

# 大地震による建築物被害と表層地盤特性

毛 呂 眞\*

## Earthquake Damage of Building Structures and Characteristic of Subsurface Layer

Makoto MORO

### Abstract

A predominant period of the foundation that the damage of a residence occurs a lot in a large earthquake is around 0.4 seconds. Also, layer of the poor subsoil of its subsurface is about 10 meters. It stated on the basis of literatures regarding a damage survey of an earthquake in the past about this case. Also it carries out, and then stated a study about the factor.

**Keywords:** a large earthquake, damage of building structures, subsurface layer, predominant period, poor subsoil

1994年三陸はるか沖地震における八戸市域の建築物被害調査において、建築物の被害が地盤の水平動卓越周期が0.3~0.4秒程度で、支持地盤までの軟弱な層の厚さが10数mの地域に多く発生していることが分った(図1, 図2)<sup>1)</sup>。また、1968年十勝沖地震における建築物被害の発生地域についても、三陸はるか沖地震における発生地域とほぼ一致していることが分った(図3)<sup>2)</sup>。また、大沢の1968年十勝沖地震についての建築物被害調査の報告によれば地震卓越周期が0.4秒前後の地盤で大きな被害率となることが示されている(図4)<sup>23)</sup>。八戸地域が被った2つの地震動のうち、十勝沖地震では主要動の継続時間は1分近くに及び、長周期成分がかなり卓越していたと言われている。それに対して三陸はるか沖地震では主要動の継続時間は数秒で短周期成分の卓越した地震であった<sup>1,3)</sup>。それにもかかわらず両者の地震によって生じた建築物被害の地域摘分布がほぼ同じ分布となり、

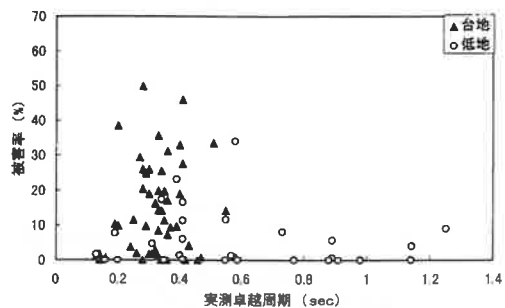


図1 1994年三陸はるか沖地震における八戸市の建築物一部損壊被害率と地盤卓越周期(文献1)

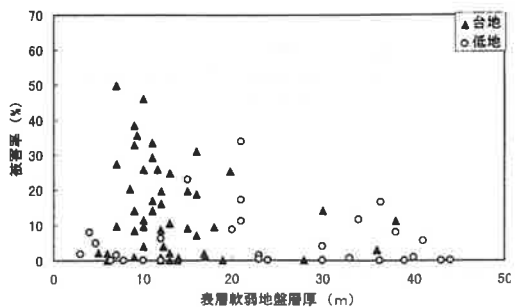


図2 1994年三陸はるか沖地震における八戸市の建築物一部損壊被害と表層軟弱地盤層厚(文献1)

平成10年10月16日受理

\* 建築工学科・教授



1993 年釧路沖地震による釧路市域の住宅被害と地盤の微動との関係についても地盤卓越周

地盤の卓越周期が 0.4 秒前後の地盤で住宅の

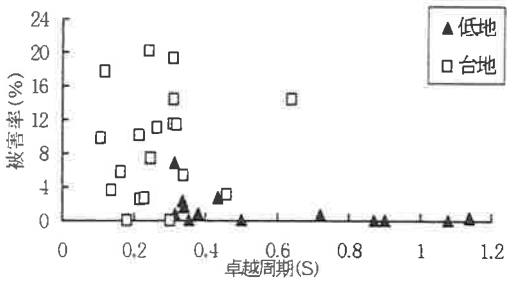


図5 1993年釧路沖地震における釧路市の住宅被害率と地盤卓越周期 (文献4)

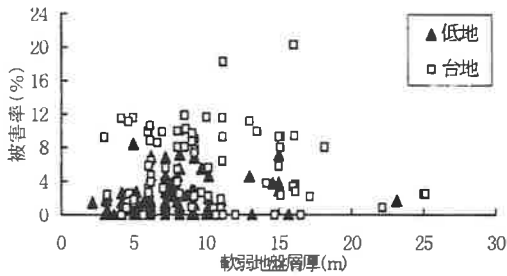


図6 1993年釧路沖地震における釧路市の住宅被害率と表層軟弱地盤厚 (文献4)

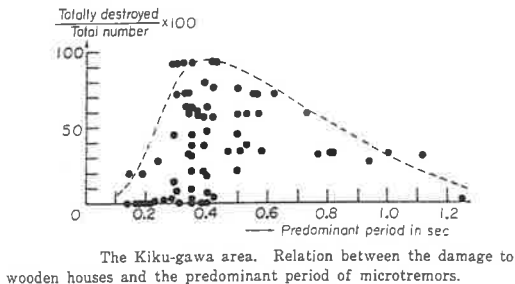
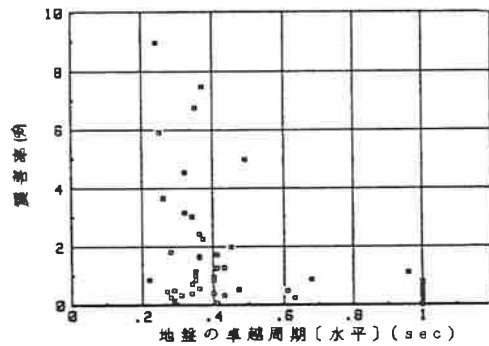


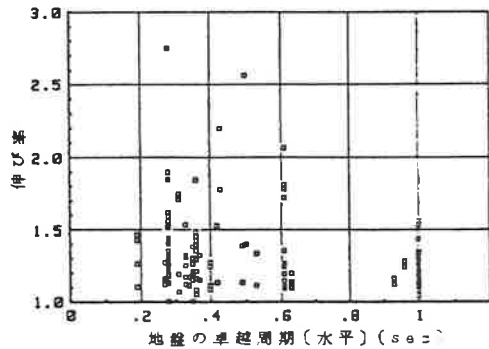
図7 木造住宅の全壊率と地盤卓越周期 (文献5)

被害が多く発生することについては、金井により1894年東南海地震、1948年福井地震および1964年新潟地震での木造家屋の震害と微動に関する調査結果で報告されて以来 (図7)<sup>5)</sup>、飯田、正木が1894年東南海地震に関して<sup>6)</sup>、阿部、小川が1978年宮城県沖地震に関して0.3~0.4秒程度の地盤で一般住家の被害率が大きくなること (図8)、また、鉄筋コンクリート建物の周期の伸び率が大きくなる (図9) ことを報告して



Relationship between ratio of collapsed dwelling houses and predominant periods of ground.

図8 1978年宮城県沖地震における仙台市の住宅被害率と地盤卓越周期 (文献7)



Relationship between elongation ratio of natural periods of R.C. buildings and predominant periods of ground.

図9 1978年宮城県沖地震における仙台市の鉄筋コンクリート建物の固有周期伸び率と地盤卓越周期 (文献7)

いる<sup>7)</sup>。1995年兵庫県南部地震の震度VIIの被害地地盤においても、地盤卓越周期が0.4秒前後であることが指摘されている<sup>8,9)</sup>。

0.4秒程度の卓越周期の地盤で住家被害が多い事の原因として、これらの報告の多くは、木造家屋の周期特性が地盤の周期特性に近接する事による共振現象に第1の原因が有るとしている。しかしながら、木造住宅の固有周期は現在かなり短周期化している、にもかかわらず地震のたびに同様な卓越周期地盤での被害が多く発

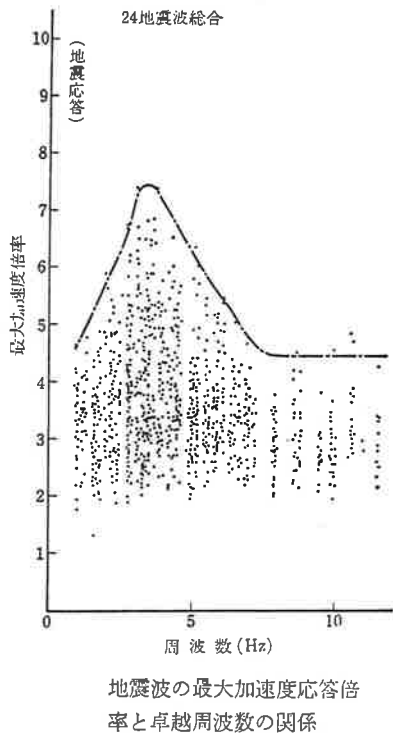


図10 地震の最大加速度応答倍率と卓越周波数  
(文献10)

生している。この事は、木造住宅の共振現象は大きな原因の一つではあるが第一の原因ではなく、この卓越周期の地盤そのものが強震時に激しく振動することに第一の原因があり、その地盤への入力地震動の特性にその地盤を増幅させ

る特性があるものと考えた方が妥当のように考えられる。田治見、望月、松田による地震波の最大加速度応答倍率と卓越周波数の関係についての検討結果によると、3~4 Hz (0.25~0.33秒)の時に地震波加速度の最大応答倍率が最も大きくなることを予想している(図10)。このことは上記の考えの妥当性を示唆するものであろう<sup>10)</sup>。

1983年日本海中部沖地震において液状化被害を多く受けた地盤の卓越周期も0.3秒程度に卓越性を持つことが報告されている<sup>11,12)</sup>。図11は野越が報告している液状化の起きた地点と起きなかった地点の微動のフーリエスペクトルとその地点の地盤ボーリング図の例である<sup>12)</sup>。液状化の起きた地盤のスペクトルは0.3秒程度の所に卓越性が見られる。このことも上記の考え方の妥当性を示唆するものと考えられる。

一方、卓越周期0.4秒程度の地盤の軟弱層の厚さは高々10m程度と考えられ、このような地盤で被害率が最大になることになる。大崎は関東大震災における東京の木造住宅被害と沖積層厚との関係図(図12)を求めた。これは沖積層厚が厚いほど木造住宅の被害率が大きいということを示している<sup>13)</sup>。この説が通説化しているが、上記の結果はこの説と矛盾することになる。

地震による住宅に被害が出るたびに、軟弱地盤がその被害の主要原因のように報告されている

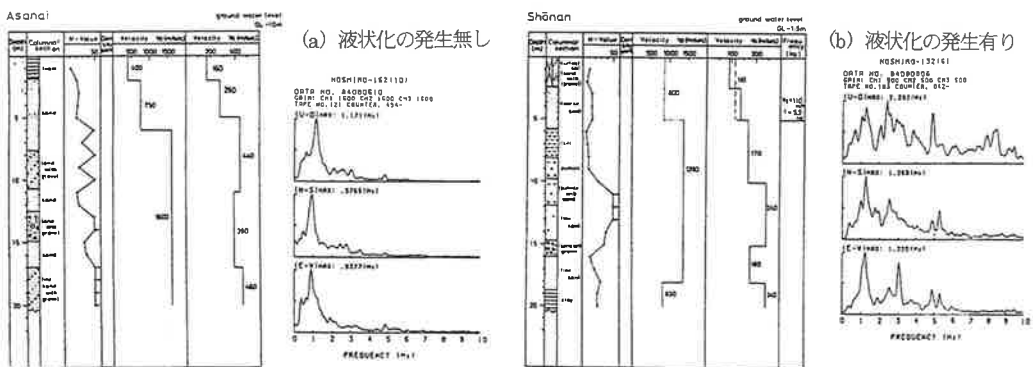
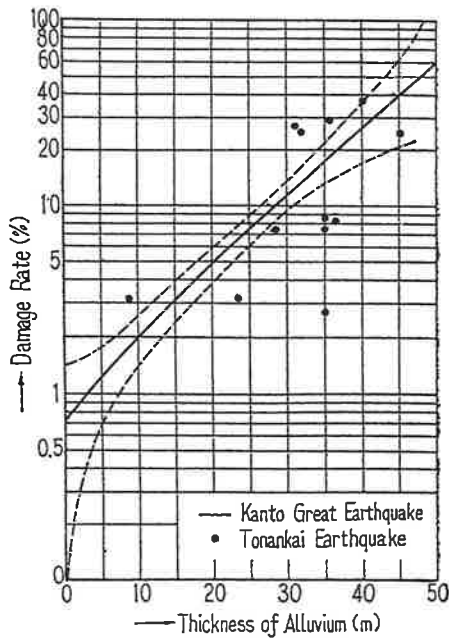


図11 1983年日本海中部地震における秋田県の液状化発生地点と、発生しなかった地点の常時微動のフーリエスペクトルと地盤ボーリング図(文献12)

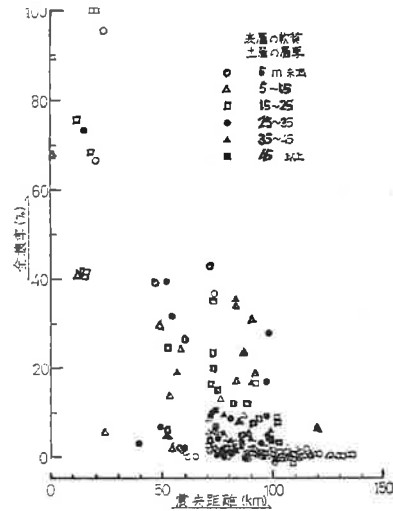


Relationship between Damage Rate and Thickness of Alluvial Deposit

図 12 沖積層厚と震害率（文献 13）

（例文献 3, p. 591）。耐震工学を専門にされていない方々にもこの考え方は行き渡っている。例えば 1995 年兵庫県南部地震について「山手の台地は比較的安泰で、低地の被害がひどかった。」と一括して書かれている<sup>14)</sup>。確かに、埋め土、盛土あるいは表層に軟らかい（N 値の小さい、あるいはせん断波速度の遅い）層の堆積している地盤での被害は多い。

1994 年三陸はるか沖地震および 1968 年十勝沖地震での八戸市域の住家被害地域、宮城県沖地震での仙台市での被害地域<sup>15)</sup>、兵庫県南部地震における住宅被害地域の軟弱地盤層の厚さは 10～20 m 程度の厚さである<sup>16)</sup>。関東大震災における木造被害と表層地盤の関係を検討した望月の文献 17 の図（図 13）を見ると、表層軟質土層の厚さが 15～25 m の地盤で全壊率が大きい事が示されている。鏡味は関東大震災の川崎における木造建物被害率と地盤の関係を検討し、沖



沖積平野 A の震央距離と全壊率の関係  
（表層の比較的軟質な地層厚による分類）

図 13 関東大震災の震央距離および表層軟弱地層厚と全壊率（文献 17）

積層厚と被害率との関係は単純な実験式で表現できないことを報告している<sup>18)</sup>。また、飯田の 1891 年濃尾地震および 1944 年東南海地震被害資料の解析より得られた図（図 14）を見ると、両地震においてもこの説と異なる結果と考えられる<sup>19)</sup>。

このような結果からすると、地震被害と結びつく軟弱地盤とは軟弱層が厚いほど軟弱なのか、それとも表層に埋め土、盛土等の軟らかい地層のある地盤を指すのかどうも判然としない。沖積層の層すべてが軟弱な地質とは限らない、八戸市沖積地地盤の N 値分布図の例のように、40 m にもわたって N 値が 10 以下程度のものも有れば<sup>20)</sup>、沖積層基底深さが 60 m 近くもあるのに表層数メートルで N 値が 50 近くに成るような沖積層もある<sup>21)</sup>。これだけでも沖積層の厚さだけで被害との対応はつけられないことは明らかである。

嶋は関東大震災の際の家屋の被害状況と沖積層厚の関係を検討し、沖積層の厚さ 10 m と 30 m 付近のところに被害が多いこと、また、それらの地盤が 0.4 秒の卓越周期を持つことを報告

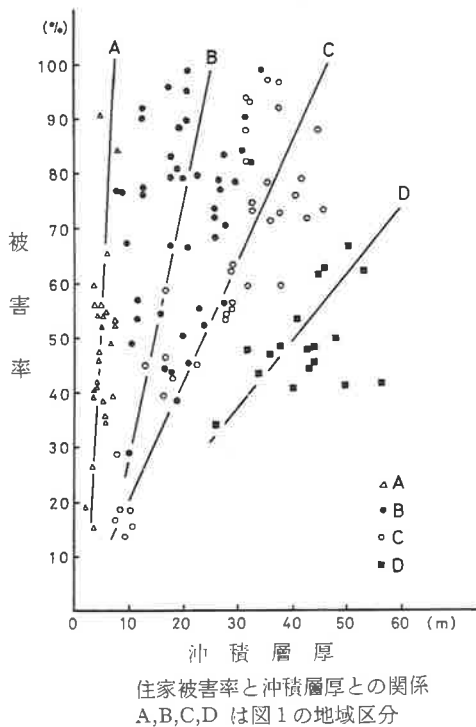


図14 1981年濃尾地震における住宅被害率と沖積層厚 (文献19)

している<sup>22)</sup>。このことは関東大地震における住宅被害地盤についても0.4秒に卓越周期が有るのではないかと推定させる。

福井地震、濃尾地震および兵庫県南部地震は直下型であり、東南海地震、新潟地震、十勝沖地震、宮城県沖地震、日本海中部地震、釧路沖地震は海洋型地震である。これらの地震において地盤卓越周期が0.4秒ぐらいの地域に建築物被害が多い。八戸における異なる2つの地震についての被害分布にこの共通性が見られるたこと等を考慮に入れ、経験的、帰納的に考えれば、ほぼ0.4秒の卓越周期を持つということを被害の多く出る地盤の必要条件の一つとしてよいのではないだろうか。今後、原因の理論的解明を待たれる課題である。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：1994年三陸はるか沖地震災害調査報告，1996.9
- 2) 毛呂眞：地震による住宅被害分布と地盤の卓越周期—1968年十勝沖地震および1994年三陸はるか沖地震を事例として—，第16回日本自然災害学会学術講演会講演梗概集，pp 47-48，1997.10
- 3) 日本建築学会：1968年十勝沖地震災害調査報告，1968年12月
- 4) 田端巧光，毛呂眞，他：1993年釧路沖地震による住宅被害の分布と表層地盤特性について，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），構造II，pp 43-44，1998.9
- 5) Kiyoshi Kanai, Teiji Tanaka, Kaio Osada ; On Microtremors. X, 地震研究所彙報 Vol. 44, pp 645-696, 1966
- 6) 飯田波事，正木和明：濃尾平野南部地域における常時微動の卓越周期と地盤構造・震害との関係，第12回災害科学総合シンポジウム論文集，pp 265-266，1975
- 7) 阿部良洋，小川淳二：宮城県沖地震における建築構造物の被害と地盤，第6回日本地震工学シンポジウム論文集，pp 1961-1968，1982
- 8) 荏本孝久，喜多村学：微動観測による芦屋市南北線上の地盤振動特性の検討，1995年日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，構造II
- 9) 藤原悌三（代表）：平成7年兵庫県南部地震の調査に基づいた実証的分析による被害の検証資料編 兵庫県域における合同微動観測，平成7年度文部省科学研究費（総合研究A）研究成果報告書，1996.3
- 10) 田治米辰雄，望月利夫，松田磐余：地盤と震害，槇書店，pp 73-86，1978
- 11) 毛呂眞：1983年日本海中部地震による青森県の木造住宅被害地盤の常時微動（その2），1986年日本建築学会大会学術講演梗概集，構造，pp 357-358
- 12) 野越三雄：微動のゾーニングへの応用，日本建築学会第17回地盤震動シンポジウム，pp 55-65，1989.7
- 13) Yorihiro OHSAKI : EARTHQUAKE DAMAGE OF WOODEN BUILDINGS AND DEPTH OF ALLUVIAL DEPOSIT, 日本建築学会論文報告集 第72号，pp 29-32，1962.5
- 14) 野口武彦：安政の江戸地震—災害と政治権力—，ちくま新書，p 9，1997.3
- 15) 村井勇：1978年宮城県沖地震の被害分布調査，自然災害資料解析7，pp 24-40，1980
- 16) 神戸市：神戸の地盤，1980

大地震による建築物被害と表層地盤特性（毛呂）

- 17) 望月利夫, 宮野道雄, 松田磐余: 1923 年関東大震災における木造家屋の被害の検討—震央距離・地形と全壊率の関係—, 日本建築学会論文報告集 第 270 号, pp 81-90, 1978.8
- 18) 鏡味洋史, 小林啓美: 関東地震の川崎における地表面の加速度分布 (地盤と木造建築物地震被害率), 日本建築学会論文報告集第 176 号, pp 17-22, 1970.10
- 19) 飯田汲事: 濃尾地震および東南海地震の被害資料の解析, 自然災害資料解析 2, pp 96-104, 1975
- 20) 毛呂眞: 建物被害分布と地盤の卓越周期, シンポジウム「三陸はるか沖地震の被害と耐震設計—十勝沖地震の教訓は生かされたか—」資料 (日本建築学会構造委員会), 1997 年 7 月, pp 23-32
- 21) 犬飼伴幸: 釧路市内の学校建物野常時微動測定, 日本建築学会技術報告集 第 2 号, pp 89-94, 1996.3
- 22) 嶋悦三: 東京下町における地盤の震動性状, 地震研究所彙報 Vol. 47, pp 145-163, 1969
- 23) 大沢, 村上雅也, 北川良和: 1968 年十勝沖地震における建築物被害外報, 地震研究所彙報 Vol. 46, pp 1451-1459, 1968