

北海道大学 正員 金子孝吉
北海道大学 正員 渡辺 昇

1. まえがき

弾性地盤中の基本的な変位波動の軌跡の式は波動理論により解かれている。⁽¹⁾ また自然地震の記録から観測点の振動粒子の軌跡図を描き、その軌跡から地震動の性質が明らかにされている。^{(2),(3),(4)} しかし地震時において実際の地盤の振動およびその軌跡がどの程度理論通りの性状を示しているかを確かめるにいたっていない。

本報告は青森県津軽大橋架橋地点において行なったダイナマイトによる人工地震の記録から求めた軌跡とこの地点で発生すると思われる理論的な波動、P波・S波・Rayleigh波およびLove波、の変位軌跡との比較検討を行なったものである。

2. 軟弱地盤における人工地震波の測定と地震動の軌跡

青森県津軽大橋の竣工に伴い現地において火薬によって軟弱地盤に人工的な地震を起し、地表および地中の震動を記録した。図-1は震源Eと観測点Aを示したもので、E1は薬量 g が1kgと10kg、深さ d が4mと20m、それ以外のE2～E7は $g=0.5$ kg、 $d=4$ mとした。

先に現地において地盤の弾性波特性お

よびボーリングN値を測点してあるが、図-1 震源および観測点の配置 図-2 地盤構造とN値
れは図-2に示す通りである。図-3の地震波は測定された記録の一部で震源が(a)はE3($g=0.5$ kg、 $d=3.5$ kg)、(b)はE1($g=1$ kg、 $d=4$ m)の場合である。測点A₂とA₃は地中地震計によるものである。これらの変位記録の3成分(NS,EWそしてUD)から地震動の軌跡図を求め、図-4と図-5に示す。図-4は図-3(a)のE3による地表A₁の記録で、図-5は(b)のE1によるA₁の記録である。0.02秒間隔で読み取ったデジタル値を40個、つま

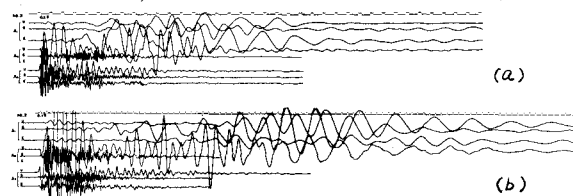


図-3 人工地震波記録

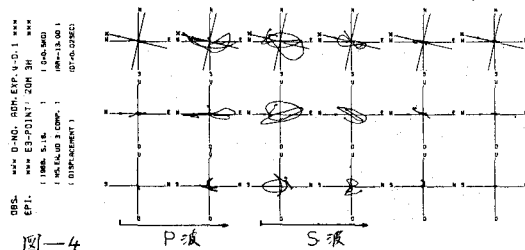


図-4

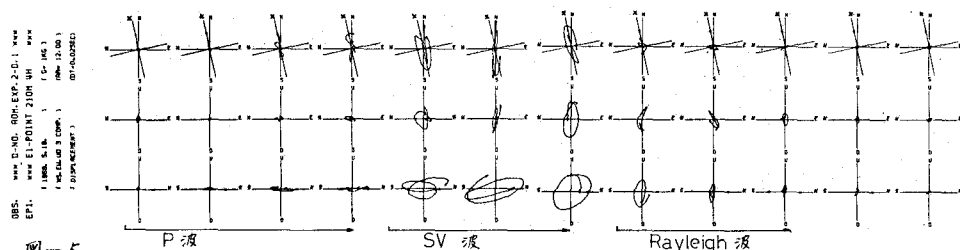


図-5

り0.8秒間づつを1つの座標に描かせ、(a)は4.8秒間、(b)は9.6秒間と波形全体の軌跡を示した。

3. 理論的な変位軌跡と実測された地震動軌跡との比較

理論的にモデル化した弾性地盤に震源から伝播してくる波動P, Sおよび新たに地盤中に発生する表面波R, Lを図-6のように示す。測点1では震源に近いので、P波・S波とそれらの反射波、屈折波が観測されるが震源から遠く離れた測点2にはP波・S波のほかに途中で表面波(SV波—Rayleigh波あるいはSH波—Love波)が発生して伝播してくる。図-3の人工地震波でいえばE3が震源距離60mで短かく、E1は210mと長くなり上のモデルに当てはまる。

さて図-7にはポアソン比0.25という硬い地盤にSV波が入射してくる場合の地表における変位軌跡が入射角 θ の変化によって図のように変わってゆくことを理論計算して示したものである。それに対して図-8は図-2で示された弾性特性を有する青森県の軟弱地盤において、SV波入射を仮定したときの地表および地中30mでの変位軌跡である。図-7と図-8と比べてみると、軟弱地盤である図-8の場合、入射角が 8.05° までは直線運動でそれ以上になるとほとんど楕円軌道になり $\theta=10^\circ\sim40^\circ$ で非常に増幅しており、図-7の硬い地盤では $\theta=35.27^\circ$ までは直線でありそれ以上が楕円の軌跡になっている。つまり地盤が軟弱なほど楕円の軌跡を生じる範囲が多いことを示している。図-8(b)は $z=30m$ での軌跡であるが形状については地表の軌跡(a)とそれほど変りないが増幅度が小さい。

また図-9は地震波の後半部に表れると予想されるRayleigh波の理論的な軌跡図である。地表 $z=0m$ での楕円軌跡の離心率は $e=0.83$ である。なおP波、SH波およびLove波については紙面の都合で省略した。

4. 結論

以上実測された人工地震による地震動の軌跡と理論的に誘導した軌跡を比較すると、① 図-4と図-5でS波部分は図-8における入射角が $10^\circ\sim40^\circ$ の場合に一致する。② 図-5の場合は表面波とみられる部分が入射角 $50^\circ\sim80^\circ$ の場合に一致し、Rayleigh波とすれば図-5中のNS-UD座標におけるその軌跡の離心率がほぼ0.83となり、図-9の理論によるRayleigh波と全く等しいものであった。

5. 参考文献

- (1) たとえば、西村源六郎；振動工学，誠文堂新光社，(2) 金子孝吉；自然地震波の性状に関する研究(その1,2)，土木学会第29,30回年次学術講演会講演集 1974.10, 1975.10, (3) 渡辺 昇；金子孝吉他；地震時における地動軌跡と波動特性，第14回地震工学研究発表会 1976.7, (4) 小林啓美他；地震動の水平面内における方向性について，Proc. of The 4th JEES 1975.11.

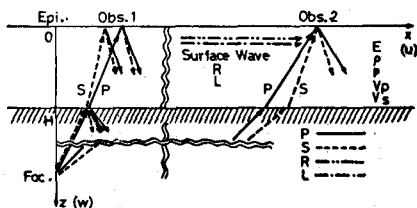


図-6 弾性地盤中の波動伝播

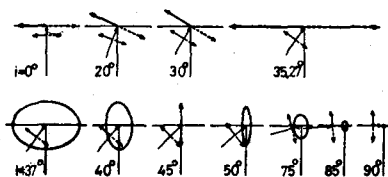


図-7 SV波入射による地表の軌跡 ($\nu=0.25$)

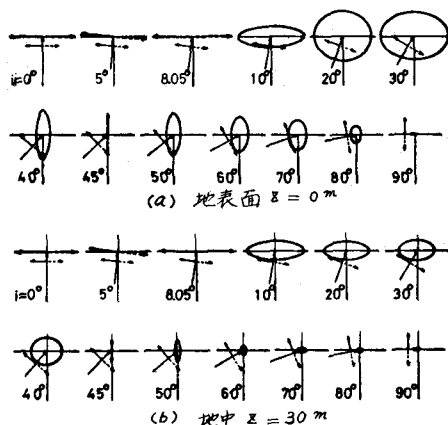


図-8 軟弱地盤におけるSV波入射による軌跡 ($\nu=0.49$)

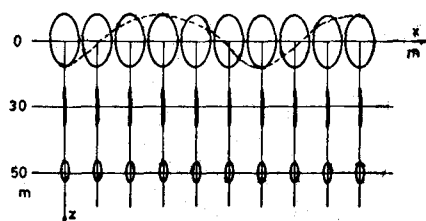


図-9 理論的なRayleigh波 ($\nu=0.49$)