

岩盤地帯における地震動

埼玉大工学部

岡本舜三

東大生産技術研究所

田村重四郎

会 上

加藤雅行

三 冷 社

小野公一郎

茨城県益子郡藤原町東京電力株式会社(電線)制御所地下発電所に於て会社の協力のもと地震の観測が従来より行われている。発電所は地表より67mに設置されており、資料搬入用堅坑を持つ。この堅坑には昭和38年に5台の加速度計と2台の変位計を設置して、変位計は地表と堅坑底に夫々1台づつ、加速度計は地表と堅坑底及びその中間に等間隔に3ヶ所設置された。昭和42年秋この堅坑より約20m隔てた地盤のBoringを行ない地質調査を行つるとともに埋込型加速度計2台を³坑内に埋設した。埋設方向はE-Wである。計器は地質の変化しているlevelにおける地震の奇化を知つておけるため数mの深さの上下或いはcrackを戸の上下等に設置して、この向に新潟地震(1960)と勝井地震(1968)を念の2/50ID以上の地震動を記録して。

(1) 観測地帯の地質

観測地帯は関東北部山地地帯の常陸山地南側でありこの地域の表層地質は片麻岩系からなる石英粗面岩、石英内緑岩、緑色凝灰岩、安山岩等よりなる。観測地帯には赤色の緑色凝灰岩よりなる地帯が多少のslatyまたはpandyな地層を呈し、発達している。緑色凝灰岩は10~25°の傾斜を多量に持つ、NEE-SWWの走向を持つていて、NW-SE、NNW-SSE、NEE-SWWの方向の3種のjointが発達している。これらのjointと共に発達した部分に粘土質の土層が見られるが、層方向のずれは強くない。緑色凝灰岩のcrackは主としてNEE-SWW方向には垂直の石英粗面岩及び石英内緑岩が置入している。

観測地帯を行つた際67.2mまでのBoringによると地層は主として粗粒緑色凝灰岩と多少のslatyの部分を含む。Coreの採取率がかなり一様であり100%に近く、長さ80cm以上のCoreを採取した部分もある。Coreを調べた結果は次のようである。

7.90m~42.25m: 粗粒緑色凝灰岩の一部にごく薄い層状した部分及び粘土質した層を呈す。

42.25m~50.40m: 粗粒緑色凝灰岩、細粒緑色凝灰岩、粘板岩質岩の互層

50.40m~54.00m: 粗粒凝灰岩

54.00m~57.50m: 粗粒緑色凝灰岩、細粒緑色凝灰岩、粘板岩質岩の互層

57.50m~67.20m: 粗粒凝灰岩。

地下67.2mまで達したboring孔を利用して電気検、密度検、反射検、速度検が行われた。電気検では3極法による地層の抵抗率の測定が行われた。密度検では ^{60}Co 及び ^{137}Cs を用いてγ線の透過強度を測つてBoring孔周囲の地層の体積密度を求めた。反射検ではBoring孔内に超音波の発振器を7ヶ所7ヶ所おとし受振器で反射パルスを記録し、孔壁の岩盤の硬軟の程度、亀裂の位置、大きさ、強度等を推定した。また速度検ではBoring孔内に発振器受振

子を3m間隔におき茶藨より受振までの時間差を測定して、これにより周囲の地層中を伝わるP波の速度が測定される。

以上の検出の結果との2とを用いると以下の通り。

1. 密度は 2.15~2.46 に変化しないが、2.2~2.3 の部分が多い。
2. 深さ45mを境としてそれより表層部の脆性の少ない比較的硬い性質をもつ、電気抵抗、反射回数とも大きく、P波速度は 3.5~4.1 km/sec である。しかし45mより下層部の電気抵抗、反射回数とも減少しP波速度は 3.4~3.6 km/sec とする。
3. Boring 花状図における弱層或いは crack と電気抵抗値の減少、反射回数の減少する層とはほぼ一致する。
4. P波の伝播速度試験の結果、緑色凝灰岩中の軟土化してP波を伝わることによりその影響をうけるものがある。

(2) 岩石試験

Boring で得た径6cm cone について2次の機械的試験を行った。

1. 浸水試験：試験片を約2ヶ月間空气中に放置した後、48時間浸水による浸水試験を行った。この結果は比重が若干と変化しなかった。
2. 超音波試験：1Mcps の超音波試験による伝播速度(平均)は乾燥時3.80 湿潤時3.91%である。
3. 静的圧縮試験：縦圧縮試験を行った。この結果ポンジ係数は気乾状態のものに $E = 2.24 \sim 2.84 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。飽和状態ではポンジ係数は 4~10%減少し $E = 2.05 \sim 2.47 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とする。

(3) 地震観測の結果

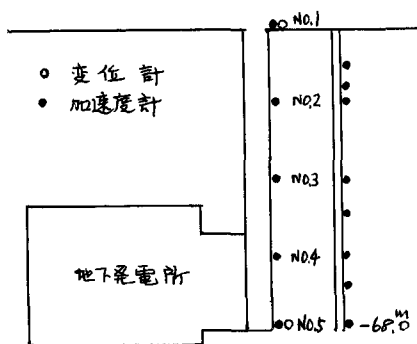
壱坑内に設置した地震計の記録を整理した結果以下の通りである。

(A) 深さ方向の加速度の分布について

1. 小地震においても大地震においても Acc No. 4 と No. 5 の級形及び大きさは類似している。
2. Major 小さいのままで震央距離が遠く振動の長周期の小さい加速度を示す。地震では深さ方向に異なる加速度分布はほぼ同様である。
3. 大きな加速度を示す地震では Acc No. 3 以上において振動が増大される。この程度は地震動の加速度の大きさ、周期級の成分によつて異なる。この増大は表層地層の標高の傾斜によつて生ずるものと考えられる。
4. 大地震の場合表層地層の性質が係率に大きく影響する。地表と坑底における最大加速度の比は小地震の場合では1~2の間に入るが大地震では2~3倍に達している。

(B) 深さ方向の変位の分布について

1. 坑底と地表との変位は若干と差がある。



2. 周期の長い波動もあり0.5秒以下の短い波動も含まれる。

3. 最大変位の比が1.0~1.5の範囲に入る。即ち変位の倍率より加速度の倍率より低い。

4. 倍率が高くなる場合は長周期を持つ振動の上で比較的振幅の大きい周期0.1~0.2秒の高周波振動が重なる場合である。

5. 倍率が1に近い値である場合は次のような性質を持つ場合である。

i) 変位のわりには加速度が小さい。

ii) Acc No.1 ~ Acc No.5 まで周波数は2次と変化が大きい。

iii) 加速度波形は0.05~0.08秒の奇麗な波形をもつ振動の小さい波意であり、変位波形は0.06~0.12秒の振動の小さい波形である。

(C) 最大加速度、マグニチュード、震央距離の関係について

地下672kmにあるAcc No.5の最大加速度とマグニチュードと震央距離の関係を表すものとして、その関係が次の式で表わされる。

$$\log_{10} \frac{a}{440} = (-0.1036 M^2 + 1.7244 M - 7604) (0.4 + \Delta)$$

ここで注意されることはマグニチュードが大きい場合長い周期の成分が卓越すること、卓越する成分の周期はマグニチュードが一定でも最大加速度の値が異なることであることである。

(D) 最大変位、マグニチュード、震央距離の関係について

最大変位とマグニチュードと震央距離の関係については坪井博士の導いた式がある。これに観測された最大変位とこの式による計算値とを比較すると実測値は計算値の約20%である。これは観測点の地盤が岩盤であるためであると思われる。

変位波形は一般にその範囲の周期の振幅が最も小さいと現れるのであることこの最大値の大きさは1つの周期に固定されるままである周期を並べたものである。したがってこの場合最大変位を示す振動の周期を指摘するとは十分のしい。

(E) 変位波形の性質について

変位波形は震源の深さ震源機構、マグニチュード、震央距離、経路等によつて影響を受けると思われる。この地震に於て記録された地震の震源は茨城南面、茨城沖、福島沖、千葉沖中部又は北沖のものが多し。遠地震 (Mの大きいもの) の記録されたものでも周期の長い波形が顕著に存在を示しており、 $\Delta = 100 \sim 200$ km の地震ではマグニチュードが大きい場合0.1秒程度の波が顕著な波形に重なる。つまり100 km 以上の地震では0.07~0.20秒の波が比較的よく重なる。また視察によると波形の特徴が震源地域別に認められることである。

(F) 加速度波形の性質について

加速度波形は変位波形に比して複雑で不規則でありその性質が一様を区別できないものである。主要部のみをみても周波数特性は必ずしも異なる。たとへば近地震を例にとるとその加速度記録には高周波成分が多いので0.5秒向地震固定帯であつてもその向に数回の波が入り出すのでこのような区別の連続であつた場合、周波数特性を平均したものとなつてよいからどうも疑問がある。即ち加速度波形の場合長い区間をとつて波形分析を行つたの周波数特性をとり出すことは全く意味のないことである。

表-1

地震番号	年月日	M _s =4.2-1	震源深	震央距離	震央地	最大加速度	主要周期
2	38.12.24	5.2	60 ^{Km}	87 ^{Km}	茨城南面	4.9 ⁹⁰¹	X
30	39.5.11	4.3	20	43	福島西部	5.3	●
32	39.5.30					2.31	X
19	39.6.6					14.3	●
21	39.6.16	2.5	40	180	新潟沖	6.0	⊙
49	39.11.12	4.9	30	53	群馬県	2.2	X
50	39.11.14	5.1		90	茨城北部	3.7	X
58	39.12.20	5.3	40	143	福島沖	5.4	X
60	40.1.24	5.2	60	120	茨城東沖	3.8	●
61	40.1.27	4.7	80	90	茨城西面	3.6	●
65	40.2.14	4.3	60	80	茨城西面	6.9	●
65-B	40.4.6	5.5	60	80	茨城南面	18.5	●
70	40.4.20	6.1	20	255	靜岡北地	0.83	⊙
81	40.9.11	5.5	60	156	福島沖	1.6	⊙
83	40.10.14		120	58	関東中部	2.7	⊙
91	41.1.13	4.3	60	86	茨城西面	5.8	●
92	41.1.20	5.3	0	180	佐渡	0.9	⊙
94	41.1.29	4.3	60	84	茨城南面	5.1	●
95	41.3.14	5.0	40	124	茨城沖	2.1	X
96	41.4.3	5.8	20	173	茨城沖	2.0	X
101	41.5.25	4.3	40	96	千葉南	4.4	●
110	41.10.28	5.0	60	130	千葉	0.8	● X
115	42.1.17	6.3	30	283	全華山沖	0.8	⊙
125	42.8.20		80	88	茨城南	5.9	⊙
129	42.9.19	5.0	40	201	福島沖	4.6	⊙
130	42.11.4	5.8	50	200	福島沖	1.6	⊙
132	42.11.8		70	82	茨城西面	1.4	⊙
133	42.11.10		80	151	千葉中部	1.9	X
134	42.11.19	6.0		135	茨城沖	2.9	X
139	43.2.26	5.4	50	188	福島沖	4.9	⊙
140	43.2.28		340	490	北海道沖	2.3	⊙
	43.5.16	7.9		540	千葉沖	1.7	⊙
	43.10.8				小笠原沖	2.2	⊙

● 0.03~0.08秒 × 0.05~0.15秒 ⊙ 0.15以上