

IV-8

海底常時微動の測定と解析

九州大学工学部 正員 ○ 小坪清真
九州工業大学 正員 高西照彦
九州大学工学部 学生員 荒牧軍治
同 同 吉浦正文

1. まえがき

海を渡る長大な橋梁の橋脚や港湾構造物の多くはその基礎が海中に設置される。このような場合には、それら海中構造物の耐震設計においては、それらが築造される海底地盤の地震時における挙動を把握することが極めて重要である。地盤の地震時における挙動の推定に現在よく使用される方法は、地盤の常時微動の測定であって、陸上構造物の設計に当っては盛んに利用され効果を上げている。現在、陸上で使用されている地盤の常時微動測定方法は、ピックアップとして高感度で固有振動数1%程度の動線輪型速度計を用い、これに増幅器を接続し、データレコーダーに記録するものである。ところがこれら動線輪型速度計は、水密性、整直性の上から海底に設置することは困難である。この様な事情から海底常時微動が測定されたという例を聞かない。

筆者等は、地中地震計として現在用いられている動線輪型加速度計をピックアップとし、これを積分増幅器を通して速度又は変位として記録する方法を採用し、博多港内で海底常時微動の測定を行ったので、ここに報告する。

2. 測定地元の地質

測定地元は水深11~13m、シルト層($N=1$)2~3m、砂層($N=34$)4~5m、風化頁岩($N=25$ 6~7mの下に頁岩($N=50$)がある。海底地盤の卓越周期に關係ある地層の範囲を厳密に出すことは困難であるが、大体10~12mの程度であらうと思われる。

3. 測定器及び測定方法

ピックアップは最初東京振動研究所製地中地震計(外径60mm、長さ100mm、水平1成分、動線輪型加速度計、感度0.1mV/gal、固有振動数3%、感度一様な周波数範囲0.5%~30%)を使用し、これに三栄測器製直流増幅器(感度80db max)、国際機械振動製積分増幅器(積分特性3%以上)を接続して測定し、電磁オシロに記録した。才2回の測定にあつてはピックアップは、保坂振動製地中地震計(外径90mm、長さ300mm、水平1成分、動線輪型加速度計、感度4.5mV/gal、固有振動数3%、感度一様な周波数範囲0.3~30%)を用い、上記直流増幅器及び勝島計器製積分増幅器(積分特性0.7~50%)を接続して測定した。

ピックアップは下端が円錐形の円筒であるから、上端をロープで吊し船より海中に沈めると、海底へドブ管に鉛直に入り、略完全に整直が出来た。記録は1ヶ所ずつ約一分間取った。風波による影響が心配されたが、これらによる障害はほとんど認められなかった。

4. 測定結果と解析

図-1は常時微動測定記録の一例である。記録は0.05secおきに読み取り、自己相関関数 $R(\tau)$ 及びパワースペクトル密度 $S(\omega)$ を計算した。記録は $x(t)$ とすれば、自己相関関数及びパワースペクトル

ル差度は、次式で表わされる。 $\langle \rangle$ は時間平均である。

$$R(\tau) = \langle X(t) \cdot X(t+\tau) \rangle$$

$$S(\omega) = 4 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega \tau \cdot d\tau$$

図-2は、図-1の記録より上式を使って計算した自己相関々数であるが、地盤の固有周期は岸壁より50mの地点では、約0.45 sec、岸壁より100mの地点では0.4 sec ~ 0.5 sec 程度であることが解る。

図-3は、上記自己相関々数よりパワースペクトル密度を求めたものである。

岸壁より50mの地点では、固有振動数 $\omega = 14$ 付近に、岸壁より100mの地点では $\omega = 14$ 及び17付近にピークがあり、自己相関々数より推定された周期とほぼ等しい。

図-4は測定記録から周期頻度曲線を求めたものであるが、パワースペクトル密度のようなピークは、出ないようである。

5. 測定結果に対する考察

(1) 記録波について

海底では、波浪によるショック、航行する船舶から出る定常音波、岸壁上の工場の振動などのため、

加速度を記録すると、高振動数の振動が強調され、記録の読みとりが困難である。パワースペクトルを求めるためには、理論的には、加速度、速度、変位のいずれを記録しても構わないのであり、地盤の固有周期は一般に0.1 sec以上であるから、高振動数の振動を小さく、低振動数の振動を強調して、記録の読みとりを容易にする目的で、本実験は、すべて加速度を2回積分し変位の記録を行った。しかし、積分を2回行くと、積分器の特性がまづくなり、加速度の急変で記録の0点移動し、真の

図-1 常時微動

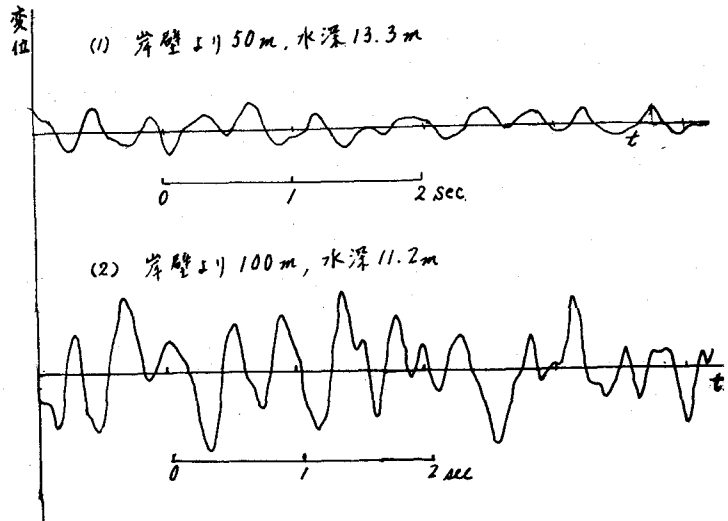
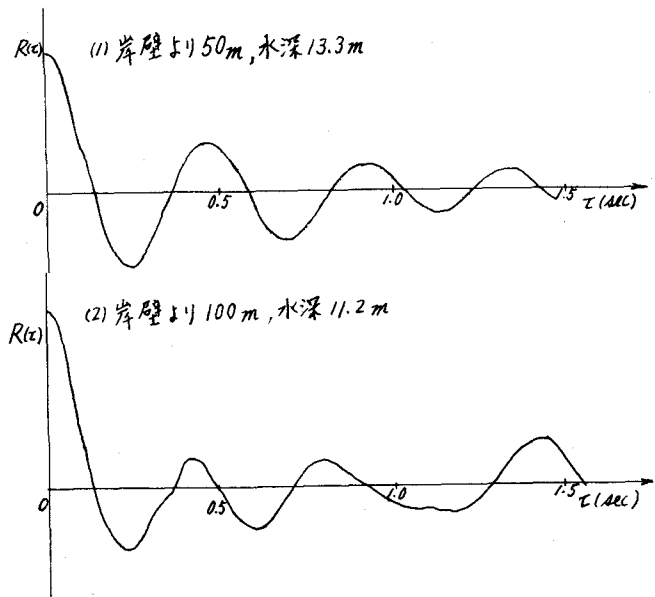


図-2 自己相関々数 $R(\tau)$



変位であるか、0 変の移動であるか判定困難な場合もある。

したがって、積分は1回に止めた方がよいように思われる。ただしこの場合、高振動数成分が強調され、読み取りに労力を要することになる。(データレコーダーとA-D変換器があれば、この問題は解決される。

周期頻度曲線を求める場合には変位を記録する方がよいように思われる。

(2) 地盤の剛性率 G の推定

常時微動測定地変位のボーリングを行。ていがないので厳密なことは、判らないが、頁岩風化層より地表面~~まで~~約12~15mが地盤の固有周期に関係があるものとして、この区間の地盤の平均せん断弾性係数 G を推定してみる。

固有周期 T 、地盤厚 H 、地盤中の横波の速度 V との間には、次の関係がある。

$$T = \frac{4H}{V}$$

一方、地盤の単位体積重量を w 、重力加速度を g とすれば

$$V = \sqrt{\frac{Gg}{w}}$$

なる関係があるから、 G は次式で計算される

$$G = \frac{16wH^2}{gT^2}$$

上式 G を求めるに、 $G = 230 \sim 350 \text{ kg/cm}^2$ となる。

海底地盤深く基礎を築造する場合には、地震時における地盤の、せん断変形の深さ方向の分布を知ること、極めて重要なことであるが、それには地盤の G の深さ方向の分布を推定する

図-3 パワースペクトル密度 $S(\omega)$

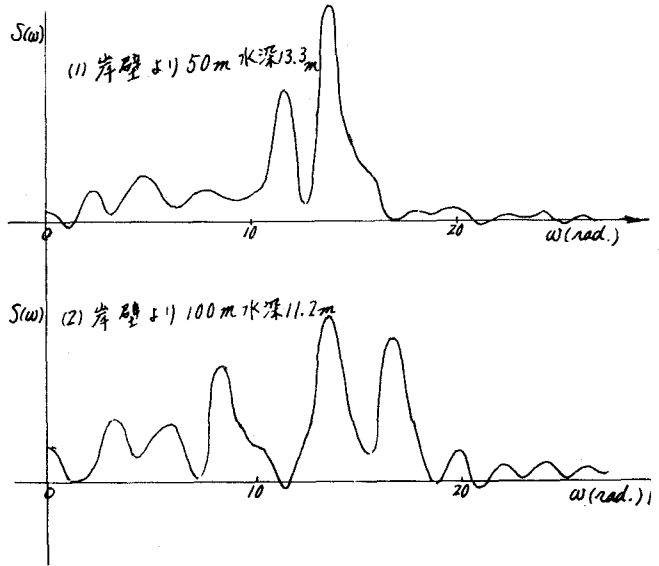
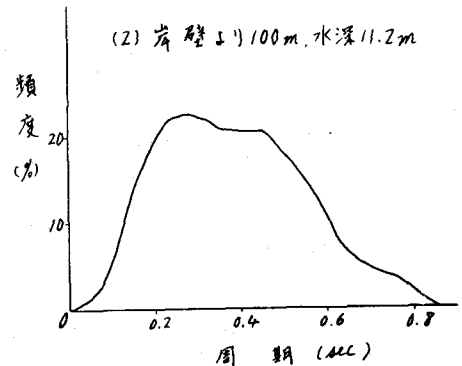
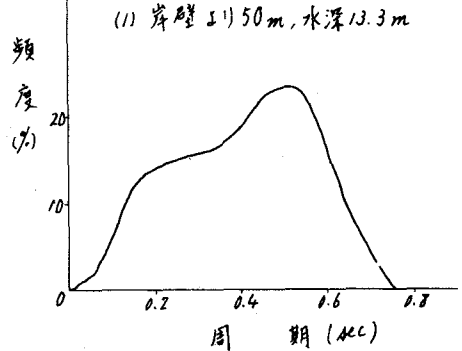


図-4 周期頻度曲線



必要がある。

N 値と G 、又は N 値と G の関係が判明しておれば、 N 値、 N 値の深さ方向の分布から G の深さ方向の分布を求めることもできよう。しかしこれは容易ではない。我々は現在、種々の深さにボーリング孔を掘り、地中地震計を孔底に設置し、地盤中の種々の深さの常時振動からパワースペクトルの深さ方向分布を求め、地盤の大きさ及び深さ方向の分布を推定する実験を行っている。これについては他の機会に発表する予定である。

文 献

- (1) J. D. Robson "An Introduction To Random Vibration." Edinburgh University Press. 1964
- (2) 堀川 明「ランダム変動の解析」
- (3) 後藤尚男・亀田弘行「杭基礎上の橋脚の地震応答について」土木学会論文集、No. 131 昭和41年7月
- (4) 小坪清真、高西照彦「鋼管橋脚の耐震性に及ぼす基礎地盤の変形の影響」土木学会論文集 No. 148 昭和42年12月