

京都大学工学部 正員 石原藤次郎
 京都大学工学部 正員 〇鹿島 勝
 京都大学大学院 学生員 古賀 泰文

① まえがき 飽和した砂層に振動力あるいは衝撃力が作用するとき、動的な間げき水圧が発生すること、さらに場合によってはいわゆる流動化現象が起ることは、すでに指摘されているところである。しかしながら、これらの現象の力学的機構の解明は、十分であるとはいえない。我々は、本年度の関西支部年次学術講演会において、我々の考え方を若干報告したが、さらに実験を行ない考察を加えたので、ここに報告する。

表-1 標準砂実験データ

② 実験概要・結果 実験の概要については既報のとおりであるので省略する。実験時の諸データを表-1に一括して示した。表-2は、底から25cmの位置に設置された水圧計によって測定された動的過剰間げき水圧の解析結果を示したものである。表中の各記号はつぎの諸量を表わす。 h :水深, d :砂層厚, α :沈下量, n :砂層平均間げき率, γ :飽和砂の有効単位体積重量, σ_2 :動的過剰間げき水圧, α :振動加速度, t :時間, z :底からの距離, なお沈下 $0, e, s, p$ は、それぞれ、振動開始時、終了時、 σ_2 上昇開始時、最大値到達時を意味する。

実験番号	振動条件 c/s	mm	h cm	d cm	d_e cm	d_s cm	d_s/d_0	n_0	n_e	γ g/cm ³
1	5	3.5	13.2	13.2	11.9	1.3	0.097	0.420	0.356	0.900
2	"	4.0	13.6	13.2	12.3	0.9	0.068	0.420	0.376	0.900
3	"	-	13.3	13.1	12.35	0.75	0.057	0.414	0.379	0.912
4	"	5.0	13.6	13.1	12.0	1.1	0.084	0.418	0.364	0.901
5	"	4.9	13.6	13.3	12.3	1.0	0.075	0.423	0.376	0.900
6	10	0.8	13.7	13.35	12.5	0.85	0.064	0.428	0.387	0.893
7	"	0.9	13.6	13.3	12.4	0.9	0.068	0.423	0.382	0.900
8	"	1.0	13.6	13.3	12.35	0.95	0.073	0.423	0.379	0.900
9	"	1.3	13.5	13.3	12.2	1.1	0.083	0.423	0.372	0.900
10	"	1.4	13.6	13.4	12.1	1.3	0.097	0.429	0.367	0.890
11	5	6.0	20.8	20.3	18.35	1.95	0.096	0.403	0.348	0.968
12	"	2.9	20.8	20.2	18.8	1.4	0.069	0.401	0.356	0.971
13	"	3.5	20.8	20.6	18.65	1.95	0.095	0.411	0.350	0.955
14	"	3.1	20.5	20.2	18.75	1.45	0.072	0.401	0.354	0.970
15	10	-	20.9	20.6	18.95	1.65	0.080	0.411	0.361	0.955
16	"	0.7	20.7	20.4	19.3	1.1	0.054	0.407	0.373	0.963
17	"	-	20.8	20.3	19.2	1.1	0.054	0.403	0.369	0.968

表-2 実験結果

③ 発生期における動的過剰間げき水圧 動的過剰間げき水圧(σ_2)は、砂層厚 z に応じて3~4点において測定されたが、表-2には、最も深い測点である $z=25$ cmにおける解析結果を示した。

σ_2 の上昇開始加速度は、60~120 gal と比較的小さく、本実験では砂層厚 z 、間げき率、振動条件などの相違による顕著な差異は認められなかったが、本実験だけからでは、これらの要素の影響度を定量的に分析することはできなかった。 σ_2 発生後も振動力は漸次増大せられ、その定常最大加速度は表中に示されたとおり、 σ_2 発生時よりもかなり大きい。さらに σ_{2max} に対応する加速度も表中に示したが、この値は σ_{2max} を得るに必要な加速度であるとするとは誤りである。すなわち、 σ_2 の

Ex. No.	t_s sec	t_p sec	α_{max} g/cm ²	α_{ts} gal	α_{tp} gal	α_{max} gal	t_p-t_s sec	t_e-t_p sec	$\sigma_2(\alpha_{ts})$ g/cm ²	σ_{2max} g/cm ²
1	0.8	2.0	8.0	120	277	294	1.2	-	8.6	0.83
2	-	-	7.8	-	290	298	-	-	8.6	0.81
3	0.6	1.4	7.2	78	173	254	0.8	31	9.7	0.74
4	0.8	3.2	6.0	86	320	350	2.4	33	9.6	0.63
5	0.8	1.6	6.5	62	110	263	0.8	32	9.7	0.67
6	6.8	8.1	6.9	70	110	166	1.3	24	9.7	0.71
7	4.6	6.4	6.8	90	150	216	1.8	22	9.7	0.70
8	2.2	4.6	6.6	90	134	235	1.4	27	9.7	0.68
9	3.2	4.2	7.0	86	122	309	1.0	30	9.7	0.72
10	4.4	5.6	7.4	75	105	265	1.2	29	9.7	0.76
11	0.5	3.0	12.0	-	-	-	2.5	-	17.2	0.70
12	0.4	1.6	10.1	67	141	254	1.2	43	17.2	0.59
13	0.4	2.8	12.5	62	290	300	2.4	55	17.3	0.72
14	1.0	2.8	11.9	106	236	236	1.8	45	17.2	0.69
15	4.0	9.6	12.0	95	240	240	5.6	43	17.3	0.69
16	3.0	5.2	13.3	68	128	162	2.2	37	17.2	0.91
17	2.4	3.6	11.9	80	118	155	1.2	28	17.2	0.69

発生期は振動が定常に至っていない状態であり、このような実験方法によって σ_z の最大値を与えぬ加速度を適確に定めることは不可能であろう。

図-1は σ_z の上昇速度を推定しようとするものである。測定値にかんがりのバツキがみられるが、ほぼ毎秒6%程度である。 σ_z の上昇速度と砂層の流動化の進行速度とは後述するように密接な関連を持つから、さらに多くの綿密な実験を行ない、このような定量的把握が可能とすれば、流動化現象の定量的把握も可能である。

④ 砂層の流動化 従来、砂層の流動化は、間隙水圧が上昇することに基づき、砂層の表層部からある深さまで一時的に砂粒子を懸濁した液状になり、支持力を失う現象として認識されてきた。したがって、流動化した砂層の動的過剰間隙水圧は、その懸濁液の静圧に等しい値 $\gamma(d_0-z)$ になるとされている。本実験においては、砂層が完全に流動化するに十分であると思われる比較的大きな振動力を与えたにもかかわらず、表-2に示したように $z=2.5\text{cm}$ における $\sigma_{z\max}/\gamma(d_0-z)$ の値は、0.6~0.8にすぎない。ところで、実験1~10と実験11~17とは砂層厚が異なる。したがって、従来どおりの考え方を踏襲するならば、同程度の振動力によっては、同程度の砂厚まで流動化することになる。したがって、 $\sigma_{z\max}/\gamma(d_0-z)$ の値は、これら2つの実験ケースによって異ならなければならない。さらに図-2には深さの異なる2測点の σ_z の時間的变化を示したが、 $z=7.5\text{cm}$ における $\sigma_{z\max}/\gamma(d_0-z)$ の値も0.8程度である。このことは、流動化時の砂層構造を懸濁液とみなすことの問題点を指摘するものであり、砂粒子が互に力を及ぼし合わない、すなわち接触していないとする考え方をもう一度検討しなおす必要があることを示すものである。

振動力は砂層全体のSkeletonに伝播されるから、間隙水は個々の粒子Skeletonから、それぞれ静止状態とは異なる応力を受けるものと考えられる。したがって、 σ_z の発生が必ずしも上層部から起こるとはいえない。したがって、厳密には σ_z の上昇速度=流動化の進行速度とはいえないが、巨視的にみればいえるであろう。

図3には、図-2に示した実験における砂層の間隙率の変化を示した。図から明らかになるように、 σ_z の発生期においては間隙率はほとんど減少しない。砂層の沈下は σ_z の減衰期における現象である。

- 参考文献
- 1) 石原・尾島・古賀他: 飽和砂層の流動化時における間隙水圧性状について, 昭和44年度関西支部年報概要, II-12.
 - 2) 石原・尾島: 振動時の間隙水圧に関する基礎的研究, 京都大学防災研究所年報才12号B, 昭和44年3月.

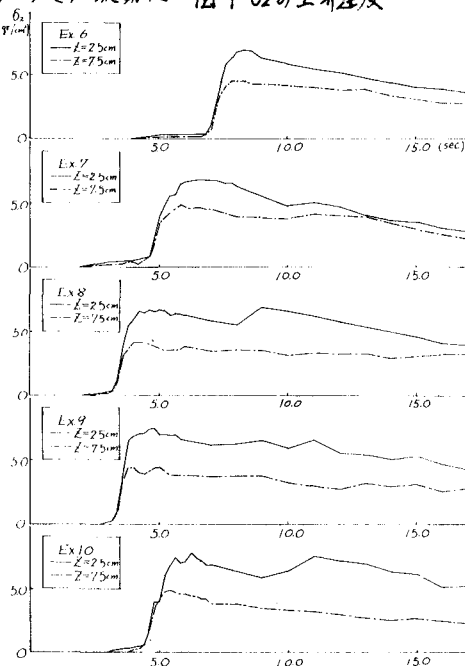
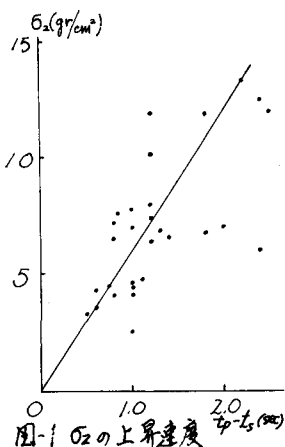


図-2 σ_z の時間的变化

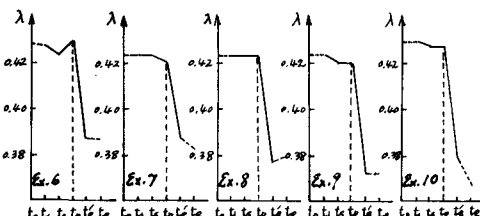


図-3 間隙率の変化