

I-811 側方流動による洞道側壁の水平土圧に関する一考察

（財）電力中央研究所 正員 大友敬三

1. はじめに

本報告は側方流動による洞道側壁の水平土圧について検討したものである。筆者はこれまでに洞道・杭基礎系に作用する外力特性の把握を目的とした模型振動実験を実施し、杭体に作用する外力は側方流動速度に依存することを示した（大友，1994）。しかし，側方流動の影響は洞道側壁に作用する水平土圧にも認められたので，今回，水平土圧の発生状況やそれが杭体断面力に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 模型振動実験の概要

本実験では，鋼製土槽（幅300cm，高さ100cm，奥行き100cm）に地表面勾配2%の飽和砂地盤を作成し，この地盤中に洞道・杭基礎模型を設置した。実物洞道は標準断面内で2本の杭基礎で支持される形式を想定した。洞道模型は厚さ2cmの亚克力板で組立てた。洞道寸法は，幅30cm，高さ20cm，奥行き40cmである。以下，洞道模型を単に洞道と呼ぶことにする。杭基礎模型には外径2.5cmのアルミとステンレスの中空管を採用した。これら中空管の肉厚を調整することにより，3種類の曲げ剛性を持つ杭基礎模型を用意した。以下では，杭基礎模型を単に杭と呼ぶ。杭の曲げ剛性はケース1； $5.91 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ ，ケース2； $6.38 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ ，ケース3； $2.13 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ ，である。杭頭，杭先端の境界条件は完全固定となるように，鋼製キャップに差し込んで洞道と土槽底部にそれぞれ固定した。洞道と杭の計測項目は；①洞道の加速度，②洞道側壁の水平土圧，③洞道上下面のせん断力，④洞道上面および側壁の曲げひずみ，⑤杭の曲げひずみ，などである。これらの計測は図1に示す配置で行った。なお，本実験では，側方流動は図1で右側から左側に生じていたので，洞道側壁の右側，左側をそれぞれ上流側，下流側というように区別することにする。振動台による加振は振動数10Hzの正弦波を20波加えることにより行った。ただし，加振波形前後にそれぞれ3波のテーパをつけたので，加振時間は2.6秒となる。最大加速度振幅は400Gal程度を目標に設定した。

3. 水平土圧の発生状況

洞道側壁の水平土圧は液状化とともに増加した。これは土圧係数の増大によるものと考えられる。しかし，上流側と下流側で発生状況に違いが現れた。この状況を示したものが図2である。同図はケース1の例であり，深さ28.4cmにおける側方流動（F2），上流側水平土圧（E2），下流側水平土圧（E4），杭頭より6.5cm下がった位置の杭の曲げモーメント（P1）のそれぞれに関する時刻歴を示している。これらの時刻歴は振動台加振の影響による振動成分を取り除いた中立軸の移動である。また，本報告で扱う水平土圧の計測値は有効土圧と間隙水圧の和，すなわち全土圧を意味する。E2の最大値はP1がピークをとる時刻と一致する。一方，E4は側方流動が進展するにつれて減少し始め，P1が最大値をとる時刻まで減少し続ける。側方流動による杭の曲げモーメントと杭頭変位の時刻歴は対応すると考えて良い。したがって，洞道側壁の上流側と下流側水平土圧の発生状況は杭の変位に伴う洞道の水平移動により影響を受けるこ

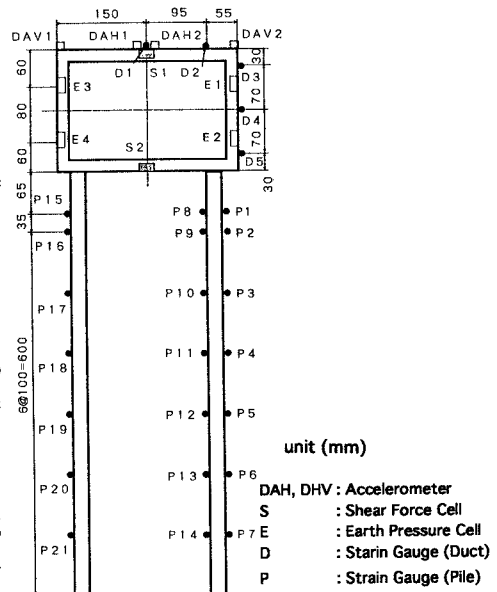


図1 洞道と杭の計測点配置

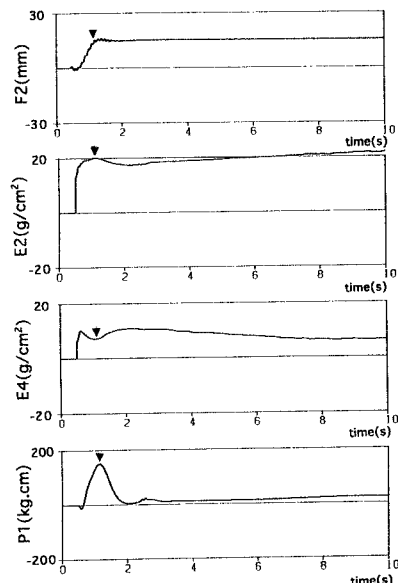


図2 側方流動，洞道側壁の水平土圧ならびに杭の曲げモーメントの時刻歴（ケース1）

とが明らかである。なお、他のケースでも同様な傾向が現れている。

河道側壁上流面と下流面の水平土圧分布は図3に示すようなものとなった。ここで示した水平土圧は振動台加振直前の値に図2で示したような液状化に伴う増分を加算したものである。液状化した砂地盤の飽和単位体積重量を 1.8g/cm^3 、土圧係数 $K=1.0$ と仮定した、いわゆる泥水圧と実験値を比較すると以下のことがわかる：①計測データの範囲内では概ね泥水圧を上回る。②同じケースの水平土圧は上流面の方が下流面よりも大きい。③杭の曲げ剛性が小さいケースほど全体的に水平土圧は大きい。このように、側方流動による河道側壁の水平土圧は剛壁などに作用する泥水圧とは異なっている。

河道の水平移動、すなわち杭頭変位は杭の曲げ剛性に依存している。そこで、杭の曲げ剛性 EI と河道側壁に作用した水平土圧強度 P との関係を検討した。ここで、 P は図3で示した上流面と下流面の水平土圧をそれぞれ、 $p_u(z)$ 、 $p_l(z)$ として

$$P = \int_0^H \{p_u(z) - p_l(z)\} dz \dots\dots\dots (1)$$

定義した。 $p_u(z)$ 、 $p_l(z)$ は河道側壁に沿って実験値の勾配で直線的に変化するものと仮定した。 H は河道の高さ（20cm）である。 z は河道上面を原点にとり、鉛直下向きを正とする。図4に見られるように P は EI が大きいほど小さくなる傾向が認められる。今回の実験条件からは、

$$P = 870 EI^{-0.4} \dots\dots\dots (2)$$

という回帰式が得られた。

4. 杭体断面力への影響

水平土圧強度 P の杭体断面力への影響を調べるため、 P のみを側方流動の外力として河道・杭基礎系に作用させた場合の杭の曲げモーメントを算定し、模型振動実験から得られたそれと比較した。図5にはケース1の場合を例示するが、 P の杭体曲げモーメントに占める割合は実験値の約40%である。このことから、側方流動を受ける河道・杭系における杭体断面力を検討する場合には、河道側壁の水平土圧だけでなく杭体外力を別途考慮する必要があることを示唆している。

5. まとめ

河道・杭基礎系に作用する側方流動の外力のうち、河道側壁に作用する土圧の特性とそれが杭体断面力に及ぼす影響を明らかにした。

参考文献

大友敬三（1994）” 地中河道・杭基礎系に作用する側方流動の外力について”，第49回土木学会年次学術講演概要集第1部（B），pp.840-841。

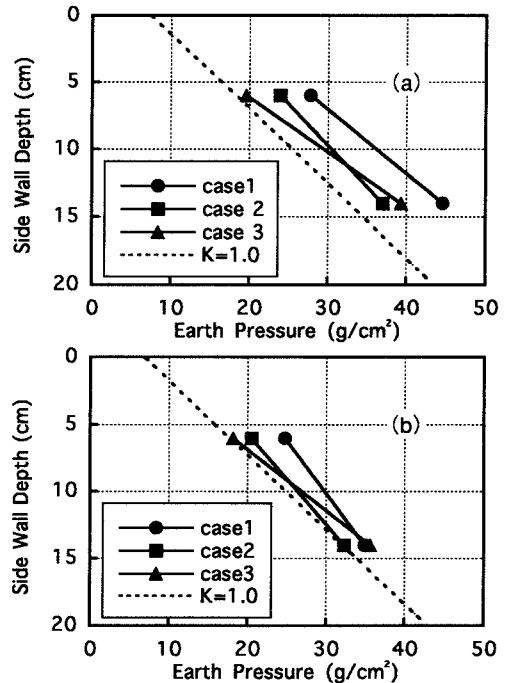


図3 河道側壁の水平土圧分布と泥水圧の比較
(a) 上流側、(b) 下流側

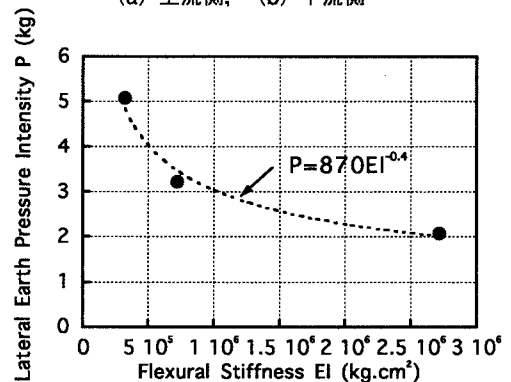


図4 杭の曲げ剛性と水平土圧強度の関係

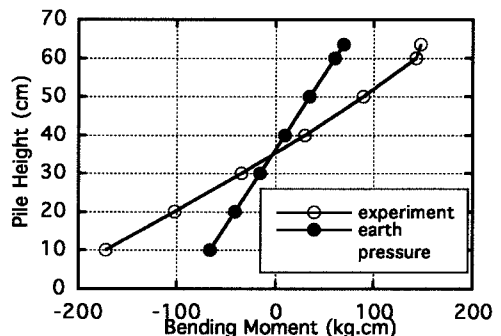


図5 杭体曲げモーメントに及ぼす水平土圧の影響