

27. 地震波によりて誘起せられたる 土地の固有振動に就いて

地震研究所 今村 明 恒

(昭和四年九月十七日發表—昭和四年九月二十日受理)

我々が平常地震計を以て記録しつゝある地震記象の中には、震原から傳はつて來た地震波の外に、此地震波の爲めに誘起せられた其土地の固有振動をも含んで居るであらう。筆者は此兩者の分析を試むべく心掛けて居たが、茲に其一二の結果を述べることにする。

第一圖は東京市麴町區に於て建築中の帝國議會議事堂振動驗測の際に得た結果の一を示すものであつて、議院事務所前とあるは永田町通りに近く、路面と同じ水準の庭面に長さ一米程の棒杭を十本程打込み、地面上に露出した一尺程の部分をもセメントして地震計の臺となし、之を以て地震觀測點となしたものである。次に貴族院階下とあるは、前記觀測點から北へ二百十米の距離にある基礎臺盤であつて、此上に構造物の鋼柱が据附けられてあるのである。此基礎盤は十二本の打杭の上に建てられた面積 16.1×11.6 平方尺厚さ 43 尺程のコンクリート造の臺であつて、上面は路面下凡そ五米の處にあるけれども、周圍と接續せる部分の重心は更に其の下にあるものと見做し得られる。本圖の記象は大正十四年十一月六日三時十三分頃霞ヶ浦附近に起つた地震に由るものであつて、器械は今村式五十倍簡單微動計（器械の諸常數は本彙報第一號に載せてある）を用ひたのである（以下特に註を加へない限り、器械は同型と承知せられたし）。兩者の比較に於て、著しき相違は事務所前に於て得た記象が複雑な形式を有することである。更に之を詳細に調べると、0.2—0.4 秒の週期の微細な波動が稍大きな、さうして比較的緩かな波動の上に重なつて見えることである。試みに此等の微細な波動を全部除いたと假定するとき、兩所の記象は大體に於て相一致することになる。

以上の結果によりて見るとき、事務所前記象の上に現はれた0.2—0.4 秒週期の微細な波動は局部に於て誘起せられた固有振動の出現と見て差支ないであらう。勿論貴族院階下に於て得られた記象の中にも、震原から擴がつて來た地震波の外に、此處で誘

起せられた別種の固有振動を含んで居るであらうが、此は今回の實驗に於ては分析し得られないものである。

斯くして我々は先づ地面に接した薄皮の部分の固有振動を分析し得たと見做し得るのであるが、之れが如何なる方法に於て誘起せられたかに就いては今日的確な判断を下すに困難を感じる。然しながら此事實は我々の地震計測設備につき大切な暗示を與へるものと思ふ。即ち純粹な地震波を觀測せんとすれば、成るべく斯様な土地固有振動の障害から免れる様にするのである。但し此事は地震波によりて誘起せられる土地の固有振動の觀測が無益であるといふ意味ではない。實際此種の振動は人體或は築造物に與ふる影響の重要な部分、少くも一部分を占めて居るのであらうから、地震計測學上から見ても、將た應用地震學の立場から見ても、決して輕視すべきものではないのである。

次に本年六月三日六時三十四分頃東海道志摩沖に起つた地震に由る各地固有振動實測の結果を述べることにする。此地震は地下凡そ三百呎の深さに起つたもの、即ち deep-seated earthquake なることが、本問題の研究資料として最も適當なる所以である。斯様な地震は人體へ感覺を與へる區域が不規則な分布をなすことからして、石川氏によりては異常震域の地震とも呼ばれ、又 P 波が比較的に大なるが爲めに、大森博士により初期微動なしの地震とも呼ばれたことがあつた。本地震に就いても第二圖に示された通り、 P 波が S 波よりも却つて大なることが見られるであらう。又相互に四呎しか離れて居ない和歌山縣鹽津と日方とに於て得た地震記象について、一は人身に感じない緩漫な大揺れからのみに由つて成立つて居るに、他は小刻みの急振動(週期 0.55 秒)が加はつて居るが爲めに、可なり著しく人體に感じたのである。

現時南海道地震研究の爲めに我々の私設觀測所の網は、其小規模の一眼として和歌浦、紀三井寺、日方、鹽津の一組があり、大規模の一眼として、以上の一組の外に、同縣下田邊、淡路福良、徳島縣下富岡がある。以上の觀測點中日方を除くの外は、地震計が何れも堅い岩盤の上に据附けてあるので、本文記載地震の記象は全く同様の性質を示して居る。其故に此處には其代表的のものとして鹽津の記象を擧げることにしたのである。

鹽津を代表記象として選んだ理由は、日方との距離が僅に四呎なること、日方町の地盤は表面を土砂の層にて被はれて居るけれども、基底の岩盤は鹽津と共通なものであつて古生層に屬する輝綠凝灰岩なることにある。随つて此基底盤まで擴がつて來た

地震波は兩方に共通であつて、而も其性質が極めて單純なことは鹽津記象に見る通りである。此爲めに日方記象に就て其土地に於て誘起せられた固有振動を析出することが極めて容易となるのである。

前に述べた通り、震原は深かつた。さうして紀州の觀測點に於て得られた初期微動繼續時間は紀三井寺 39.9 秒、日方及び鹽津共に 39.5 秒、田邊 39.0 秒などであるから、震波が震原から直線的に觀測點へ擴がつて來たとしても、射出角は四十五度程度である。隨つて實際に於ては地面に對して垂直に近く射出したものであらう。これが即ち本問題の研究資料として大切な性質なのである。

遺憾なことには日方の地震計だけが異式であつたことである。即ち此處には大森今村式簡單微動計（常數は本彙報第一卷にあり）即ち大森式簡單微動計改良型を用いたのであつた。但し此器械は振子の自己振動の週期が比較的に小さい（今村式の半分凡そ 4 秒）ことを除いては其外に取立て、斷る程の相違もない。其故に日方記象から例の 0.55 秒週期の二次的微動を逐出した場合に於ける殘餘の記象と鹽津記象とを比較するときには、以上の相違を念頭に置いて之を見る必要がある。

日方記象について基調の緩い波動の上に重なつて居る 0.55 秒週期の二次的波動は之を更に細に調べると次の二通の特徴を有することが氣附かれる。

(i) それが第一位相 P 波の上には著しく現はれて居るけれども、第二位相 S 波の上には殆んど現はれて居ないこと。

(ii) P 波上に重ねれる急波動の大きさは、それに對應せる基調波の大きさに従つて略ぼ其れに比例して變ること。

以上によりて我々が推定し得ることは、基調波によりて誘起せられた土地の固有振動は、日方町の敷地を被覆せる土砂層に於て、地表と底基岩盤との間を往復する振動ならんと考へられることである。換言すれば、基底盤まで進行して來た彈性的平面波が、柔軟なる表面土砂層に進入した後、此土砂層の上下兩境界面の間を反射往復することが、即ち此處に誘起せられた固有振動を形成したのではあるまいか。果して然らば此振動週期 0.55 秒と、其進行速度とによりて、層の厚さを計測することも可能となる譯である。

問題の地震は同時に我々の關東地方小觀測網に於ても觀測せられた。此處でも基調の地動は緩かであり、震原距離も紀州方面に於けると大差なく、唯僅に遠いと思はれるだけであるから（初動繼續時間、東京 41.6 秒、清澄 41.7 秒、秩父 42.7 秒等）、若

し土地の固有振動が出現するならば、日方と鹽津とに於けると類似の記象が得られる筈である。但し實際に於てはそれ程著しくはなかつたけれども、猶ほ次に記す様な二次的振動を認めることが出来た。

観 測 點 Station	地 質 Formation	二次的振動の週期 (秒) Period of secondary vibrations (in sec)		
清 澄 Kiyosumi	第三紀層 Tertiary	0.64	—	—
秩 父 Titibu	第三紀層上の土砂層 Tertiary overlaid with sand	0.6	—	0.22
鎌 倉 Kamakura	同 上 Ditto	0.6	—	—
東 金 Tôgane	洪 積 層 Diluvium	0.6	0.35-0.44	0.25
東 京 Tokyo	同 上 Ditto	0.7	0.5	0.2-0.3

上の表に於ける観測點の土地構造と二次的振動の週期とを比較すると、其處に兩者の間に密接な關係がある様に思はれる。第一に清澄記象からして第三紀層に屬するものとして 0.64 秒を取るべく、秩父や鎌倉の記象も此推定に有利なるのみならず、總てに残りなく、此週期のものが現はれて居ることも、此ことの確實性を増すものであらう。次に 0.2-0.3 秒週期のものが表面の土砂層に屬するものならんとのことも疑なかるべく、最後に 0.4 秒内外のものは洪積層に屬するものとして取残される譯である。

以上の推定に於て、若し誤謬がなかつたならば、其れを各層に於ける波動進行の速さに結附けて、各層の厚さを計算することが出来るであらう。但し此は後日の研究に譲ることとする。

27. On the earth-vibrations induced in some localities at the arrival of seismic waves.

By **Akitune IMAMURA.**

Seismograms may involve, besides seismic waves propagated from the focus to our stations, earth-vibrations induced there by means of the seismic waves thus arrived. The present note contains some analytical study concerning such earth-vibrations.

Fig. 1 shows seismograms due to the earthquake, which occurred on Nov. 6, 1925, near Kasumigaura and was registered at diluvial ground in Tokyo, B and D with an Imamura tromometer ($V=50$, $T_0=7$ sec.) installed at the ground level upon a concrete block of $3 \times 3 \times 1$ ft. size, and A and C with another similar instrument set up on a rigid pedestal of $16.1 \times 11.6 \times 4.3$ ft. size. The pedestal is situated about 210 m. apart from the first station, with its upper level lower than the ground-level by 4.9 m. The difference of the earth-movements indicated by the seismograms obtained at these two stations reveals that there were induced in the thin surface layer of the place small earth-vibrations of a period ranging from 0.2 to 0.4 sec.

Fig. 2 is a reproduction of the seismograms due to the deep-seated earthquake (depth about 300 km.), which occurred on June 3, 1929, at 6h 34m off the coast of Sima Province. It was registered with instruments essentially of the same type as above and installed at Siotu and Hikata in Kii Province, the mutual distance between the two stations being only 4 km. The ground of Siotu is Palaeozoic diabase tuff in formation, whereas that of Hitaka is of the same formation covered with soil of certain depth. It will be noticed that the *P* phase is much bigger than the *S* phase—a characteristic special to earthquakes of such a depth. The duration of the *P* phase at both stations come out as 39.5 sec.

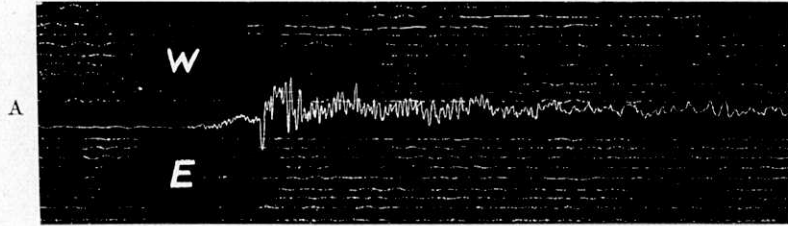
Special interest of the observation of such earthquake at a distance as in the present case is due to the facts that the seismic waves emerge almost at right angles to the earth's surface, and consist for the most part of slow undulations almost free from vibrations of quick period (see the Siotu register). In fact, both seismograms are similar to each other, except that the Hikata register involves in addition a series of secondary vibrations of a constant period of about 0.55 sec. These secondary vibrations are present only in the *P* phase, and are approximately proportional to the magnitude of the fundamental waves accompanying them. This would suggest that they are earth-movements induced in the superficial soil layer possibly as plane elastic waves making reflection at the upper and lower boundaries of the layer.

Examination of the seismograms due to the same earthquake and obtained at our seismological stations in the Kwanto district has brought out as the periods of similarly induced earth-vibrations the following

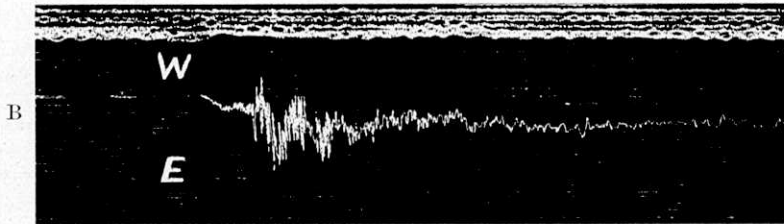
values (see also Table in the text in Japanese):

For superficial soil layer	0.2-0.3 sec.,
„ Diluvium	„0.4-0.5 sec.,
„ Tertiary	„0.6-0.7 sec.

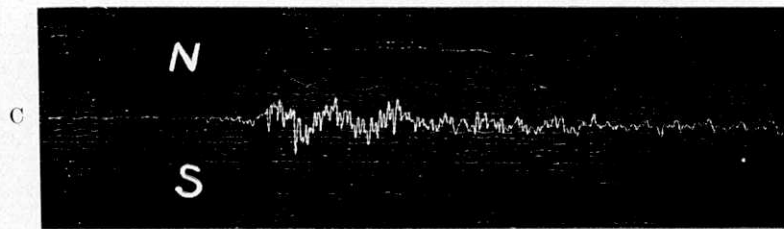
If such a method of estimation be legitimate, then the thickness of the different layers may be worked out.



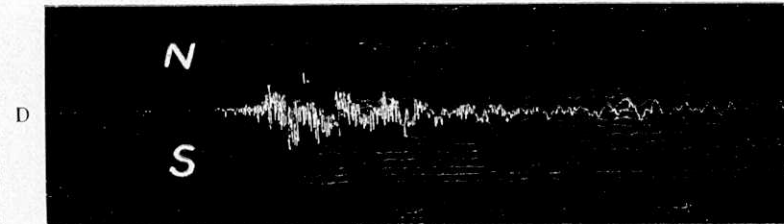
貴族院礎盤上 東西動 Pedestal: E-W component.



事務所前 東西動 Ground: E-W component.



貴族院礎盤上 南北動 Pedestal: N-S component.



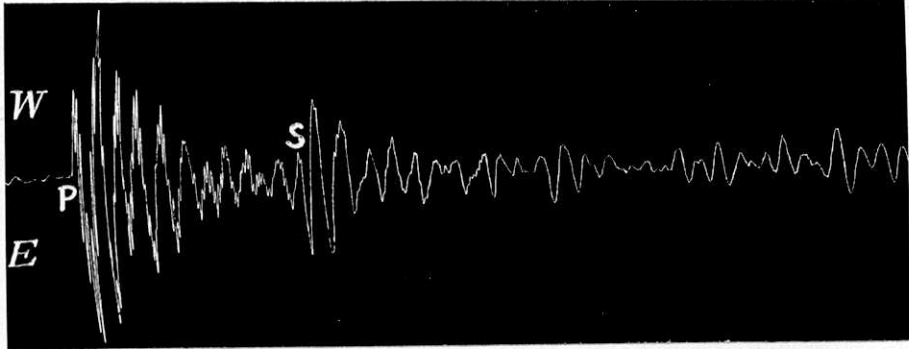
事務所前 南北動 Ground: N-S component.

(震研彙報第七號、圖版、今村)

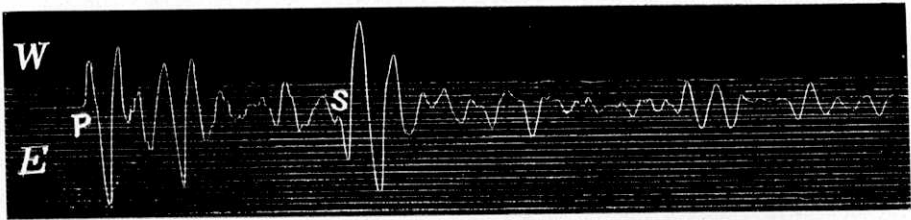
第一圖 大正十四年十一月六日霞浦地震記象

Fig. 1. Seisgrams due to the Kasumigaura earthquake of Nov. 6, 1925, at 3 h 43 m.

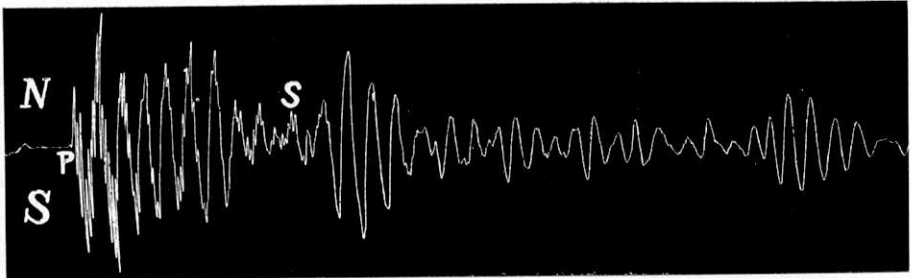
($V=50$, $T_0=7$ sec., time scale 58 mm./min.)



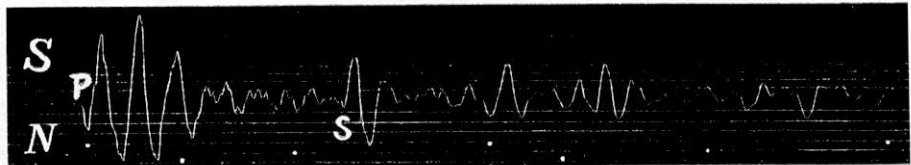
A. H-kata register: E-W component. Time scale = 46 mm./min.



B. Siotu register: E-W component. Time scale = 53 mm./min.



C. Hikata register: N-S component. Time scale = 46 mm./min.



D. Siotu register: N-S component. Time scale = 53 mm./min.

(震研彙報第七號、圖版、今村)

第二圖 昭和四年六月三日地震記象

Fig. 2. Seismograms due to the deep-seated earthquake of June 3, 1929.