

大阪市における地盤の耐震性

正員 工學博士 石原藤次郎*
 准員 畑中元弘**

要旨 本文は大阪市内において弾性波法を用いて行つた地下構造の調査結果に基づいて、大阪市地盤の耐震性を論じたものである。

1. 弾性波法による大阪市の地下構造

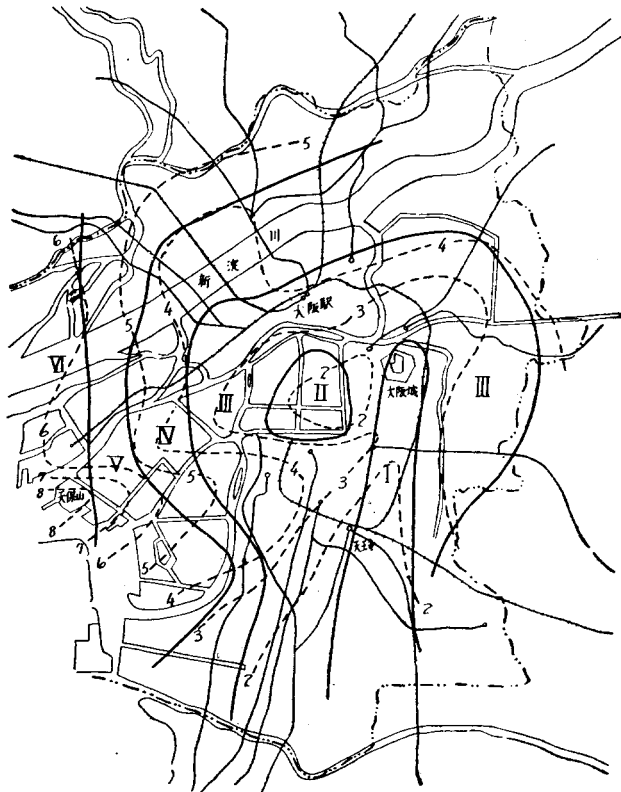
昭和 22 年 11 月より約 1 月間にわたつて、大阪市内で弾性波法による地下構造の調査を行つたが、用いた器械は佐々式地下探査用 C 型微動計(感應電磁式上下動)40 成分で、振子及び電流計の自己振動週期はいずれも 0.067 秒(15 ヘルツ)で、制振比は ∞ である。最大倍率は約 3 萬倍で、感光紙に記録するものである。

図一1 の如く大阪市内 26 ケ所に測線を設け、各地

點の測線の長さは 200~300 m、振子は 20 m ごとに配置した。又表土層の状況を明かにするために、振子の間隔をさらに小さくした所もある。測定は反轉法によるものとし、爆波は測線の兩側で 1 回ずつ行い、表土層用のものは片側のみで爆破した。

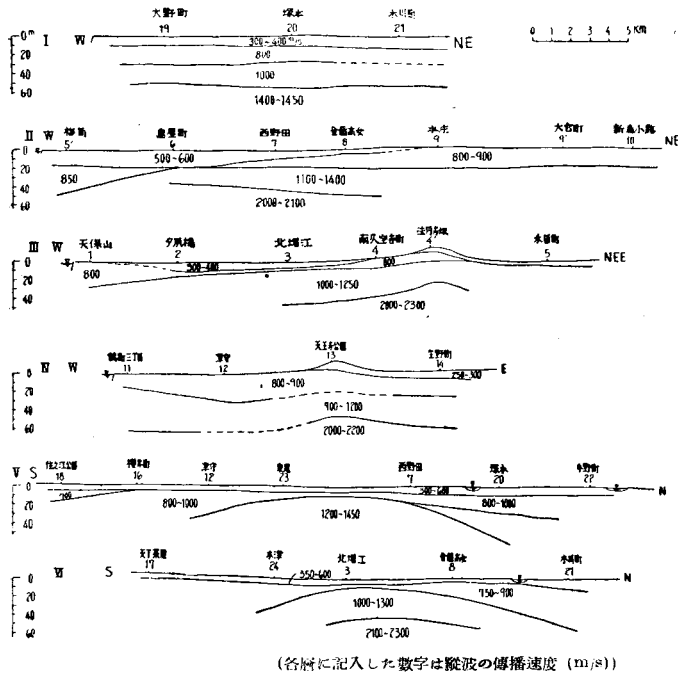
この様にして 26 測點の走時曲線を解析して、各測點の地下構造を定め、圖一2 に示す様な地下構造圖を作つた。これによると縦波の傳播速度が 300~500 m/s なる表土層が、今野町から住之江公園に至る線(斷面 V)及び木川町から天下茶屋(斷面 VI)にかけて見受けられ、その厚さは 5~6 m 程度である。この

圖一1. 弾性波實施の測線圖



* 京都大學教授, 工學部土木工學教室
 ** 京都大學講師, 工學部土木工學教室

圖一2. 弾性波法による大阪市の地下構造



表土層は淀川北岸の大野町から木川町に至る線(断面 I)では稍厚くて10~12m、梅町~島屋町附近(断面 II)では20mにも及んでいる。又天保山(断面 III)、鶴岡三丁目~津守附近(断面 IV)では、この表土層がなくなっている。

この層の下部には弾性縦波の傳播速度が800~900 m/sなる層があつて、海岸附近並びに都心より北部及び南部にかけて30~40mの厚さになつている。この層は都心部、即ち北堀江、南九賣寺町では非常に浅く地表から12~13mであり、震害は主としてこの層より浅い部分の影響が多いと考えられるので、市の繁華街は比較的地盤のよい所に發達しているわけである。

以上2層の下部には縦波の傳播速度が1000 m/s以上の比較的硬い幾層かがある。

2. 地盤と震害との關係

地盤がよいとか悪いとかいうことは古くから云われていたが、一般に堅い岩盤の部分はよく、河川敷や低濕地は唯漠然と悪いとされていた。その後石本博士等は土地に固有振動が存在することを明かにされ、これは表面層の剪断振動によるものであると考えられるようになった。それで建物の固有振動週期と土地の固有振動週期とが接近した場合には共振現象が起り、これによつて加速度は比較的小さくしても建物が破壊すると説明された。この共振現象を防ぐために建物の振動を減衰させる方法や構造が研究されたが、又一方では

共振が起るかどうかが疑問であると云う意見もあつた。

實際上地震の被害をみると、震源からの距離が遠いにもかかわらず、近い所よりかえつて被害の大きい所がしばしば存在することに気がつく。これはその土地の固有の性質、特に弾性的性質によることが大きいためと考えられる。

こうした點から地盤が震害に及ぼす事項といったものを考えてみると、次の2つが擧げられる。

- (1) 地下構造に関するもの。
- (2) 地盤の物性に関するもの。

前者は地盤の成層状況に関するもので、弾性波の傳播速度の大小によつて成層状況を區別することは、地震波を對象としたこの場合最も適當であるとい得よう。一般に地震の性質、特に波長等の如何によつては、同一地下構造であつても震害のこと

なる場合もあると思われるが、後者の物性に関するものは地下構造の場合ほど地震そのものの性質に支配されることはないだろうと思われる。

要するに弾性波法によつて地盤の成層状況を知り、さらに縦波及び横波の傳播速度並びに表層の密度を知ることが出来れば、地盤の物性ともいべき地盤のヤング率、剛性率、ポアソン比等の弾性諸常数が總べて明かになるので、これらに支配されると想像される震害も大體豫想がつくはずである。

それで我々は地震によつて被害を受けた愛知縣幡豆郡及び碧海郡(昭19.12.7、東海地震及び昭21.1.13、三河烈震)、鳥取市及びその近郊(昭18.9.10、鳥取地震、高知市(昭21.12.21、南海地震)並びに福井縣下(昭23.6.28、北陸地震)等について、弾性波法を實施して地下構造その他を調べ、これと字ごとの詳細な住家の倒壊率との關係を吟味して興味ある結果を得た。こゝにこれらの結果の概要を述べ、大阪市の地盤の耐震性を論ずる基準にしたいと思ふ。

(1) 軟弱層の厚さと震害 地層の厚さと震害との關係を示した圖一3によると、三河地方では上層及び中間層の厚い程震害が大となつている。鳥取市の場合には軟弱層の厚さと震害との間にさほど明瞭な關係はないが、大體厚さが増すにつれて震害も大となつている様である。高知市の場合には表土層には無關係の様で、岩盤迄の深さが深い所ほど震害が大となつており、

ある深さ以上ではかえつて減少している様に見える。福井縣の場合も高知市と同様であるが、このことは軟弱層の厚さが地震波の波長のある倍数になつたときに、地表の振幅が極大になるという理論で説明出来るかもしれない。なお鳥取、北陸地震のように震源の近い地震のときには、このために震害が目立つて大きくはなつていないが、三河、高知等の遠い地震の場合には、この影響が多少震害を大きくしているとも考えられる。

(2) 表面波の速度と震害 圖-4 に表面波の傳播速度と震害との關係を示したが、高知市の場合にはそれほど明かでなく、鳥取市、福井縣の場合には表面波の速度の小さいほど震害が大となつてゐる。又鳥取、高知兩市の場合には震害が100%となつてゐる表面波の速度は100m/s程度であるが、福井縣では震害100%に對應する速度は300m/s程度となつてゐる。

表面波の生成機構は地下構造の外に地盤の物性にも關係するので、縦波の速度から見た地下構造だけからではわからないような震害の差異を知ることが出来るわけである。

次に圖-5 に示す様に表面波の傳播速度の遅いものほど週期がのびて、1つの場所では表面波の波長は一定しているように見え、非常に興味深い事實が認められるのである。

(3) ボアソン比と震害 縦波の傳播速度 V_P と表面波の傳播速度 V_L との比 V_P/V_L と震害との關係を圖-6 に示したが、これを見ると V_P/V_L の値が大きくなるにつれて震害が大となつてゐることが知られる。震害100%に對する V_P/V_L の値は鳥取、高知、福井で夫々異なつた値となつてゐるが、 V_P/V_L が3以下ではいずれも大した震害はない。ところでこの表面波をレーレー波と考えると、 V_L と横波の傳播速度 V_S との間には、半無限弾性體の場合理論的に次の關係が成立する。

$$V_L = 0.92 V_S \quad (\text{ボアソン比 } \sigma = 1/4)$$

$$V_L = 0.96 V_S \quad (\text{ " } \sigma = 1/2)$$

彈性波法によつて我々の調査した範圍では極く概略的に $V_L = V_S$ と考えられるので、 V_P/V_L を V_P/V_S とすると V_P/V_S はボアソン比のみの函數となり、この關係は圖-7 の如く表される。この圖-7 及び圖-

圖-3. 軟弱層の厚さと震害

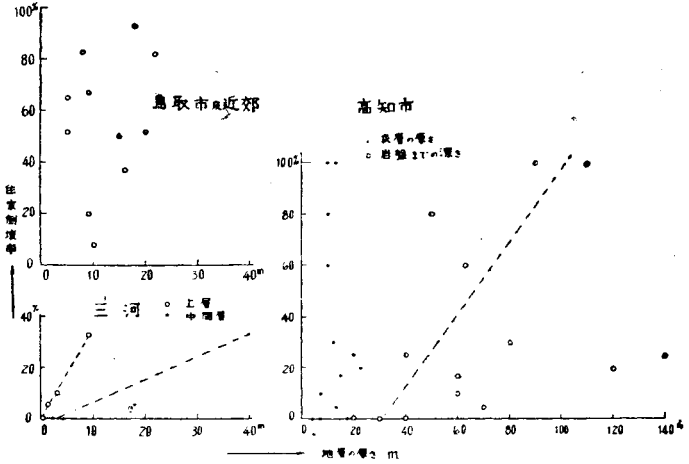


圖-4. 表面波の傳播速度と震害

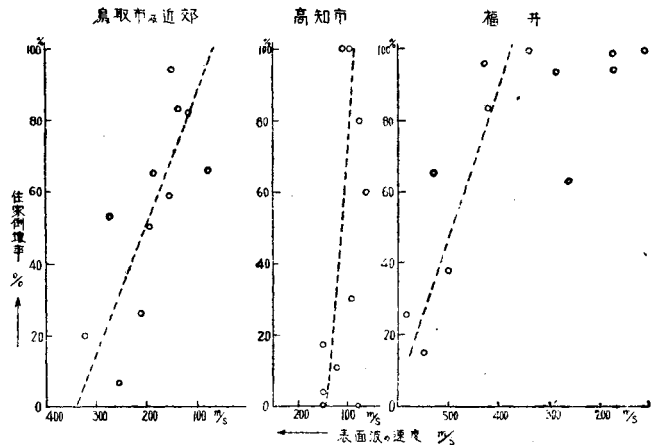
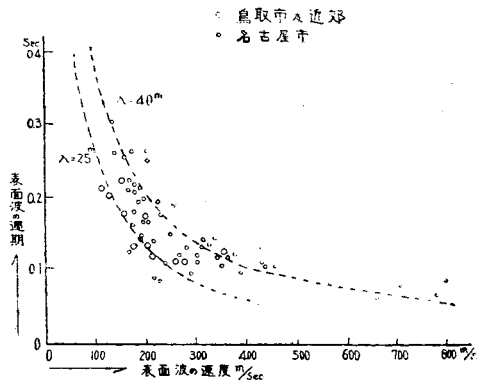
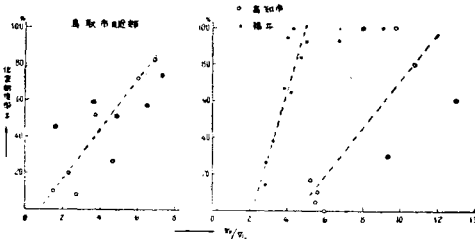


圖-5. 表面波の傳播速度と週期との關係



6 からボアソン比が1/2に近すぎ、従つて地盤が流體のような性質を有する所ほど震害が大きいといふことが出来る。

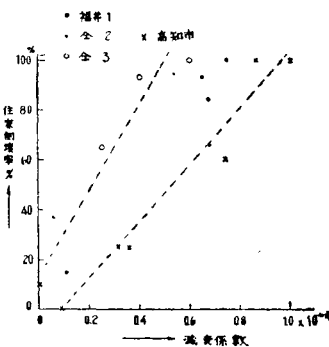
圖-6. V_I/V_L と震害との関係



一般に地盤沈下を起しやすい所が震害が大きいといわれていることも、これによつて説明出来る様である。

(4) 振動の減衰性と震害 弾性波法の振動記録から初動振幅の距離による減衰係数を求めて、これと震害との関係を示したのが圖-8である。これによると高知市、福井縣の場合とも減衰係数の大きい所ほど震害が大となつている。これは次に述べる震動の大きい所ほど地震記録が振動性に富んでいることと一致しないように思われるが、振動性の優れているか否かはその場所の地下構造によることが多く、たとえ地層の物性が波を伝えにくいものであつても、ある地下構造の所は地層の固有振動のよ

圖-8. 初動振幅の減衰と震害の関係



(福井1, 2, 3とは福井縣震害地を地域的に分別したその範圍を示す)

うなものが發達するためであらう。初動振幅の距離に對する減衰は、地層の土砂のつまり方に關係する性質であるとも考えられる。

次に同一距離で同一爆薬量を用いた際の記録の振動の繼續時間と震害との關係を調べてみると、振動繼續時間が長いほど震害が大となつている。これは地盤の良否を極く大體判定するのに都合がよい。

一般に震害の大小が震源からの距離に關係することは當然であるが、今我々が問題にしている様な極く狭い範圍では、各地點に入射した地震波のエネルギーは殆んど等しいと考えられる。従つて今地震波を

$$\sum A_n \sin \{ (2\pi/T_n)t + (2\pi/\lambda_n)r \}$$

とすると、

$$\frac{1}{2} m [\sum A_n (2\pi/T_n)]^2$$

であらわされるエネルギーは一定と考えられるから、波の傳播速度を v_n 、波による歪を θ_n とすると、次の様に考えてよい。

$$[\sum v_n A_n (2\pi/\lambda_n)]^2 = \text{const}, \text{ 又は } [\sum v_n \theta_n]^2 = \text{const}$$

然るに前に述べた如く表面波或は横波の速度が小さいほど震害が大きいのであるから、波による歪が大きくなるのが震害を大きくするか、或は波長はどこでも大差ないと考えて波の振幅が大きくなるのが震害を大きくするのであつて、波の加速度が大きくなるためではない様に思われる。しかし震源が充分遠く地震波の振動の繰返しが多いような場合には、地盤の固有振動ということが多少震害に關係するとも考えられるが、地盤の固有振動を測定することは地盤の良否を判定するにはさほど重要ではないように考えられる。こうした事實は木造家屋に對する震害について考えたものであるから不思議ではないと思ふ。土木構造物に對してもこのまゝ適用出来るかどうかについては、さらに研究の餘地が多い様である。

3. 大阪地盤の耐震性

大阪市における調査では、測定の際に振子臺を使用しなかつたので、地面と振子との間の減衰が相當大きかつたためか、振動振幅に關しては信頼出来る程度の記録が得られなかつた。それで振幅に關しての議論はやめてその他の事項について 2. で述べた結論を根據として、大阪市の地盤の耐震性を考えてみたいと思ふ。

圖-9の點線は大阪市内の V_I/V_L の値を示したもので、大阪市の中心部及び臺地では2で、海岸附近では6以上となつている。これに軟弱層の厚サ(縦波の傳播速度が800~900m/sなる層迄の厚サ)と振動繼續時間とを考へて地盤の等級圖(圖-9の實線)を作成したが、この圖中の等級を表す數字は大阪市内でのもので、全國一様に通用する等級という意味ではない。震源が極めて近くエネルギーの充分大きな地震が起つた場合には、この圖の様な被害分布にはならないで、略々一様な震害を受けるだろうが、震源が遠い場合には大體この等級に比例した震害分布をなすだろうと思われる。この圖によると淀川の北岸及び大野町、梅町、天保山、鶴町にかけての海岸近くの一帶は最も耐震性

が悪いことになる。

大阪城から天王寺にかけての臺地の地盤は良好であり、大阪市の中心部も比較的良好である。鳥取地震の調査結果によると V_H/V_L が 6 以上の所では水平震度は 0.35~0.4 以上と考えねばならぬ様である。

4. むすび

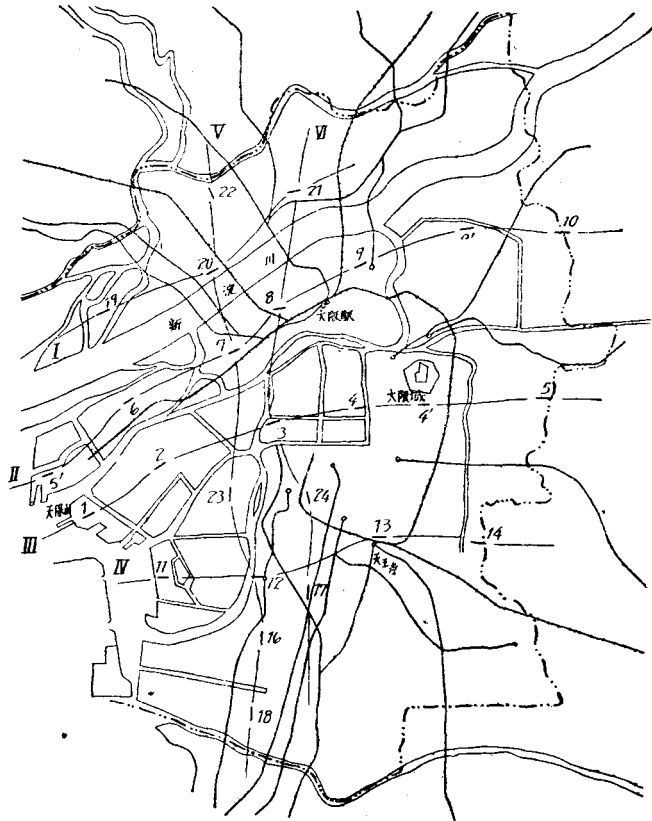
本文で論じたことは住家の震害と地盤との関係であつて、土木構造物についてもこれと同様に考え得るかどうかは疑問であり、研究の餘地が非常に多いと思われる。

しかしながら大阪市の耐震性の大要を知るには貴重な資料であり、又これらの資料は土木構造物の耐震性を確保する上にも重要な資料であると考えて発表する次第である。

この大阪における調査は大阪港港灣技術調査委員会の第 1 部及び第 3 部の研究の一部として、京都大學防災研究所で行われたもので、種々便宜を賜つた運輸省第三港灣建設部、鐵道技術研究所第 7 部、大阪市土木局計畫課及び同港灣局技術課に對して謝意を表する。

なお本文の考察の基準となつた地盤と震害に關する研究は、數年來我々が佐々、棚橋兩教授を始め研究員一同と共同して實施して來たものであることを明記し、兩教授並びに關係者に感謝する次

圖-9. 大阪市の V_H/V_L (點線) と耐震等級 (實線)



第である。(昭和 24.2.8, 土木學會月例研究發表會にて講演)

會誌に對する希望調中間報告 (昭 24. 11. 20. 現在)

34 卷 3 號でお願いしました會誌に對する御希望調査に當り、御多忙中にも拘わらず多數御解答頂きました段、厚く御禮申し上げます。35 卷よりの新會誌の内容決定に當り、貴重な參考資料とさせて頂きましたが、こゝに中間報告をする次第です。(數字は順位を示す。)

	(1) 會誌の程度			(2) 記事											
	高	今	やさしくする	卷頭	論	論	報	資	討	質	抄	隨	講	=	人
	く	の	程	言	説	文	告	料	議	答	譯	想	座	ス	事
	す	程	度	言	説	文	告	料	議	答	譯	想	座	ス	事
	る	度	する	言	説	文	告	料	議	答	譯	想	座	ス	事
正員 (解答數 525)	3	1	2	12	7	4	1	2	10	9	5	11	7	3	6
准員 (解答數 923)	3	1	2	12	8	3	2	1	10	7	6	11	5	4	9
學生員 (解答數 131)	3	1	2	12	6	2	1	4	9	8	11	7	5	2	9
合計 (解答數 1579)	3	1	2	12	7	3	2	7	10	7	6	11	5	3	9

上記で、大體新會誌のレベルは現狀にとどめることが希望されていると解されます。今後も内容につき御希望御感想があれば、その都度、成可具體的に御指摘頂ければ幸甚と存じます。(編集部)