

広範囲の間隙比に適応できる間隙比関数を用いたせん断剛性の評価  
—種々の砂を用いた検討—

Evaluation of Shear Modulus with the Use of Void Ratio Function Adaptable to Wide Range of Void Ratios  
-Examination Using Various Sands-

○増形響<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>, 小林亮太<sup>3</sup>, 徳井豊<sup>1</sup>

\*Hibiki Masugata<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>, Ryota Kobayashi, Yutaka Tokui<sup>1</sup>

Abstract: Several void ratio functions have been proposed. The void ratio function proposed by Bui et al can be applied over a wide range of  $e=0.37$  to  $3.86$ . Kobayashi et al. examined of shear modules of various sands, and proposed Material Constant of  $48900$ . In this report, we confirmed the adaptability of the shear module formula using the material constants proposed by Kobayashi et al. using the test results of the past.

1. はじめに

地盤の変形問題を扱う際に重要となってくるせん断剛性  $G$  は、間隙比および平均有効主応力の影響を大きく受けることが分かっており次式で表現することができる。

$$G=A \cdot F(e) \cdot \sigma'_m{}^n \quad (1)$$

ここで、 $F(e)$ :間隙比関数、 $e$ :間隙比、 $A$ :材料定数、 $\sigma'_m$ :平均有効主応力、 $n$ :応力指数である。間隙比関数はこれまでに数多く提案されており、適応する間隙比の範囲が限られている。Bui ら<sup>1)</sup>によって提案された間隙比関数は、広範囲な間隙比( $e=0.37\sim 3.86$ )の土に適応されており、(2)式で表される。

$$F(e)_B = (1+e)^{-3} \quad (2)$$

小林ら<sup>2)</sup>は、この  $F(e)_B$  を用いて種々の砂に対して材料定数  $A$  を算出し、その平均値は概ね  $48900$  であると報告している。

本報では、Bui らの提案した間隙比関数  $F(e)_B$  を用いたせん断剛性  $G$  の推定式の適用性について、既往の文献から得られた試験結果を用いて検討を行う。

2. 間隙比関数  $F(e)_B$

Bui らは土粒子中を通るせん断波速度  $V_{\text{grain}}$  と土粒子間を通る  $V_{\text{contact}}$  の組み合わせが土中を伝搬するせん断波速度  $V_s$  であるとみなし、間隙比による影響を定量化するために土を多孔質相と土粒子相の二層から成る形として考え、土を簡易的なモデルとして理論的に算出した間隙比関数  $F(e)_B$  を提案した。

Table1 Test overview

No.	Sample	Test method	Stress state	Shear modulus $G_0(\text{kN/m}^2)$	Void ratio $e$	Material constant $A (F(e)_B)$	Literature
1	Toyoura sand	BE	Unisotropic	27730-92553	0.79-0.80	55432	Ryota Kobayashi. et al. <sup>2)</sup>
2	Kasima sand	BE	Unisotropic	19526-54241	0.93-0.95	38900	Ryota Kobayashi. et al. <sup>2)</sup>
3	Niigata sand	BE	Unisotropic	22544-85570	0.85-0.87	59356	Ryota Kobayashi. et al. <sup>2)</sup>
4	Ticino Sand	Torsional shear	Unisotropic	60000-160000	0.62-0.80	48692	Lo Presti. et al. <sup>3)</sup>
5	Quiou sand	Torsional shear	Isotropic, Unisotropic	47000-85000	0.84-1.20	52397	Lo Presti. et al. <sup>3)</sup>
6	Toyoura sand	Torsional shear	Isotropic, Unisotropic	75000-160000	0.81-0.98	55759	Lo Presti. et al. <sup>4)</sup>
7	Quiou sand	Torsional shear	Isotropic	42000-160000	0.84-1.18	59597	Lo Presti. et al. <sup>4)</sup>
8	Catania sand	Torsional shear	Isotropic	66000-120000	0.69-0.80	56618	Lo Presti. et al. <sup>4)</sup>
9	Toyoura sand	Dynamic triaxial	Isotropic	53477-179591	0.58-0.82	41541	Toshio Adachi. et al. <sup>5)</sup>
10	Huzisawa sand	Dynamic triaxial	Isotropic	51607-126013	0.67-0.71	54794	Toshio Adachi. et al. <sup>5)</sup>
11	Narita sand	Dynamic triaxial	Isotropic	40622-96328	0.72-0.90	34946	Toshio Adachi. et al. <sup>5)</sup>
12	Urayasu sand	Dynamic triaxial	Isotropic	38470-118742	0.88-1.14	37170	Toshio Adachi. et al. <sup>5)</sup>
13	River sand	Dynamic triaxial	Unisotropic	59624-93358	0.65-0.80	39259	Nobuchika Moroto. <sup>6)</sup>
14	Hormuz sand (calcareous sand)	Resonant Columun	Isotropic	217900-356800	0.53-0.54	48585	Yaser Jafarian et al. <sup>7)</sup>
15	Babolsar sand (siliceous sand)	Resonant Columun	Isotropic	171800-291700	0.53-0.54	39478	Yaser Jafarian et al. <sup>7)</sup>
16	Clean hostum sand No.200	Resonant Columun	Isotropic	51990-131600	0.67-0.89	46303	Meisam Goudarzyet al. <sup>8)</sup>
17	Firozkooh sand No.161 Kaolinaito0%	BE	Isotropic	55400-145300	0.75-0.76	36044	R. Sadeghzadegan et al. <sup>9)</sup>
18	Firozkooh sand No.161 Kaolinaito10%	BE	Isotropic	48900-139100	0.75-0.77	34298	R. Sadeghzadegan et al. <sup>9)</sup>
19	Firozkooh sand No.161 Kaolinaito20%	BE	Isotropic	43000-123700	0.77-0.8	30446	R. Sadeghzadegan et al. <sup>9)</sup>
20	Firozkooh sand No.161 Kaplinaito30%	BE	Isotropic	31900-87800	0.84-0.88	25741	R. Sadeghzadegan et al. <sup>9)</sup>

1 : 日大理工・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

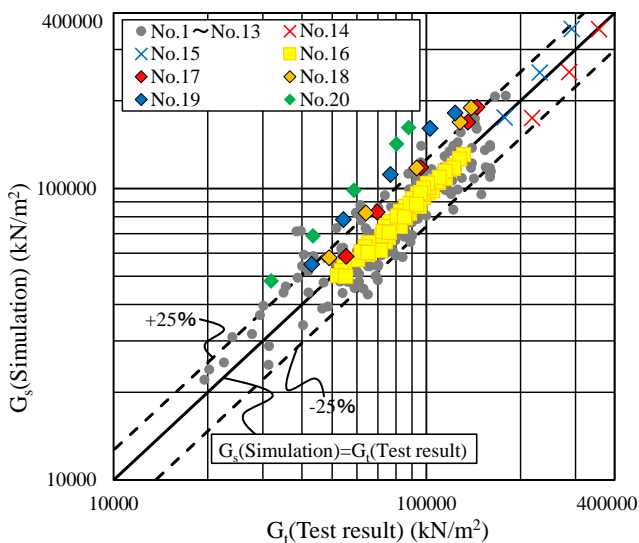


Figure 1. Relationship between simulated  $G_s$  and Measured  $G_t$

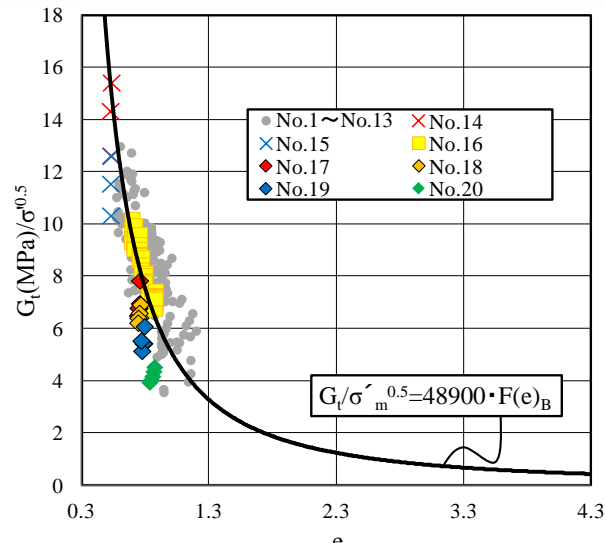


Figure 2. Relationship between  $G_t / \sigma'_m^{0.5}$  and  $e$

### 3. せん断剛性の評価

#### 3.1 検討に用いた試験結果

小林ら<sup>2)</sup>が報告した試験概要および試験結果と、本報で調査した既往の知見より得られた試験概要および試験結果を Table1 に示す。ここに、No.1~No.13 は小林らが調査した試験結果，No.14~No.17 は砂質土，No.18~No.20 は細粒分を含む砂を対象とした試験概要および試験結果である。同表に  $F(e)_B$  を用いて算出した各試料の材料定数  $A$  を示す。小林らは No.1~No.13 の試験結果より，砂の材料定数  $A$  は 48900 となることを示した。本報で調査した No.14~No.17 の砂の材料定数  $A$  の値は概ね 36000~49000 程度の値を示しており，No.18~No.20 の粘土を含む砂は概ね 26000~36000 程度の値を示した。なお，応力指数  $n$  については Bui らと同様に 0.5 を用いた。本報ではこれらの試験結果を用いて，小林らが示した  $G$  の推定式の適用性について検討を行う。

#### 3.2 適用性の検討

Figure1 に，せん断剛性の推定値  $G_s$  とせん断剛性の試験値  $G_t$  の関係を示す。 $G_s$  は，(1)式の間隙比関数に  $F(e)_B$  を用いて，材料定数  $A$  に小林らが提案した 48900 を用いた。同図より No.14~No.17 のせん断剛性  $G_s$  の値はせん断剛性  $G_t$  の  $\pm 25\%$  程度の範囲に概ねプロットされている。ただし，細粒分を含む No.18~No.20 の試験結果では  $\pm 25\%$  の範囲から外れるなどの差異がみられた。

Figure2 に，せん断剛性  $G_t$  を  $\sigma'_m^{0.5}$  で基準化した値と間隙比  $e$  の関係を示す。今回対象とした試験試料の間隙比は概ね 0.3~1.3 程度であり，間隙比とせん断剛性を  $\sigma'_m^{0.5}$  で基準化した値には相関性が見られた。

### 4. まとめ

本報告では Bui らの提案した間隙比関数  $F(e)_B$  を用いた場合のせん断剛性の評価について検討した。今回使用した，既往の論文から得られた試験結果と， $F(e)_B$  および小林らが算出した材料定数 48900 を用いて算出した推定結果との相関性は，概ね良いことが確認された。ただし，細粒分を含む砂に関してはその限りではなかった。今回対象とした土試料の間隙比は概ね 0.3~1.3 程度であった。今後は間隙比が 1.3 以上の土試料に対して検討を行う。

#### 【参考文献】

- 1) Bui M. T. et al. : The universal void ratio function for small strain shear modulus, Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss, 2010.5.
- 2) 小林亮太 他：一般化された間隙比関数を用いたせん断剛性の評価—種々の砂を用いた検討—，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.731-732，2019.
- 3) Lo Presti. et al. : Monotonic and Cyclic Loading Behavior of Two Sands at Small Strains, Géotechnical Testing Journal, Vol.16, No.4, pp.409-424, 1993.1.
- 4) Lo Presti. et al. : Shear modulus and damping of soils, Géotechnique, Vol.47, No.3, pp.603-617, 1997.6.
- 5) 安達俊夫 他：砂および粘性土の原位置における動的変形特性の簡易推定法—地盤の動的変形特性の評価法に関する研究(III)—，日本建築学会構造系論文報告集，第 398 号，pp.121-129，1989.4.
- 6) 諸戸靖史：砂の弾性的な変形特性，土質工学会論文報告集，Vol.12, No.3, pp.65-74, 1972.9.
- 7) Yaser Jafarian. et al. : Dynamic properties of calcareous and siliceous sands under isotropic and anisotropic stress condition, Soils and Foundations, Vol.58, No.1, pp.172-184, 2018.2.
- 8) Meisam Goudarzy et al. : Influence of non-plastic fines content on maximum shear modulus of granular materials, Soils and Foundations, Vol.56, No.6, pp973-983, 2016.12.
- 9) R.Sadeghzadegan et al. : Determination of Small Shear Modulus of Clayey Sand Using Bender Element Test, Geotechnical and Geological Engineering, Vol.12, No.1, pp7-11, 2018.