

深海底堆積層準の巨視的力学特性と微視的構造の関連性に関する実験的研究

名古屋工業大学 学生会員
名古屋工業大学 非会員
名古屋工業大学 正会員

○鈴木雄大
西脇充乃里
岩井裕正, 張鋒

1. はじめに

プレート境界断層（デコルマ）の初期形成過程に関連する力学特性やその内部構造の変化を理解することは、海溝型地震の発生メカニズムを解明する手掛かりとして重要である。なかでも、デコルマはせん断を受けているにも関わらず、ランダムな内部構造を維持したまま高密度な状態であることが確認されている^{1), 2)}。そこで本研究グループは、「デコルマの初期形成にはせん断変形ではなく、地震波などの動的な有効応力変動が支配的な役割を果たす」という仮説のもと、将来的にデコルマになると想定されるプロトデコルマ層準試料を用いて原位置の応力状態である K_0 条件下において載荷前後の内部構造を帯磁率異方性（AMS）測定によって観察した。その結果、面構造の発達に寄与する外力の閾値が $p_c \sim 2p_c$ の間に存在する可能性が示唆された^{3), 4), 5)}。

本稿では、これがプロトデコルマ層準特有の現象であるかを検証することを目的に、プロトデコルマ層準ではない深海底堆積物試料を用いた K_0 条件下での静的載荷試験、動的載荷試験および AMS 測定の結果について報告する。

2. 試料概要

本試験には、室戸岬沖で採取された、デコルマゾーンの直上に位置する深海底堆積物試料 C0023A-00038R-04-WR（採集深度：海底下 606.175 - 606.325 m）を用いた。試料は直径 24.7 mm × 高さ 20 mm に端面成形した。物理特性は、本研究グループが保有する深海底堆積物試料が少なく、貴重であることから深度が近い同じ地点の試料 C0023A-00055R-03-WR（海底下 721.32 - 721.47 m）の成型残土を用いた物理試験により得られた結果を利用する。その結果を Table.1 に示す。

Table.1 試料 C0023A-00055R-03-WR の物理特性

	Symbol	Unit	Value
Moisture content	w	%	19.22
Soil particle density	ρ_s	g/cm ³	2.75
Wet unit weight	γ_t	kN/m ³	19.27
Dry unit weight	γ_d	kN/m ³	16.17
Degree of saturation	S_r	%	79.05
Void ratio	e_0	-	0.67
Liquid limit	w_L	%	109.7
Plastic limit	w_p	%	28.8
Plasticity index	I_p	-	80.9

3. 試験概要

動的載荷試験の条件は、用いる試料の圧密降伏応力 p_c を基に設定するため、定ひずみ速度圧密試験を行い、その後動的載荷試験を実施した。Table.2 に試験条件を示す。静的載荷試験を 1 ケース、動的載荷試験を 3 ケース行った。すべての試験で K_0 載荷試験装置を用いて実施した。

Table.2 試料 C0023A-00038R-04-WR の試験条件

Case	試料	荷重 (MPa)	振動回数 (回)
1	Sample No.1	80	-
2-1	Sample No.2	9.6 ± 6.9	1000
2-2	Sample No.2	9.6 ± 6.9	4000
3	Sample No.3	21.5 ± 19.3	1000

4.1. 静的載荷試験結果

ひずみ速度は、Table.1 に示す塑性指数をもとに 0.01 %/min に設定し、試験の全過程において両端排水条件で実施した。Case 1 から得られた e - $\log p$ 関係を Fig.1 に示す。三笠法により圧密降伏応力を求めたところ、 $p_c = 10.2$ MPa という結果が得られた。

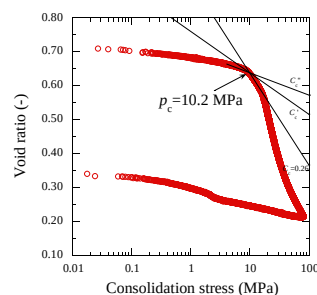


Fig.1 静的載荷試験結果

4.2. K_0 動的載荷試験結果

動的載荷試験は 3 ケース行った。Case 1 で求めた圧密降伏応力が 10.2 MPa であることを踏まえ、プロトデコルマ層準試料を用いた既往の研究^{3), 4), 5)}の試験結果と比較するため、 p_c を基準として初期圧密応力、振幅が同じ倍率となるようにそれぞれの値を定めた。Case 2-1 は最大圧密応力が p_c を超える荷重で振動回数は 1000 回、両端排水条件である。また、Case 2-2 は Case 2-1 と同じ試料を用い、同じ荷重で振動回数を 4000 回に増やし両端非排水条件、Case 3 は最大圧密応力が $4p_c$ で振動回数が 1000 回、両端排水のケースである。

Case 2-1, 2-2 から得られた鉛直変位量～振動回数関係を Fig.2 に示す。図中の縦軸は、動的载荷開始直前の変位を 0 mm とした鉛直変位の値である。Case 2-1 における塑性変位量は約 0.32 mm, Case 2-2 では約 0.30 mm 生じた。Case 2-2 では Case 2-1 と同じ試料を用いて試験を実施したが、特に変わった挙動はみられず正常に载荷できたと考えられる。

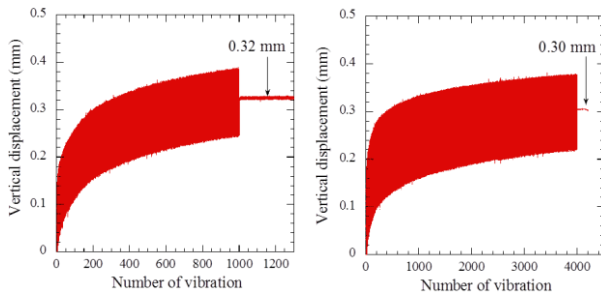


Fig.2 鉛直変位量～振動回数関係

次に, Case 3 から得られた鉛直変位量～振動回数関係を Fig.3 に示す。塑性変位量は約 0.92 mm であった。Case 2-1, 2-2 では最大圧密応力が p_c 付近であるため変位量の差が 0.02 mm であったが, Case 3 では最大圧密応力が $4p_c$ であるので, Case 2-1, 2-2 と比較して約 0.6 mm 大きな変位が生じたと考えられる。また, 振動回数 400 回付近で鉛直変位量が急激に増加していることが確認できる。試験後, 载荷ピストンの先端に試料の一部である土粒子が付着していたことから, 試料の含水比が Table.1 に示した値よりも高く, 過剰間隙水圧が発生し沈下が進行したことが原因だと考えられる。

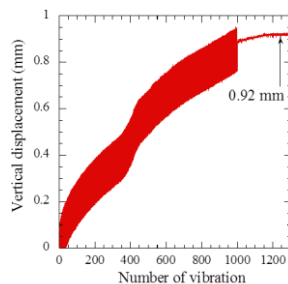


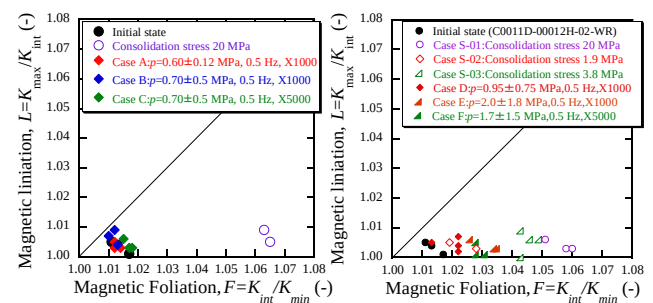
Fig.3 鉛直変位量～振動回数関係 (Case 3)

5. AMS 測定結果

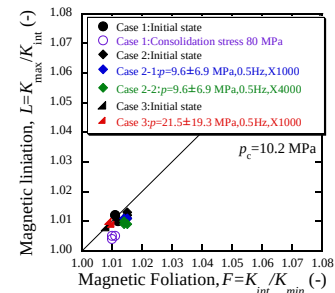
AMS 測定は間接的に内部構造の変化を観察可能な指標であり, 図中の L 値と F 値が大きいほど, 粒子配列方向がそれぞれ線構造, 面構造に発達したことを意味する。なお, L 値と F 値が 1.0 の場合はランダムな粒子配列状態, すなわち構造が等方的であることを意味する。

载荷試験前後の帯磁率異方性 (AMS) 測定の結果を Fig.4 に示す。Fig.4 (a) はプロトデコルマ層準試料 C0011D-00012H-02-WR (Case A, B, C), C011D-00018H-06-WR (Case S, D, E), C0011D-00

015H-05-WR (Case F) の AMS 測定結果^{3),4),5)}, Fig.4 (b) は本試験の AMS 測定結果である。今回の深海底堆積物試料を用いた载荷試験では, Case 1～3 のいずれも初期状態からの変化はみられなかった。プロトデコルマ層準試料を用いた既往の研究^{3),4),5)} では, $p_c \sim 2p_c$ の間に面構造が発達する閾値が存在する可能性がある, という結果が得られたが, 今回の結果と比較するとこの挙動はプロトデコルマ層準特有の結果であると考えられる。ただ, p_c の約 8 倍である 80 MPa を载荷した Case 1 でも面構造の発達がみられなかったため, 今回用いた深海底堆積物試料は採取深度が深く, すでに圧密が進行しておりこれ以上 F 値が発達しなかったという可能性も考えられる。



(a) プロトデコルマ層準試料^{3),4),5)}



(b) 深海底堆積物試料

Fig.4 AMS 測定結果

6. 結論

プロトデコルマ層準でない深海底堆積物試料を用いて K_0 条件下での静的・動的载荷を実施した結果, 面構造が発達し始める閾値が $p_c \sim 2p_c$ の間に存在する可能性は, プロトデコルマ層準特有の性質であると考えられる。しかし, 深度が深く圧密が進行している深海底堆積物では F 値が進行しないことも示唆された。

7. 参考文献

- 1) Morgan et al. (1995): *Journal of Geophysical Research*, 100 (B8), 15221-15231.
- 2) Ujiie et al. (2003): *Journal of Geophysical Research*, 108 (B8), 2398-1-14.
- 3) 福岡ら (2017) : 第52 回地盤工学研究発表会.
- 4) 加藤ら (2018) : 第53 回地盤工学研究発表会.
- 5) 西脇ら (2019) : 第54 回地盤全国工学研究発表会