

39. 不規則構造に対する地震波の挙動

その 2. 1944 年東南海地震による静岡県太田川下流域浅羽町
付近の被害について

地震研究所 座間 信 作

(昭和 56 年 10 月 31 日受理)

1. はじめに

震災地の被害調査から、わずかしか離れていない 2 地点で震害の度合が著しく異なる例がしばしば見られる。例えば嶋 (1977) の基盤の概念によれば、このような局所的な地域での被害の相違は基盤以浅の地表付近の不均質さによることになる。この観点から SHIMA (1978) は東京 23 区を例にとり seismic micro-zoning map を作成した。これは各地点の相対的な地震動の強さは、表層と基盤の S 波速度比に支配されるとし、表層地質図と S 波速度測定結果とを結びつける事によってなされたが、平行層を仮定しており、水平方向に不均質な場合を考慮していない。MAISTRELLO *et al.* (1980) は Friuri 地震の本震、余震の観測を行い、地質条件 (平行層を仮定) に基づいたスペクトルと実測のそれとは大きな相違がある事を示し、地形の影響などを考慮すべきである事を指摘した。従って SHIMA (1978) の map は第 1 近似的なものとして把えておかねばならない。

ここでは、より信頼度の高い seismic micro-zoning map 作成のための第 1 段階として、不規則構造を考慮する事によって、実際の狭い領域での被害分布を説明できるか否かを検討する。このような研究が可能となるための条件として、詳細な地下構造と被害分布が与えられなければならない。ここで選んだモデル地区は静岡県太田川下流域の磐田郡浅羽町を中心とした低地である。この地域は 1944 年東南海地震で大被害を蒙った所で、将来発生する事が予想されている駿河湾地震に対しても震害が予想されている地区でもある。東南海地震によるこの地区での被害に関する調査は大庭 (1957)、静岡県 (1978) によって詳しくなされており、また地下構造は静岡県 (1978) によってボーリング、PS 検層からかなり詳細に調査されており、本研究の目的には最適と考えられる地区である。

2. 背 景

1944 年 12 月 7 日熊野灘で発生したこの地震は $M=8.0$ の巨大地震で、三重・愛知・静岡その他の府県に被害を与えた。神林・勝又 (1976) による震度分布を Fig. 1 に示す。図中斜線を施した領域がここで扱う浅羽町地区である。この地区の部落別の被害状況 (静岡県, 1978) を Fig. 2 に示す。図中長方形で囲まれた領域の全潰率はほぼ 20% から 80% までの広範囲にわたっており、この様に狭い領域に於ても震害の度合がかなり異っている事がわかる。この地区で最も被害の大きかったのは豊住付近で全潰率 78% である。Fig. 3 には太田川と弁財天川に挟まれる沖積平野に位置し北東側はなだらかな丘陵地が

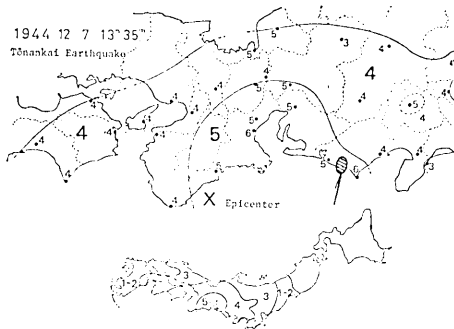


Fig. 1. Map of the seismic intensity due to the 1944 Tonankai earthquake after Kanbayashi *et al.* (1976). X is an epicenter. The area in the encircled oblique lines is the area studied in this paper.

広がっているこの地区の地質構造が示されている。これから馬場付近で洪積層が露出し、豊住付近で急激に深くなっている事がわかる。ところで平行層近似による振動論では基盤と最上層の速度比と増幅度との間にはかなり良い線形関係がある事が知られている (SHIMA, 1978)。これに依れば速度比は梅山から馬場付近まで全て等しいから、被害は殆んど等しくなる事が結論され、実際の被害状況を説明できない。そこで不規則構造を考慮した波動論的な取扱いを

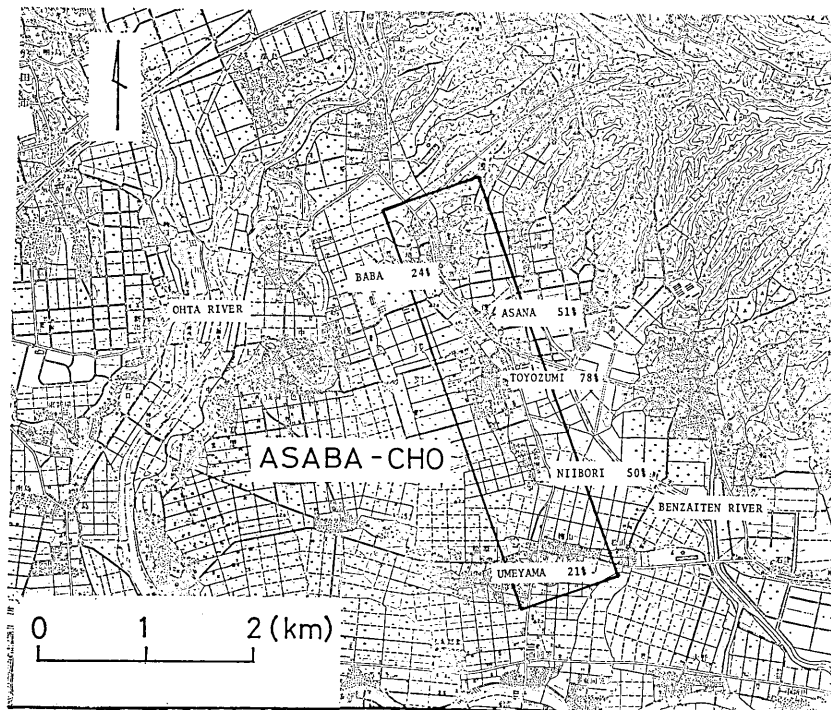


Fig. 2. Distribution of damage percentage at Asaba-Cho. The area enclosed in the rectangular is investigated.

有限要素法を用いて行ってみた。

3. 有限要素法による解析

Fig. 3 の地質図に基づいた有限要素モデルの概略図を各々の地区の全潰率、速度構造と共に Fig. 4 に示す。但しこのモデルでは実際の構造を単純化し、弾性波速度・層厚・密

附図-2 地質断面図 (A基線) 横尺:横・1/10,000, 縦尺:縦・1/400

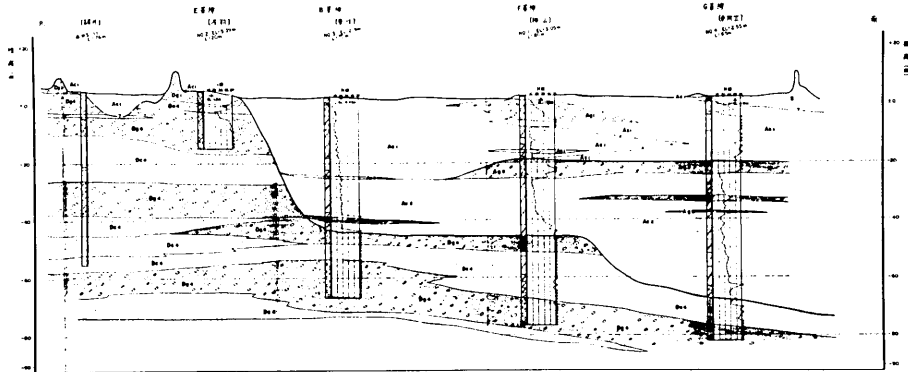


Fig. 3. Geological structure near Asaba-Cho (after Shizuoka Prefecture (1978)).

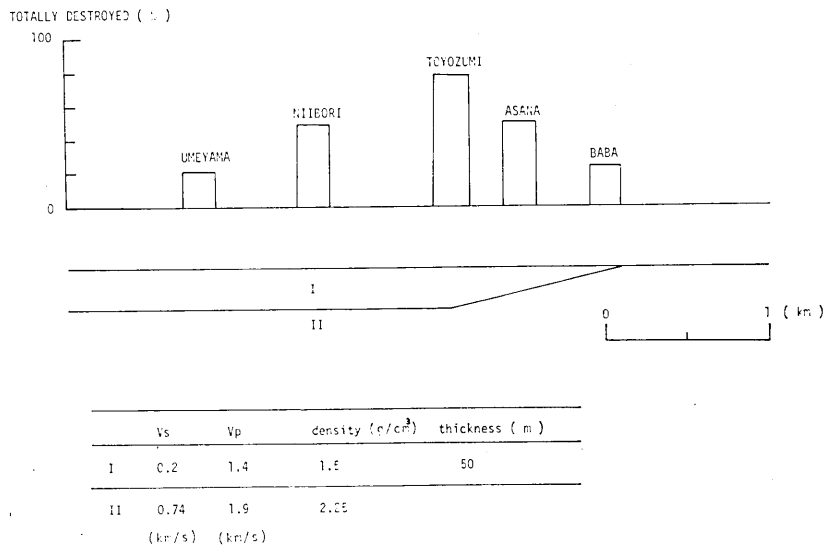


Fig. 4. Finite element model, damage percentage, and structural parameters.

度などは適当に平均化して与えてある。その与え方は、各地点での垂直入射に対する基盤 ($V_s=740$ m/s) からの走時、重複反射による増幅度がほぼ一致する様にしてある。全潰率と地下構造とを見比べると、明らかに構造の変化している豊住地区で被害が大きく、そこから離れるに従い小さくなる傾向が認められる。ここで問題を2次元とし、平面 SH・SV 波が垂直に入射する場合を考える。波の発生については従来の方法 (SMITH, 1975; 座間, 1981) を用いる事はこの場合計算機容量・計算時間の制限により困難である。そこで次のような方法を考えた。従来波の励起はモデル下端でなされていたが、それを中間の節点でなし、下端には dash-pot を設ける。波の励起のなされる節点に対しては初期条件だけを与え、その後の運動は free とする。これによりモデル下端へ入って来る波は殆んど吸収され、計算機容量・時間を大幅に節約できた。Figs. 5-a, b はこの様にして得られた各地

点での記象で、それぞれ SH 波, SV 波入射に対するものである。ここで振幅は任意であり、実線・破線は水平動・上下動を表わしている。梅山付近は平行層内で重複反射する波が現われている。斜面部及びそれに近い豊住・新堀付近では、平行層近似では得られない位相が見られる。特に浅名付近から豊住付近にかけて、水平方向のエネルギーの流れが明瞭であり、これは斜面で二次的に発生した表面波と考えられる。従って全潰率の相違はこの表面波の寄与の程度に依存するものと考えられる。但し Fig. 5 から明らかなように、斜面で発生した表面波が梅山付近まで達しておらず、各地区に対する寄与の程度を完全には記述できていない。しかし実際には地表付近は S 波速度が 200 m/s という軟弱層であるから Q 値は非常に小さい事が予想され、斜面部から遠ざかるにつれ、表面波の寄与の程度は急速に小さくなるであろう。従って、Fig. 5 の記象が不完全なものであるにせよ、豊住付近では平行層内で重複反射する波と斜面部からの表面波の両者の寄与が最大限に働き、その結果として被害が他地区よりも大きかったのではないかと推定できる。

4. スペクトル解析

前節で述べたことを周波数領域で調べてみる。Fig. 6 は無限媒質に対するスペクトル比を示したもので上が SH 波, 下が SV 波の入射した場合である。概して SH 波および SV 波の水平動成分(実線)のピークは直下の構造から期待されるもの

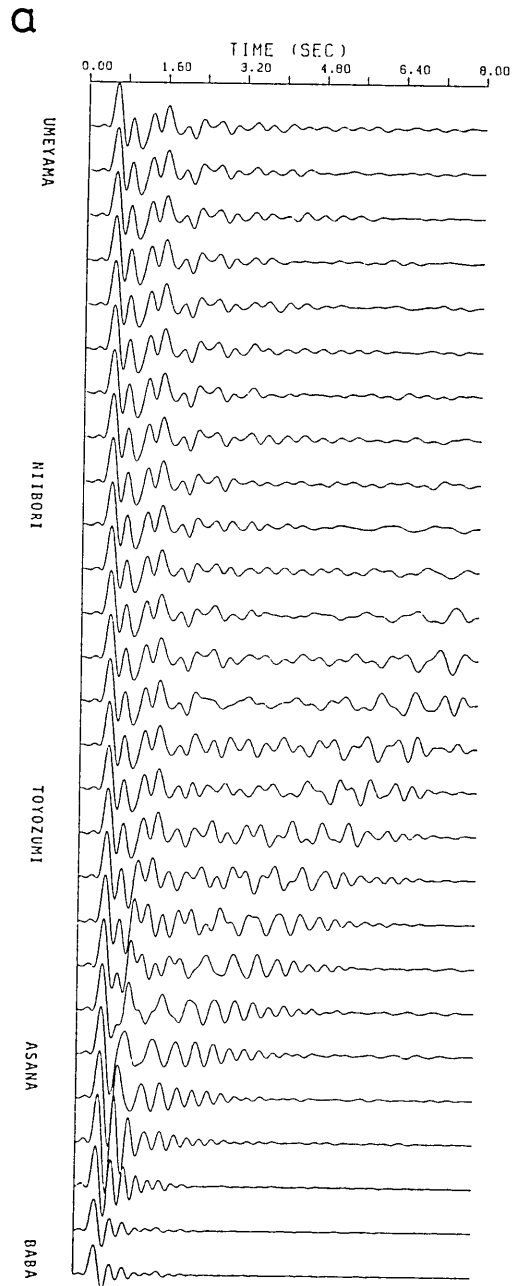


Fig. 5-a. Calculated waveforms at selected sites for SH incidence.

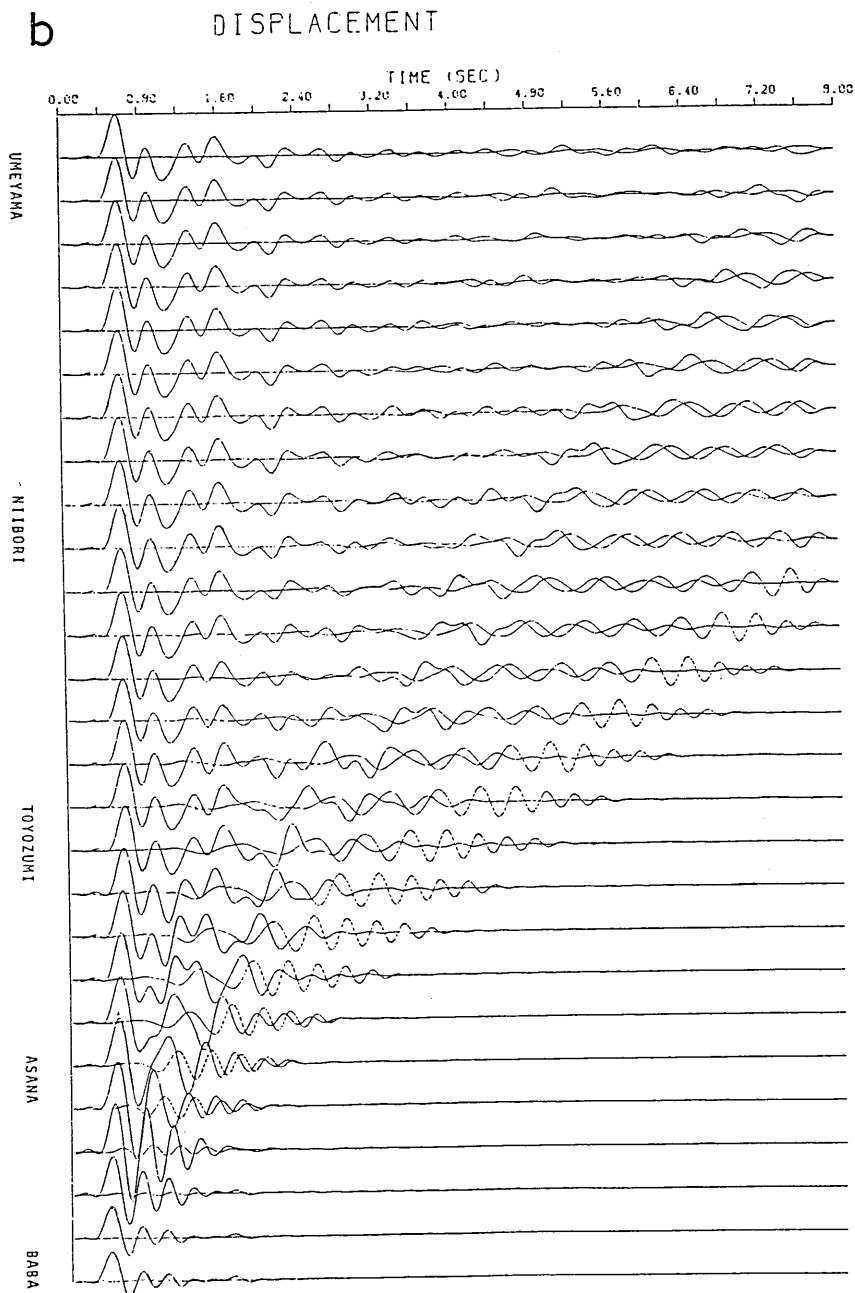


Fig. 5-b. Calculated waveforms at selected sites for SV incidence.

とほぼ等しい。一方、豊住・浅名付近では、それ以外の周期でもピークをもち、斜面からの影響が現われている。特に上下動成分(破線)でみると、豊住では 2 Hz 付近でピークをもち 4 倍程度にもなり、上下動がかなり卓越することがわかる。このことは、平行層を仮定した正規モード解で 2 Hz 付近で Rayleigh 波が卓越する事と調和的である。従って

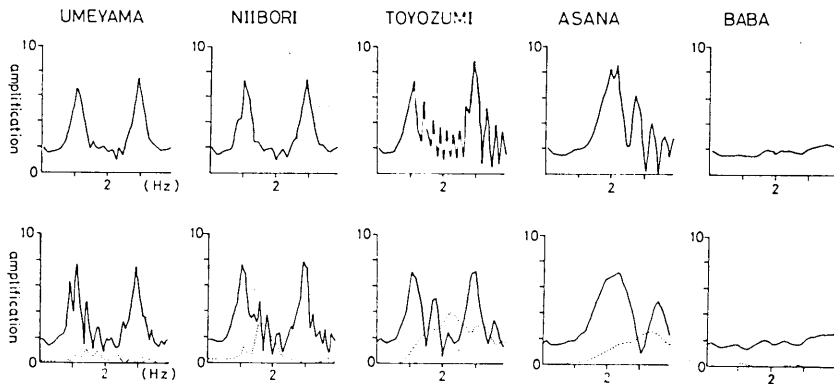


Fig. 6. Spectral ratios of the seismograms for the irregular structures to ones for the infinite media.

Upside: SH case Downside: SV case.

The broken lines show the vertical components.

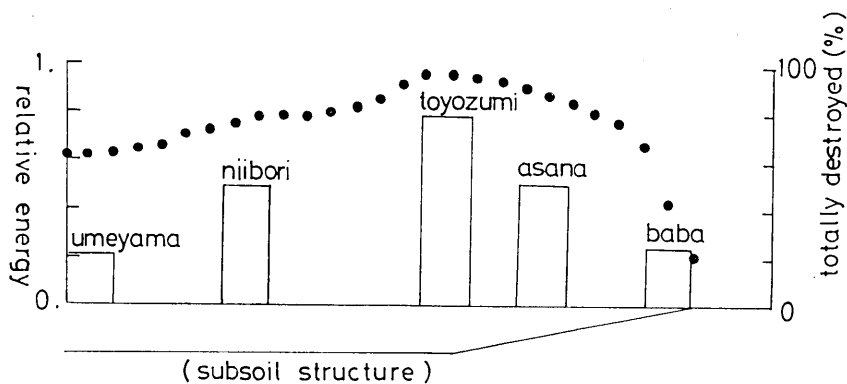


Fig. 7. Relative energy (dotted line) at sites and damage percentage.

スペクトルからも、傾斜層から二次的に表面波が発生し、地震動に寄与していた事が明らかになった。

5. 考 察

地震による被害を記述する物理量、入力地震動の特性について現在のところ明確化されていないため、前節までの議論から全潰率についての定量的な議論をするのは困難である。しかし地動と被害との間には何らかの相関が存在することは明らかである。ここでは、各地点に対するスペクトル比の2乗和をとって最大値で規格化したものを相対的な地震波エネルギーとみなし、全潰率との関連をみてみた (Fig. 7)。図中黒丸で示された相対的なエネルギーの変化をみると、被害の最も大きかった豊住で最大となっていることがわかる。Fig. 8は相対的な地震波エネルギーと規格化された全潰率との関係をプロットしたものである。この図から明らかに両者の間には正の相関があることが分かる。

以上のようにして現実の地下構造を考慮することにより、狭い地域での相対的な全潰率の相違を説明することができた。但しここでの扱いには幾つかの問題点も残る。即ち、問

題の取扱いが2次元であったこと、パルスが垂直入射する場合だけであったこと、減衰を考慮しなかったこと等が挙げられる。

絶対的な全潰率に関しては前述したように不明確な要素があり、完全な説明は困難であるが、1つの解釈の方向を与えるものとして最大加速度と全潰率との関係を求めた Fig. 9 (鏡味, 1975) をみよ。約 350 gal を臨界値として、わずかに加速度が変化しても全潰率が大きく変化することがわかる。従って東南海地震による浅羽町地区での平均の加速度が 350 gal 程度であったならば、絶対

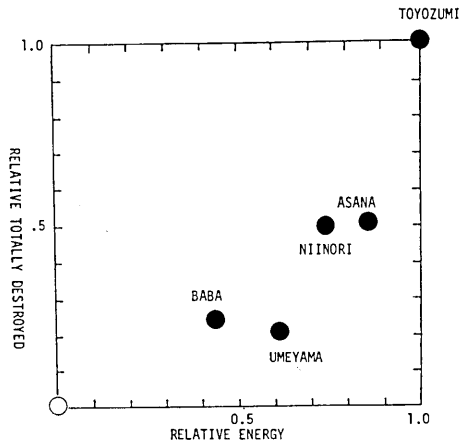


Fig. 8. Plots of relative energy versus relative damage percentage.

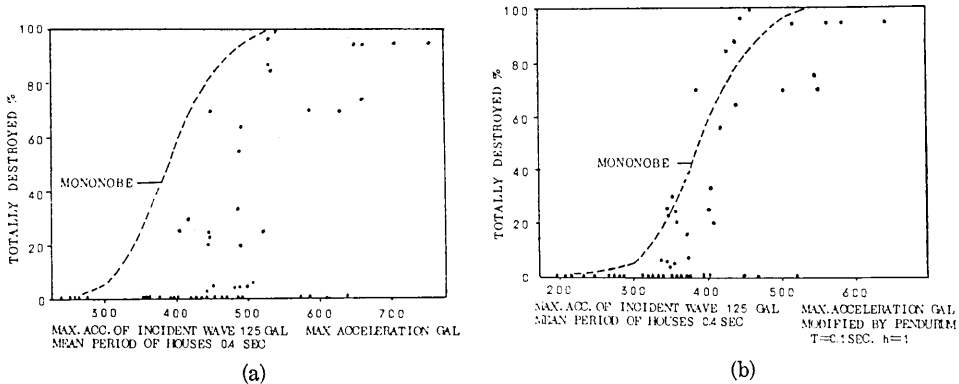


Fig. 9. Plots of damage percentage versus maximum acceleration after KAGAMI (1975).

的な全潰率の分布もある程度説明できるだろう。

以上からより精度の高い seismic micro-zoning map 作成に於ては、詳細な3次元的地下構造を求めておくことが重要であると指摘できる。

謝 辞

地震研究所嶋橋三教授には終始懇切な御指導を賜った。東京大学理学部佐藤良輔教授には有益な御教示・御批判を頂いた。また静岡県には未公開の貴重なデータを提供して頂いた。以上の方々には深甚の謝意を表します。なお、計算は東京大学大型計算機センター HITAC 8700/8800, M200-Hを用いた。

文 献

- 鏡味洋史, 1975, 木造建築物の被害率と地震動の最大加速度との関係, 川崎市の震災予防に関する調査報告書, 97-102.
- 神林幸夫, 勝又護, 1976, 東京の被害地震の表およびその震度分布図, 東京直下地震に関する調査研究 (その 3)—地震活動状況に関する考察—, 東京都防災会議, 53-103.
- MAISTRELLO, M., A. MARCELLINI, R. RAMPLDI and V. PETRINI, 1980, An attempt to reconstruct some features of the May 6, 1976, Friuri earthquake by means of aftershocks, *Tectonophys.*, 67, 345-354.
- 大庭正八, 1957, 1944年12月7日東南海地震に見られた遠江地方の家屋被害分布と地盤との関係, 地震研究所彙報, 35, 201-295.
- 嶋悦三, 1977, 基盤層, 土と基礎, 55, 91-92.
- SHIMA, E., 1978, Seismic micro-zoning map of Tokyo, *Proc. 2nd. Int. Conf. on Microzonation*, 433-443.
- 静岡県, 1978, 静岡県地震対策基礎調査報告書, 震動特性調査.
- SMITH, W. D., 1975, The application of finite element analysis to body wave propagation problems, *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, 44, 747-768.
- 座間信作, 1981, 不規則構造に対する地震波の挙動 その 1. 崖地形が地震動に及ぼす影響, 地震研究所彙報, 56, 741-752.

39. *Behavior of the Elastic Waves Propagating through the Irregular Structures. II. Damage at Asaba-Cho in the Lower Reaches of the Ohta River in Shizuoka Prefecture due to the 1944 Tonankai Earthquake.*

By Shinsaku ZAMA,

Earthquake Research Institute.

The distribution of damage due to the 1944 Tonankai earthquake at Asaba-Cho cannot be explained by the current vibration theory which inevitably assumes the horizontal parallel layers. We took into account the real subsoil structures and interpreted this problem from the viewpoint of elastic wave theory utilizing the finite element method. This area is apposite for our purpose, since the detailed data associated with the soil conditions and the damage are available. We considered the cases of vertically incident SH and SV waves.

It was found from the calculated seismograms that the secondary generated surface waves from a part of the inclined layer were evident. These surface waves strongly affect the ground motion in addition to the body waves reverberating in a horizontal layer, especially near Toyozumi where the greatest damage was sustained in this area.

A good correlation was found between the relative seismic energy obtained from the seismograms at each site and the relative damage percentage (percentage of totally destroyed wooden houses).

After all, the difference of damage is explained by the level of the contribution of secondary generated surface waves at the irregular structures to the ground motions.