

On Vibration of Thin and Laterally Long Multistory Reinforced Concrete Building

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-12-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鳥海, 勲, 竹内, 吉弘 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/4700

長大な RC 造建物の振動について

鳥 海 勲*・竹 内 吉 弘*

On Vibration of Thin and Laterally Long Multistory Reinforced Concrete Building

(Received Apr. 16, 1973)

The building selected as observation object, of which plan dimension is 182 meters by 18.9 meters, is eleven story reinforced concrete structure with no expansion joint and is founded on alluvium layer.

The dynamic characteristics of ground-structure system are extracted by means of the investigation as under;

- 1) measurement of micro-tremors at several stages of construction
- 2) observation of earthquake response of the structure system
- 3) wave propagation test of the structure by explosion

1 ま え が き

本論文はわれわれの研究室で行った長大なRC造建物に対する常時微動測定、地盤と建物各部における地震観測、および発破実験による建物の横方向、高さ方向の波動伝播特性に関する実験報告である。

近年、大都市市街地における建物は高層化すると同時に平面的に巨大化、長大化する傾向にあり、かかる建物に対しては耐震工学的には特に地震時における地震波入力位相差による振動挙動が問題となる。この点については建物平面形の構造機能的な観点より、そのエキスパンションジョイントの取扱いについて種々の考え方があり建物全体の地震時の耐震安全性の検討にはその動的特性の正当な評価に基づいた動力学モデル化が当然必要となる。本報告はこの点についての直接的な資料を得ることを目的として実在の長大な平面形を持つ11階建RC造建物に対して上記の振動実験を行ったものである。

常時微動測定についてはその目的により次の二つに大別される。先ず第一は施工時の建物に対しその主体構造の施工段階を追って数回に渉り微動測定を行い地盤—構造物系の卓越周期成分の遷移状態を建物の高さ

一巾の比との関係において捉えようとしたことであり、第二は構造物完成時の建物全体の立体的な振動特性を微動計測により検出することを目的としたものである。

地盤 (GL, -19m, -33m, -58mの各深度4点、水平動) の地震観測はその上に建つ建物との地震の同時観測を行うことによって地盤—構造物系の実際の地震時の動的性状の把握を直接の目的とするものであるが、また一方筆者の一人がここ数年来行っている平野的規模における地震動の同時観測¹⁾、具体的には大阪平野における3地点—千島町、森の宮、阿倍野の各地点—の同時地震観測の一環としての意味も持つ資料である。

建物の発破実験は地盤中で爆薬により衝撃的な波を発生せしめて波が架構を横方向あるいは高さ方向に伝わる伝播速度を実測し建物に対する走時曲線を求めたものである。本来は地盤などの連続体に対して媒質の弾性的性質を規定する物理常数を定めるために行われるものであるが、ここでは通常の架構形成を持つ建築構造物を等価な意味における連続体であると見做しその質量分布および剛性分布と伝播速度との相関を得ることを目的とした。これは最近行われている構造物の

* 建設工学科

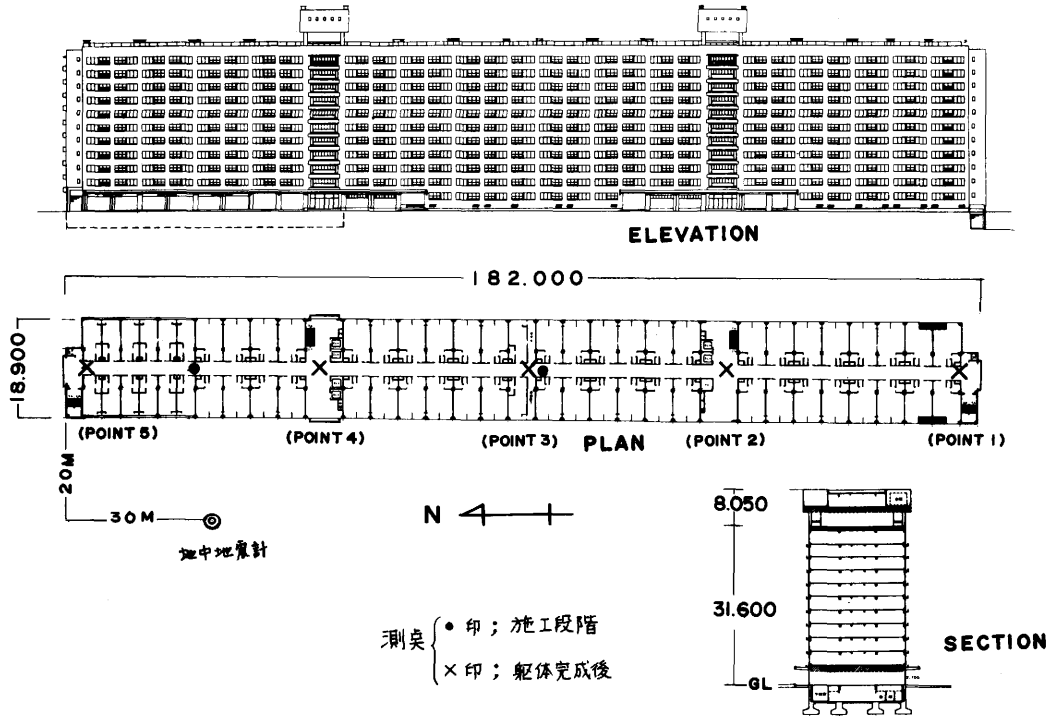


図 2-1 建物の概要および測定点

振動問題に対する波動論的な取扱いや有限要素法による数値解析などについての定量的な基礎資料となるものである。

2 建物の概要

本実験で実験対象としたのは日本住宅公団千島市街地住宅（大阪市大正区千島町）で地上11階、一部地下1階の鉄筋コンクリート構造（1階のみ鉄筋鉄骨コンクリート造）の建物である。その基準階平面図および断面図等の概略を図 2-1 に示す。建物敷地内のボーリング柱状図の一例を図 2-2 に示すが、建物の基礎部には30~33mのPCパイル（φ500）が打設されている。平面図より明らかなように梁間方向（E-W方向）18.9m、桁行方向（N-S方向）182mで平面形の縦、横の比はほぼ10：1の極めて長大なエキスパンションジョイントなしの建物であり、構造的には梁間、桁行両方向に対してほぼ対称で、他のスパンより剛性の高い階段室、エレベーターホール部分が両端より約45mのところに対称に存在し、断面的には1階の階高のみ高く、また地下室部分は図 2-1 の立面図に点線で示されている。

地中地震計の埋設位置を平面図中に示した。この地点に3本のボーリング孔を近接して掘りそれぞれの孔

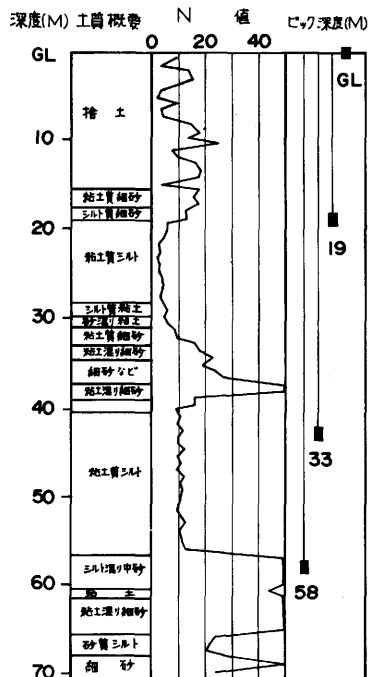


図 2-2 ピックアップ設置地点のボーリング柱状図およびピックアップ設置深度

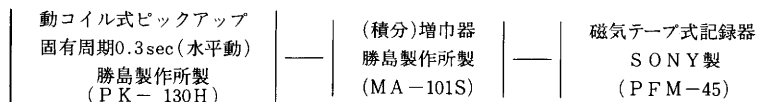
底にポーホール型の微動計および地震計を設置した。ボーリング柱状図にピックアップの設置地点が併記されているがこれより-58mの位置はN値50以上、厚さ約10mの砂礫層の上端部であり、-33mの地点は砂層が存在していて建物基礎に打たれている杭の支持層にあたる位置であり、-19mは盛上りの下端である。

3 地盤および建物の常時微動測定

常時微動測定に関しては i) 地盤 ii) 施工段階の建物 iii) 躯体完成後の建物 の三通りに分け

ることが出来るので以下それぞれについて述べる。またいずれの場合も記録波形の再生および分析器については次の機器を使用した。

- 記録波形の再生； ペン書き記録器 渡辺製作所製 (WTR-211)
- スペクトル分析器； Short Range Spectrum Analyzer SONY製 (SWA-110)
- i) 地盤の常時微動 測定器系は以下の通りである。



測定日は1972年2月1日、測定点は図2-1の平面図、図2-2のボーリング柱状図に示された地中4点である。

測定記録は速度波形で分析器による速度スペクトル図を図3-1に、またペン書き記録波形より測定点の振動速度振巾比を図3-2に示す。地表面 (GL) の動きが-19mの地点に対してさほど拡大されていないのが特徴である。

ii) 施工段階の常時微動 測定器系の積分増巾器および磁気テープ式記録器はi)の場合と同じでピックアップのみ 動コイル式ピックアップ 周期10sec 水平動 勝島製作所製 (PK-101H) を使用した。この場合の測定波形は全て変位波形である。

図3-3に測定を行った各施工段階およびその測定年月日を示す。測定点はどの段階についても図2-1の平面図中に●印で示された2点で梁間および桁行方

向の変位振動成分を測定した。解析結果の変位スペクトル図を梁間、桁行方向にわけてそれぞれ図3-4、図3-5にあらわす。

両図より一般的な傾向として次の点を指摘し得る。整地~1Fの段階ではスペクトルは滑らかで顕著な卓越振動数成分を示さず、3F~6Fの段階で始めて卓越周期的なものが図中にあらわれるがさほど明確ではない。8F~RFの建物巾に対する高さの比が1.3倍以上となった段階以後でスペクトル図に建物の固有振動数が明瞭となる。施工段階RFの主体構造完成時におけ

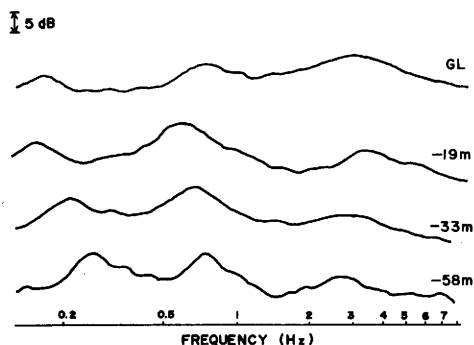


図3-1 地中の常時微動スペクトル図

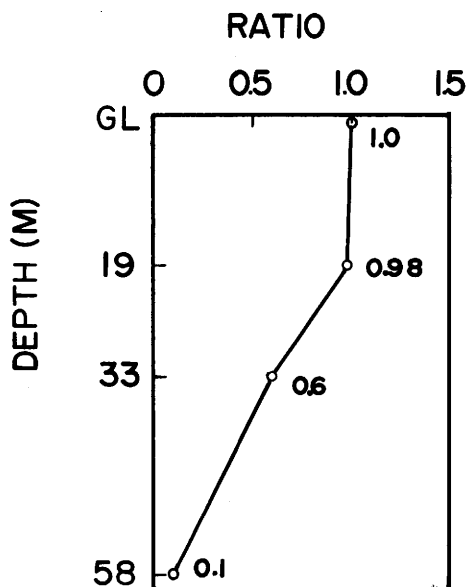


図3-2 常時微動時の深度—速度振巾比

卓越振動数成分は梁間方向2.9Hzおよび4.9Hz、桁行方向3.4Hzおよび7.5Hzである。但し次に指摘するように梁間方向の振動モードについては通常の並進1次モードはあらわれにくくこの場合も振れあるいは床スラブ変位のモードであると考えられる。

合計3回（第1回—1972年3月13、14日、第2回—8月28日、第3回—9月17日）の測定を行った。測定器系は次の通りで測定点は図2—1の平面図中のX印の位置である。また測定波形は変位波形である。

第1回測定

iii) 躯体完成後の常時微動 躯体完成後において

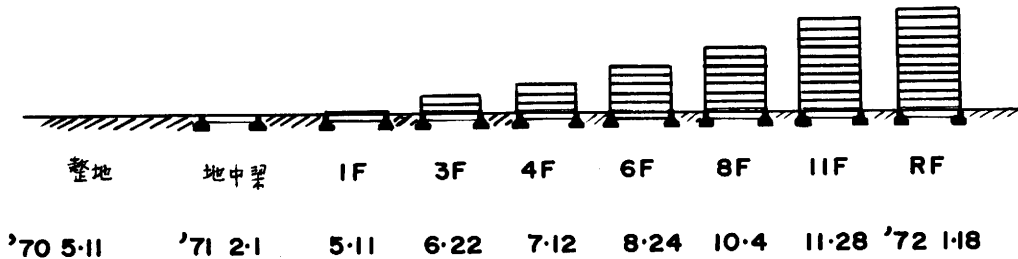
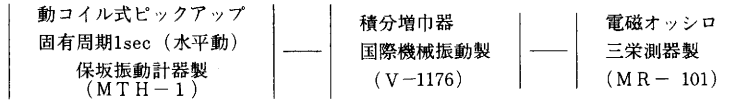


図3—3 建物の施工段階と測定年月日

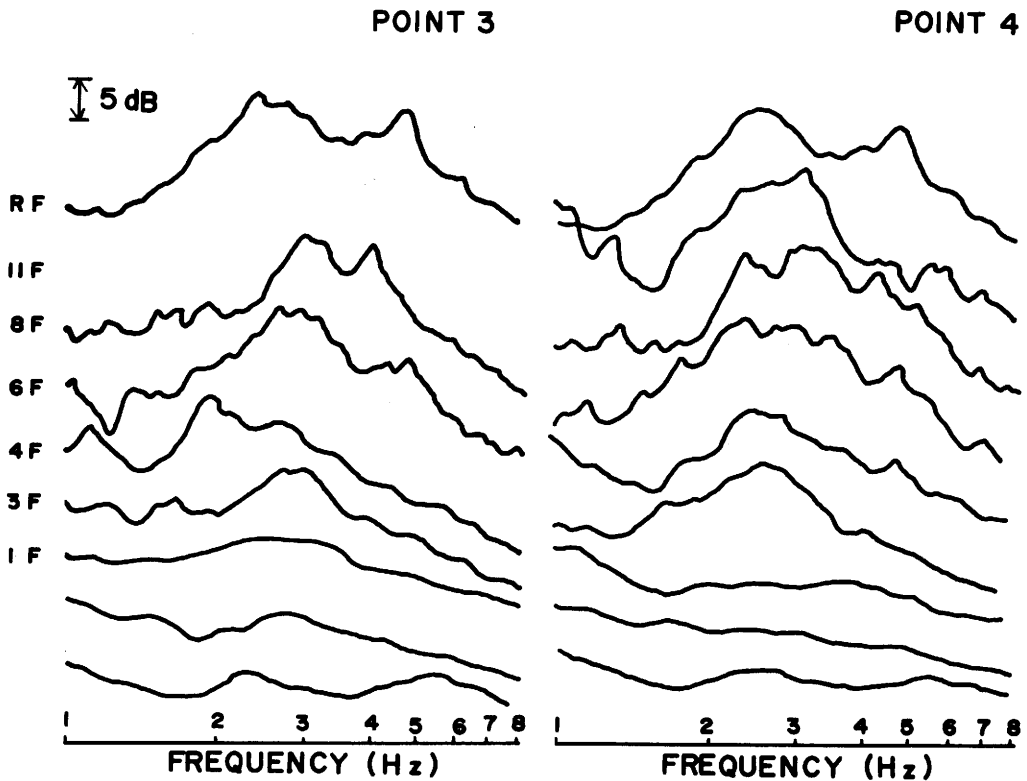
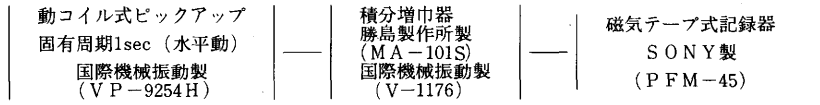


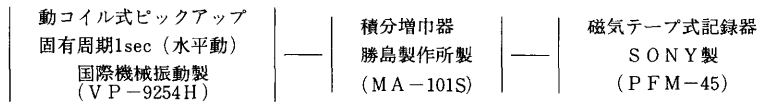
図3—4 施工段階のスペクトル変化図(梁間方向)

第2回測定



- 測定点： 梁間方向 (E-W方向)
 - 屋上階の POINT 1, 2, 3, 4, 5 の位置 (計5点) および
 - POINT 3位置の 1F, 2F, 3F, 5F, 7F,
- 9F, 11F, RF (計8点)
- 桁行方向 (N-S方向)
 - 屋上階の POINT 1, 5 の位置 (計2点)
 - (以上 第1回, 第2回測定)

第3回測定



- 測定点： 梁間方向 (E-W方向)
 - 2F, 5F, 8F, 11Fの POINT 1, 2, 3 の位置 (計12点)
- 桁行方向 (N-S方向)
 - 屋上階の POINT 1, 2, 4, 5 の位置 (計4点)

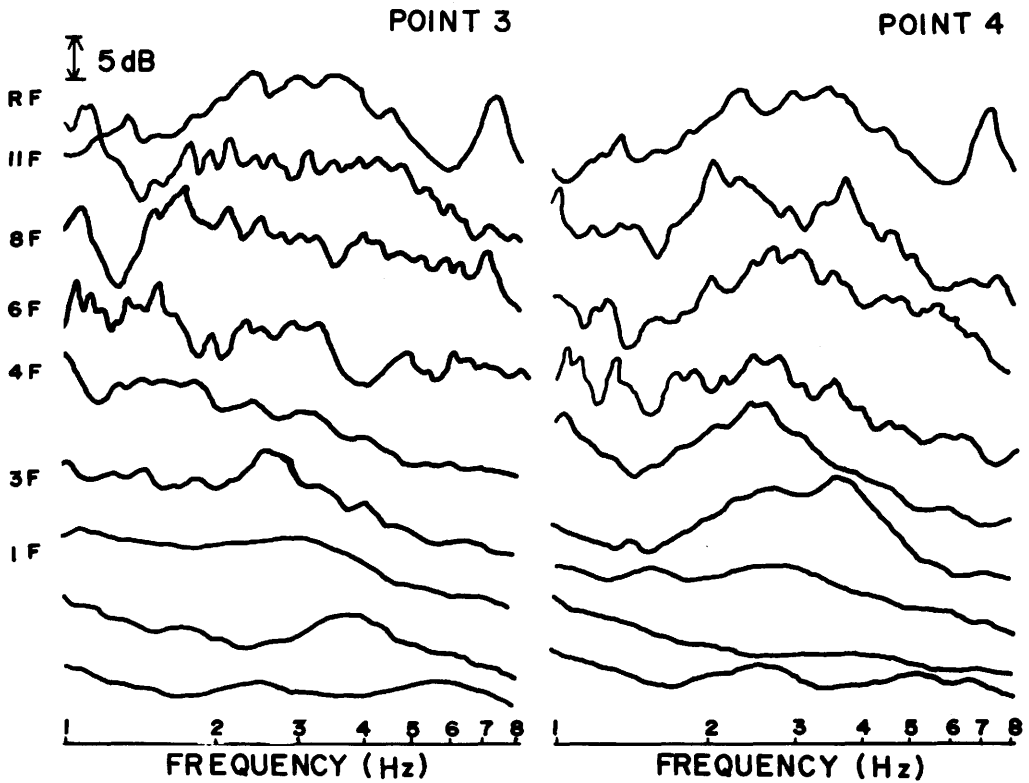


図3-5 施工段階のスペクトル変化図 (桁行方向)

まず第1回測定で得られた変位波形（同時測定）より図3-6に屋階の梁間方向の変位状態（水平方向）を、また図3-7にPOINT3の位置の梁間方向の水平変位の高さに関する変化の状態を微小時間のきざみにあらわした。図3-6の屋階の床スラブの動きより明らかに建物全体の振れ振動およびfree-free beam的な床スラブ振動の二つの振動モードを指摘することが出来る。また図3-7より高さ方向について、梁間架構の振動はほぼ同位相で1次振動モードをあらわしていることがわかる。

図3-8に第3回測定より求めたPOINT1および3位置の変位スペクトル図を高さ方向に示した。建物中央であるPOINT3の位置では図より明らかに2.7Hzの卓越振動数が存在するが、建物の端であるPOINT1位置では前者ほど一つの卓越振動数が顕著

にあらわれない。これは建物中央では振れ振動の成分が小さく、従って free-free beam 的な床スラブ振動が卓越してあらわれるのに対し建物の端ではこの2個の振動モードが混在し、かつ両者の振動数が近接していることを示すものであると考えられる。この点については記録波形の位相差や filtering による検討の結果、振れ振動2.1Hz、床スラブ振動2.7Hzであることが判明した。

更に注目すべき点としては通常の梁間方向並進1次振動が見られないことである。これは建物が長大な平面形を持つために地盤からの入力波の位相特性によるものであろうと考えられるが、次に述べるように地震時の測定波形より並進1次振動数は1.8Hzでこれが振れ振動数と極めて近いところにあることにも原因があると思われる。

桁行方向に関しては屋階床スラブ上の各点は同位相で振動していることが確認された。

4 地盤および建物の地震観測

地中の地震観測については図2-1に地中地震計と書かれた◎印の地点の地表および近接して掘られた3本のボーリング孔底で1971年2月より、また建物では同年8月より次の測定点で観測を開始した。

建物中央（POINT3）の2F、5F、11Fおよび

建物両端（POINT1および5）の2F（計5点）

測定器系は次頁の通り

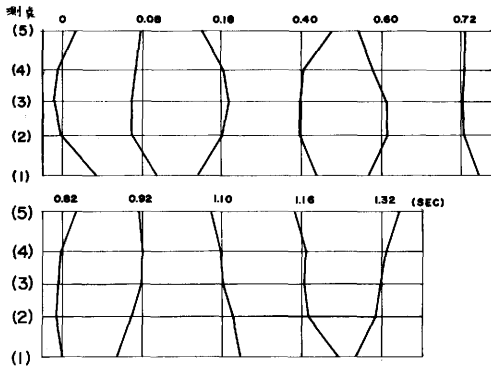


図3-6 屋上階の各測定点の梁間方向水平変位

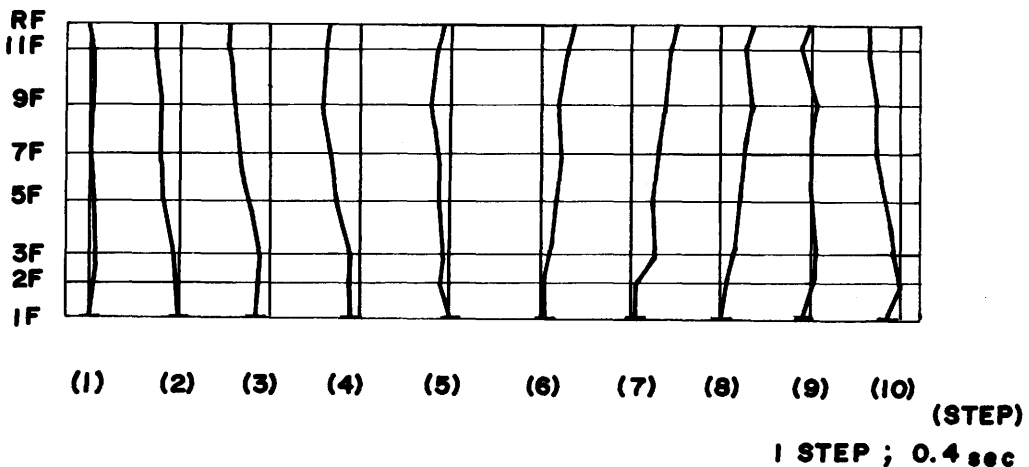


図3-7 建物の高さ方向の各測定点の水平変位

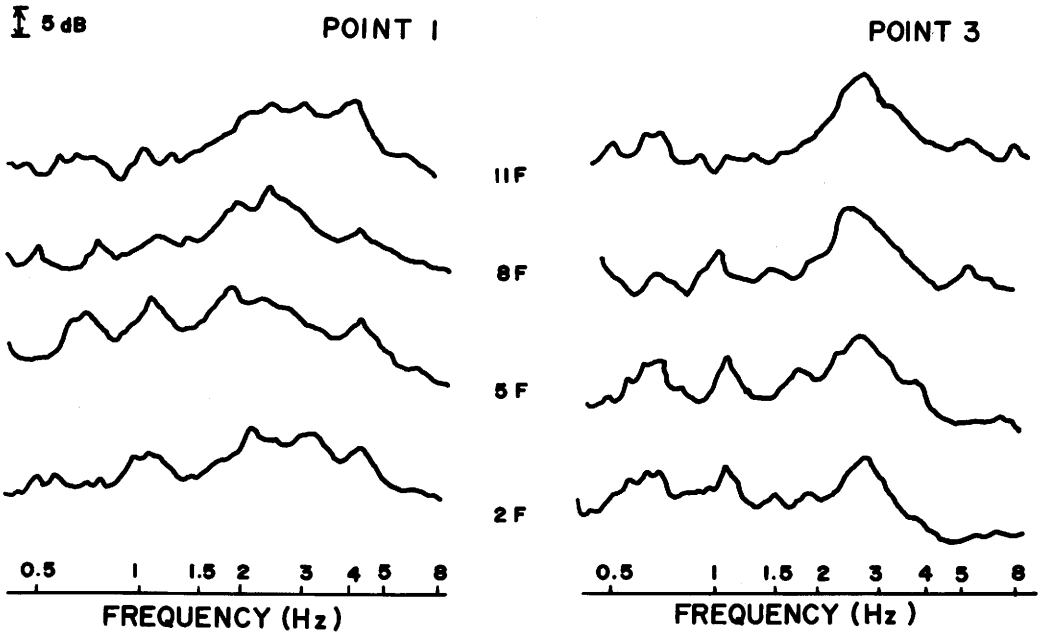
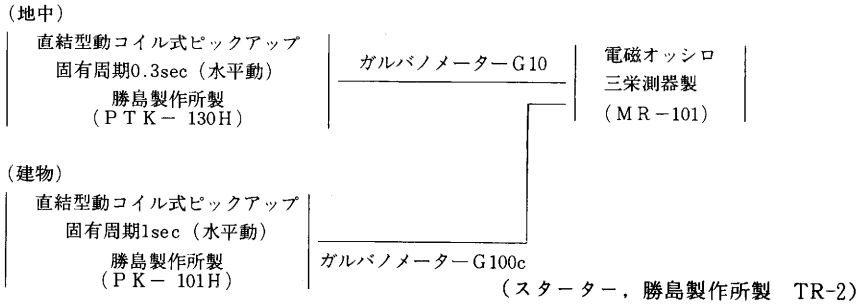


図3-8 建物の常時微動スペクトル図

地震 No.	地震発生日時	大阪の震度 (気象庁震度階)	震央
07 A, C	'71 4-05 4:30	0	紀伊半島沖
30 A, C	'72 2-16 22:45	0	和歌山県中部
31 A, C	" 2-29 18:16	0	八丈島沖
32 A, C	" 3-19 18:10	0	大阪府中部
35 A, B, C	" 4-14 4:30	0	広島県北東部
38 A, B, C	" 8-31 16:54	I	京都府北部
39 A, B, C	" " 17:03	0	福井県東部
46 A, B, C	" 12-9 19:16	II	八丈島近海

A; 阿倍野 B; 森ノ宮 C; 千島町

表-1 地震観測状況

現在迄に得られた地震記録を表-1に示す。表中、地震NO.は当研究室の整理番号でA, B, Cの記号は大坂平野の観測点をあらわす。図4-1は得られた地震

記録波形の一例(地震NO.46)である。この地震の震源は八丈島近海でマグニチュードM=7.3, 大阪における気象庁震度階Ⅱで、地震の始めの部分の約30sec

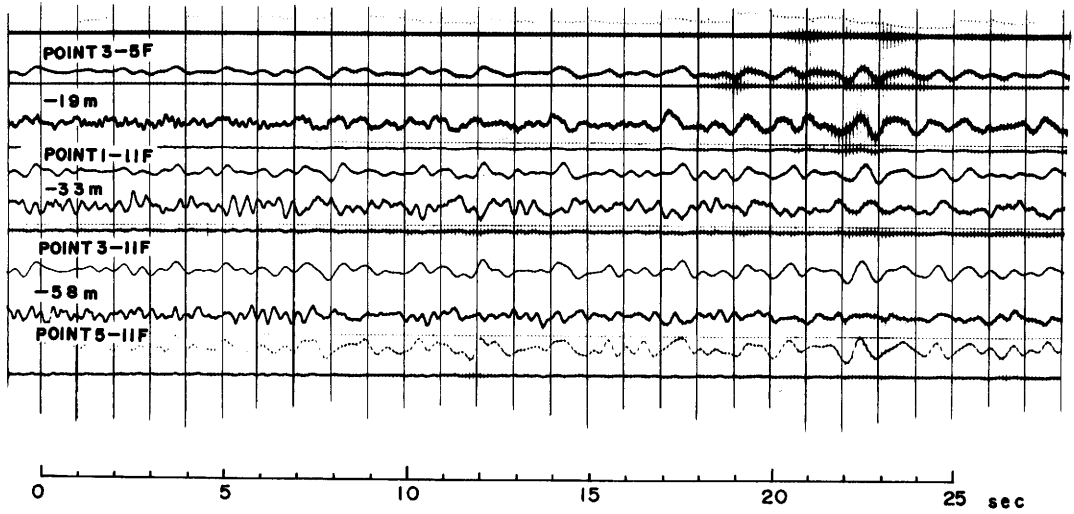


図4-1 地震観測波形

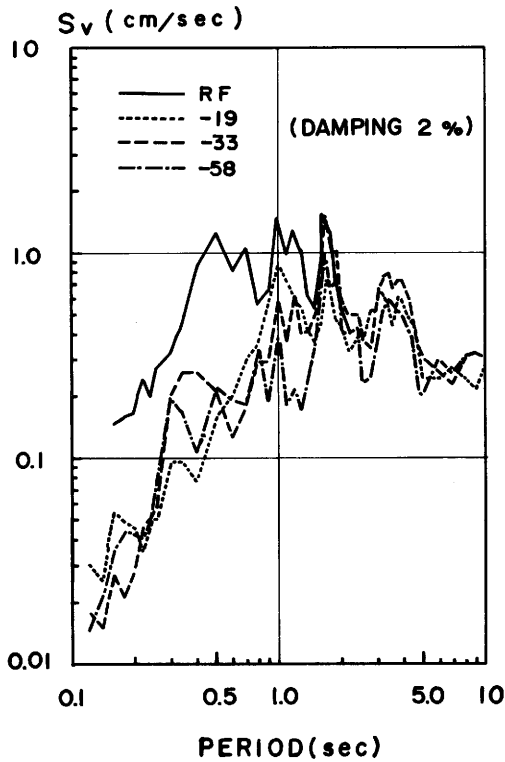


図4-2 速度応答スペクトラム

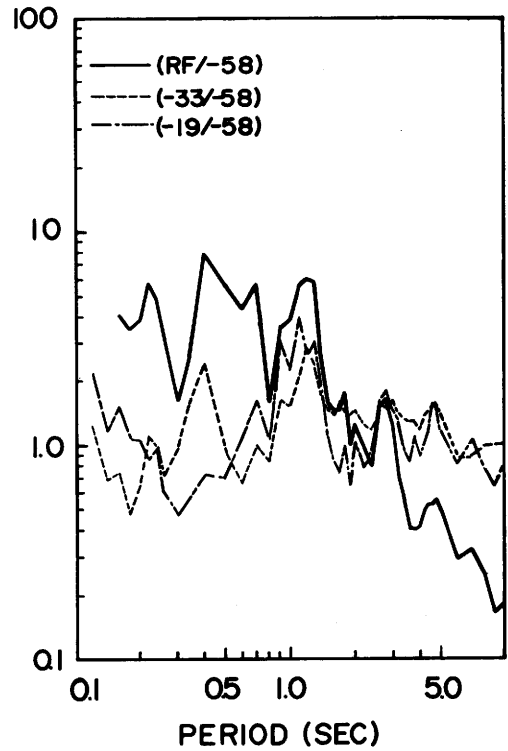


図4-3 速度応答スペクトラム比(速度振巾増巾率)

間の記録である。

図4-2にこの地震波形に対する速度応答スペクトラム(減衰比2%)を、また図4-3に図4-2より求めた-58mに対する各点のスペクトル比-振巾増巾率-をあらわした。図中のRF/-58の解析結果より卓越周期が0.4secと0.7sec付近に見られるのが地盤-構造物系の固有周期と見做され、また図4-1中のPOINT 1, 3, 5の記録波形に注目すれば卓越振動数1.8Hzの同位相の波形が明確に見られるが、これは常時微動測定時には検出出来なかった建物の並進1次振動数であると考えてよい。

図4-4には地震NO.31~46の6個の地震記録より求めた地中各点の加速度振巾比を求めたもので、図中の太い実線は平均値である。一般に云われているような地表面での加速度振巾の顕著な増大はこの図では見られない。この傾向は前出の図3-2に示した常時微動時の速度振巾比の場合とも一致する。

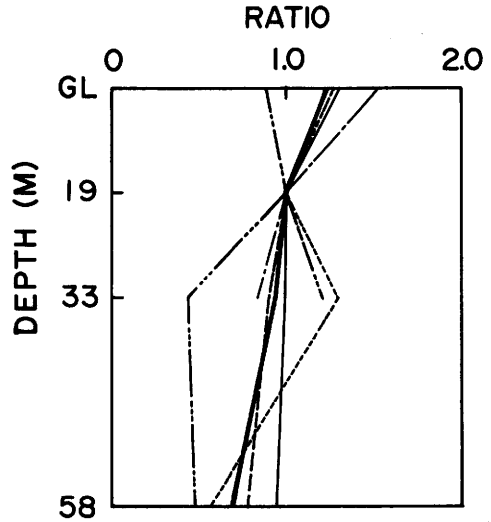


図4-4 地震時の深度-最大加速度振巾比

5 建物の発破実験

発破点および測定点を図5-1に示す。図中の発破点 POINT 1は横方向観測の場合でその時の測定点は図中の○印(屋上階に設置)、高さ方向時は発破点 POINT 2でピックアップ設置位置は●印の1F, 2F, 3F, 5F, 7F, 9F, 11F, RFの点である。なお測定器系は次の通りである。

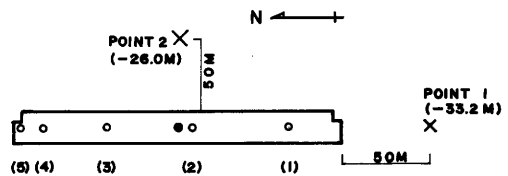


図5-1 発破点および測定点

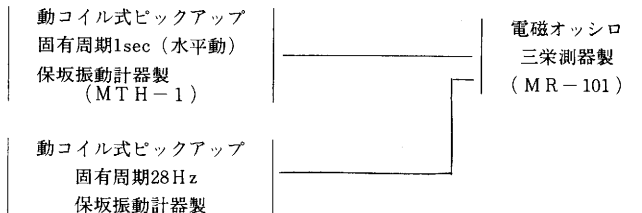


図5-2に各点の発破振動記録を示す。

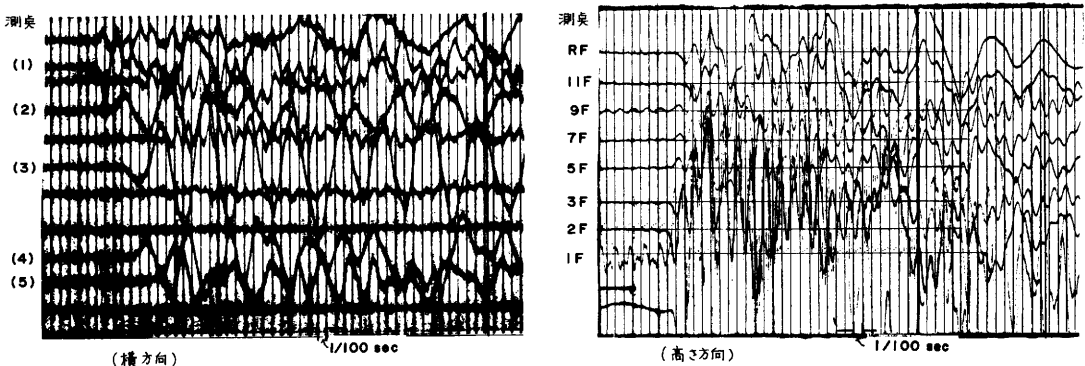


図5-2 発破実験の振動測定波形

図5-3および図5-4にそれぞれ横方向、高さ方向の走時曲線を示す。横方向では速度波形の立ち上がりより平均2.6km/sec、高さ方向では図に示した如く2種の伝播速度が観測され、速度波形の立ち上がりより読取られた走時は平均2.9km/sec、変位波形のピークよりの結果は平均420m/secで前者はいずれも構造材料自体の伝播速度で後者は架構の伝播速度であると考えられる。

6 む す び

以上の結果を総括すれば次の如くである。

- i) 建物の固有振動数は次の通りと考えられる。
 - 1.8Hz (並進一次)
 - 2.1" (振り一次)
 - 2.7" (床スラブ一次)
- ii) 主体構造の施工段階で建物の巾に対する高さの比1.3倍の段階から建物の固有振動数があらわれる。
- iii) 地震時の地中各点の加速度振巾比は地表面で著しく増大する傾向は示なかった。
常時微動時についても同様の傾向である。
- iii) 建物の発破実験において高さ方向の構造体の伝播速度として420m/secの値を得た。
最後に観測、実験を実施するにあたり日本住宅公団および大林組の協力を得たことを付記します。

参 考 文 献

- * 鳥海 勲 「大阪平野の振動特性に関する研究」昭46年11月、日本建築学会大会梗概集

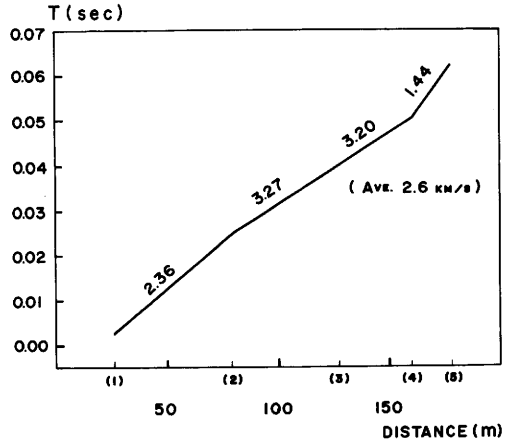


図5-3 建物の走時曲線 (横方向)

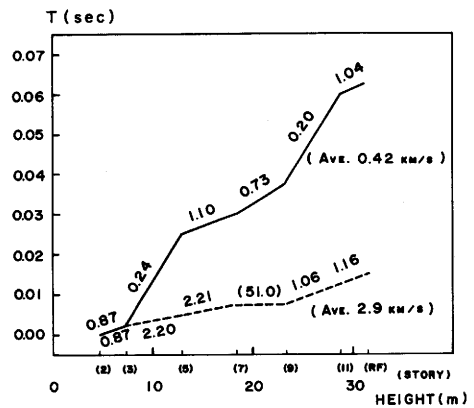


図5-4 建物の走時曲線 (高さ方向)