

静岡県西部太田川下流低地の振動特性と昭和19年東南海地震における家屋被害

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-07-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 土屋, 光永 メールアドレス: 所属: |
| URL | https://doi.org/10.14945/00025466 |

静岡県西部太田川下流低地の振動特性と 昭和19年東南海地震における家屋被害

土屋 光 永*

1. はじめに

地震時、地面がどのような揺れ方(振動特性)をするかは、震害を最小限に食い止めるため、家屋の揺れ方と合わせて大いに興味のあるところである。近い将来起こると言われている東海地震の最前線にある静岡県民にとっては、特に重大な関心事である。

地盤の振動特性に重要な役割を果たすのはS波である。S波の伝はん速度 V_s は、地盤の剛性率を G 、密度を ρ とすれば、 $V_s = \sqrt{G/\rho}$ の関係であたえられる。表層付近では、密度の変化はそれ程大きくないので、S波速度は地盤の強度に関連した剛性率を示す指標と考えられる。しかも、S波の振幅はP波のそれに比べてはるかに大きい。したがって、表層付近のS波速度は、地震時における地盤の振動を解き明かすための重要な物理量ということができる。ところで、地震波は、弾性や密度の異なる媒質に入射する場合、その境界面で反射屈折して、振幅に変化を生ずる。その変化は伝はん速度の比が大きければ大きい程著しい。また、境界面への入射角 α と屈折角 β には、 $\sin\alpha/\sin\beta = V_{s1}/V_{s2}$ の関係で示される Snell の法則がある。震源から放出された地震波は、伝はん途中の不連続面を、以上のような関係を満足させながら次第に本来の波形を変えて伝わっていく。震害をおよぼすような地震は地殻内に起こると考えてもそれほどまちがいはない。S波の速度は花コウ岩質層の最上層で 3 km/s、モホ面付近で 4.5 km/s とされている。被害地震の地震波の地表への経路は地殻内またはマントル上部に限られると思われる。地殻の厚さに比べ、この程度の速度の変化しかないので、伝はん途中の波形の変化はそれ程大きくないと思われる。一方、地震による被害を受けやすい軟弱地盤地帯では、せいぜい数百 m/s の S 波速度をもつ地層が多い。したがって、先に述べた Snell の法則により、震源を出発した地震波が表層に入射する場合、地表にはほぼ真下からくると考えられる。そして、地震波の変形は、速度比の大きいところで著しいから、地盤の振動特性を知りたい地域の適当な深さのところには地域を通じて共通の基盤面を設定すれば、その面に入射する地震波形はほとんど同じと見なすことができる。このことは、2 地点の地震動の差は基盤面より上の S 波速度構造の差によることを示している。

以上のような考え方にに基づき、静岡県西部太田川下流低地において、地表層が水平な成層構造であると見なし、周波数に無関係に一定の振幅をもつ S 波を基盤より鉛直に入射させ、地表での卓越周期およびある周期での S 波の増幅率を計算した。そして、その結果と昭和 19 年東南海地震において受けた家屋被害とを比べ考察した。

2. 太田川下流低地の振動特性

(1) 太田川下流低地の地盤

太田川下流低地は、第三紀鮮新世、第四紀洪積世の砂礫層からなる小笠丘陵、可睡丘陵、洪積世の

*静岡県立磐田北高等学校

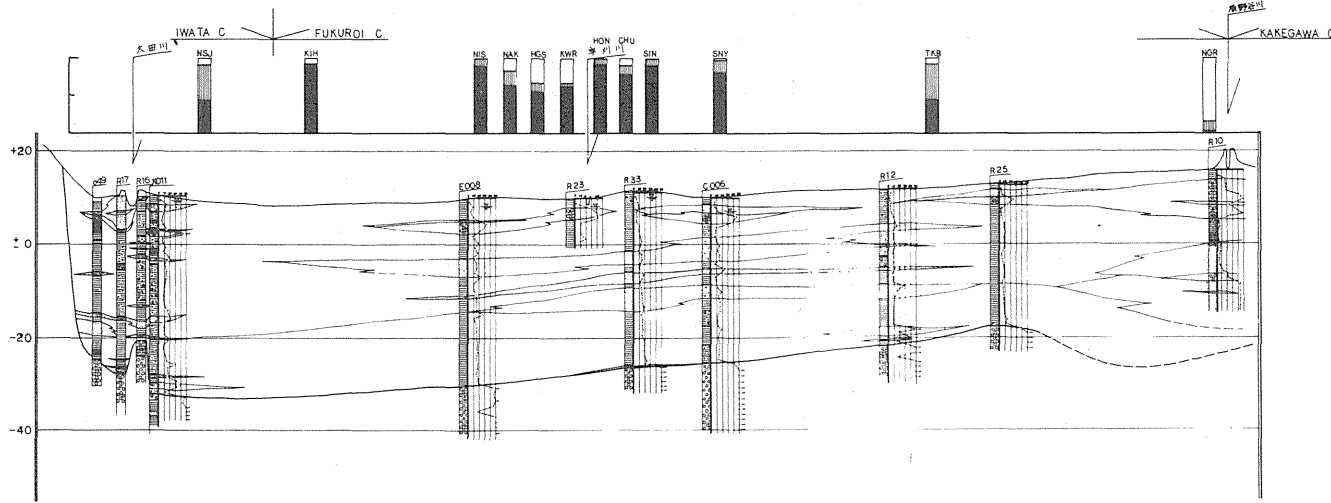
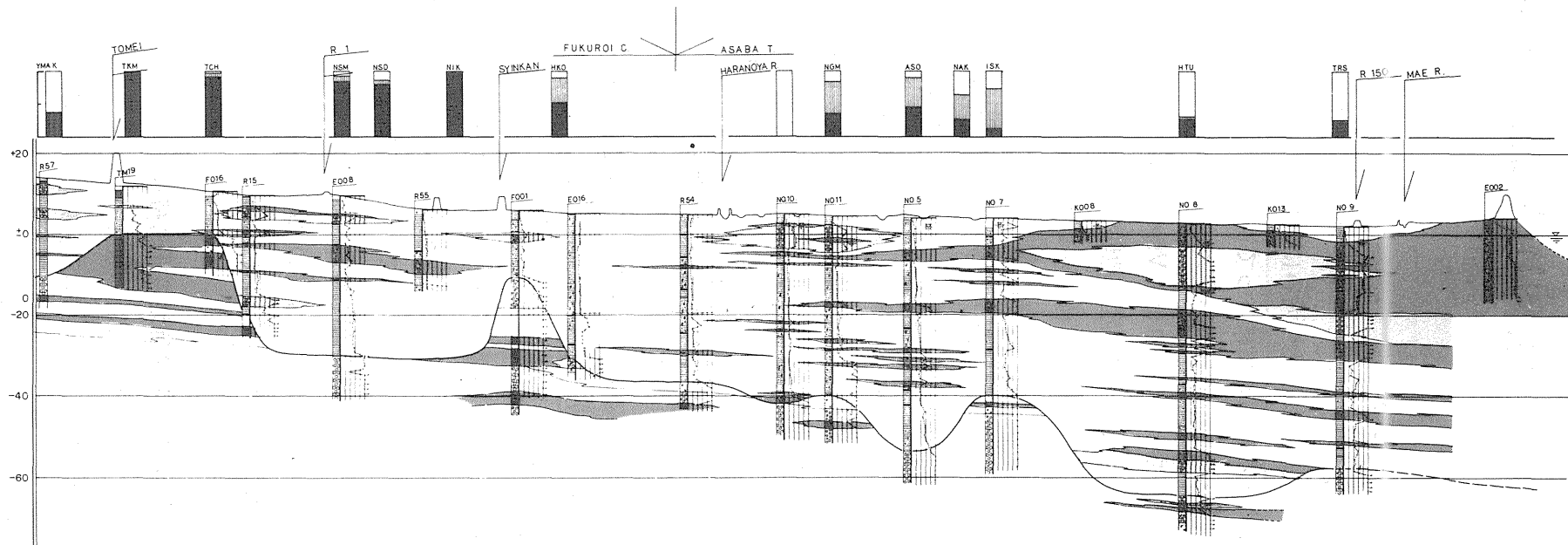


図1 太田川下流低地の地質断面図
 上：東西断面図
 下：南北断面図



磐田原台地に三方を囲まれ、南方に海岸線をもつ、海拔 20 m 未満（南に 1.3 ‰の勾配）の沖積平野である。磐田原台地の西方に扇状地性の天竜川下流低地が発達する。

太田川下流低地を構成する沖積層は、洪積世の開析谷を埋積したオボレ谷の堆積物で、主体は軟弱な粘性堆積物である。海岸に近い南部で砂質堆積物に移化する。沖積層の厚さは、南部で厚く、浅羽町幸浦地区で約 70 m あり、北部に薄くなる。図 1 に太田川下流低地の東西、南北方向の地質断面図を示した。この地域の沖積層は、上部、下部に分けることができる。上部層は海浜砂質堆積物、内湾性粘性堆積物を主体としており、貝殻片をよく混入する。粘性土の N 値は 10 前後の値を示す。厚さは約 20 m である。下部層は海性粘土を主体とする堆積物で、N 値は 10～30 とやや大きい。上部層と下部層の境界に砂～砂礫層をはさんでいる場合が多い。

第三紀の地層は北部山地に露出するが、この地域では地下にもぐり、ボーリング調査でも確認されていない。

(2) 地震基盤と各層の S 波速度・密度

前項で述べたように、この地域において現在知り得る最下層は洪積層の上部層であり、これより下位の地層についての情報はほとんど不明である。また、洪積層上部では S 波速度、密度が調査されているし、その形状もほぼ水平とみなしてよい。以上の事から、本研究では洪積層を地震基盤として設定し計算を行うことにする。

S 波速度、密度データは、静岡県地震対策課が浅羽町で 11 点、袋井市で 1 点のボーリング PS 検層を行い、成果を公表している。次項の計算にはこのデータを用いるが、調査地域に偏りがあり、しかも点でのデータでしかない。そこで上記のデータから、この地域を構成する地層の S 波速度、密度を調べ、ボーリング資料による地質断面図を S 波速度構造と見なすことにした。

図 2 に S 波速度と密度の各地層別頻度分布についてまとめたものを示す。基本的には沖積層の粘性土 (Ac)、砂質土 (As)、砂礫 (Ag)、洪積層の粘性土 (Dc)、砂礫 (Dg) に区分したが、Ac、Dg については、さらに N 値、岩相、S 波速度などをもとに区分した。Ac₁ はごく表層の粘土層で、N 値は小さく 5 以下である。Ac₂ は、上部粘土層の内湾性粘性堆積物にあたり、Ac₃ は下部粘土層の海性粘土層にあたる。Dg は洪積世の砂礫層であるが風化が進んでいるものや、地表に近く N 値の小さいものを Dg₁ に区分した。

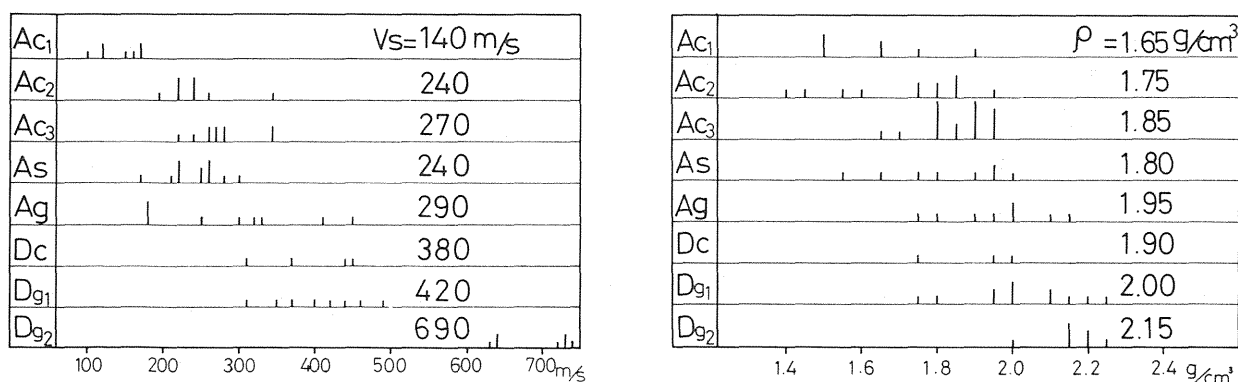


図 2 浅羽町における各層の S 波速度 (左)、密度頻度分布

(3) 卓越周期と増幅率

以上の仮定をもとに、基盤に入射した地震波が地表層の不連続面で透過・反射を繰り返し、地表でどのような地震動のスペクトルを示すか計算を行った。計算では入射波の振幅は1とし、媒質による地震動の減衰は無視してある。図3は地震動のスペクトルを求める過程を示したものである。計算した地点は、地盤を東西、南北1 kmごとに地質断面図を作成したその交点と、洪積層まで届くボーリング柱状図のある地点の、合計78地点で行った。

図4、図5は1次の卓越周期と増幅率の分布である。卓越周期は0.4~1.0秒付近に見られ、低地の中心部である袋井市で0.4~0.6秒と短かく、南部の浅羽町では長い周期に移動している。また、台地や丘陵に接近した地点で短くなる特徴が見られる。増幅率は袋井市で7~8と大きく、南部に向って減少している。海岸付近では5~6程度となる。しかし、増幅率の低くなっている浅羽町でも豊住では9.1と大きな値を示している。

3. 振動特性と家屋被害

(1) 昭和19年東南海地震における家屋被害

東南海地震は南海トラフを震源地とする巨大地震の一つで、1944年12月7日に発生した。震源域は熊野灘で、マグニチュード8.0、有感半径は約620 km、震度Vの区域は190 kmにもおよんだ。

木造家屋の被害は静岡県西部で著しく、特に太田川下流低地に集中し、全壊率100%の集落は4集落にもおよんだ。この地域での全壊率は21%にも達している。図6に大庭(1957)の資料をもとに作成した木造住家の全壊率分布図を示す。

(2) 卓越周期と家屋被害

図7は太田川下流低地の卓越周期の頻度分布、戦前の木造2階建家屋における固有周期の頻度分布である。この地域の卓越周期は、1次のそれが0.6秒、2次は0.2~0.3秒のところが多いことを示している。また、東南海地震当時の家屋の固有周期は0.3~0.5秒のものが多くとされている。

ところで、建築物の震害は、その建物の固有周期と地盤の卓越周期に大いに関係があり、建物の固

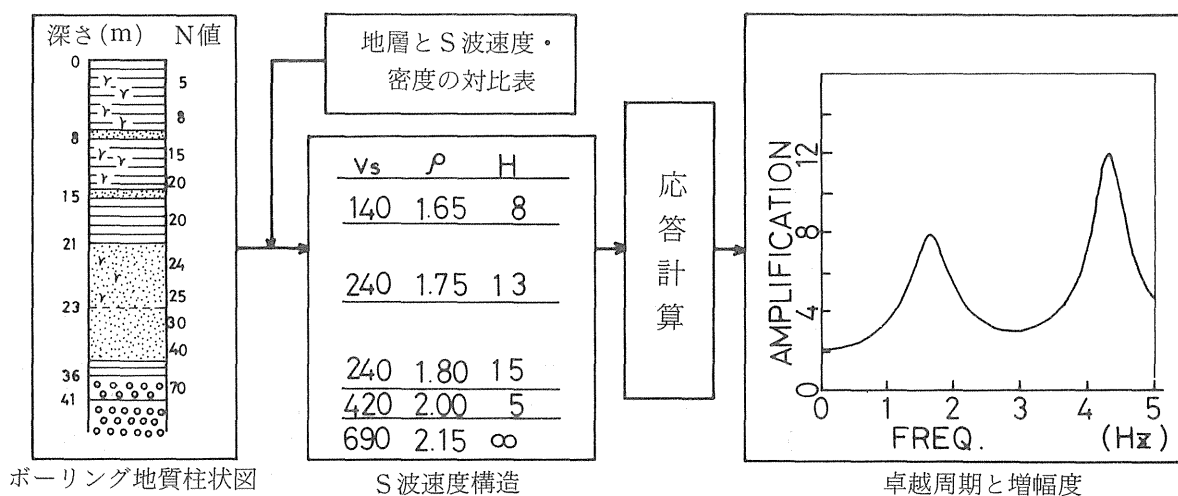


図3 地震動のスペクトルを求めるブロック図

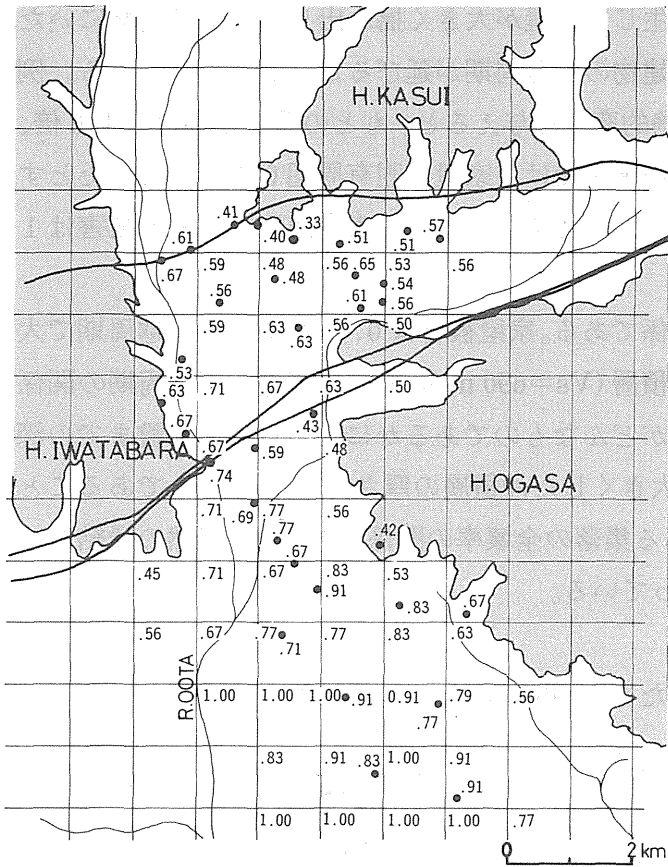


図4 卓越周期 (1次) の分布

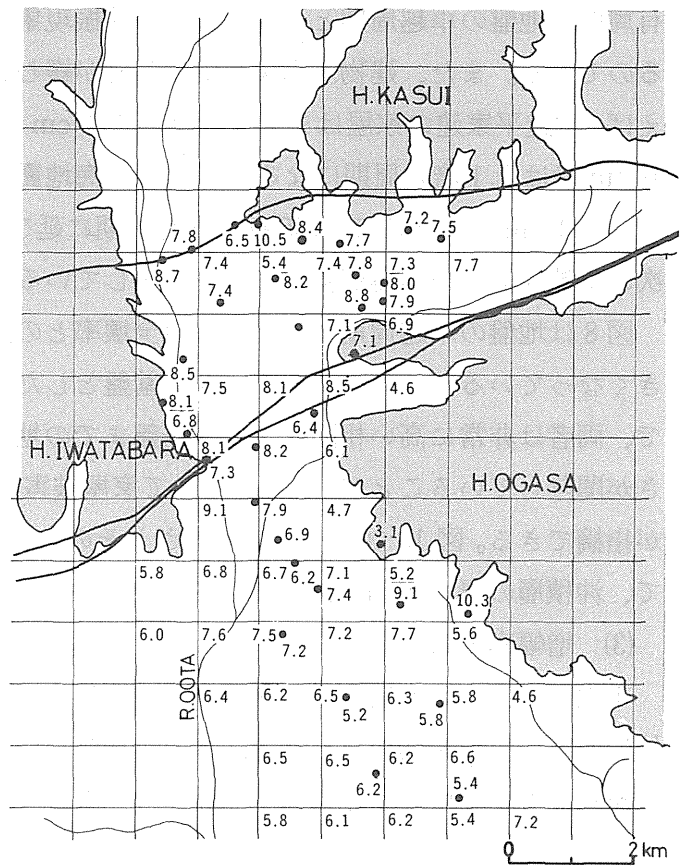


図5 増幅率の分布

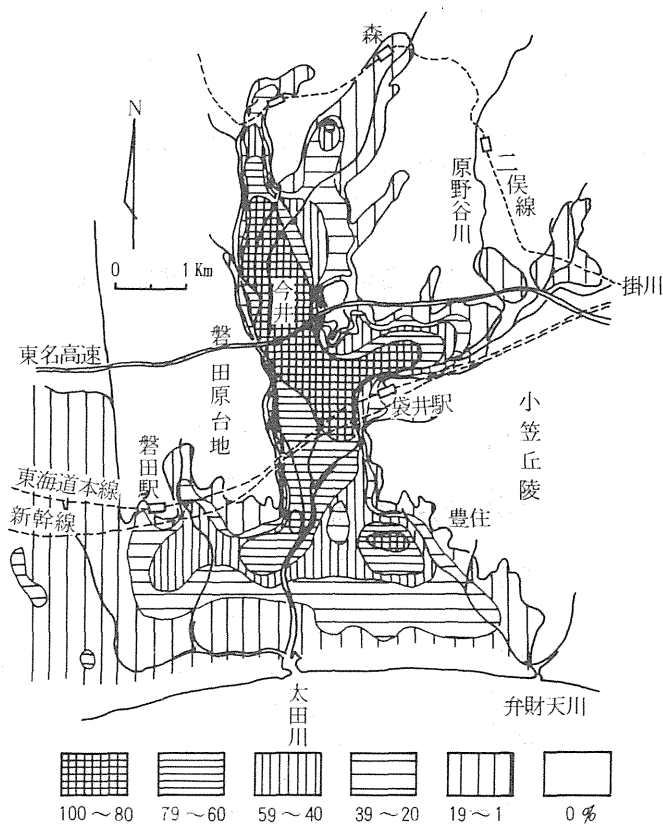


図6 太田川下流低地の住家全壊率分布

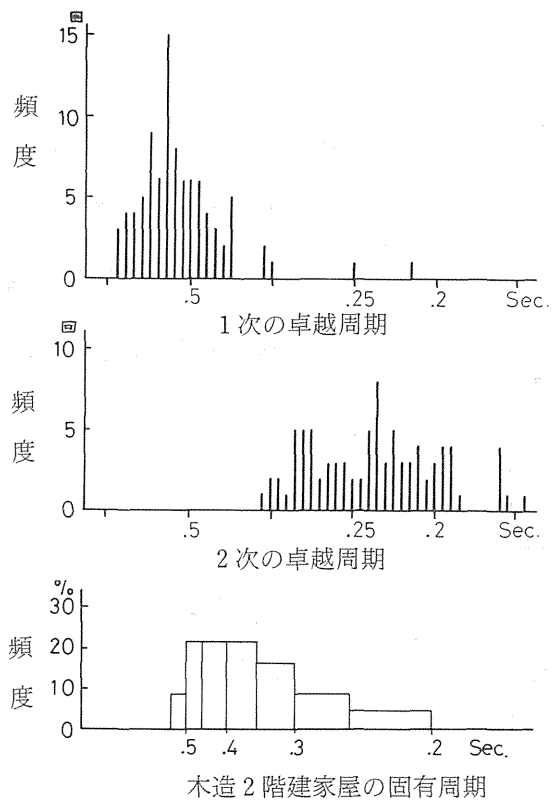


図7 太田川下流低地の卓越周期と木造家屋固有周期の頻度分布

有周期と地盤の卓越周期とが一致すると共振現象を生じて家屋が大きく揺れ出し、やがて倒壊にいたるのである。また、建物が損傷を受け部材が緩むと建物の固有周期が延びることが知られている。例えば、木造平家建の家屋はジャッキなどで3 cmの静的変位を与えると、もとの健全な場合の1.6倍、6 cmでは2.1倍の周期になる。もし、東南海地震で被害を受けた家屋が固有周期0.4秒であったとすると、3 cmのゆがみで0.65秒の固有周期に延びることになる。これは、東南海地震の家屋被害は1次の卓越周期との関連が強いことを示唆している。

図8は地盤の卓越周期と木造家屋の全壊率との関係である。家屋被害は0.4~0.7秒の卓越周期で大きくなっているように見える。図9は基盤とした洪積層($V_s=690$ m/s)までの深さと卓越周期の関係で、両者は非常に高い相関を示し、基盤までの地層がどんなものであるかに関わらず、基盤までの深さが関与していることがわかる。そして家屋被害を大きくした沖積層の厚さは、ほぼ40 mであることが指摘できる。図10は基盤までの深さとその上にある集落の全壊率の関係であるが、当然の帰結として、沖積層の厚さ40 m付近で家屋被害が大きくなっている。

(3) 増幅率と家屋被害

1次の増幅率と木造家屋の全壊率との関係を示したものが図11である。増幅率と全壊率の間には比較的よい正の相関が見られる。また、増幅率が7を越えると全壊率が急に大きくなる傾向も見られる。

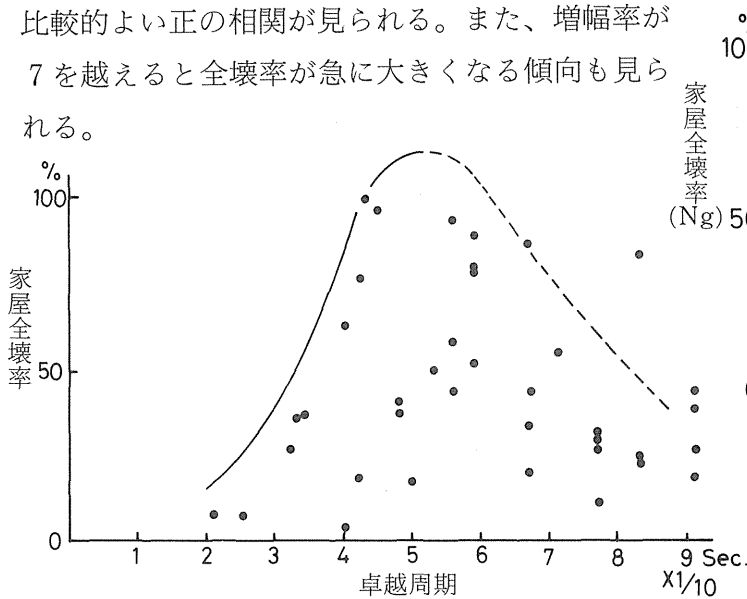


図8 地盤の卓越周期と家屋全壊率

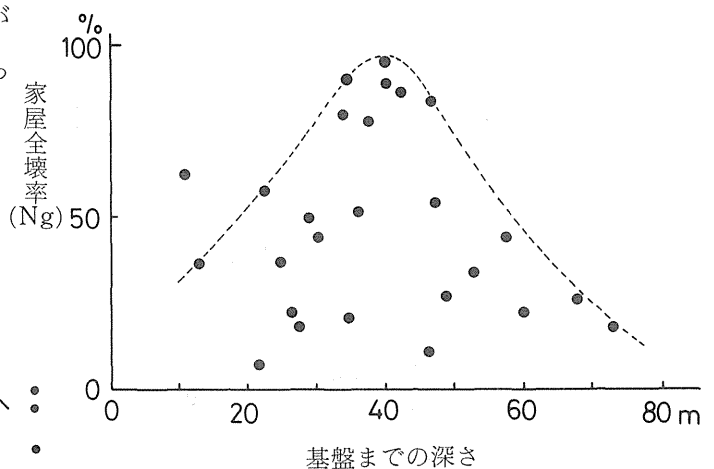


図10 基盤までの深さと家屋全壊率

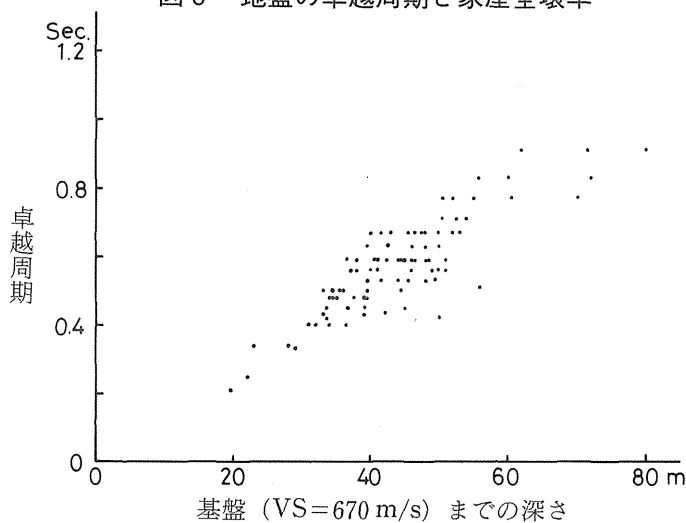


図9 基盤までの深さと地盤の卓越周期

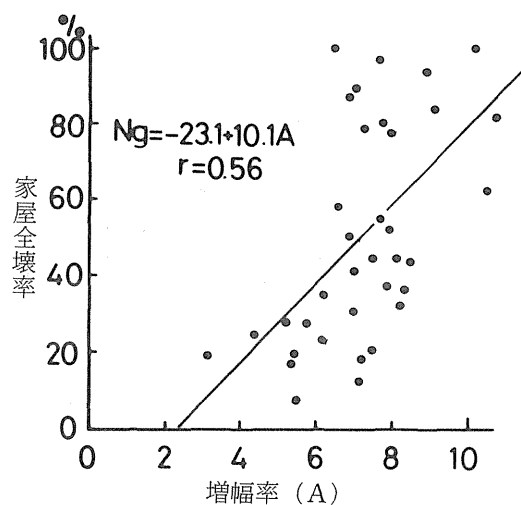


図11 増幅率と家屋全壊率

4. 家屋被害に関わる地盤条件

(1) 増幅率と S 波速度

前章で、家屋被害は地盤の卓越周期、増幅率と大きく関わり、卓越周期は基盤までの深さによって決まることがわかった。では、増幅率を左右する地盤条件はなんだろうか。そこで、基盤までの深さと増幅率の関係を調べた（図 12）。増幅率は基盤までの深さでは決まらないことを示している。

次に、S 波速度に注目し、基盤の S 波速度と表層の S 波速度の比と増幅率およびパワー（各周波数での増幅率を 2 乗した値を総和し、総数で除したもの）の平方根——計算した周波数域での平均的な増幅率または地震力の大きさ——との関係を調べた。図 13、14 がそれである。どちらも非常に高い相関を示している。このことは、地震基盤における S 波速度が未知であっても、地震基盤は共通であることから、地表層の S 波速度のどれかを標準の値とすれば、あとは各地の地表層の S 波速度を知ることにより、ある地点での増幅率が標準地点より大きいか小さいかを判断することができることになる。この考えから浅羽町の地表の S 波速度と増幅率、パワーの平方根との関係を調べたものが図 15、16 である。いずれもよい相関を示している。これは地表の S 波速度が増幅率や地震力を推定するうえで、よい指標となりうることを示している

そこで次に地表の S 波速度と家屋全壊率との関係を調べた。図 17 がその結果である。両者はよい相関を示し、S 波速度を V_s 、家屋全壊率を N_g として、次の関係式が得られた。

$$N_g = 2.27 \times 10^{164/V_s}$$

相関係数は 0.89 と非常に高い。

(2) 増幅率と表層の厚さ

ところで、図 15 には地表の S 波速度と増幅率の関係がやや乱れる地点がある。図中 a と b の 2

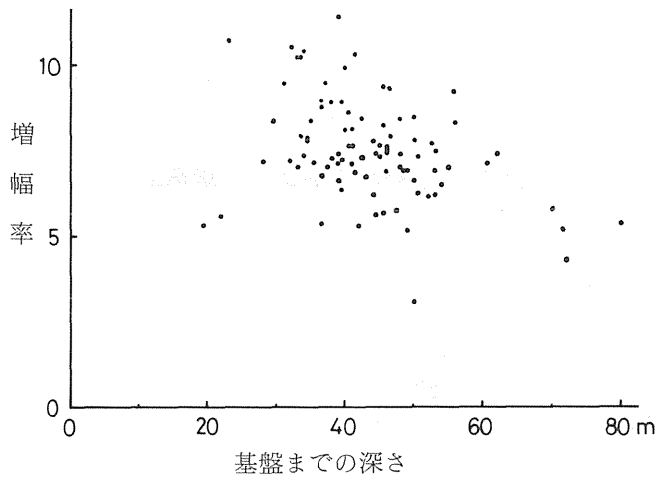


図 12 基盤までの深さと増幅率

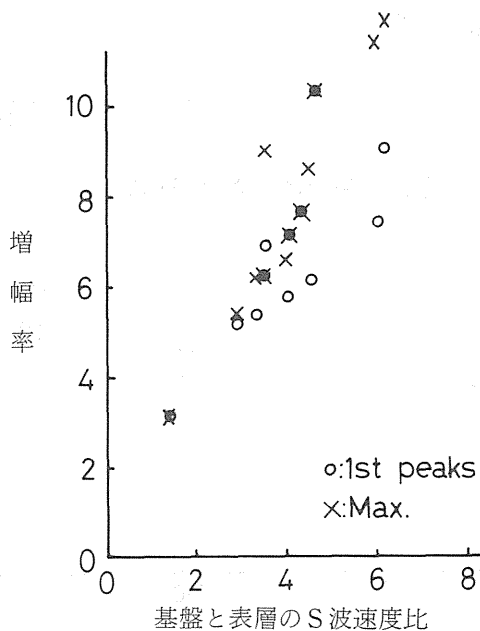


図 13 基盤と表層の S 波速度比と増幅率

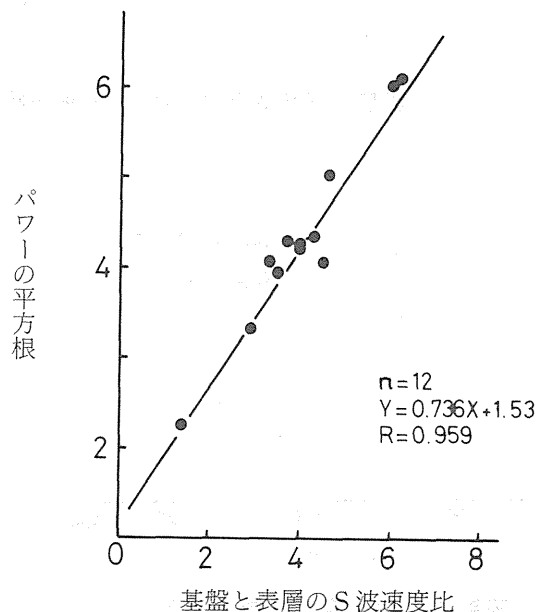


図 14 基盤と表層の S 波速度比とパワーの平方根

地点である。これは他地点の表層の厚さが6~8 mであるのに対してaは3 m、bは13.5 mになっており、これが増幅率に影響を与えているものと考え、増幅率と表層の厚さの関係を調べた。図18は表層の厚さが変化したときの増幅率の変化を示したものである。計算を行ったモデルでは、基盤からの厚さを一定にして卓越周期の移動をなくした(図19)。表層の厚さの変化に伴い、増幅率が大きく変化していくのがわかる。このことは表層の厚さが増幅率に大きく関与していると考えられる。しかし表層の厚さを増幅率を推定する一つの指標とした場合、基盤までの深さに関する情報はまったく無いのであるから、卓越周期に関しては不明である。従って、その増幅率が必ずしも家屋の固有周期に一致したものであるとは限らないことを考えておく必要がある。

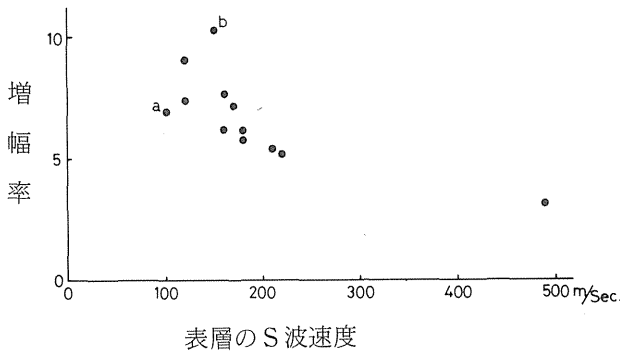


図15 表層のS波速度と増幅率

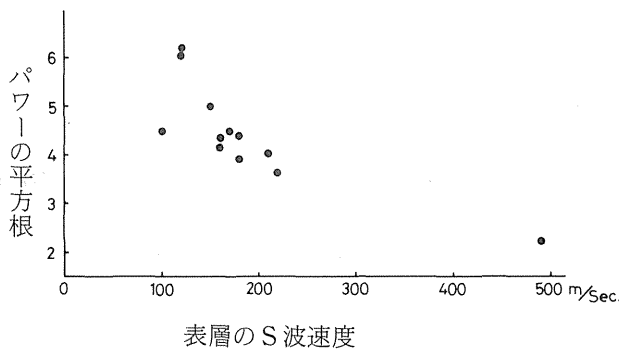


図16 表層のS波速度とパワーの平方根

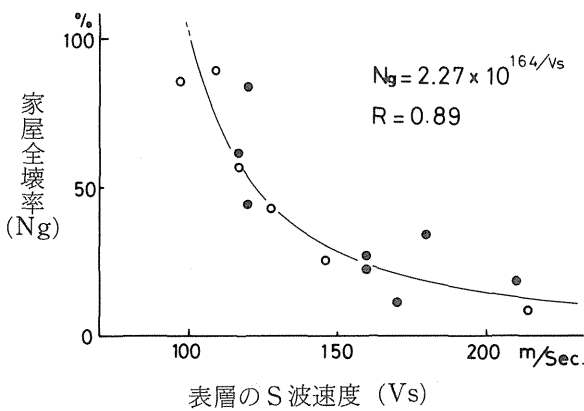


図17 表層のS波速度と家屋全壊率

(●: PS検層データ, ○: 筆者の測定データ)

以上のことから、基盤にいたるまでのS波速度の資料が少ない現在では、比較的簡単にデータの得ることができる表層のS波速度が、地震動の増幅率および地震による家屋被害の予想に大いに役立つ地盤条件であると考えられる。

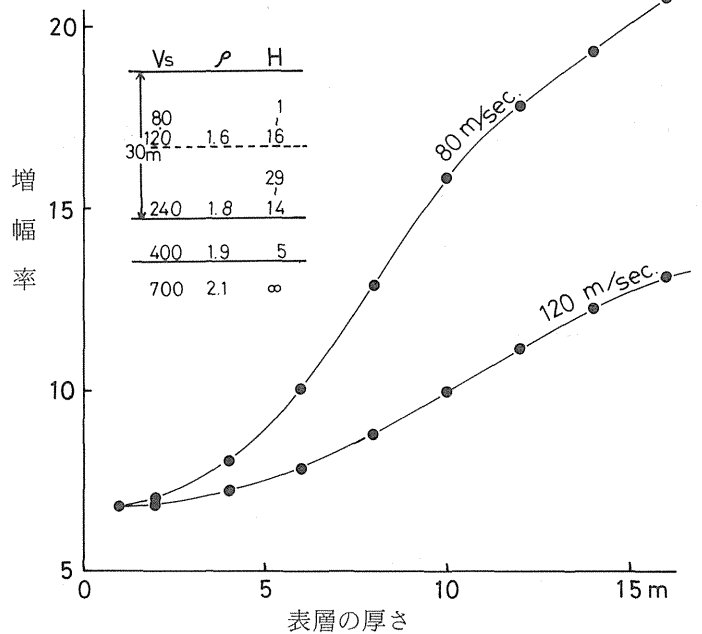


図18 表層の厚さと増幅率

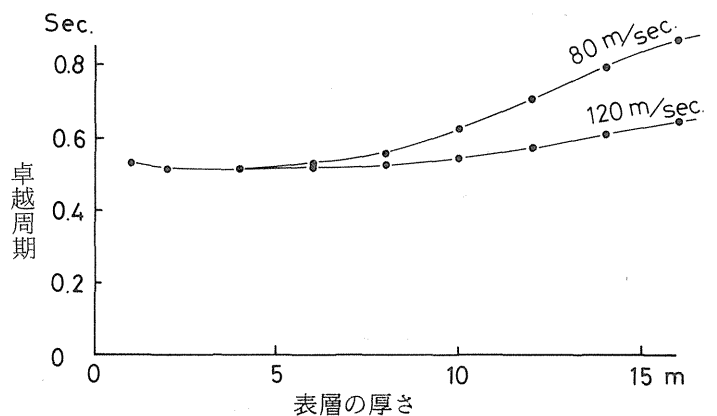


図19 表層の厚さと卓越周期