

松代群発地震の観測

—建築構造物および周辺地盤の応答について（第1報）—

小堀 鐸二・南井良一郎・井上 豊
竹内吉弘・鎌田輝男

OBSERVATIONS OF THE MATSUSHIRO EARTHQUAKES

—On the Response Characteristics of a Building
Structure and Neighbouring Ground (First Report)—

By *Takuji KOBORI, Ryoichiro MINAI, Yutaka INOUE*
Yoshihiro TAKEUCHI and Teruo KAMADA

Synopsis

For the purpose of a study on the earthquake responses of a coupled ground-structural system caused by the Matsushiro Earthquakes, we observed the earthquake responses of a two-story, reinforced concrete building structure and of the ground near the structure. The power spectral densities of these various responses are evaluated from Fourier transforms of the digitalized velocity responses recorded on each floor of the structure and on the ground near the structure. The dynamical characteristics of this coupled system are discussed according to the results of the spectral analysis of the observed responses.

1. 序

建築構造物の耐震性を適確に把握し、合理的な動的耐震設計法を得るには地震動の性格を知るとともに、地盤を含めた構造物系の妥当な動力学モデルを設定し、耐震安全性を示す第1義的に重要な尺度に関する応答解析が必要であることは既に述べて来たところである^{1),2)}。地震動の性格はその発震機構、震源位置、伝播経路、観測点における地下構造等によって種々異なり、一概に論じ得ないことは当然であるが、設計される構造物の側からはその設計対象の固有性の考慮のもとに、蓋然性のある地震動の中から最も破壊的であるものを想定しなければならず、対象とする地盤における自然地震の性格ないしはその特性を知ること³⁾が重要となる。又、地盤—構造物からなる連成系の動力学モデルとして、理論的に求められた弾性地盤の Ground Compliance を考慮した質点系を設定して地震による応答性状を解析し、その結果を報告した^{4),5),6)}が、自然地震によって実際の地盤—構造物系がどのような応答性状を示すかと云う問題を計測によって明らかにすることも耐震工学の分野では非常に興味のある点である。しかし地震を適確に予知することの出来ない現在の時点においてこの研究を実施するには多くの困難が伴ない、従って今までに満足な結果が得られていない状態である。

このような耐震工学上の観点から見て、昭和40年8月以来長野市松代町を中心に頻発している「松代群発地震」は、その発震機構、震源位置、地震規模等に幾分の特殊性はあるとしても、自然地震による地盤—構造物系の応答観測に絶好の機会を提供したものと云える。本論文は、震源域内に建つ2階建RC構造の学校校舎およびその周辺地盤において同時観測された自然地震による地盤と構造物系の応答の解析結果にもと

づいて、地盤および構造物の地震応答性状について報告するものである。なお、現在の段階での解析結果は観測されたばう大な資料の一部分に過ぎず、未だ不明確な点も含まれるが、今後引き続き解析を進展させてより多くの資料をもとに報告を続けてゆく予定である。

2. 松代群発地震の概況

松代群発地震は気象庁松代地震観測所において昭和40年8月以来頻発性の微小地震群として観測されはじめ、徐々にその頻度を増して同年11月に1つの盛期を迎え、その後幾分減少したが昭和41年4月に再び活発化して発生頻度、地震規模共に最大に達し、壁面の亀裂、地割れ等の被害が生じた。さらに同年8月末に可成り大きい活動期があり、地盤の異常隆起や地沁り等も発生したがやがて衰微の一途をたどり、同年12月現在有感地震が1日に20回前後となっている。この期間を通じて震度5の強震が8回、震度4の中震が47回発生している。

震源位置は地震活動の消長に伴って幾分移動または拡大したが、大体において松代町を中心とする直径10~15 km の円内に分布し、その地表面からの深さは1~10 km と報告されている。多くの地震研究者によって松代町を中心に多角的な観測が行なわれているが、発震機構について結論的なものは未だ得られていないようである。

3. 観測の概要

観測の対象とした構造物と周辺地盤は松代町中心部近くに位置し、昭和38年3月に新築された2階建RC構造の学校校舎とその北側に面した約40 m×70 m のテニスコートで、構造物の断面と平面は Figs. 1, 2 に示されるとおりである。各独立基礎の下には13 m の松杭が14~16本配置されている。構造物内の観

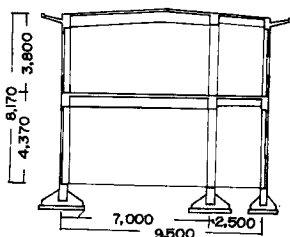


Fig. 1 Section of the two story building structure.

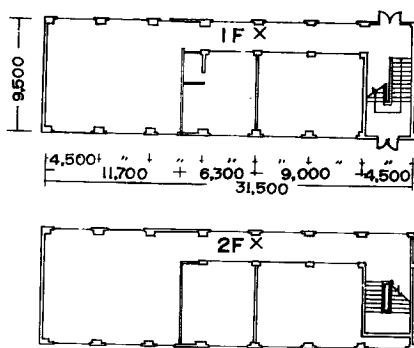


Fig. 2 Plan of the structure, and location of seismographs.

測点は Fig. 2 の×印で示される構造物のほぼ中央部にあたる各階床上で、1階床、2階床、屋上に対応させてそれぞれ 1F, 2F, RF の記号で略記する。地盤上の観測点は Fig. 3 に示されるとおりで、構造物内の観測点を通り構造物の張間方向に北側のテニスコートに延長した直線上の点で、構造物の北側壁面から 3 m, 10 m, 20 m, 30 m, 60 m の地点を選び、それぞれ G3, G10, G20, G30, G60 の記号で略記する。また、構造物から約 3 m 距った地点で行なわれたボーリング試験の孔を利用して地中約 20 m の点、さらにあらたに 10 m および 1 m の孔を掘り、その孔底に地中地震計を突き差して地中の観測点とし、それぞれ GL-20, GL-10, GL-1 と略記する。構造物の張間方向は南北方向にほぼ一致しており、構造物の張間方向および地盤上の測線方向を NS, 構造物の桁方向および地盤上の測線と直角方向を EW で表わす。

観測は 昭和40年10月～11月
 昭和41年 4月～5月
 昭和41年 8月

の3回に亘り、比較的雑音の多い昼間を避けて主として夜間の連続観測を行なった。

この地盤のボーリング試験の結果は Fig. 4 に示されるとおりで、可成り軟弱な粘土層が厚く、20 m 附近に幾分固い薄い砂礫層がある。

観測に使用した地震計は固有振動数 1c/s、感度約 1.45 V/kine の動コイル地震計および固有振動数 3c/s、感度約 30 mV/kine の同型式の3成分地中地震計である。出力は直流増巾器で適宜増巾し PWM 方式のデータ・レコーダーに収録した。

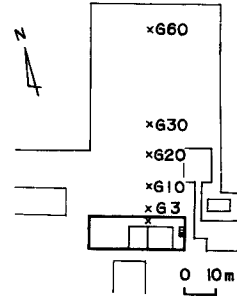


Fig. 3 Location of seismographs on the ground-surface.

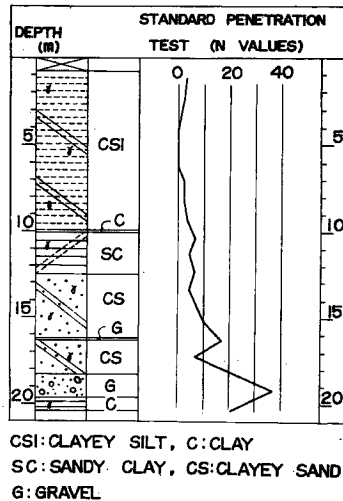


Fig. 4 Geophysical profile of the ground.

4. 記録の解析と考察

地盤および構造物の応答波形の解析には、データ・レコーダーに収録された観測点の多様な組み合わせによる多点同時記録のうちから典型的な速度応答記録の例について、約 160 c/s のサンプリングを行なって初動より約 9 秒間の部分の AD 変換を行ない、最大振幅が 1 となるように正規化したのち、デジタル計算機によって各波形の自己相関関数および複素フーリエ・スペクトルならびにそれから直接に絶対値の 2 乗としてパワー・スペクトルを計算し、さらにデータ・レコーダーに収録された速度応答波形を適当に時間変換してアナログ計算機による微分を行なって加速度波形を求め、1 質点系の速度レスポンス・スペクトル、 $S_v^{(7)}$ を計算した^{(8),(9)}。

4.1 周辺地盤の応答

計測の対象とした構造物の影響が少ないと判断される地点として構造物から 30 m 距った地盤上の点 (G 30) を選び、水平 2 成分と上下成分の地震動応答を観測した結果の 1 例を絶対速度波形で Fig. 5 に示す。(図中 GL-20 は地中 20 m の地点における 3 成分の絶対速度応答であり、地盤上における応答波形に比して約 4 倍に拡大して示したものである。) 一般に無感地震および震度 2 以下の有感地震について調べた結

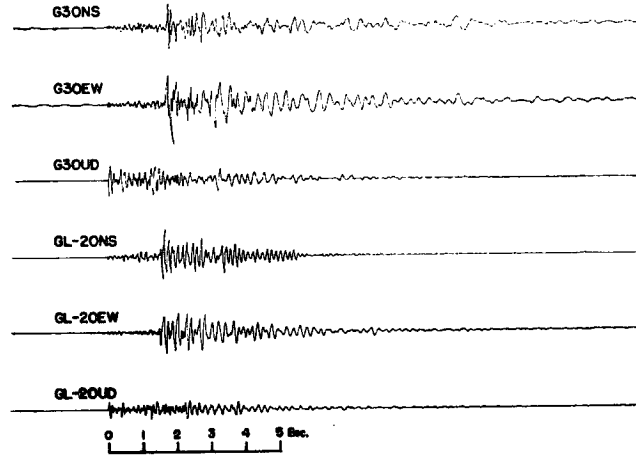


Fig. 5 Example of the absolute velocity response of the ground.

果では、多種の異なった波形のパターンが存在するが地震規模による明らかな差異は指摘出来ないようである。水平方向の2成分の波形は異なっているが、周波数的には大体同じ傾向を有し、初期微動部分では30~50 c/s, 継続時間は1秒前後であり、主要動部分では9~12 c/sの波が卓越した部分が1~2秒継続し、其の後振巾は減少し周波数も低くなって2~5 c/s程度で5~8秒続いている。上下成分は初動から10~30 c/sのランダム性の波形が1~2秒継続し、其の後振巾は減少し3~10 c/sの波が4~6秒続いている。初動からの継続時間は水平成分に比較して上下成分波形は3~5秒短くなっている。また、振巾について比較すると、初期微動部分における水平成分波形に対する上下成分波形の比は3程度であるが、初期微動・主要動を通じての最大振巾については水平成分波形の方が大きく1.5~2程度である。

Figs. 6—(1)~(3) および **Figs. 7—(1)~(3)** は1つの有感地震による地盤上の応答の3成分速度波形についてのパワー・スペクトルおよび位相スペクトルを示したものである。水平2成分に関しては大体同じ傾向を示し、応答波形からもうかがわれるように2~5 c/sの範囲が最も高いパワーを有している。また、10 c/s近傍が幾分高いパワーを示し、13 c/s以上では小さくなる傾向にある。上下成分について4, 5 c/s

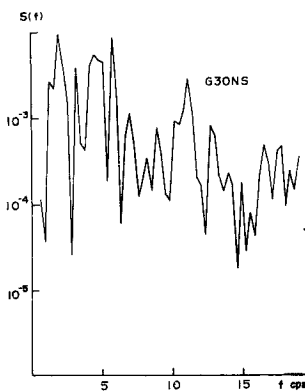


Fig. 6—(1) Power spectral density of the absolute velocity response of the ground-surface, G30—NS component.

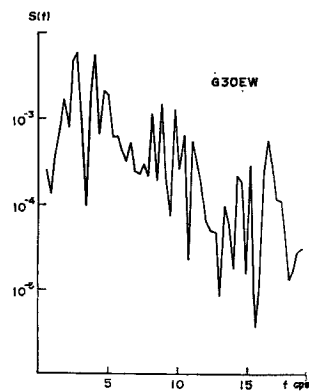


Fig. 6—(2) Power spectral density of the absolute velocity response of the ground-surface, G30—EW component.

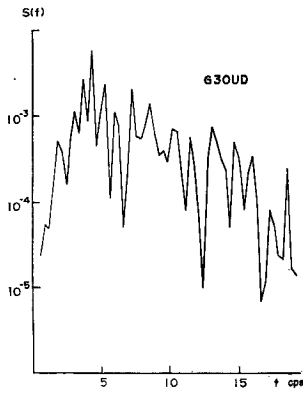


Fig. 6-(3) Power spectral density of the absolute velocity response of the ground-surface, G30-UD component.

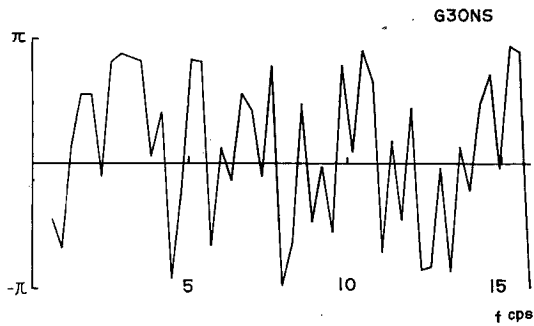


Fig. 7-(1) Phase spectrum of the absolute velocity response of the ground-surface, G30-NS component.

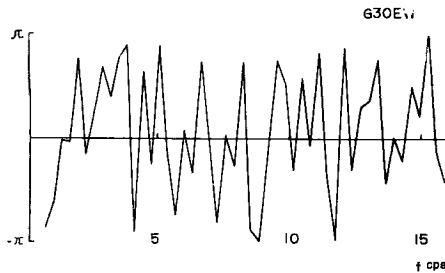


Fig. 7-(2) Phase spectrum of the absolute velocity response of the ground-surface, G30-EW component.

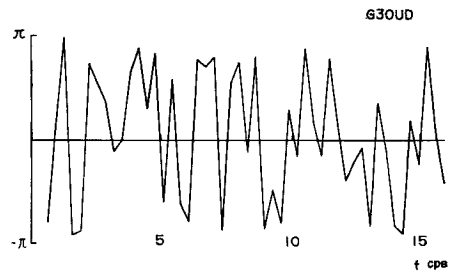


Fig. 7-(3) Phase spectrum of the absolute velocity response of the ground-surface, G30-UD component.

はが最大であるが 3~15 c/s の範囲で比較的一様に近い周波数分布を示し、ランダム性の強い波形であると云える。Fig. 8 には同じ波形の水平成分について主要動の初まりから約 1.3 秒間の波形について同様の解析を行なったものである。12, 3 c/s 附近の高周波数域を除くと両成分波形とも Fig. 7 に表わされた特徴と比較的良好一致した傾向を示している。

Fig. 9 は 6 つの異なった地震についての NS 方向の速度波形のパワー・スペクトルの平均で各波形の振幅の 2 乗平均値が一定となるように補正して平均したものである。図から明らかなように 2~5 c/s が一樣に高いパワーを有し、13 c/s 以上では小となっている。

Fig. 10 には Figs. 6, 7 に示したものと同じ地震について各波形の自己相関関数が示してある。縦軸は 2 乗平均値で normalize した値をとり、見やすくするために各曲線の縦軸をずらして描いてある。3 成分波形の周波数分布について、この図からも水平 2 成分の類似性、また、上下成分のランダム性の傾向が明らかに示されている。

地中における絶対速度応答は Fig. 5 に地中 20 m における 3 成分の波形、Fig. 11 に地表からの深さの異なった場合の NS 方向の波形が地盤上あるいは構造物における応答波形に比して約 4 倍に拡大して示されている。地中における応答波形については使用した地中地震計の固有振動数が 3 c/s であり、3 c/s 以下

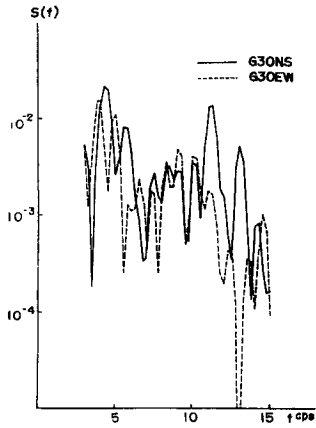


Fig. 8 Power spectral densities of the absolute velocity response of the ground-surface during main shock.

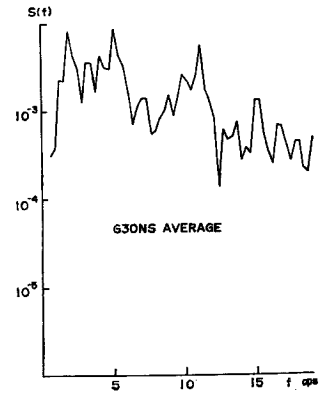


Fig. 9 Average power spectral density of the absolute velocity response of the ground-surface.

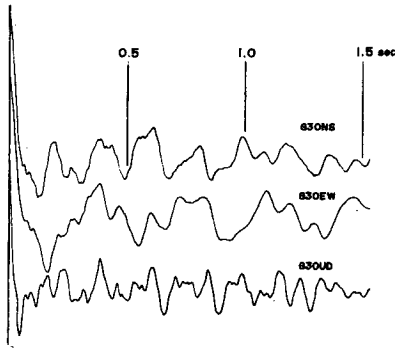


Fig. 10 Auto-correlation functions of the absolute velocity response of the ground-surface.

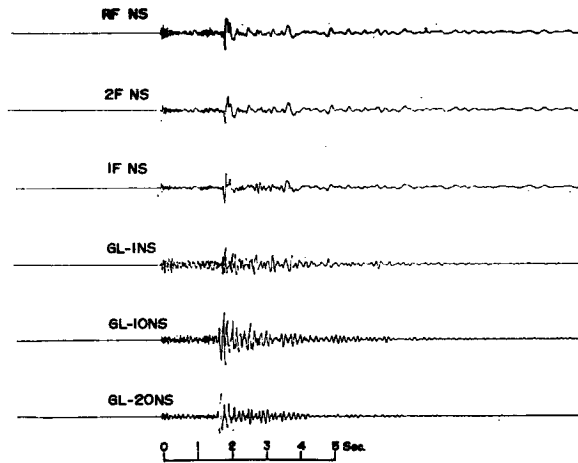


Fig. 11 Example of the absolute velocity response of the structure and underground.

の低周波数成分については地震計の感度補正が必要であり、また、応答波形からも明確には読みとることが出来ないで、ここでは 3 c/s 以上の周波数域に限定して考察する。まず水平成分波形について考察すると、主要動の始まりから $1\sim 2$ 秒間は 10 c/s を中心に $8\sim 15\text{ c/s}$ が卓越し、地盤上に比較して幾分高い周波数も含んでいる。この傾向は地表からの深さには殆んど無関係で、**GL-1**、**GL-10**、**GL-20** の波形に共通に現れている。この部分のあとでは地表に近い点の波形では低周波数域に移行して $5\sim 8\text{ c/s}$ の波が卓越し、振巾は幾分減少の傾向にあるが、地表からの深さが増すにつれて周波数の変動はめだたなくなり、逆に振巾が急激に減少する傾向が顕著である。従って初動からの継続時間は地表から深いほど短くなっている。主要動の初相の伝達には深さ方向に約 20 m の距離に対して $0.15\sim 0.2$ 秒程度要している。観測点における地表附近の地震波の伝播向はほぼ鉛直方向と考えられるので、この間の層の平均的な S 波伝播速度は 100 m/sec 程度と云えよう。次に上下成分については、地表における応答波形に類似した周波数域を有するランダム性の波形が初動から $1\sim 2$ 秒継続し、其の後周波数は低くなっている。深さ方向についての振巾の分布は地表に近いほど大であり、初動附近の大振巾の間では地中 1 m 、 10 m 、 20 m についての振巾比は $1:0.8:0.5$ 程度である。其の後の振巾の減少の割合は地中 1 m における応答波形のみが比較的小となっている。

構造物の存在が周辺地盤の応答におよぼす影響を考察するために、構造物の壁面に直角に測線を設け、構造物から 3 m 、 10 m 、 20 m 、 30 m 、 60 m の地点の地盤上の測線方向の応答波形を構造物 1 階床におけるものと同時に **Fig. 12** に示す。定性的な傾向として、構造物に近いほど初期微動振巾が大であることが明らかであり、また、周波数的には主要動の始まりから $1\sim 2$ 秒間は 5 つの観測点によって大きい変化はないが、其の後の $2\sim 5$ 秒間の **G60**、**G30** の波に含まれている $5, 6\text{ c/s}$ の波が構造物に近づくにつれて次第に少なくなっている。

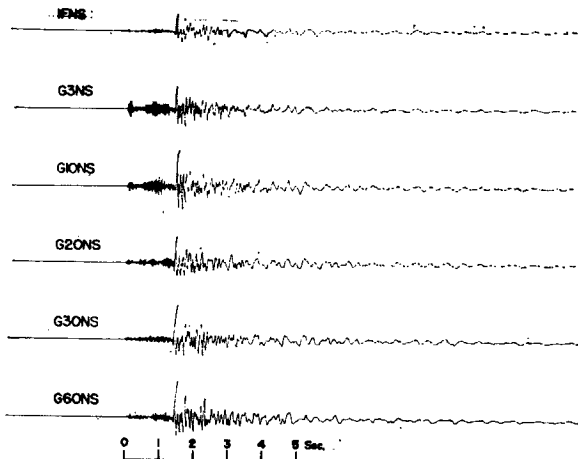


Fig. 12 Example of the absolute velocity response of the structure and ground-surface.

Fig. 13 は 1 つの有感地震による **G60**、**G30**、**G3** 地点の速度応答波形のスペクトル密度を示したもので、大略の傾向を見出すために約 0.32 c/s 間隔で計算した結果を 5 点ずつ重みを一様とする移動平均操作を行なっている。約 30 m ずつ距たった 3 地点における波形の周波数分布の状況は可成り異なっていて明瞭な傾向は見出し難いが、 2 c/s 以下および 15 c/s 以上の周波数が **G3**、**G30**、**G60** の順にパワーの高いこと、 $10\sim 12\text{ c/s}$ では逆に **G60**、**G30**、**G3** の順に高いこと、 $5, 6\text{ c/s}$ では **G3** の波形のみ相対的に低いことが指摘出来る。各波形の自己相関関数は **Fig. 14** に示すとおりで、**G60** と **G30** については比較的類似

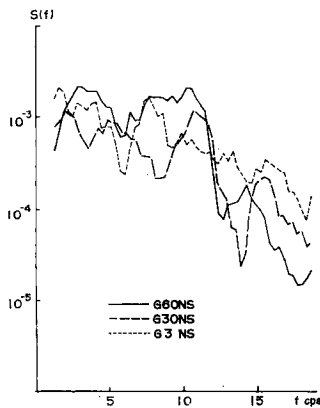


Fig. 13 Power spectral densities of the absolute velocity response of the ground-surface smoothed by the moving average.

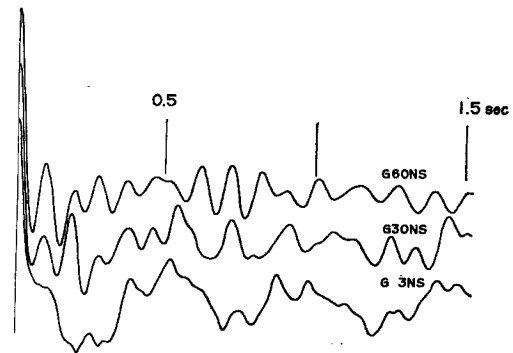


Fig. 14 Auto-correlation function of the absolute velocity response of the ground-surface.

した傾向を有しているが、G3については地盤—構造物系の連成振動応答と推定される2c/s程度の低周波数成分が明瞭に現れている。これ等の考察のみでは未だ断定は出来ないが、一応ここで対象として観測した構造物の場合は30m程度距たった地点における応答波形にはその連成による影響を無視出来るものと思われる。

4.2 構造物の応答

地盤と構造物の同時観測記録から示される構造物の応答特性について、ここでは構造物の張間方向(NS方向)に限定して考察する。構造物の張間方向の絶対速度波形の例がFigs. 11, 15に示されている。Fig. 15の下段にはデータ・レコーダーに収録した記録から差を求めた相対速度応答波形を同図の上段の絶対速度応答波形と同一の倍率で示してある。

構造物内部における波形は初期微動部分を除いて、構造物から3m距たった地盤上の点(G3)の波形に含まれている15c/s以上の周波数がフィルターされた形を示している。この傾向は2階、屋上と上層におよぶにしたがって明瞭に認められる。また、主要動部分では構造物各階間に可成りの相対変形が生じていることが認められるが、この変形も3~4秒経過すると減衰し、大略剛体的並進運動を示して地盤上の応答波形とほぼ同様な波形となっている。

波形の最大振幅は構造物内では上部ほど大きく、また、地盤上対構造物で最大振幅比を示すと、有感地震で1:0.7~1.2、無感地震で1:0.5~0.9程度である。地震規模が小さくなるに従って応答波形に高い周波数成分が比較的多く含まれており、地盤—構造物の連成系の固有振動数が地震規模の大小によって変化して、微小地震では連成系の固有振動数が地盤上の応答に含まれる卓越した周波数域と距たった高い領域に移るために、構造物の応答が幾分か小さくなるとも考えられる。

次に2F-1F, RF-1F, RF-2Fで示される相対速度応答は概ね同位相にあって比較的類似した波形を示し、振幅比は1:2:1程度である。相対速度波形は周波数的には主要動部分で8~12c/sの波が1~2秒継続し、其の後3~7c/sの波が卓越して3~4秒で減衰している。Fig. 16はFig. 15に示した応答波形の主要動の始まりから0.8秒間について、構造物の応答を絶対速度モードで0.04秒間隔で示したものである。各階床の応答は概ね同位相にあり、地盤—構造物の連成系の主としてロッキングの優勢な低次のモードが誘発されていることが明らかである。

Fig. 17は3ないし4つの地震による速度応答波形のスペクトル密度の平均を1階床(1F)および2階

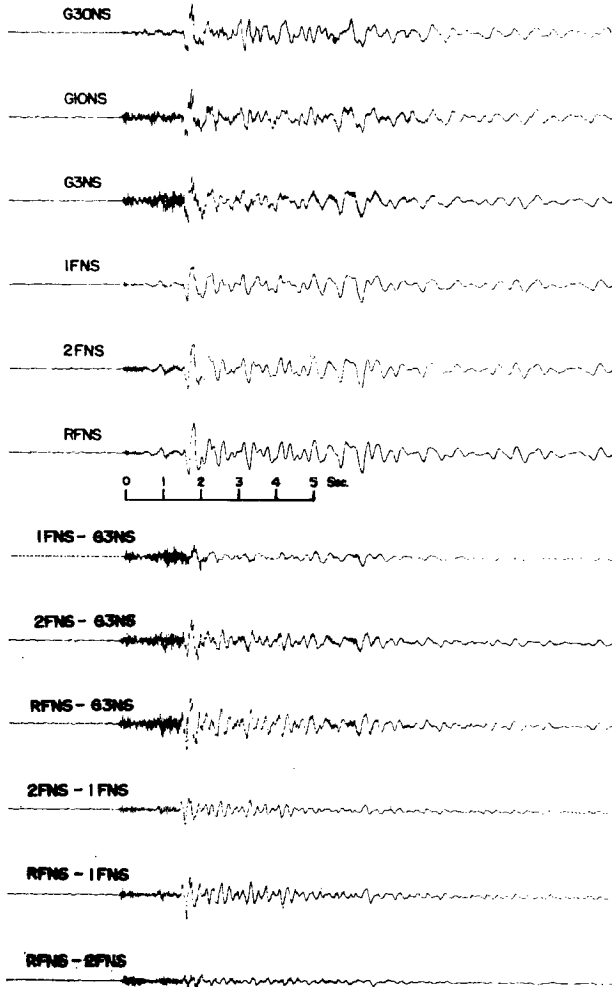


Fig. 15 Example of the velocity response of the structure and ground-surface.

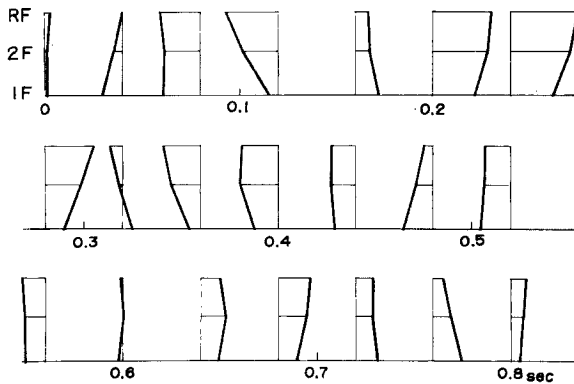


Fig. 16 Vibration mode shapes (expressed by the absolute velocity) of the structure during main shock.

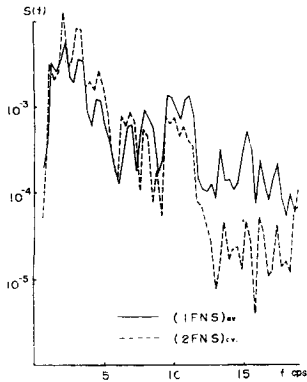


Fig. 17 Average power spectral densities of the absolute velocity response of the structure.

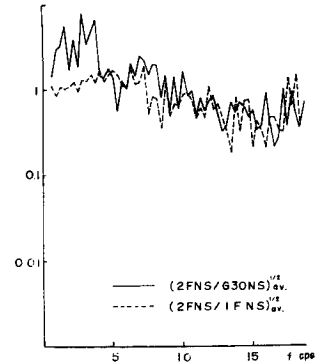


Fig. 18 Average of the ratio of the square root of the power spectral density of the absolute velocity response of the structure and ground-surface.

床 (2F) について示したものである。両者を比較すると 2 c/s 以下では大体一致しているが、3~7 c/s では 2F の方が相対的に大、8~12 c/s では 2F の方が小となり 13 c/s 以上になると 2F が小となる傾向が一層明瞭になっている。Fig. 9 に示される G30 の場合と Fig. 17 の 1F とを比較すると、3 c/s 以下で 1F の方が大きい値を示し、5, 6 c/s では G30 の方が大きくなっている。また、8 c/s 以上では幾分変動はあるが、大略一致していると見る事が出来る。従ってこれらの傾向から、1F の応答は 2F の応答に比較すると構造物の応答の特性を含んではいるが、地盤上の応答の特性も顕著に現われていると云える。

Fig. 18 は各応答波形のパワーの比の 1/2 乗を幾つかの地震について平均して得た量について描いたもので、この量はある意味で地盤—構造物系の動特性を表わすものと考えられる。図から明らかなように、4 c/s 以下で構造物系の固有振動の影響が大きく現われて、2F/G30 では 3~6 倍、また、7 c/s 近傍も幾分高く 2 倍程度となっている。

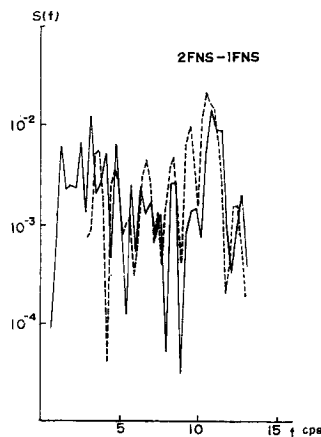


Fig. 19 Power spectral densities of the relative velocity response of the structure; Solid line: Power spectral density for full time-duration (9 sec) of a seismic wave; Broken line: Power spectral density for main shock (1.3 sec) of the same seismic wave.

一方、構造物の相対速度応答の周波数分布について描いた Fig. 19 によると、10, 11 c/s 近傍に大きいパワーを有する部分があり、地盤—構造物系の上部構造の相対速度の比較的優勢な高次モードによるものであろう。この周波数域は地盤上の応答波形においても高いパワーを有するが、誘発された相対速度応答の絶対速度応答に対する比率が小さいために Fig. 18 では構造物の動特性として現われ難いと考えられる。また、あまり明確ではないが 7 c/s 前後で比較的高いパワーを有する部分があり、Fig. 18 の結果と一致している。

Figs. 20, 21 は1つの有感地震の主要動部分の約1.3秒間について求めた地盤上と構造物の相対速度応答のパワー・スペクトルと位相スペクトルを示したものである。パワーで比較的高い値を示している 7 c/s 前後では 2F—G30, 1F—G30 の位相はほぼ一致しており、連成系の回転と1方向の相対変形の卓越した低次のモードが予想され、又、11 c/s 近傍のピークでは兩位相の差は π に近く、符号の異なった相対変形を含む高次振動モードであろうと考えられる。

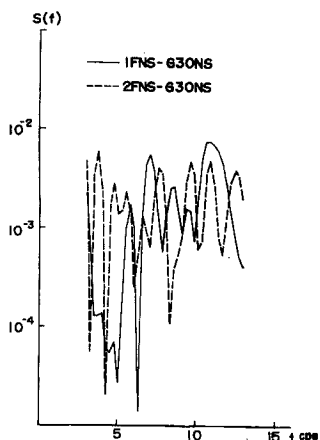


Fig. 20 Power spectral densities of the relative velocity response of the structure during main shock.

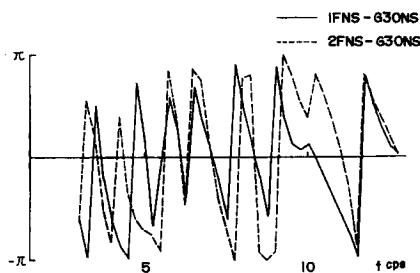


Fig. 21 Phase spectra of the relative velocity response of the structure during main shock.

応答波形の周期成分の特性をさらに他の面から考察するために、速度波形から適当な時間変換のもの、アナログ計算機を用いて近似微分による加速度波形を求めて、速度レスポンス・スペクトラムを計算した。近似微分の伝達特性 $\Phi(s)$ は

$$\Phi(s) = k \cdot \frac{1}{1+0.05ps} \cdot \frac{ps}{1+0.05ps}$$

k : 定数

$s (= j\omega)$: ラプラス変換演算子

p : テープ速度変換による時定数で、本解析では $p = 1/32$

である。

Figs. 22—(1)~(3) は3つの地震による地盤上、1階床および2階床における応答波形に対する速度レスポンス・スペクトラムの値を、それぞれの波形の最大加速度振幅を 980 gal とした場合に換算して平均値を示したものである。Fig. 22—(1) に表わされている G30 については 0.1 秒近傍が最も大きい値を、ついで 0.2 秒前後が大きい値を示し、パワー・スペクトルの計算結果と比較的良好一致している。1F, 2F になると構造物の固有振動の影響が顕著に現われて来て、1F では 0.1 秒前後の鋭いピークを除くと 0.1~0.5 秒に亘って一様に大きい値を示している。2F では 0.15~0.3 秒がさらに顕著に大きい値を示し、地盤

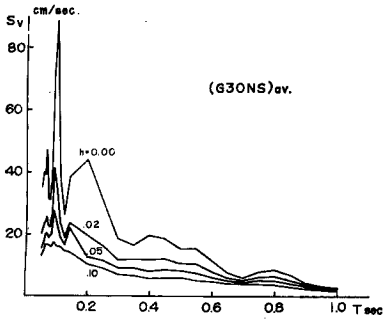


Fig. 22—(1) Average velocity response spectra of the ground-surface.

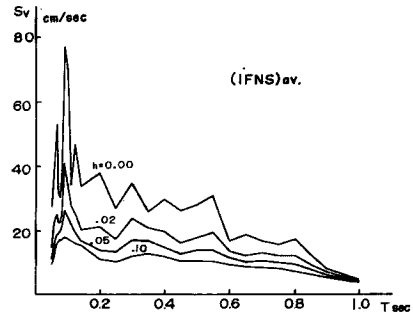


Fig. 22—(2) Average velocity response spectra of the first floor of the structure.

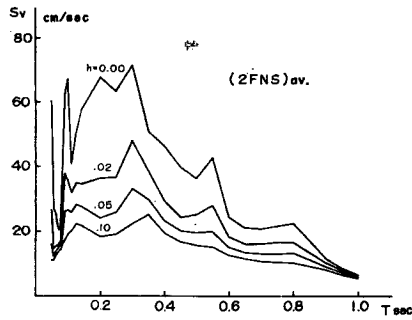


Fig. 22—(3) Average velocity response spectra of the second floor of the structure.

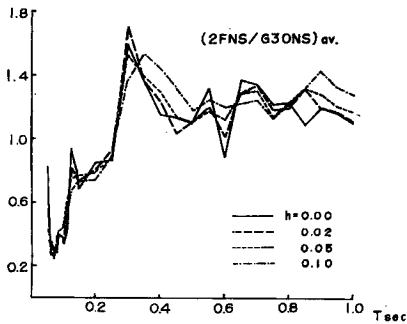


Fig. 23—(1) Average ratios of velocity response spectrum of the second floor of the structure to that of the ground-surface.

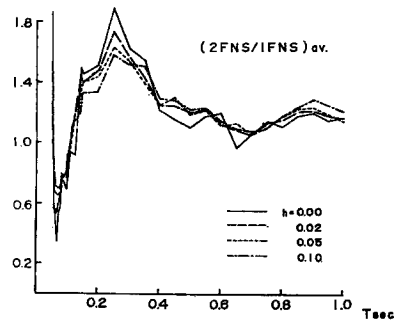


Fig. 23—(2) Average ratios of velocity response spectrum of the second floor to that of the first floor of the structure.

—構造物連成系の周期特性のピークがこの範囲にあるのではないかと考えられる。

Figs. 23—(1), (2) には各応答波形による速度レスポンス・スペクトラムの値の比を求め、3つの地震について平均して示したもので、構造物系のある種の伝達特性を示すものであるが、これらの図から構造物内における応答波形によるレスポンス値は0.25~0.3秒を中心にして高い値を示していることが明らかである。また、系の減衰比がこれらの図に示される比の値に殆んど無関係のように示されており、各応答波形によるレスポンス値におよぼす減衰の効果はほぼ等しいと云える。さらにこれらの図から、それぞれの応答波形の間には可成り強い相関があり、また、応答波形を時系列として見た場合、定常ランダム性が見え難いと考えられ、一方、地盤—構造物の連成系の減衰機構が複雑な構成であることが推定される。

以上の考察の結果を総合して、観測の対象とした地盤および構造物からなる連成系の固有振動の特性について総括すると、4c/s以下の範囲に低次のロッキングの固有振動数を有し、さらに7c/s近傍および11c/s近傍にも固有振動数が存在するものと思われる。

5. 結 言

松代群発地震による2階建RC構造物およびその周辺地盤の応答観測ならびに若干の周波数解析の結果にもとづいて主として定性的な考察を試み、地盤上および地中における3成分の地盤の地震応答の特性、および周辺地盤を主とした地盤—構造物の連成系の地震応答特性に関する資料を得たが、今後さらに多くの観測結果を解析し、観測の対象とした構造物系に関して、入力としての地震動の性格、出力としての構造物系の応答特性および両者を関連づける動力学系としての構造物および周辺地盤の動特性を一層明確にして、合理的な耐震設計のための基礎資料としたいと考えている。

終りに、応答の観測および解析に終始適切な御指導と御助言を載いた防災研究所吉川宗治教授および吉川研究室の方々に深甚なる感謝の意を捧げるとともに、応答観測に際して御協力戴いた長野県立松代高等学校および長野県土木部の関係者の方々、さらに観測と解析に労を煩わせた研究室の諸兄に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 棚橋 諒, 小堀鐸二, 南井良一郎: 構造物の動的耐震設計法と地震レスポンス, 京大防災研究所年報, 第5号B, 昭37.3, pp. 1—32.
- 2) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上 豊, 久徳敏治: 弾塑性多層構造物の地震応答解析と耐震設計資料の誘導, 京大防災研究所年報, 第9号, 昭41.3, pp. 137—164.
- 3) 吉川宗治, 島 通保, 入倉孝次郎: 自然地震と人為加振による地盤の振動特性について, 京大防災研究所年報, 第9号, 昭41.3, pp. 119—136.
- 4) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上 豊: Ground Compliance を考慮した構造物の地震応答, 京大防災研究所年報, 第7号, 昭39.3, pp. 179—194.
- 5) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上 豊: Ground Compliance を考慮した構造物の地震応答 (第2報), 京大防災研究所年報, 第8号, 昭40.3, pp. 193—218.
- 6) 小堀鐸二, 南井良一郎, 鈴木 有: 弾性地盤上の構造物の動特性について, 京大防災研究所年報, 第9号, 昭41.3, pp. 193—224.
- 7) Housner, G. W., Martel, R. R. and Alford, J. L.: Spectrum Analysis of Strong-Motion Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.43, No.2, April, 1953, pp. 97—119.
- 8) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上 豊, 竹内吉弘, 鎌田輝男: 松代群発地震による地盤および建築構造物の応答特性, 日本地震工学シンポジウム講演集 (1966), 昭41.10, pp. 297—302.
- 9) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上 豊, 竹内吉弘, 鎌田輝男: RC構造物とその周辺地盤の地震応答計測<その1>, <その2>, 第3回災害科学総合シンポジウム論文集, 昭41.11, pp. 188—193.