

凍結サンプリングの液状化試験を用いた港湾施設設計事例報告

北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所
(株)ニュージェック

水口 幸司 阿部 武
正会員 吉川 慎一 正会員○西尾 岳裕

1. はじめに

港湾施設の設計では、液状化対策工の仕様が施設の整備事業費に大きな影響を与えることが多いため、地盤の液状化特性を精度よく把握することが非常に重要である。一方、地盤の液状化の詳細な評価は、室内試験結果に基づく場合が多い。ところが、砂地盤の不攪乱試料採取が難しいため、室内試験結果はサンプリング時の試料の乱れなどの影響を受けやすい。

新潟港では、大規模地震が発生した場合に必要な国際海上コンテナ物流機能を維持するため、水深-12m 矢板式岸壁（耐震強化施設）が計画されている。当該地盤では、図-1 に示す Asd 層、As1 層の液状化発生が懸念され、チューブサンプリングによる繰返し非排水三軸試験（以下液状化試験）が実施されていた。

この結果は、図-2（既往文献より）に示す換算N値と液状化強度比の関係とほぼ整合する結果であった。このため、対象地盤の換算N値を考えると、試料の乱れが少ないとされる凍結サンプリングによる液状化試験を実施することで、より精度よく地盤の液状化強度特性を把握することができ、経済的な施設設計ができる可能性が考えられた。

本稿では、特に液状化特性に顕著な差がみられた As1 層（砂丘原地盤；N 値が 15~30 程度の細砂）の液状化試験結果および設計事例を報告する。

2. 対象土層の原位置試験とサンプリング試料の状況

表-1 に、チューブサンプリングおよび凍結サンプリングによる液状化試験結果と、サンプリング位置の原地盤の特徴を整理した。

採取した試料は全て細粒分含有率 F_c が 10%以下である。各サンプリングの試料の特徴を比較すると、チューブサンプリングは、原地盤の N 値が凍結サンプリングより大きいのに対して、間隙比 e が大きくなっている。さらに、チューブサンプリングの繰返し三軸試験から得られる初期せん断剛性 Go_2 は、原位置で測定したせん断波速度 V_s から求めた初期せん断剛性 Go_1 との対比で 0.7 程度であるのに対し、凍結サンプリングの試料は 0.9 以上を示すものがみられた。以上よりチューブサンプリング試料は乱れている可能性が高いと判断できる。

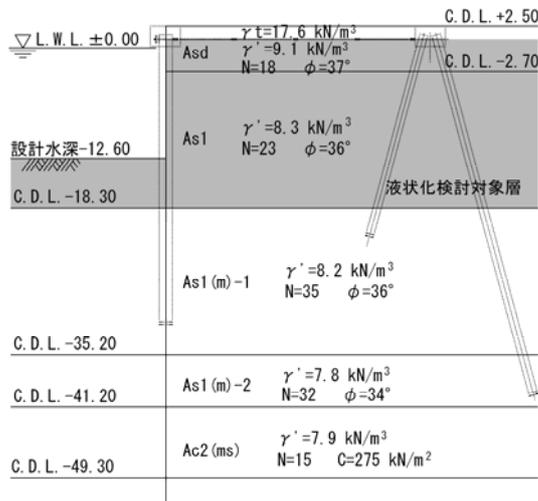


図-1 液状化検討対象層

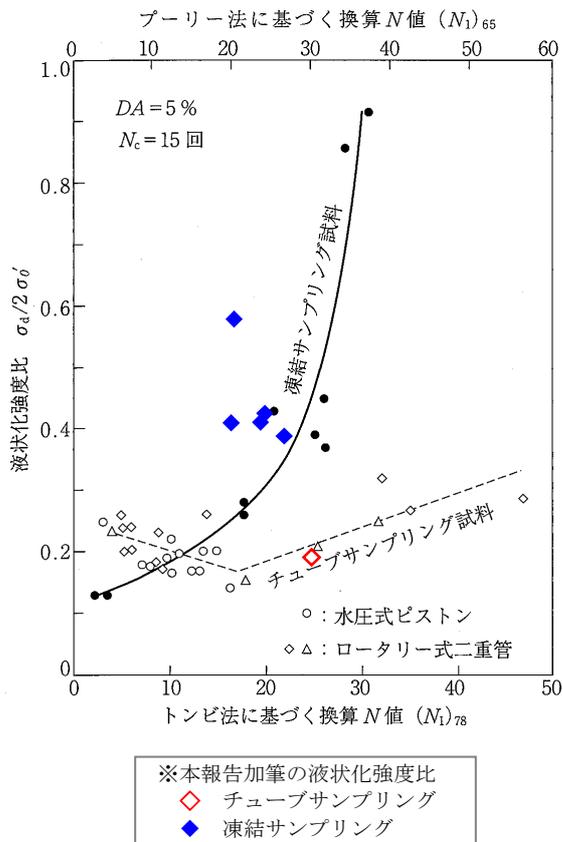


図-2 凍結サンプリングとトリプルチューブサンプリングにより得られた試料の液状化強度比の比較¹⁾

キーワード 液状化試験 凍結サンプリング

連絡先 〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20 (株)ニュージェック TEL 06-6374-4572

表-1 As1層の各種試験結果

試料番号	原位置地盤の特徴			採取試料の物理特性			繰返し三軸試験				
	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)	N値	(N ₁) ₇₈ ^{※1)}	初期せん断剛性 Go1 ^{※2)} (MN/m ²)	細粒分含有率 Fc(%)	間隙比 e _o	拘束圧条件 (kN/m ²)	初期せん断剛性 Go2 ^{※3)} (MN/m ²)	Go2/Go1	液状化強度比 (DA5%,N=15)	液状化強度比 (DA5%,N=20)
チューブ-1	119.9	29	25.6	67.4	5.2	1.003	108.0	44.9	0.73	0.18	0.18
凍結-1	111.7	22	20.3		2.3	0.956	110.0	48.5	0.72	0.44	0.39
凍結-2	124.1	17	14.7		1.2	0.922	110.0	52.9	0.78	0.42	0.38
凍結-3	136.6	26	21.1		2.4	0.878	140.0	62.0	0.92	0.39	0.38
凍結-4	149.0	26	19.9		4.1	0.878	140.0	62.2	0.92	0.43	0.40
凍結-5	159.4	24	17.5		2.4	0.875	140.0	65.3	0.97	0.59	0.56

※1) (N₁)₇₈: 実測したN値に土被り応力とロッド長さに関する補正を行った値。(N₁)₇₈ = 167 × N / (σ_v' + 69)

※2) Go1: 原位置で実施したPS検層で得られたVsから推定したせん断剛性

※3) Go2: 同位置の試料で変形特性を求めるための繰返し三軸試験より得られる初期せん断剛性

3. サンプリングによる液状化試験結果の比較

図-3 に示すように、各サンプリングの液状化試験結果から得られる液状化強度比には明らかな違いがみられた。

また、表-1 に示す各試験結果を図-2 に加筆したところ、原地盤の換算 N 値((N₁)₇₈)が 15~25 程度であることから、既往文献では、凍結サンプリングがチューブサンプリングの 1.2~2.0 倍程度の液状化強度比が期待され、今回の試験でも 2 倍程度の液状化強度比が得られた。

以上より、当該施設の設計においては、先に述べた間隙比や初期せん断剛性の比較などから、チューブサンプリングの乱れの影響が考えられるため、信頼性の高い凍結サンプリングの液状化試験結果を採用することとした。

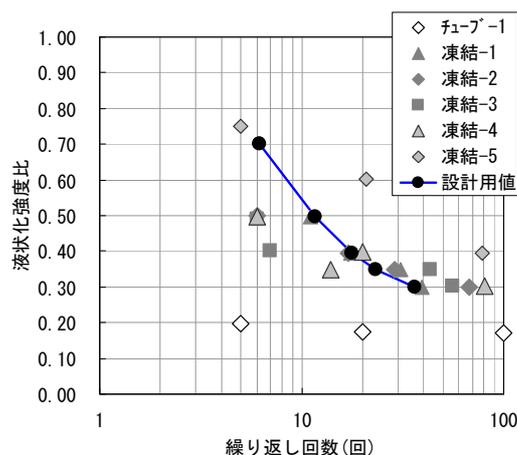


図-3 液状化試験結果(液状化抵抗曲線)

4. 液状化に関する評価

表-2 にこれらの液状化試験結果を用いた FL 値によるレベル 1 地震時の液状化判定結果を示す。チューブサンプリングによる液状化試験結果では As1 層の FL 値が 1.0 を下回るのに対し、凍結サンプリングでは 1.3 以上の値となり、施設設計において液状化対策工の必要性の判断に関わる有意な差がみられた。

表-2 FL 値による液状化判定 (レベル 1 地震時)

土層	試料番号	FL値
As1	チューブ-1	0.67
As1	凍結-1	1.37
	凍結-2	1.39
	凍結-3	1.48
	凍結-4	1.67
	凍結-5	2.53

また、港湾の耐震施設設計においては、図-3 に示した液状化抵抗曲線を反映した 2 次元有効応力解析により、レベル 2 地震時の岸壁の変形特性に関わる性能照査を実施することが標準とされている。このため、液状化強度の小さいチューブサンプリングの試験結果を用いて解析を行った場合、As1 層が早期に液状化を起こすなど、地震時の岸壁の変形量に大きな影響を与え、対策工の仕様が大幅に掛かりになることが予想される。

5. 結論

特に、本施設の地盤は、比較的原地盤 N 値が大きく、一般的な地盤改良等による液状化対策工の適用が難しく、対策工事費用が高価となる。このため、凍結サンプリングによる液状化試験を実施したことで、信頼性の高い地盤の液状化強度特性を把握することができ、経済的な岸壁構造断面の設計が可能となった。凍結サンプリングは高価ではあるが、乱れが少ない試料を用いた液状化試験を実施し、精度の高い地盤情報を取得することは、結果的に港湾整備事業におけるコスト削減に寄与できると考えられる。

参考文献

1) 吉見吉昭：砂の乱さない試料の液状化抵抗～N 値～相対密度関係，土と基礎，Vol. 42, pp. 63～67, 1994.