

損失エネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルの検討  
 -損失エネルギーと細粒分含有率の関係-

Examination of Excess Pore Water Pressure Model Based on Dissipated Energy  
 - Relationship Between Dissipated Energy and Fine Grain Content -

○矢田部瑛平<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>

\*Yohei Yatabe<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>

Abstract: The strain-dependency of elastic modulus from dissipated energy is considered to be usefulness for performing liquefaction judgment by the energy method. In this report, we investigate the relationship between the energy obtained from strain-dependency of elastic modulus and dissipated energy, and physical properties.

1. はじめに

液状化の発生予測に関するモデルは数多く提案されている。その中で本報告では損失エネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルに着目した。

風間ら<sup>1</sup>は、損失エネルギー( $W_s$ )から剛性低下( $G/G_1$ )を適切に求められる可能性を示し、エネルギー法による液状化判定を実施する上で大きなメリットとなることを述べている。そこで剛性低下と損失エネルギーの関係から、過剰間隙水圧モデル<sup>2)</sup>のパラメータとして定義される損失エネルギーを検討することとした。本報告では、過剰間隙水圧モデルに用いる損失エネルギーと物理特性の関係性について検討する。また、損失エネルギーと液状化に及ぼす影響因子である細粒分含有率の関係性について検討を行う。

2. 検討に用いた三軸試験結果

本報告では、「エネルギーに基づく液状化予測手法に関するシンポジウム」<sup>3)</sup>で公表された三軸試験結果を用いている。三軸試験結果は砂質土について行われたものであり、全ての試料を原地盤から採取している。試料の採取方法はチューブサンプリングである。

Tabel 1 に試料の物理特性を示す。本報告で扱う試料は、液状化した 15 試料 53 供試体(堆積区分は盛土, 埋立, 沖積である)を対象としている。また、全ての供試体が不攪乱試料であり、細粒分含有率( $F_C=1.3\sim 62\%$ )が含まれている。

いずれの供試体についても、非排水条件で微小ひずみレベル( $\pm 10^{-5}$ 以下)での繰返し载荷により初期剛性が測定された後、原位置相当の拘束圧の下で地盤工学会基準 JGS 0541 による土の繰返し非排水三軸試験が行われた。このときの繰返し载荷は、両振幅軸ひずみ  $\epsilon_{DA}=10\%$  に達するまで行っている。

Tabel.1 Physical properties of test samples.

Basic data		Test for physical properties data				
Sample name	Sampling depth	$D_{50}(\text{mm})$	$U_c$	$C_c$	$\rho_{dc}$	$F_C(\%)$
1-2-1-1	9.50~9.62	0.139	21.40	8	1.486	33.8
1-2-1-2	9.62~9.74	0.201	30.10	7.7	1.316	27.5
1-2-1-3	9.74~9.86	0.245	32.70	7.4	1.391	24.0
1-2-1-4	9.86~9.98	0.191	45.90	9.1	1.408	31.4
3-3A-1-3	2.24~2.36	0.284	24.40	6.4	1.475	23.8
3-3A-1-4	2.36~2.48	0.339	16.00	4.4	1.545	15.2
3-3A-1-5	2.48~2.60	0.301	24.50	6.3	1.580	21.7
3-3A-1-6	2.60~2.72	0.337	10.80	3.5	1.551	13.2
4-2-1-2	5.18~5.30	0.144	3.09	2.1	1.441	11.9
4-2-1-3	5.30~5.42	0.163	1.62	-	1.419	3.5
4-2-1-8	5.90~6.02	0.164	3.00	1.8	1.396	12.2
4-2-1-10	6.10~6.22	0.143	1.79	-	1.419	8.1
4-2-3-5	8.48~8.60	0.128	2.98	2.3	1.436	18.6
4-2-3-6	8.60~8.72	0.136	4.67	3.7	1.460	15.0
5-2-1-2	3.28~3.40	0.157	1.95	-	1.450	8.3
5-2-1-3	3.40~3.52	0.144	1.98	-	1.382	9.3
5-2-3-3	2.19~2.31	0.181	2.27	3.1	1.706	8.4
5-2-3-4	2.31~2.43	0.176	1.72	1.2	1.557	2.3
5-2-3-5	2.43~2.55	0.183	1.63	1.2	1.544	2.3
5-2-3-6	2.55~2.67	0.168	1.67	1.6	1.518	3.5
6-2-1-1	6.00~6.12	0.079	17.50	9.1	1.316	48.2
6-2-1-2	6.12~6.24	0.102	11.00	5.9	1.341	37.1
6-2-1-3	6.24~6.36	0.082	34.60	12.7	1.341	47.8
6-2-1-5	6.51~6.63	0.062	16.80	10.6	1.342	62.0
6-2-1-6	6.63~6.75	0.085	13.10	7.6	1.365	45.1
8-2-1-2	4.92~5.04	0.206	13.00	5.2	1.435	15.8
8-2-1-4	5.15~5.27	0.240	7.41	3.4	1.449	15.1
9-2-1-6	5.39~5.51	0.229	15.30	5.3	1.489	16.1
9-2-1-1	4.00~4.12	0.318	15.00	3.4	1.505	15.3
9-2-1-2	4.12~4.24	0.297	11.80	3.8	1.436	15.4
9-2-1-4	4.36~4.48	0.167	9.59	3.6	1.553	26.2
9-2-1-5	4.48~4.60	0.296	13.40	4.8	1.346	15.5
9-2-2-1	5.00~5.12	0.460	48.60	3.2	1.782	6.2
9-2-2-2	5.12~5.24	0.323	11.40	4.6	1.719	12.5
9-2-2-3	5.24~5.36	0.318	8.79	4.8	1.716	12.3
9-2-2-4	5.36~5.48	0.368	6.64	4.1	1.728	10.1
10-2-1-2	3.12~3.24	0.066	7.80	6.4	1.171	60.2
10-2-1-5	3.48~3.60	0.123	7.50	6	1.375	26.3
10-2-1-6	3.60~3.72	0.167	1.62	1.7	1.372	3.2
10-2-2-3	4.24~4.36	0.225	1.79	1.2	1.380	1.3
10-2-3-2	5.12~5.24	0.395	3.49	-	1.431	7.4
10-2-3-5	5.48~5.60	0.324	5.88	-	1.328	11.1
14-2-1-2	4.12~4.24	0.062	37.50	15.3	1.419	95.1
14-2-1-3	4.24~4.36	0.095	20.00	9.1	1.356	43.3
14-2-1-4	4.36~4.48	0.098	16.50	8.9	1.430	41.3
14-2-1-5	4.48~4.60	0.115	38.10	10.7	1.324	34.2
14-2-1-6	4.60~4.72	0.176	2.21	2.4	1.427	7.2
14-2-2-1	5.00~5.12	0.110	21.80	9.2	1.308	36.6
14-2-2-2	5.12~5.24	0.066	13.70	9.5	1.231	56.8
14-2-2-3	5.24~5.36	0.066	4.66	5.8	1.197	59.9
14-2-2-4	5.36~5.48	0.098	9.99	6.5	1.307	39.1
14-2-2-6	5.60~5.72	0.173	4.34	2.5	1.491	12.8
14-2-2-7	5.72~5.84	0.176	2.45	3.8	1.505	9.1

$D_{50}$  : 50% diameter on the grain size     $U_c$  : Uniformity coefficient  
 $C_c$  : Clay content     $\rho_{dc}$  : Dry density     $F_C$  : Fine fraction content

3. 試験結果の検討

3.1 本報告に用いる損失エネルギーの算出方法

「エネルギーに基づく液状化予測手法に関するシンポジウム」<sup>3)</sup>で公表された三軸試験結果より 15 試料 53 供試体に対して  $G/G_1 - W_s$  関係を求めた。ここで本報告では最初の载荷履歴の割線剛性を初期剛性( $G_1$  とする)とした。また、 $G/G_1 - W_s$  関係より  $G/G_1=0.5$  の  $W_s$  を本報告で用いる損失エネルギーとする。

1 : 日大理工・院(前)・建築 2 : 日大理工・教員・建築

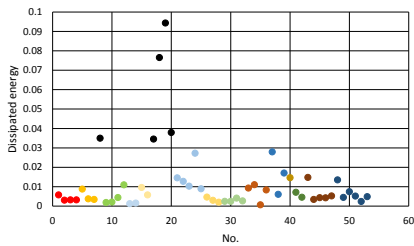


Fig.1 Dissipated energy obtained from test results

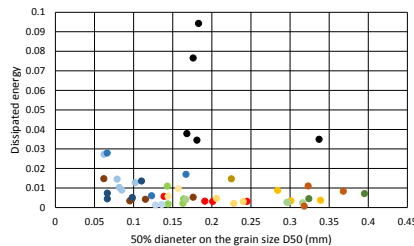


Fig.2(a) Relationship between dissipated energy and 50% diameter on the grain size

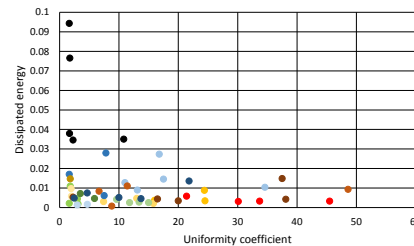


Fig.2(b) Relationship between dissipated energy and Uniformity coefficient

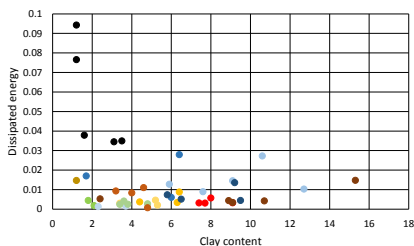


Fig.2(c) Relationship between dissipated energy and clay content

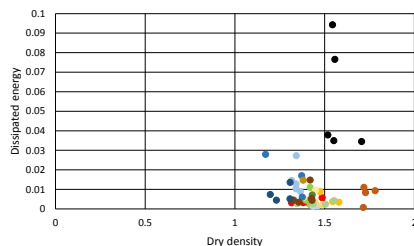


Fig.2(d) Relationship between dissipated energy and dry density

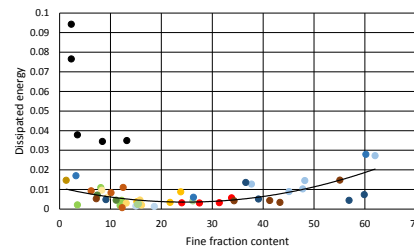


Fig.2(e) Relationship between dissipated energy and fine fraction content

### 3.2 損失エネルギーと物理特性

Fig.1 に本報告で対象とした 53 供試体の損失エネルギーの値を示す。同図より、多少のばらつきが見られるものの、試料採取時に供試体に乱れが生じた可能性があるデータ<sup>3)</sup>(5 供試体, 3-3A-1-6, 5-2-3-2~5-2-3-6, 黒色)を除くと損失エネルギーは概ね 0.001~0.02 程度の値となる分布を示している。また、同一の砂で損失エネルギーの分布を見ると概ね一定とみなせる傾向を示している。

53 供試体の損失エネルギーと物理特性との関係性の一例を Fig.2(a)~(e) に示す。同図(a)~(d)より、上述した供試体に乱れが生じた可能性があるデータを除くと、損失エネルギーはそれぞれの物理特性( $D_{50}$ ,  $U_c$ ,  $C_c$ ,  $\rho_{dc}$ )で一樣なばらつきが見られるが、その範囲は狭く概ね一定値とみなすことができる。

Fig.2(e) に対象とした 53 試料の損失エネルギーと細粒分含有率の関係を示す。同図より上述した供試体に乱れが生じた可能性があるデータを除くと細粒分含有率が 30% 付近で最小の損失エネルギーを示している。このような下に凸の曲線のような分布を示していることは、安達<sup>4)</sup>が報告している最大減衰定数( $h_{max}$ )と細粒分含有率( $F_c$ )の関係を表す傾向と概ね一致している。このことから、損失エネルギーは細粒分含有率の影響を受け、細粒分含有率より損失エネルギーの値を予測できる可能性が示唆された。

### 4. まとめ

本報告で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 損失エネルギーと物理特性( $D_{50}$ ,  $U_c$ ,  $C_c$ ,  $\rho_{dc}$ )の関係ではばらつきが見られるものの、供試体に乱れが生じたデータを除くと損失エネルギーは概ね一定値を示し、損失エネルギーと物理特性との関係性は見られなかった。
- 2) 細粒分含有率については、損失エネルギーと細粒分含有率の関係は、細粒分含有率が 30% 付近で最小となる下に凸の曲線になることを示した。
- 3) 2)の結果は安達<sup>4)</sup>が報告している最大減衰と細粒分含有率の関係を表す傾向と概ね一致している。従って、損失エネルギーは細粒分含有率より予測できる可能性が示唆された。

### 【参考文献】

- 1) 風間基樹, 鈴木崇弘, 柳沢栄司: 地盤に入力された累加損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用, 土木学会論文集, Vol. 631, III-48, 161-177, 1999.
- 2) 中村匠, 山田雅一, 道明裕毅, 内田直登: 塑性ひずみエネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルの検討-中空ねじり試験を用いた改良 GMP モデルの適用性-, 平成 30 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.171-172, 2018.
- 3) エネルギーに基づく液状化予測手法に関する研究委員会: エネルギーに基づく液状化予測手法に関するシンポジウム 委員会活動報告書及びシンポジウム論文集, 2018.
- 4) 安達俊夫: 砂および粘性土の原位置におけるせん断剛性と減衰定数のひずみ依存性の推定法に関する実験的研究, 日本大学博士論文, 1988.