

地盤の性質によつて地震動がちがうことが気付いたのは、19世紀の終葉の、地震計が発明されて同のない頃であつた。いわゆる地盤が軟い程、地震動の振幅が大きく、震動周期が長いという現象をつかんだのが始まりである。

その後、地震動には各地盤特有の震動周期特性があることが発見され、これらの事実に対する理論的な解釈が試みられて来た。

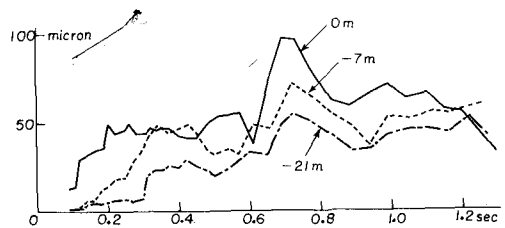
他方に於いて、日本を始めとする地震国に於ける震害の統計的な研究も進められ、破壊的地震動にも、いわゆる地盤の震動特性があらわれることが次々に裏書される段階にある。

地震動の主要部に眼をつけると、山地では0.5秒から2秒位の短い周期の波が比較的に優勢であり、洪積台地などでは0.2~0.4秒、普通の沖積層では0.4~0.7秒の波が卓越する。沖積層の厚さが数十m以上のような最軟弱地、砂丘、風化の進んでいない岩盤、地下の基盤などでは、特にどの周期の波が卓越するという傾向が少い。

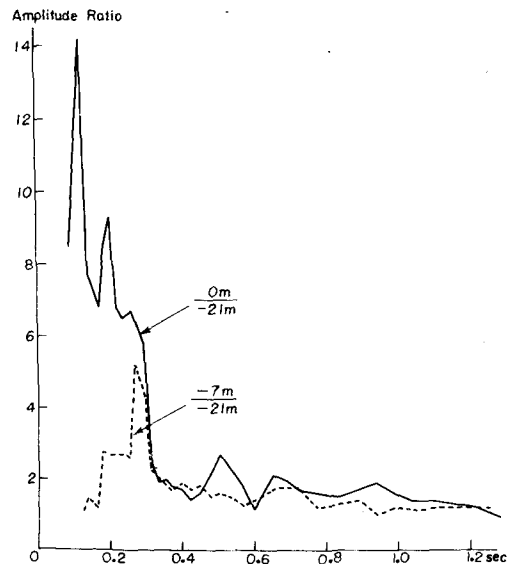
地震動の性質は、地震の起り方、地震波の伝播経路の地盤の物性並びに構造、震源距離などにも、関係するから、上述の性質は、統計的に言つて、現われる確率が多いことが実証されたというものである。〔金井 清「地盤の震動特性に関する半実験式」震研発報35(1957), 309~325.〕

この意味での地盤の震動周期特性は、常時微動にもよく現われるので、地盤の震動特性をしらべる手段の一つとして常時微動の測定が使われる。

これらの事実は、基盤の上に振動インピーダンス〔(弾性波の速度)×(密度)]の異なる、地盤と称する1つ或は2つ以上の層があり、周期特性の比較的に平坦な(音響方面で言えばホワイト・ノイズに近い)周期特性をもつた波が、基盤の下から、鉛直に近い角度で進んで来て、層の中で反射、屈折現象を重複して行く機構を考えると、理論的には相当



第1図 砂丘地域の地上、地下7m、地下21mにおける地震動の周期特性



第2図 各周期についての、地下21mに対する地上、地下7mの振幅比

よく説明できる。そして、地盤が弾性的に言つて N 層に近い場合には、 $\text{周期} = 4H/V$ (H = 地盤の厚さ、 V = 地盤中での弾性波の速度) の震動が卓越し、層の数が増すに従つて、特定の周期の震動が卓越するという度合が少くなることが理論的に言える。

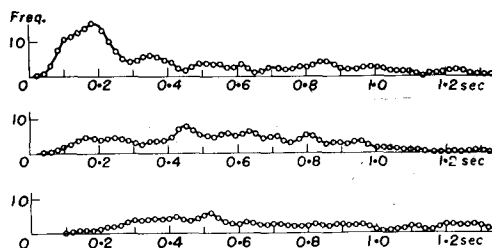
各地盤に特有の震動性状があり、その影響が実際の地震動にどの程度現われるかということ、地上と地中で地震の同時観測を行うのが早速である。著者は、10 年程前から茨城県日立鉱山の地上と地下数百 m の坑内とで地震の同時観測を行つており、最近、その他の場所でも地上と地下数十 m との比較観測を行つた。

第 1 図は砂丘地域の地上、地下 7 m の礫層上、地下 2 / m の頁岩上で同時観測を行つた地震記録をレスポンス・コンピューター〔高橋龍太郎：第 3 回日本応用力学会記事、373 ~ 376,〕によつて周期解析を行つた結果の中の 1 例であり、第 2 図は各周期についての地下 2 / m に対する地上、地下 7 m の振幅比である。第 2 図のような周期別の振幅比の関係は、速度でも、速度、加速度でも成り立つことは言うまでもない。

第 1 図から、砂丘上、地下基盤上の震動周期特性は平坦であることがわかり、第 2 図には、0.2 秒附近に表面砂層の震動性状が明らかに現われている。第 3 図は同じ場所での常時微動の頻度曲線であり、第 1 図と似た性質を示している。

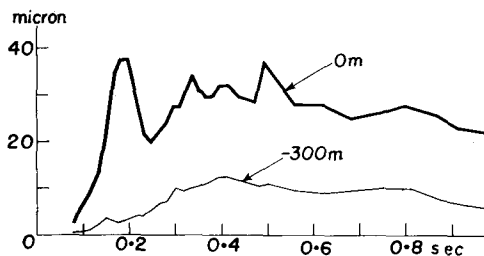
第 4 図は、主として角閃岩から成る日立鉱山の地上と地下 300 m 坑内で同時観測を行つた地震記録をレスポンス・コンピューターによつて周期解析を行つた結果の 1 例であり、第 5 図は、各周期についての地下 300 m に対する地上の振幅比である。

第 4 図から、地下 300 m の周期特性は平坦であるが、地上では 0.2 秒附近に山がでることがわかる。これは、地表面附近の風化部の特性があらわれたものであり、普通、岩盤では短周期の震動が卓越すると言われているのは、このことを意味しているもののようである。例えば、地表面でも、岩石が新鮮な場



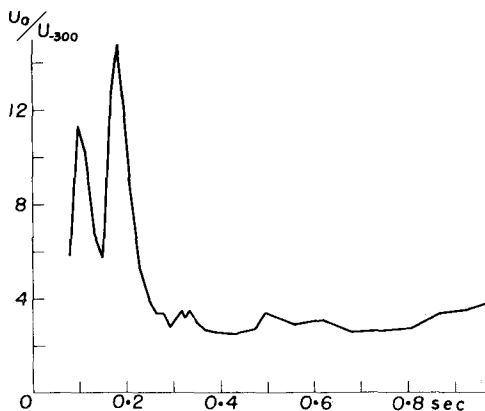
第 3 図 上から、砂丘地域の地上、地下 7 m、

地下 2 / m における常時微動の頻度曲線



第 4 図 日立鉱山の地上、地下 300

m 坑内における地震動の周期特性



第 5 図 周期別の、地下 300 m に
対する地上の振幅比

合には、第4図の—300mのような特性を示すものである。基盤に到達した比較的平坦な周期特性をもつた地震動によつて、或地盤特有の震動が勝過される有様が、第5図からよくわかる。

地下深所の地震動（新鮮な岩盤上の地震動と相似と考えてよい）の震動周期特性は平坦であるとは言つても、よく見ると、第7図、第8図でもわかるように或周期に山らしいものがある。数多くの地震についての解析結果を整理すると、地下深所の地震動の周期特性は第6図のようになる。

しかして、又、数多くの地震を統計的に取扱つた結果によると、変位振幅特性の山になる周期 T_0 （第6図参照）は震央距離とか地震動の強弱には関係が薄く、地震の大小と関係が深いことになった。

地震動の大小は、無論、震源距離に関係するが、或地点における地震動の大きさから、震源距離一定の点における地震動の大きさをなにかの方法で算出できれば、或地点における地震動を使つて、地震の大きさをきめることができる筈である。

日立鉱山の地下300mの最大振幅から、振幅は震源距離に逆比例するという仮定のもとに、地震計の振動特性を入れる計算を行つて、震源距離100mにおける最大振幅を出した値を A_0 とし、前述の T_0 との関係を統計的に求めたところ、次のようになった。

$$A_0 = 53 T_0^{2.56} \quad \text{ミクロン} \quad (1)$$

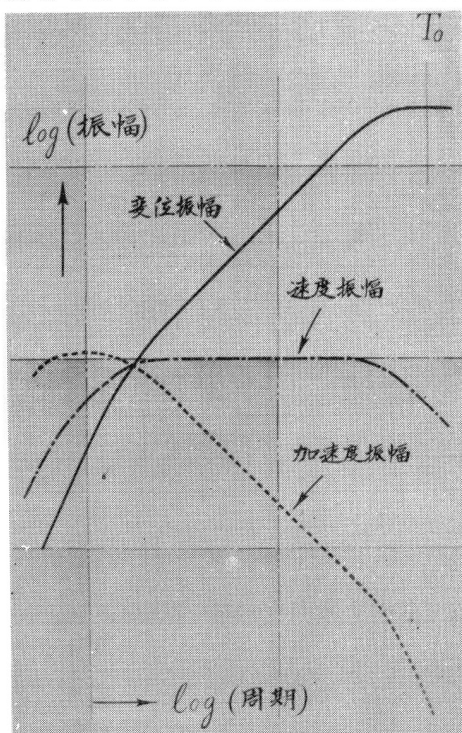
(1)から、地震が大きい程、最大振幅にあたる震動周期が長いことがわかる。但し、これは、基盤における変位振幅についてであつて、普通の地盤上では、地盤の震動特性を入れねばならないことは言うまでもない。

地震のマグニチュード M と震央距離 Δ (km)、最大変位振幅 A (ミクロン)との間には次の関係式がある。〔坪井忠二「地震動の最大振幅から地震の規模 M を定めることについて」地震Ⅱ、7巻3号(1954)/85~193。〕

$$\log A = M - 1.73 \log \Delta + 0.83 \quad (2)$$

(1)と(2)を結びつけることが許されるならば、地震のマグニチュードから、最大振幅とその周期とが算定できる。

そして、第6図でもわかるように、基盤での地震動の速度は、短周期と長周期の部分で



第6図 地下深所における地震動の周期特性

除くと、略一定であるから、或周期 T に対する変位振幅 A は $A/T = A_0/T_0$ の関係から求められる。〔速度一定ということは、勢力の等分配の法則が成り立っていることを意味する。短周期で振幅が小さいのは、発震機構と伝播中の吸収作用とによると考えられる。〕

今、例題として、関東地震をとつてみると、関東地震の $M = 7.9$ を $\Delta = 100$ として (2) に代入すると、 A ($\equiv A_0$) $= 1.26 \text{ cm}$ になり、これを (1) に代入すると、 $T_0 = 24.5 \text{ sec}$ になる。しかし、東京の震央距離 $\Delta = 90$ であるから、東京の最大変位振幅 A は (2) を使つて $A = 2.24 \text{ cm}$ となる。周期は震央距離に無関係という考えから出発しているから、東京における最大振幅 2.24 cm の震動の周期は、前出の 24.5 sec であり、東京の最大速度振幅 V ($= 2\pi A/T_0$) $= 5.7 \text{ cm/s}$ になる。しかし、変位振幅 $a = VT/2\pi$ 、加速度振幅 $\alpha = 2\pi V/T$ の関係から、 $T = 0.3 \text{ sec}$ 及び $T = 1.35 \text{ sec}$ の震動の変位振幅、加速度振幅を計算すると、次の値になる。

$$\left. \begin{aligned} T = 0.3 & \quad ; \quad a = 0.27 \text{ cm}, \quad \alpha = 119 \text{ gal} \\ T = 1.35 & \quad ; \quad a = 1.23 \text{ cm}, \quad \alpha = 26.6 \text{ gal} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

関東地震の不完全な記象から、本郷で最大変位振幅を与えた震動の周期は 1.35 sec であり、それから加速度を計算すると 100 gal になるという研究結果があり、〔今村明恒、「関東大地震調査報告」、震災予防調査会報告、100号甲(1925)、21~66。〕又、その記象の短周期の震動に眼をつけると、周期は 0.3 sec であり、それから加速度を計算すると $250 \sim 300 \text{ gal}$ になるという研究結果がある。〔石本己四雄、「地震とその研究」古今書院(1935)〕。仮に、本郷の地盤では、基盤における地震動の3倍位大きくなるとすると、これらの記象解析結果と、この研究結果(3)との間には、大きな矛盾はない。なお、(1)式が出てきた以後の数量的議論は、今後十分に研究を要するところである。

この研究結果を要約すると、(i) 地表面における地震動は、基盤(又は新鮮な岩盤露頭)における地震動のスペクトル $B(T)$ と、地盤の震動性状 $G(T)$ の函数である。(ii) $B(T)$ としては、第6図の形が適当であり、実際問題として必要な周期範囲では、速度一定のスペクトルと考えてよい。(iii) 第6図の T_0 とその振幅(最大変位振幅) A_0 の関係は(1)式で代表される。(iv) 例えば、(2)式のような、マグニチュードと最大振幅の関係を使えば、 T_0 と A_0 の絶対値が算出され、それに速度一定の仮定を入れれば、基盤のスペクトルができ、更に、地盤の振動特性を与えれば、地表面のスペクトルが得られる。

終りに臨み、本研究は、文部省科学研究費に負うところが大きく、又、日本鉱業日立鉱業所、日本原子力研究所より多大の御助力をいただいた。こゝに、深く感謝の意を表する。又、田中貞二、鈴木富三郎、長田甲斐男、吉沢静代の諸氏の御協力によつて遂行されたことを報告し、併せて、厚く御礼を申し述べる。