

## 飽和岩盤における地震時間隙水圧変動についての一解釈

弘前大学	正会員	片岡俊一
日本地下石油備蓄(株)		植出和雄
日本地下石油備蓄(株)		岡本明夫
清水建設(株)	正会員	長谷川誠

1. はじめに 著者らは、水封式岩盤タンクを用いている地下石油備蓄串木野基地における1997年3月と5月の鹿児島県北西部の地震記録を検討し<sup>1)</sup>、地震時の間隙水圧はS波到来以降で大きく変動すること、2つの地震において間隙水圧と速度振幅に一定の関係があること<sup>2)</sup>を指摘している。参考のために3月26日の地震の記録を図-1に示す。本報告では、地震時における間隙水圧の変動について、半無限体における斜め入射SV波という単純なモデルを仮定して、定量的な説明を試みる。

## 2. 半無限弾性体における斜め入射SV波と間隙水圧の関係

半無限弾性体において、図-2のような座標系と入射SV波を考えると、単位速度振幅の入射波( $\dot{u}^i$ )に対する点( $x, z$ )における平均応力(ここでは、 $\sigma_{xx} + \sigma_{zz}$ )は、(1)式のように表すことができる<sup>例えは<sup>3)</sup></sup>。水で飽和した岩盤を半無限弾性体と考えると、地震時では非排水状態であるので、観測される間隙水圧は平均応力そのものである。つまり、(1)式によって入射波の速度振幅と間隙水圧を関係づけることができる。

$$\frac{\sigma_{xx} + \sigma_{zz}}{\dot{u}^i} = -2\rho \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 \beta \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 1 \right\} r_{SP} \exp \left[ i \frac{P}{c} \left\{ x + \sqrt{(c/\alpha)^2 - 1} z - ct \right\} \right] \quad (1)$$

ここで、 $\rho$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ は、媒質の質量密度、P波速度、S波速度であり、 $r_{SP}$ は入射角と弾性係数によって決まる定数で、地表でSV波がP波に変換する割合を示す。 $c$ は $x$ 軸に沿う見かけの伝播速度で、入射角によっては、 $(c/\alpha)^2 < 1$ となる場合があるが、この場合でも根号が虚数を取ることにすれば上式は適用可能である。 $r_{SP}$ は振動数に依存しないので、(1)式は間隙水圧と入射波速度振幅との比は振動数によらずに一定であることも示している。また、 $(c/\alpha)^2 > 1$ の場合、この比は深さ方向には正弦波状に変化するが、 $(c/\alpha)^2 < 1$ の場合には、指数関数的に深さに応じて小さくなる。しかしながら、 $c$ が $10^3$ オーダーである一方、数Hzの振動を扱っていることから角振動数 $p$ は $10^0$ のオーダーであるので $z$ にかかる係数は小さく、深さが100mのオーダーでは、それほど減少しないことが想像される。よって、

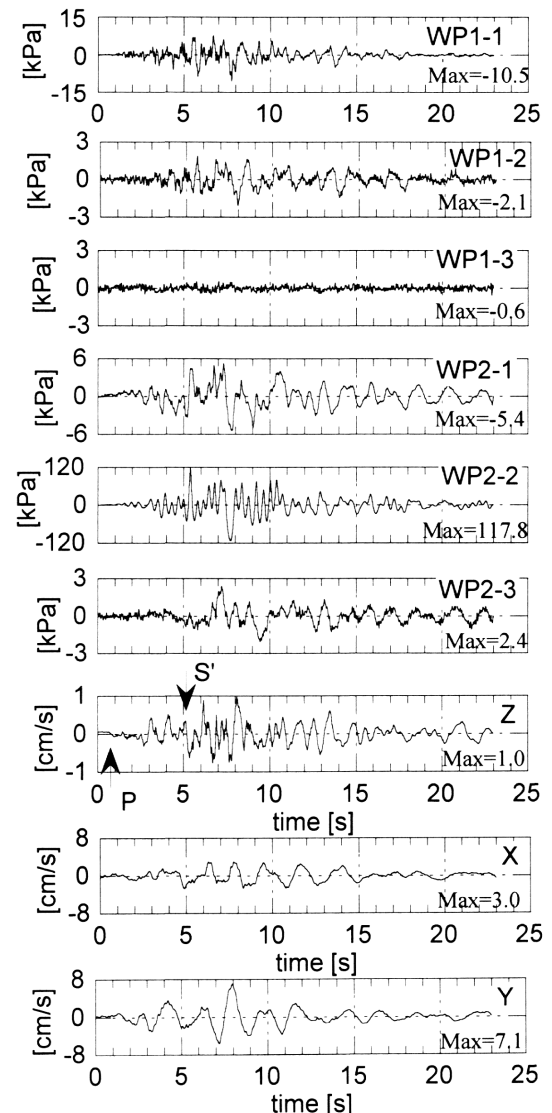


図-1 串木野基地における1997年3月26日鹿児島県北西部の地震記録

キーワード:SV波, 斜め入射, 体積ひずみ, 速度波形, 飽和状態

連絡先: 036-8561 弘前市文京町3 弘前大学理工学部地球環境学科, 0172-39-3616, kataoka@cc.hirosaki-u.ac.jp

地表の反射の影響は小さくないと言えよう。

### 3. 観測記録の検討

上述のモデルを基に、観測記録を検討する。但し、観測記録から入射波を分離することは容易でないため、入射波の代わりに上下方向の速度成分を用いる。ここで、水平動ではなく、上下動成分を用いるのは、SH波の影響を除去するためである。任意の点  $(x,z)$  における平均応力とその点における  $z$  方向の速度振幅の関係は、(1)式ほど単純な形式にはならないが、同様に求めることができる。串木野基地を対象とする場合、媒質の定数は文献 2) に示した表層と同じとして、P波速度 4300m/s、S波速度 2000m/s、密度 2.5t/m<sup>3</sup> と仮定する。また、観測点は深さ 100m とする。入射角は 42 度と推定されている。その結果、間隙水圧と速度振幅との比は約 20 [kPa/(cm/s)] となった。

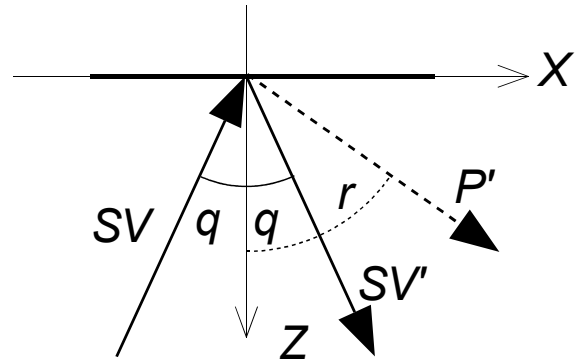


図-2 半無限体表面における SV 波の反射の模式図

図-3 に間隙水圧と速度成分の S 波初動部から 10 秒間の波形のパワースペクトルとスペクトル比を示す。なお、WP1-3 は地震に伴う変動が見られなかったため表示しておらず、WP2-2 は他と比べて極端に大きいので別の図としている。速度波形と間隙水圧波形のスペクトルを比較すると、両者とも 1Hz が卓越していることが分かる。スペクトル比は、卓越している 1Hz 前後に着目すると、概ね一定であり既報の指摘に対応している。ただし、その値は、波形の振幅に応じて異なり、間隙水圧が極端に大きい WP2-2 は理論値の 5 倍、WP1-1 と WP2-1 は半分、WP1-2 と WP2-2 が 10 分の 1 程度になっている。岩盤内の間隙水圧を説明するのに、無限体内の無限の長さの液体で満たされたボアホールをモデル化したものがある<sup>4)</sup>。その計算では算出される間隙水圧は観測値の 10 分の 1 程度である。いずれのモデルも観測事実を定量的に説明するまでには達していないが、ここで考えた半無限体への SV 波入射モデルの方が、観測事実に近い。

### 4. まとめ

岩盤における地震時間隙水圧が、半無限体における SV 波の斜め入射で生成される平均応力と等しいと仮定し、観測結果と比較した。ここで考えたモデルは非常に単純なものであり、半無限弾性体の仮定に関しては、地表が平坦でないことや実際には層構造をしている等の問題点がある。一方、地震動と間隙水圧の観測点が離れているという問題もある。しかしながら、モデルと観測結果の比較から判断すると、地震時の間隙水圧予測の第一次近似としては妥当なものと考えられよう。

### 参考文献

- 1) 長谷川誠, 宮下国一郎, 清水勝美, 岡本明夫: 地震による岩盤水理挙動-地下石油備蓄串木野基地の事例-, 土木学会論文集, No.631/III-48, 481-494, 1999.
- 2) 片岡俊一, 長谷川誠, 植出和雄, 岡本明夫: 地震時の岩盤内間隙水圧上昇に関する一考察, 地震工学研究発表会講演論文集, 177-180, 2001.
- 3) 岡本舜三: 建設技術者のための振動学, オーム社, 227-232, 1976.
- 4) 佐々木俊二, 安池慎治, 駒田広也, 小林芳正, 川村淳, 青木和弘: 釜石鉾山で観測された地震に伴う地下水圧の動的変化, 電力中央研究所報告, 研究報告:U99030, 33p, 1999.

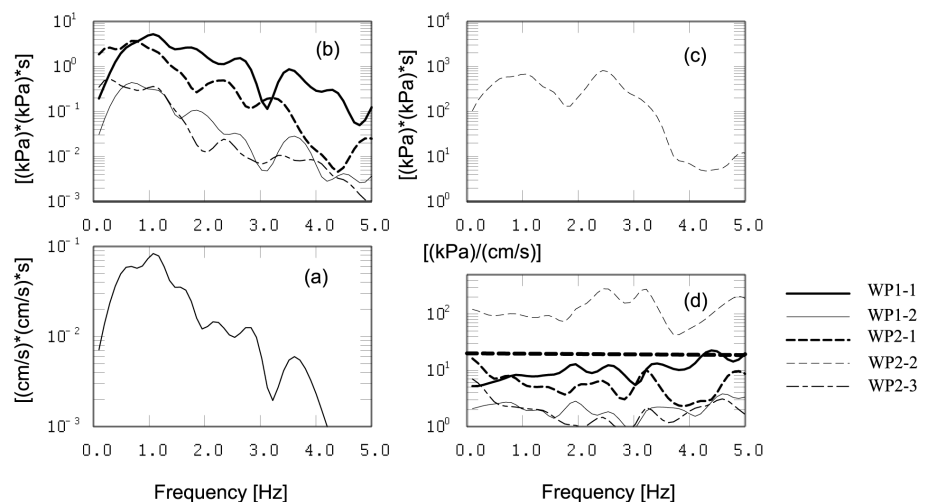


図-3 速度波形のパワースペクトル(a), 間隙水圧波形のパワースペクトル(b), (c), 両者のスペクトル比