.
- 栗田, 奥村, 佃, 1987, 善光寺地震断層系に関する資料と地震断層の現況, 歴史地震, No.3, pp166-174
- 栗田, 佃, 池田, 奥村, 渡辺, 宮崎, 1990, 善光寺型地震の再来間隔と地震時の断層変位量, 地震学会講演予稿集, C11-12.
- Susumu Ohno, Tokiharu Ohta, Tomonori Ikeura, and Masayuki Takemura, 1993, Revision of attenuation formula considering the effect of fault size to evaluate strong motion spectra in near field, Tectonophysics, 218, pp69-81
- 活断層研究会, 1991, 日本の活断層, 東京大学出版会