

地震時等の地盤における深さ方向慣性力の分布に関する模型実験

澤 田 知 之*・能 町 純 雄**・近 藤 崇***

Model Test on Shaking Table of the Distribution in Depth for Inertia Force under the Seismic earth ground.

Tomoyuki SAWADA, Sumio G. NOMACHI and Takashi KONDO

要 旨

地震時地盤内の慣性力分布に関して、深さ方向の分布に注目し、模型実験を行った。この際、実験装置自体の周波数特性も考慮して振動台実験を行い、前回報告済みの理論解⁴⁾による数値解析との比較も合わせて報告するものである。

Abstract

In this paper, Comparing with previous Analysis⁴⁾, Model test included own natural-frequency affects is described for the distribution in depth direction of inertia force under the seismic earth ground on shaking table.

1. ま え が き

筆者等が既に発表して来た地震時斜面安定解析¹⁾²⁾においては震度法と同様に水平地震加速度は地盤の深さ方向に一定として来た。つまり地震時慣性力は深さ方向に係わりなく等分布的に作用するものとした。しかし、層構造の場合は勿論のこと、均質な地盤に於いても動的土圧は非線形を呈し³⁾、静止土圧との差で示される慣性力は深さ方向に一定とは成り難いと考えられる。

本報告は、前回発表した側壁に対する動的土圧の解析⁴⁾を踏まえて、深さ方向の慣性力の分布に注目し、標準砂による振動時土圧の際に発生する慣性力分布の振動台による模型実験結果の報告を行うものである。又、本実験における実験装置及び供試体に関する固有振動特性の検討や、アクリル樹脂製砂箱自体の変形の影響も加味して実験を行った結果と考察を述べるものである。

尚、試供体の標準砂は山口県豊浦産（単位体積重量 1.52 g/cm^3 ）のものを用了。

2. 実 験 概 要

[2-1 予備実験]

模型実験を行なう前に以下の5項目についての予備実験を行なった。尚、図-1及び写真-1に実験装置の全体図を示す。

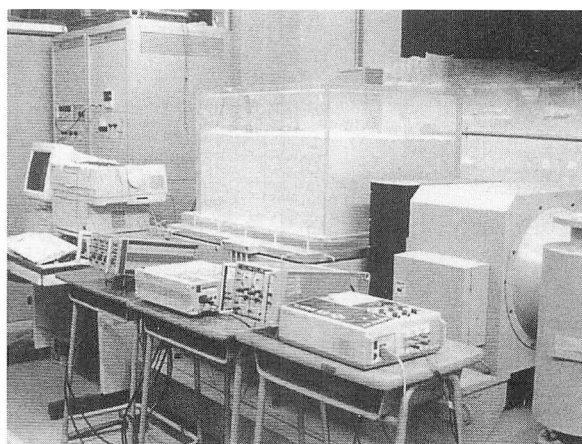


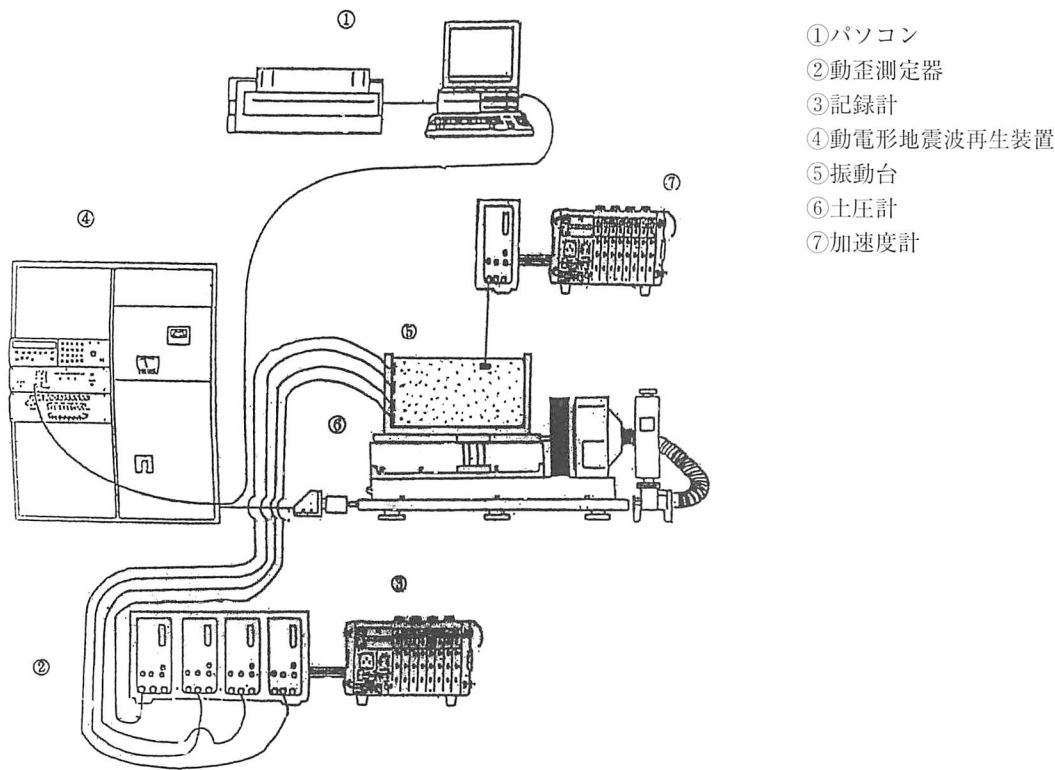
写真-1 実験装置全体図

①実験装置自体の周波数特性(固有振動数の同定)
砂を充填していない状態(空箱等)で振動振幅を一定にして順次周波数を変化させ加速度測定を行い、実験装置自体の周波数特性を示した(図-2)。

* 教 授 環境都市工学科

** 名誉教授 北海道大学

*** 助 手 環境都市工学科



図－1 実験装置全体図

②供試体（標準砂）の周波数特性（固有振動数の同定）

上記同様に、次ぎに砂を10cm～40cmまで順次層積みして行きながら振動実験を行い、供試体の周波数特性を明らかにした（図－3）。

その結果、6.0Hz 近傍で加速度のピークが発生し、共振現象に近似と判断し、この点での実験値の精度が大きく落ちる危険性があると考え、6 Hz での実験は行わないことにした。

③土圧計の特性

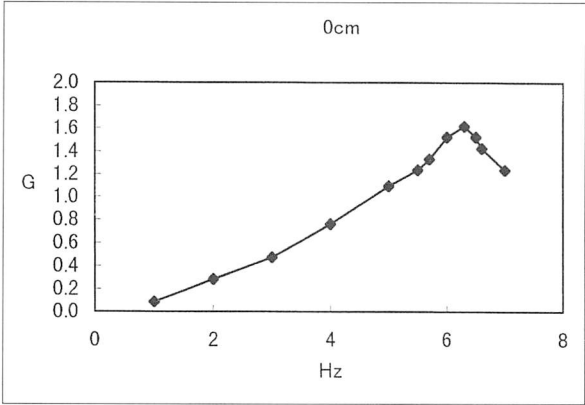
使用した土圧計の個々の精度確認の結果、動歪み測定器（DPM-700B）の校正係数を各々変えることとした。又、そのため、各土圧計の表示の確認を100g分銅を各土圧計に直接載せて測定を行っておいた。

④静止土圧係数 K_0 の決定

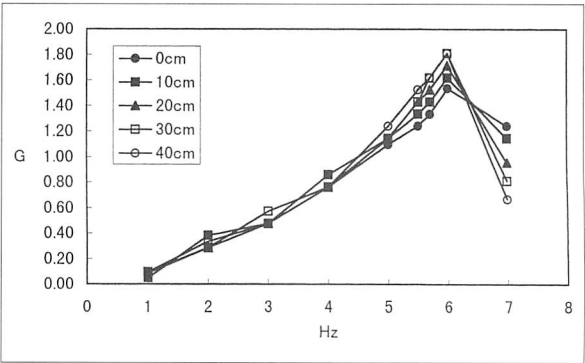
標準砂の静止土圧係数は、理論値として、標準値と考えられる $K_0=0.4$ を用いて計算した。また、実験値は、砂槽に標準砂を50cm充填し、静止土圧を4点で測定し、その結果を次式に代入する。

$$K_0 = P / (H \cdot \gamma)$$

ただし、P：各深さでの土圧、H：深さ
 γ ：標準砂の単位体積重量
この結果を平均し、静止土圧係数の実験値とした。



図－2 空箱時の周波数特性



図－3 周波数特性

⑤ 供試体と実験装置の振動時弾性挙動

アクリル樹脂製箱の外側の土圧計設置面に、下から5cm, 16.5cm, 25cm及び45cmの位置にひずみゲージを縦に取り付けた。16.5cm位置には横方向ひずみゲージを取り付け（図-4, 写真-2）,

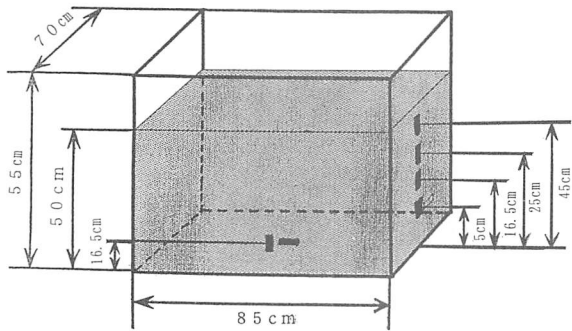


図-4 ひずみゲージ取り付け位置

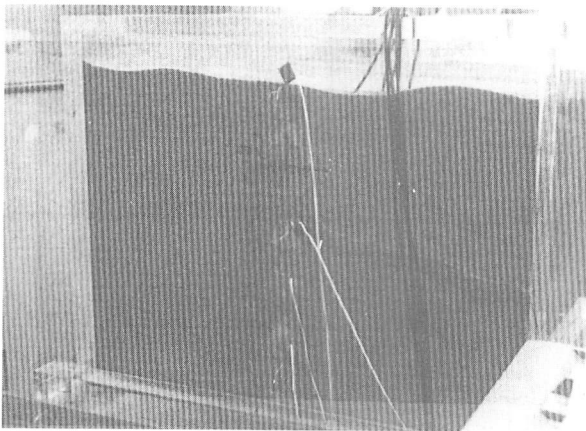


写真-2 土圧計及び、ひずみゲージ位置

振動時にアクリル樹脂製箱が歪むことによって土圧に影響を与えるか否かの確認のための実験をおこなった（図5～図14）。

これ等の結果より、いずれも深さ方向でも最大 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧縮及び引張り応力が生じている（図5～図10）。

入力周波数、入力加速度の変化によってもこれを越える結果となっていない（図11～図15）。よって、側壁の動的土圧に対して影響が小さいと考えられる。

以上予備実験の結果から総合的に次の考察を行った。

- 1) 空箱時及び層積み状態での周波数特性は、入力加速度や砂層圧が変わっても 6.0Hz 付近で

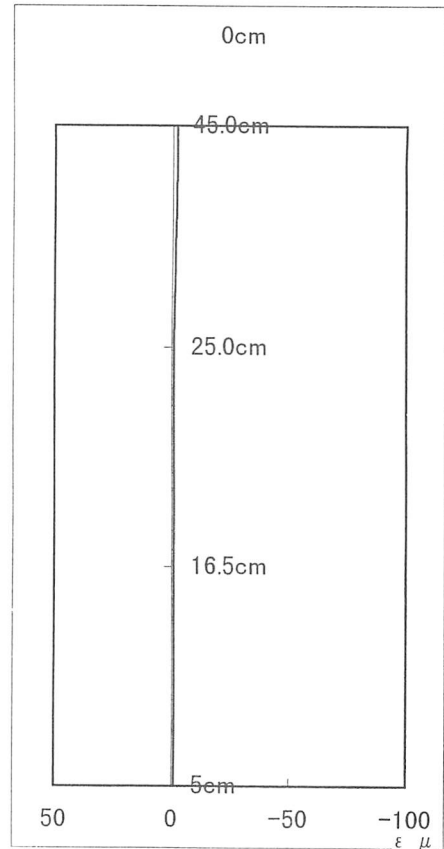


図-5 空箱時のひずみ

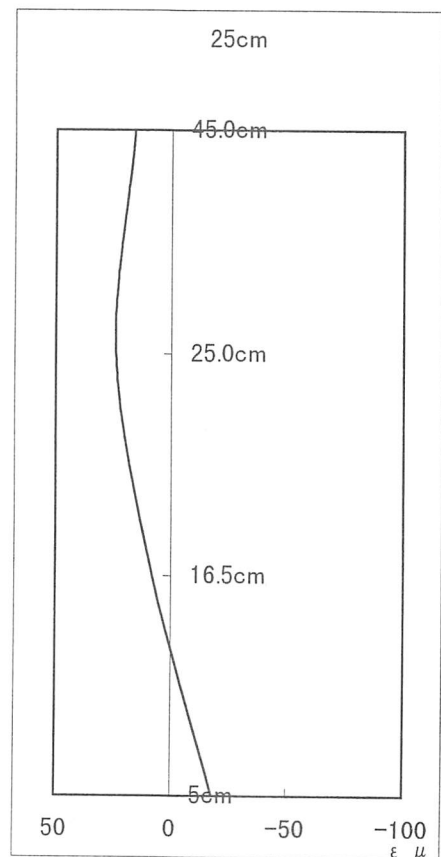


図-6 砂層圧25cmのひずみ

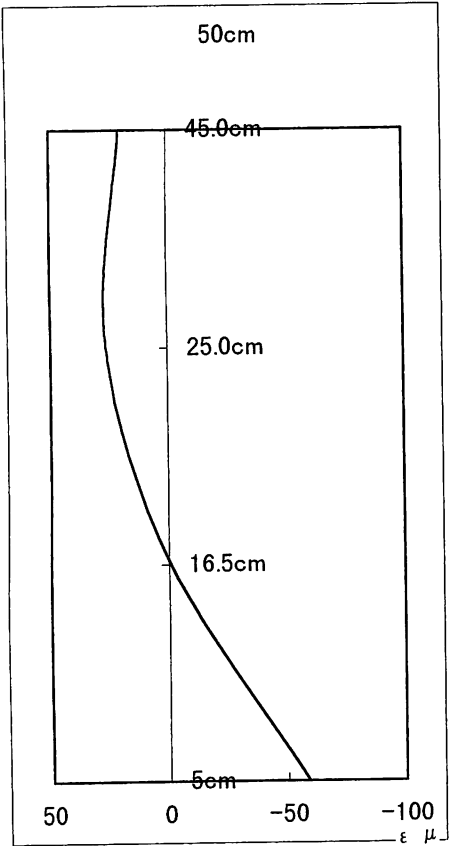


図-7 砂層圧50cmのひずみ

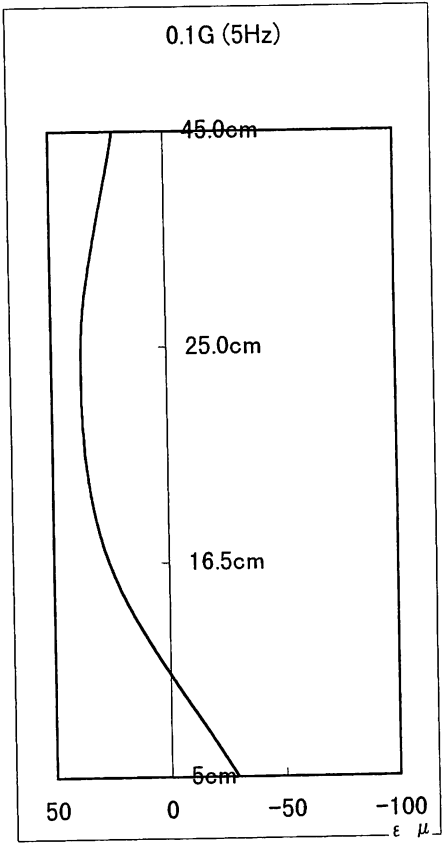


図-8 0.1G (5 Hz) のひずみ

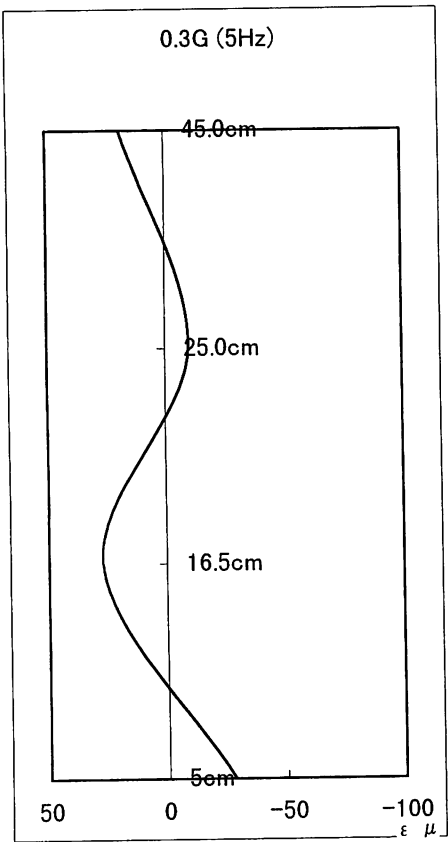


図-9 0.3G (5 Hz) のひずみ

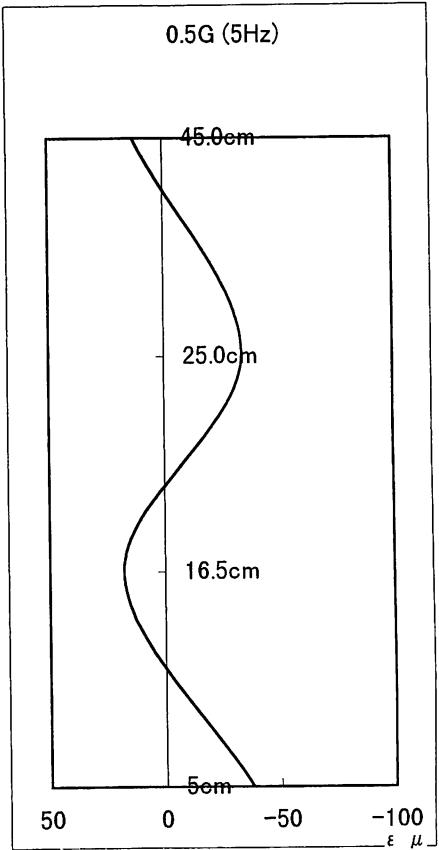
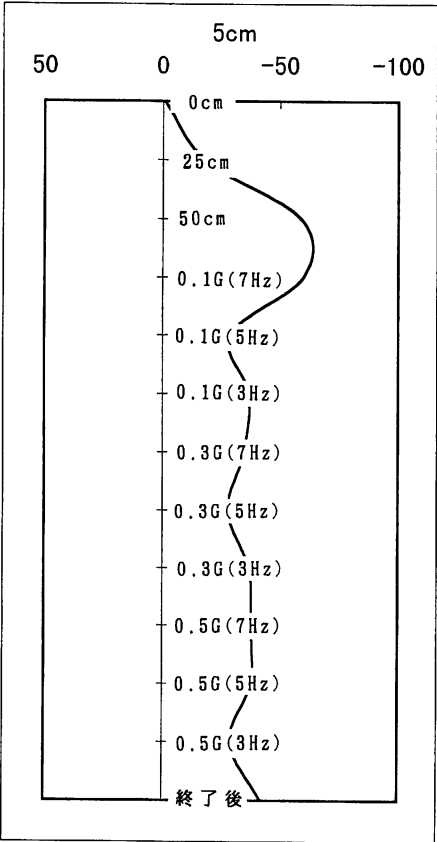


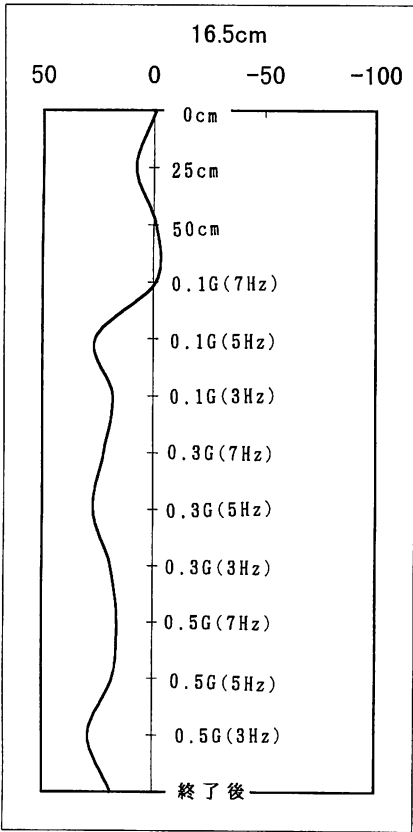
図-10 0.5G (5 Hz) のひずみ

共振現象が生じる可能性がある。よって6.0Hz付近で実験を行っても実験精度が落ち、信頼性が低いと考えられる為6.0Hz以外の入力周波数で実験を行うことにした。

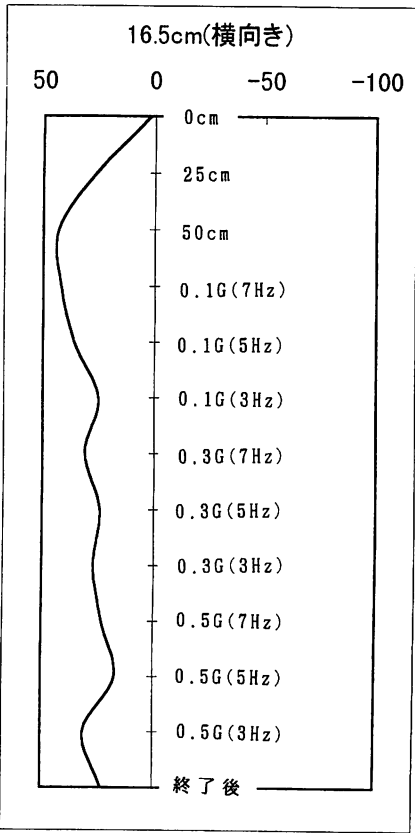
- 2) 土圧計の初期値は、CH 1, CH 2, CH 3 及び CH 4 の各値は表－1より56.8, 54.6, 53.2 及び50.4となった。この値は、サーマルアレイコーダーに表示されるもので、この値を基準に静止土圧の測定値を計算する。尚、この値は土圧計の補正計算に用いる為に算出した。
- 3) 静止土圧係数の実験値は、表－1より計算すると0.474となった。この値は、一般的な静止土圧係数の値である0.4～0.6の範囲内にあり、数値計算で使用した標準砂の静止土圧係数0.4に近い為、実験からの静止土圧を妥当な測定値であると判断した。
- 4) 実験装置の振動時弾性挙動の結果は、図－11～図－15より、側壁は砂を弾性床とする平板の挙動を示し、特に振動時には3次的モードを呈する事が判明した。定性的には、この極値となる部分で剪断がMax. となっていると考えられる。



図－11 ひずみの挙動 (5.0cm)



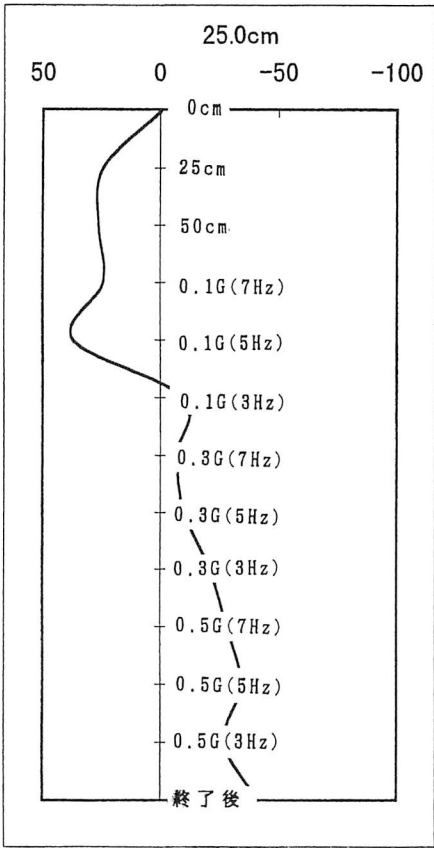
図－12 ひずみの挙動 (16.5cm)



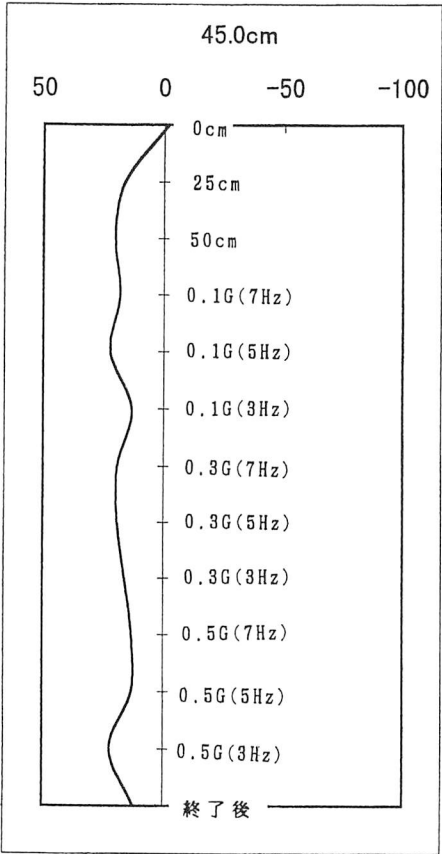
図－13 ひずみの挙動 (16.5cm横方向)

表－1 土圧計の特性及び静止土圧係数の測定

土圧計の外径 (cm)	土圧計の内径 (cm)	土圧計の面積 (cm ²)	深さ (cm)	100g載せた時の応力 (g/cm ²)	100g載せた時のPOINT	静止土圧(理論値) (g/cm ²)	静止土圧(理論値)のPOINT	空箱時のPOINT	静止土圧(理論値)のPOINT	測定静止土圧のPOINT	測定静止土圧 (g/cm ²)	測定静止土圧係数 K ₀
2.965	2.270	4.045	48.518	24.710	5.5	29.499	6.6	50.2	56.8	65.4	33.965	0.461
2.975	2.260	4.009	38.515	24.930	4.7	23.417	4.4	50.2	54.6	67.8	29.079	0.375
2.980	2.280	4.081	23.513	24.490	5.4	14.296	3.2	50.0	53.2	71.2	19.133	0.535
2.970	2.260	4.009	8.510	24.930	2.1	5.174	0.5	49.9	50.4	66.0	6.775	0.524



図－14 ひずみの挙動 (25.0cm)

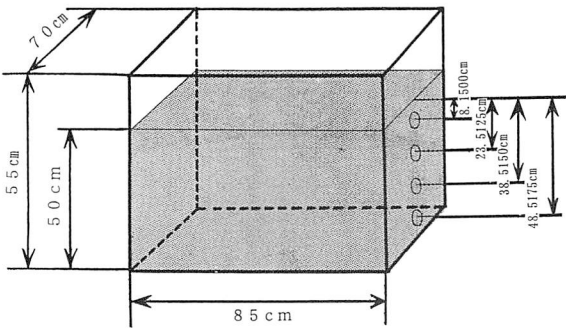


図－15 ひずみの挙動 (45.0cm)

[2－2 本実験]

正弦波による模型実験として振動時の動的土圧分布を測定し、静止土圧との差を持って慣性力分布とする。この実験は、アクリル樹脂製の砂箱(縦70cm×横85cm×深さ55cm)に標準砂(豊浦産、単位体積重量1.52 g/cm³、内部摩擦角44°、静止土圧係数K₀=0.4)を50cmの深さに充填し、片側側面に砂の上面から8.15cm、23.5cm、38.5cm及び48.5cmの位置に土圧計(KYOUWA BR 2 KC)を取りつける(図－16、写真－2)。

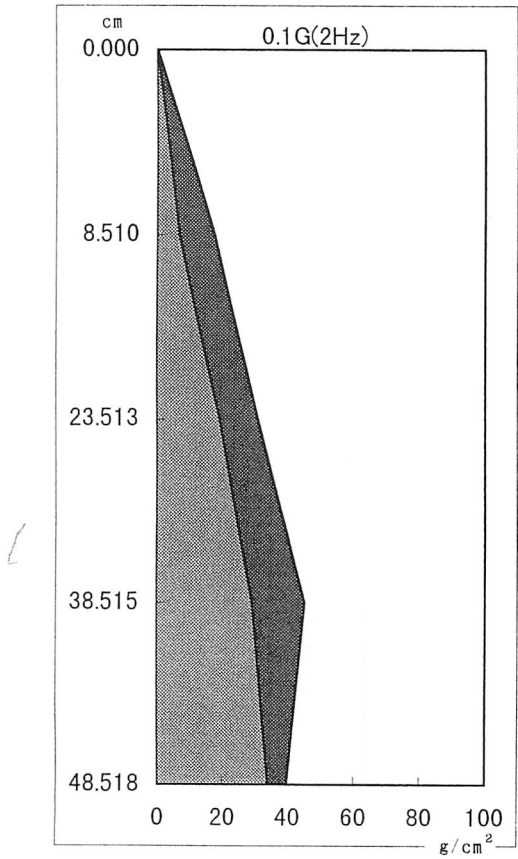
動電形地震波再生装置により、2 H Z、3 H Z、4 H Z、5 H Z、及び7 H Z、8 H Zの各周波数をSine波で入力し、各周波数に於ける入力加速度を0.1 G、0.2 G、0.3 G、及び0.4 G、0.5 Gの順で入力する振動台実験を行って動的土圧を測定し(図－1及び写真1参照)、静止土圧との差を持って深さ方向の慣性力分布を求めた。



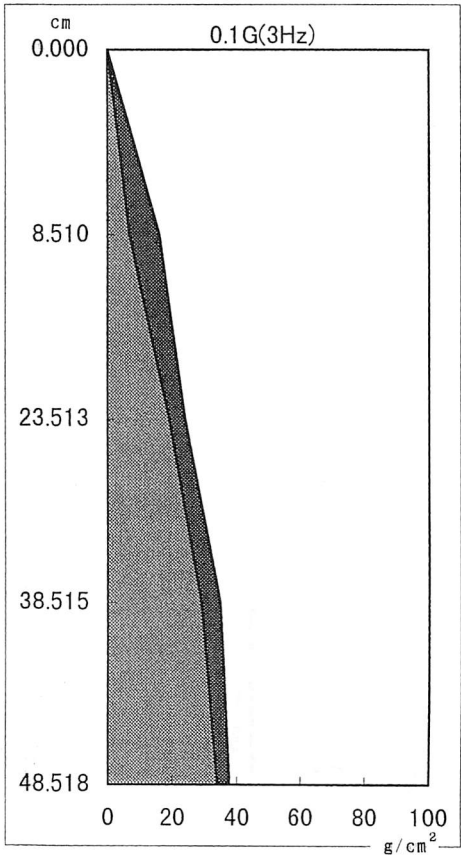
図－16 土圧計取り付け位置

表－2 動的土圧の測定

	CHANNEL	FUKASA	解析土圧	実験値	8Hz	7Hz	5Hz	4Hz	3Hz	2Hz
0.1G	1	48.518	29.499	33.970	0.000	7.692	1.923	3.846	3.846	5.769
	2	38.515	23.417	29.079	4.000	4.000	6.000	8.000	6.000	16.000
	3	23.513	14.296	19.130	1.667	3.333	6.667	6.667	5.000	11.667
	4	8.510	5.174	6.780	1.333	8.000	6.667	8.000	9.333	10.667
0.2G	1	48.518	29.499	33.970	0.000	3.846	3.846	1.923	1.923	9.615
	2	38.515	23.417	29.079	10.000	18.000	20.000	20.000	20.000	20.000
	3	23.513	14.296	19.130	3.333	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
	4	8.510	5.174	6.780	8.000	12.000	6.667	8.000	6.667	6.667
0.3G	1	48.518	29.499	33.970	0.000	9.615	3.846	1.923	5.769	13.462
	2	38.515	23.417	29.079	16.000	20.000	24.000	24.000	30.000	26.000
	3	23.513	14.296	19.130	11.667	23.333	23.333	26.667	31.667	35.000
	4	8.510	5.174	6.780	4.000	6.667	12.000	12.000	9.333	12.000
0.4G	1	48.518	29.499	33.970	3.846	11.538	11.538	9.615	11.535	15.385
	2	38.515	23.417	29.079	20.000	20.000	38.000	40.000	40.000	42.000
	3	23.513	14.296	19.130	16.667	25.000	46.667	50.000	50.000	50.000
	4	8.510	5.174	6.780	8.000	12.000	14.667	14.667	14.667	24.000
0.5G	1	48.518	29.499	33.965	0.000	9.615	19.231	15.385	15.285	19.231
	2	38.515	23.417	29.079	24.000	24.000	40.000	40.000	44.000	60.000
	3	23.513	14.296	19.133	20.000	33.333	50.000	58.333	50.000	50.000
	4	8.510	5.174	6.775	10.667	13.333	20.000	24.000	26.667	26.667



図－17



図－18

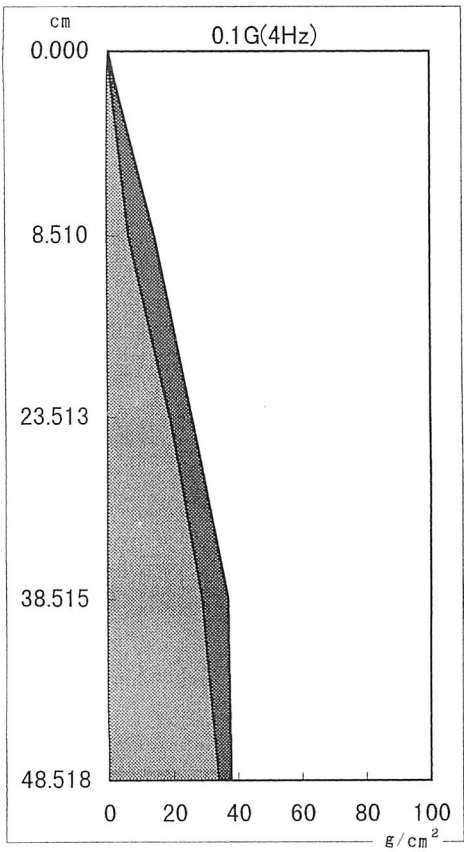


図-19

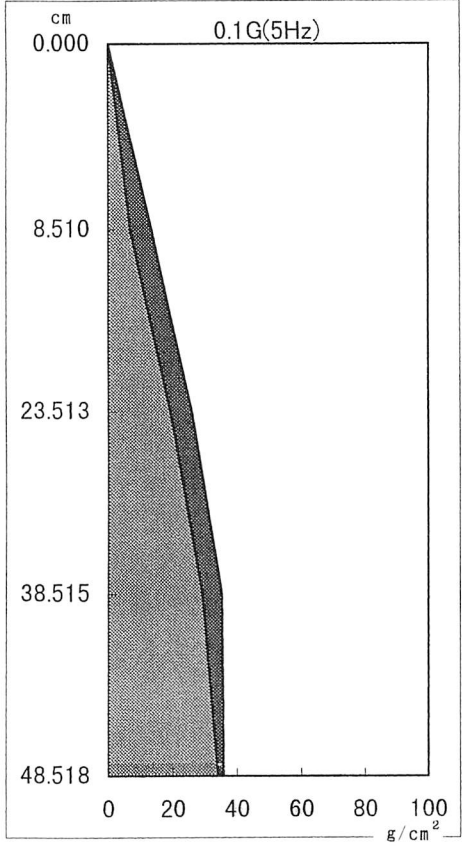


図-20

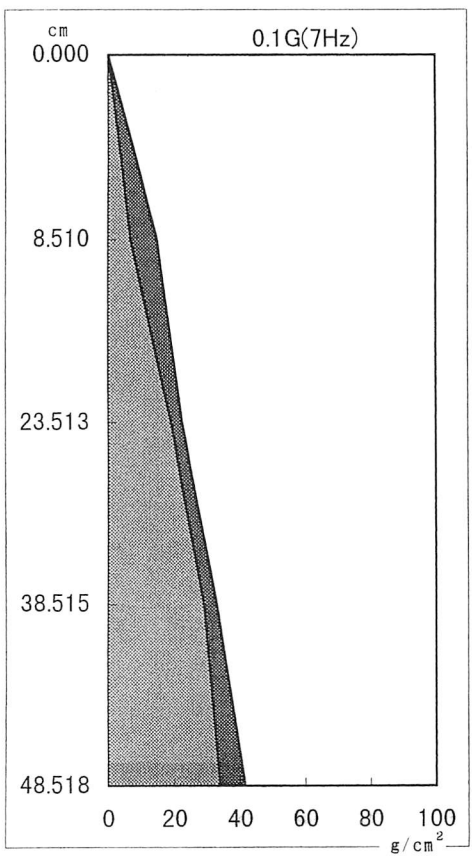


図-21

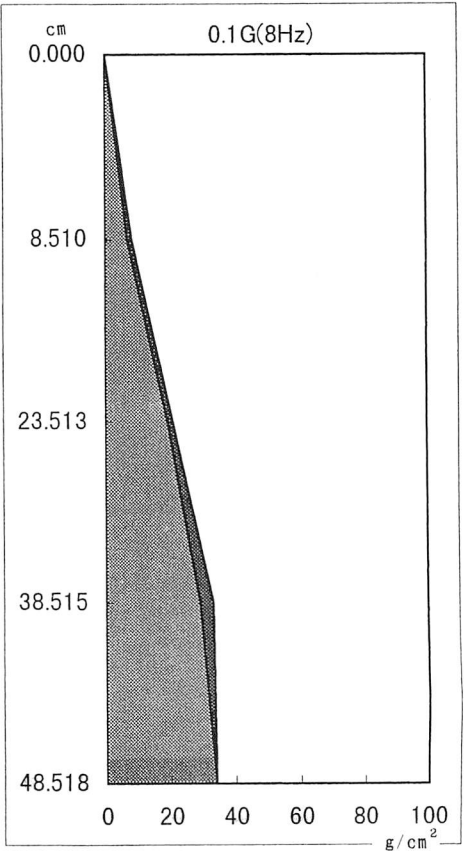


図-22

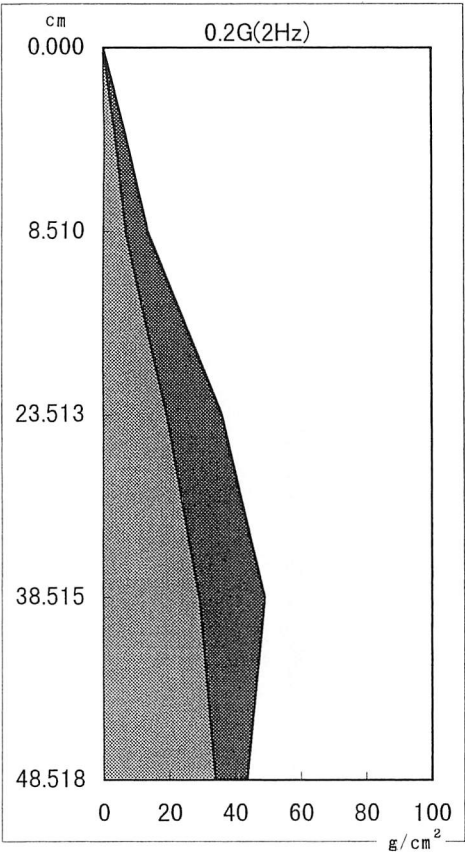


図-23

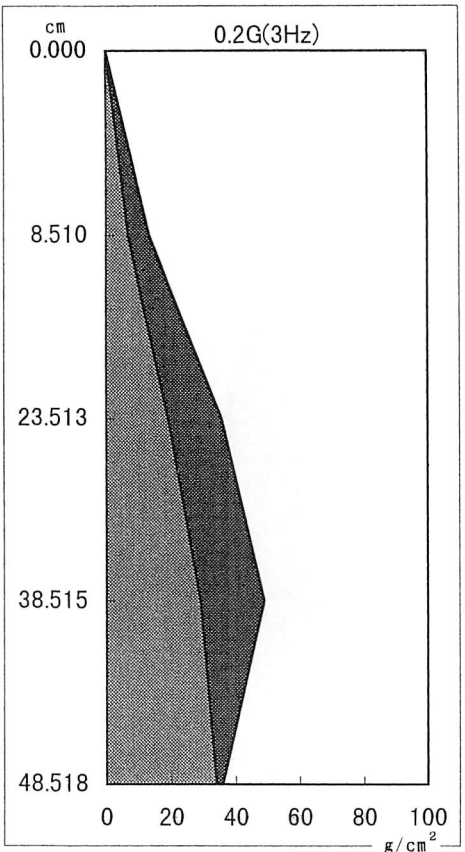


図-24

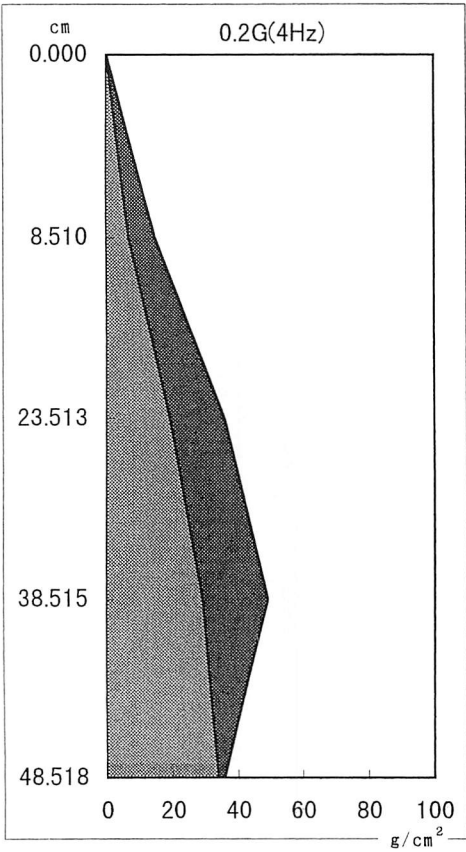


図-25

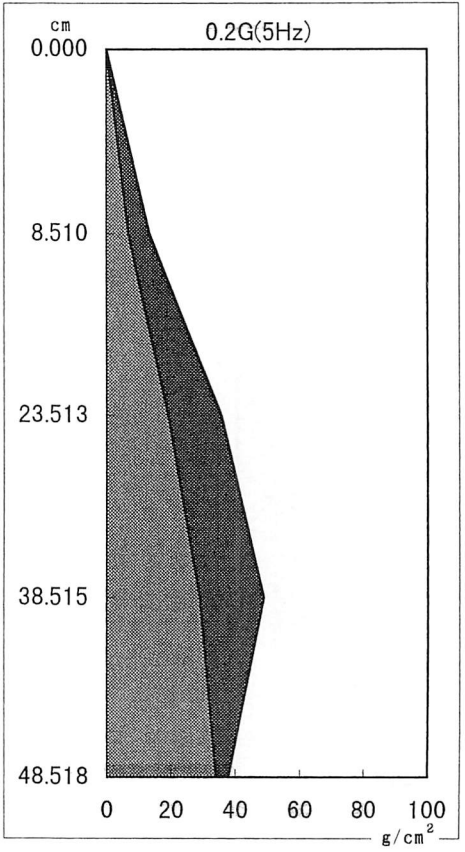


図-26

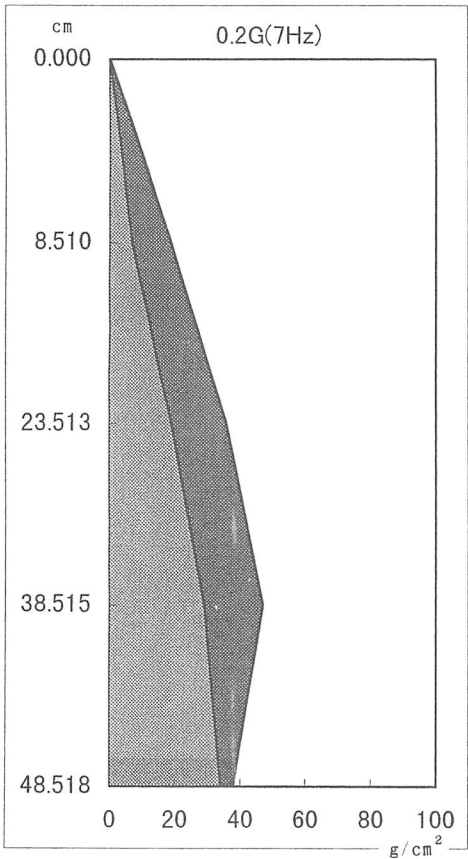


図-27

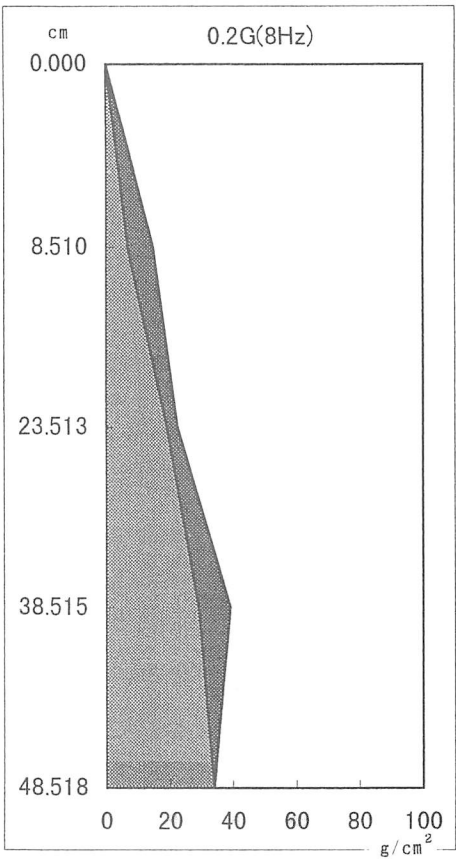


図-28

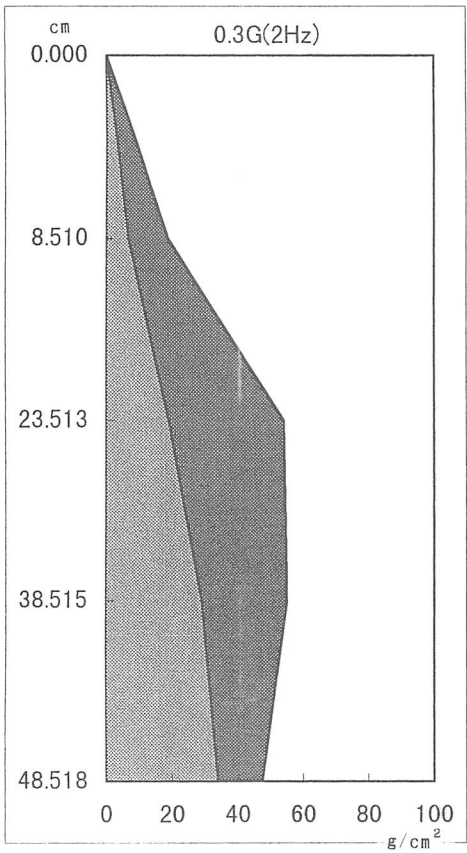


図-29

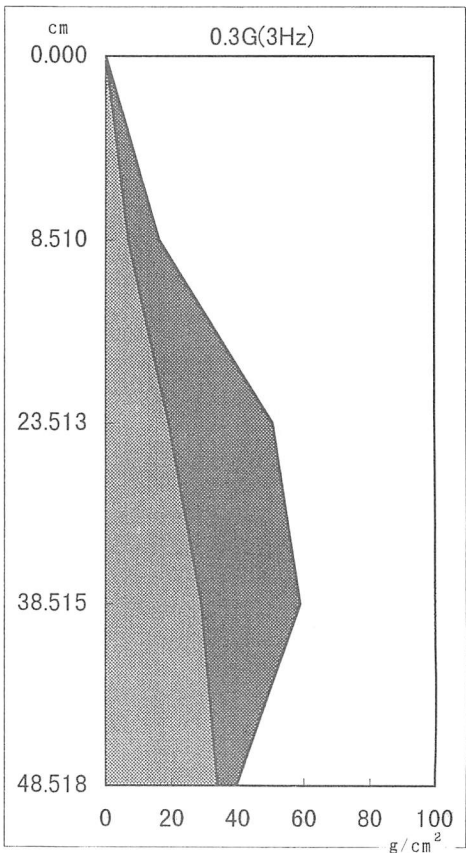


図-30

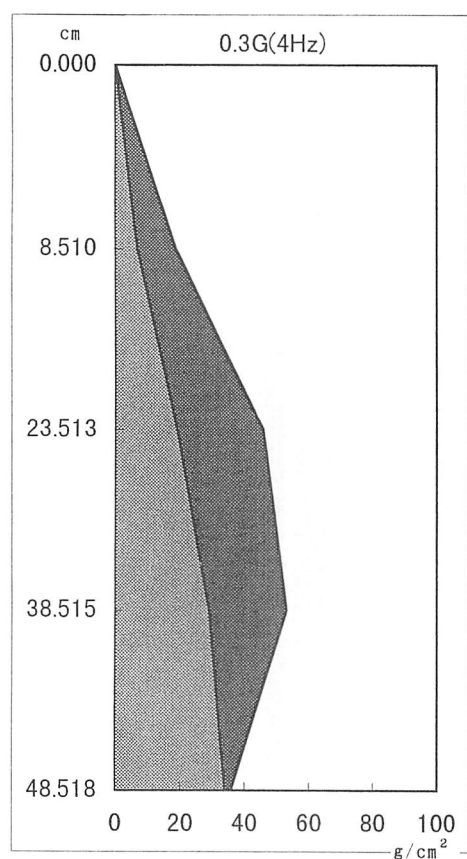


図-31

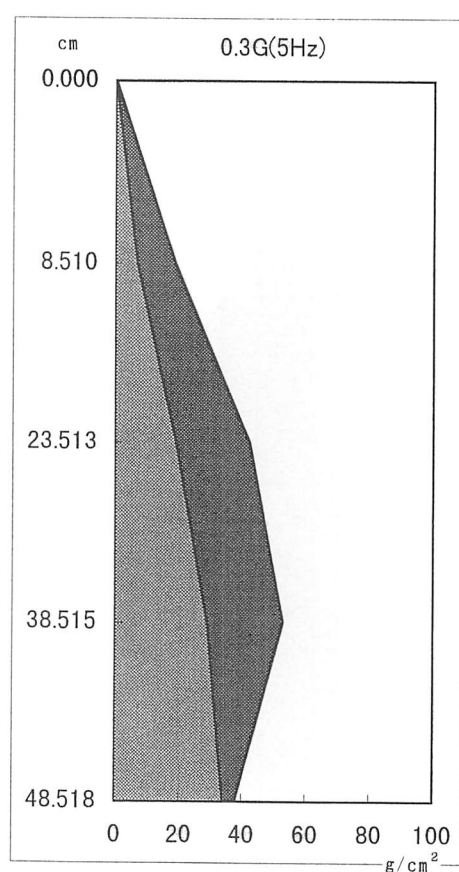


図-32

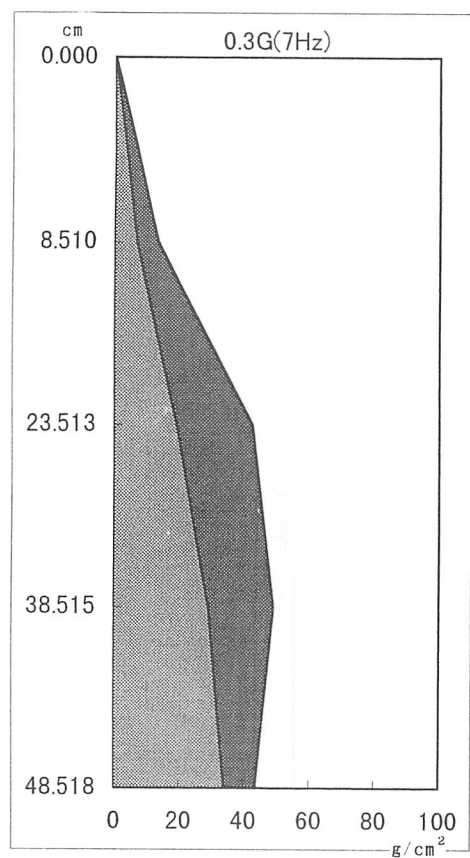


図-33

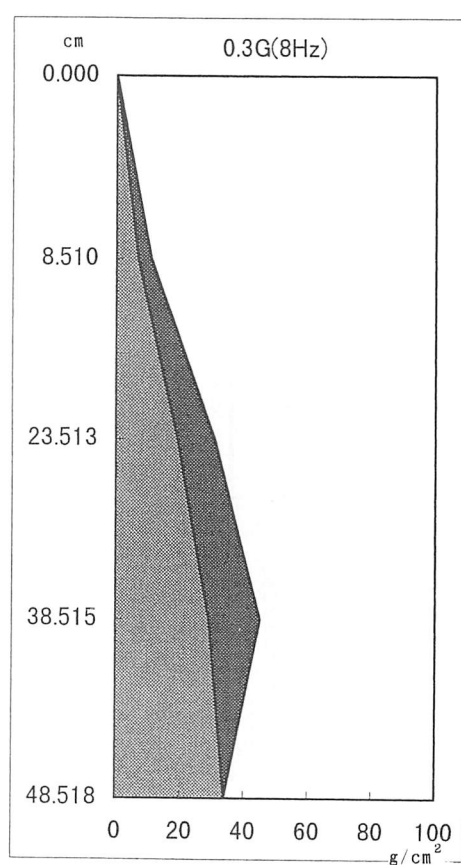


図-34

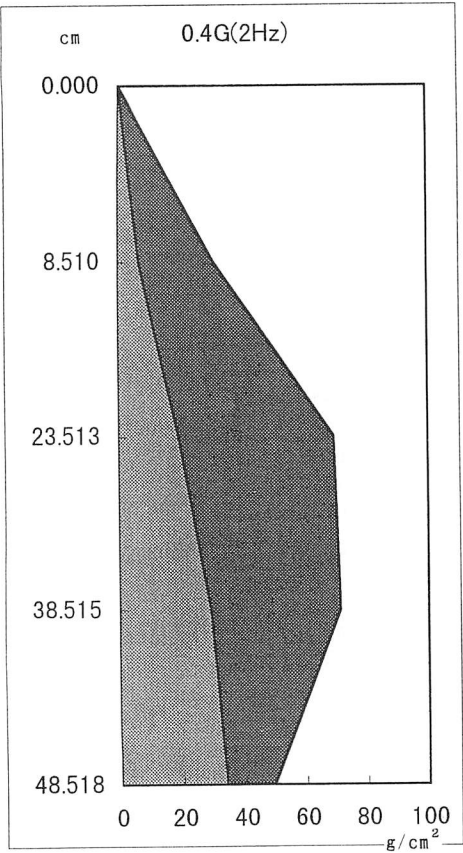


図-35

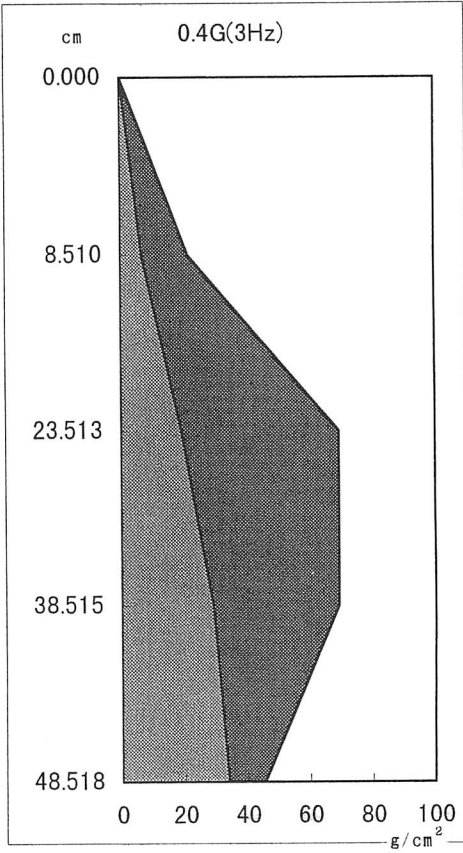


図-36

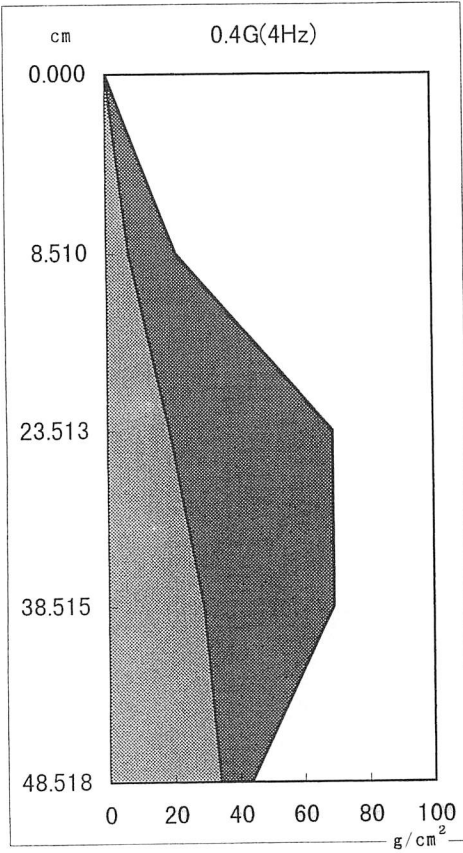


図-37

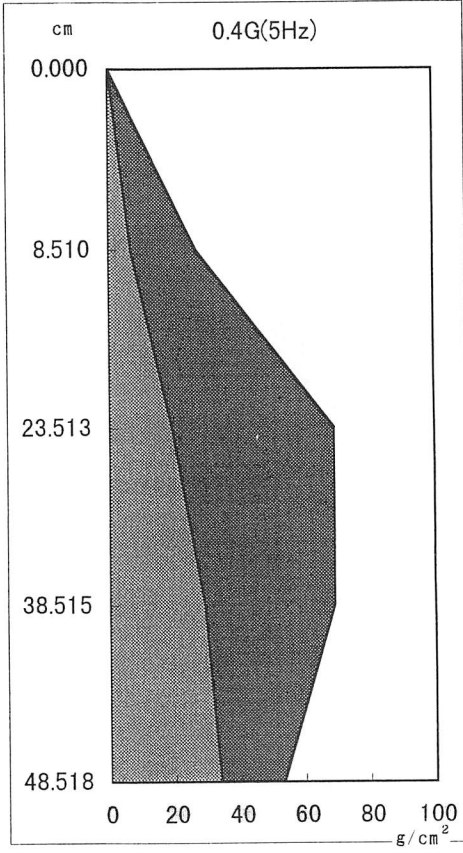


図-38

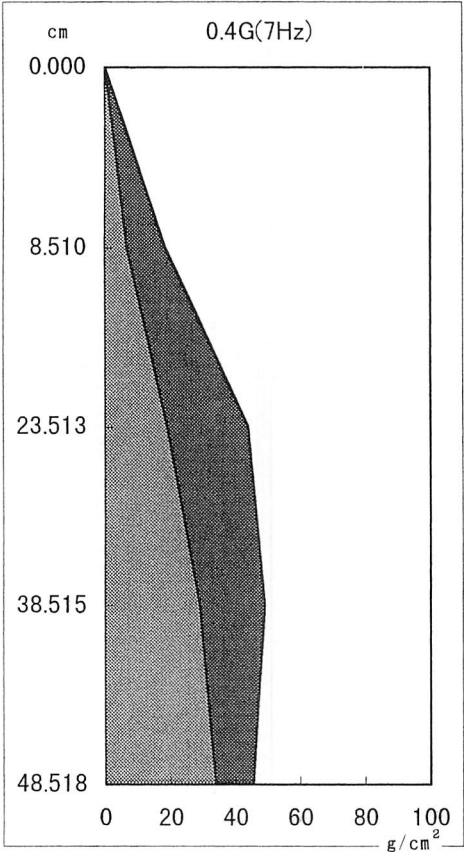


図-39

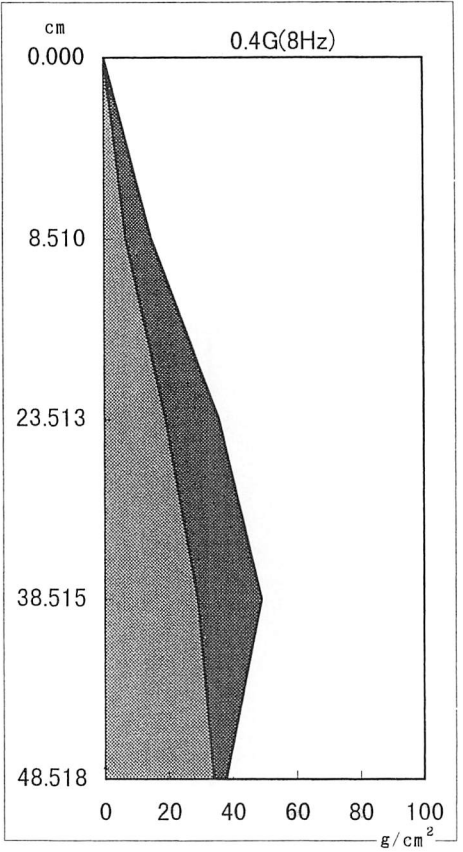


図-40

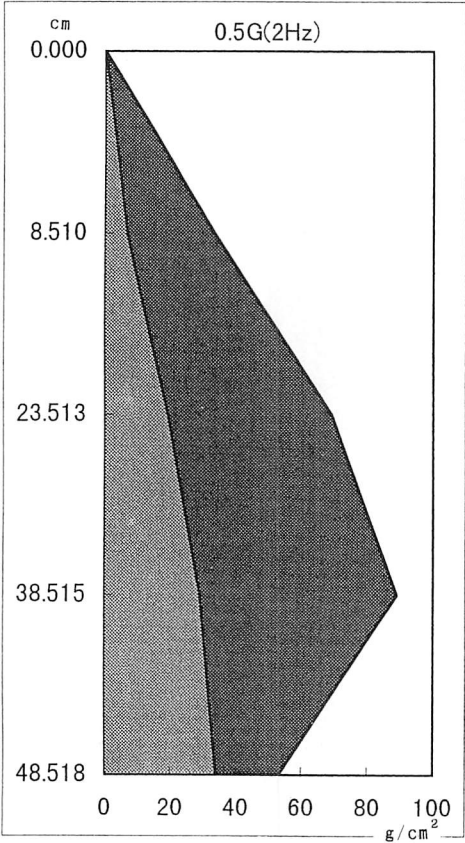


図-41

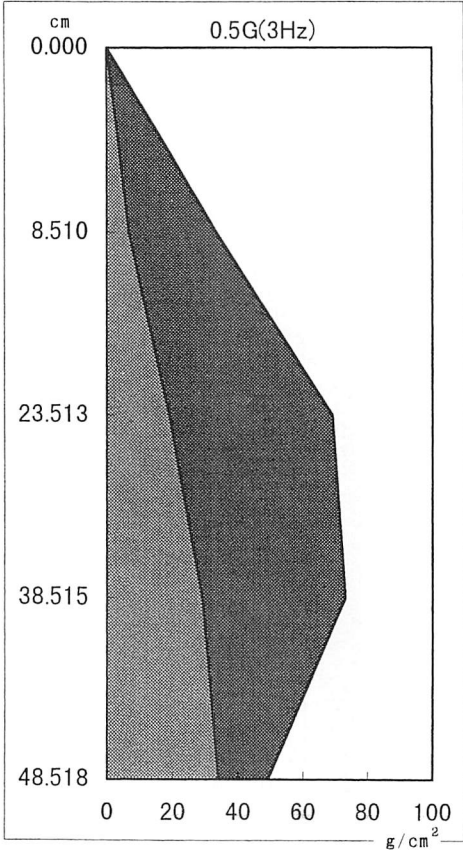


図-42

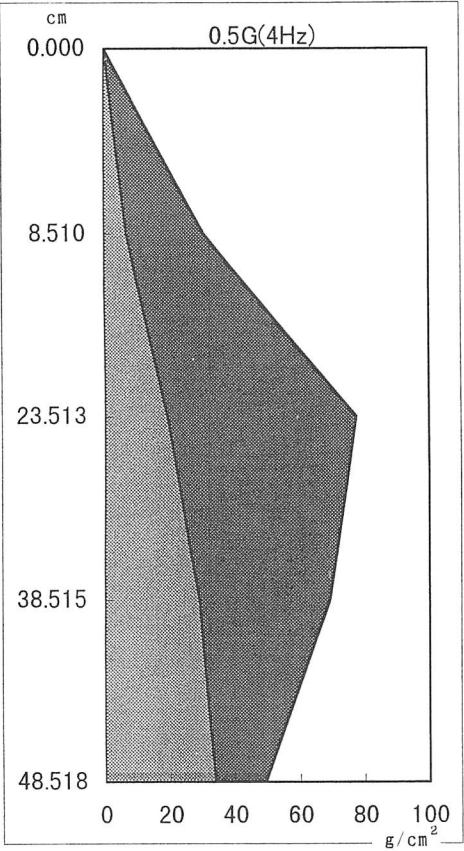


図-43

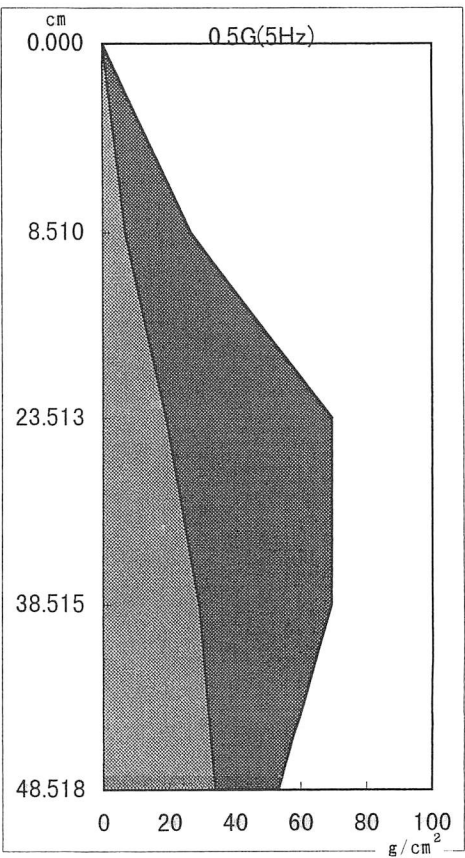


図-44

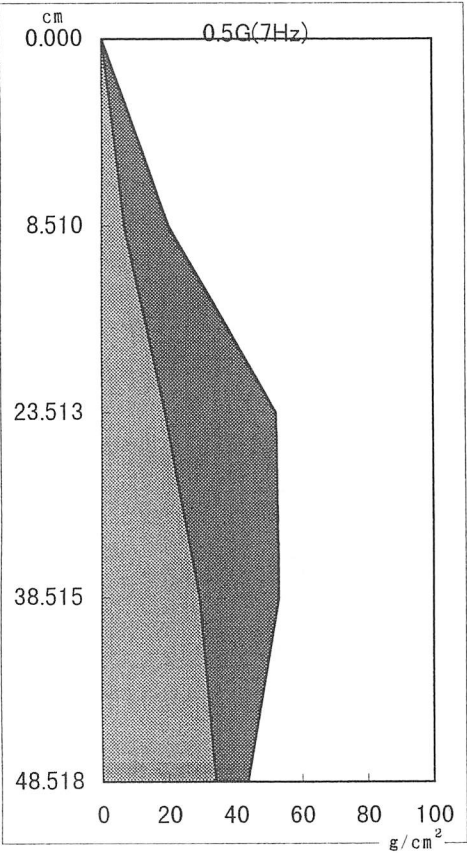


図-45

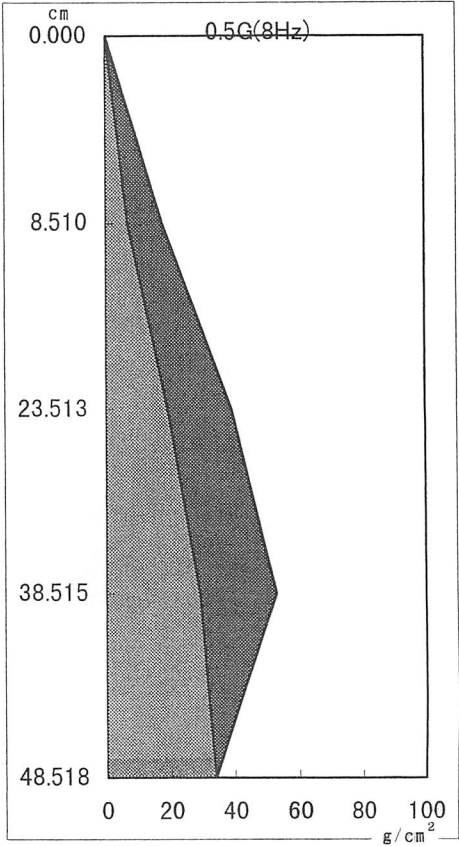


図-46

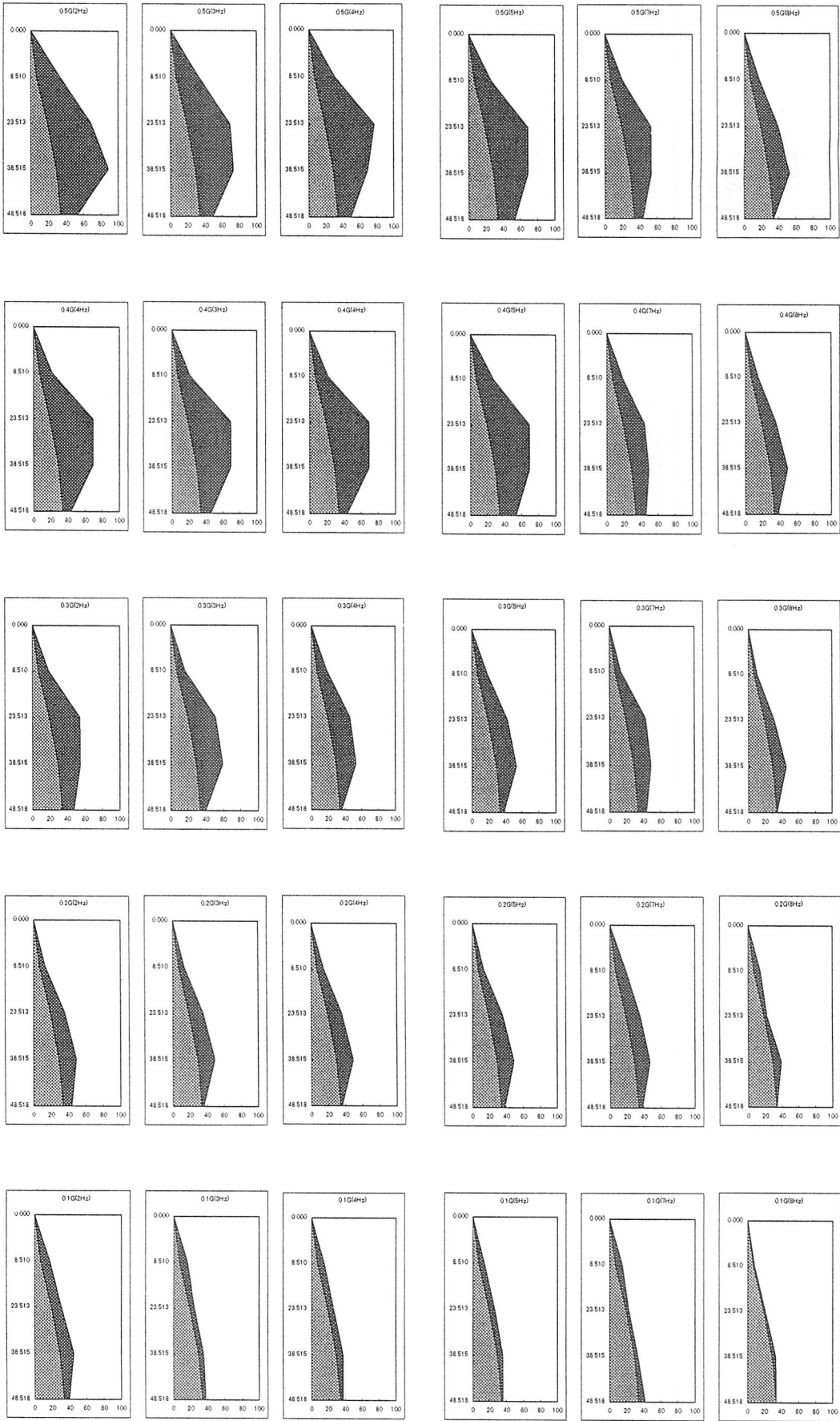


図-47 全慣性力分布

3. 結果及び考察

実験結果と解析値⁴⁾を表-2に示す。これ等より実験と解析値の比較において実験値が大きく表れているが、妥当な一致を見ていると考えられる。

次に深さ方向の慣性力分布を図17～図46に示す。これ等より入力する加速度が小さい時は深さ方向にはほぼ一定な慣性力分布となることが示された。よって、耐震設計計算における現行の震度法適用での $K=0.2G$ を深さ方向に一定に作用させることは妥当であると考えられる。しかし、入力加速度が大地震と言われる $0.3G$ ($K=0.3$) より大きくなると、分布は非線形モードとなり、入力の G が大きくなるに連れその傾向は顕著である。

よって定性的には $0.3G$ 以上の地震振動時での現行法の適用は難しいと言うことになる。これらの結果は建設省土木研究所等の見解とも一致しており妥当な結果と言える。結果をすべて並べたものを図-47に示すが、この結果より入力波による深さ方向の慣性力分布は、横列に見るように同一加速度では周波数が小さい場合に値は大きくなり、縦列に見るところの周波数に関しては、同一周波数でみると加速度 (G) が大きい場合では値は大きくなる。よって、入力周波数が小さい程 (長期周期の入力波程)、また、入力加速度 (G) が大きい程 (強い地震波)、外力としての慣性力が大きくなることが確認できる。

今後の課題は、大きな入力振動波 (大地震) における慣性力分布をいかに耐震設計計算に取り入れるべきかの検討を進めなければならないと考えられる。

参考文献

- 1) Tomoyuki, SAWADA, Sumio G. NOMACHI and Wai F. CHEN, Stakility with Anisotropic Cohesion Strength against Earthquake, THEOREICAL AND APPLIED MECHANICS, Vol. 33, pp. 417-432, 1993, university of Tokyo press.
- 2) 澤田知之, 能町純雄, W.U.Chen, 斜面の安定問題における地震時すべり変位について, 土木学会論文集, 第358号, III-3, pp.113-118, 1985.
- 3) 澤田知之, 松岡健一, 能町純雄, 層分割された地震時斜面の平面すべり崩壊機構における安定について, 苫小牧工業高等専門学校紀要, 第25号, pp.63-68, 1990.
- 4) 澤田知之, 能町純雄, 近藤崇, 振動台上の砂箱内地盤モデルにおける動的対応と変位の弾性解, 苫小牧工業高等専門学校紀要, 第32号, pp.95-111, 1997.

(平成10年11月30日受理)