

地震時地盤の動的挙動に関する実験的研究

澤田 知之*・池浦 勲**・浦島 三朗***
小室 雅人****・能町 純雄*****

Experimental Study for Dynamic Behavior of Seismic Ground

Tomoyuki SAWADA, Isao IKEURA, Saburo URASHIMA
Masato KOMURO and Sumio G. NOMACHI

要 旨

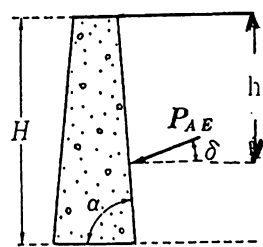
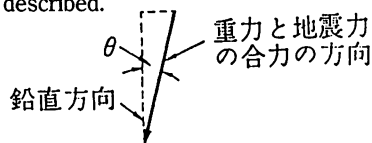
本稿は、モデル地盤を振動台上に設置してその振動時土圧を測定し、地盤への入力波の振動数 (Hz) の変化に対する動的地盤特性と地盤の深さ方向の動的圧力分布の検討を行ったものである。

Abstract

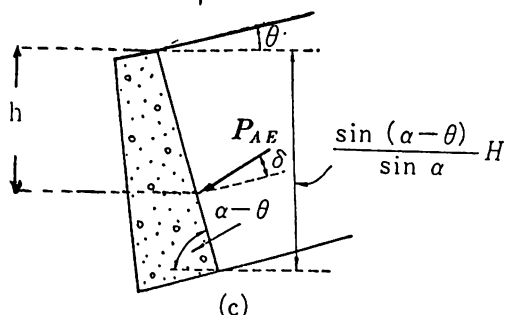
In this paper, the model test by the shaking table, of which the scope is distribution of dynamic earth pressure and effect for frequencies of inputted wave, is described.

1. ま え が き

地震時には、擁壁・岸壁や斜面等に作用する土圧は、その分布、強度が常時とは異なる分布を示すが、長年にわたる多くの研究^{1)~7)}にも拘わらず、不明な点が少なくない。現在、広く用いられている地震時土圧の計算法は震度法に基づいて物部・岡部によって提案された¹⁾。この方法によると地震時土圧の計算はクーロンによる静土圧の計算と同じ方法で行うことができる。即ち震度法では、地震時には見掛け上、重力の大きさ及び方法が変わり、鉛直震度が無く、水平震度のみが作用すると考える時、図-1に示すように地盤全体はこの地震時回転角とも言うべき地震合成角 θ ($= \tan^{-1} K$, K : 水平方向震度) だけ危険側に傾く瞬間がある。この最大危険を予想して土圧を計算する方法である。物部・岡部の計算法は粘着力のない砂質土についての地震時土圧の計算式であり、粘性土については現在確立された計算式はなく、常時土圧をそのまま用いるか、安定計算の際に安



(a) 主働土圧 重力と地震力の合力の方向

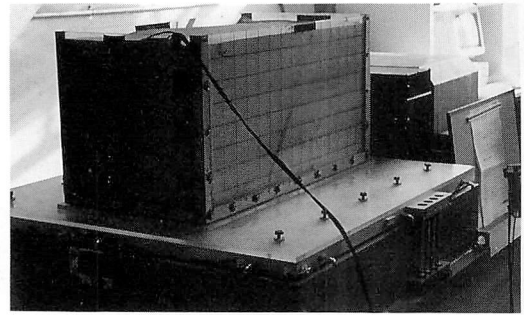


(c) 主働土圧
図-1 地震時土圧

- * 助教授 土木工学科
- ** 教 授 土木工学科
- *** 助教授 土木工学科
- **** 助 手 土木工学科
- ***** 名誉教授 北海道大学

ー3に示す。

各実験とも、まず土圧は空の砂槽に標準砂を充填し、安定状態となった所で静止土圧を測定し、理論静止土圧と一致する状態である安定状態から逐次振動を加え、所定の加速度に達した時点で測定を行った。各模型実験結果と物部・岡部²⁾の理論値との比較、参考までに松尾の実験結果³⁾との比較したものを図-4～7に示す。本実験結果は土圧計に対し圧縮の力を取っており、砂槽側壁がアクリル樹脂であり、わずかでも水平方向の変位



砂槽全体図

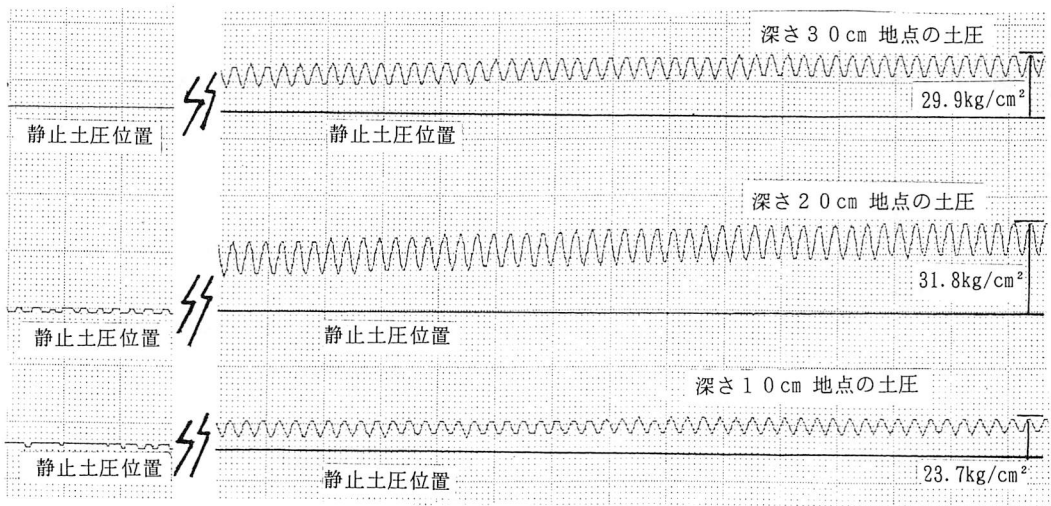


図-3 測定の1例(入力周波数: 7 Hz)

が生じたと考える場合は地震時主動土圧と仮定できると考え参考までに比較を示したものである。もしこの考えが許されるならば、物部・岡部の垂直擁壁に作用する地震時主動土圧の計算式は表面載荷重と鉛直震度が無い場合は次のように示される。

$$P_{Ea} = \gamma h \cdot K_a$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \cos(\delta + \theta) \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)} \right]^2}$$

P_{Ea} : 深さ h の地震時主動土圧

K_a : 地震時主動土圧係数

ϕ : 裏込め土の内部摩擦角

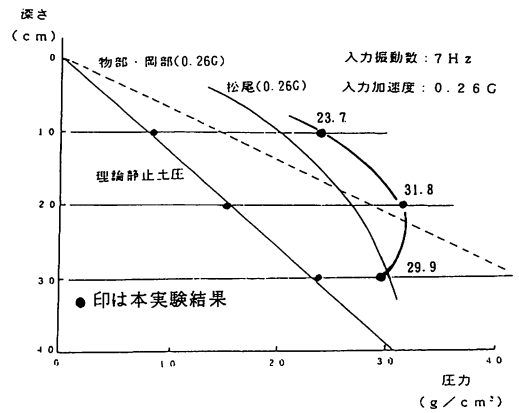
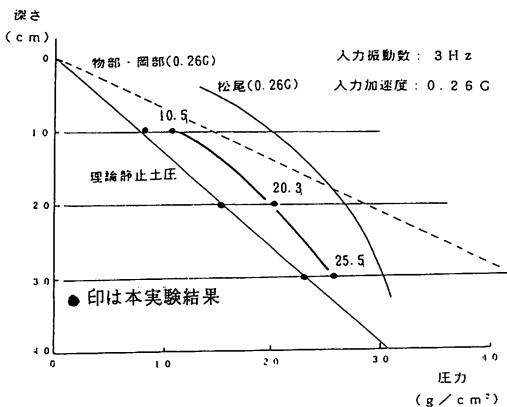
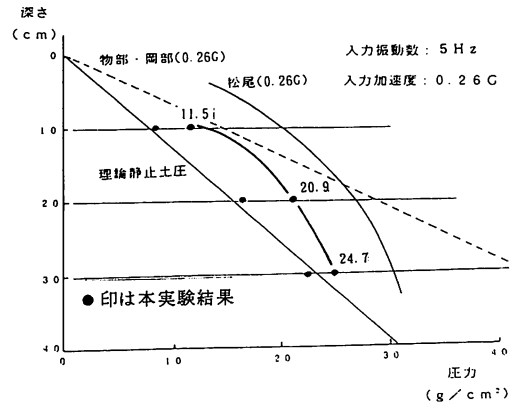
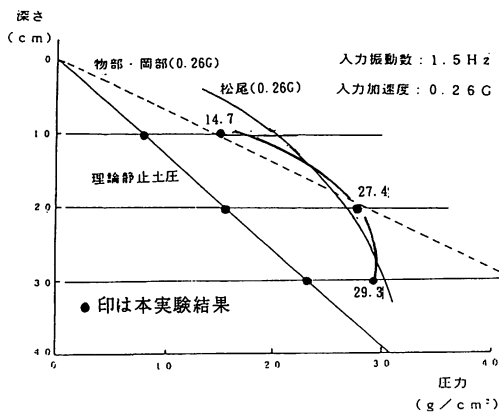
γ : 裏込め土の単位体積重量

δ : 壁面と土の摩擦角

θ : 地震時回転角

3. 考 察

図-4～図-7から H_z の変化に対応して同じ加速度であっても圧力分布が変化する。つまり物部・岡部の公式による分布とかなり異なっている。およその傾向は上部で大きく、深さによる増加は緩慢である。松尾の実験結果とは入力波1.5 Hzでやや近い傾向を示すが、他とは大きくずれた結果を示す。この事は前述の本実験を地震時主動土圧と見て比較を行った点にあると考えられる。すなわち、本実験は、主動土圧ではなく鉛直擁壁に対する振動時土圧分布のモデル実験としてとらえ、地震時設計における水平方向慣性力が深さ方向に常に一定に作用するという震度法の実験的検討を行うという観点に立つべきものと考えられる。よってこの視点から実験結果を眺め、静止土圧と測定値との差に注目して表わしたものを図-8～11に示す。図中において、この差は振動により生



じたものである。この土圧差を質量で除すると振動時加速度（慣性力）となるので、深さ h 地点の水平地震加速度係数は以下のように示される。

$$K_h = \frac{(\text{実験値} - \text{静止土圧値}) \times \text{作用面積}}{\gamma V g}$$

ここで、

γ : 砂の単位体積重量 (gf/cm^3)

v : 土塊の体積 (cm^3)

g : 重力加速度 (cm/sec^2)

以上の結果より、深さ方向に慣性力は一定に作用するとする震度法の妥当性の検討材料になると考えられる。しかし、地表面付近では土圧は 0 とならず引張りクラックを引き起こす原因と考えられるところの地表面応力の存在があるかどうかの点、また、弾性係数が砂粒体からなる層状体の固有振動解析では深さの $1/3$ 乗に比例するという研

究¹¹⁾も見受けられるので、平面ひずみ状態での振動解析を行うことと、さらに実験数を重ねる必要があると考えられる。

4. 本模型実験による砂の固有振動数の存在と影響

本実験による測定値が模型供試体及び型枠の固有振動数に影響を受けているかどうかの点は、測定値の真偽に係わる重要な点と考えられる。

よって、振動台上の供試体に入力振幅を固定し、 Hz 数を逐次変えた時の加速度を各々測定した結果を表-1と図-12に示す。これより、およそ 6.5 Hz でピーク値を呈し、卓越していることが示されている。このことから図-11の 7 Hz 時の分布が膨らんでいる点を説明することができると考

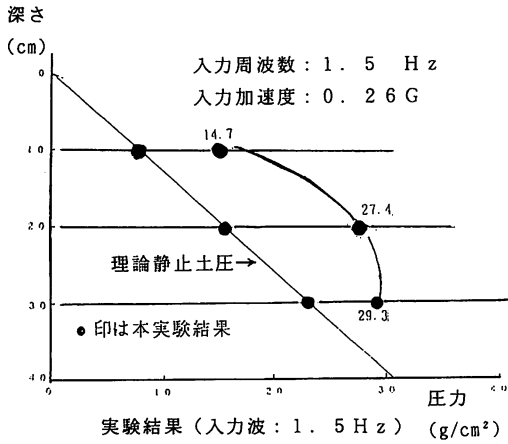


図-8 実験結果 (入力波: 1.5 Hz)

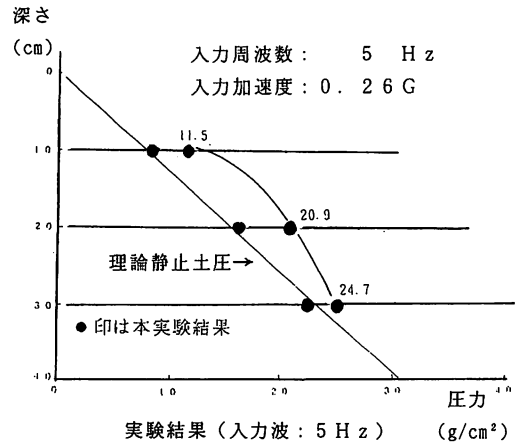


図-10 実験結果 (入力波: 5 Hz)

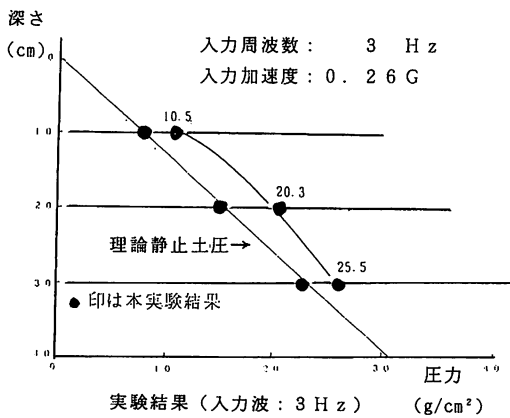


図-9 実験結果 (入力波: 3 Hz)

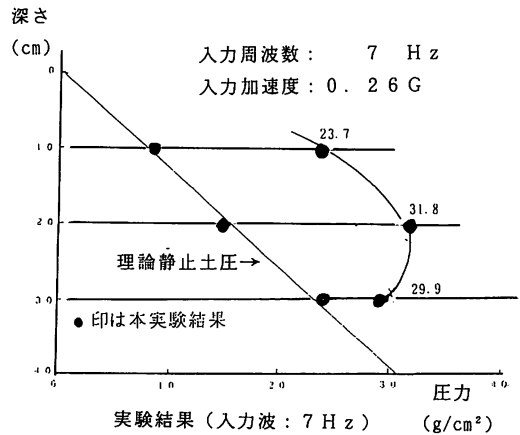


図-11 実験結果 (入力波: 7 Hz)

表-1 実験結果

周波数	測定G	変位0.5cm		変位0.7cm	
		CH-1	CH-2	CH-1	CH-2
1.5HZ		0.0207182	0.0213878	0.0345303	0.0249524
2.0HZ		0.0402854	0.0356263	0.0563996	0.0499049
3.0HZ		0.0667587	0.0677281	0.092081	0.0095057
4.0HZ		0.1024401	0.1045627	0.1381215	0.1425855
5.0HZ		0.1438766	0.1378326	0.1484806	0.1366444
5.5HZ		0.1668968	0.1663498	0.2509208	0.2352661
6.0HZ		0.2071823	0.1960551	0.2900552	0.2744771
6.5HZ		0.2302025	0.2198193	0.3199815	0.3053707
7.0HZ		0.1507826	0.1627851	0.2244475	0.2198193

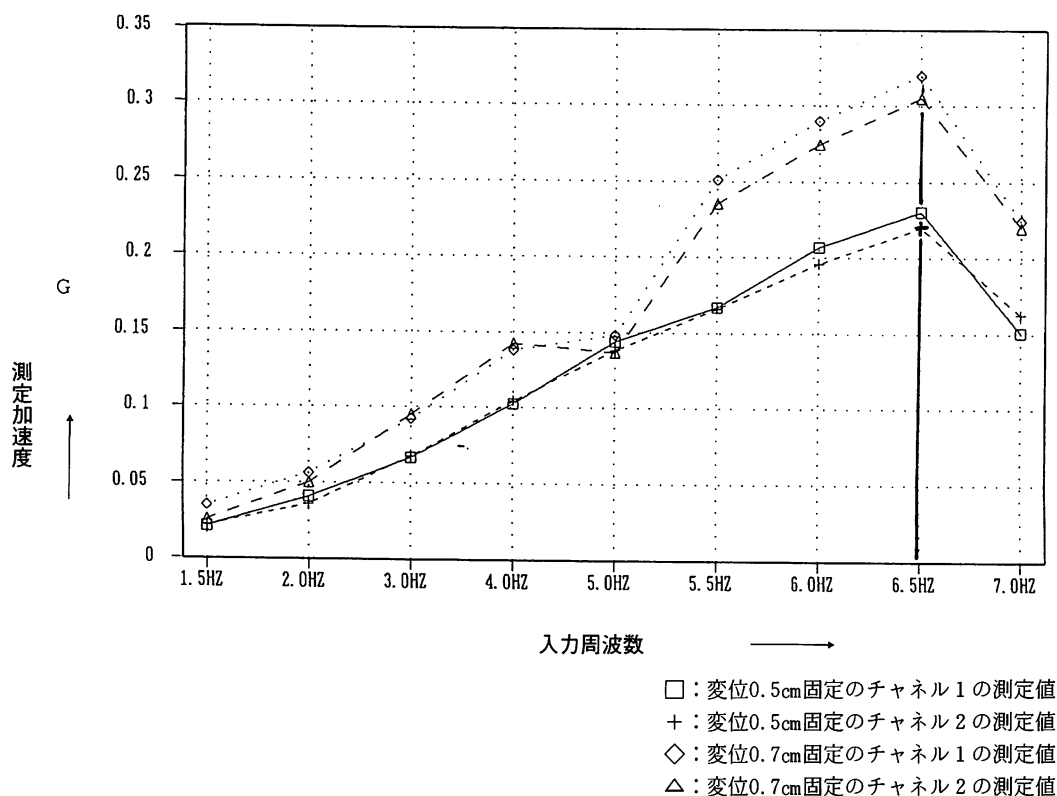


図-12 実験結果 縮尺

えられる。土に関してはコンクリート、スチールの構造と異なり、かなり長周期の固有振動数となると考えられる為、土塊等からなる構造物、すなわち造成地、ロックフィルダムや人工斜面などは比較的長周期の地震波により共振する可能性を持つという事が言える。

付記：本研究は平成6年度文部省特定研究「地震時における地盤の動的挙動に関する研究」の一部として行ったものである。

参考文献

- 1) 物部長穂：地震上下動に関する考察ならびに振動雑論，土木学会誌，Vol. 10，No. 5，PP. 1063-1094，1924.
- 2) 岡部三郎：General Theory on Earth Pressure and Seismic Stability of Retaining Walls and Dams，土木学会誌，Vol. 10，No. 6.
- 3) 大原資生：最新耐震工学，森北出版，PP. 81-88，1974.
- 4) Ichihara, M. and Matsuzawa, H. : Earth Pressure during Earthquake, Soils and Foundations, Vol. 13, No. 4, PP. 75-86, 1973.
- 5) 松尾 稔・富永真生：土圧，鹿島出版会，P. 32，PP. 67-89，1975.
- 6) 大原資生：地震時土圧研究の現況と課題，土木学会誌，Vol. 64，No. 5，PP. 2-8，1979.
- 7) Terzaghi, K. and Peck, R. B. : 新版テルツァーギ・ペックの土質力学，丸善（星埜 和他訳），1970.
- 8) 岸 徳光・能町純雄・松岡健一：曲げとせん断を考慮した2次元切頭くさび形梁モデルを用いたフィルダムの固有振動解析，構造工学論文集，Vol. 31 A，PP. 519-528，1985.
- 9) Iida, : The Velocity of Elastic Wave in Sand，東京大学地震研究所彙集，Vol. 16，1938.
- 10) Nomachi, S. G., Kuroiwa, M., Matsuoka, K. G. and Kishi, N. : Response of a Two-Dimensional Wedge by taking the Effects of Shear and Bending Moment into Account, Fourth Australia-Newzealand Conference on Geomechanics., 1984.

-
- 11) Kishi, N., Nomachi S. G., Matsuoka, K. G.
and Kida, T. : Natural Frequency of a Fill Dam
by means of Two Dimensional Truncated Wedge
taking Shear and Bending Moment Effects into
Account., Proceedings of JSCE, No. 386 / I-8,
PP. 43-51, October, 1987.

(平成 6 年11月30日受理)

