

II-360

地盤面の作用水圧変化に対する間隙水圧の
応答時間スケールに関する実験的研究

京都大学工学部 正会員 ○酒井哲郎・後藤仁志
京都大学大学院 学生会員 森川 淳・柏村真直

1. はじめに 海岸構造物や消波ブロックの沈下・埋没などの災害の有力な原因の一つに、波浪による海底地盤内間隙水圧の変動とそれに伴う地盤内有効応力の増減の繰り返しがあることは、よく知られるところである。海底地盤内間隙水圧の変動については、これまでに多くの室内実験や現地観測が行われ、種々の解析モデルの提案されているが、既往の多くの研究は地盤工学的観点から間隙水圧計をかなり深い位置に設置して行われており、地盤面付近の詳細な計測はあまり例がない。しかしながら、地盤表面付近は漂砂現象との相互干渉領域であるので、地盤の力学的構造変化と漂砂現象の相互作用を明らかにするためにも、この領域における間隙水圧の応答特性の詳細な把握が必要である。本研究では、波圧変動を受ける海底地盤の間隙比が変化した場合の地盤内の間隙水圧応答の基本的特性の把握を目的として、階段関数的な水圧変動に対する地盤表面付近の領域における間隙水圧の応答過程の実験を通じて、海底面水圧変動に対する地盤内間隙水圧の応答時間スケールを推定するとともに、得られた応答時間スケールを著者ら¹⁾の緩和過程モデルと共に用いて正弦波型の水圧変動に対する応答過程の再現を試みる。

2. 実験の概要 本研究では、新たに作成した同時加減圧振動流装置（図-1参照）の計測部中央断面の砂層中に設置した間隙水圧センサーにより、地盤表面の水圧変動に対する地盤内間隙水圧の応答過程の計測を実施した。用いた実験装置にはパソコン制御された加減圧用シリンダが装備されており、任意の時間波形に従う水圧変動を従来と比べて高精度に再現可能である。このような装置の利点を生かし、間隙水圧応答の本質的性質を実験的に抽出するため、階段関数的な水圧変動が地盤表面に作用する際の地盤内間隙水圧の応答過程の計測を実施し、さらに正弦波型の水圧変動に対する地盤内間隙水圧変動についての計測を行った。実験条件を表-1に示す。実験に際しては、特に地盤の高密度化（間隙比 e の変化）に対する応答特性の変化に注目し、3種の間隙比を有する地盤に対する計測を系統的に実施した。

3. 緩和過程モデル 著者ら¹⁾の緩和過程モデルは、応答関数 $T_R(\tau|z)$ に指数関数が導入され、地盤内間隙水圧の静水圧からの偏差分 $p(t,z)$ の時間的緩和過程は、重畳積分型の基礎式

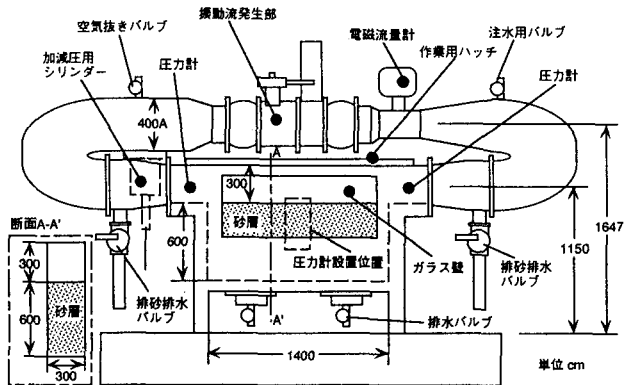


図-1 同時加減圧振動流装置

表-1 実験条件

	Δp_b	T	e	imp.	sin.
Run 1	0.5m	6s	0.873	○	○
Run 2	0.5m	6s	0.934	○	-
Run 3	0.5m	6s	1.06	○	○

[imp.=impulse; sin.=sinusoidal]

$$p(t,z) = \int_0^\infty p_b(t-\tau) T_R(\tau|z) d\tau \quad ; \quad T_R(\tau|z) = \frac{1}{\Gamma(z)} \exp\left\{ -\frac{\tau}{\Gamma(z)} \right\} \quad (1)$$

で定式化される。ここに、 t : 時間、 z : 地盤面を原点とした鉛直下向きの深さ、 $p_b(t)$: 地盤表面での水圧変動である。緩和時間スケール $\Gamma(z)$ は、階段関数型の水圧変動に対する応答過程の計測結果を用いて決定されるが、階段関数的水圧変動が生じてから十分に時間が経過した後の圧力値 p_{b0} に対する収束時間 t_R を $p(z, t_R)/p_{b0} = \alpha_R$; $\alpha_R = 0.9999$ と定義して、緩和時間スケールを推定した。間隙比を変化させた場合の緩和時間スケールの深さ方向変化を図-2 に示す。地盤面からの距離 z の増加と共に緩和時間スケールが増加する傾向は共通して見られるが、間隙比の減少と共に緩和時間スケールが増加し、間隙水圧の応答が鈍化する様子が図から理解できる。

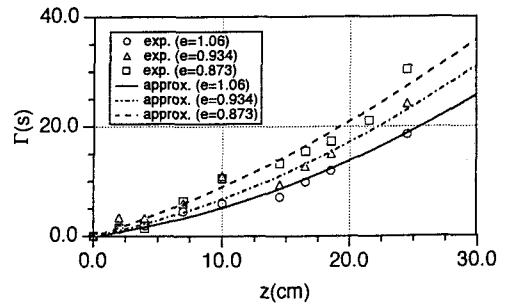


図-2 緩和時間スケール

4. 間隙比の応答過程の及ぼす影響（正弦波型水圧変動を対象として） 次に、応答特性の代表パラメータとしての緩和係数の有効性を検証するため、正弦波型の水圧変動が作用する際の地盤内間隙水圧の計測結果から求めた間隙水圧の最大振幅と変動ピークの位相差について緩和過程モデルによる予測値との比較を行う。正弦波の水圧変動 $p_b(t) = p_{b0} \cos \omega t$ (ω : 角周波数) が地盤表面に作用するときには(1)式の積分が解析的に解けて地盤内間隙水圧の地盤表面に対する応答振幅 $A_R (= p_{\max}/p_{b0})$ および地盤内間隙水圧の地盤表面の水圧変動に対する位相差 θ_R が、緩和時間スケール $\Gamma(z)$ を用いて次式で与えられる。

$$A_R = \frac{1}{\sqrt{1 + \{\omega \Gamma(z)\}^2}} \quad ; \quad \theta_R = \tan^{-1} \{-\omega \Gamma(z)\} \quad (2)$$

図-3は、間隙比を変化させた場合の間隙水圧の応答振幅および位相差の z 方向の変化について示したものである。図中の曲線は、緩和時間スケールの近似式（図-2における曲線）を用いて求めた応答振幅の解析解を示している。実験値には多少のばらつきはあるものの、間隙比の減少に伴い応答振幅が減少し、位相差が増加する傾向すなわち地盤の応答性が鈍化する傾向が認められる。緩和過程モデルに基づく計算値は、比較的深い測点の位相差を過小に評価する傾向はあるものの、少なくとも定性的には実験結果を説明するものとなっている。

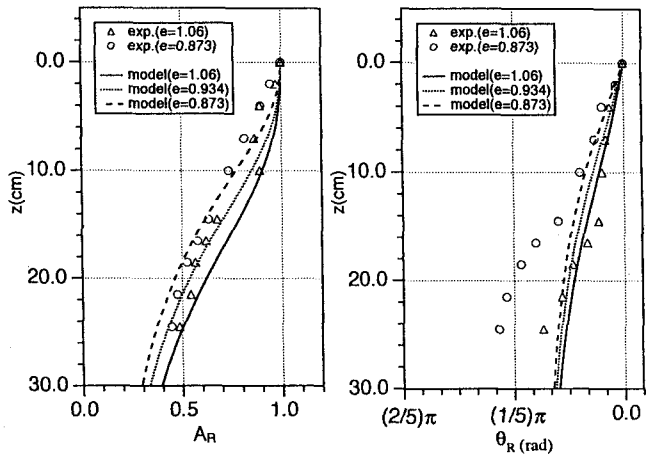


図-3 間隙比の変化と応答振幅、位相差

5. おわりに 本研究では、地盤内間隙水圧の応答過程の近似モデルとしての緩和過程モデルの有効性の一端を示し、地盤の高密度化の指標である間隙比の変化に対する地盤内間隙水圧の応答特性の変化について検討した。最後に、実験について、当時の4回生・永井秀樹君（現、東京大学大学院）の協力を得たことを付記して謝意を表する。

参考文献：酒井・後藤・森川・柏村：1)海底面の水圧変動に対する地盤内間隙水圧の応答特性に関する基礎的実験，水工学論文集第38巻，pp.511-516, 1994.