

善光寺地震(1847)におけるお寺の被害*

—アンケート調査と Joyner and Boore 式による震源断層の想定—

服部秀人*1・小林 清*2・吉澤政己*3・菊地敏男*4・奥田 暁*5・岩楯徹広*6・島 坦*7

The Distribution of Structural Damage of Temples in the Zenkoji Earthquake (1847):
Questionnaire Survey Results and Attenuation Model on Hypothesized FaultsHideto HATTORI, Kiyoshi KOBAYASHI, Masami YOSHIZAWA,
Toshio KIKUCHI, Satoshi OKUDA, Takahiro IWATATE, Hiromu SIMA

A survey questionnaire was taken analyzing the distribution of structural damage on 624 temples in the northern region of Nagano Prefecture affected by the Zenkoji earthquake which occurred in 1847 (M=7.4). A total of 278 temples responded to the survey and of these, only 155 provided valid evidence. From this evidence it was found that 57 temples were completely destroyed, 17 partially damaged and 70 others suffered minor damage as result of the Zenkoji earthquake. Previous investigation have revealed the existing faults in this northern region, and this study shows that the extent of damage mentioned above was distributed along the active fault system on the western side of the Nagano Basin.

This study hypothesizes the possibility of the existence of an earthquake source fault, either a linear fault or a folded fault. It runs 40 km in length and could produce earthquakes which might register on the magnitude of 7.4 respectively. Using the attenuation model proposed by Joyner and Boore (1981), the distributions of structural damage of these temples was compared with the intensity of acceleration calculated by this model.

It can be then seen that the damage of these temples was reduced depending on the distance away this hypothesized fault according to the attenuation effect.

キーワード: 善光寺地震, 地震被害, 寺院, 断層, 長野盆地西縁活断層系, 加速度分布, 距離減衰

1. はじめに

平成8年12月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年)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。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。そのために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¹⁾。

このような背景のもとに, 善光寺地震(1847年, M=7.4, 震央138.2° E, 36.7° N)²⁾に着目して震源断層推定のための基礎的研究に着手した。当地震については宇佐美の膨大な研究成果がある²⁾³⁾。当時の古記録を掘り起こし, 整理したもので貴重な資料である。しかしながら, 当地震の被害地域全体にわたるお寺の被害状況に関する資料は見当たらない。本研究では寺院の被害に着目して, アンケート調査を実施した。そして, その被害分布と想定震源断層について G.I.S.(地理情報システム)を用いて考察を試みた。

寺院に着目したのは, 当該地域に広く分布して存在

* 1997年7月17日第32回地盤工学会研究発表会, 同年9月25日日本地震学会秋季大会で一部発表

*1 環境都市工学科教授, *2 同技官, *3 信濃建築史研究室室長, *4 大林組技術研究所主任研究員, *5 同研究員,

*6 東京都立大学教授, *7 信州大学名誉教授

原稿受付 1997年10月31日

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寺院をとらえ、現存する寺院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らうと、寺院はかなり有効な構造物であろうと考えたからである。

2. 寺院の被害調査

図1に長野県における活断層⁴⁾を示す。おおよそ東経138° 00' ~138° 30'、北緯36° 30' ~37° 00'の範囲に長野盆地西縁活断層系が存在する。この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至る市町村内の624寺院

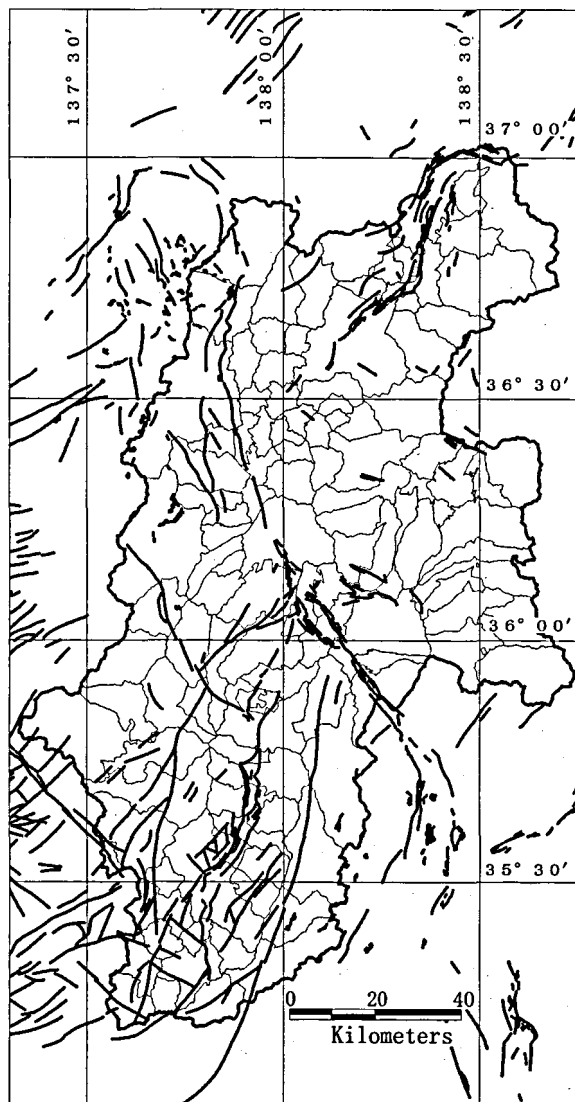


図 1 長野県の活断層

を対象に、善光寺地震における被害について、アンケート調査を行った。その結果、278寺院から回答が有り、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。

寺院本堂の被害分布を図2に示す。長野盆地西縁活断層系に沿って被害が分布している様子が見られる。

3. 善光寺地震の地震断層⁴⁾

3-1 地震断層

地殻の上部で大地震が起こると、震央付近の地表に土地のくいちがいが生じる。地震に伴って地表に現れるこのような断層は地震断層と呼ばれ、それらの多くは活断層に沿って出現している。内陸で、深さ20km程度以浅に起こる大地震(マグニチュード7程度以上)では、しばしば地震断層が現れる。

3-2 善光寺地震の地震断層

善光寺地震においても地震断層が現われている。長野盆地西縁活断層系に沿って、南西から、小松原、安茂里、善光寺、城山、三才、浅野、長丘、飯山、そして最も北東に、長峰と名付けられた合計9個の地震断層が確認されており、延長約45kmに及ぶ。これらの地震断層はすべて低断層崖を形成している。おおむね北西側の上盤が隆起し、南東側が沈降する逆断層が認められている。栗田らは飯山市蓮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3m程度であると推定している⁵⁾。

4. 想定断層と加速度分布

4-1 距離減衰式

実地震の観測記録を基に地震動強度の距離減衰式が種々求められている⁹⁾。本研究では Joyner & Boore (1981) がアメリカのカリフォルニアの硬質地盤における地震観測記録から求めた距離減衰式⁹⁾(以下 JB 式)を用いて加速度分布を求めた。JB 式は兵庫県南部地震における実測値とよい対応を示している¹⁰⁾。以下に JB 式を示す。

$$\log A = -1.02 + 0.249M_w - \log r - 0.00255 r + \log 980$$

(A: gal)

$$M_w = (1.3M + 0.9) / 1.5 \quad (M: \text{マグニチュード})$$

$$r = (d^2 + 7.3^2)^{1/2}$$

d: 地表における断層からの最短距離 (km)

この加速度は1種地盤上の値である。

4-2 震源断層の想定

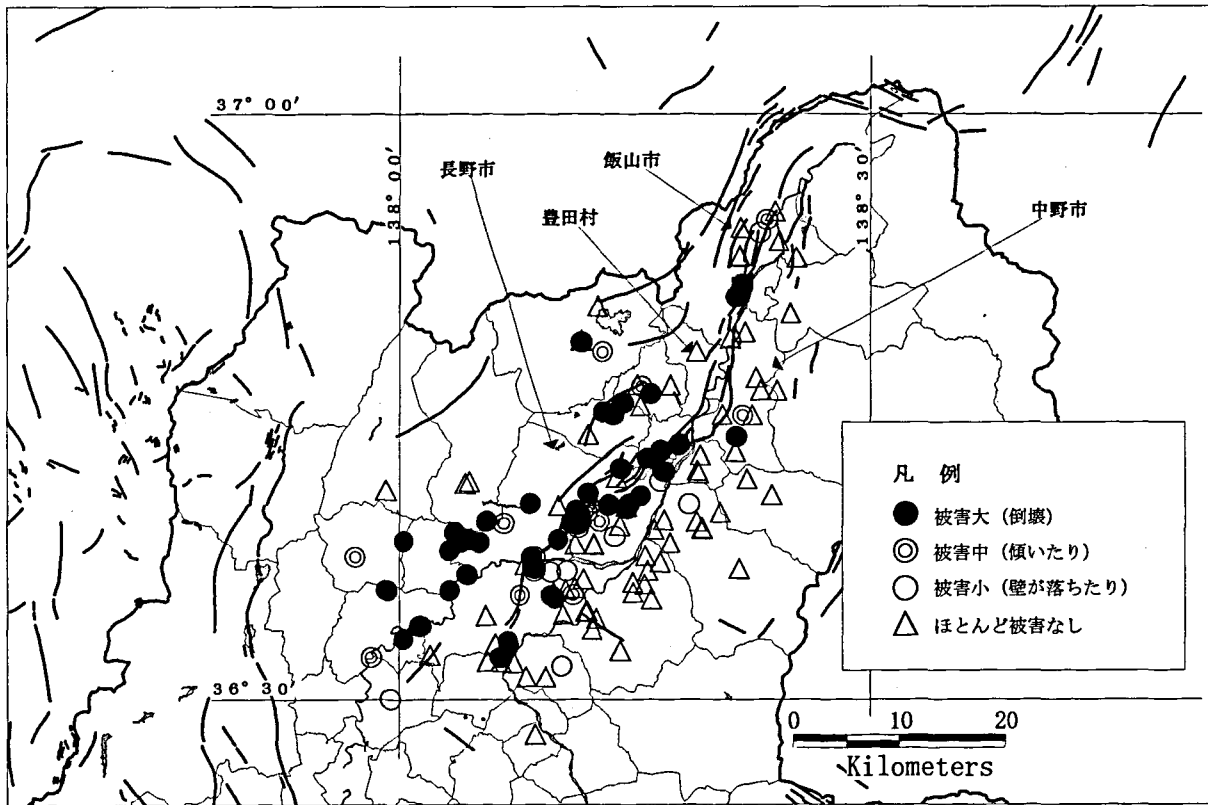


図 2 寺院本堂の被害分布

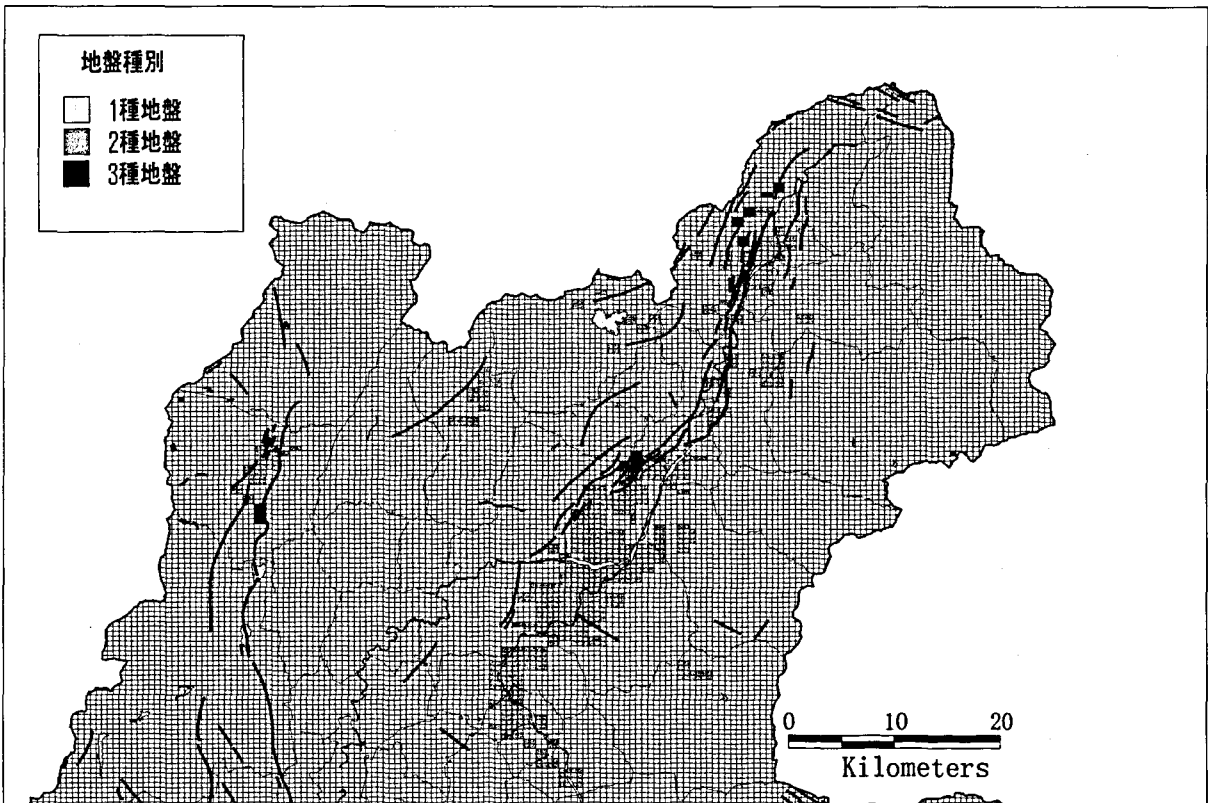


図 3 地盤種別

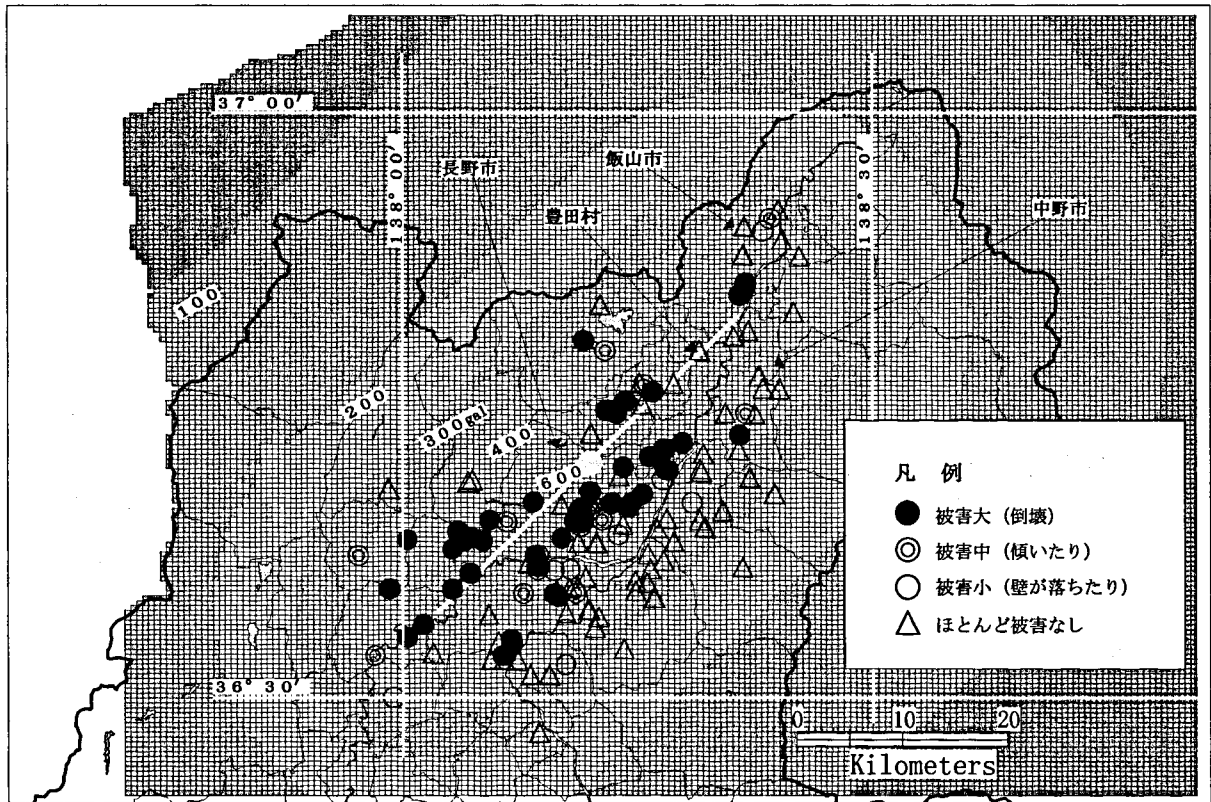


図 4 寺院の被害と加速度分布(ケース1)

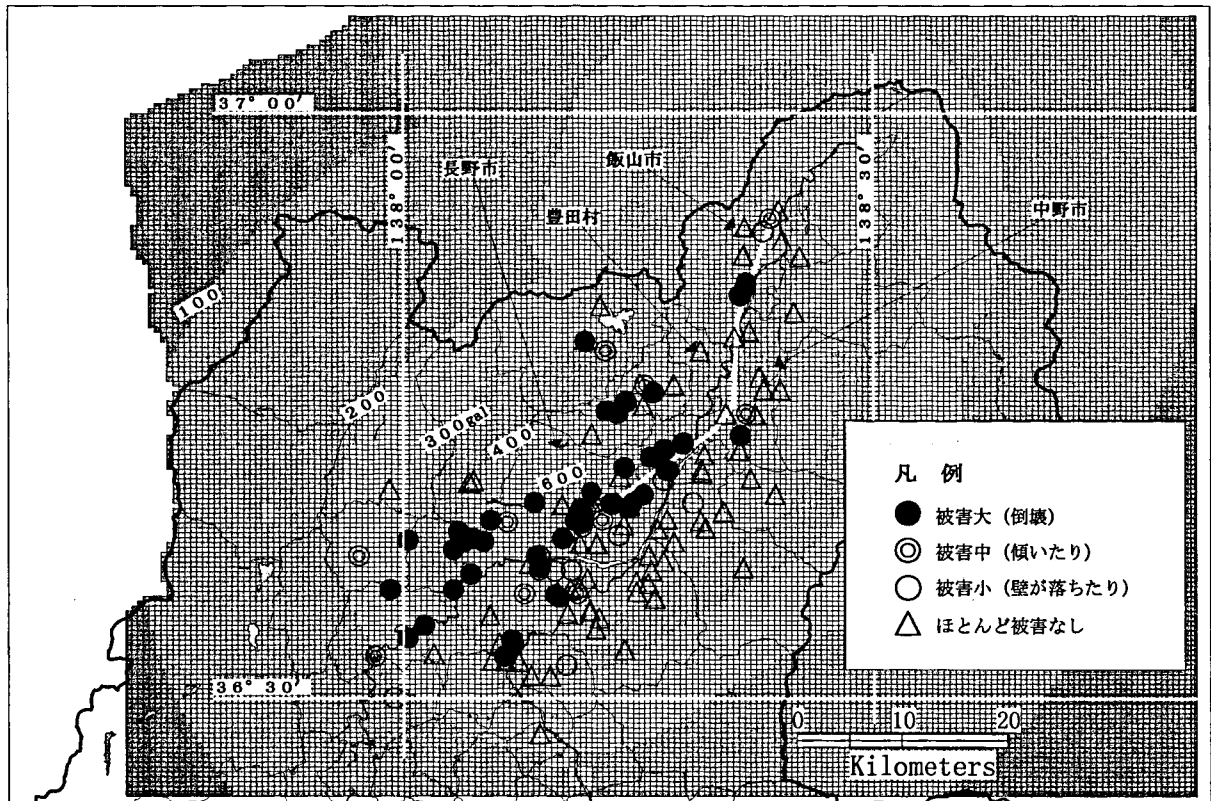


図 5 寺院の被害と加速度分布(ケース2)

善光寺地震の震源断層は特定されていないが、本研究では試みに二つの震源断層を想定した。一つは震央(138. 2° E, 36. 7° N)を中心として東北-南西方向に長さ40kmの直線を(ケース1)、もう一つは活断層系に沿った折れ線を(ケース2)、それぞれ震源断層として想定した。これまでの知見から、日本の内陸の地震断層に関して、断層の長さLと変位量dは次式で表される⁴⁾。

$$\log L = 0.6M - 2.9 \quad (L \text{の単位はkm})$$

$$\log d = 0.6M - 4.0 \quad (d \text{の単位はm})$$

ここに、Mはマグニチュードである。これらの式によれば、善光寺地震(M=7. 4)の場合、L=35km、d=2. 8mとなる。3-2節で述べたように、確認されている地震断層が45kmに及ぶことを考え合わせて、想定断層の長さを40kmとしたものである。

4-3 地盤種別

図3に地盤種別を示す。これは長野県地震対策基礎調査報告書¹¹⁾を基に作成したものである。4-1節で述べたように、JB式の加速度は1種地盤上の値であり、2種および3種地盤に対しては増幅度を考慮して、2種地盤には1. 25、3種地盤には1. 5を乗ずることにした。理論的には未解明な事柄を多く含む問題であるが、経験的にこれらの倍率を用いた。

5. 被害分布と想定加速度

図4、図5に寺院の被害と想定震源断層に基づく加速度分布を示す。図4において、直線状の断層(白抜き太線)の中心にある丸は4-2節で述べた震央である。

5-1 本堂の倒壊と想定断層の関係

両図に共通して、想定断層のほぼ南西半分の領域において加速度強度と「倒壊」(●印)の対応がよい。それに対し、北東部、特に中野市と豊田村に「ほとんど被害なし」(△印)が分布している。図2にも見られるように地震断層のかなり近傍であるにもかかわらず、被害が極めて軽微であるのは興味深い。

図5では折れ線状の想定断層(白抜き太線)に沿って●(倒壊)が集中しているように見える。長野市西端部から東経138度近くにも倒壊が多い。この地域には山崩れが多く発生しており¹²⁾、それによる倒壊が含まれるかもしれない。

5-2 本堂の被害と加速度強度

図5の加速度はほぼ地震断層に沿って想定した震源断層によるものである。図2に見られるように、千曲川の東側に△(ほとんど被害なし)が多い。断層からわずか数キロメートルの辺りにも△がけっこう存在する。図5で見ると、これらの本堂は600gal以上もの加速度に耐えた

可能性が有る。小松原の天照寺や安茂里の称名寺のように地震断層直上の本堂が壊れなかった例も有る¹³⁾。しかしながら、図4、図5から被害分布は地震動の距離減衰と対応していることが見て取れる。

6. まとめ

善光寺地震におけるお寺の被害を調査して、被害分布を知ることができた。長野盆地西縁活断層系に沿って程度の異なる被害が特徴的に発生している。断層に沿って本堂の倒壊が存在する所と、被害がほとんど生じていない所とが有ることは興味深い。長野市西方の倒壊は山崩れと関係が深いかもしれない。本堂の被害分布はおおむね距離減衰と対応している。

7. あとがき

被害の程度と地震応答の関係を見るために、現在、本堂の地盤と天井付近の梁上で常時微動観測を実施している。上で述べた被害の程度の異なりが震源によるものか、あるいは地盤と本堂の応答特性によるものか判断できるデータが得られるものと期待している。また、寺院の被害と山崩れとの関係を調べる必要がある。

以上とともに最近の地震学の成果を盛り込んで、震源モデルを想定した地震動強度についても考察を加えたいと考えている。

謝辞

ご多忙の中、アンケート調査にご協力いただきました御住職の皆様にご感謝申し上げます。また、(株)しな測の情報システム課の方々にはG.I.Sによる図面作成に多大なご協力をいただきました。小布施町立栗ヶ丘小学校の清水岩夫教頭先生には善光寺地震と長野盆地西縁活断層系について懇切なご指導をいただきました。平成8年度卒業研究生村田高一氏(現長野県)、山田利治氏(現ショーボンド建設(株))には熱心に協力していただきました。ここに記して皆様にご深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会:「道路橋」に関する地区講習会講義要旨,平成8年度。
- 2) 宇佐美龍夫:日本被害地震総覧,東京大学出版会,1988。
- 3) 宇佐美龍夫:わが国の歴史地震被害一覧表,日本電気協会,平成6年。
- 4) 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,1991。

- 5) 粟田泰夫他: 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, 1990.
- 6) 佃 栄吉他: 長野断層系荒舟断層の発掘調査, 地震学会講演予稿集, C11-13, 1990.
- 7) 信州大学「信州の4億年」編集委員会: 大地が語る信州の4億年, 郷土出版社, 1994.
- 8) 精木紀男他: 建築と土木技術者のための地震工学・振動学入門, 吉井書店, 1997.
- 9) Joyner, W. B. and Boore, D. M. : PEAK HORIZONTAL ACCELERATION AND VELOCITY FROM STRONGMOTION RECORDS INCLUDING RECORDS FROM THE 1979 IMPERIAL VALLEY, CALIFORNIA, EARTHQUAKE , BSSA, 1981, Vol. 71, No. 6, pp. 2011-2038.
- 10) 若松邦夫他: 兵庫県南部地震の強震記録にみられる地震動特性, 大林組技術研究所報, 特別号, 1996.
- 11) 長野県生活環境部消防防災課: 長野県地震対策基礎調査報告書, 昭和61年.
- 12) 斎藤 豊他: 善光寺地震と山崩れ, 長野県地質ボーリング業協会, 平成6年.
- 13) 黒岩範臣: 活断層を歩く, 信濃毎日新聞, 1996年4月9日より連載.
- 14) 服部秀人他: 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, 1997年7月, p1151~p1152.
- 15) 服部秀人他: 善光寺地震(1847)におけるお寺の被害〜アンケート調査結果とシミュレーション〜, 日本地震学会秋季大会, C55, 1997年9月.