

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 194 Sept. 1974

東京湾沿岸地域の大地震時における地盤加速度(その2)
—土のせん断弾性係数, 減衰定数のヒズミ依存性を考慮した場合—

上 部 達 生
野 田 節 男

運輸省港湾技術研究所



目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. 概 要 | 3 |
| 2. 対象とした地点および大地震 | 4 |
| 3. 土の動的変形特性 | 9 |
| 4. 成層地盤の地震応答 | 12 |
| 5. 基盤での最大加速度 | 14 |
| 6. 計 算 結 果 | 15 |
| 7. 考 察 | 25 |
| 7.1 線型計算との比較 | 25 |
| 7.2 入力地震波の影響 | 28 |
| 7.3 地表での最大加速度と地盤の固有周期 | 29 |
| 8. 結 論 | 34 |
| 謝 辞 | 34 |
| 参 考 文 献 | 36 |
| 記 号 表 | 37 |

Estimation of maximum ground accelerations around the Tokyo Bay area during great earthquakes (Part-2)

----Analysis considered the strain dependence of modulus and damping of the soil----

Tatsuo UWABE*

Setsuo NODA**

Synopsis

In order to obtain the fundamental data for the countermeasures against the earthquake disaster, accelerations due to the expected catastrophic earthquakes are calculated at the ground surface of the several sites around the Tokyo Bay area.

Following the preceding paper on the accelerations for the constant modulus of deformation of soil, this report estimates the ground accelerations in case of the strain dependence of modulus and damping of the soil. The followings are made clear.

- 1) If the catastrophic earthquakes happen in the Kanto region, 300-400 gals of maximum accelerations are expected at the ground surfaces around the Tokyo Bay area. The maximum values calculated are about 500 gals of acceleration and 1.8 per cent of strain in the ground.
- 2) Although the maximum accelerations do not so vary in different localities, the natural frequencies are about 0.7 Hz for the soft ground and about 2.0 Hz for the hard one. Referring to the damages of the wooden houses in the past earthquakes, the soft ground area is relatively risky against earthquake.
- 3) We must regard the fact that the accelerations estimated do not always correspond to the seismic coefficient in the conventional design procedure. This question will be investigated in the future.

* Member of the Earthquake Resistant structures Laboratory, Structures Division.

** Chief of the subaqueous Tunnels and Pipe Lines Laboratory, Structures Division.

東京湾沿岸地域の大地震時における地盤加速度（その2）

一土のせん断弾性係数、減衰定数のヒズミ依存性を考慮した場合一

* 上 部 達 生
** 野 田 節 男

要 旨

東京湾沿岸地域における地震防災対策の基礎資料として、大地震時における代表的地点の地表での最大加速度を求めた。

前報（港湾技研資料，Ⅷ177）において、土のせん断弾性係数が、土のヒズミレベルに関係なく一定の場合について報告したが、今回は土のせん断弾性係数および減衰定数が、ヒズミレベルによって変化することを考慮して試算を行った。以下に今回の試算によって明らかになった事項と問題点を列記する。

- i) 関東地方に大地震が発生した場合、東京湾沿岸地域では 300~400 gal の最大加速度が予想される。最も大きい加速度および土中のヒズミはそれぞれ 500 gal 弱、1.8%であった。
- ii) 地表の最大加速度は地域的に大差がないが、各地点の地盤の固有振動数は軟弱地盤において約 0.7Hz、硬地盤で約 2 Hz である。過去の木造家屋の被害率からみると、軟弱地盤地域はより危険度が高いと思われる。
- iii) こうで求めた最大加速度がそのまゝ現行設計法における震度とは結びつかない点に注意を要する。最大加速度と設計震度の関係はさらに検討されるべき課題である。

1. 概 要

未曾有の大被害をもたらした関東大震災が起こってから半世紀が過ぎた現在、再びこのような大地震が関東地方に発生する危険度が高まりつつあるということで、市民の非常な関心事となっている。地震の発生の予知に関する研究が近年急速に進歩しつつあるとはいっても、未だその発生位置、地震の規模、発生日時などの予測について確たる手法は示されていない。最も広く知られている説は、河角¹⁾による関東地方での大地震の発生に関する 69 年周期説であり、これによると発生周期の標準偏差が±13 年であるということから、1979 年にはその危険期に入るといわれている。いずれにしても、地震多発地帯といわれる日本に住み、甚大な被害を被ってきた我々としては、これまでに得た貴重な経験を無駄にすることなく、日頃から十分な防災対策を講じて、予想される大地震に対処せねばならないだろう。

現在南関東地方に予想される大地震に備えて、国や地方自治体によって種々の防災に関する調査、計画が実施されている。²⁾ 港湾関係では、東京湾内の諸港湾が大地震時における緊急物資の輸送、復興作業の拠点として果たすべき役割は非常に大きいと考え、港湾局防災課と港湾技術研究所が協力して幾つかの調査研究を行ってきた。その一環として、港湾技研資料，Ⅷ177，野田節男，上部達生：東京湾沿岸地域の大地震時における地盤加速度（以後この報告を前報と呼ぶ）では、大地震時に沿岸地域の地表面に発生する最大加速度を推定したが、さらに土のせん断弾性係数、

減衰定数のヒズミ依存性を考慮した計算法により、より現実性の高い推定を行ったので、こゝにとりまとめて報告する。

本報告の目的は前報と同様、もし関東地方を大地震が襲った場合、東京湾沿岸の各地で予想される地盤加速度を、今日の地震学、地震工学の成果を用いて推定し、湾岸地域の広域的な防災対策を実施するための基礎資料とすることである。

本報告における作業の概略は、先ず東京湾沿岸の代表的地点を定め、そこでのボーリングデータから地盤を数層に水平層モデル化する。他方、想定される大地震の震源位置、規模および地震波形を定め、各地点の基盤に伝わって来る地震動を決定する。この地震動が基盤を通じモデル化された地層内を水平せん断波として上方に伝播すると考え、地表面の地震波の加速度を多層重複反射理論によって求めた。前報では、この地盤の地震応答計算において土のせん断弾性係数を一定と考える線型計算によったため、求めた地表加速度が予想外に大きな値となっている。本報告では、土のせん断弾性係数および減衰定数が土のヒズミレベルによって変化するという点を考慮し、より信頼度の高い地盤加速度を推定したものである。

なお、十分注意しなければならないことは、こゝで求めた最大加速度を単に重力加速度で除した値が、現行設計法における“震度”にはならないことである。これは実際の地震力はたえずその方向と大きさが変化する動的外力であるので、その最大値と同じ大きさの静的な地震力とは構

* 構造部 耐震構造研究室
** 構造部 沈理構造研究室長

造物に対する影響が異なる。強震観測網が整備されてきた現在では、十勝沖、根室半島沖地震に対して行われたように、地震力による港湾構造物の被災例を解析することにより、現行設計法における震度と地震の最大加速度の関係が検討され、近い将来両者の関係が明らかにされることが期待される。

2. 対象とした地点および大地震

ここで検討の対象とした地域は、横須賀から木更津までの幅が約8~12 Kmの湾岸地帯である。緯度2.5'および経

度3'間隔(東西、南北共に約4Kmに相当する)のメッシュを組んで、この地域を約100地点で表わしてある。ただし、水際線附近の複雑な場所については、メッシュ間隔を更に4分割して適当な地点を選んだ場合もある。地点には横須賀方面から順次東京湾に沿って時計回りに番号をつけてあるが、一部例外もある。例えば、69,53は欠番となっている。本調査における全地点名と位置を想定地震の震央からの距離と共に表-1に示す。これらの地点は前報のそれとまったく同じである。各地点の土質柱状図は前報の付録-1にまとめて示してある。

表-1 各地点の緯度経度と震央距離

| 各地震の震央距離 | | | | | |
|----------|----------|------------|-------------|----------|-------|
| No | 地名 | 北緯 | 東経 | 震央距離(Km) | |
| | | | | 東京湾北部 | 関東 |
| 1 | 武山病院 | 35°13.125' | 139°38.000' | 58.70 | 44.18 |
| 2 | 野比 | 35°12.500' | 139°41.750' | 57.71 | 49.78 |
| 3 | 東京電力 | 35°12.500' | 139°43.25' | 57.02 | 51.84 |
| 4 | 大楠山 | 35°15.625' | 139°38.75' | 54.02 | 43.32 |
| 5 | 根岸町 | 35°15.0' | 139°41.0' | 58.74 | 46.91 |
| 6 | 鴨居 | 35°15.0' | 139°43.25' | 52.60 | 50.10 |
| 7 | 逗子 | 35°17.5' | 139°35.0' | 53.69 | 36.79 |
| 8 | 田浦町 | 35°17.5' | 139°38.0' | 51.42 | 41.10 |
| 9 | | | | | |
| 10 | 鎌倉(寺分) | 35°20.0' | 139°37.25' | 47.96 | 38.87 |
| 11 | 〃(大台山) | 35°20.625' | 139°34.25' | 49.56 | 34.20 |
| 12 | 平潟町 | 35°19.375' | 139°38.75' | 47.82 | 41.32 |
| 13 | 鳥浜町 | 35°23.125' | 139°38.75' | 41.86 | 40.44 |
| 14 | 官ヶ谷 | 35°22.5' | 139°35.0' | 46.11 | 34.86 |
| 15 | 杉田町 | 35°22.5' | 139°38.0' | 43.45 | 39.38 |
| 16 | 別所町 | 35°24.375' | 139°35.75' | 42.70 | 35.88 |
| 17 | 西根岸 | 35°25.0' | 139°38.0' | 39.68 | 39.31 |
| 18 | 本牧(日産埠頭) | 35°25.0' | 139°41.0' | 37.10 | 43.84 |
| 19 | 山下町 | 35°26.25' | 139°39.5' | 36.46 | 41.74 |
| 20 | 本牧C埠頭 | 35°26.25' | 139°41.0' | 35.15 | 43.99 |
| 21 | 磯子 | 35°23.75' | 139°38.0' | 41.54 | 39.28 |
| 22 | 東本郷 | 35°29.375' | 139°35.75' | 36.10 | 37.21 |
| 23 | 菊名町 | 35°30.0' | 139°38.0' | 32.80 | 40.79 |
| 24 | 生麦町 | 35°30.0' | 139°41.0' | 29.63 | 45.17 |
| 25 | 小田町 | 35°30.0' | 139°42.5' | 28.19 | 47.36 |
| 26 | 水江町 | 35°30.0' | 139°44.75' | 26.24 | 50.67 |
| 27 | 千鳥町 | 35°31.25' | 139°45.5' | 23.68 | 52.32 |
| 28 | 浮島町 | 35°31.25' | 139°47.0' | 22.54 | 54.51 |
| 29 | 北綱島町 | 35°32.5' | 139°38.0' | 29.85 | 42.28 |
| 30 | 塚越 | 35°32.5' | 139°41.0' | 26.33 | 46.51 |
| 31 | 南六郷 | 35°32.5' | 139°44.0' | 23.17 | 50.80 |
| 32 | 羽田 | 35°32.5' | 139°45.5' | 21.77 | 52.95 |
| 33 | 大森 | 35°33.75' | 139°45.5' | 19.94 | 53.68 |
| 34 | 新城 | 35°34.375' | 139°38.0' | 27.93 | 43.69 |
| 35 | 玉川園前 | 35°35.0' | 139°41.0' | 23.48 | 48.27 |
| 36 | 大森北 | 35°35.0' | 139°44.0' | 19.88 | 52.41 |
| 37 | 大井埠頭 | 35°35.0' | 139°45.5' | 18.22 | 54.50 |

| 各地震の震央距離 | | | | | |
|----------|--------|-------------|-------------|-----------|-------|
| No. | 地名 | 北緯 | 東経 | 震央距離 (Km) | |
| | | | | 東京湾北部 | 関東 |
| 38 | 谷町 | 35° 37.5' | 139° 41.0' | 21.27 | 50.39 |
| 39 | 五反田 | 35° 36.625' | 139° 44.0' | 17.80 | 53.84 |
| 40 | 品川埠頭 | 35° 37.5' | 139° 45.5' | 15.27 | 56.38 |
| 41 | 13号地 | 35° 37.5' | 139° 47.0' | 13.44 | 58.42 |
| 42 | 有明町 | 35° 38.125' | 139° 47.0' | 12.75 | 58.92 |
| 43 | 晴海 | 35° 38.75' | 139° 45.5' | 14.14 | 57.44 |
| 44 | 東雲町 | 35° 38.75' | 139° 48.5' | 10.24 | 61.46 |
| 45 | 夢ノ島 | 35° 38.75' | 139° 50.0' | 8.52 | 63.49 |
| 46 | 堀江町 | 35° 38.75' | 139° 58.0' | 6.21 | 67.61 |
| 47 | 代々木 | 35° 40.0' | 139° 41.0' | 19.91 | 52.83 |
| 48 | 赤坂 | 35° 40.0' | 139° 43.25' | 16.60 | 55.67 |
| 49 | 盤岸島 | 35° 40.625' | 139° 47.75' | 9.75 | 62.09 |
| 50 | 南砂町 | 35° 40.0' | 139° 50.0' | 7.07 | 64.52 |
| 51 | 桑川町 | 35° 40.0' | 139° 53.0' | 4.00 | 68.57 |
| 52 | 当代島 | 35° 40.0' | 139° 55.25' | 4.16 | 71.64 |
| 53 | | | | | |
| 54 | 下妙典 | 35° 41.25' | 139° 56.0' | 3.32 | 73.64 |
| 55 | 海神町 | 35° 41.25' | 139° 59.0' | 7.65 | 77.74 |
| 56 | 小石川 | 35° 42.5' | 139° 44.0' | 15.08 | 59.18 |
| 57 | 稻荷町 | 35° 41.875' | 139° 47.75' | 9.41 | 63.26 |
| 58 | 吾端町 | 35° 42.5' | 139° 50.0' | 6.09 | 66.76 |
| 59 | 松本町 | 35° 42.5' | 139° 53.0' | 1.77 | 70.68 |
| 60 | 鬼高町 | 35° 43.125' | 139° 56.0' | 3.66 | 75.20 |
| 61 | 新給橋 | 35° 43.125' | 139° 58.25' | 6.73 | 78.21 |
| 62 | 津田沼 | 35° 41.25' | 140° 01.25' | 11.00 | 80.84 |
| 63 | 柴又 | 35° 44.375' | 139° 53.0' | 4.65 | 72.42 |
| 64 | 鷺沼 | 35° 40.0' | 140° 02.0' | 12.60 | 81.02 |
| 65 | 畑 | 35° 40.0' | 140° 04.25' | 15.87 | 84.18 |
| 66 | 稲毛 | 35° 38.125' | 140° 05.0' | 18.05 | 84.11 |
| 67 | 浅間 | 35° 37.5' | 140° 07.25' | 21.62 | 87.01 |
| 68 | 千葉港事務所 | 35° 36.25' | 140° 06.5' | 21.63 | 85.29 |
| 69 | 川崎町 | 35° 35.0' | 140° 06.5' | 22.86 | 84.72 |
| 70 | 千葉寺町 | 35° 35.0' | 140° 08.0' | 24.75 | 86.91 |
| 71 | 和田 | 35° 36.25' | 140° 09.5' | 25.66 | 89.66 |
| 72 | 丸善石油 | 35° 32.5' | 140° 05.0' | 24.18 | 81.52 |
| 73 | 昭和電工 | 35° 32.5' | 140° 06.5' | 25.78 | 83.74 |
| 74 | 村田 | 35° 32.5' | 140° 08.0' | 27.47 | 85.97 |
| 75 | 大金沢 | 35° 32.5' | 140° 09.5' | 29.24 | 88.19 |
| 76 | 宇部興産 | 35° 31.25' | 140° 08.5' | 24.53 | 78.88 |
| 77 | 出光興産 | 35° 30.0' | 140° 02.0' | 25.29 | 76.29 |
| 78 | 飯沼 | 35° 30.0' | 140° 05.0' | 27.73 | 80.77 |
| 79 | 町田 | 35° 28.75' | 140° 05.0' | 29.62 | 80.50 |
| 80 | 姉崎 | 35° 28.75' | 140° 02.0' | 27.35 | 76.00 |
| 81 | 北袖夕浦 | 35° 28.125' | 139° 59.75' | 27.13 | 72.50 |
| 82 | 椎津新田 | 35° 27.5' | 140° 01.25' | 29.01 | 74.65 |
| 83 | 砂子 | 35° 28.125' | 140° 02.55' | 28.90 | 77.00 |
| 84 | 蔵波 | 35° 26.875' | 139° 59.55' | 29.34 | 72.30 |
| 85 | 万石 | 35° 25.0' | 139° 56.0' | 31.65 | 66.48 |
| 86 | 小松川 | 35° 41.25' | 139° 51.5' | 4.01 | 67.59 |
| 87 | 奉免町 | 35° 44.375' | 139° 57.5' | 6.86 | 78.29 |
| 88 | 木更津空港 | 35° 24.375' | 139° 54.5' | 32.67 | 64.20 |
| 89 | 木更津 | 35° 22.5' | 139° 55.25' | 36.18 | 65.40 |
| 90 | 大成 | 35° 23.125' | 139° 59.0' | 35.78 | 71.02 |

| 各地震の震央距離 | | | | | |
|----------|---------|-------------|--------------|-----------|-------|
| No | 地名 | 北緯 | 東経 | 震央距離 (Km) | |
| | | | | 東京湾北部 | 関東 |
| 91 | 大和田 | 35° 20.625' | 139° 52.25' | 39.70 | 61.14 |
| 92 | 畑沢 | 35° 20.625' | 139° 52.25' | 39.65 | 65.65 |
| 93 | 青木 | 35° 18.75' | 139° 50.0' | 43.50 | 58.25 |
| 94 | 千種新田 | 35° 16.875' | 139° 51.5' | 46.71 | 61.15 |
| 95 | 菜園台 | 35° 42.5' | 140° 02.75' | 13.20 | 88.84 |
| 96 | 追浜 | 35° 18.75' | 139° 38.0' | 49.38 | 40.48 |
| 97 | 久里浜 | 35° 18.75' | 139° 42.5' | 55.15 | 49.88 |
| 98 | 横須賀中央 | 35° 16.25' | 139° 41.0' | 51.59 | 46.13 |
| 99 | 坂本 | 35° 27.5' | 139° 35.75' | 38.45 | 36.44 |
| 100 | 高島埠頭 | 35° 27.5' | 139° 38.0' | 36.10 | 39.79 |
| 101 | 新子安 | 35° 28.75' | 139° 39.5' | 32.87 | 42.44 |
| 102 | 大黒町 | 35° 28.75' | 139° 41.0' | 31.41 | 44.66 |
| 103 | 弘明寺 | 35° 25.136' | 139° 36.167' | 41.22 | 36.56 |
| 104 | 弘明寺(通町) | 35° 25.313' | 139° 36.333' | 40.81 | 36.83 |
| 105 | 花之木 | 35° 25.870' | 139° 36.750' | 39.62 | 37.54 |
| 106 | 高砂 | 35° 25.849' | 139° 37.500' | 38.94 | 38.66 |
| 107 | 新川 | 35° 26.000' | 139° 37.533' | 38.67 | 38.74 |
| 108 | 末吉 | 35° 26.223' | 139° 37.733' | 38.14 | 39.08 |
| 109 | 伊勢崎 | 35° 26.501' | 139° 38.313' | 37.20 | 40.01 |
| 110 | 関内 | 35° 26.481' | 139° 38.350' | 37.20 | 40.06 |
| 111 | 横浜公園 | 35° 26.481' | 139° 38.500' | 37.05 | 40.28 |
| 112 | 南仲通 | 35° 26.712' | 139° 38.350' | 36.86 | 40.11 |

表-2 東京湾周辺の大地震および十勝沖地震

| 発震時 | | | 震 | | 源 | | マグニチュード | 記 | 事 |
|------|-------------|----|----------|------|-------|--------|---------|------------------|---|
| 年 | 月日 | 時分 | 震央地名 | 北緯 | 東経 | 深さ(Km) | | | |
| 1703 | 12.31 | | 江戸, 関東諸国 | 34.7 | 139.8 | | 8.2 | 元祿地震 | |
| 1855 | 11.11 | | 江戸 | 35.8 | 139.8 | | 6.9 | 安政の江戸地震(東京直下の地震) | |
| 1894 | 6.20, 14.04 | | 東京湾北部 | 35.7 | 139.9 | | 7.5 | 東京湾北部の地震() | |
| 1923 | 9.1, 2.58 | | 関東南部 | 35.4 | 139.2 | 0~10 | 8.16 | 関東地震 | |
| 1968 | 5.16, 9.49 | | 十勝沖 | 40.7 | 143.6 | 0 | 7.9 | 十勝沖地震 | |
| 1968 | 7.1, 19.45 | | 埼玉中部 | 36.0 | 139.4 | 50 | 6.1 | 東松山地震 | |

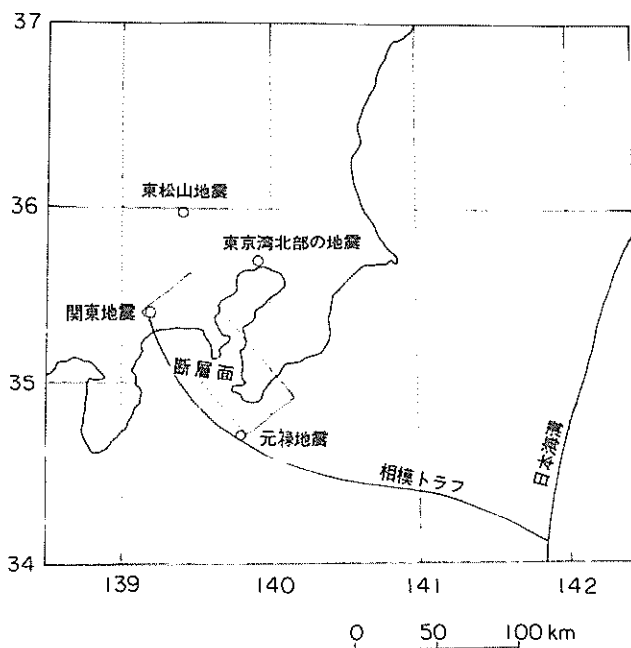
表-2に関東地方に大被害をもたらした地震のおもなものを示す。

このなかで特に重要なものは関東地震であろう。最近の研究³⁾によれば、関東地震は地震学的には相模湾から房総半島南部を通して日本海溝にいたる長さ400Kmほどの相模トラフという海底地形上の谷部の一部分、長さ120Km、幅80Kmの細長い断層面が右ずれ逆断層を起こして、数メートルほど突然すべったことよって起こったと説明されている。震度の分布が関東地震と非常によく似ていて“一代前”の関東地震であったといわれている元祿地震の震央はこの断層面の南西の端に位置している。図-1にこれら2つの地震の震央および関東地震の断層面を示す。関東大地

震の震源は、このように数千平方Kmのひろがりをもった断層面である。^{4,5)}

ある地点の最大加速度と地震の規模、震央距離との関係論ずる場合、従来震源は点として取扱ってきたが、上述したように、震源をひろがりをもったものだとこれらとの関係を取扱う例が出てきた。たとえば、勝又⁶⁾は半径rの球状の震源域を想定し、その球の表面を地震波のSourceと考えて、震央距離のかわりに震源域の表面からの距離(実効距離)を採用して、これと地震の規模、各地点の最大加速度の関係式を示している。

このように、震源を点としてとらえることは無理のあることが明らかになりつつあるが、実務上、震源をある拡が



図一 東京湾周辺の大地震の震央

りをもったものとしてとらえ、ここに報告するような作業を進めることは困難な現状にある。したがって、この報告の計算においても、各地点に到達する地震波の最大加速度は震源を点とし、マグニチュード、震央距離と最大加速度の関係式から求めている。

この相模トラフ系列の大地震以外に、東京に震度Ⅶ以上の地震動をひき起こす可能性をもつ、もう1つ別の大地震の系列がある。これは地震の規模はそれほど大きくないが、地震の震源が関東地震のように東京から数十kmも離れているのではなく、東京の中心部の直下であり、震源の深さは30kmより浅い、いわゆる大都市直下の地震である。表一2に東京直下の地震と記してあるのがこれである。安政の江戸地震は現在の東京の東部に発生したと思われる都市直下型の典型的なものである。その地震動が激しかった地域も局所的で直径20km以内の地域で死者約7,000人、全壊家屋約17,000戸という大被害をだした。

東京湾沿岸地域にとっては、相模湾で起こるマグニチュード8の大地震も、東京の直下で起こるマグニチュード7の地震も、同じ震度Ⅶの激震をひき起こす可能性をもっている点で、両方の系列の地震ともおそろしい地震であることにかわりない。したがってこの報告における検討では、東京湾沿岸に震度Ⅶの激震をひき起こすであろう将来の大

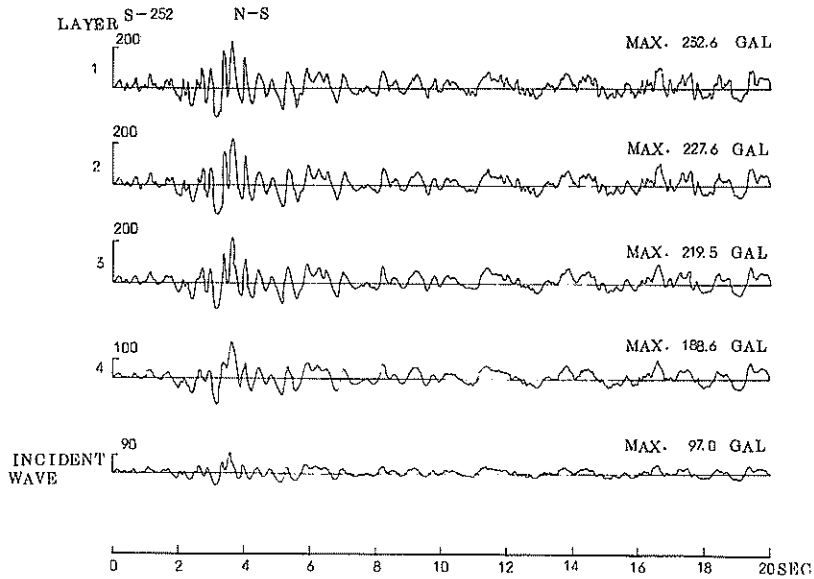
地震として、上記2つの系列の地震のなかから関東、東京湾北部の地震を想定し、その地震が発生したときの各地点での加速度を試算することとした。

関東地震程度の規模の地震の記録は非常に少なく、まして大きな加速度を示す強震記録の数は限られている。したがって、今回の場合関東地震を想定して、各地点の地盤の応答を求めるための入力地震波として、十勝沖地震(1968)の際の八戸港で記録⁷⁾された地震波を使用した。十勝沖地震の震央その他を表一2に示す。山原⁸⁾は関東地震の際、東京本郷の東大地震学教室において実測された変位波形より、関東地震の加速度波形を推定し、さらに、この地震波と八戸の強震記録を応答スペクトルで比較して、全体的傾向がかなり類似していることを示している。このことから、関東地震を想定した入力地震波としての十勝沖地震の強震記録は妥当性のあるものだと考えられる。関東地方で観測された記録としては、規模は小さいが東松山地震のとき品川で記録された地震波がある⁹⁾。東松山地震の発震時その他を表一2に示す。これは規模は小さいが、関東地方の内陸で起こったということで、東京湾北部の地震を想定した場合の入力地震波として使用した。

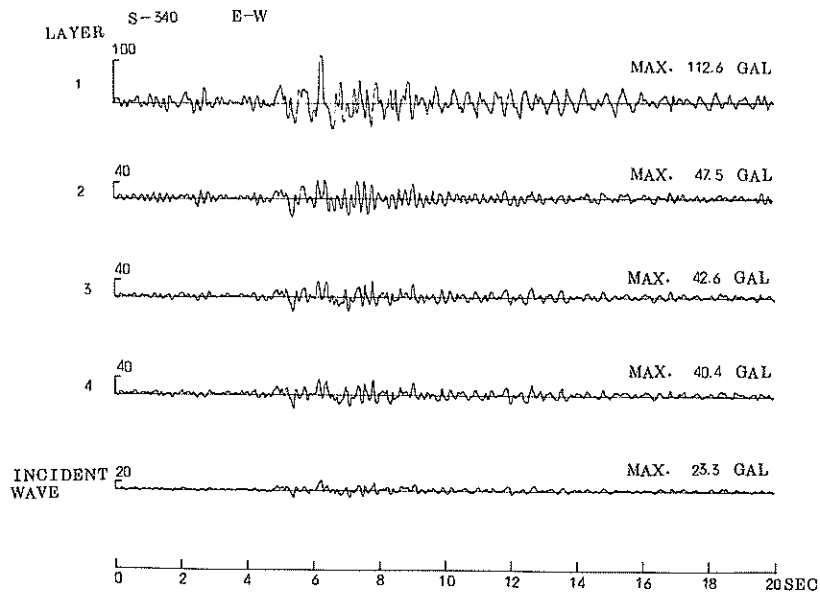
各地点の地盤の地震応答を計算するには、基盤からの入射波が必要である。しかし、上述した2つの記録は何れも

地表で得られたものであり、応答計算にはこれらの記録波形より基盤からの入射波を計算しなければならない。図一2.3に重複反射理論によって地表の地震波から基盤からの入射波を計算した結果を示す。これは土のせん断弾性係数

を線型として計算した結果である¹⁰⁾。S-252は地震記録番号で八戸港での記録、S-340は品川の強震記録番号である。図中最上段に示したのが地表で記録された地震波で、基盤からの入射波は最下段の波形である。



図一2 八戸・各層境界における地震波形と入射波形



図一3 品川・各層境界における地震波形と入射波形

図一4~7に八戸・品川両地点の入射波のフーリエスペクトル、パワースペクトルを示す。この図からS-252の入射波のスペクトルのピークは0.4, 1.0, 1.7, 2.2, 2.7,

4.9 Hzで、S-340の入射波のスペクトルのピークは0.7, 1.7, 2.3, 3.4, 4.2, 4.8 Hzであることがわかる。

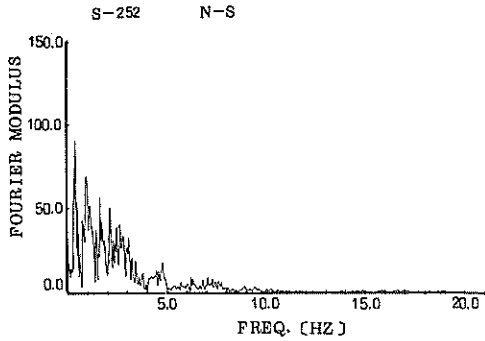


図-4 八戸、入射波のフーリエスペクトル

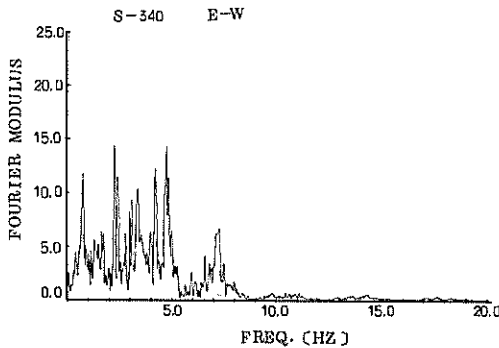


図-5 品川、入射波のフーリエスペクトル

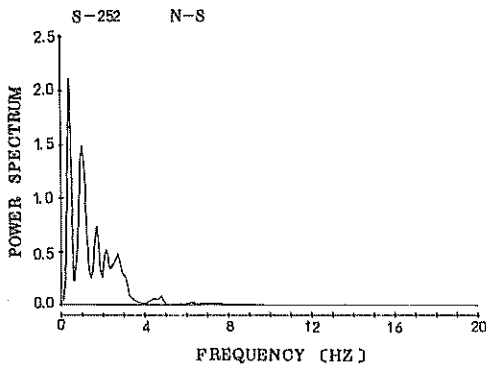


図-6 八戸、入射波のパワースペクトル

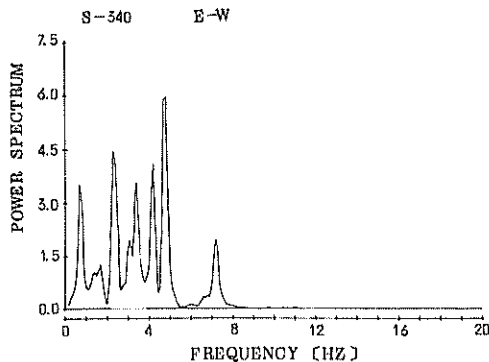


図-7 品川、入射波のパワースペクトル

3. 土の動的変形特性

土は動的荷重に対して複雑な挙動を示すものであり、地震時の地盤応答を計算するためには、土の動的性質が明らかにされなければならない。この章では、応答解析に使用される土の動的変形特性、とくにセン断弾性係数、減衰定数について述べる。

土は動的荷重に対して非線形的挙動を示すもので、大部分の土は図-8に示すように、くり返し荷重に対する応力-ヒズミ曲線はループを描く。

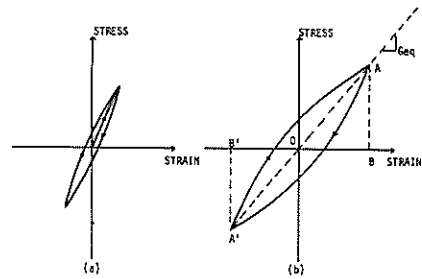


図-8 セン断ヒズミ量による土の変形特性の相違

- a : ヒズミが小さい場合
- b : ヒズミが大きい場合

ヒズミが小さいときは図-8(a)に示すように、土は大きなセン断弾性係数(ヒズミに対する応力の増加率)を示し、ループの面積(履歴減衰)も小さい。しかし、図-8(b)に示すようにヒズミが大きくなると、ループの面積は大きくなり、セン断弾性係数も小さくなる。このように、土のセン断弾性係数、減衰定数はヒズミの大小により大きな影響を受け、ヒズミが $10^{-6} \sim 10^{-4}$ の範囲では土は弾性的性格を有し、 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ で塑性的性格を示すようになり、ヒズミ振幅が数%になると土は原形をとどめず破壊にいたる。

次に地盤の応答解析をおこなうためには、上述した応力-ヒズミの履歴曲線の関係をどのように理想化するかと問題となる。その場合、バイリニヤーモデルで理想化する方法と、等価線型モデルとして理想化する2つの方法が一般的である。バイリニヤーモデルは応力-ヒズミの履歴ループを平行四辺形でおきかえ、これを2つのセン断弾性係数であらわし、このセン断弾性係数が変化するときのヒズミを降伏ヒズミと定義し、応答解析を行なうものである。この方法では、2つのセン断弾性係数を用いるため、応答解析が複雑となる。そこで、応力-ヒズミ関係をさらに単純化して、1つのセン断弾性係数とヒズミ速度に比例した粘性減衰で表わそうとするのが等価線型モデルである。すなわち、図-8(b)において、直線AA'の勾配を等価セン断弾性

係数 G_{eq} とし、減衰定数 h_{eq} を次式で与えれば、土の動的変形特性は等価線型モデルにおきかえられる。

$$h_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (1)$$

ここに、

ΔW : 履歴ループの全面積

W : $\triangle AOB$ の面積

今回の計算は土の応力-ひずみ関係を等価線型モデルとして扱っており、以下に等価せん断弾性係数、減衰定数について述べる。土のせん断弾性係数および減衰定数に影響を与える因子としては次のものがあげられる。

土のひずみ, r

平均有効主応力, σ'_m

間げき比, e

サイクル数, N_s

粘性土の飽和度, S

Seed¹¹⁾ は砂質土に関して、とくに重要な要素として平均有効主応力、間げき比、土のひずみを考え、過去において発表された数多くの研究者の実験結果をまとめて、砂質土の G_{eq} とし次式を示している。

$$G_{eq} = 1000 K_2 (\sigma'_m)^{0.5} \quad (2)$$

ここに、

G_{eq} : 等価せん断弾性係数 (lb/ft^2)

σ'_m : 平均有効主応力 (lb/ft^2)

K_2 はひずみの大きさ、相対密度により図-9で決定される。

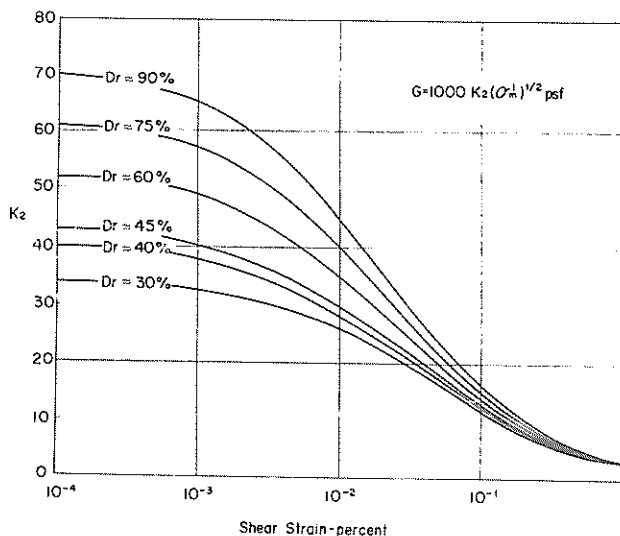


図-9 砂の相対密度と K_2 との関係

この関係式では G_{eq} は σ'_m の0.5乗に比例するとしているが、市原¹²⁾ はHardinあるいはDrnevichの実験結果から、この指数の値はひずみの対数表示に対して直線的に変化している。荒井¹³⁾ は大型振動台で砂層の振動実験をおこなって、砂のせん断弾性係数を求めている。これによれば、 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ のひずみに対してSeedの関係式から得られる G_{eq} はほとんど変化しないが、荒井の実験結果から求められるせん断弾性係数は、 10^{-4} のひずみにおけるせん断弾性係数を1とした場合、ひずみが 10^{-4} から 10^{-3} に変化する間に0.3ぐらいに減少している。ただし、この場合の $\bar{\sigma}_0$ は $0.018 \sim 0.030 \text{ kg/cm}^2$ である。このように、Seedの関係式はまだ検討の余地があるとは

いえ、ひずみの広い範囲において数多くの実験をもとにしていることなどを考えると、現状においては実用的に妥当なものだと考えられる。砂質土の減衰定数、粘性土のせん断弾性係数、減衰定数についても、Seedによって与えられている関係を用いた。図-10~12にこれを示す。粘性土のせん断弾性係数を求める図において、縦軸はせん断弾性係数 G_{eq} を非排水強さ S_u 除した値である。

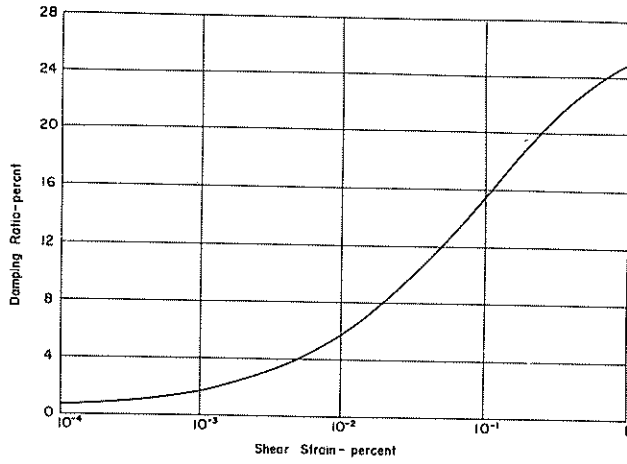


図-10 砂の減衰定数

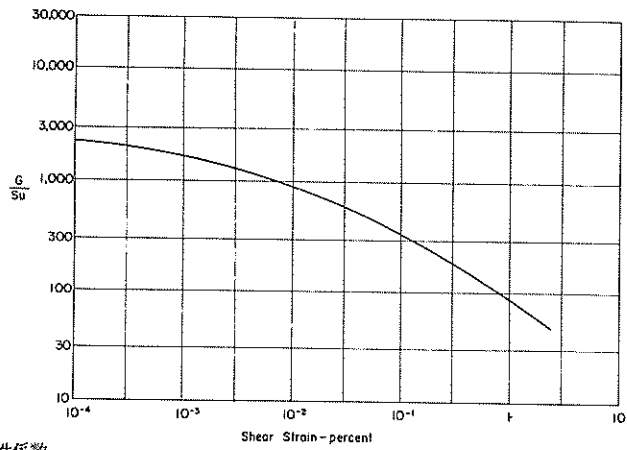


図-11 粘土のせん断弾性係数

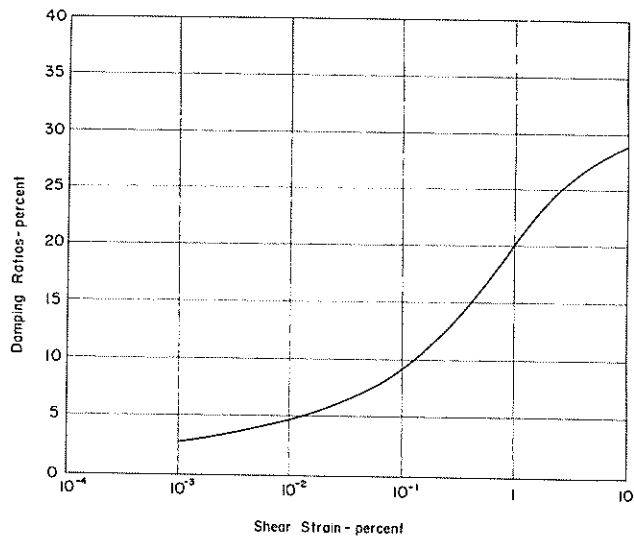


図-12 粘土の減衰定数

4. 成層地盤の地震応答

地震による被害は一般に震央に近いほど大きく、震央から離れるにつれて少なくなる。一方、震央距離が同じでも震害の程度に大きな差がある場合があるが、これはその地点の地盤条件の相違によるものと考えられている。たとえば、関東地震の木造家屋の被害率は、旧東京市の場合、下町7区で15%、山手8区で4%であった¹⁴⁾。また横浜市の場合は、南部平地で100%の被害率でほぼ全滅したのに対して、南部の丘陵地ではほとんど50%以下であった¹⁵⁾。旧東京市および横浜市内の南部平地(弘明寺—山下町)、北部平地(保土ヶ谷—高島町)の木造家屋の被害率と沖積層の厚さとの関係を図-13, 14に示す。これにより、沖積層が厚いほど木造家屋の被害率が大きいことがわかる。

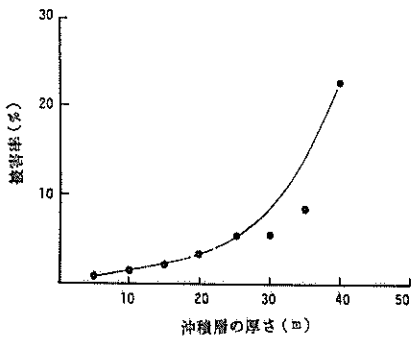


図-13 関東地震の旧東京市の木造家屋被害

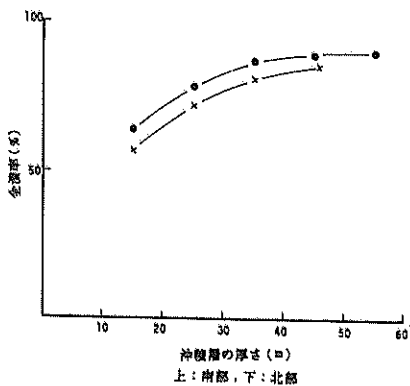


図-14 関東地震の横浜市の木造家屋被害

一方、地震計が各地にとりつけられるようになって、その記録の解析の研究が進むにつれて、各地点の地震動はある周期の波が卓越し、その周期は各地点について固有の値をもつことが見出された。したがって、もしその地点に到達する地震動の卓越する波の周期が、その地点のもつ固有周期と一致すれば共振に似た現象を起こし、地表面におけ

る振幅は非常に大きくなり、さらにこれがその地点の地盤上に建設されている構造物の固有周期と一致すれば、その地点の震害は非常に大きなものとなる。

このように震害と地盤条件は密接な関係があるが、この問題に関しては地盤の流動化ならびに深層地盤の影響なども重要であり、その検討も必要である。しかし、今回はある地点の地盤についてその周波数伝達関数を求めること、すなわち、その地盤はどのような固有振動数をもっており、それぞれの振動数の成分がどの程度増幅されるかということ、さらに議論を進め、具体的に特定の地震を設定し、震央からある距離はなれた地点で、到達した地震動に対してどのような地震応答を示すかについて検討している。

前述したように、地表で記録された地震動は地表層の影響をうけている。したがって、各地点について、地表での地震動よりも地表層の影響をとりぞれた波形の方がより似かよった周波数成分をもっていると考えられる。このような考え方における地表層というのは、ある程度漠然としたもので、具体的な地層と対応づけられていない。以下の議論を進めるために基盤を次のように定義する。ここで定義する基盤は、実際に数値計算を行うためのものである。実務上の考慮が加えられており、工学的見地に立った基盤である。すなわち、ここで考える基盤とは、沖積層の下の岩盤あるいはN値50以上の洪積砂層ということにした。

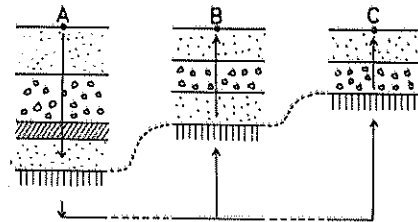


図-15 地点モデル

このように考えれば、地表および地下での地震記録が実際に得られていない地点についても、地盤の地震応答計算ができる¹⁰⁾。すなわち、図-15においてB, C地点では大地震の記録が地表および地下において得られていないが、そこから離れたA地点での地表での記録が得られていたとしよう。このA地点はもちろんB, C地点に近い方が望ましい。まずA地点の地表の記録よりその地点の基盤へ入射してくる入射波を求める。これは地表層の影響がとり去られた基盤の地震動であり、これよりB, C地点での地表での地震動が入射波から計算される。

この地表の地震波から基盤の地震波、基盤の地震波から地表の地震波を求める計算は重複反射理論によった。これ

は水平な成層地盤にセン断波が垂直に入射して、それが各層で透過反射をくり返し、上方に伝わりながら増幅されるという考え方で、数理的には概略次のようになる。

粘性係数 η を持つ粘弾性体の波動方程式は次式となる。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (3)$$

ここで、
 ρ : 質量密度
 G : セン断弾性係数
 u : 水平方向の変位
 z : 鉛直方向の座標
 t : 時間
 η : 粘性係数

角振動数 ω の調和波の場合、上式の解は次式で与えられる。

$$u = U_j(z) \cdot \exp(i\omega t) \quad (4)$$

ここで、

$$U_j(z) = E_j \exp(ik_j z) + F_j \exp(-ik_j z) \quad (5)$$

$$K_j = \frac{\rho_j \omega^2}{G_j + i\omega \eta_j} = \frac{\rho_j \omega^2}{G_j^*} \quad (6)$$

ここで、 E_j は透過波の複素振幅、 F_j は反射波の複素振幅であり、 U_j はそれらの和で、地中の変位の複素振幅である。さらに G_j^* は複素セン断弾性係数である。これを減衰定数 β_j を使って、

$$\omega \eta_j = 2 G_j \beta_j \quad (7)$$

とおきかえると、 G_j^* は次のようになる。

$$G_j^* = G_j + i\omega \eta_j = G_j (1 + 2i\beta_j) \quad (8)$$

実験結果によると大部分の土の G および β は、ここで問題とする周波数領域においてほぼ一定値をとる。したがって、ここでは以下 G_j^* は周波数の影響をうけないと仮定する。さらに各境界においてセン断力と変位が等しいという条件より、 E_j 、 F_j に関して次の関係式がみちびかれる。

$$E_{j+1} = \frac{1}{2} E_j (1 + \alpha_j) \exp(ik_j h_j) + \frac{1}{2} F_j (1 - \alpha_j) \exp(-ik_j h_j) \quad (9)$$

$$F_{j+1} = \frac{1}{2} E_j (1 - \alpha_j) \exp(ik_j h_j) + \frac{1}{2} F_j (1 + \alpha_j) \exp(-ik_j h_j) \quad (10)$$

ここで、 h_j : 各層の厚さ

$$\alpha_j = \frac{k_j G_j^*}{k_{j+1} G_{j+1}^*} \quad (11)$$

α_j は複素インピーダンス比である。

また、地表面でセン断力が生じないという条件より、

$$E_1 = F_1 = \frac{1}{2} A_0 \quad (12)$$

ここで、 A_0 : 地表面で変位振幅

以上の関係式より、 A_0 あるいは基盤の入射波 E_{n+1} が与えられれば、各層ごとの振幅比が与えられる。

以上は調和波に対して適用できるものだが、時系列で与えられた一般地震波に対しても、フーリエ変換を用いれば上述の関係式が適用できる。すなわち、時系列で与えられた地震波をフーリエ変換し、与えられた調和波に対して各層ごとの周波数伝達関係をかけあわせ、その結果得られた調和波を、こんどはフーリエ逆変換を用いて時系列のデータになおせばよい。

3で与えられている土のセン断弾性係数、減衰定数を用いて、実際に地震の地震応答計算を行う手順は次のようになる。まず与えられた地震波を入力地震波として一度応答計算を行い、各層の中央の位置でのヒズミを計算し、その最大ヒズミの65%のヒズミに対応するセン断弾性係数、減衰定数を3で与えられた曲線より求め、さらにもう一度応答計算を行ない、得られたヒズミに対して、与えられるセン断弾性係数、減衰定数が、前回のそれと比べほぼ等しい値に収束するまでくり返し計算を行う。以上のようにして求めたセン断弾性係数、減衰定数が入力地震波の加速度で生じるヒズミレベルに対応しているとして、最終的に応答計算を行い、各境界面での地震波形が求まる。以上述べたように、今回の計算は等価線型モデルであり、地震動によって地中の応力とヒズミの比が時々刻々変化するという、正確な意味での非線型応答計算ではないが、以下更宜的に前報の線型計算と対応させ非線型という言葉を用いる。

この計算は、Schnabel¹⁶⁾ 他によって開発された SHAKE というプログラムを利用した。Schnabel¹⁷⁾ 他は、実際にこの方法によって計算された値と実測値との比較を行っている。それによると、かなり良い一致を示しており、この方法が妥当なものだと判断できる。

実際の地盤に対して上述の応答計算を行なう場合は、複雑な土質状態を単純化していくつかの層にモデル化しななければならない。計算に必要な値は、各層の単位体積重量、層厚、S波速度、粘性土については非排水強さ、砂質土については相対密度である。モデル化する際は土の種類ごとに層分けされた土質柱状図を主体として、弾性的性質がほぼ等しい部分ごとに層分けを行った。一層の厚さがかなり大きくなる場合はさらに層分けを行った。また、砂と粘土の区別は、土質柱状図において砂とだけ明記されているものについてだけを砂とし、シルトおよびシルトまじり砂等はすべて粘土とした。層厚は土質柱状図より直ちに求められるが、単位体積重量については、ボーリング結果において示されていないものが多く、その場合は近くで実施されたボーリング結果等を参考にして、各層の単位体積重量を推定した。S波速度、非排水強さおよび相対密度はN値より推定した。S波速度とN値の関係を示す式は各種あるが、

今回は次の式を用いた¹⁸⁾。

$$V_s = 92.1 \times N^{0.329} \quad (m/sec) \quad (13)$$

ここで、

V_s : S波速度 (m/sec)

N : 標準貫入試験値

非排水強さは原他¹⁹⁾による次式より推定した。

$$S_u = 3.07 N^{0.698} \quad (t/m^2) \quad (14)$$

ここで、

S_u : 非排水強さ (t/m²)

N : 標準貫入試験値

ただし、上式の関係は N 値が1未満のものに対しては適用されないで、 N 値が1以下の粘土が厚く堆積しているような地盤に関しては、次式より非排水強さを仮定している。

$$S_u = 0.3 Z_0 \quad (t/m^2) \quad (15)$$

ここで、

S_u : 非排水強さ (t/m²)

Z_0 : 地表面よりの深さ (m)

なお、地点の土質柱状図は前報の付録-1に示してある。

5. 基盤での最大加速度

ある規模の地震が起こったときに、震央からある距離はなれた地点での最大加速度が一体どれくらいになるかについては過去種々の研究がある^{20)~22)}。図-16にマグニチュードが8の場合について、震源の深さが15kmの時の各種の震央距離と最大加速度の関係を示す。

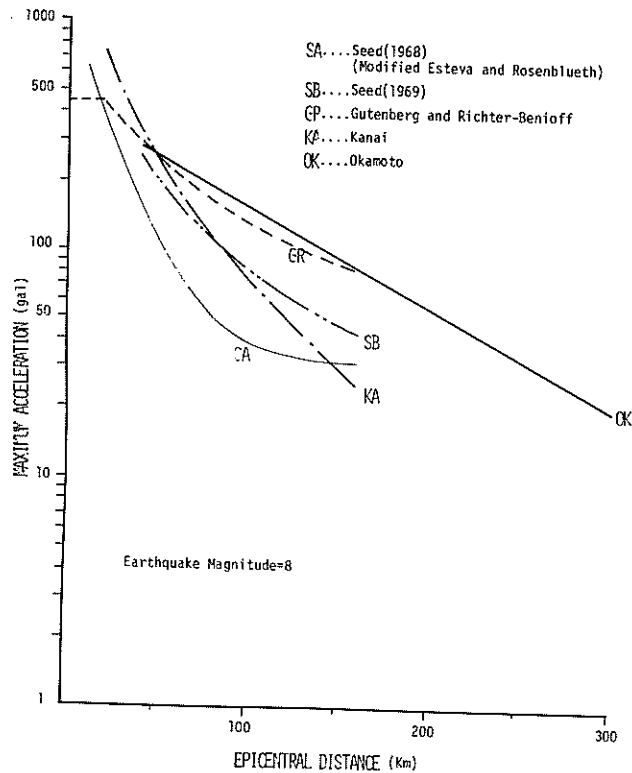


図-16 最大加速度と震央距離の各種関係式の比較

今回の計算においては、岡本²³⁾によって提案されている次式を採用した。これは鬼怒川発電所地下67.2mの岩盤のなかで記録された各種の地震動から、その最大加速度と地盤のマグニチュード、震央距離との関係からまとめられたものである。

$$\log_{10} \frac{a}{640} = \frac{(D+40)}{100} (-7.604 + 1.7244 M - 0.1036 M^2) \quad (16)$$

ここで、 a : 基盤での最大加速度 (gal)

D : 震央距離 (km)

M : マグニチュード

前報の場合は、線型応答計算より求まる基盤と地表層の境界面での最大加速度と地表でのそれとの比に、岡本式で求まる各地点の基盤での最大加速度をかけあわせて地表の最大加速度を求めた。しかし今回の場合は、入力加速度の大きさによって応答結果は異なるから、前回のように単純にはいかない。それで、この計算においては、各地点において岡本式から求まる最大加速度が入射波の2倍に等しいとして地盤の地震応答計算を行なっている。前報において、

十勝沖地震および東松山地震において岩盤上で実測された加速度および地表で観測された地震波より重複反射理論によって計算した基盤表面での加速度と岡本式の値との比較を示した。図-17には、地表での記録から計算した入射波の2倍の値と岡本式による値との比較を示す。この図を見ると前報のそれとほとんどかわらない。この図の詳しい説明、岡本式をこの報告の計算で採用した理由は前報に述べてある。

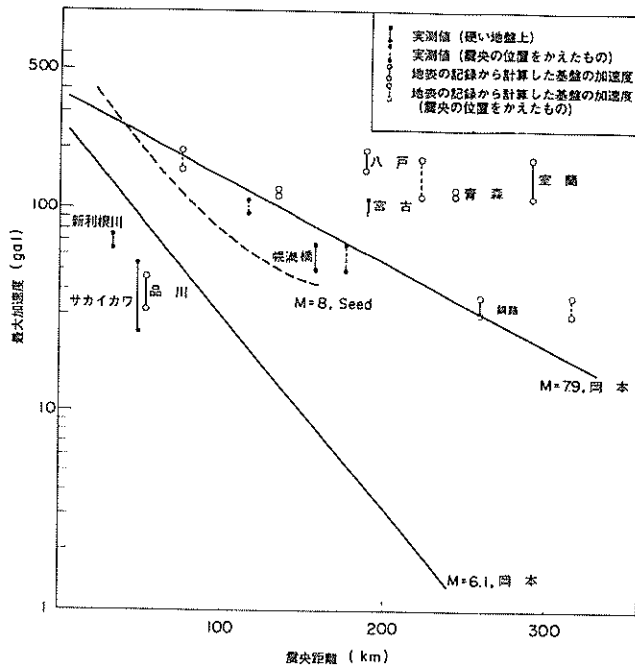
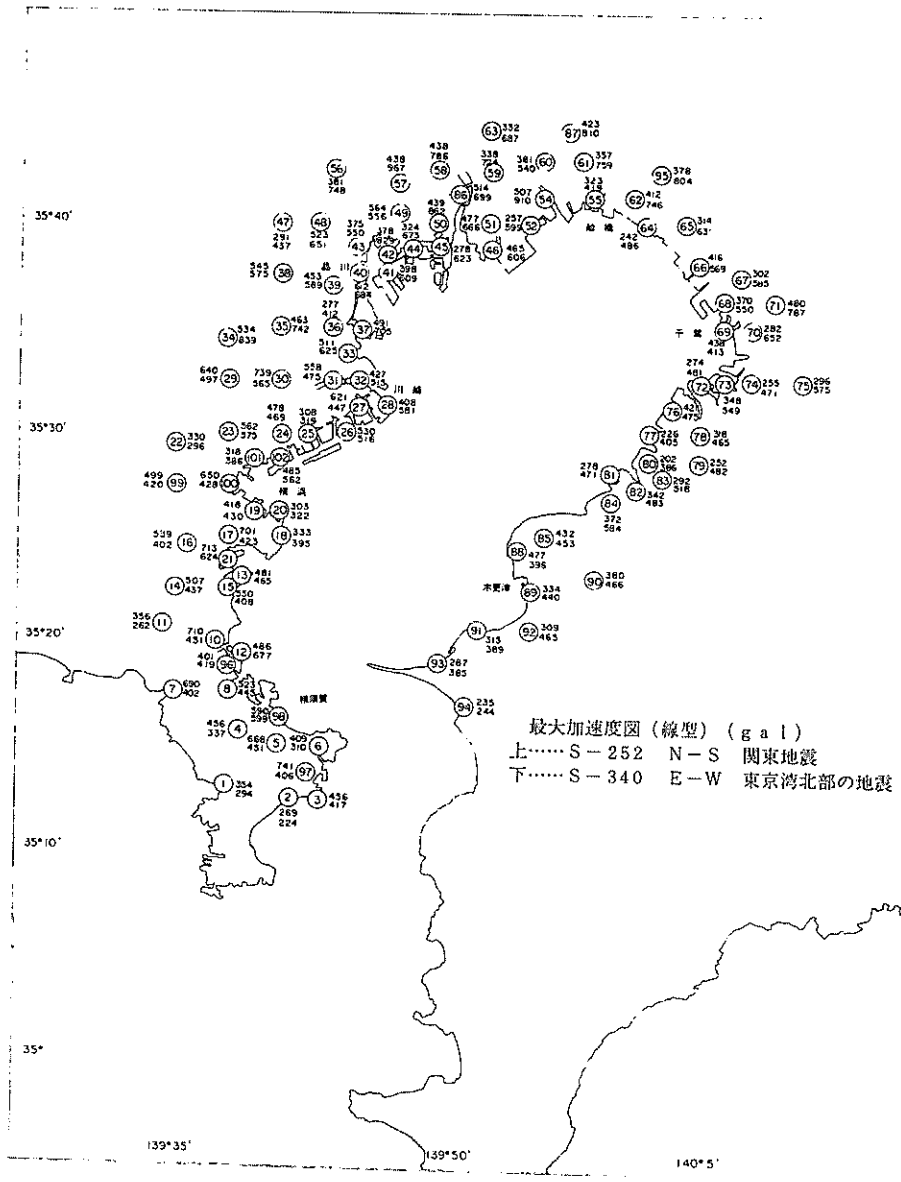


図-17 基盤での最大加速度と震央距離

6. 計算結果

前章で述べたように、今回の計算においては前報の場合と異なって、岡本の式により与えられる基盤加速度を入射波の2倍としているため、線型の場合について応答計算をやりなおした。その結果を図-18に示す。関東地震を想定したS-252の地震波についてと、東京湾北部の地震を想定したS-340の地震波についての両方の結果を同時に示してある。図-19は非線型の場合についての計算結果である。なお、これらは基盤での最大加速度および各層で生じたヒズミのなかで最大のヒズミとともに表-3に示す。各地点について周波数伝達関数も計算したが、その結果を

表-4に示す。この報告でいうところの地盤の周波数伝達関数というのは、くりかえし計算を行って定められたあるヒズミレベルに対応したせん断弾性係数、減衰定数から計算されたものである。S-252の場合、S-340の場合について、ピークを示す振動数(地盤の固有振動数)とピーク値(増幅率)を示してある。この固有振動数は図-20に各地点ごとにプロットしてある。図の斜線の部分は、前報で示した、N値が10以下の地層厚が20m以上の地域でこれは沖積地盤とほぼ一致している。さらに最大ヒズミについても、図-21にプロットしてある。



図一18 最大加速度図 (線型)

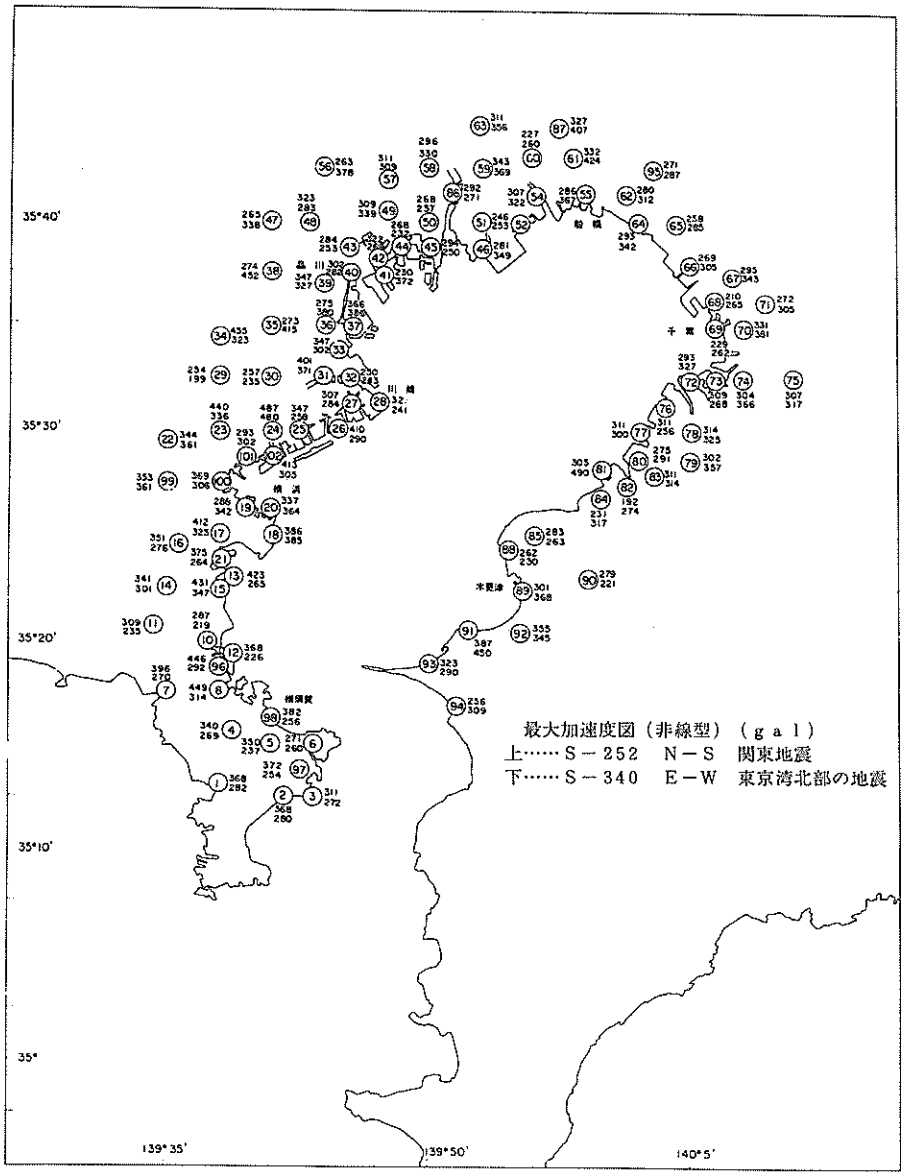


図-19 最大加速度図 (非線型)

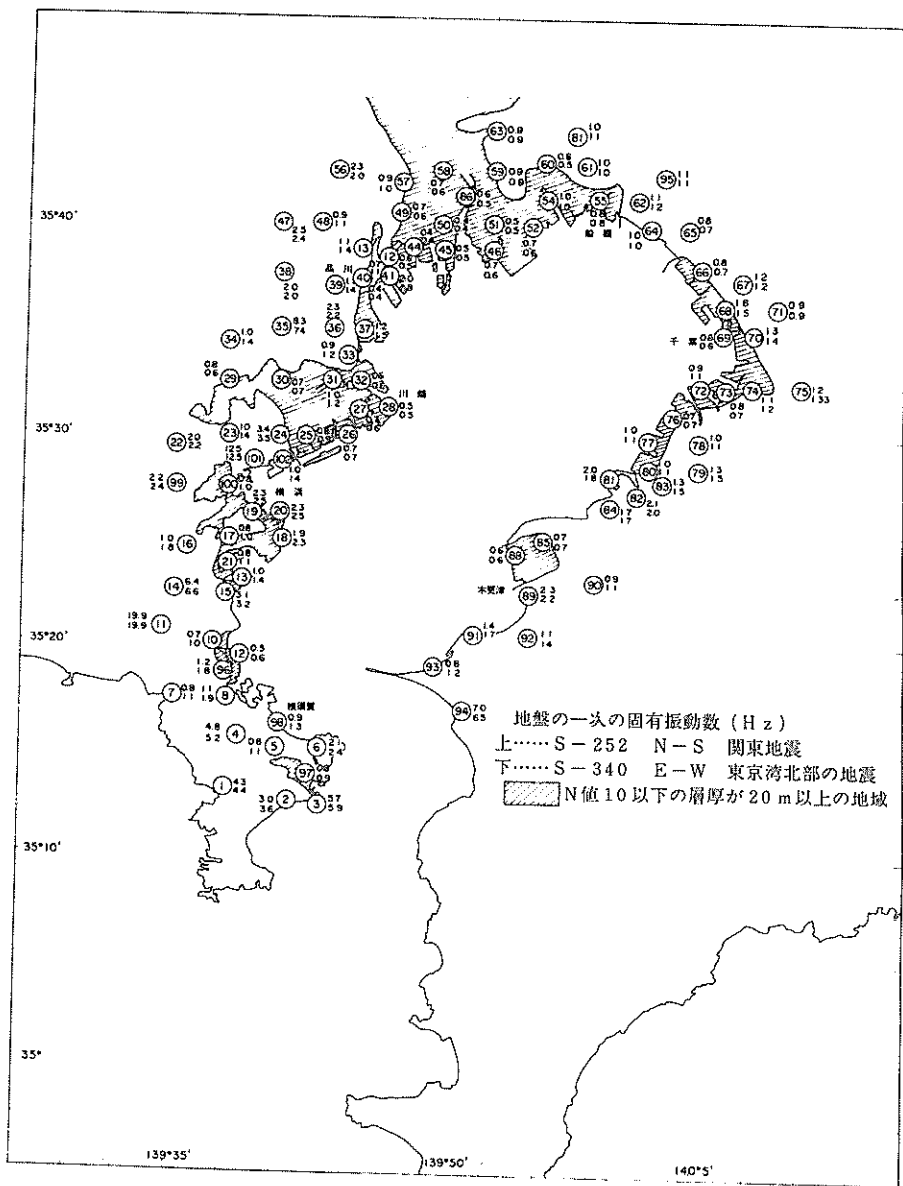


図-20 地盤の固有振動数

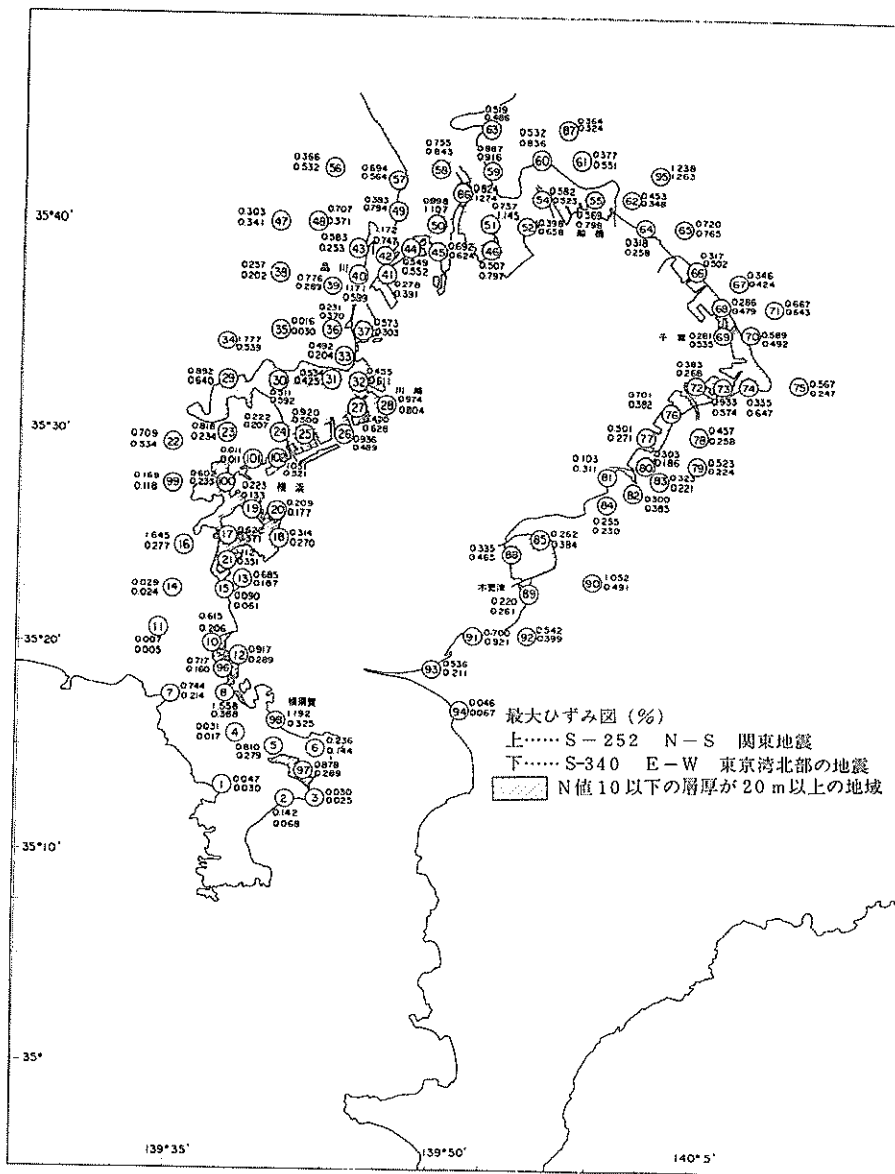


図-21 地盤の最大ヒズミ図

表一三 各地点の最大加速度と最大ヒズミ

| No. | 地名 | 基準での最大加速度 (gal) | | 地表での最大加速度 (gal) | | | | 最大ヒズミ (%) | |
|-----|----------|-----------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| | | 関東 | 東京湾北部 | 線型 | | 非線型 | | 非線型 | |
| | | | | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 |
| 1 | 武山病院 | 277.5 | 206.1 | 354.2 | 294.0 | 367.7 | 282.2 | 0.047 | 0.030 |
| 2 | 野比 | 262.5 | 208.5 | 268.6 | 228.9 | 367.6 | 280.3 | 0.142 | 0.068 |
| 3 | 東京電力 | 257.5 | 210.1 | 455.7 | 416.5 | 310.6 | 271.7 | 0.030 | 0.025 |
| 4 | 大楠山 | 279.5 | 217.5 | 456.0 | 336.6 | 339.9 | 269.3 | 0.031 | 0.017 |
| 5 | 根岸町 | 270.1 | 218.2 | 668.0 | 450.5 | 349.6 | 237.0 | 0.810 | 0.279 |
| 6 | 鶴居 | 261.6 | 221.1 | 409.2 | 309.7 | 371.4 | 259.8 | 0.236 | 0.144 |
| 7 | 逗子 | 298.6 | 218.3 | 690.4 | 401.7 | 396.2 | 269.9 | 0.744 | 0.214 |
| 8 | 田浦町 | 286.1 | 224.1 | 522.5 | 445.2 | 448.7 | 313.8 | 1.558 | 0.378 |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | 鎌倉(寺分) | 292.5 | 238.2 | 709.5 | 451.0 | 287.0 | 218.9 | 0.615 | 0.206 |
| 11 | 鎌倉(天台山) | 306.4 | 228.9 | 356.0 | 262.3 | 308.6 | 235.1 | 0.007 | 0.005 |
| 12 | 平潟町 | 285.5 | 238.6 | 486.4 | 676.9 | 368.1 | 225.5 | 0.917 | 0.289 |
| 13 | 鳥浜町 | 288.0 | 250.1 | 481.1 | 465.0 | 423.2 | 265.3 | 0.685 | 0.187 |
| 14 | 宮ヶ谷 | 304.4 | 238.2 | 507.2 | 437.1 | 341.4 | 301.0 | 0.029 | 0.024 |
| 15 | 杉田町 | 291.0 | 245.6 | 550.3 | 407.6 | 430.6 | 346.7 | 0.090 | 0.061 |
| 16 | 別所町 | 301.3 | 247.7 | 538.8 | 402.3 | 351.4 | 276.1 | 1.645 | 0.277 |
| 17 | 西根岸 | 291.2 | 256.4 | 701.9 | 422.7 | 411.6 | 325.3 | 0.622 | 0.371 |
| 18 | 本牧(日産埠頭) | 278.4 | 264.1 | 332.8 | 394.5 | 386.4 | 385.4 | 0.314 | 0.270 |
| 19 | 山下町 | 284.3 | 266.1 | 417.7 | 429.6 | 288.3 | 341.5 | 0.223 | 0.133 |
| 20 | 本牧C埠頭 | 278.0 | 270.1 | 302.8 | 321.5 | 337.4 | 364.1 | 0.209 | 0.177 |
| 21 | 磯子 | 291.3 | 251.0 | 712.9 | 624.2 | 375.8 | 264.4 | 1.112 | 0.351 |
| 22 | 東本郷 | 297.4 | 267.2 | 329.5 | 296.1 | 343.9 | 361.0 | 0.709 | 0.534 |
| 23 | 菊名町 | 287.0 | 277.5 | 562.3 | 575.3 | 439.5 | 335.7 | 0.818 | 0.234 |
| 24 | 生麦町 | 274.8 | 287.8 | 478.1 | 469.3 | 486.7 | 479.8 | 0.222 | 0.207 |
| 25 | 小田町 | 268.8 | 292.6 | 308.0 | 319.4 | 346.6 | 258.0 | 0.920 | 0.500 |
| 26 | 水江町 | 260.2 | 299.6 | 530.4 | 515.6 | 409.5 | 289.5 | 0.936 | 0.489 |
| 27 | 千鳥町 | 255.9 | 308.1 | 621.1 | 446.7 | 306.7 | 284.0 | 0.470 | 0.628 |
| 28 | 浮島町 | 250.4 | 312.2 | 407.5 | 581.2 | 320.6 | 241.2 | 0.974 | 0.804 |
| 29 | 北綱島町 | 282.8 | 287.1 | 640.4 | 497.2 | 253.5 | 198.9 | 0.892 | 0.640 |
| 30 | 塚越 | 271.1 | 297.9 | 739.1 | 564.6 | 256.9 | 234.9 | 0.511 | 0.592 |
| 31 | 南六郷 | 259.8 | 309.9 | 557.5 | 475.1 | 401.4 | 371.0 | 0.534 | 0.425 |
| 32 | 羽田 | 254.3 | 315.0 | 427.2 | 514.5 | 249.6 | 243.3 | 0.455 | 0.611 |
| 33 | 大森南 | 252.5 | 321.6 | 511.2 | 625.3 | 347.0 | 302.1 | 0.492 | 0.204 |
| 34 | 新城 | 278.8 | 293.4 | 533.7 | 838.7 | 454.5 | 322.7 | 1.777 | 0.539 |
| 35 | 玉川園前 | 266.4 | 308.8 | 462.6 | 741.5 | 273.1 | 414.5 | 0.016 | 0.030 |
| 36 | 大森北 | 255.7 | 321.9 | 276.6 | 412.1 | 275.3 | 380.1 | 0.231 | 0.370 |
| 37 | 大井埠頭 | 250.5 | 328.0 | 491.3 | 704.6 | 366.2 | 385.5 | 0.573 | 0.303 |
| 38 | 谷町 | 260.9 | 316.8 | 544.9 | 574.8 | 274.0 | 452.2 | 0.257 | 0.202 |
| 39 | 五反田 | 252.1 | 329.6 | 452.5 | 589.1 | 346.6 | 327.2 | 0.776 | 0.289 |
| 40 | 品川埠頭 | 245.8 | 339.3 | 612.0 | 683.7 | 302.0 | 281.7 | 1.171 | 0.599 |
| 41 | 13号地 | 240.9 | 346.6 | 397.5 | 608.6 | 230.3 | 371.6 | 0.278 | 0.391 |
| 42 | 有明町 | 239.7 | 349.3 | 377.7 | 828.5 | 322.4 | 269.2 | 1.172 | 0.747 |
| 43 | 曙海 | 243.2 | 343.8 | 374.6 | 549.6 | 283.8 | 252.6 | 0.583 | 0.253 |
| 44 | 東雲町 | 233.7 | 359.5 | 323.8 | 672.5 | 267.8 | 232.4 | 0.549 | 0.552 |
| 45 | 夢ノ島 | 229.1 | 366.7 | 277.7 | 622.6 | 294.4 | 249.9 | 0.692 | 0.624 |
| 46 | 堀江町 | 219.9 | 376.6 | 465.0 | 606.4 | 281.2 | 349.1 | 0.507 | 0.797 |
| 47 | 代々木 | 254.6 | 321.7 | 291.4 | 436.8 | 264.7 | 338.2 | 0.303 | 0.341 |

| No | 地名 | 基盤での最大加速度(gal) | | 地表での最大加速度(gal) | | | | 最大ヒズミ(%) | |
|----|--------|----------------|-------|----------------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | | | | 線型 | | 非線型 | | 非線型 | |
| | | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 |
| 48 | 赤坂 | 247.6 | 334.2 | 522.5 | 651.4 | 322.8 | 282.6 | 0.707 | 0.371 |
| 49 | 霊岸島 | 232.3 | 361.6 | 563.8 | 555.9 | 308.8 | 338.9 | 0.383 | 0.794 |
| 50 | 南砂町 | 226.7 | 372.9 | 438.7 | 861.7 | 268.4 | 256.7 | 0.998 | 1.107 |
| 51 | 桑川町 | 217.8 | 386.2 | 476.7 | 665.5 | 245.9 | 253.0 | 0.757 | 1.145 |
| 52 | 当代島 | 211.3 | 385.5 | 257.4 | 599.0 | 210.4 | 238.4 | 0.398 | 0.658 |
| 53 | | | | | | | | | |
| 54 | 下妙典 | 207.1 | 389.3 | 507.0 | 910.2 | 307.2 | 321.8 | 0.582 | 0.523 |
| 55 | 海神町 | 198.8 | 370.4 | 322.7 | 418.5 | 285.7 | 366.7 | 0.569 | 0.798 |
| 56 | 小石川 | 239.1 | 340.1 | 381.2 | 748.0 | 263.2 | 378.4 | 0.399 | 0.532 |
| 57 | 稲荷町 | 229.6 | 363.0 | 437.5 | 966.7 | 310.5 | 308.8 | 0.694 | 0.564 |
| 58 | 吾嬬町 | 221.7 | 377.1 | 438.0 | 786.1 | 296.4 | 329.5 | 0.755 | 0.843 |
| 59 | 松本町 | 213.3 | 396.2 | 338.2 | 723.6 | 342.9 | 368.6 | 0.887 | 0.916 |
| 60 | 鬼高町 | 203.9 | 387.7 | 381.3 | 539.8 | 227.3 | 260.4 | 0.532 | 0.836 |
| 61 | 新船橋 | 197.9 | 374.3 | 356.6 | 758.6 | 331.9 | 424.1 | 0.377 | 0.551 |
| 62 | 津田沼 | 192.8 | 356.4 | 412.3 | 746.4 | 280.3 | 312.0 | 0.453 | 0.348 |
| 63 | 柴又 | 209.6 | 383.3 | 331.7 | 687.4 | 311.2 | 356.4 | 0.519 | 0.486 |
| 64 | 鷺沼 | 192.5 | 349.9 | 241.9 | 486.1 | 292.9 | 341.9 | 0.318 | 0.258 |
| 65 | 畑 | 186.5 | 337.0 | 313.5 | 630.5 | 258.1 | 285.2 | 0.720 | 0.765 |
| 66 | 稲毛 | 186.7 | 328.7 | 416.3 | 568.7 | 269.2 | 305.2 | 0.317 | 0.502 |
| 67 | 浅間 | 181.4 | 315.5 | 301.7 | 585.1 | 294.9 | 342.5 | 0.346 | 0.424 |
| 68 | 千葉港事務所 | 184.5 | 315.5 | 370.4 | 550.1 | 299.9 | 264.9 | 0.286 | 0.479 |
| 69 | 川崎町 | 185.5 | 311.0 | 438.3 | 413.0 | 228.5 | 262.4 | 0.281 | 0.535 |
| 70 | 千葉寺町 | 181.5 | 304.4 | 281.7 | 651.8 | 330.7 | 380.9 | 0.589 | 0.492 |
| 71 | 和田 | 176.7 | 301.2 | 479.8 | 786.9 | 272.7 | 304.6 | 0.667 | 0.634 |
| 72 | 丸善石油 | 191.5 | 306.4 | 274.1 | 480.6 | 292.5 | 326.8 | 0.383 | 0.268 |
| 73 | 昭和電工 | 187.3 | 300.8 | 347.8 | 549.0 | 308.8 | 268.2 | 0.933 | 0.574 |
| 74 | 村田 | 183.3 | 295.0 | 255.1 | 471.3 | 303.7 | 366.2 | 0.335 | 0.647 |
| 75 | 大金沢 | 179.2 | 289.1 | 295.5 | 574.8 | 306.4 | 317.1 | 0.567 | 0.247 |
| 76 | 字部興産 | 196.6 | 305.1 | 420.7 | 475.4 | 311.2 | 256.3 | 0.701 | 0.382 |
| 77 | 出光興産 | 201.7 | 302.5 | 225.9 | 405.1 | 310.6 | 300.4 | 0.501 | 0.271 |
| 78 | 飯沼 | 193.0 | 294.1 | 318.2 | 464.6 | 314.3 | 324.9 | 0.457 | 0.258 |
| 79 | 町田 | 193.5 | 287.8 | 251.8 | 481.7 | 302.4 | 257.1 | 0.523 | 0.224 |
| 80 | 姉崎 | 202.3 | 295.4 | 202.4 | 385.7 | 274.7 | 290.8 | 0.303 | 0.186 |
| 81 | 北袖ヶ浦 | 209.5 | 296.2 | 277.7 | 471.4 | 304.9 | 489.5 | 0.103 | 0.311 |
| 82 | 椎津新田 | 205.1 | 289.9 | 341.5 | 483.1 | 191.6 | 274.0 | 0.300 | 0.385 |
| 83 | 砂子 | 200.3 | 290.2 | 292.3 | 517.5 | 311.1 | 313.7 | 0.323 | 0.221 |
| 84 | 葭波 | 209.9 | 288.8 | 371.7 | 583.5 | 231.4 | 316.6 | 0.255 | 0.230 |
| 85 | 万石 | 222.4 | 281.2 | 431.8 | 452.9 | 283.0 | 263.1 | 0.262 | 0.384 |
| 86 | 小松川 | 219.9 | 386.2 | 514.0 | 698.7 | 291.6 | 270.5 | 0.824 | 1.274 |
| 87 | 奉免町 | 197.8 | 373.7 | 423.0 | 809.9 | 327.0 | 406.7 | 0.364 | 0.324 |
| 88 | 木更津空港 | 227.5 | 277.9 | 477.4 | 395.5 | 262.2 | 229.6 | 0.335 | 0.465 |
| 89 | 木更津 | 224.8 | 266.9 | 344.4 | 440.4 | 301.1 | 367.8 | 0.220 | 0.261 |
| 90 | 大成 | 212.6 | 268.2 | 380.3 | 465.6 | 278.6 | 220.7 | 1.052 | 0.491 |
| 91 | 大和田 | 234.5 | 256.4 | 315.0 | 389.3 | 386.8 | 449.7 | 0.700 | 0.921 |
| 92 | 畑沢 | 224.2 | 256.5 | 309.2 | 464.7 | 354.5 | 345.2 | 0.542 | 0.399 |
| 93 | 青木 | 241.3 | 245.4 | 286.5 | 385.2 | 322.8 | 289.7 | 0.536 | 0.211 |
| 94 | 千種新田 | 234.5 | 236.6 | 234.8 | 244.4 | 256.1 | 308.6 | 0.046 | 0.067 |
| 95 | 葉園台 | 187.5 | 347.5 | 377.6 | 804.4 | 271.1 | 287.4 | 1.238 | 0.263 |

| No. | 地名 | 基盤での最大加速度(gal) | | 地表での最大加速度 (gal) | | | | 最大ヒズミ(%) | |
|-----|---------|----------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | | | | 線型 | | 非線型 | | 非線型 | |
| | | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 |
| 96 | 追浜 | 287.9 | 229.4 | 400.7 | 419.4 | 446.3 | 291.6 | 0.717 | 0.160 |
| 97 | 久里浜 | 262.2 | 214.7 | 740.4 | 406.1 | 372.4 | 254.2 | 0.878 | 0.289 |
| 98 | 横須賀中央 | 272.2 | 223.7 | 590.0 | 598.8 | 381.8 | 256.1 | 1.192 | 0.325 |
| 99 | 坂本 | 300.0 | 260.1 | 499.0 | 419.5 | 352.5 | 361.1 | 0.169 | 0.118 |
| 100 | 高島埠頭 | 289.8 | 267.2 | 650.2 | 428.1 | 369.1 | 305.7 | 0.602 | 0.233 |
| 101 | 新子安 | 282.3 | 277.3 | 317.7 | 386.3 | 293.4 | 301.8 | 0.011 | 0.011 |
| 102 | 大黒町 | 276.2 | 282.0 | 484.8 | 562.4 | 412.9 | 304.7 | 1.051 | 0.521 |
| 103 | 弘明寺 | 299.3 | 251.9 | 451.8 | 424.5 | 339.9 | 366.1 | 0.149 | 0.120 |
| 104 | 弘明寺(通町) | 298.5 | 253.1 | 674.5 | 443.3 | 480.1 | 370.1 | 0.926 | 0.448 |
| 105 | 花之木 | 296.4 | 256.6 | 796.2 | 455.0 | 334.2 | 248.7 | 0.876 | 0.621 |
| 106 | 高砂 | 293.1 | 258.6 | 599.8 | 498.8 | 298.7 | 216.1 | 0.810 | 0.601 |
| 107 | 新川 | 292.9 | 259.4 | 604.9 | 441.3 | 290.3 | 185.5 | 0.916 | 0.640 |
| 108 | 末吉 | 291.9 | 261.0 | 412.3 | 465.9 | 292.9 | 184.3 | 0.924 | 0.503 |
| 109 | 伊勢崎 | 289.2 | 263.8 | 421.3 | 443.4 | 298.1 | 200.1 | 0.879 | 0.326 |
| 110 | 関内 | 289.1 | 263.9 | 700.4 | 768.3 | 313.6 | 212.8 | 1.374 | 0.527 |
| 111 | 横浜公園 | 288.4 | 264.3 | 489.4 | 562.0 | 301.9 | 206.2 | 0.882 | 0.504 |
| 112 | 南仲通 | 288.9 | 264.9 | 523.3 | 325.6 | 391.0 | 320.3 | 0.593 | 0.261 |

表-4 各地点の固有振動数と増幅率

| 地点名 | 固有振動数 | | 増幅率 | | 地点名 | 固有振動数 | | 増幅率 | |
|-------------|-------|-------|------|-------|------------------|-------|-------|------|-------|
| | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 |
| 1. 武山 | 4.3 | 4.4 | 2.01 | 1.99 | 12. 平潟町 | 0.5 | 0.6 | 3.18 | 3.13 |
| | 10.8 | 11.0 | 1.88 | 1.87 | | 1.1 | 1.5 | 1.69 | 1.74 |
| | 19.7 | | 1.41 | | | | 2.5 | | 1.08 |
| 2. 野比 | 3.0 | 3.6 | 2.39 | 2.46 | 13. 鳥浜町 | 1.0 | 1.4 | 2.41 | 2.49 |
| | 9.0 | 11.0 | 1.04 | 1.24 | | 3.5 | 4.7 | 0.81 | 1.13 |
| 3. 東京電力 | 5.7 | 5.9 | 2.22 | 2.18 | 14. 富ヶ谷 | 5.7 | 7.5 | 0.59 | 0.91 |
| | 17.4 | 18.0 | 1.55 | 1.55 | | 6.4 | 6.6 | 2.37 | 2.20 |
| 4. 大楠山 | 4.8 | 5.2 | 1.73 | 1.66 | 15. 杉田町 | 19.6 | | 1.56 | |
| | 14.1 | 15.9 | 1.17 | 1.16 | | 3.1 | 3.2 | 2.59 | 2.51 |
| 5. 根岸 | 0.8 | 1.1 | 2.89 | 3.26 | 16. 別所町 | 8.2 | 8.7 | 1.62 | 1.66 |
| | 2.5 | 3.5 | 0.96 | 1.26 | | 13.7 | 14.6 | 1.34 | 1.41 |
| | | 5.8 | | 0.63 | | 1.0 | 1.8 | 1.86 | 1.99 |
| 6. 鴨居 | 2.1 | 2.4 | 2.41 | 2.42 | 17. 西根岸 | 6.2 | 7.5 | 0.60 | 1.14 |
| | 8.4 | 9.4 | 0.72 | 0.82 | | 13.5 | 12.6 | 0.18 | 0.56 |
| | 15.2 | 16.7 | 0.50 | 0.62 | | 0.8 | 1.1 | 2.94 | 3.13 |
| 7. 逗子 | 0.8 | 1.1 | 2.84 | 3.24 | 18. 本牧 (白遼埠頭) | 2.0 | 2.5 | 1.61 | 1.98 |
| | 2.6 | 3.3 | 1.26 | 1.80 | | 1.9 | 2.3 | 2.51 | 2.60 |
| 8. 田浦 | 1.1 | 1.9 | 2.49 | 2.8 | 19. 山下町 | 7.5 | 8.2 | 0.82 | 0.92 |
| | 3.3 | 5.1 | 0.87 | 1.07 | | 2.3 | 2.5 | 1.97 | 2.00 |
| | | | | | | 7.7 | 7.9 | 1.37 | 1.42 |
| 9. 鎌倉(天台山) | | | | | 20. 本牧C埠頭 | 14.2 | 14.4 | 0.89 | 0.96 |
| | 0.7 | 1.0 | 2.48 | 2.69 | | 2.3 | 2.5 | 2.43 | 2.50 |
| | 2.2 | 3.0 | 0.84 | 1.14 | | 6.6 | 7.2 | 1.00 | 1.07 |
| 11. 鎌倉(天台山) | 4.2 | 5.2 | 0.44 | 0.66 | 21. 磯子 | 0.8 | 1.1 | 2.68 | 3.11 |
| | 19.9* | 19.9* | 2.10 | 1.92 | | 3.0 | 3.9 | 0.88 | 1.36 |
| | | | | | | 4.9 | 6.3 | 0.65 | 0.99 |

| 地点名 | 固有振動数 | | 増幅率 | | 地点名 | 固有振動数 | | 増幅率 | |
|----------|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|---------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 |
| 22. 東本郷 | 2.0 5.8 | 2.2 6.3 | 2.73 0.86 | 2.81 0.89 | 44. 東雲町 | 0.4 1.2 | 0.4 1.3 | 2.77 1.38 | 2.62 1.33 |
| 23. 菊名町 | 1.0 3.4 5.3 | 1.4 4.4 7.0 9.6 | 2.18 1.08 0.69 | 2.18 1.38 0.99 0.71 | 45. 夢ノ島 | 0.5 1.3 | 0.5 1.3 | 3.13 1.57 | 3.06 1.32 |
| 24. 生麦町 | 3.4 13.6 | 3.5 14.1 | 3.28 1.02 | 3.30 1.04 | 46. 堀江町 | 0.7 2.0 | 0.6 1.7 | 3.09 1.44 | 2.91 1.33 |
| 25. 小田町 | 0.8 2.9 | 0.9 3.5 | 2.32 1.01 | 2.38 1.18 | 47. 代々木 | 2.5 12.0 | 2.4 11.6 | 2.00 0.38 | 2.00 0.37 |
| 26. 水江町 | 0.7 | 0.7 | 3.27 | 2.61 | 48. 赤坂 | 0.9 2.9 | 1.1 3.5 | 2.30 0.66 | 2.38 0.77 |
| 27. 千鳥町 | 0.7 2.4 | 0.6 2.4 | 2.80 1.49 | 2.57 1.34 | 49. 霊岸島 | 0.7 1.9 | 0.6 1.9 | 3.08 1.58 | 2.78 1.35 |
| 28. 浮島町 | 0.5 1.2 2.9 | 0.5 1.4 2.3 | 2.78 1.66 0.56 | 2.75 1.57 1.09 | 50. 南砂町 | 0.4 1.2 | 0.4 1.4 | 2.95 1.48 | 2.86 1.43 |
| 29. 北網島町 | 0.8 2.4 4.0 | 0.6 1.9 | 3.00 1.30 0.72 | 2.95 0.87 | 51. 桑川町 | 0.5 | 0.5 | 2.84 | 2.83 |
| 30. 塚越 | 0.7 2.2 | 0.7 2.3 3.8 | 2.38 0.94 | 2.30 0.88 0.58 | 52. 当代島 | 0.7 2.1 6.1 | 0.6 1.7 | 2.55 0.78 0.38 | 2.43 0.72 |
| 31. 南六郷 | 1.0 | 1.2 | 2.70 | 2.78 | 53. | | | | |
| 32. 羽田 | 0.6 2.0 | 0.6 2.1 | 2.55 1.00 | 2.52 1.06 | 54. 下妙典 | 1.0 3.5 5.8 | 1.0 3.5 5.7 | 2.62 0.93 0.68 | 2.72 1.02 0.71 |
| 33. 大森南 | 0.9 3.5 5.8 | 1.2 4.2 6.7 | 2.28 0.88 0.69 | 2.31 1.20 1.88 | 55. 海神町 | 0.8 3.3 5.2 | 0.8 3.1 | 2.27 1.59 0.94 | 2.19 1.57 |
| 34. 新城 | 1.0 4.1 9.6 | 1.4 5.0 11.4 | 2.40 1.22 0.35 | 2.57 1.60 0.57 | 56. 小石川 | 2.3 9.8 15.2 | 2.0 8.6 13.5 | 2.26 0.71 0.60 | 2.22 0.62 0.53 |
| 35. 玉川園前 | 8.3 | 7.4 | 2.83 | 2.94 | 57. 稲荷町 | 0.9 | 1.0 | 2.47 | 2.54 |
| 36. 大森北 | 2.3 | 2.2 | 2.11 | 2.14 | 58. 吾嬭町 | 0.7 1.7 | 0.6 1.5 | 3.49 1.65 | 3.20 1.46 |
| 37. 大井埠頭 | 1.2 6.3 | 1.5 4.6 | 2.16 0.66 | 2.27 1.16 | 59. 松本町 | 0.9 3.0 | 0.9 2.7 | 2.86 1.03 | 2.73 0.96 |
| 38. 谷町 | 2.0 6.3 10.6 | 2.0 5.8 9.4 | 2.39 1.31 0.81 | 2.64 1.33 0.89 | 60. 鬼高町 | 0.6 1.7 | 0.5 1.5 | 2.95 1.08 | 2.71 0.95 |
| 39. 五反田 | 1.1 4.6 9.9 | 1.4 5.1 8.4 | 2.07 0.91 0.31 | 2.23 1.17 0.64 | 61. 新船橋 | 1.0 2.7 4.7 | 1.0 2.5 4.4 | 2.77 1.48 0.84 | 3.02 1.56 0.91 |
| 40. 品川埠頭 | 0.9 3.2 6.0 | 1.1 3.8 6.4 | 2.30 0.62 0.48 | 2.44 0.84 0.69 | 62. 津田沼 | 1.1 3.4 | 1.2 3.7 | 2.25 0.70 | 2.33 0.81 |
| 41. 13号地 | 2.0 8.4 15.7 | 1.8 7.5 14.1 | 2.19 0.64 0.59 | 2.16 0.59 0.55 | 63. 柴又 | 0.9 | 0.9 | 2.58 | 2.52 |
| 42. 有明町 | 0.6 1.2 | 0.5 1.3 2.2 | 3.44 1.76 | 3.33 1.70 0.92 | 64. 鷺沼 | 1.0 2.8 | 1.0 2.7 | 2.32 1.20 | 2.41 1.32 |
| 43. 晴海 | 1.1 5.0 8.4 | 1.4 5.9 9.2 | 1.77 0.46 0.40 | 1.79 0.64 0.62 | 65. 畑 | 0.8 | 0.7 | 2.92 | 2.88 |
| | | | | | 66. 稲毛 | 0.8 1.9 | 0.7 1.7 | 2.90 1.61 | 2.62 1.39 |
| | | | | | 67. 浅間 | 1.2 | 1.2 | 2.68 | 2.85 |

| 地点名 | 固有振動数 | | 増幅率 | | 地点名 | 固有振動数 | | 増幅率 | | |
|------------------|---------|-------|------|-------|--------------|-----------|--------|------|-------|------|
| | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | | 関東 | 東京湾北部 | 関東 | 東京湾北部 | |
| 68. 千葉港 工事事務所 | 1.6 | 1.5 | 2.10 | 2.11 | 90. 大成 | 0.9 | 1.1 | 2.29 | 2.41 | |
| | 6.6 | 6.2 | 0.73 | 0.67 | | 3.4 | 3.9 | 0.57 | 0.68 | |
| | 9.9 | 9.0 | 0.72 | 0.70 | | 91. 大和田 | 1.4 | 1.7 | 3.07 | 3.69 |
| | 18.8 | 17.4 | 0.29 | 0.27 | | | 92. 畑沢 | 1.1 | 1.4 | 2.87 |
| 69. 川崎町 | 0.8 | 0.6 | 2.69 | 2.53 | 93. 青木 | 0.8 | | 1.2 | 2.30 | 2.65 |
| | 2.4 | 2.1 | 1.33 | 1.07 | | 2.5 | 2.9 | 1.18 | 1.72 | |
| 70. 千葉寺町 | 1.3 | 1.4 | 2.65 | 2.83 | 94. 千種新田 | 7.0 | 6.5 | 3.09 | 2.95 | |
| | 4.0 | 3.7 | 1.76 | 1.93 | | 95. 菜園台 | 1.1 | 1.1 | 2.66 | 2.69 |
| 71. 和田 | 0.9 | 0.9 | 3.02 | 3.02 | 96. 追浜 | | 1.2 | 1.8 | 1.46 | 2.62 |
| | 3.2 | 3.2 | 1.07 | 1.08 | | 4.3 | 6.1 | 0.84 | 1.34 | |
| | 5.4 | 5.1 | 0.89 | 0.86 | | 7.4 | 9.8 | 0.70 | 1.08 | |
| 72. 丸善石油 | 0.9 | 1.1 | 2.48 | 2.66 | 97. 久里浜 | 0.8 | 0.9 | 3.32 | 3.49 | |
| | 2.6 | 2.8 | 1.17 | 1.38 | | 1.9 | 2.4 | 1.53 | 1.75 | |
| 73. 昭和電工 | 0.8 | 0.7 | 3.01 | 2.49 | 4.2 | 4.2 | 1.01 | 1.01 | | |
| | | 1.4 | 1.83 | 1.83 | 98. 横須賀中央 | 0.9 | 1.3 | 2.75 | 2.93 | |
| 74. 村田 | 1.1 | 1.2 | 2.64 | 3.04 | | 3.2 | 3.2 | 1.24 | 1.24 | |
| | 2.6 | 2.4 | 1.72 | 1.13 | 6.3 | 6.3 | 0.70 | 0.70 | | |
| 75. 大金沢 | 1.2 | 1.3 | 2.61 | 2.83 | 99. 坂本 | 2.2 | 2.4 | 2.67 | 2.61 | |
| | 3.3 | 4.0 | 1.28 | 1.40 | | 6.8 | 7.4 | 1.31 | 1.25 | |
| | 6.2 | 6.3 | 0.77 | 0.92 | | 11.3 | 1.23 | 0.65 | 0.69 | |
| 76. 宇部興産 | 0.7 | 0.7 | 3.05 | 2.74 | 100. 高島埠頭 | 0.8 | 1.0 | 2.77 | 2.93 | |
| 77. 出光興産 | 1.0 | 1.1 | 2.42 | 2.51 | | 2.4 | 2.3 | 1.21 | 1.49 | |
| | 3.1 | 3.3 | 0.98 | 1.11 | 4.6 | 4.6 | 0.83 | 0.83 | | |
| 78. 飯沼 | 1.0 | 1.1 | 2.45 | 2.62 | 101. 新子安 | 12.5 | 12.5 | 1.91 | 1.92 | |
| | 3.0 | 3.1 | 1.19 | 1.41 | | 102. 大黒町 | 1.0 | 1.4 | 2.64 | 2.85 |
| 79. 町田 | 1.3 | 1.5 | 2.26 | 2.60 | 3.3 | | 3.3 | 1.23 | 1.23 | |
| | 3.4 | 3.3 | 1.25 | 1.57 | 103. 弘明寺 | 2.0 | 2.1 | 2.79 | 2.73 | |
| | 6.7 | 7.1 | 0.60 | 0.74 | | 6.1 | 6.6 | 1.50 | 1.54 | |
| 80. 姉崎 | 1.0 | 1.1 | 2.19 | 2.34 | 10.1 | 11.0 | 1.01 | 1.06 | | |
| | 2.4 | 2.4 | 1.36 | 1.53 | 104. 弘明寺(通町) | 0.8 | 1.1 | 3.12 | 3.6 | |
| 81. 北袖ヶ浦 | 2.0 | 1.8 | 3.13 | 3.17 | | 2.3 | 3.0 | 1.69 | 2.16 | |
| | 4.3 | | 1.70 | | 105. 花之木 | 0.7 | 0.8 | 2.95 | 2.99 | |
| | 9.1 | | 1.10 | | | 1.7 | 1.9 | 1.16 | 1.27 | |
| 82. 権津新田 | 2.1 | 2.0 | 1.76 | 1.77 | 106. 高砂 | 0.6 | 0.6 | 2.98 | 2.99 | |
| | 12.5 | 11.7 | 0.95 | 0.87 | | 1.5 | 1.9 | 1.09 | 1.14 | |
| 83. 砂子 | 1.3 | 1.5 | 2.48 | 2.63 | 107. 新川 | 0.6 | 0.6 | 2.84 | 2.79 | |
| | 4.3 | 4.8 | 0.91 | 1.07 | | 1.4 | 1.6 | 1.00 | 1.06 | |
| | 7.6 | 8.1 | 0.63 | 0.82 | 3.2 | 3.2 | 0.41 | 0.41 | | |
| 84. 葎波 | 1.7 | 1.7 | 2.18 | 2.23 | 108. 末吉 | 0.5 | 0.6 | 2.97 | 2.75 | |
| | 6.1 | 5.7 | 0.82 | 0.83 | | 1.3 | 1.6 | 1.09 | 1.16 | |
| | 17.1 | 16.2 | 0.28 | 0.31 | 109. 伊勢崎 | 0.5 | 0.6 | 2.75 | 2.89 | |
| 85. 万石 | 0.7 | 0.7 | 2.46 | 2.26 | | 1.6 | 1.6 | 1.21 | 1.21 | |
| | 2.0 | 2.1 | 1.31 | 1.23 | 110. 関内 | 0.5 | 0.5 | 2.83 | 3.07 | |
| | 3.5 | 3.2 | 0.88 | 0.77 | | 111. 横浜公園 | 0.5 | 0.6 | 3.02 | 2.79 |
| 86. 小松川 | 0.6 | 0.5 | 3.33 | 2.95 | 1.3 | | 1.6 | 1.16 | 1.23 | |
| | 87. 奉免町 | 1.0 | 1.1 | 2.31 | 2.44 | 112. 南仲通 | 0.7 | 0.8 | 2.83 | 2.62 |
| 3.2 | | 3.2 | 1.16 | 1.47 | 1.6 | | 2.1 | 1.79 | 1.79 | |
| 88. 木更津空港 | 0.6 | 0.6 | 2.51 | 2.34 | | | | | | |
| | 1.6 | 1.7 | 1.41 | 1.31 | | | | | | |
| 89. 木更津 | 2.3 | 2.2 | 2.80 | 2.74 | | | | | | |
| | 7.0 | 6.6 | 1.12 | 1.06 | | | | | | |

7. 考 察

7.1 線型計算との比較

図18,19の線型計算の場合と非線型計算の場合の最大加速度図を比較すると、最大加速度が非線型の場合の方が多少増加しているという地点もあるが、全体的にみて、線

型計算の結果得られた最大加速度は非線型の場合減少しているのがわかる。地点56と地点42について応答計算の結果得られた各境界面での地震波形を線型と非線型の場合について図-22~27に示す。

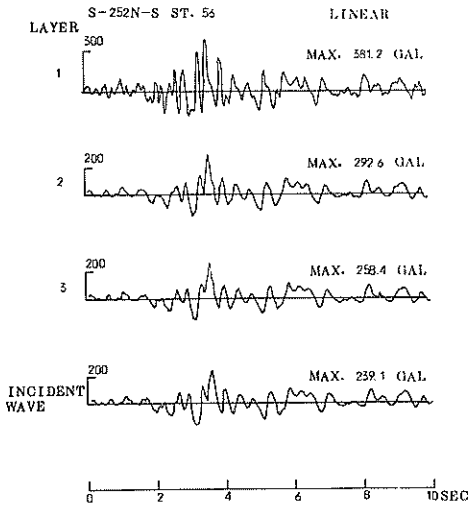


図-22 地点56 各層境界における地震波形と入射波形(線型)

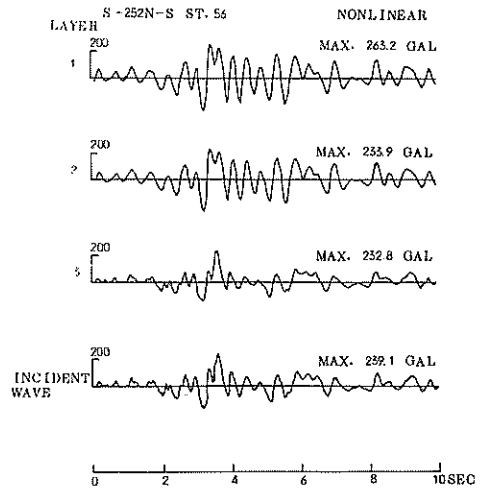


図-23 地点56 各層境界における地震波形と入射波形(非線型)

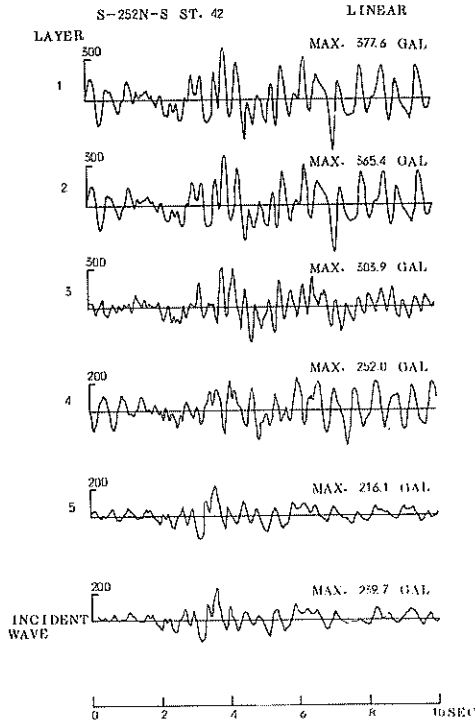


図-24 地点42 各層境界における地震波形と入射波形(線型, S-252 N-S)

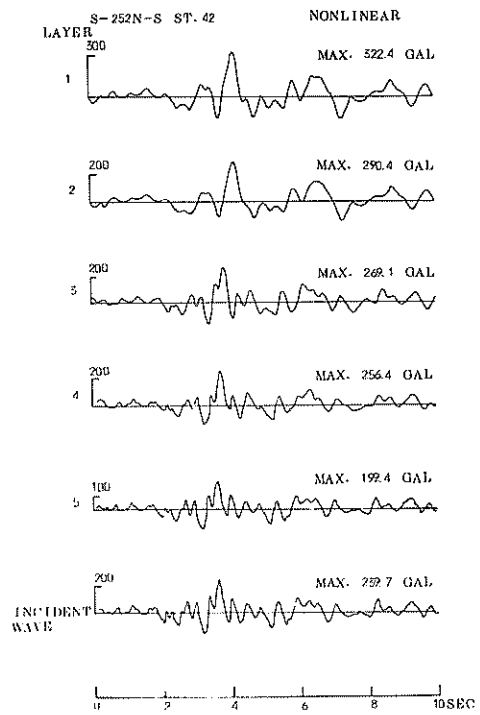


図-25 地点42 各層境界における地震波形と入射波形(非線型, S-252 N-S)

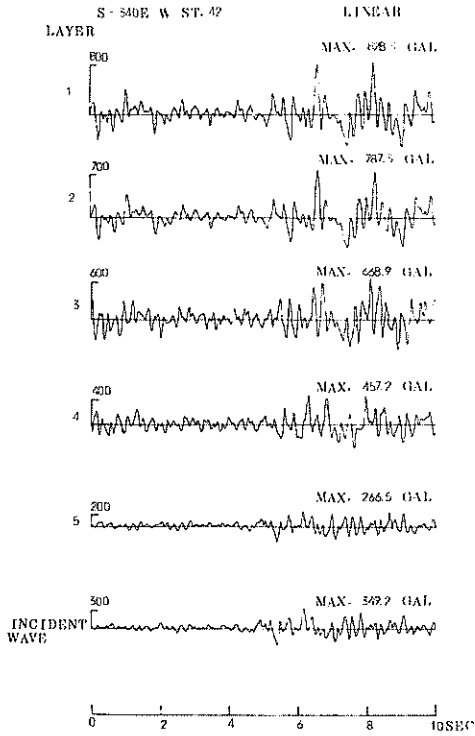


図-26 地点42 各層境界における地震波形
と入射波形(線型, S-340 E-W)

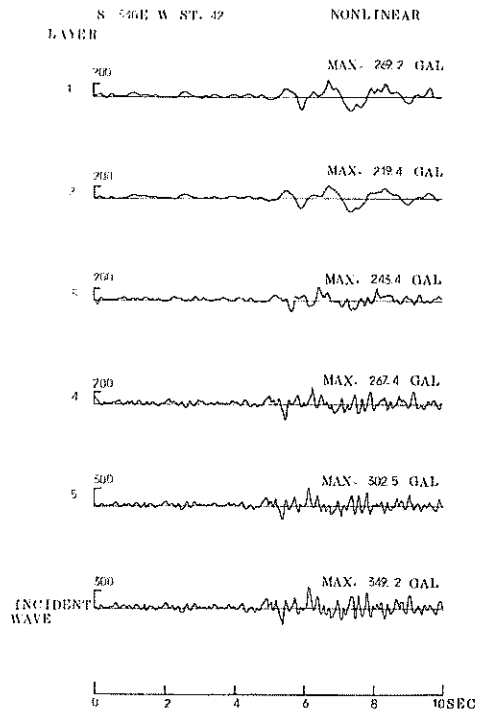


図-27 地点42 各層境界における地震波形
と入射波形(非線型, S-340 E-W)

線型計算の場合と非線型の場合とで地表の地震波形を比べてみると、非線型の場合には明らかに高い振動数成分がなくなっているのがわかる。それで、この地表での地震波形についてフーリエスペクトルを求めたのが図-28~30で

ある。線型計算の結果得られた地表の地震波形と非線型の場合のそれとのフーリエスペクトルが同時に示してあるが、高い振動数成分でその違いがよく出ている。

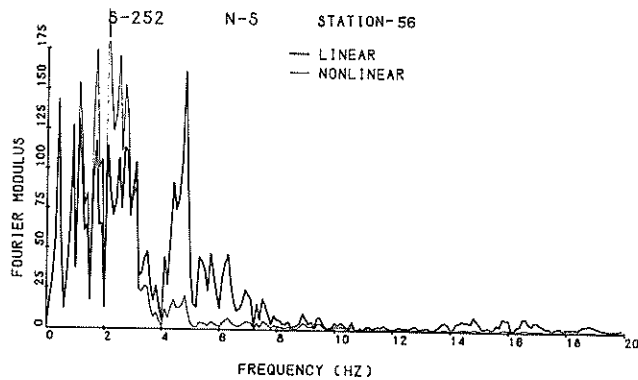
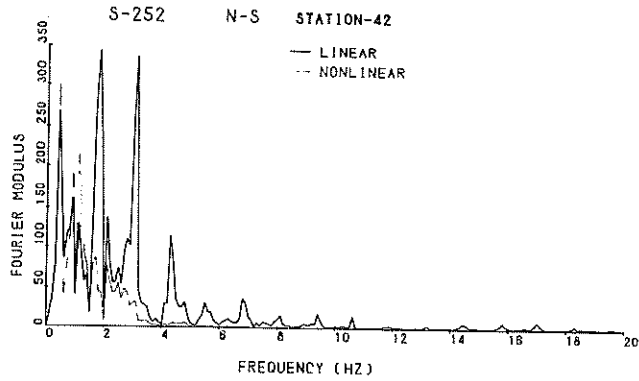
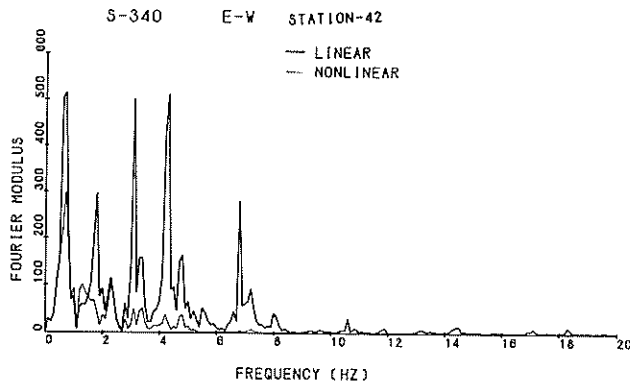


図-28 地点56 地表の地震波のフーリエスペクトル



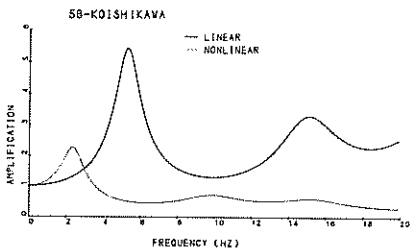
図一29 地点42 地表の地震波のフーリエスペクトル (S-252 N-S)



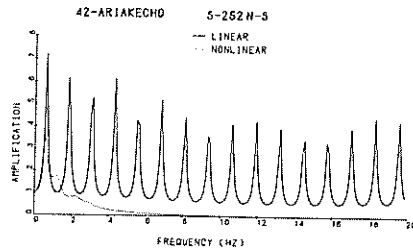
図一30 地点42 地表の地震波のフーリエスペクトル (S-340 E-W)

結局このような差が生じているのは地盤の周波数伝達関数がひずみレベルに応じて変化しているためであり、図一31～33にこれらの地点の周波数伝達関数を線型と非線型の場合について同時に示す。線型と非線型ではセン断弾性係数が異なるという以外に、線型計算では減衰定数 $\beta=0$ と

いう条件に相当するので、この点を考慮しなければならないが、両者を比較すると、非線型の周波数伝達関数は高い振動数の部分では増幅率はほとんどゼロであり、1次の固有振動数のピークだけが大きい。この固有振動数は線型の場合の1次の固有振動数より小さく、その増幅率の値も下



図一31 地点56 周波数伝達関数



図一32 地点42 周波数伝達関数 (S-252 N-S)

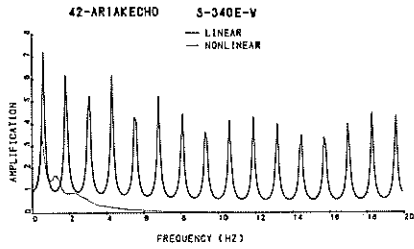


図-33 地点42 周波数伝達関数(S-340 E-W)

がっている。この傾向はほぼ全地点についていえることで、表-4に示した固有振動数と増幅率の値について前報のそれと比較すると、1次の固有振動数は下がっており、その増幅率の値も小さくなっている。なお、地点42について、入射波のフーリエスペクトルと地表の波のそれとを比較して図-34,35に示してある。非線型の場合、地表での波の高い振動数成分がおさえられ、固有振動数に近い成分が増幅されているのがよくわかる。

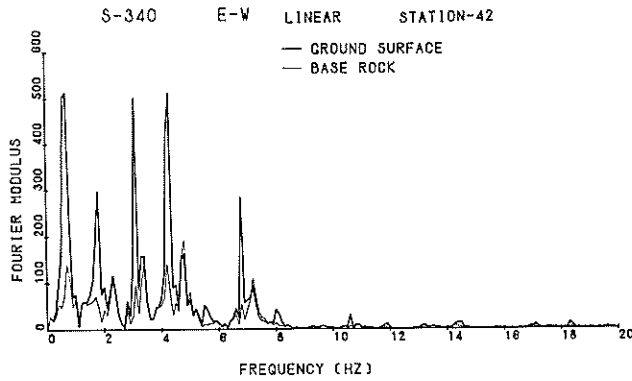


図-34 地表における地震波と入射波のフーリエスペクトル(線型)

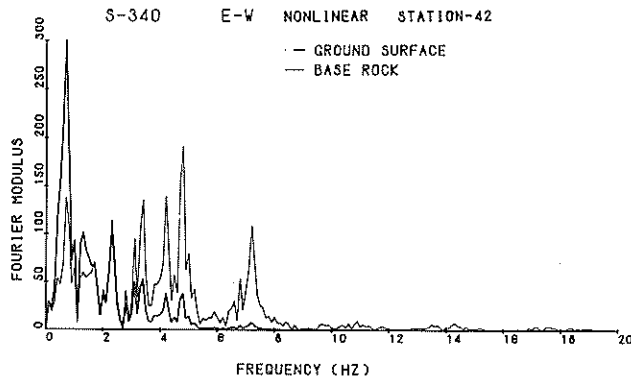


図-35 地表における地震波と入射波のフーリエスペクトル(非線型)

7.2 入力地震波の影響

今回の計算では、前報で示したように関東地震に対してS-252およびS-340の2つの地震波について計算するということをしていない。このため、他の条件が同じで、入力地震波のみ異なるという結果の組合せがないため、入

力地震波の影響はこまかに見られない。さらに、入力加速度が異なると地盤の応答も異なってくるので、各地点で入力地震波が異なった場合の影響をみるということはかなり複雑になる。それで、ほぼ同じような入力加速度の地震波で応答計算をしている地点について検討してみる。地点23

では入力加速度が2つの地震に対して287 gal, 278 galとほぼ同じである。これに対してヒズミはS-252の方が0.819%, S-340の方が0.234%とかなり異なっており、したがって固有振動数も、S-252の方が1.0Hzであるのに対して、S-340の方は1.4Hzである。そして、S-252の方の地震波に対して1.0Hzという固有振動数が入力地震波の卓越振動数と一致して、最大加速度は440 galとなり、S-340の方の最大加速度336 galと比較すると100 galほど大きくなっている。また、地点91については、これも2つの入力加速度は235 gal, 256 galとほぼ等しい値で、この場合はヒズミもS-252で0.7%, S-340で0.921%とだいたい同じくらいの値となっている。しかし、固有振動数はS-252で1.4Hz, S-340で1.7Hzと異なっている。この場合はS-340の卓越振動数1.7Hzが地盤の固有振動数と一致して450 galの地表加速度が得られており、S-340の地表加速度387 galより大きい値となっている。

このように、入力加速度が同じであっても、異なった地震波に対してヒズミの大きさが異なったり、ヒズミの大きさが同じであってもせん断弾性係数の分布が異なっており、固有振動数が等しい値をとらないというようなことがある。しかし、2つの地震波による固有振動数の差は0.3Hzぐらいであり、表-4の固有振動数、増幅率の表をみると、2つの地震波でヒズミの大きさが相当異なっており、固有振動数の値が違うというものがあるが、各地点についてほぼ同じ固有振動数、増幅率を示している。図-32, 33は地点42における入力地震波が異なった場合の周波数伝達関数である。この場合においては、2つの入力地震の加速度は240 galと349 galとかなり違っているが、両方の図をみると、ほぼ同じ伝達関数を示している。

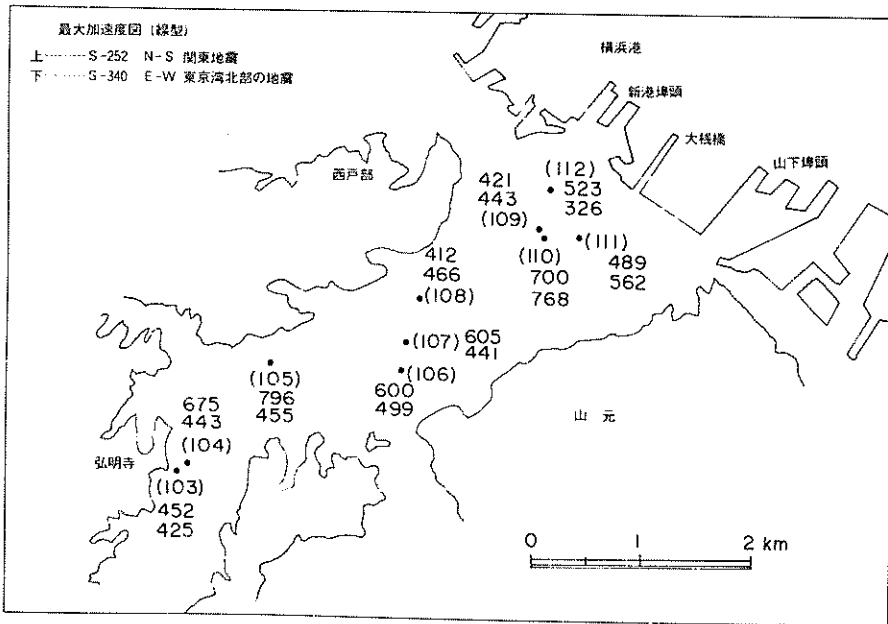
7.3 地表での最大加速度と地盤の固有周期

7.1 で述べたように、線型計算の結果得られた最大加速度の地点はすべて減少しており、関東地震については、横須賀に比べて船橋附近の方が全体的に最大加速度は小さい傾向を示し、だいたい300 gal以下である。一方東京湾北部の地震では、横須賀附近での最大加速度は300 gal以下であり、東京湾附近の最大加速度より小さい傾向にある。だいたいの傾向は以上のように、震源より遠い地域の方がより小さい地表加速度を示しているようだが、それほどはっきりしたものでなく、全体的にみると地域差はあまりなく、最大加速度は300~400 galとなっている。関東地震の場合で最も大きい最大加速度は487 gal, 東京湾北部の地震で490 galである。2. で述べたように、山原⁸⁾は関東地震の際東京本郷の東大地震学教室において実測された変位波形より、関東地震の加速度波形を推定しているが、これ

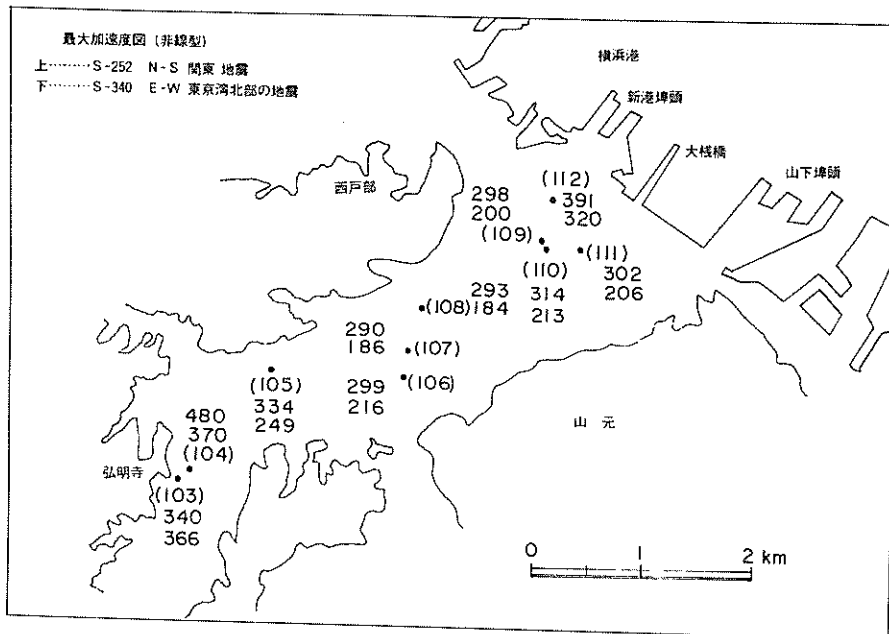
によると最大加速度は381 galであるとしている。関東地震での最大加速度がこのように推定されているので、今回の計算手法にしたがって本郷での最大加速度を推定してみた。関東地震の変位記録が観測された地点での土質柱状図が入りできなかったため、大沢²⁴⁾によって示されている東大地震研究所の地点での土質柱状図を採用した。この地区は典型的な山手地区で、洪積地盤であることを考えると、この土質柱状図を用いても大差ないと思われる。この土質柱状図よりその地点の地盤をモデル化し、岡本式より基盤での最大加速度を求め、地盤応答計算を行った結果、地表での最大加速度は342 galとなった。山原らによって示されている381 galとほぼ一致しており、本報告で用いた計算方法が妥当であることを示しているものと思われる。

線型計算の結果では、軟弱地盤では明らかに最大加速度が他の地点と比べて大きかったが、今回はそのような結果は見られない。石本²⁵⁾は東京、横浜市内10箇所において地震動の比較観測を行い、沖積地盤と洪積地盤のそれぞれの最大加速度比を求めている。それによると、横浜では軟弱地盤(横浜公園, 高島町)の方が硬地盤(野毛山)よりだいたい小さい加速度を示している。しかし東京では、沖積地盤(青山, 神田, 赤羽, 丸の内, 向島)と洪積地盤(本郷)の関係は、沖積地盤の方が小さいとはいえない。また、福井地震の余震観測においては、沖積層の厚い場所の方が加速度が大きくなる傾向を示している。²⁸⁾ 以上はだいたいの加速度が小さいものについての議論であるので、これが今回の場合のような最大加速度についてもいえるかどうかはわからないが、最大加速度については、地盤条件の差というのはあまりはっきり出ないように思われる。

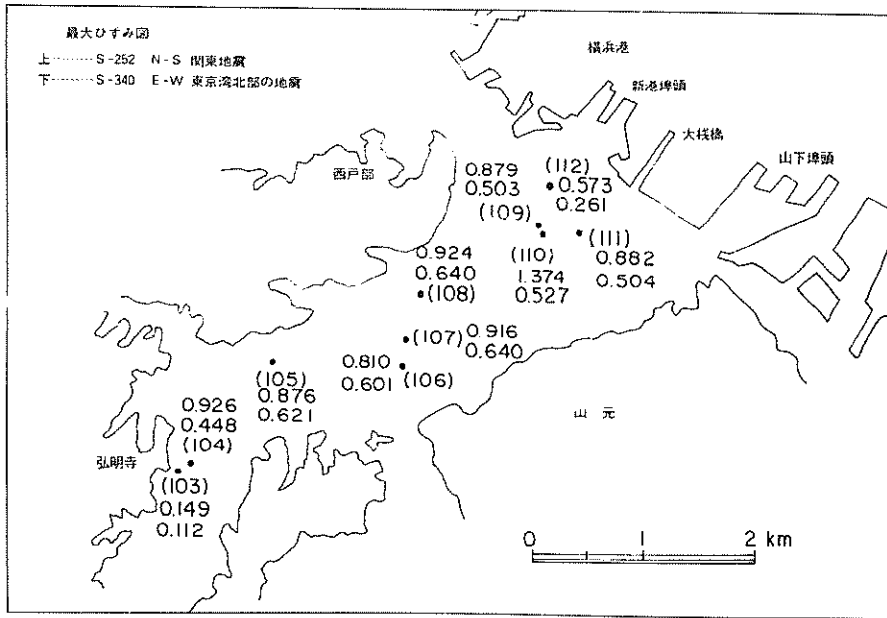
3. で述べたように、関東地震の横浜市の木造家屋の被害率と沖積層の厚さとの関係は図-14のようになっており、被害率は沖積層の厚さの増加にともなって増えている。前報と同じように、横浜市の南部低地の弘明寺-山下町の線にそって10地点を選んで(図36.37参照)、それぞれの地点について線型、非線型の場合について地盤応答計算を行った。図-36の線型の場合は、地点によってかなりばらついた最大加速度を示している。図-37の非線型計算の場合は、沖積層の厚さの小さい方がかえって大きな加速度を示しており、沖積層の厚さがある程度深くなると、関東地震に対しては300 gal, 東京湾北部の地震に対しては200 gal程度の、各地点についてほぼ等しい最大加速度を示している。図-38には最大ヒズミを示してあるが、これによると、関東地震でこの地域のヒズミは0.9%ぐらい、東京湾北部の地震では0.5~0.6%の値になっている。



図一36 横浜南部低地の最大加速度図 (線型)



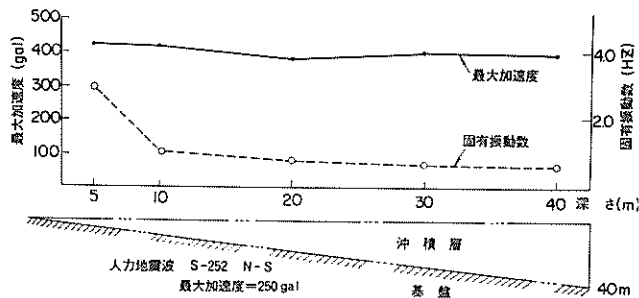
図一37 横浜南部低地の最大加速度図 (非線型)



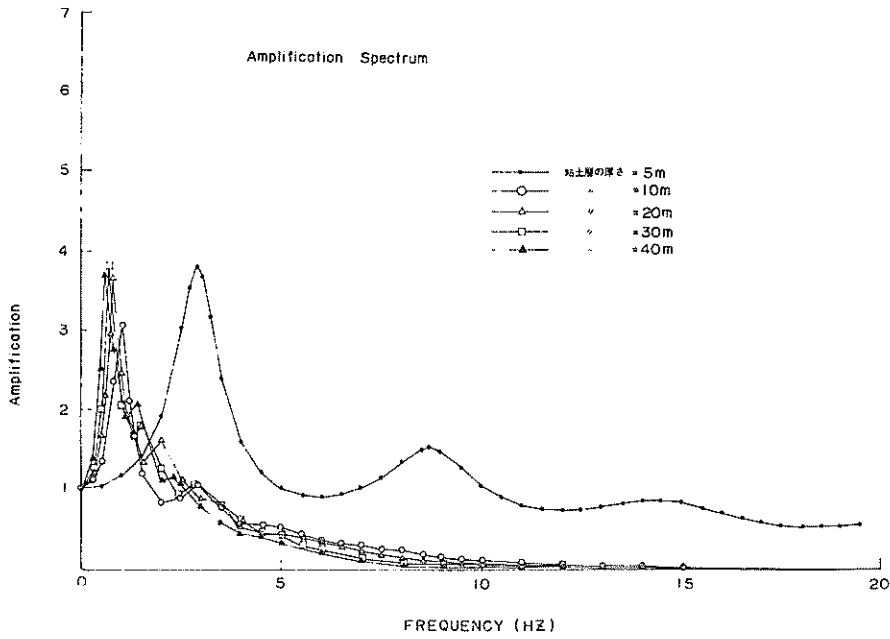
図一38 横浜南部低地の最大ヒズミ図 (9)

次に軟弱な粘土層の影響をみるために、粘土層の厚さをいろいろ変えた場合について地盤応答計算を行った。粘土層の厚さが5m, 10m, 20m, 30m, 40mの5つの地点について入力加速度250galで計算した結果を図一39に示す。これによると、地表での最大加速度は、粘土層の厚さに関係なくほぼ400galの値となっている。同じ図に地盤の1次固有振動数も同時にプロットしてあるが、これを見ると、粘土層の厚さの増加とともに固有振動数が減少しているのがわかる。図一40にはこれら5つの地点の周波数伝達関数を示す。さらに、この粘土層の地表での地震波についてフーリエスペクトルの結果を図一41～45に示す。卓越周期は地盤の固有周期と一致して、粘土層の厚さとともに増加している。

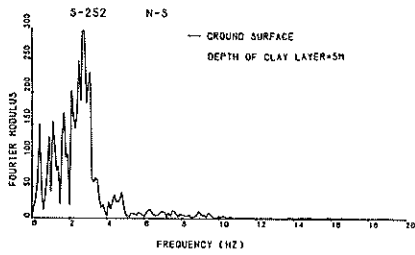
表一4の横浜南部低地の各地点の固有振動数は0.5～0.6Hzの値となっている。前報でN値が10以下の層厚と固有振動数、増幅率の関係を示したが、今回の計算結果についても同じように、関東地震について整理した結果を表一5に示す。増幅率の値は各地点で2～3で、ほぼ同じ値を示しているが、固有振動数は軟弱層の厚さの増加とともに小さくなっているのがわかる。図一20にはこの固有振動数を各地点にプロットしたのが示してあるが、図の斜線部分はN値が10以下の層厚が20m以上の軟弱地盤地域でこの部分の固有振動数は小さく、約0.7Hzぐらいである。これに対し、図のなかで斜線以外の部分である硬地盤上の固有振動数は1.0Hz以上となっている。



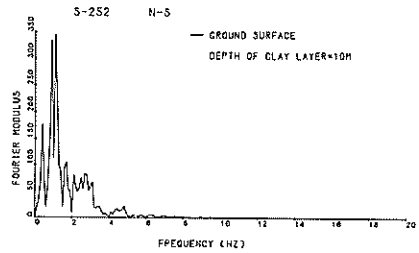
図一39 粘土層の厚さと最大加速度、固有振動数の関係



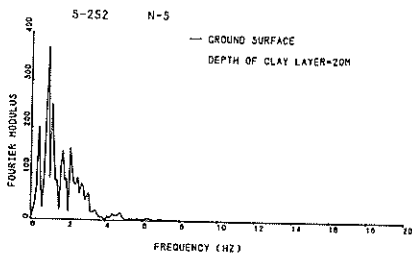
図一40 粘土層の厚さと地盤の周波数伝達関数の関係



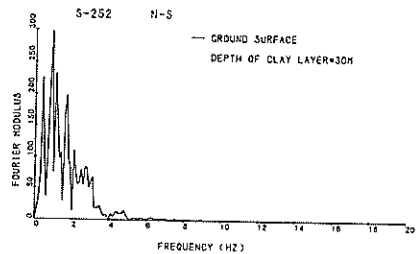
図一41 深さ5m粘土地盤地表での地震波のフーリエスペクトル



図一42 深さ10m粘土地盤地表での地震波のフーリエスペクトル



図一43 深さ20m粘土地盤地表での地震波のフーリエスペクトル



図一44 深さ30m粘土地盤地表での地震波のフーリエスペクトル

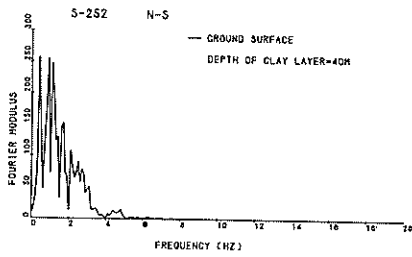


図-45 深さ40m粘土地盤地表での地震波のフーリエスペクトル

木造家屋の倒壊実験によると、倒壊時の家屋の傾斜はおよそ $1/15$ で、²⁶⁾ 地動の最大加速度と家屋のヒズミとの関係についての実験式から、 $1/15$ の傾斜をひきおこす地動最大加速度を推定すると 400gal となることが報告されている。²⁷⁾ 今回の計算ではほぼ地域差がなく、 $300\sim 400\text{gal}$ の最大加速度が各地点について得られており、4で述べたような木造家屋の被害率の地域差は、最大加速度の相違という観点から説明できない。木造家屋の固有周期は $0.4\sim 0.6\text{sec}$ 、減衰定数は $0.06\sim 0.08$ ぐらいたと推定されており、さらにこの固有周期は破壊に近づくに従い長くなることが知られている。今回の計算結果によると、軟弱地盤での固有周期は 1.43sec ぐらいで、硬地盤での固有周期は 0.5sec の短周期と、軟弱地盤の固有周期が硬地盤のそれより長くなっている。したがって、大きな地動加速度によって長くなった木造家屋の固有周期は、軟弱地盤の固有周期と一致して、軟弱地盤では木造家屋の振動は大きくなり、硬地盤ではその固有周期は短周期であるから、木造家屋の振動はさほど大きくなりえないことになる。このように地盤の固有周期の点から考えると、過去における震害と地盤の関係が説明でき、今回の計算からも、木造家屋については軟弱地盤地域がより危険な地域であると推定される。山手地区の代表的な地点と思われる地点56と、軟弱地盤上の地点42の地表の地震波の応答スペクトルを図-46~54に示す。

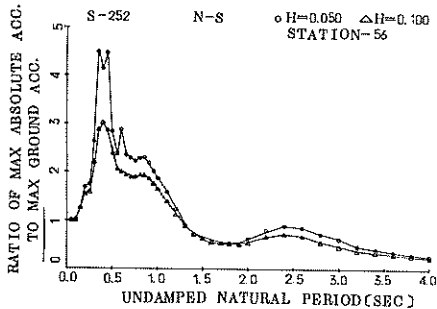


図-46 地点56 加速度比応答スペクトル

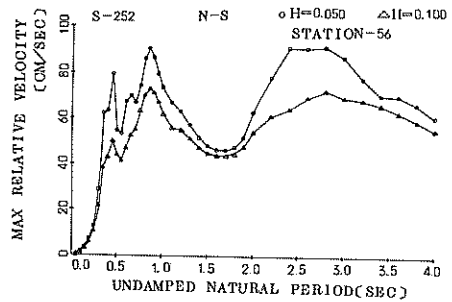


図-47 地点56 速度応答スペクトル

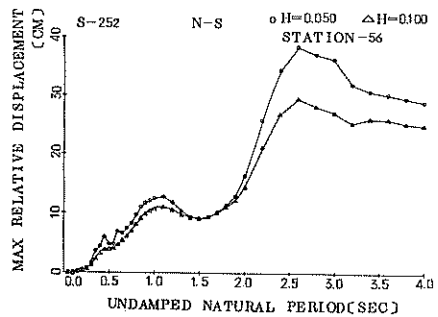


図-48 地点56 変位応答スペクトル

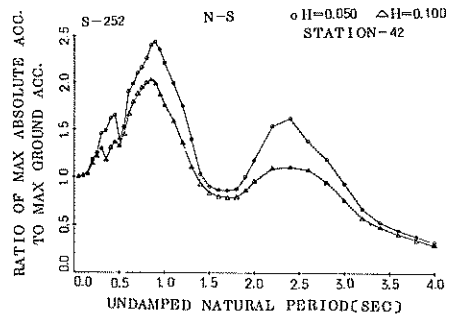


図-49 地点42 加速度比応答スペクトル (S-252 N-S)

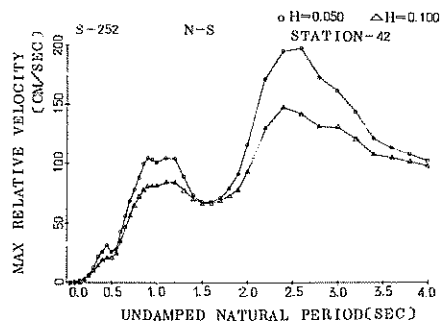


図-50 地点42 速度応答スペクトル (S-252 N-S)

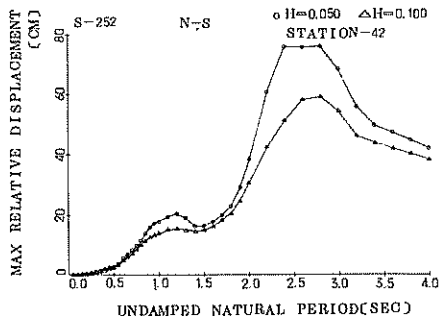


図-51 地点42 変位応答スペクトル
(S-252 N-S)

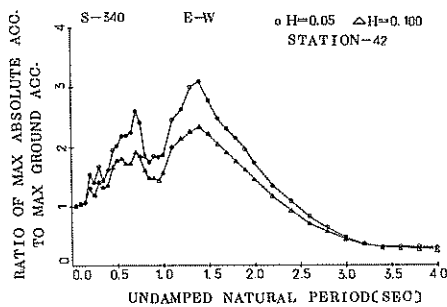


図-52 地点42 加速度比応答スペクトル
(S-340 E-W)

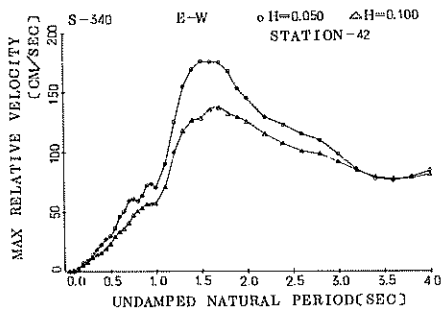


図-53 地点42 速度応答スペクトル
(S-340 E-W)

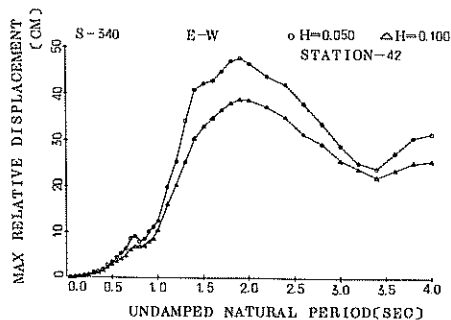


図-54 地点42 変位応答スペクトル
(S-340 E-W)

これを見ると、加速度応答スペクトルの最大値は地点56で0.85 sec, 地点42で0.9 secの周期のところで示されており、地点42の方が周期の長いところでピークを示している。

過去における観測結果から、軟弱地盤上の変位が硬地盤に比べ、より大きくなること示されている。今回の計算においても、加速度が地表で同じでも、軟弱地盤の厚さの増加とともに地盤の固有振動数は小さくなっており、軟弱地盤上ではより変位が大きくなることが予想される。地表における変位の大きさが震害と直接的にどう結びつくかははっきりしない。

8. 結 論

本報告で明らかになった事項および問題点を以下に列記する。

i) 関東地方に大地震が発生した場合に、東京湾沿岸地域の地表で推定される最大加速度を土のせん断弾性係数、減衰定数のヒズミ依存性を考慮して求めた。これによると、東京湾沿岸地域では300~400 galの最大加速度が推定され、最も大きなものは500 gal弱であり、計算された地中の最大ヒズミの最も大きなものは1.8%である。

ii) 地表で推定される最大加速度は地域差がなく、ほぼ等しい加速度を各地点について示しているが、地盤の固有振動数は軟弱地盤において0.7 Hzぐらい、硬地盤では2 Hzぐらいになっている。過去における木造家屋の被害率から考えると、軟弱地盤地域はより危険度が高いと思われる。

iii) 前報で詳しく述べたが、ここで求めた最大加速度がそのまま現行設計法における震度とは結びつかない点注意を要する。最大加速度と設計震度の関係はさらに検討されるべき課題である。

今回の計算は東京湾沿岸地域の港湾および海岸施設等の広域的な防災対策を遂行するための基礎資料として、各地の地盤加速度を推定したものである。計算は種々の仮定に基づいているので、今後研究が進み、より精度の高い資料が収集されるに従い、更に信頼性の高いものに改善されるべき性質のものである。

謝 辞

本報告は、大都市震災調査の一環として港湾局防災課より問題提起を受け、海岸事業調査費を用いて実施したものである。本報告をまとめるに際し、林構造部長をはじめ、構造部、土質部の方々から数々の有意義な助言をいただいた。ここに記して深く謝意を表す次第である。

(1974年6月29日受付)

表一5 N値10以下の層厚と地盤の固有振動数、増幅率

| 層厚 | 0 | 0~5 | 5~10 | 10~15 | 15~20 | 20~25 | 25~30 | 30~35 | 35~40 | 40以上 |
|-----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 左:1次の固有振動数 地点番号 右:増幅率 | ② 3.0, 2.39 | ⑪ 19.9, 2.10 | ① 4.3, 2.01 | ⑥ 2.1, 2.41 | ⑤ 0.8, 2.89 | ⑦ 0.8, 2.84 | ⑩ 0.7, 2.48 | ⑰ 0.8, 2.94 | ⑫ 0.5, 3.18 | ⑤⑧ 0.5, 2.78 |
| | ④ 4.8, 1.73 | ⑬ 1.9, 2.51 | ③ 5.7, 2.22 | ⑮ 3.1, 2.59 | ⑩ 0.8, 2.68 | ⑮ 1.0, 2.41 | ⑮ 0.7, 2.80 | ⑱ 1.0, 2.70 | ⑳ 0.7, 3.27 | ④ 0.4, 2.77 |
| | ⑦ 1.0, 2.45 | ⑯ 2.0, 2.73 | ⑧ 1.1, 2.49 | ⑰ 1.0, 1.86 | ⑫ 1.0, 2.18 | ⑮ 0.8, 2.32 | ⑯ 0.7, 2.38 | ㉑ 0.6, 2.55 | ㉒ 0.6, 3.44 | ⑩ 0.5, 2.75 |
| | ⑩ 1.0, 2.19 | ㉓ 2.3, 2.11 | ⑭ 6.4, 2.37 | ⑲ 2.3, 1.97 | ⑬ 1.0, 2.62 | ㉓ 0.8, 3.00 | ㉓ 0.9, 2.28 | ㉔ 0.7, 3.09 | ㉕ 0.5, 3.13 | ⑬ 0.5, 2.83 |
| | ⑬ 2.1, 1.76 | ㉕ 1.2, 2.16 | ⑯ 3.4, 3.28 | ㉖ 1.1, 2.07 | ⑰ 0.9, 3.02 | ㉔ 1.0, 2.40 | ㉕ 0.8, 2.27 | ㉖ 0.7, 3.08 | ㉖ 0.4, 2.95 | ⑰ 0.7, 2.88 |
| | ⑯ 7.0, 3.09 | ㉖ 2.3, 2.26 | ㉗ 3.3, 2.83 | ㉗ 0.9, 2.30 | ⑱ 1.0, 2.42 | ㉖ 0.7, 3.05 | ㉖ 0.6, 2.95 | ㉗ 0.5, 2.84 | ㉗ 0.6, 2.56 | |
| | | ㉘ 0.9, 2.58 | ㉘ 2.0, 2.39 | ㉘ 0.9, 2.86 | ㉘ 1.3, 2.26 | ㉗ 1.3, 2.69 | ㉘ 0.8, 2.69 | ㉘ 0.7, 2.55 | ㉘ 0.5, 2.97 | |
| | | ㉙ 1.0, 2.32 | ㉙ 2.0, 2.19 | ㉙ 0.8, 2.92 | ㉙ 1.2, 1.46 | ㉘ 0.7, 2.46 | ㉙ 0.8, 2.30 | ㉙ 0.5, 3.14 | ㉙ 0.5, 3.02 | |
| | | ㉚ 0.9, 2.48 | ㉚ 1.1, 1.77 | ㉚ 1.6, 2.10 | ㉚ 0.9, 2.75 | ㉙ 0.8, 3.32 | ㉚ 0.8, 2.77 | ㉚ 0.8, 2.90 | | |
| | | ㉛ 0.8, 3.08 | ㉛ 2.5, 2.00 | ㉛ 1.3, 2.65 | ㉛ 2.0, 2.79 | | ㉛ 0.7, 2.95 | ㉛ 0.6, 3.33 | | |
| | | ㉜ 1.1, 2.64 | ㉜ 0.9, 2.30 | ㉜ 1.2, 2.61 | ㉜ 0.8, 3.12 | | ㉜ 0.6, 2.98 | ㉜ 0.6, 2.84 | | |
| | | ㉝ 0.9, 2.29 | ㉝ 0.9, 2.47 | ㉝ 1.3, 2.48 | | | | | | |
| | | ㉞ 1.4, 3.07 | ㉞ 1.0, 2.77 | ㉞ 2.2, 2.67 | | | | | | |
| | | ㉟ 1.1, 2.87 | ㉟ 1.1, 2.25 | ㉟ 1.0, 2.64 | | | | | | |
| | | ㊱ 12.5, 1.91 | ㊱ 1.2, 2.68 | | | | | | | |
| | | | ㊲ 1.7, 2.18 | | | | | | | |
| | | | ㊳ 1.0, 2.31 | | | | | | | |
| | | | ㊴ 2.3, 2.80 | | | | | | | |
| | | | ㊵ 1.1, 2.66 | | | | | | | |

参 考 文 献

- 1) 河角広：関東南部地震69年周期の証明とその発生緊急度ならびに対策の緊急性と問題点，地学雑誌，Vol.79，No.3，1970年，PP.115-138.
- 2) 運輸省第二港湾建設局：大都市震災対策調査報告書，1973年3月.
- 3) H.Kanamori, and S.Miyamura : Seismometrical Re-Evaluation of the Great Kanto Earthquake of September 1,1923, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.48, 1970, PP.115-125.
- 4) H.Kanamori : Faulting of the Great Kanto Earthquake of 1923 as revealed by Seismological Data, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.49, 1971, PP.13-18.
- 5) M.Ando : A Fault-Origin Model of the Great Kanto Earthquake of 1923 as Deduced from Geodetic Data, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.49, 1971, PP.19-32.
- 6) 勝又護：地震動の最大加速度の推定，験震時報，第37巻，1972年，PP.79-87.
- 7) H.Tsuchida, E.Kurata, and K.Sudo : Strong-Motion Earthquake Records on the 1968 Tokachi-oki Earthquake and Its Aftershocks, Technical Note of the Port and Harbour Research Institute, No.80, June 1969.
- 8) 山原浩，1923年の関東地震とは，鋼管杭協会機関誌，No.9，1974年3月.
- 9) H.Tsuchida, E.Kurata, and K.Sudo : Annual Report on Strong-Motion Earthquake Records in Japanese Ports (1968), Technical Note of the Port and Harbour Research Institute, No.98, March 1970.
- 10) 土田肇，上部達生：地表における強震記録より推定した基盤地震動の特性，港湾技術研究所報告，Vol.11，No.4，1972年12月，PP.191-270.
- 11) H.B.Seed and I.M. Idriss : Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis, Report No. EERC 70-10, Col. of Eng., Univ. of Calif. Berkeley, 1970.
- 12) 市原松平：土と基礎 実用数式図表の解説，土質工学会，PP.135-140.
- 13) 荒井秀夫，岩淵守義，中沢定男，北島誠治：砂層の振動性状，港湾技術研究所報告，第13巻2号，1974年6月.
- 14) 河角広：東京の震害分布と地盤について，建築雑誌66輯，773号，1951年4月，PP.8-15.
- 15) S.Omote : The Relation between the Earthquake Damages and the Structure of Ground in Yokohama, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.27, 1949, PP.63-68.
- 16) P.B.Schnabel, J.Lysmer and H.B. Seed : SHAKE-A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, Report No. EERC 72-12, Col. of Eng., Univ. of Calif. Berkeley, 1972.
- 17) P.B.Schnabel, H.B.Seed and J.Lysmer : Modification of Seismograph Records for Effects of Local Soil Conditions, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.62, No.6, 1972, PP.1649-1664.
- 18) 今井常雄，吉村正義：速度を中心とした地盤の力学的性質，物理探査技術協会講演予稿集，1970年10月.
- 19) 原昭夫，丹羽正徳，坂野正：粘土地盤の弾性定数と強度，鹿島技研年報，第21号.
- 20) H.B.Seed, I.M. Idriss, and F.W.Kiefer : Characteristics of rock motions during Earthquakes, EERC 68-5, College of Engineering, Univ. of California, 1968.
- 21) H.B.Seed, I.M. Idriss and F.W.Kiefer : Characteristics of Rock Motions during Earthquake, Jour. of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.95, No.SM5, September 1969, PP.1199-1218.
- 22) K.Kanai. and T.Suzuki : Expectancy of the Maximum velocity amplitude of Earthquake motions at bed rock, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.46, 1968, PP.663-666.
- 23) 岡本舜三，田村重四郎，加藤勝行：岩盤地帯における地震観測，第11回地震工学研究発表会，1971年7月，PP.53-56.
- 24) 大沢胖，田中貞二，村上雅也，細田良彦：地震研究所本館における地震時建物歪の測定（第1報），震研彙報，第44号，1966年，PP.697-708.
- 25) 石本巳四雄：東京・横浜市内10ヶ所における地震動加速度観測（II），震研彙報，第13号，1985年，PP.592-607.
- 26) 斉田時太郎：木造家屋の振動および倒潰実験，震研彙報，第17号，1989年3月，PP.152-167.
- 27) 金井清：地震工学，共立出版.

28) 岡本舜三：耐震工学，オーム社

29) 野田節男，上部達生：東京湾沿岸地域の大地震時における地盤加速度，港湾技研資料，No.177，1974年3月.

記 号 表

| | | |
|------------------|---|-------------------|
| a | ： | 基盤での最大加速度 |
| A_0 | ： | 地表面での変位振幅 |
| D | ： | 震 央 距 離 |
| e | ： | 間 グ キ 比 |
| E_j | ： | 透過波の複素振幅 |
| F_j | ： | 反射波の複素振幅 |
| G | ： | せん断弾性係数 |
| G^* | ： | 複素せん断弾性係数 |
| G_{eq} | ： | 等価せん断弾性係数 |
| h | ： | 層 厚 |
| h_{eq} | ： | 減 衰 定 数 |
| K_2 | ： | 等価せん断弾性係数の値を与える係数 |
| M | ： | マグニチュード |
| N | ： | 標準貫入試験値 |
| N_s | ： | サイクル度 |
| r | ： | 震源域の半径 |
| S | ： | 粘性土の飽和土 |
| S_u | ： | 非排水強さ |
| t | ： | 時 間 |
| u | ： | 水平方向の変位 |
| U_j | ： | 変位の複素振幅 |
| V_s | ： | S 波 速 度 |
| W | ： | 履歴ループの面積 |
| ρ | ： | 質 量 密 度 |
| Z | ： | 鉛直方向の座標 |
| Z_0 | ： | 地表面よりの深さ |
| α | ： | 複素インピーダンス比 |
| β | ： | 減 衰 定 数 |
| r | ： | 土 の ヒ ズ ミ |
| η | ： | 粘 性 係 数 |
| σ'_m | ： | 平均有効主応力 |
| $\bar{\sigma}_0$ | ： | 効 束 圧 |
| ω | ： | 角 振 動 数 |

港湾技研資料 No.194

1974・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有) 葵印刷工業

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.