

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎
 東京大学大学院 学生員 川上英二
 東京大学生産技術研究所 正員 加藤勝行

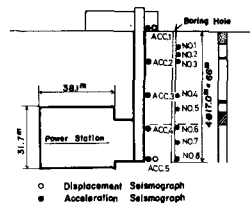
1. 概説 岩地盤の地震動の性質を調べる事は、岩盤に直接建設されるダム・橋・原子力発電所・トンネル・地下発電所等の構造物の安全に役立つ。また、沖積層への基盤(岩盤)からの入射波を知る上でも重要である。地震動の深さ方向および広がり方向の波形を検討する事は、地盤の振動特性や波動の伝播の様子を知る手段となる。本報告は岩地盤における地震動の深さ方向の性質について伝播の様子を明らかにしようと試みたものである。

2. 観測地点の地盤状況および測定計器

著者らは昭和39年より東京電力K.K. 鬼怒川制御所の地下発電所に通じる堅坑およびボーリング孔で地震動を観測している。深さ67.2mの堅坑には約17mおきに固有振動数3Hzの動線輪型加速度計(総合特性で増幅率は25Hzまでほぼ一定)が据えつけてあり、また、地表と地下67.2mには固有周期1secの変位計が据えつけてある。ボーリング孔には総合特性として約15Hzまで増幅率が一定の歪計型の加速度計が地下67.2mまでに8個埋設されてある。加速度計・変位計の測定方向はすべて東西方向のみである。計器の配置を図-1に示す。

General View of Power Station

図-1



観測地点の地盤はボーリングの結果によると、地下8mまでは表土(河床堆積物)であり、8m以深は粗粒緑色凝灰岩を主としたオ3紀層でほぼ均質であるが、所々に薄い(20~30cm)凝灰岩の風化した粘土層を挟んでいる。

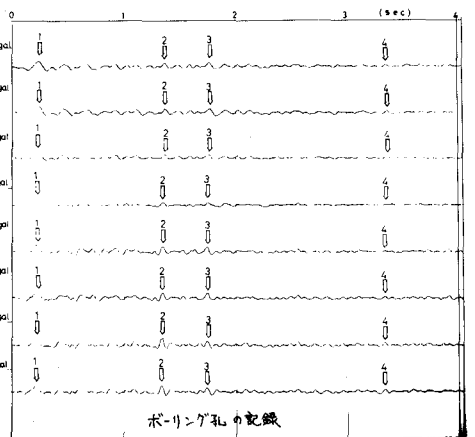
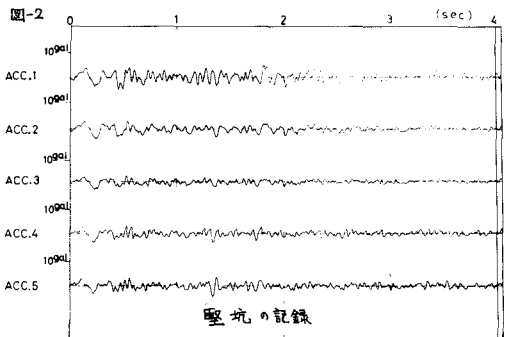
3. 観測データと解析

3-1 観測データ 昭和48年6月17日の根室半島沖地震(マグニチュード 7.4、震源深さ40km、震央距離約870km)の主要部分と思われる部分約4秒間の堅坑とボーリング孔の記録を図-2に示す。堅坑の記録とボーリング孔の記録の違いは、測定計器の周波数特性の違いによる

ところが多い。ボーリング孔の記録NO.1~NO.8と堅坑の記録ACC.1~ACC.5はそれぞれ波形の特徴はよく似ており、それぞれの記録で波形の対応をつける事が可能である。対応する鋭い山(図-2で矢印1~4で示す)に対して、測点の深さと山の時間のずれをNO.1を基準としてプロットしたのが図-3である。矢印1のように比較的長周期の山では明確ではないが、矢印2・3・4のような短周期の山では波形のずれ時間は測点の深さとほぼ直線的な関係がある。波形は地下深くでは早く、地表に近づく程遅れており、あたかも地下から地表に向か、て波が進んでいるように見える。地表から地下深部へ進む波はそれにくらべて明瞭でない。

3-2 地表と地下の波の相互相関

図-2の波形を約0.005秒間隔で読取り、地表の波(ACC.1)の自己相関、地表の波(ACC.1)と地下の波(ACC.2~ACC.5)の相



互相関を図-4の実線で示す。例えば2番目の図は時刻 t のACC.1と時刻 $t+t$ のACC.2の時間平均

$$E[ACC.1(t) \times ACC.2(t+t)]$$

を求めた。自己相関ではおくれ時間 $\tau=0$ で大きな山が1個できるのに対し、相互相関では $\tau < 0$ に大きな山ができ、 $\tau > 0$ に小さな山ができる。2つの山の τ を τ_1 、 τ_2 とおき、測点の深さに対しプロットしたのが図-5である。 τ_1 、 τ_2 は深さ方向にほぼ等しい傾きで直線的に変化している。また τ_1 の山はACC.1が τ_1 秒前のACC.2~ACC.5と似た成分のある事を示し、 τ_2 の山はACC.1が τ_2 秒後のACC.2~ACC.5と似た成分のある事を示している。これは、地下深くから地表方向に入射して、地表近くで反射して再び地下深くに向かう波の存在を仮定すれば説明できる。 τ_1 の山が地下から地表への入射波であり、 τ_2 の山が地表から地下への反射波と考えられる。また図-5は図-3と類似しており、この直線の傾きが、その深さでの位相速度の鉛直成分を示すと考えられる。尚、堅坑の加速度計相互の位相特性の差は20 Hz以下で最大0.005秒位であり、上の結果は計器による誤差の範囲外である。

τ_1 と τ_2 の差を無視して、地下の測点で観測される波を地下からの入射波とその地表面での反射波の加わったものと単純に仮定する。ACC.1の自己相関から次のように地表と地下の波の相互相関を試算する。

$$\tilde{R}_{i1}(\tau) = \alpha_i \times R_{11}(\tau - \tau_{0i}) + \beta_i \times R_{11}(\tau + \tau_{0i}) \quad (i=2, 3, 4, 5)$$

ただし $\tilde{R}_{i1}(\tau)$ はACC.1とACC.iの相互相関の推定値であり、 $R_{11}(\tau)$ はACC.1の自己相関である。 $\tilde{R}_{i1}(\tau)$ と実測による相互相関との自乗誤差が最小となるよう α_i 、 β_i 、 τ_{0i} を決めた時の $\tilde{R}_{i1}(\tau)$ を図-4の点線に示す。ただし τ_{0i} は波形の読取り間隔0.005秒間隔、 α_i 、 β_i は0.01間隔での最適値を求めた。

ボリング孔の記録に対しても、地下9mのNO.1を基準としてNO.1の自己相関、

NO.1とNO.2~NO.8の相互相関を求めたものを図-6に示す。入射波と考えられる山は明確であるが、反射波と考えられる山はあまり明確でない。堅坑の時と同様に求めた τ_3 を深さ方向にプロットしたのを図-5の点線で示す。図-2、図-5から求めた位相速度の垂直成分は1500~1900 m/sec位である。

4. まとめ 岩盤地帯で得られた地震記録について、測点の深さによる地震波形の位相の違いを直接波形より調べると共に相互相関を算定し検討した結果、金井博士が指摘しているように岩地盤においても、沖積地盤におけるように、地震の主要動で地下深部から地表に向かって進む波が地表(地表面や表土と岩盤の境等)で反射して、再び地下深部へと進む波が存在する事が認められた。また反射波は入射波と比べ振幅がかなり小さくなっている事がわかった。これは地表付近で反射する時のエネルギーの損失、複雑な重複反射の結果波が分散される事の影響、波の進行に伴う減衰等が考えられる。今後更に解析を進めて行くつもりである。

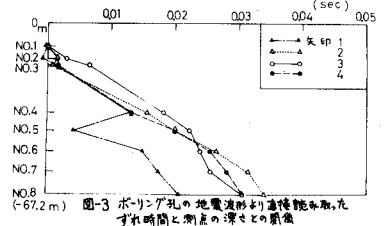


図-3 ボリング孔の地震波形より直接読み取れずれた時間と測点の深さとの関係

図-4

i	α_i	β_i	τ_{0i}
2	0.27	0.57	0.0145
3	0.26	0.51	0.0142
4	0.24	0.55	0.0137
5	0.23	0.50	0.0137

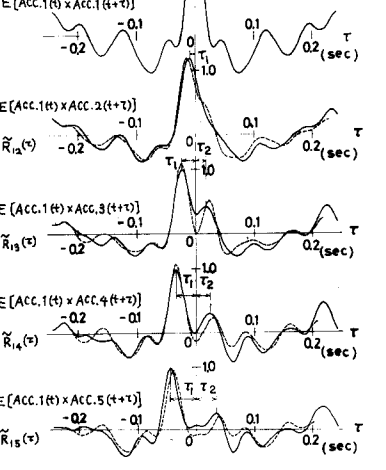


図-4 実線はACC.1の自己相関ACC.1とACC.2~5との相互相関、点線はACC.1=自己相関より推定した各相互相関 $\tilde{R}_{i1}(\tau)$

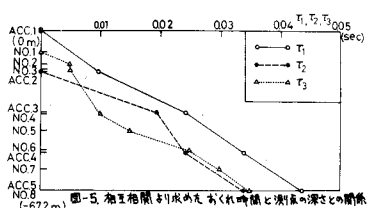


図-5 相互相関より求めたおくれ時間と測点の深さとの関係

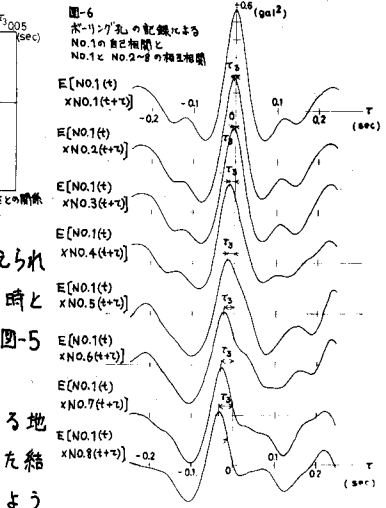


図-6 ボリング孔の記録によるNO.1の自己相関とNO.1とNO.2~8の相互相関