

III-126 鎌倉市由比が浜の遺跡における液状化の痕跡の現地調査と液状化履歴砂の時間効果

飛鳥建設(株) 正会員 ○ 関 眞一
正会員 森 伸一郎
正会員 立花 秀夫

1. はじめに

近年、遺跡に残された地震跡の調査¹⁾が実施されている。1991年2月に鎌倉市由比が浜で実施されていた「長谷小路周辺遺跡群」調査地より、液状化の痕跡が発見された。この痕跡では、液状化により砂が噴出し砂脈が形成された状況が確認できる。液状化発生年代は、周辺地盤の堆積年代や遺跡の年代から13世紀後半と推定され、地震史料との対比から1257年もしくは1293年の地震と考えられる。さらに、古文書の記事より1257年の地震の可能性が高い²⁾。筆者らは、鎌倉市の協力を得て現地調査を実施し、噴砂の供給源である液状化層より不攪乱試料を採取した。この試料は、液状化発生時期が限定できる貴重なものである。

本論文は、液状化の痕跡の調査結果を示すとともに、液状化層より採取した不攪乱試料と再構成試料との液状化強度比を比較することにより、液状化し再堆積して約733年を経過した砂の時間効果（エージング）について報告する。

2. 現地調査結果

現地調査の際に実施した、液状化の痕跡のスケッチを図-1に示す。地盤の堆積状況は、上部より白砂層(S1)、有機分混り灰黒色砂層(S2)および灰黒色砂層(S3)の3層に大別できる。砂脈の状況から、噴砂の供給源は地下1.2m以深（当時）の灰黒色砂層であること、砂脈上部には噴砂丘が形成されていることが確認できる。また、S1、S2およびS3層は貝殻片を多く含み、少量の土器片も混入している。土器片は5~30mm角程度であり、砂脈の中にも30mm角程度の土器を確認した。

砂脈の形状は最大幅25cm程度であり、噴砂口付近では幅7cm程度に減少する。深度方向の長さは約1.3mであり、S2層およびS1層を真上に貫通している。また、砂脈は奥行き方向に連続していた。

3. 物理特性

不攪乱試料は、液状化層を現地調査時のG.L.-1.2~-1.4m(遺跡調査前の地表面から

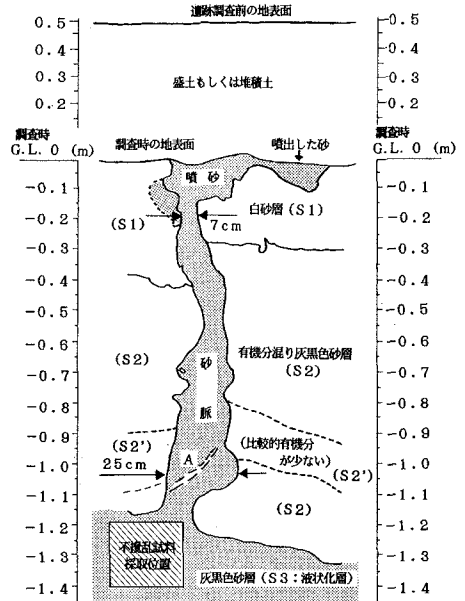


図-1 鎌倉市由比が浜における液状化の痕跡の形状

表-2 繰返し非排水三軸試験結果

供試体状態		不 攪 乱		再 構 成	
湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$		1.437~1.458 (1.449) [*]		1.430~1.436 (1.432) [*]	
乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$		圧密前	圧密後	圧密前	圧密後
		1.295~1.335 (1.309) [*]	1.301~1.340 (1.315) [*]	1.272~1.295 (1.287) [*]	1.280~1.300 (1.293) [*]
間隙比 e		1.140~1.076 (1.117) [*]	1.130~1.068 (1.107) [*]	1.178~1.140 (1.153) [*]	1.165~1.132 (1.143) [*]
相対密度 $D_r(\%)$		71.1~81.2 (74.7) [*]	72.7~82.4 (76.2) [*]	65.0~71.1 (69.0) [*]	67.2~72.4 (70.6) [*]
拘束圧 $\sigma'_c(\text{kgf/cm}^2)$		0.5			
背圧 $B.P.(\text{kgf/cm}^2)$		2.0もしくは3.0			
液 状 化 強 度 比 (R20)U, (R20)D	DA=2%	0.210		0.161	
	DA=5%	0.220		0.162	
	DA=10%	0.225		0.163	
	強 度 増 加 率 (R20)U/(R20)D	1.304		1.358	
DA=5%	1.358				
(R20)U/(R20)D	DA=10%	1.380			

(R20)U: 不攪乱試料の液状化強度比(Nc=20回), () *は平均値,
(R20)D: 再構成試料の液状化強度比(Nc=20回)

表-1 物理試験結果

土 質 名	細粒分混り砂 (S-F)
調査時の深度 (G.L. m)	-1.2~-1.4 (S3層)
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.771
砂分含有率 (%)	92.7
細粒分含有率 Pf (%)	7.3
シルト含有率 Pm (%)	3.3
粘土分含有率 Pc (%)	4.0
平均粒径 D50(mm)	0.19
均等係数 Uc	1.9
最大間隙比 e_{max}	1.592
最小間隙比 e_{min}	0.950

は、1.7~1.9mの土被り厚さに相当)の間でブロックサンプリング(W24×D24×H24cm)により採取した。物理試験および繰返し非排水三軸試験は、土質工学会基準³⁾に準拠して実施した。結果を表-1, 2に示す。液状化層の粒径加積曲線を図-2に示すが、曲線は図中に示す港湾基準⁴⁾の「特に液状化の可能性あり」の範囲に入り、液状化しやすい粒度特性であることがわかる。湿潤密度 ρ_t は 1.449g/cm^3 で、これは相対密度で $Dr=74.7\%$ となり比較的密に締まった砂といえる。

4. 液状化強度特性

繰返し非排水三軸試験は、不攪乱試料および再構成した試料について実施した。不攪乱の供試体は、採取した試料を凍結し、その状態でトリマーにより直径5cm×高さ10cmに成形した。再構成した供試体は、試料を手でもみほぐした後、自然含水比の状態の不飽和突き固め法により5層に分けて作成した。密度は、不攪乱試料と同じになるようにした。飽和化は供試体を三軸セルにセットした後 0.2kgf/cm^2 の拘束圧を与え、炭酸ガスの通気および脱気水の通水により行った。その後、背圧を 2.0 もしくは 3.0kgf/cm^2 まで上げ、B値が 0.95 以上であることを確認し、等方圧密した。不攪乱供試体に過大な拘束圧を与えると土粒子の堆積構造を乱すことになるため、有効拘束圧(σ'_c)は有効土被り圧相当とすることが望ましい。ただし、今回は試験の容易性や事前に実施した圧密試験より圧密降伏応力(P_c)が 0.5kgf/cm^2 以上であることから、 $\sigma'_c=0.5\text{kgf/cm}^2$ とした。繰返し載荷周波数は 0.05Hz とした。供試体の圧密後の相対密度は、不攪乱試料が $Dr=72.7\sim 82.4\%$ 、再構成試料が $Dr=67.2\sim 72.4\%$ と不攪乱試料の方がやや高い。

図-3に不攪乱試料と再構成試料の液状化強度曲線を両振幅ひずみ(DA)別に繰返し回数(Nc)と応力比(SR)との関係で示す。DA=2, 5, 10%, Nc=20回で液状化を定義した場合、不攪乱試料の液状化強度比(R_{20})_uと再構成試料の液状化強度比(R_{20})_bとの比率(R_{20})_u/ $(R_{20})_b$ はそれぞれ1.30, 1.36, 1.38倍である。 $(R_{20})_b$ は堆積直後の液状化強度比と同等であると仮定すると、 $(R_{20})_u$ は現在のそれであるから、その比率は時間効果による強度増加率と捉えることができる。すなわち、この試料は約733年が経過し、時間効果により粒子間の結合力か噛み合わせが増し、液状化強度が1.3~1.4倍程度増加したと考えることができる。ただし、この増加率は液状化強度の定義により異なり、繰返し回数が小さくなる程、また、両振幅ひずみが大きくなる程高くなる傾向にある。このことより、単に強度のみならず、じん性(ねばり強さ)も増したと考えられる。

5. 結 論

鎌倉市由比が浜の液状化の痕跡より、液状化し再堆積してから約733年を経過した試料を採取することができた。この試料は、約733年の時間効果により、1.3~1.4倍程度に液状化強度が増加したと考えることができる。

謝 辞 鎌倉市役所と長谷小路周辺遺跡群発掘調査団の皆様には、現地調査および試料採取を快諾していただくとともに調査に御協力していただいた。また、通産省地質調査所の寒川旭氏、調査団長の大河内勉氏には貴重な御意見をいただいた。記して感謝いたします。

<参考文献> 1) 寒川旭:遺跡の地震跡,土と基礎,Vol.40, No.1, 1992.1, pp.13~18 2) 上本進二,大河内勉,寒川旭,山崎晴雄,佃栄吉,松島義章:鎌倉市長谷小路周辺遺跡の液状化跡,第四紀研究(投稿中) 3) 土質工学会:土質試験法(第2回改訂版),1981.10 4) 日本港湾協会(運輸省港湾局監修):港湾施設の技術上の基準・同解説,改訂版,1989.6, pp.203~209

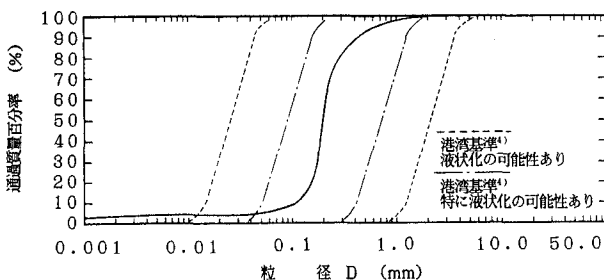


図-2 液状化層の粒径加積曲線

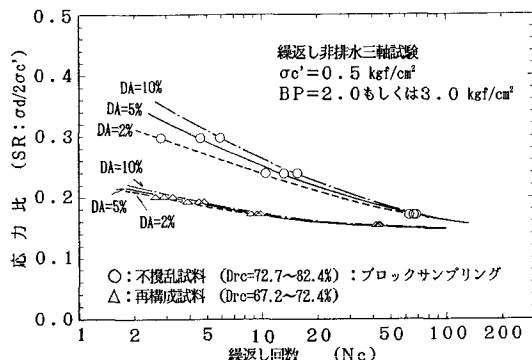


図-3 不攪乱試料と再構成試料の液状化強度曲線