

III-518

サイナソイダル試験法の検証を目的とした室内試験結果について

鹿島技術研究所 正会員 小淵 考晃
 鹿島技術研究所 正会員 渥美 博行
 鹿島技術研究所 正会員 日比谷 啓介

1. はじめに

ルジオン試験に代表される従来の単一孔透水試験法に対し、透水係数の異方性の把握や測定精度の向上を目的として、昨今複数孔井間の岩盤の透水特性を評価するクロスホール透水試験法が試みられている。ここでは、この中で正弦波状の圧力信号の伝播に基くサイナソイダル試験法に関し、原位置試験に先立ち実施した室内試験の結果を示す。

2. サイナソイダル試験の概要

サイナソイダル試験では、複数の試験孔井のうちの1孔を発信孔とし、パッカーで閉塞した発信区間に正弦波状の圧力変化を与える。このとき伝播する圧力波形の位相遅れ及び振幅減衰を、他の観測孔井内に同様に設置した受信区間で計測する。サイナソイダル試験法は、この計測した振幅減衰及び位相遅れを圧力伝播の理論解（1次元、2次元、3次元モデル、二重空隙モデル等）と比較することにより、両区間の間の透水特性（水頭拡散率 K/Ss ）を評価するものである。

3. 試験方法

試験に用いた供試体は、多孔質の熔結凝灰岩（福島県白河郡産）であり、黑色熔結部が水平方向層状に観察される。 $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ の試料を用いて本試験後に行った岩石透水試験結果及び有効空隙率測定により推定した比貯留係数を表-1に示す。

試験は、図-1に示すように供試体（約40cm角）の層に対して鉛直方向に $\phi 10 \text{ mm}$ の孔を2孔削削し、それぞれを発信孔、受信孔とした。サーボ制御装置と二重管構造の圧力変換容器により、周波数をパラメータとした正弦波状の水圧を発信区間に加え受振区間に伝播した圧力波形を測定した。また試験中の供試体内の空隙水圧は、定圧ポンプ及び定圧リリース弁により一定に保持した。なお、試験結果の比較のため、発信区間に一定流量を注水する定流量注水試験を併せて行った。試験ケースを整理すると表-2のとおりである。

4. 試験結果及び考察

試験結果として、発信圧力波形に対する受信波形の経時変化を図-2に例示する。試験結果に対しては、3次元モデルによる解析だけでなく、前述のように供試体に層状の構造が認められることから、2次元モデル

表-1 岩石供試体の水理物性諸元

コアリング方向	水 平	鉛 直
透水係数 (cm/s)	8.5×10^{-7}	4.8×10^{-7}
有効空隙率 (%)	18	
比貯留係数 (cm ⁻¹)	3.3×10^{-8}	

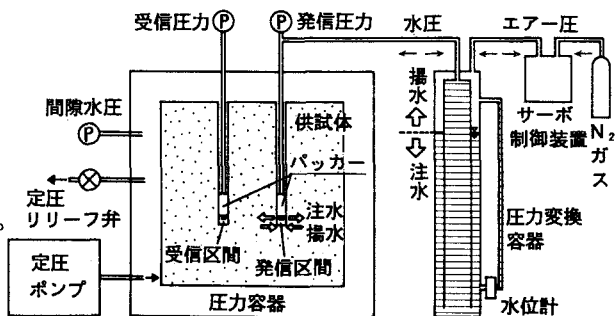


図-1 室内試験装置の概要

表-2 試験ケース 一覧

試験ケース	孔間距離 r (mm)	発信振幅 A_s (kgf/cm ²)	発信周波数 ω (rad/sec)	周期 T (sec)
①	50	5.0	4.4×10^{-2}	143
②			9.4×10^{-2}	87
③			1.9×10^{-1}	33
④	50	定流量注水試験 (発信圧力5kgf/cm ²)		

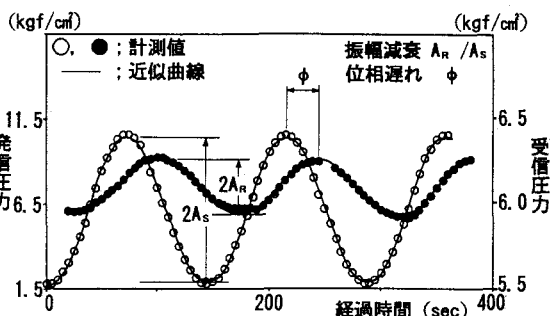


図-2 発信及び受信波形の経時変化例

ルを用いた解析も実施した。

表－3 試験結果及び水頭拡散率算定結果

これは、供試体の水平方向と鉛直方向の透水係数に差がない場合には供試体中の水の流れは球状放射流となるが、水平方向の透水性が卓越する場合

試験 ケース	試験 結果		3次元モデルに基づく評価		2次元モデルに基づく評価	
	ϕ (deg)	A_R/A_s	K/S_s (cm ² /s) [ϕ による算定値]	K/S_s (cm ² /s) [A_R/A_s による算定値]	K/S_s (cm ² /s) [ϕ による算定値]	K/S_s (cm ² /s) [A_R/A_s による算定値]
①	13.7°	6.3×10^{-2}	7.8	2.0	21.1	0.139
②	20.4°	5.7×10^{-2}	7.6	2.9	14.6	0.268
③	33.7°	5.1×10^{-2}	5.5	4.3	8.02	0.488
④			3.75			

合には2次元放射流となる可能性に配慮したものである。各試験結果と水頭拡散率の算定結果を表－3に示す。また試験周波数に対する各試験の位相遅れ及び振幅減衰を図－3及び4に示す。

(1). 位相遅れによる評価

図－3には、水頭拡散率を0.1, 1.0, 10.0 cm²/sとしたときの3次元モデル及び2次元モデルの理論曲線を示した。この図によると、今回実施した3通りの周波数 ω （周期33, 67及び143sec）の範囲内では、周波数に対する位相遅れの変動傾向は、3次元モデルの理論曲線でも、2次元モデルの理論曲線でも良好に説明できることがわかる。

(2). 振幅減衰に基づく評価

図－4によると、振幅減衰の計測値は3次元モデルに基づく理論曲線に適合するが、2次元モデルの理論曲線については、計測値に比べ周波数の増大に伴う減衰度が大きく、水頭拡散率を一意的に評価することは困難である。このように、振幅減衰については、今回の試験周波数帯において両モデルの理論曲線の傾向に明瞭な相違が認められ、本供試体の透水特性を評価する際には、2次元の放射状流れモデルよりも3次元の球状流れモデルの方がより適切であると判断された。一方、表－1から供試体水平方向の透水係数は 8.50×10^{-7} cm/s、鉛直方向の透水係数は 4.80×10^{-7} cm/sであり、若干の異方性が認められるものの高々1オーダーの範囲内である。したがって、異方性の観点からも3次元モデルの方がより適切であったものと考えられる。

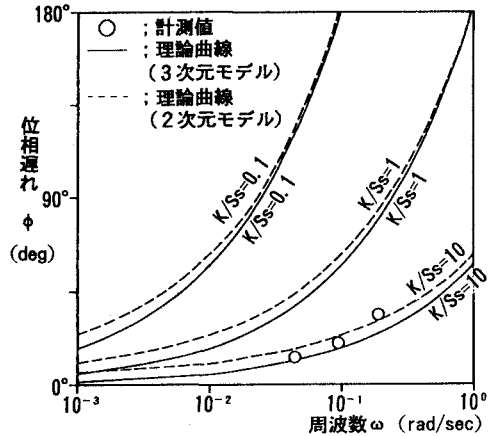
5. まとめ

サイナソイダル試験法の適用性評価を目的とし、原位置試験の実施を前提とした室内試験を行った。得られた結果は次のとおりである。

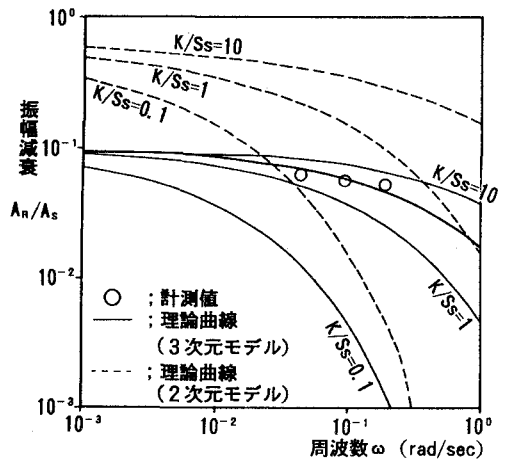
① 3通りの周波数（周期33, 67及び143sec）について試験を行ったところ、位相遅れ、振幅減衰共に、周波数に拘らず一意的に水頭拡散率を求めることができた。また、求めた水頭拡散率は、表－3に示すように従来のクロスホール透水試験法である定流量注水試験の結果と整合した。

② 解析に際し、2次元放射状流れモデルと3次元球状流れモデルを適用したところ、振幅減衰に基づく解析結果から、今回用いた多孔質凝灰岩の透水特性評価に対して3次元モデルがより適切であると判定できた。

（参考文献）；Black, J. H. and K. L. KIPP, JR, 1981, Determination of Hydrogeological Parameters Using Sinusoidal Pressure Test: A Theoretical Appraisal, Water Resour. Res., Vol. 17, No. 3, pp686-692



図－3 周波数と位相遅れの関係



図－4 周波数と振幅減衰の関係