

上載圧を与えた砂地盤の振動台による液状化実験（その2）

大阪市立大学大学院 正 大島昭彦 学 宮本貴子 学 藤元 学
 大阪市立大学工学部 ○学 岡 克彦
 (株)浅沼組技術研究所 正 浅田 毅 正 溝口義弘

まえがき 繰返し定体積一面，単純せん断試験による液状化強度を検証するために，振動台による液状化実験を行った¹⁾。通常，要素試験による液状化強度はせん断応力比とせん断ひずみに基づいて定義される。そこで，ここでは振動台実験で得られた加速度の補正方法とその検証，および深度方向のせん断応力比およびせん断ひずみを算定した結果を報告する。なお，振動台の実験方法，実験条件等は文献1)を参照されたい。

せん断応力比，せん断ひずみの算定方法 図-1 に振動台実験で得られた深度毎の加速度（後述の補正值）からせん断応力比 τ/σ'_0 を算定する手法を示した²⁾。単位面積の土柱を剛体と仮定し，隣接する加速度計の中央深度のせん断応力増分 $\Delta\tau$ は，その間の慣性力（=全応力増分 $\Delta\sigma \times$ 平均加速度）に等しいと考え， τ は上から順にたし込んで求めた。ただし，今回は地盤表面上載圧 p_0 を載荷しているので，上載圧による成分を考慮している。次に，求めた τ をそれぞれの位置の有効土被り圧 σ'_0 で除して，せん断応力比 τ/σ'_0 を算定した。

せん断ひずみ γ は，加速度を時間で2回積分して求めた要素の相対変位を層厚で除して算定した。

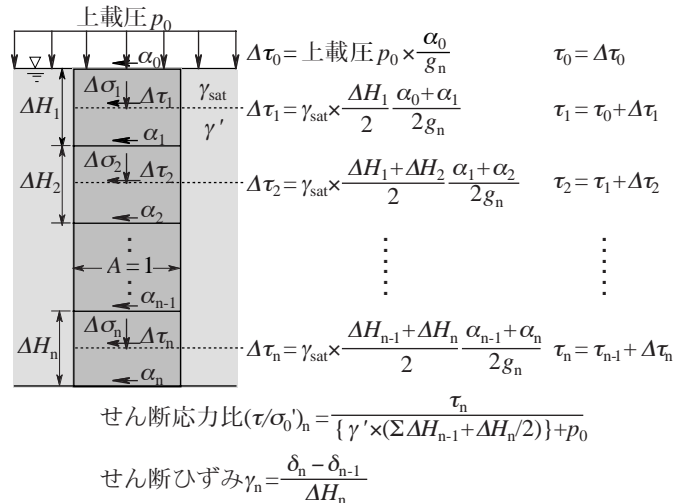


図-1 せん断応力比，せん断ひずみの算定方法

加速度の補正方法とその検証 振動台実験で実測される加速度波形には，液状化時に計器が傾くことによるゼロ基線のずれや不必要な低周波，高周波成分が含まれる。そこで前者を Trifunac 法で，後者を FFT によるスペクトル分析を行い，不必要な成分を除去する補正を行った³⁾。

上記の補正を検証するため，代表例として図-2(1)~(3)に Case4.2 のそれぞれ加速度 α_4 の実測値と補正值，せん断土槽のフレーム F5 実測変位と補正加速度 α_4 から算出した変位（振動台変位との相対変位），土槽底部に設置した荷重計で測定したせん断応力と上記手法で計算したせん断応力の比較を示した。図(1)の加速度は液状化前まではほとんど変わらないが，液状化後の高周波成分が補正值では除去され，ゼロ基線も補正されている。図(2)の F5 実測変位と計算値はほぼ一致している。図(3)のせん断応力は実測値の方が全体にやや大きい，波形形状はよく一致している。

このケースでは 0.3Hz 以下と 3Hz 以上を除去したが，各ケースともこのような検証を行って，低周波，高周波成分を除去して補正した。

以下では，この補正加速度を用いて τ/σ'_0 と γ を算出している。

せん断応力比，せん断ひずみの特性 図-3 に代表例として珪砂 5 号の Case4.2 ($D_r=32\%$, 120gal)の浅部，中央部，深部のせん断応力比 τ/σ'_0 ，せん断ひずみ γ 波形を示した（↓は液状化発生位置を表す）。 τ/σ'_0 は液状化後

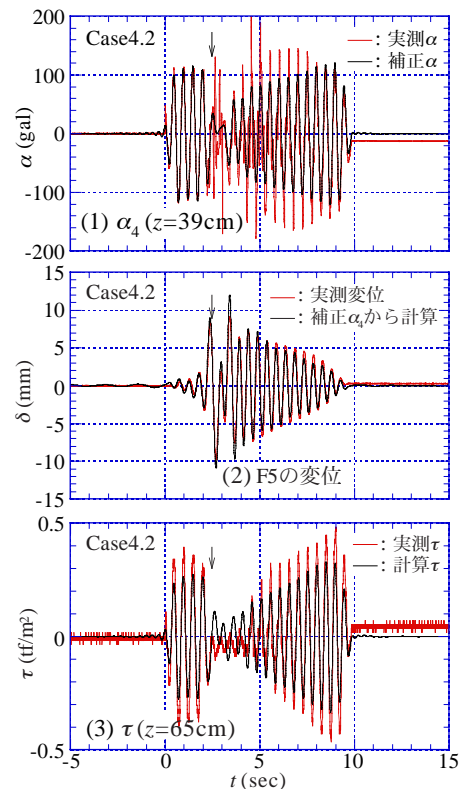


図-2 加速度，変位，せん断応力の補正值，計算値の検証（Case4.2）

Key Words: 液状化，振動台実験，せん断応力比，せん断ひずみ，相対密度，砂

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

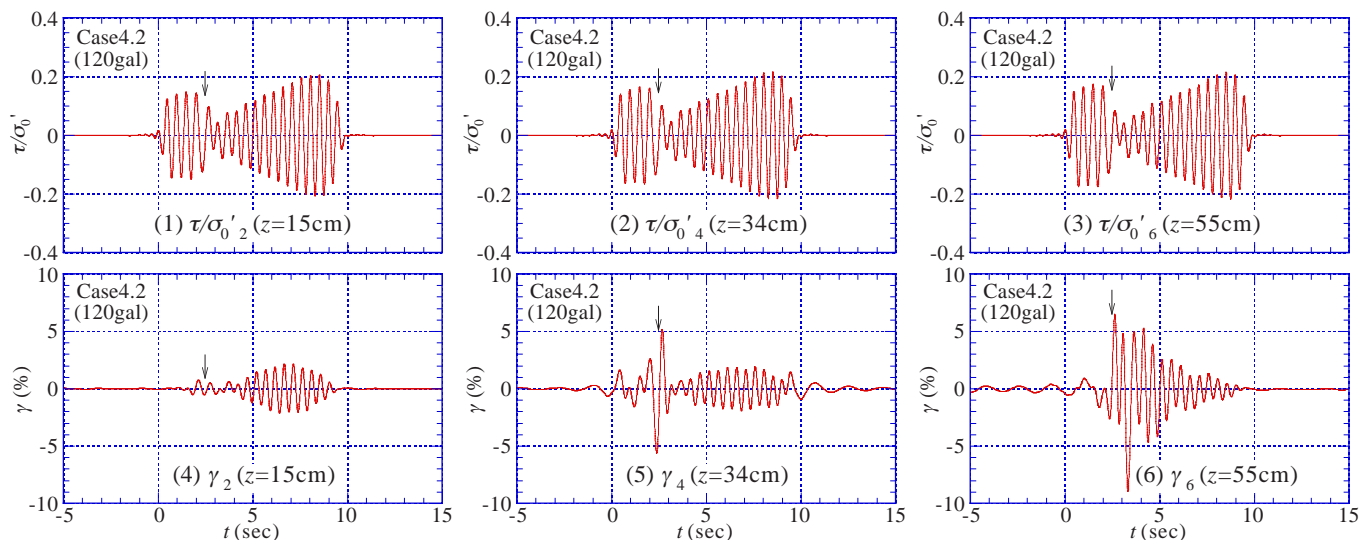


図-3 Case4.2 (珪砂 5号, $D_r=32\%$, 120gal) の τ/σ'_0 , γ 波形

に一旦減衰するが、その後増幅している。これは加振中に密度増加してせん断抵抗が増加したためである。また、液状化前の τ/σ'_0 の振幅は深部ほど大きい。これは図-1 内の式に示すように、 τ は全応力に、 σ'_0 は有効応力に依存し、深部ほど全応力増加が有効応力増加より相対的に大きくなるためである。これにより τ/σ'_0 が小さい浅部では、過剰間隙水圧 Δu が σ'_0 に達せず、液状化に至っていない。 γ は液状化直前に大きくなり、その後減衰していることがわかる。液状化に至らなかった浅部は、やはり γ の発生も小さい。

各ケースとも同様な整理を行い、液状化直前までの τ/σ'_0 のピーク値の平均をせん断応力比振幅 τ/σ'_0 とし求め、液状化直前の両振幅せん断ひずみ γ_{DA} を求めた。表-1~3 に各ケースの深度毎の τ/σ'_0 と γ_{DA} をまとめた。ただし、地盤表面と底面を含む要素 (1 と 7) は境界の影響を受けるので除いた。また、

表中の数値が括弧書きになっているのは、 Δu が σ'_0 に達せず、液状化に至らなかったことを表す。浅部が液状化しなかったケースが多いが、逆に深部が液状化しなかったケースもあった。 γ_{DA} は砂の種類に関係なく、概ね 5~10% 程度 (平均的に 7.5%) であることがわかる。やはり、液状化に至らなかった場合の γ_{DA} は小さい。

以上の振動台実験と繰返し定体積一面、単純せん断試験の液状化強度の比較については文献 4) を参照されたい。

参考文献 1) 大島, 他: 上載圧を与えた砂地盤の振動台による液状化実験 (その 1), 土木学会第 58 回年次学術講演会 (投稿中), 2003. 2) 佐々木, 他: 振動台実験における間隙水圧の発生特性, 第 23 回土質工学研究発表会, pp.935-936, 1988. 3) 日本建築学会: 地震動と地盤—地盤振動シンポジウム 10 年の歩み—, pp.207-211, 1983. 4) 大島, 他: 振動台実験と繰返し一面・単純せん断試験の液状化強度の比較, 土木学会第 58 回年次学術講演会 (投稿中), 2003.

表-1 珪砂 5号の τ/σ'_0 , γ_{DA}

実験No.	D_r (%)	α (gal)	N (波)	せん断応力比振幅 τ/σ'_0					両振幅せん断ひずみ γ_{DA}				
				2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Case 1.2	35	160	2.0	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	5.0	6.6	10.0	10.0	8.8
Case 1.3	65	160	2.5	0.15	0.15	0.15	0.15	(0.14)	7.5	12.3	9.6	6.6	(2.2)
Case 1.6	89	400	12.0	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	7.2	8.4	6.9	7.0	7.5
Case 4.2	32	120	5.0	(0.14)	(0.15)	0.16	0.16	0.16	(1.3)	(3.9)	7.5	7.9	8.1
Case 4.6	73	400	9.0	0.45	0.48	0.50	0.51	0.53	6.2	7.8	8.6	9.0	8.0

表-2 珪砂 7号の τ/σ'_0 , γ_{DA}

実験No.	D_r (%)	α (gal)	N (波)	せん断応力比振幅 τ/σ'_0					両振幅せん断ひずみ γ_{DA}				
				2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Case 2.2	52	140	3.5	(0.14)	0.15	0.15	0.15	0.15	(0.1)	8.0	20.0	7.4	4.5
Case 2.3	61	140	3.5	(0.14)	(0.15)	0.15	0.16	0.15	(1.5)	(1.7)	22.0	13.5	7.3
Case 2.4	68	140	4.0	(0.16)	(0.17)	0.18	0.18	0.18	(2.4)	(3.0)	7.1	12.8	8.9
Case 2.5	73	140	6.5	(0.17)	(0.17)	(0.18)	0.18	0.19	(1.4)	(2.3)	(3.5)	9.2	10.5
Case 2.6	77	140	12.0	(0.17)	(0.18)	0.19	0.20	0.20	(1.7)	(2.5)	4.6	5.3	7.5
Case 2.9	83	400	17.0	0.43	0.46	0.47	(0.49)	(0.50)	9.8	10.4	5.1	(4.0)	(2.3)
Case 5.1	51	80	12.0	(0.09)	(0.10)	0.10	0.10	0.11	(0.1)	(0.4)	4.2	10.7	7.8
Case 5.2	59	120	3.0	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	4.1	4.0	10.1	10.7	10.7
Case 5.3	66	160	3.0	(0.19)	0.20	0.21	0.21	0.21	(3.0)	12.0	9.8	6.6	7.2
Case 5.4	74	200	3.0	(0.24)	0.25	0.26	0.27	0.27	(1.5)	9.4	10.7	8.8	10.9
Case 5.5	78	200	6.0	(0.23)	(0.24)	0.25	0.25	0.25	(1.0)	(4.6)	10.8	11.7	12.8
Case 5.6	83	200	8.0	(0.25)	(0.27)	0.27	0.28	0.28	(1.1)	(2.7)	9.7	8.7	9.8

表-3 混合珪砂の τ/σ'_0 , γ_{DA}

実験No.	D_r (%)	α (gal)	N (波)	せん断応力比振幅 τ/σ'_0					両振幅せん断ひずみ γ_{DA}				
				2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Case 3.3	58	125	4.5	(0.14)	0.15	0.15	0.16	0.15	(4.8)	6.0	7.1	10.8	7.2
Case 3.5	71	200	6.0	0.24	0.25	0.26	0.27	0.27	8.1	7.1	10.3	7.1	5.5
Case 6.1	51	80	7.5	(0.09)	(0.09)	0.10	0.10	(0.10)	(0.2)	(3.1)	9.0	7.0	(3.6)
Case 6.2	58	120	4.5	(0.14)	(0.15)	0.16	0.16	0.16	(4.5)	(5.6)	5.4	9.7	6.7
Case 6.5	68	250	8.0	0.29	0.30	0.31	0.32	0.32	8.5	10.3	9.8	5.5	6.0
Case 6.6	75	400	4.0	0.40	0.43	0.45	0.46	0.47	5.4	8.4	12.7	9.8	8.7