

八郎潟干拓地における地盤振動の基礎調査

(第一報)

西城 忠 泰

本論文は文部省科学研究費(特定研究)による調査にわり得た資料で、秋田大学野越三雄講師との共同研究である。加えて秋田大学鉱山学部乗富一雄助教授の御指導に負う所が大きい。

I. 緒 言

昭和40年8月1日から20日間にわたって、八郎潟干拓地における地盤振動の調査のため、電気探査、地震探査及び常時微動等の測定を行った。常時微動による地盤振動の特性などの調査は既に金井等⁽¹⁾が行なっているが、これらにおいては弾性探査による詳しい地下構造との対比が、未だなされていないように思われる。

そこで今回は浅い地下構造及び弾性的な性質を調べ、その上でその場所での常時微動を測定し、その卓越周期などの振動特性と地下構造とがどのような関係にあるかを知る目的で行なったものである。

八郎潟西部承水路堤防についての常時微動の測定は、昭和39年より河上等⁽²⁾が行っているが、これは堤防の耐震性という問題が主であって、常時微動の本質的な特性、常時微動と地盤の地下構造との関係などの基礎的な問題は、取扱っていないように思われる。

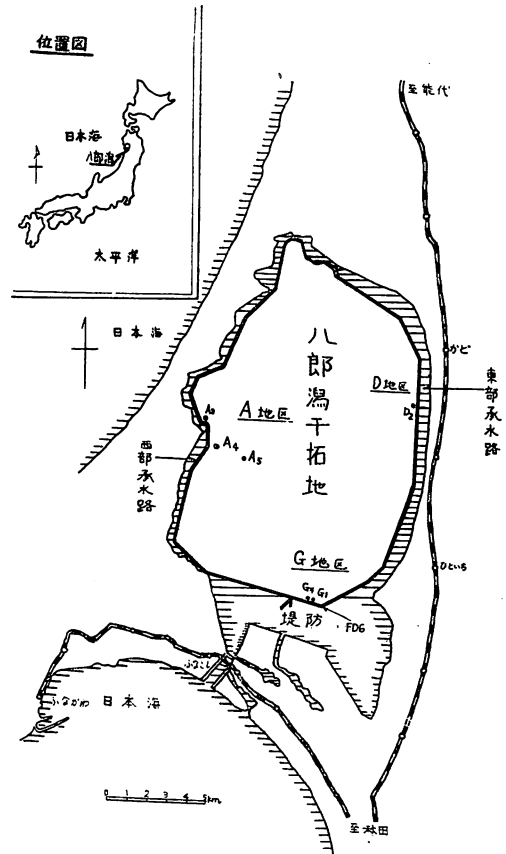
我々が今回行ったのは地盤振動の基礎的な調査であるが、耐震性という観点からも考察を加えるために、秋田沖地震(昭和39年5月7日16時58分頃、男鹿半島西北西約80km沖)に際して被害のあった場所、なかった場所を選定して測定した。

解析は未だ途中であるが、今回は地下構造と常時微動の周期頻度分布との関係、或いは耐震性などにふれながら以下報告する。

II. 測点の位置

第1図には八郎潟干拓地および堤防などが示されている。測定は大きくわけて、秋田沖地震で最も大きな被害を生じた西部承水路堤防付近のA地区、被害の比較的少なかった中央干拓正面堤防付近のG地区、および被害のほとんどなかった東部承水路堤防付近のD地区の3地区である。勿論堤防付近の全域を調査したのではなく、A地区ではA₃、A₄、A₅の3点、G地区ではG₁、G₄の2点、D地区ではD₂の1点について調査した。但し

後で述べるように同じA地区内でもA₃は被害のあった堤防(昭和40年8月には既に修理は完了していた。)の付近であり、A₄は被害のなかった堤防の近くである。A₅は地下探査のみを行なった。G地区にはFD6付近に地盤土質が急変しているという調査⁽³⁾があるが、G₁、G₄は共にこの場所より約800mほど西側に離れた所である。G₁は地下構造のみ、G₄では常時微動のみの結果しか出せなかったが、両点間は約100m程度なので地層の違いはないとして比較考察した。



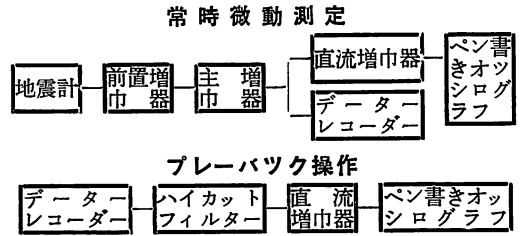
第1図 八郎潟干拓地概要図

III. 測定器機及び測定方法

測定器機は電気探査には垂直探査としてL-10型大地比抵抗測定器、地震探査にはE.T.L.地震探査器を使用

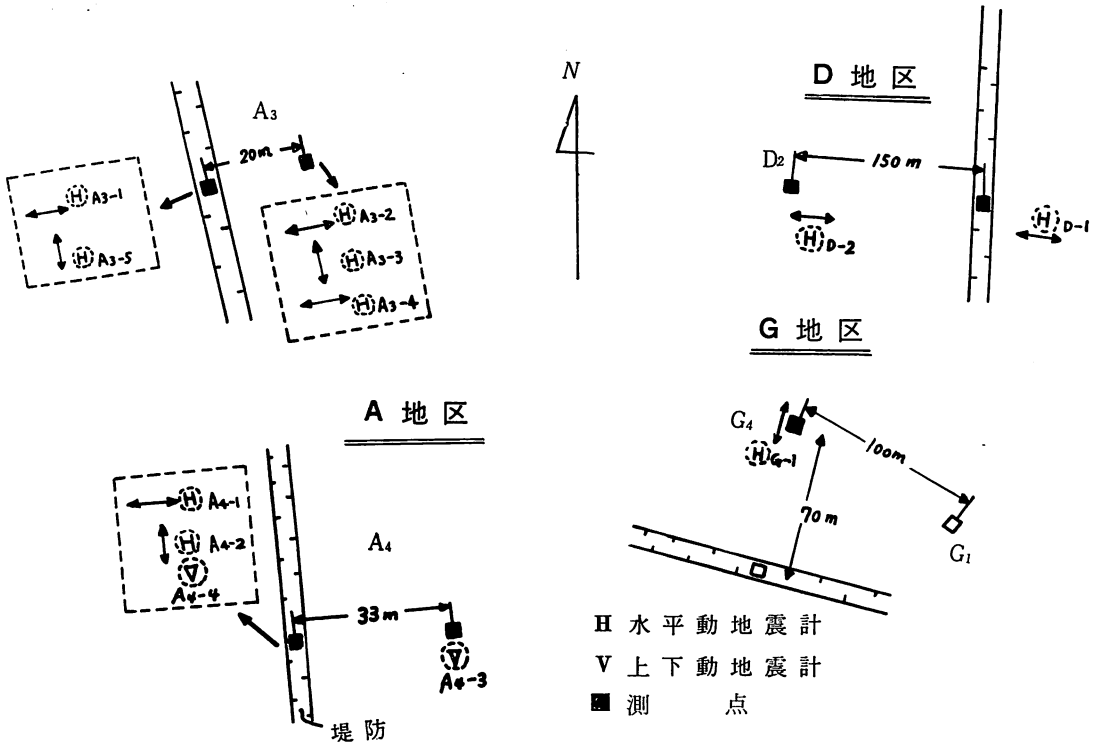
した。常時微動の測定には1 c. p. s.の水平動, 上下動地震計を2台用いた。測定は大気電気探査, 地震探査, そして常時微動の順に行った。即ち, 常時微動を測定すべき場所についての地下構造を探査するため, その場所で電気探査, 地震探査を行なった。電気探査には平均三極法によって垂直構造を出し, 地震探査には shot として火薬ではなく重錘落下方式を用い, 又 SH 波発生装置として「板たたき」の方法を使用してみた。

常時微動の測定及び解析のための play back は第2図の block diagram で示される方法で行なった。尚周波数特性曲線, 倍率は今回は振巾の考察にまで至っていない



第2図 常時微動測定及びプレーバック操作構成図

ので省略する。又第3図では各場所に於ける地震計の設置した方向などを図示した。



第3図 常時微動の測定場所及び地震計の方向

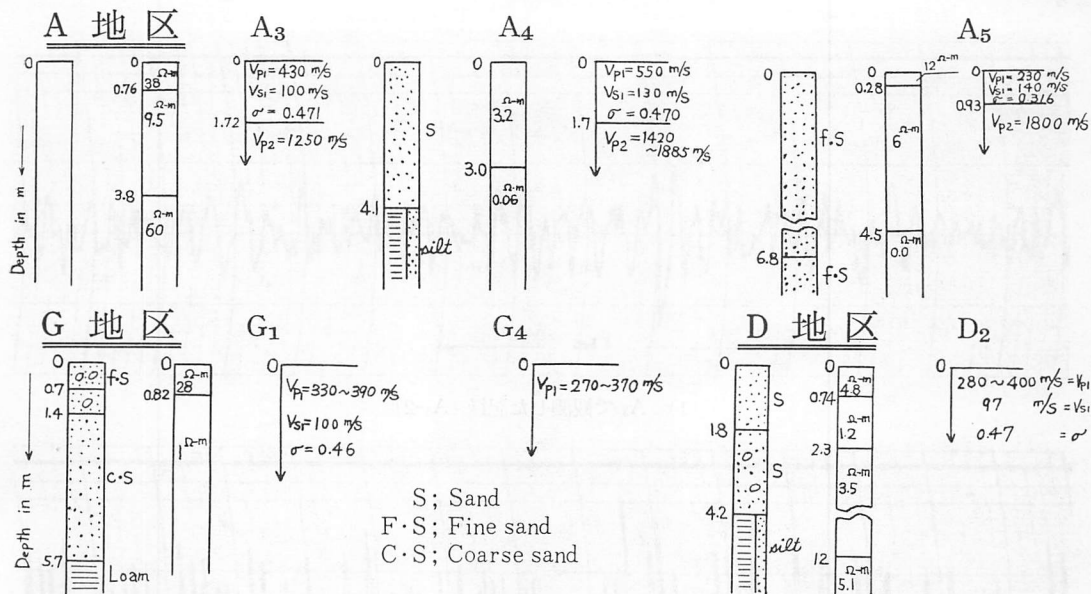
IV. 測定結果及び考察

(i) 地下構造

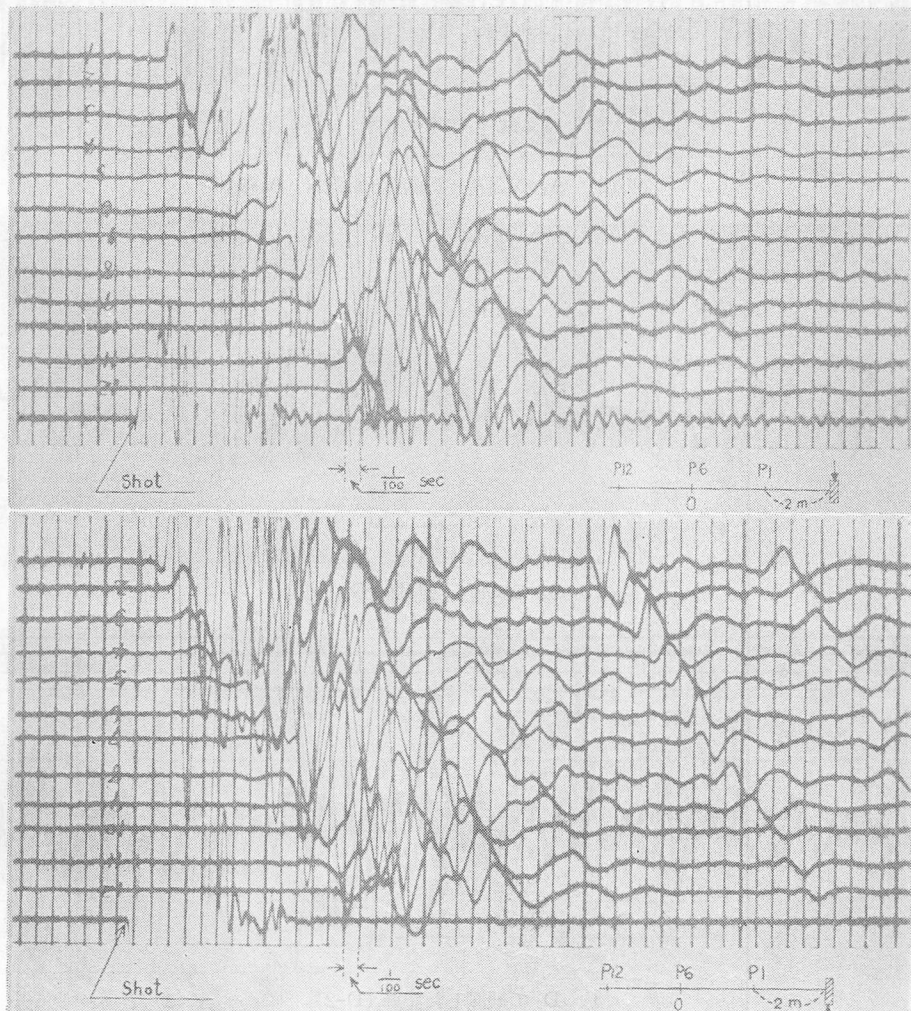
電気探査, 地震探査によって出された各地区のそれぞれの場所における地下構造の model は, その場所の付近でわかっている柱状図と共に第4図に示されている。この柱状図は八郎潟干拓事務所調査したものをお借りした。

電気探査は精度の点で不十分な L-10 を使用したため, 測定の際困難をきわめ, G₄ のように data のとれない所, 又とれても解析するのにむずかしい所が多かった。これは器機のせいばかりではなく, 測定場所が非常に含水層のためとも思われる。

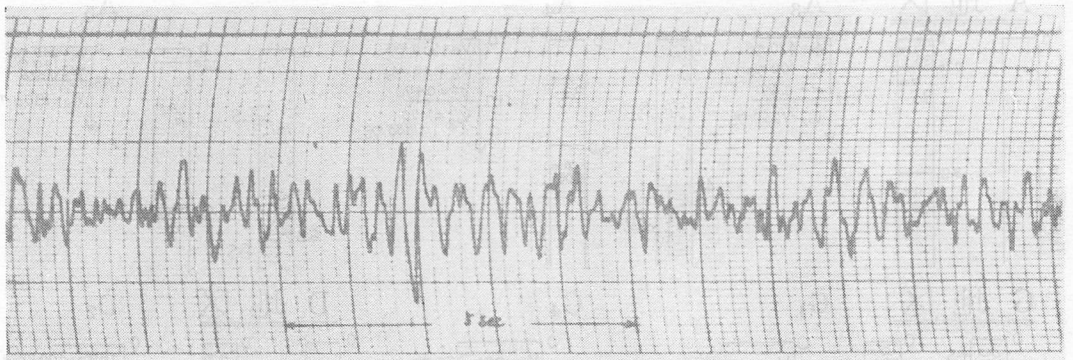
又地震探査についても shot に火薬ではなく重錘落下方式を使ったので, 初動の立上りの悪い記録が多く精度はあまり良くないが, G₄ を除いて一応全部の地点での地下構造の model が得られた。又, 最近小爆破実験グループで盛んに用いられている SH 波発生装置の「板たたき」による記録もとった。これは第5図に示されるように位相の反転から S 波であることは確かめられるが, これも立上りが悪く, S 波からの地下構造の推定は困難であった。又 P 波, SH 波とも波の減衰が早く, 遠方に届かない傾向がみられた。立上りの悪いのは, 地層の特殊性によることも十分に考えられる。従って SH 波からは一層のみを出すにとどまったので, この S 波の速度を一層目の速度とした。



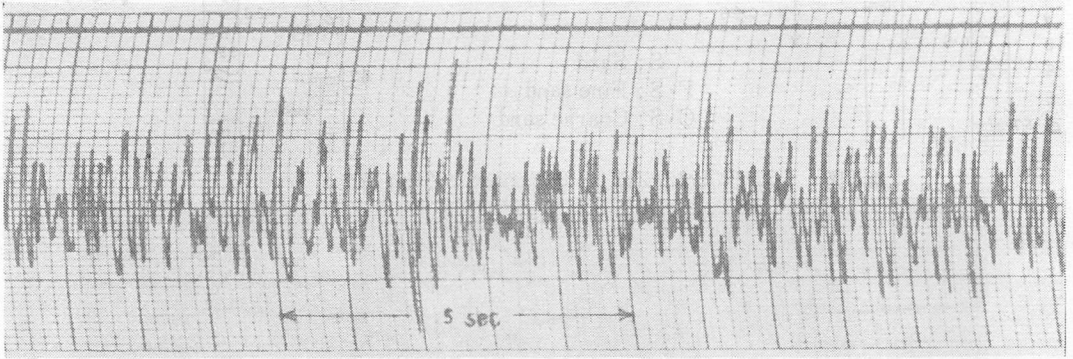
第4図 柱状図及び電気探査，地震探査による地下構造図



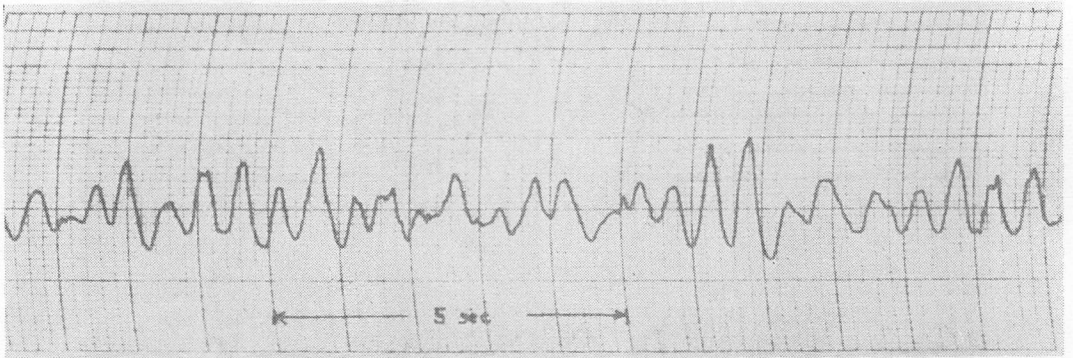
第5図 A₅で観測したSH波の記録



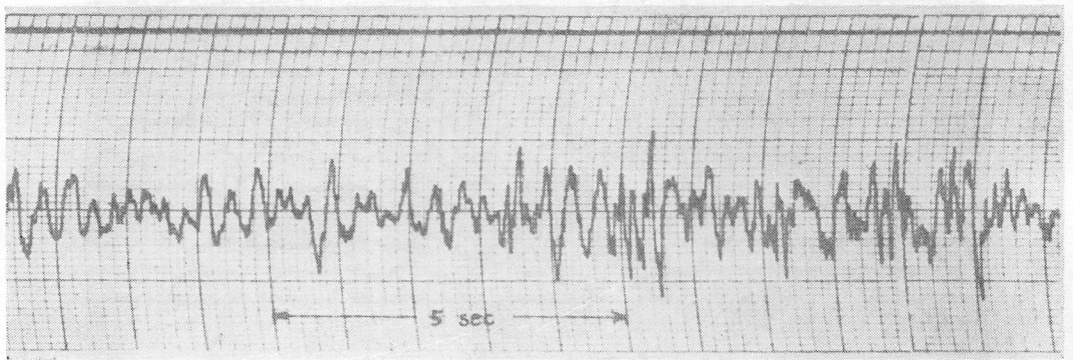
(1) A₃ で観測した記録 (A₃-2)



(2) A₄ の堤防上で観測した記録 (A₄-2)



(3) G₄ で観測した記録 (G₄-1)



(4) D₂ で観測した記録 (D-2)

第 6 図 常時微動の記録

表層の P 波の速度 V_{P1} と S 波の速度 V_{S1} とからポアソン比 σ を出すと、やはり未だ相当含水していると考えられる場所 G_1, D_2, A_2, A_4 では $0.46 \sim 0.47$ となり、殆んど水に近いものであることがわかる。唯、やや干拓地内部の A_5 では 0.32 ぐらいで前記 4 ヶ所よりは含水量も少ないと考えられる。

次に柱状図及び電気探査と地震探査とから得られた地下構造を比較すると、地質的な境界、電気的な境界、弾性的な境界はくいちがっていることがみられる。但し、柱状図は場所がいくら異なっているから、参考程度にしか較べられない。唯、常時微動は弾性的な境界に影響されることが予想されるので、A 地区では 2 層構造、G, D 地区は 1 層構造として考えてよいように思われる。

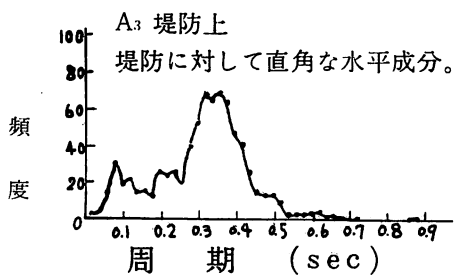
既ち以上をまとめると浅い地下構造について云えば、A 地区では P 波の速度 $230 \text{ m/s} \sim 500 \text{ m/s}$ の表層と P 波速度 $1,250 \text{ m/s} \sim 1,800 \text{ m/s}$ の 2 層をもつことがわかり、G, D 地区では P 波の速度が大体 $270 \text{ m/s} \sim 400 \text{ m/s}$ ぐらいの厚い軟弱層をもつ地下構造であることが推定される。

(ii) 地下構造と常時微動の周期頻度分布との関係

(i) で述べたように A, G, D 地区での浅い地下構造が得られたので、次にこの地下構造上でどんな常時微動が起きているかを調べるために、電気探査、地震探査を行なった測線の中心に地震計を置いて常時微動を測定した。現場での器機の故障などもあって A_3, G_4, D_2 では水平動地震計 1 台のみで測定し、 A_4 では上下動地震計も使用した。第 6 図にいろいろな場所での常時微動の記録を示した。

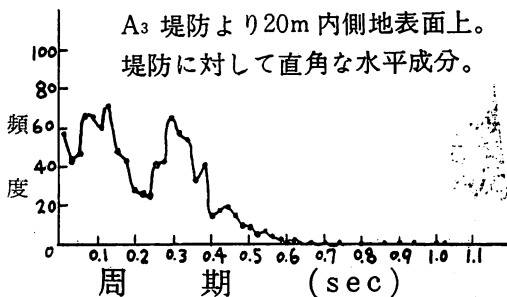
各地区の各場所での周期頻度分布を第 7 図～第 18 図に示す。常時微動の周期頻度分布を作るにあたっては、金井等⁽¹⁾と全く同じで、10 分間以上測定してその中から風などの noise のなさそうなところを 2 分間とり出して周期を読み取った。風の影響が入ってくるので data recorder から play back する際、high cut filter を使用したが、風が強かった所はその影響がかなり多く入っている。第 17 図、第 18 図に示されているように D 地区ではこの影響が入っていて、風と思われる noise の周期

A₃—1



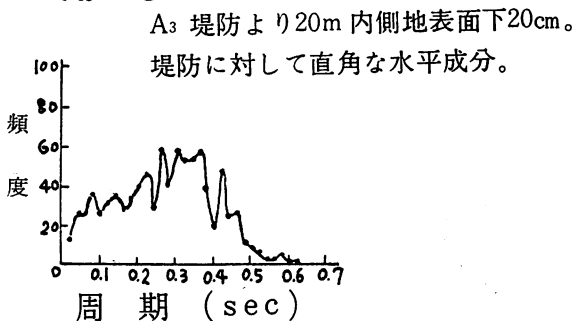
第 7 図

A₃—2



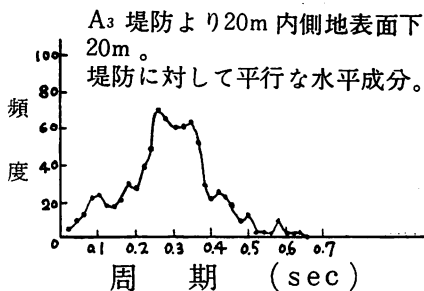
第 8 図

A₃—3



第 9 図

A₃—4



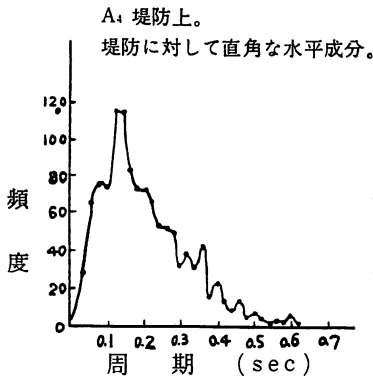
第 10 図

A₃—5



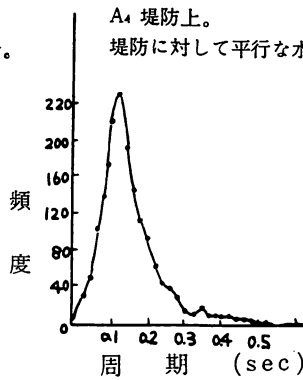
第 11 図

A₄-1



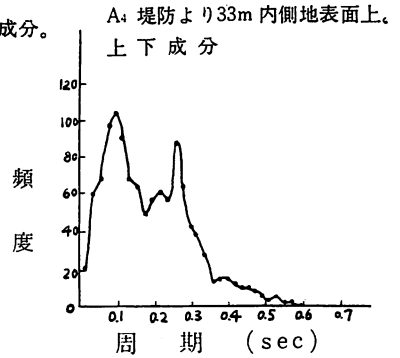
第12図

A₄-2



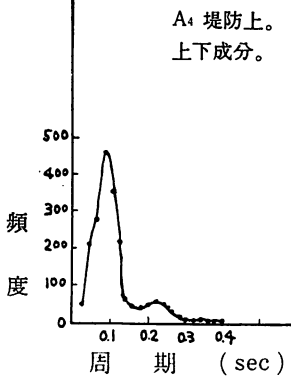
第13図

A₄-3



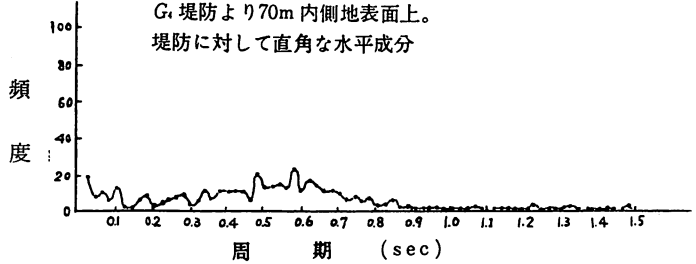
第14図

A₄-4



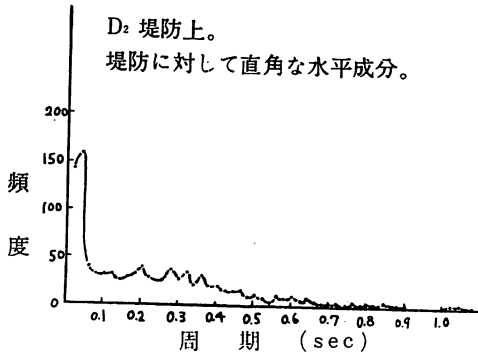
第15図

G₄-1



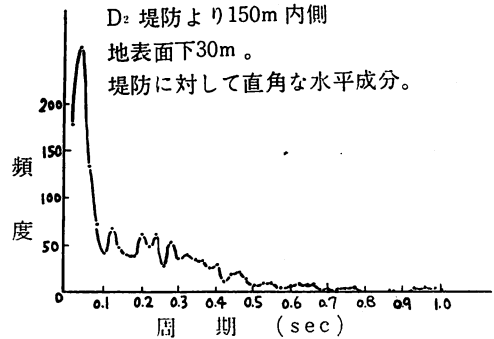
第16図

D-1



第17図

D-2



第18図

のところが卓越している。従ってこの風がないときには、周期頻度分布は平坦であると考えられる。尚、堤防での測定も行ったのでその頻度分布をも示してある。

さて地下構造と周期頻度分布との関係であるが、金井等⁽⁴⁾は表層に砂の薄い層があると0.1 sec.程度の比較的短周期に頻度の山が出ること、又表層が厚い軟弱層では周期頻度分布は平坦になることを指摘している。A地区

に於ける A₃, A₄ での測定結果は第7図～第15図に示す通りである。A₃ の場合地下構造は既に述べたように2層であって、その上での常時微動は第8図のように頻度の山が2つあり、A₃-2を除いてA₃-3(第9図), A₃-4(第10図)の卓越周期は0.3~0.35 sec程度である。このA₃-2の地点は第3図にもあるように、A₃の堤防から直角に20 m 内部の所で地表面に地震計を設置したもので

あり、 A_3-3 、 A_3-4 は同じ場所の表面を約 20 cm 掘って設置したものである。但し、 A_3-3 は堤防に対して直角な水平成分、 A_3-4 は堤防に対して平行な水平成分であるが同時測定ではない。これらの図をみてもわかるように、極く薄い表面層をとった常時微動の周期頻度分布とその同じ場所での地表面上での頻度分布は異っており、前者は頻度の山が 1 つであるのに対して後者のそれは 2 つである。又 A_4-3 (第 14 図) でも、地表面上での測定では 2 つの頻度の山が、上下成分ではあるがみられる。

このように卓越周期は、弾性波探査でもとらえられない最表面の影響を受けることを示している、以上のことを考えるとこの影響は周期の短い方にきいているように思われる。従って、A 地区のような 2 層構造の所は、最地表層の影響を除けば 1 つの卓越周期が明確に出現することがわかる。

次に第 16 図～第 18 図には G 地区、D 地区での常時微動の周期頻度分布が示してある。これをみても明らかのように、軟弱層の厚い 1 層構造の所ではその常時微動の周期頻度分布は平坦である。

既ち、八郎潟干拓地という軟弱層に於いても 2 層構造の地下では常時微動の卓越周期は鋭く出ており、厚い 1 層構造の所は平坦であると云える。

(iii) 堤防上と内側干拓地に於ける常時微動

次に、耐震的な観点から考えるために堤防上における常時微動と堤防に対して直角方向の内側干拓地上での常時微動を測定し、その比較を試みた。但し、この場合も同時測定ではなく、堤防上での測定を終わってから内側干拓地上に設置して測定を行なった。A 地区の A_3 では堤防に対して直角及び平行の水平成分を測定し、 A_4 では上下成分のみを比較した。尚 G 地区では堤防上での常時微動を data recorder で記録していなかったため比較できなかった。

先づ、各場所における堤防上の周期頻度分布の比較を行うが、A 地区の A_3 の堤防は秋田沖地震で被害を受けた場所での堤防であり、同じ A 地区の A_4 の堤防は被害を受けなかった堤防である。第 7 図及び第 12 図によりこの 2 つの堤防上での周期頻度分布を比較すると、前者は 0.30～0.35 sec に、後者は 0.13 sec. 付近に頻度分布の山がある。 A_3 の堤防は被害後修理を完了したものであるが、この卓越周期が 0.30～0.35 sec. 付近であるということは、河上等⁴³⁾の指摘されるように堤防などの工事の耐震性の大小を常時微動の卓越周期より推定し得る可能性があるということ、並びに一般に耐震設計の目安として震動の周期が 0.3 sec. が最も危険であるという東京大学地震研究所の調査⁴⁴⁾を考え合わせると、今後この堤防についてのより詳細な調査、研究を試みる必要があると思われる。又第 17 図で示される D 地区の堤防上での周期頻度分布が平坦であるということは、この堤

防の耐震性が大きいことを示している。

次に堤防上と内側干拓地での周期頻度分布をみると、 A_3 では前に述べた最表面の影響を除けば、両方の場所とも卓越周期は殆んど同じである。しかし A_4 では第 14 図、第 15 図よりわかるように、極く浅い地表層の影響を無視すれば、内側干拓地上での卓越周期と上下成分ではあるが堤防上に於ける卓越周期は異なっている。つまり、前者は A_3 の地盤と同じような卓越周期を、後者は 0.1 sec 付近の卓越周期を持っていることが明らかであり、 A_4 では内側干拓地と堤防上での常時微動特性が違っているのではないかと思われる。しかしこのことについても今後詳しく調査する必要がある。

次に D 地区についてみると、ここは殆んど震害を生じなかった東部承水路付近であるが、第 17 図、第 18 図から明らかのように堤防上も内側干拓地上も風の影響を除くと、その周期頻度分布は 0.5 sec 付近まで平坦になっている。

以上をまとめると、A 地区の A_3 では両者とも 0.30～0.35 sec 付近の卓越周期を持ち、 A_4 では内側干拓地は 0.3 sec 付近、堤防上では 0.1 sec 付近の卓越周期を持っており、D 地区では両者とも平坦な周期頻度分布になっている。

金井等⁴⁵⁾の研究によると、地震動が伝わって来た場合、常時微動の頻度分布の山が 1 つの場所ではその山は地震動の卓越周期に一致し、2 つ以上の山がある場所の地震動の卓越周期は地震動によってその何れかの山の周期となることを指摘している。この意味から考えれば A 地区よりは D 地区の方が耐震性は大きいということが云え、西部承水路堤防の方が震害を受けやすいことが指摘できるであろう。又、同じ A 地区の堤防でも A_3 、 A_4 の堤防はその卓越周期が異なっているが、伝わって来た地震動の卓越周期がいずれの堤防の卓越周期に共振しやすいかによって、両堤防の耐震性に差異を生ずるものと考えられる。

今後耐震性という問題或いは地盤調査の点から云っても、早急に八郎潟干拓地での地震の常時観測が必要であろう。

尚第 12 図、第 13 図、第 15 図は同時測定ではないが A_4 の堤防上での 3 成分の周期頻度分布である。これをみると大体三成分とも卓越周期は 0.1 sec 付近にあることがわかる。

V. 結語及び今後の課題

以上、地下構造の探査から始まってその地下構造と常時微動との関係、或いは堤防の耐震性にもふれて来たが、常時微動については本稿では周期頻度分布のみを用いた。常時微動については、尚振巾をも考慮すべきであると思われるが、そのためには常時微動を Fourier 解析

する必要がある。この報告には間に合わなかったが、東北大学の電子計算機で解析中であるから追って報告する予定である。今回の調査では未だ data が足りないので、地盤振動の基礎的な面からの調査を今後も続けていく積りである。

測定に当って地震計、増巾器などをお貸し下された東北大学理学部地球物理学教室、現地での調査、並びに測定のためいろいろと便宜下された八郎潟干拓事務所の皆様に深く謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) Kiyoshi Kanai, Teiji Tanaka and Kaio Osada
"Measurement of the Micro-tremor" (I~VIII)
Bull. Earthq. Res. Inst., Vol 32 (1954), 199~Vol
39 (1961) 97
 - (2) 河上 房義 “秋田地震による八郎潟西部承水路堤防に生じた震害と地盤の常時微動について” 八郎潟新農村建設計画調査委員会報告書, 社団法人, 土質工学会 (昭和 39 年 11 月)
 - (3) 八郎潟干拓事務所 “男鹿沖地震 (仮称) による堤防災害について” 八郎潟新農村建設計画調査委員会報告書, 社団法人, 土質工学会 (昭和 39 年 5 月)
 - (4) 東京大学地震研究所, 秋田大学 “調査団による地震による堤防災害についての調査概要” 八郎潟新農村建設計画調査委員会報告書, 社団法人, 土質工学会 (昭和 39 年 5 月)
-