

3.2 液状化試験選定個所の代表性確認

液状化試験個所における基本物性（粒径加積曲線，N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）について，第 11-3-3～6 図に示す。

これらの基本物性について，液状化試験選定個所の代表性確認を目的に，液状化試験個所と周辺調査個所の比較，検討を行った。比較する指標としては，N値，細粒分含有率を選定し，参考指標として粒径加積曲線及び密度（相対密度，乾燥密度）を選定した。第 11-3-1 表に各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性を示す。

N値は，各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式がいずれもN値をパラメータとした式であり，また，有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法にN値がパラメータとして用いられており，液状化強度比との相関が最も高いと考えられることから，指標として選定した。

細粒分含有率は，各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式において，液状化強度比 R_L を補正するパラメータとして用いられており，液状化強度比との相関が高いと考えられることから，指標として選定した。

粒径加積曲線や密度（相対密度，乾燥密度）は，基本的な土の物性値であることから，参考指標として選定した。

各基準における設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は，「地盤工学会基準 JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）」や「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）」，道路橋示方書によると，平均値を原則とし，ばらつきを考慮する場合は変動係数等に応じて設定するという考え方が示されている。

液状化試験個所と周辺調査個所のN値等の比較に際しては，各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に，「平均値」及び平均値から標準偏差 σ を減じた「平均値-1 σ 」（以下「-1 σ 値」と称す）」について整理した。

【地盤工学会基準 JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）】

- 設計に用いる「特性値」の決定にあたっては，過去の経験にもとづき，地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。
- この特性値は，原則として導出値の平均値（期待値）である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく，統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。
- 特性値を示すにあたっては，地盤の特性を記述するために，特性値に加えて，導出値のばらつきの指標（たとえば標準誤差や変動係数）を含めることが望ましい。

【港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）】

- 性能照査に用いる地盤定数の設計用値は、原則として地盤工学会基準 JGS4001 に基づき、推定する。
- 地盤定数の代表値である特性値は、データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には、原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし、データ数が不足している場合（10 個未満）及び導出値のばらつきが大きい場合には、導出値の平均値を補正した上で、特性値を設定する必要がある。
- 特性値は、導出値のばらつきに関する補正係数 b_1 を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。

【道路橋示方書】

- 地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を顧慮した上で、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。
- 自然地盤から得られる計測データは多様で、しかもばらつくのがふつうである。データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

各液状化試験個所とその対象地層の周辺調査個所における基本物性を整理した。第 11-3-7 図に液状化試験個所と周辺調査個所の位置図、第 11-3.8～14 図に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお、各種試験は、JIS に基づき実施した。

A-1 地点の洪積砂層 I は、周辺調査個所と比べて、N 値が同程度であり細粒分含有率が小さいこと、A-1 の洪積砂層 II は、細粒分含有率が若干大きいものの N 値が小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、当該地層は層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。

A-2 地点の洪積砂層 I は、周辺調査個所と比べて、N 値及び細粒分含有率の -1σ 値が大きいものの、液状化強度との相関が最も高い N 値の平均値は小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、A-2 地点の洪積砂層 I は、A-1 地点の洪積砂層 I、II と同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているものの、物性設定においては保守的にサイクリックモビリティを示す A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果を用いる方針とする。

A-2 地点の洪積砂層 II は、周辺調査個所と比べて、N 値及び細粒分含有率が同程度若しくは小さいことから、代表性を有していると評価した。なお、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価している A-2 地点の洪積砂層 II は、主にサイクリックモビリティ

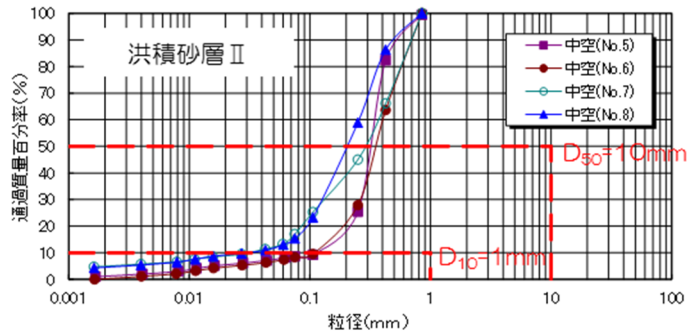
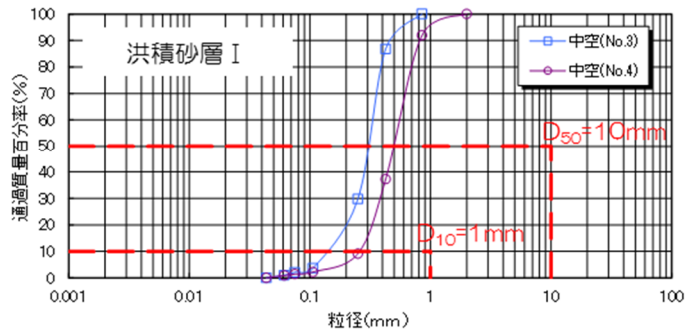
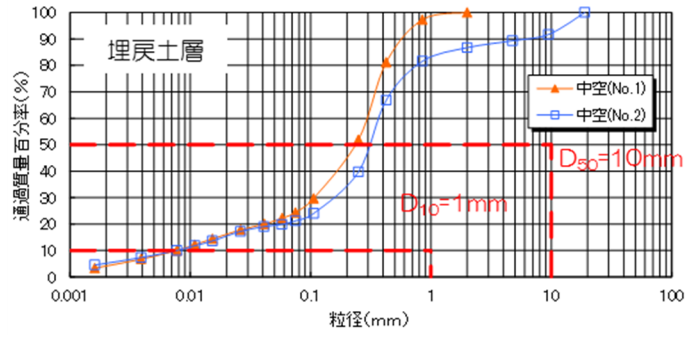
イを示すA-1地点の洪積砂層Ⅰ、Ⅱ及びA-2地点の洪積砂層Ⅰの下位に分布する砂層であり、より古い時代に堆積した砂層である。

O-1地点の洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱは、周辺調査個所と比べて、細粒分含有率の大きい試料が1試料あることで平均値が若干大きいもののN値が同程度であることから、代表性を有していると評価した。ただし、液状化試験個所の粒径加積曲線が周辺調査個所よりばらつきが大きいこと、6、7号炉の申請であることも踏まえ、N値のデータが少ない7号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。

A-3地点の新期砂層・沖積層は、荒浜側の周辺調査個所と比べて、N値及び細粒分含有率がいずれも小さく下限付近であることから、試験は保守的な個所で実施していると評価した。

A-3地点の新期砂層・沖積層は、大湊側の周辺調査個所と比べて、細粒分含有率が小さいものの、N値が大きいことから、大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。

A-1地点の埋戻土層は、N値のみの比較ではあるものの、液状化強度との相関が最も高いN値が周辺調査個所と比べて小さく下限付近であることから、試験は保守的な個所で実施していると評価した。

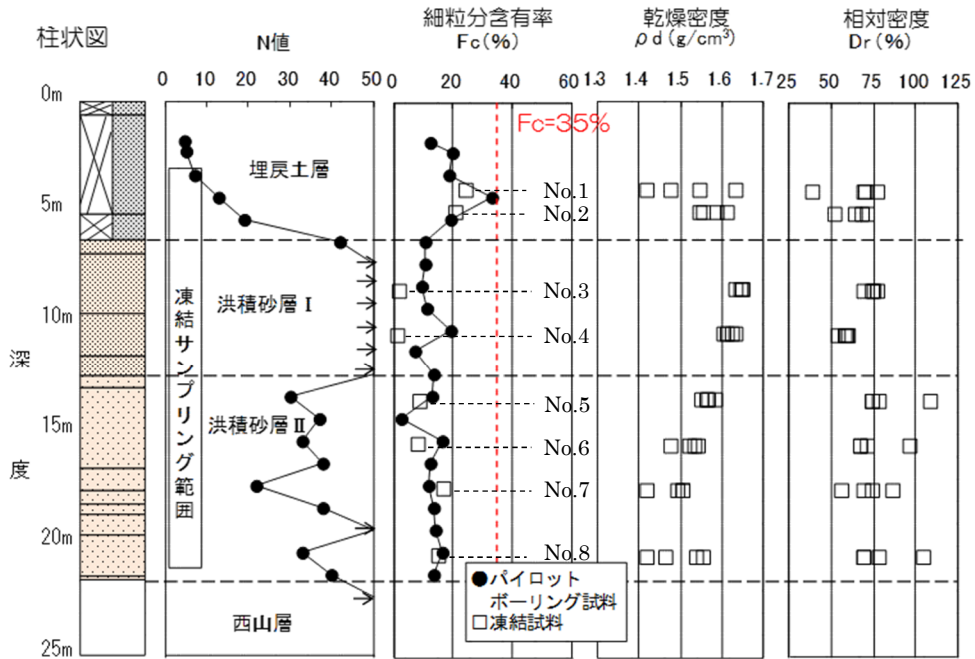


(a) 粒径加積曲線

第 11-3-3 図 液状化試験個所の基本物性 (A-1)

細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

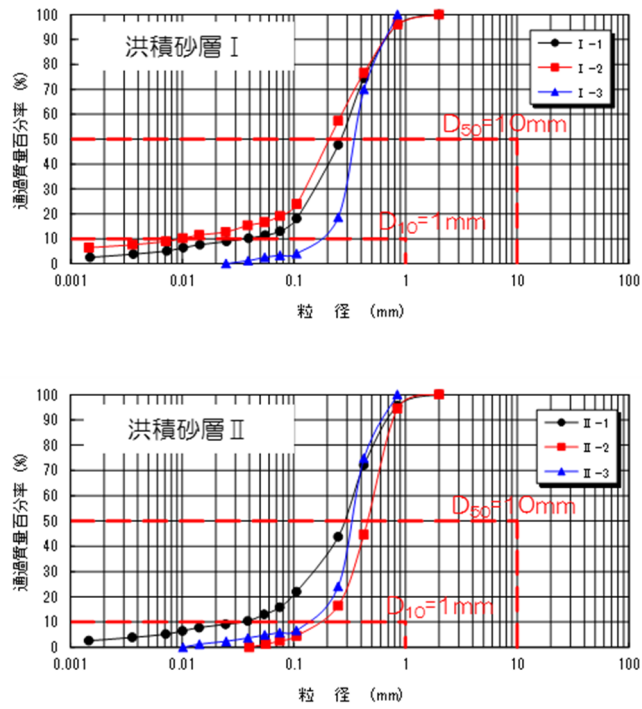
相対密度： $D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$ ， e_{\max} ：最大間隙比， e_{\min} ：最小間隙比，
 e ：間隙比（間隙の体積÷土粒子の体積）



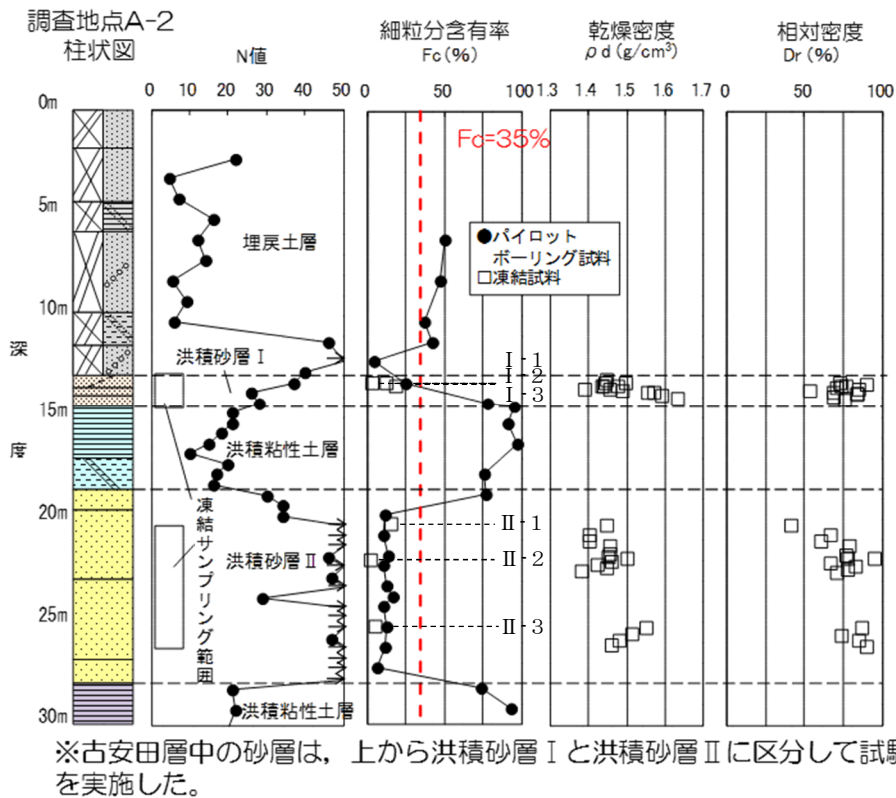
※古安田層中の砂層は、N値50以上の砂層（洪積砂層 I）とN値50以下の地層（洪積砂層 II）に区分して試験を実施した。

(b) 基本物性（N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布

第 11-3-3 図 液状化試験個所の基本物性（A-1）

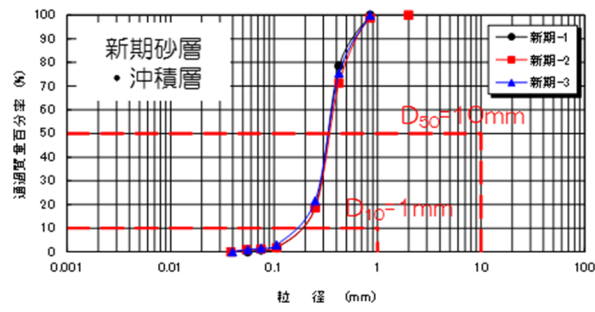


(a) 粒径加積曲線

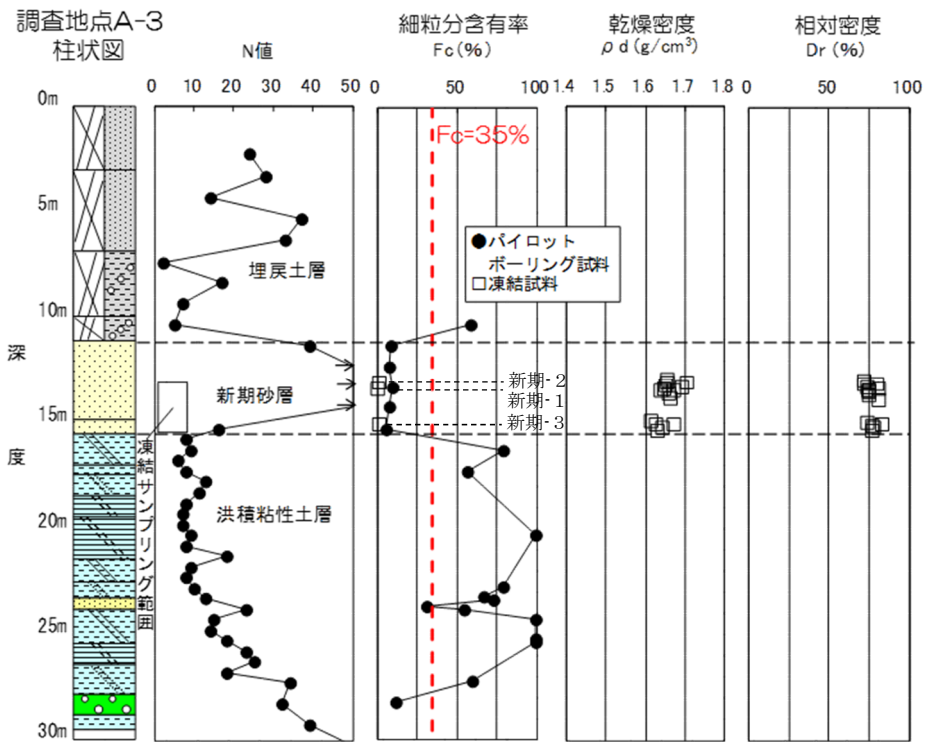


※古安田層中の砂層は、上から洪積砂層 I と洪積砂層 II に区分して試験を実施した。

(b) 基本物性 (N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布
第 11-3-4 図 液状化試験個所の基本物性 (A-2)

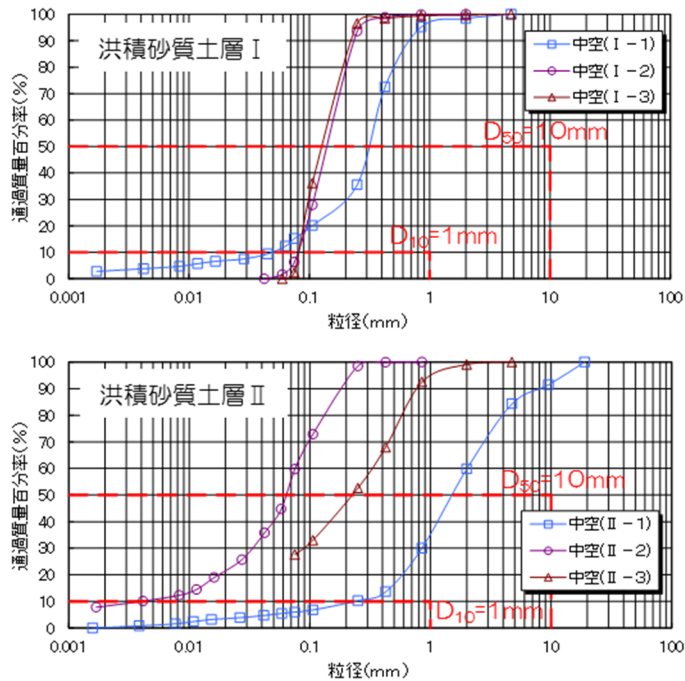


(a) 粒径加積曲線

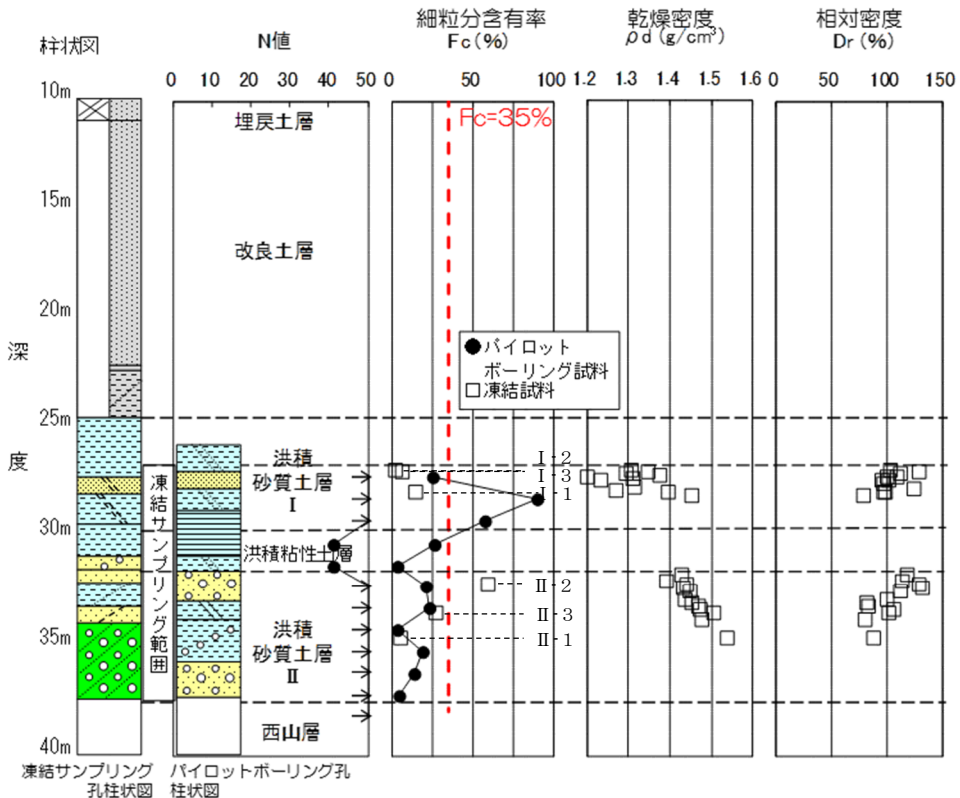


(b) 基本物性 (N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布

第 11-3-5 図 液状化試験個所の基本物性 (A-3)



(a) 粒径加積曲線



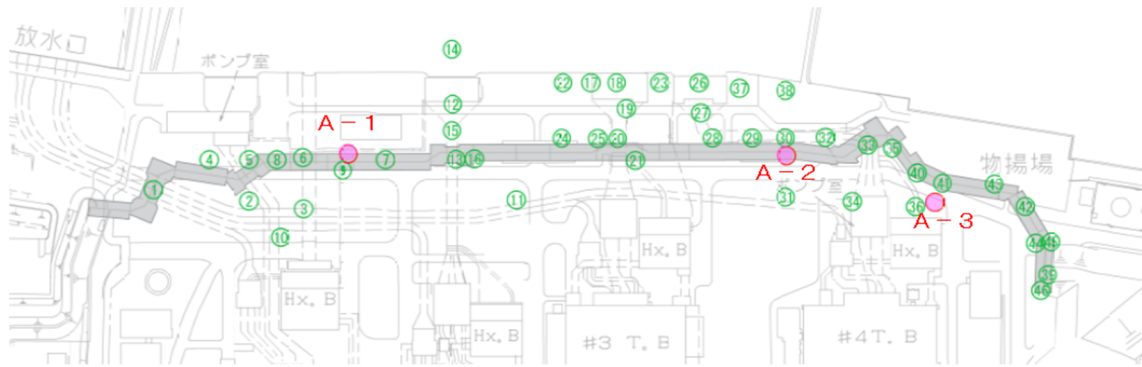
※古安田層中の砂層は同時代の地層であるが、上位を洪積砂質土層 I、下位を洪積砂質土層 II と区分し、それぞれの拘束圧に応じて液状化試験を実施した。

(b) 基本物性 (N 値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布
第 11-3-6 図 液状化試験個所の基本物性 (O-1)

第 11-3-1 表 各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性

基準類名	液状化強度比 R_L の算定に用いる主物性	液状化強度比の補正に用いる物性
<p>道路橋示方書</p> <p>(下水道施設の耐震対策指針と解説, 日本下水道協会, 2006)</p> <p>(河川砂防技術基準(案)同解説 設計編, 日本河川協会編, 1997)</p> <p>(高圧ガス設備等耐震設計指針, 高圧ガス保安協会, 2000)</p>	<p>N値 (有効上載圧を考慮した補正を行う)</p>	<p>細粒分含有率 F_c</p>
<p>港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置(その2), 日本港湾協会, 2007 (部分改訂, 2012)</p>		<p>細粒分含有率 F_c</p>
<p>建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 2001</p> <p>(水道施設耐震工法指針・同解説, 日本水道協会, 1997)</p>		<p>細粒分含有率 F_c</p>
<p>鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, (財)鉄道総合技術研究所, 2012</p>		<p>細粒分含有率 F_c 平均粒径 D_{50}</p>

- : 液状化試験 試料採取位置
- : 標準貫入試験位置または物理特性試料採取位置
(○内数値は位置番号, 荒浜側①~④⑥, 大湊側④⑨~⑥②)

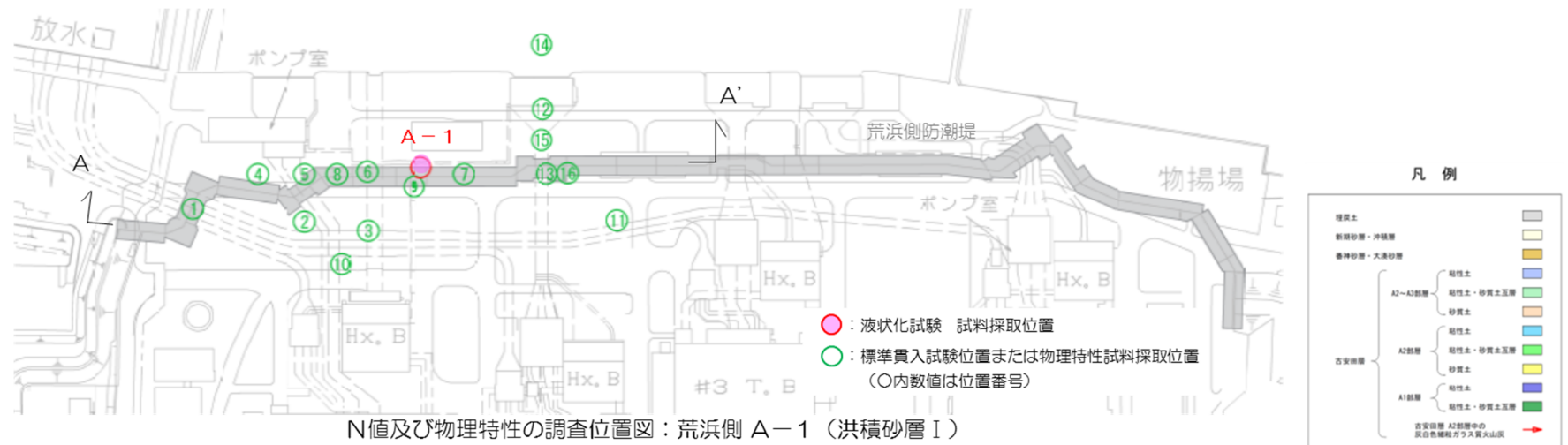


(a) 荒浜側

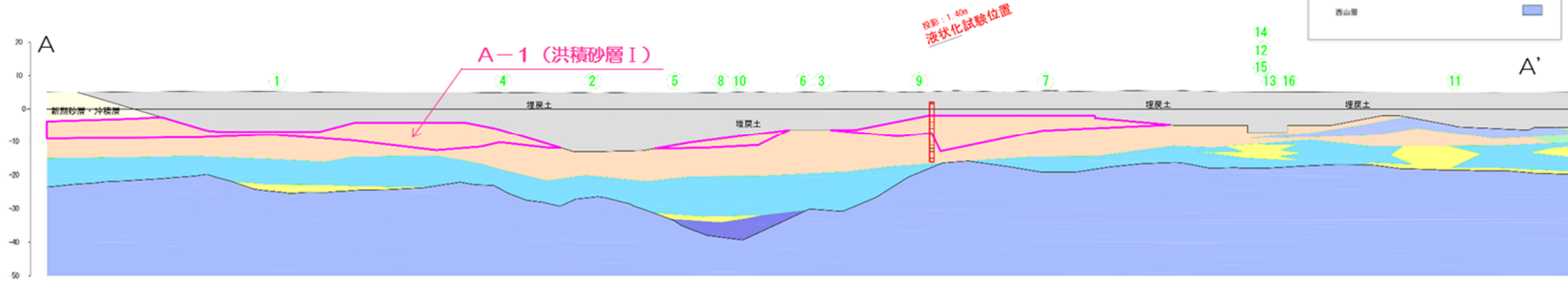


(b) 大湊側

第 11-3-7 図 液状化試験個所と周辺調査個所の位置図



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）



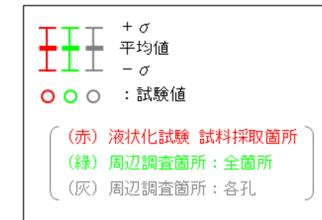
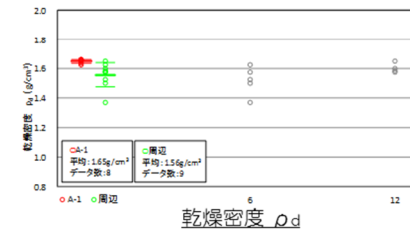
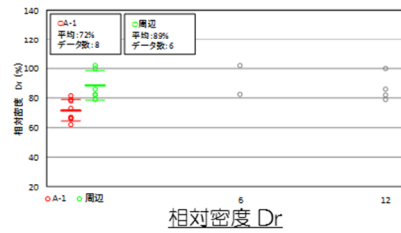
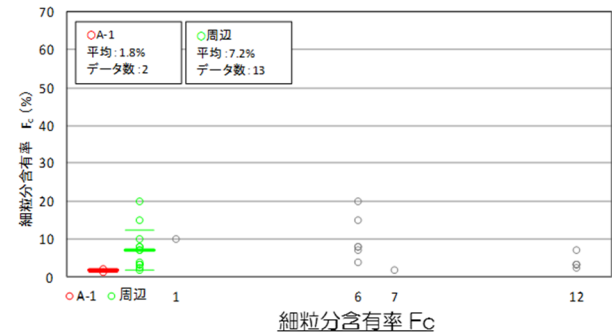
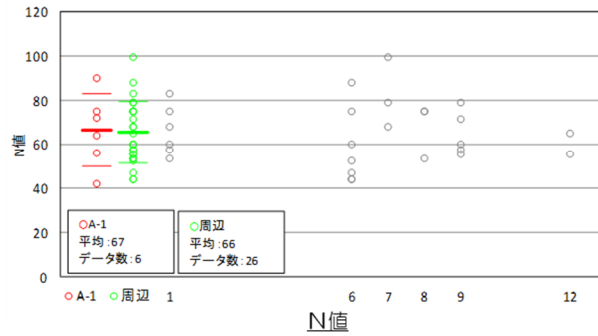
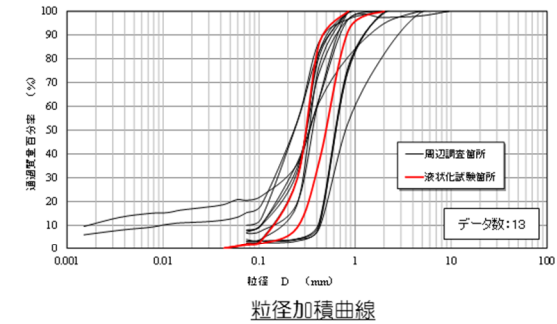
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-8 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-1 地点の洪積砂層 I）

- **N値**：液状化試験箇所と周辺調査箇所の平均値及び-1σ値は同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。

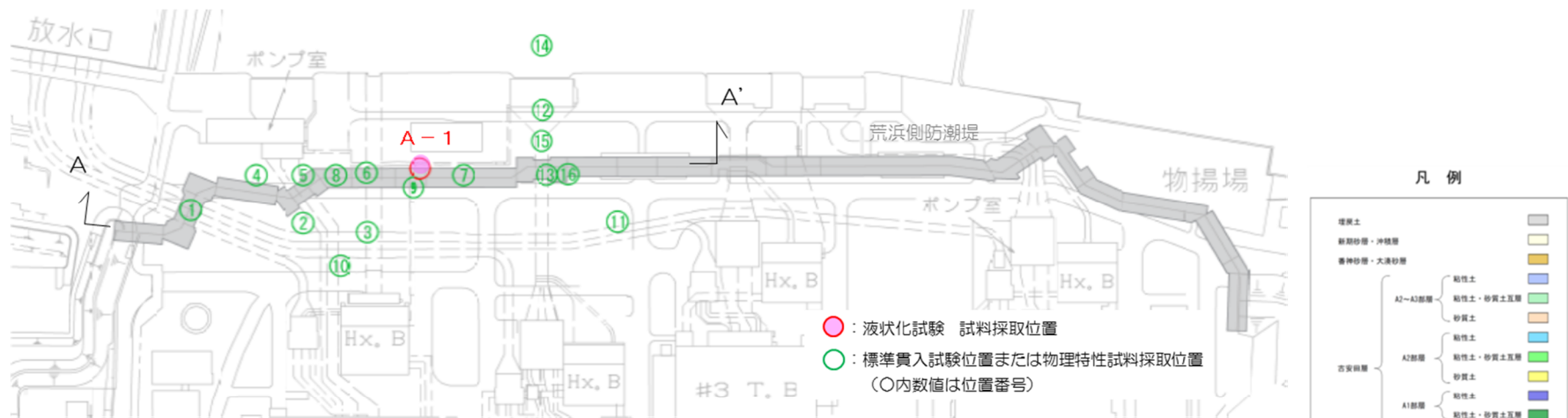
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より大きい。



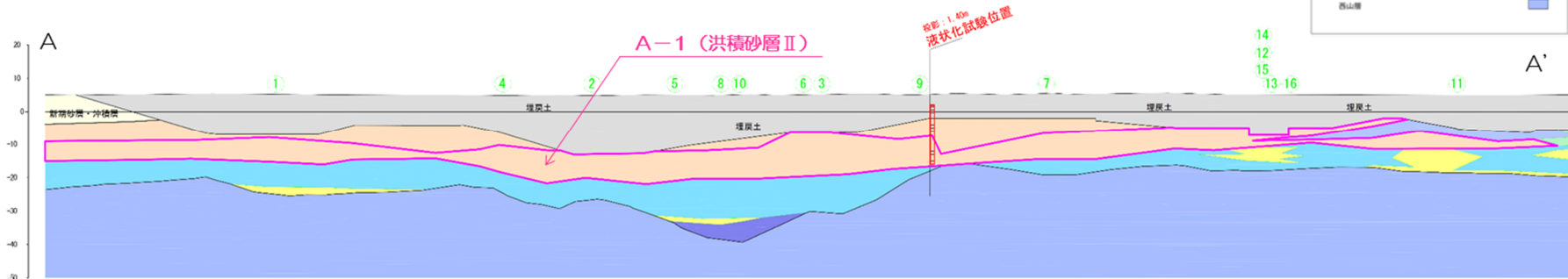
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1 (洪積砂層 I)

(b) 基本物性比較

第 11-3-8 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層 I)



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）



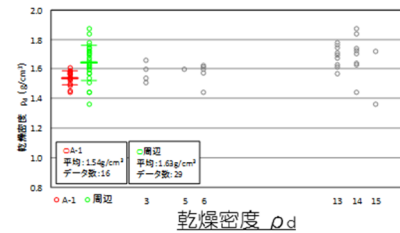
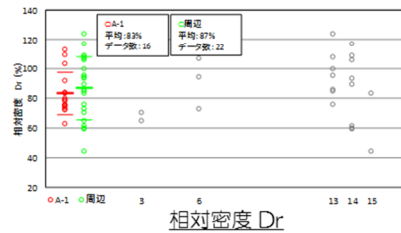
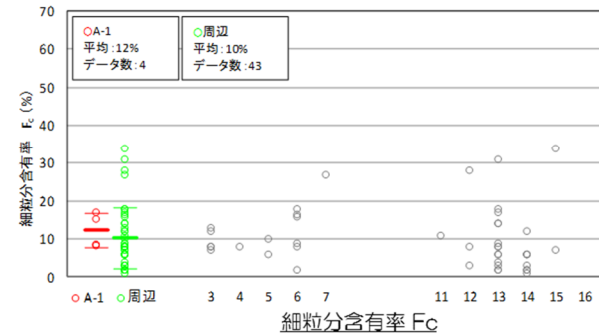
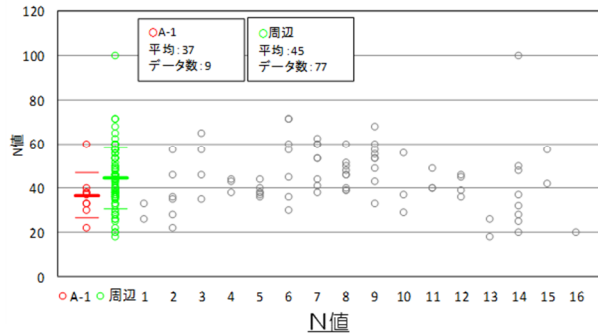
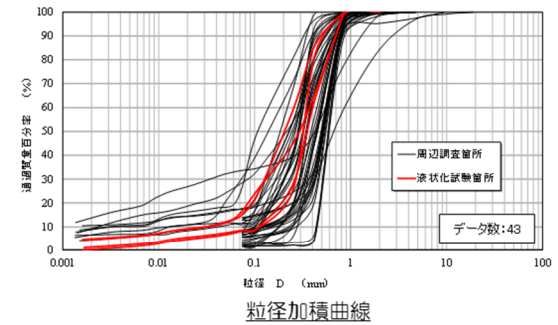
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-9 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-1 地点の洪積砂層Ⅱ）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は周辺調査箇所より若干大きい（ばらつきが小さい）。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所と同程度である。
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。



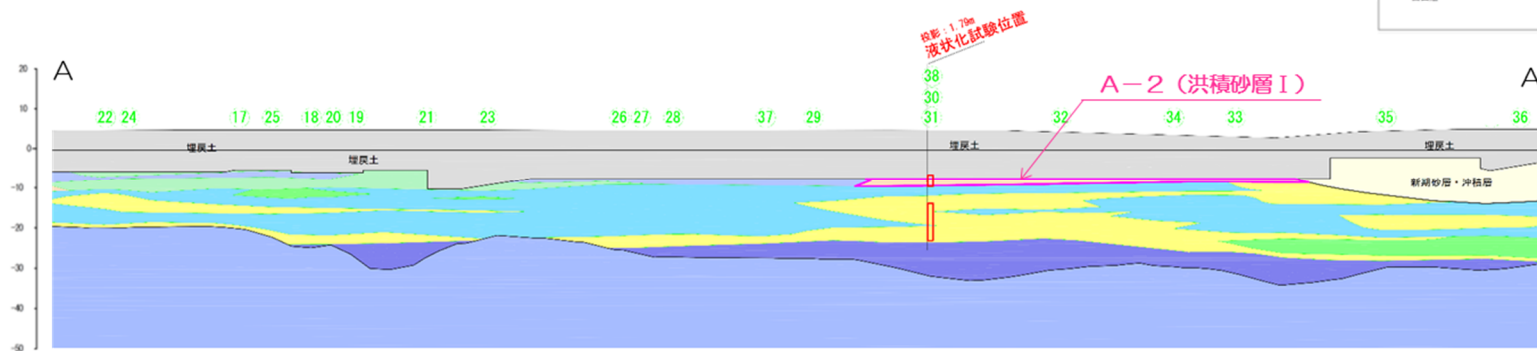
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1 (洪積砂層Ⅱ)

(b) 基本物性比較

第 11-3-9 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）



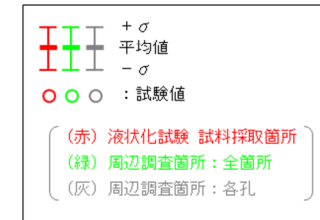
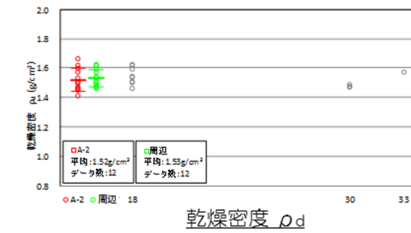
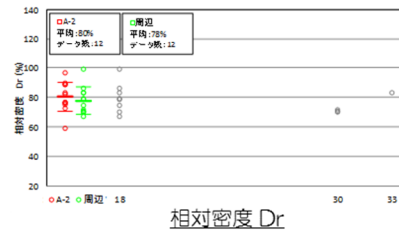
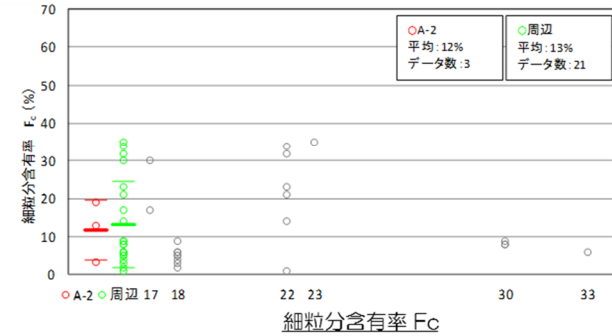
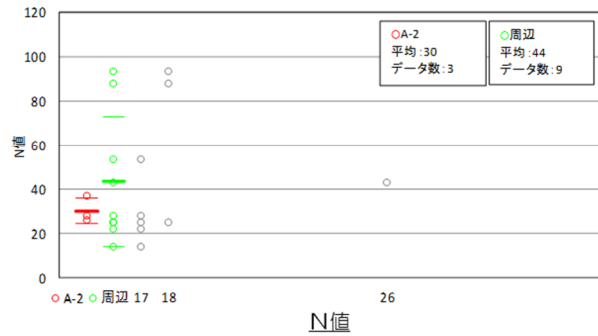
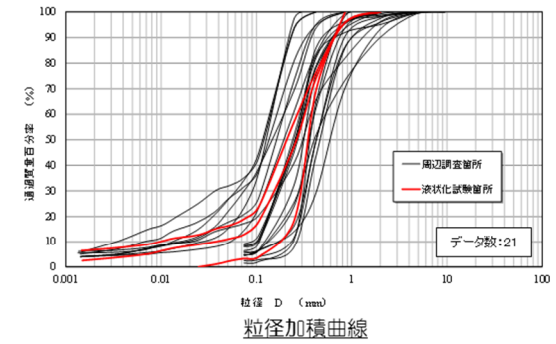
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-10 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-2 地点の洪積砂層 I）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 -1σ 値は周辺調査箇所より大きい（ばらつきが小さい）。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は、周辺調査箇所と同程度であり、 -1σ 値は周辺調査箇所より若干大きい。

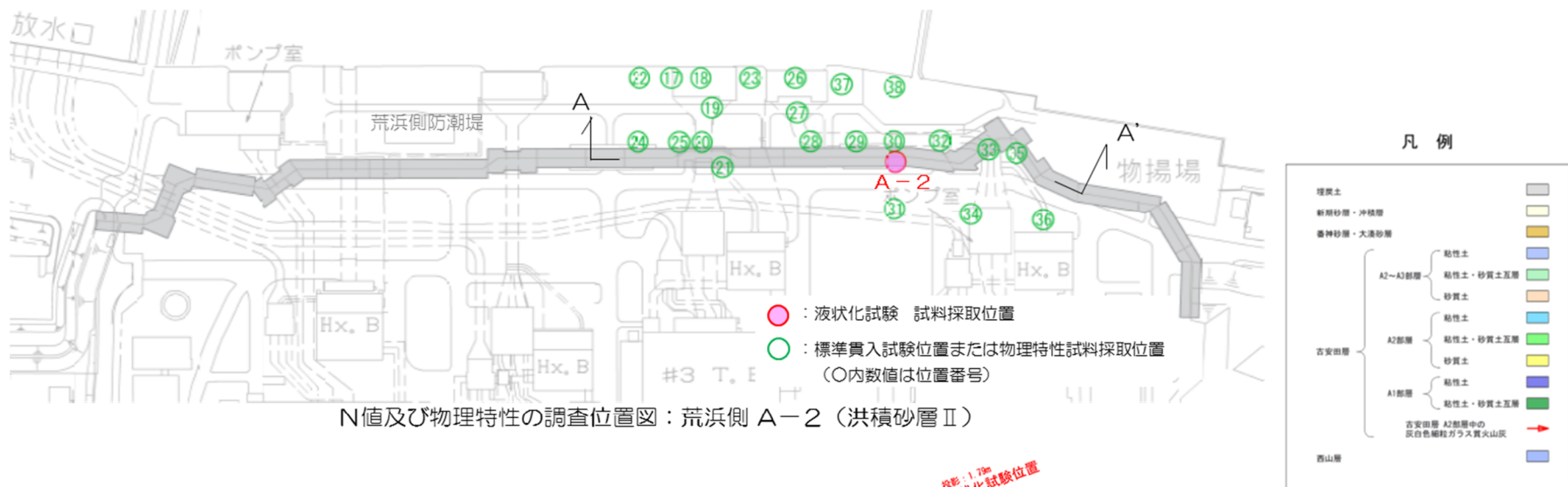
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所と同程度である。
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所より若干小さい。



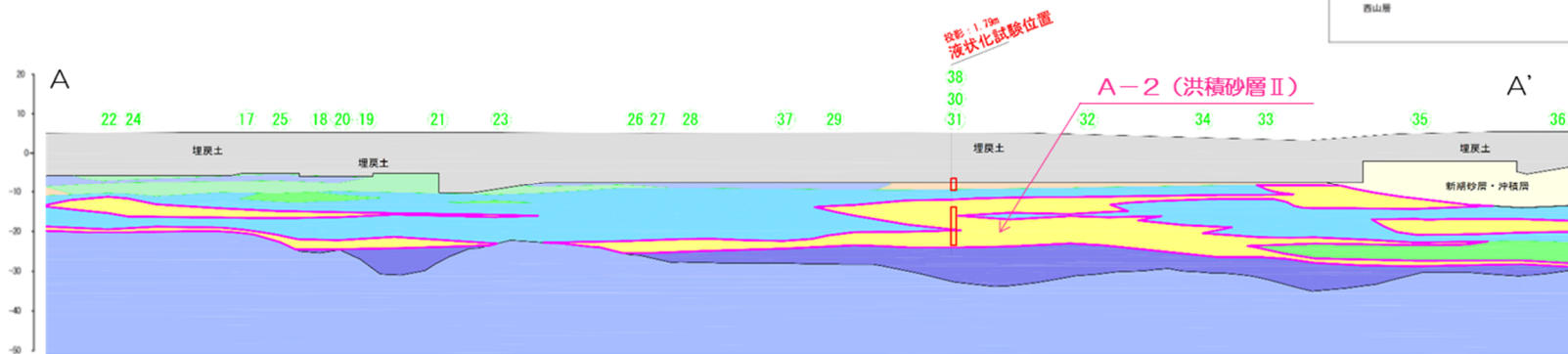
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2 (洪積砂層 I)

(b) 基本物性比較

第 11-3-10 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-2 地点の洪積砂層 I)



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）



N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）

(a) 比較対象位置図

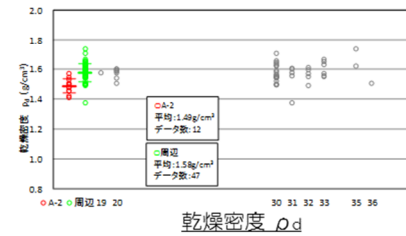
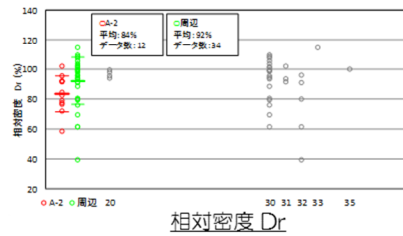
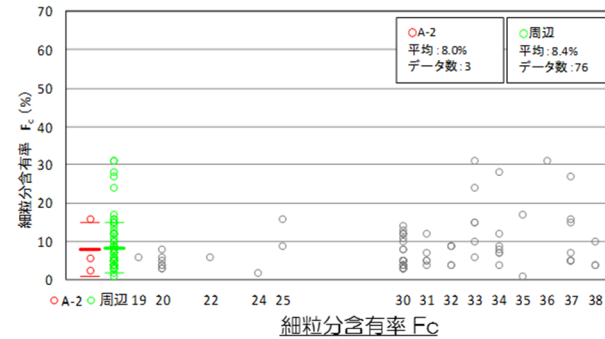
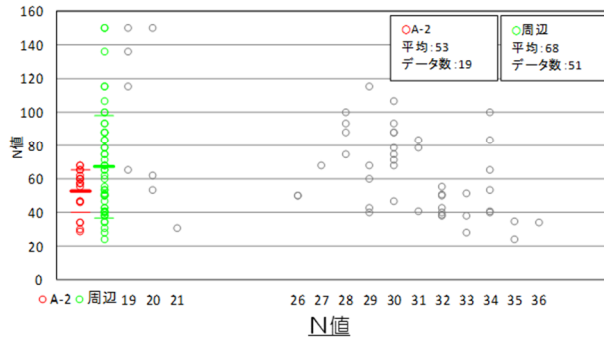
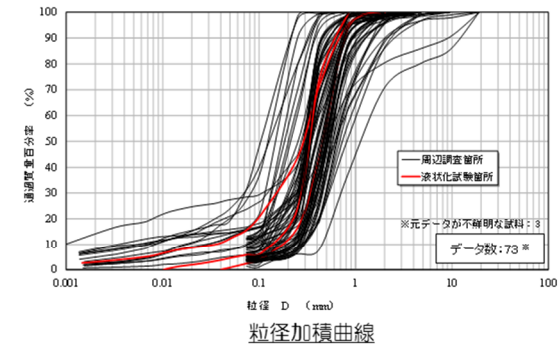
第 11-3-11 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 -1σ 値は周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所と同程度であり、 -1σ 値は周辺調査箇所より小さい。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつき範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所より小さい。

乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所より小さい。



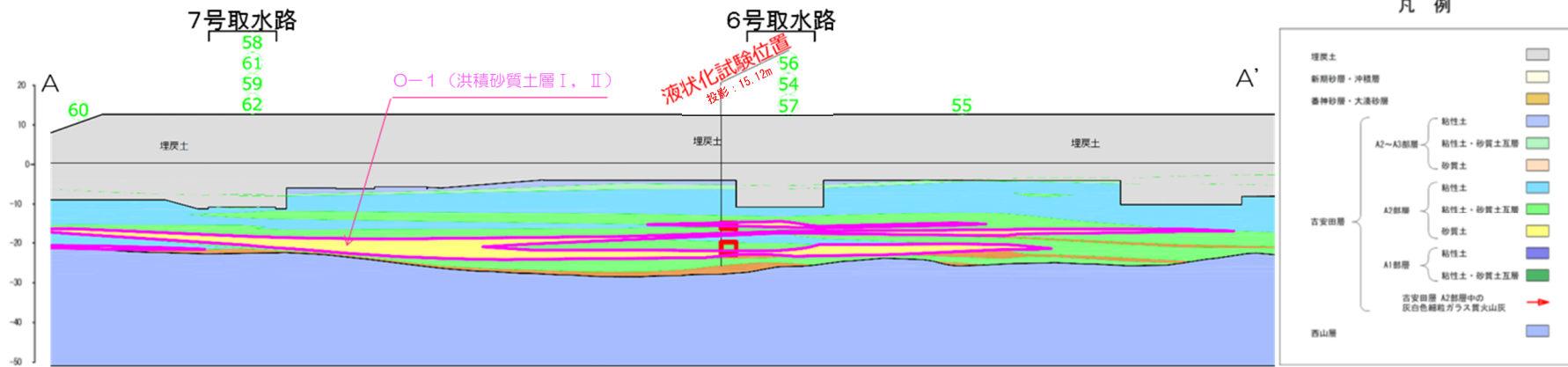
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2 (洪積砂層Ⅱ)

(b) 基本物性比較

第 11-3-11 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-2 地点の洪積砂層Ⅱ)



N値及び物理特性の調査位置図：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I, II）



N値及び物理特性の整理対象層：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I, II）

(a) 比較対象位置図

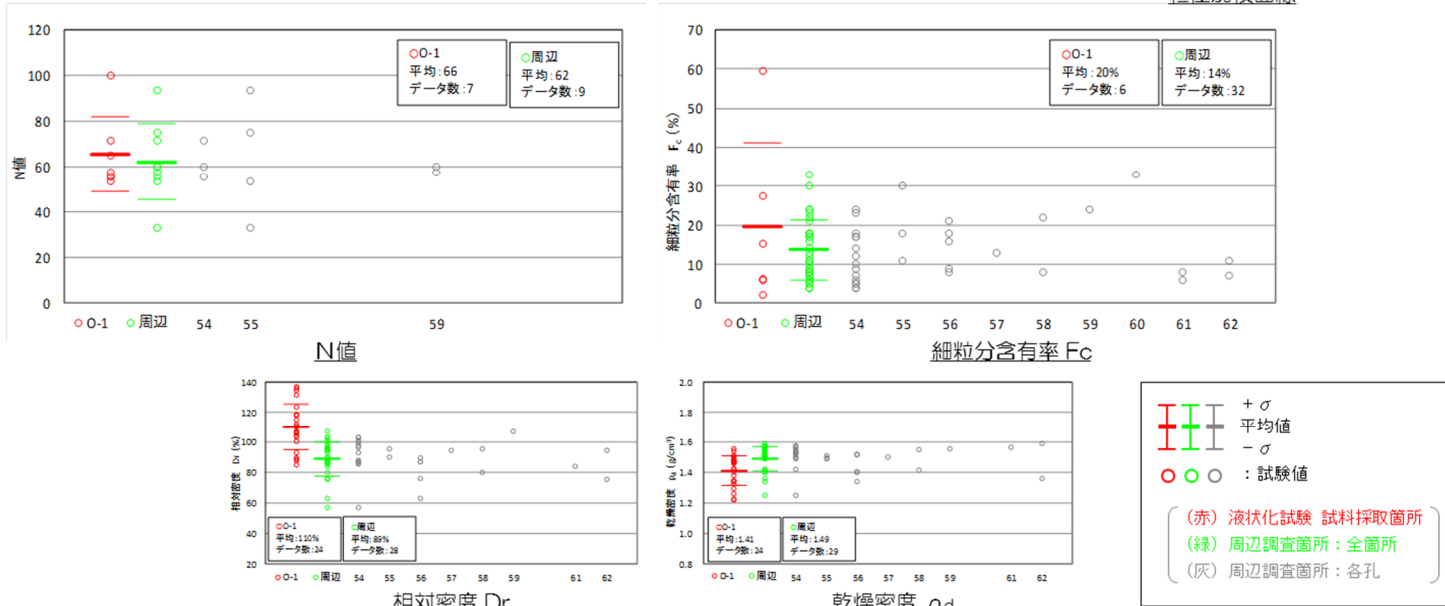
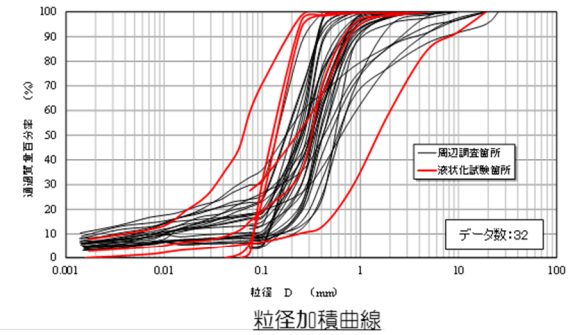
第 11-3-12 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（O-1 地点の洪積砂質土層 I, II）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より大きく、 -1σ 値は周辺調査箇所より小さい（ばらつきが大きい）。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所はばらつきが大きく、周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っていないデータがある。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所より大きい。

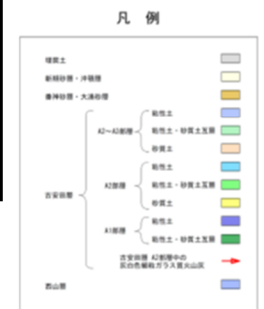
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所より小さい。



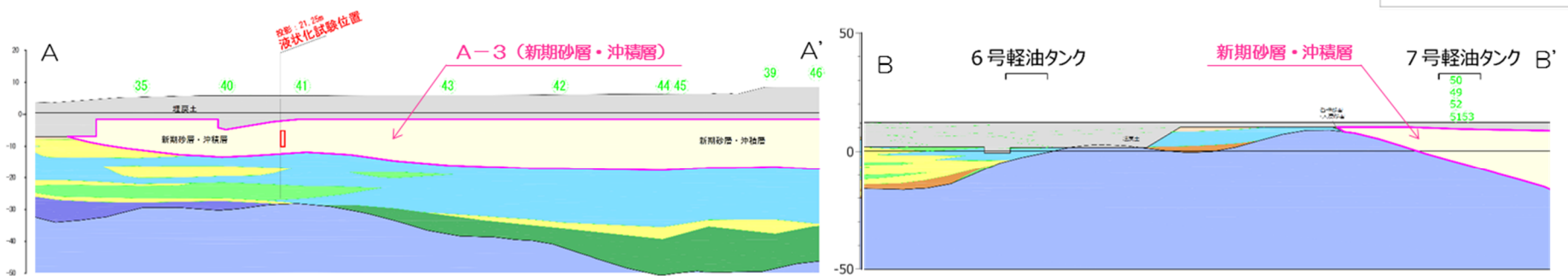
N値及び物理特性の比較 大湊側 O-1 (洪積砂質土層 I, II)

(b) 基本物性比較

第 11-3-12 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (O-1 地点の洪積砂質土層 I, II)



N値及び物理特性の調査位置図：A-3（新期砂層・沖積層）



N値及び物理特性の整理対象層：A-3（新期砂層・沖積層）

(a) 比較対象位置図

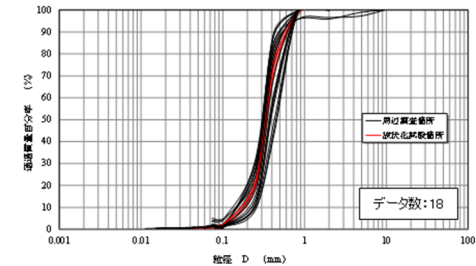
第 11-3-13 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-3 地点の新期砂層・沖積層）

- **N値**：液状化試験箇所のN値は、荒浜側周辺調査箇所より小さく下限付近であり、大湊側の周辺調査箇所より大きい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 -1σ 値は荒浜側の周辺調査箇所と同程度であり、大湊側の周辺調査箇所より小さい。

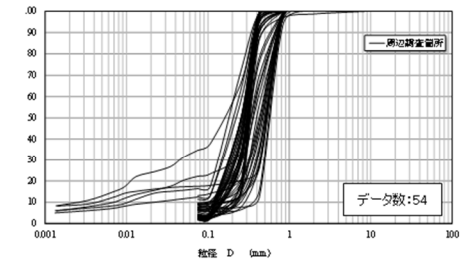
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っており、荒浜側はばらつきが小さく、よく一致している。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、周辺調査箇所より小さい。

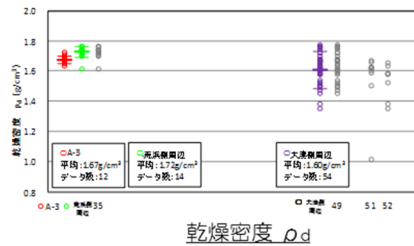
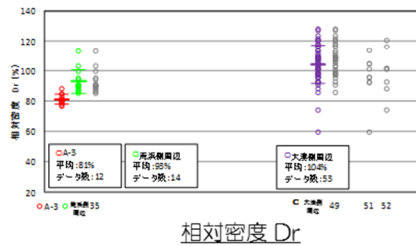
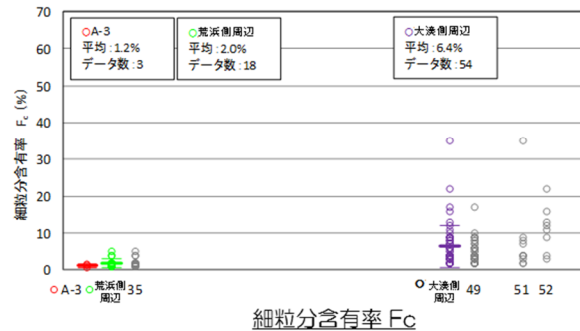
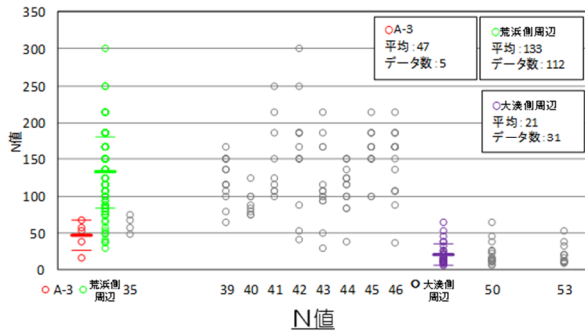
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び -1σ 値は、荒浜側の周辺調査箇所より小さく、大湊側の周辺調査箇所より大きい。



粒径加積曲線 (荒浜側)



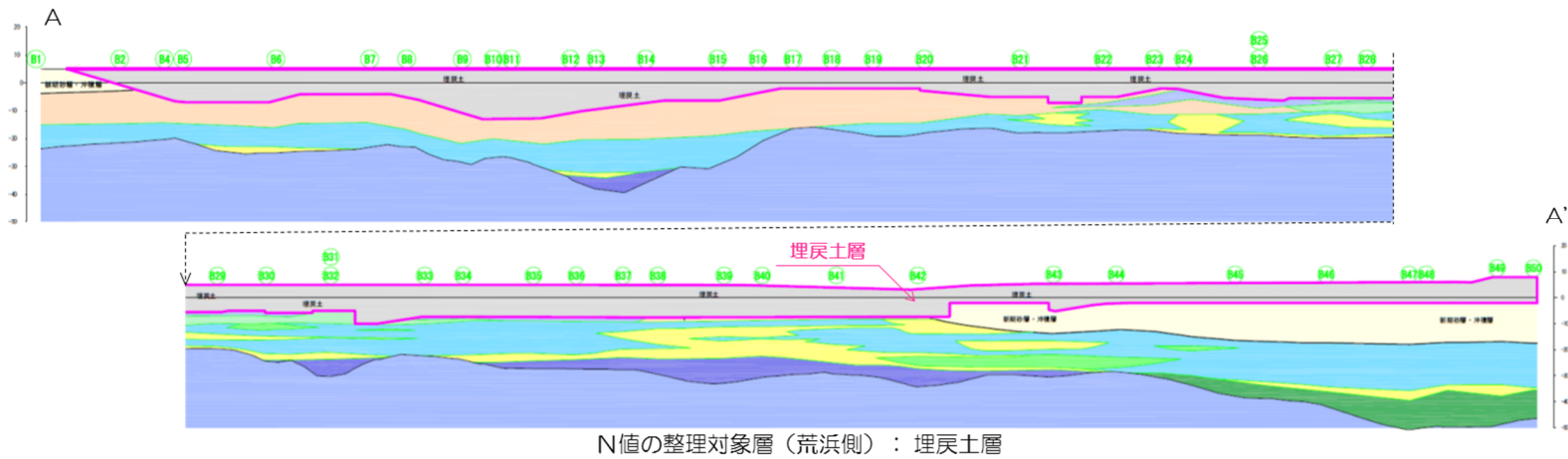
粒径加積曲線 (大湊側)



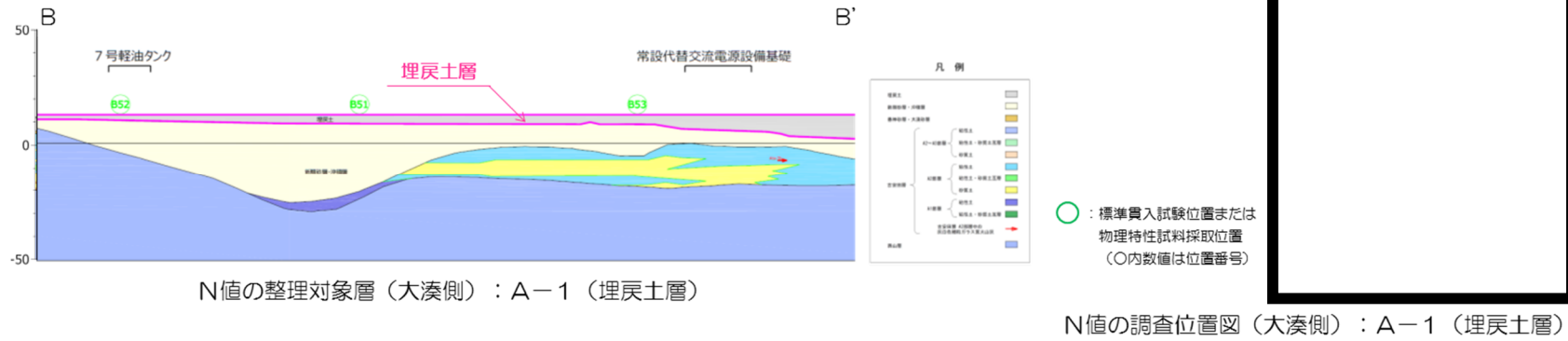
N値及び物理特性の比較 A-3 (新时期砂層・沖積層)

(b) 基本物性比較

第 11-3-13 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-3 地点の新时期砂層・沖積層)

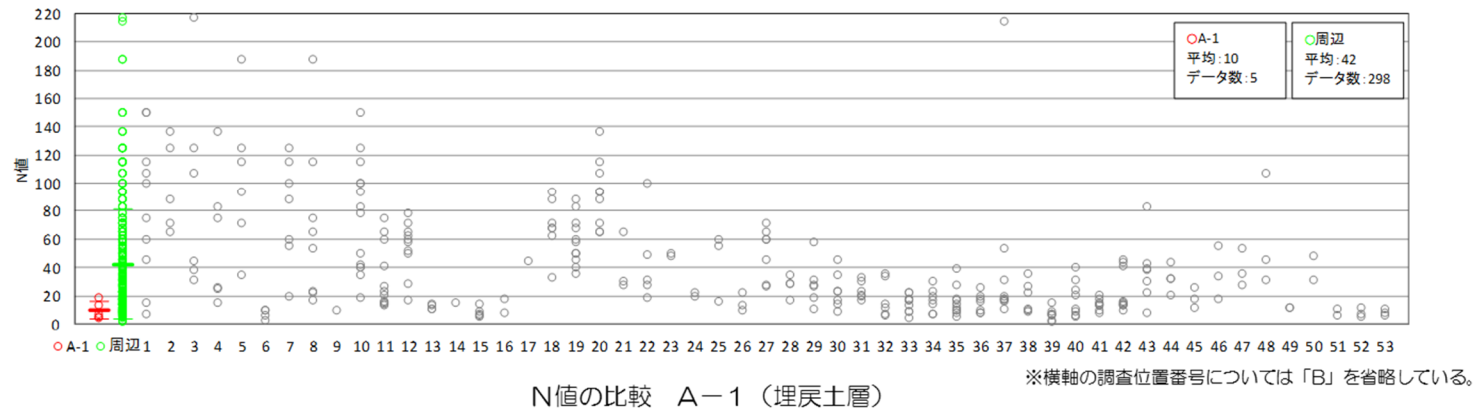


第 11-3-14 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-1 の埋戻土層）



(b) 比較対象位置図（大湊側）

■ **N値**：液状化試験箇所とのN値は、周辺調査箇所より小さく、下限付近である。



(b) 基本物性比較

第 11-3-14 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-1 の埋戻土層）

第 11-3-2 表 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較のまとめ

地層区分		N値	細粒分 含有率	追加 調査 実施
A-1 洪積砂層 I	平均値			○
	-1σ値			
A-1 洪積砂層 II	平均値			○
	-1σ値			
A-2 洪積砂層 I	平均値			※
	-1σ値			
A-2 洪積砂層 II	平均値			-
	-1σ値			
O-1 洪積砂質土層 I, II	平均値			○
	-1σ値			
A-3 新期砂層・沖積層 (荒浜側)	平均値			-
	-1σ値			
A-3 新期砂層・沖積層 (大湊側)	平均値			○
	-1σ値			
A-1 埋戻土層	平均値		-	○
	-1σ値		-	

：周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が小さい
(変動率 < -10%)

：周辺調査箇所と液状化試験箇所が同程度
(-10% ≤ 変動率 ≤ 10%)

：周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が大きい
(変動率 > 10%)

※ 液状化強度特性の設定は、保守的に A-1 (洪積砂層 II) の液状化試験結果を用いる。

3.3 追加調査位置

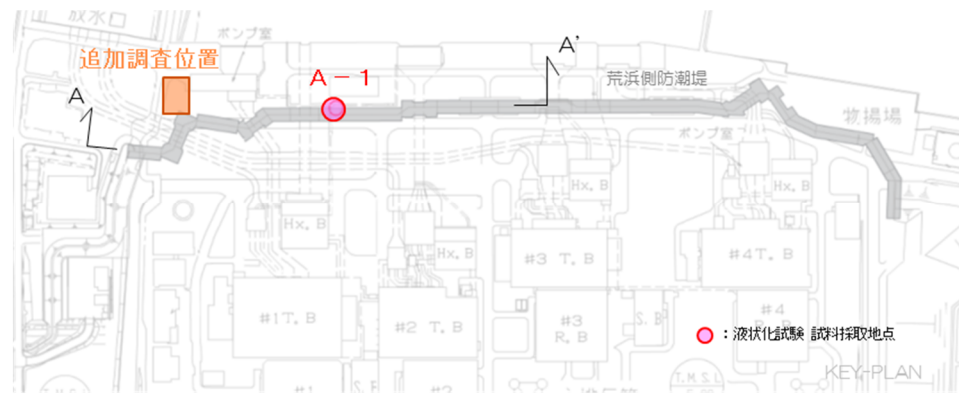
3.1 及び 3.2 の検討結果を踏まえて、第 11-3-15 図に追加調査実施予定地を示す。

荒浜側における A-1 地点の洪積砂層 I, II 及び A-2 地点の洪積砂層 I は、地質の連続性等の評価や周辺調査個所の N 値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。なお、A-2 地点の洪積砂層 I は、A-1 地点の洪積砂層 I, II と同時に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、物性設定においては保守的に A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果を用いる方針とする。追加調査位置は、事前調査を実施し、A-1 地点の洪積砂層 I, II の両層を採取できる場所を選定する。

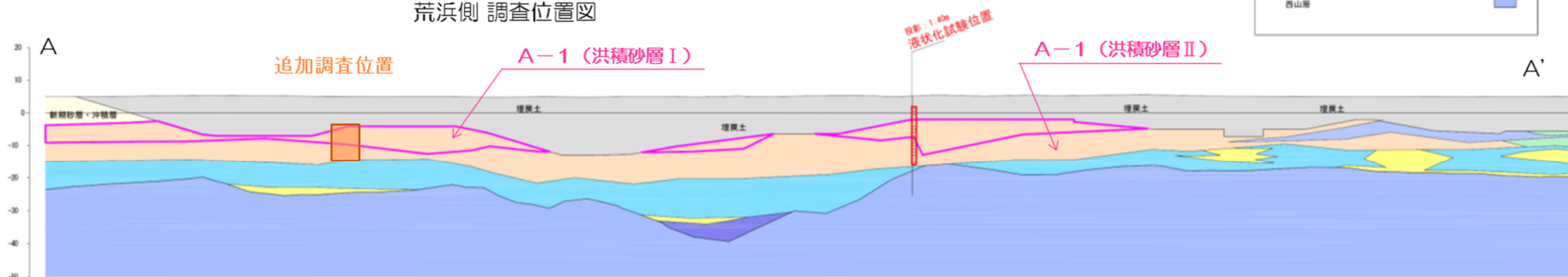
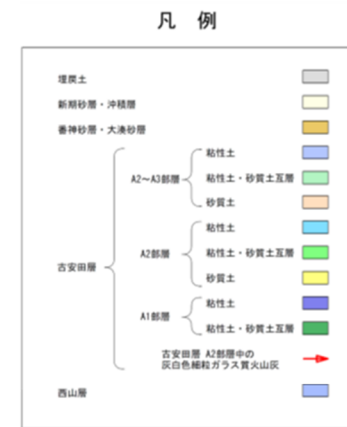
O-1 地点の洪積砂質土層 I, II は、地質の連続性等の評価や周辺調査個所の N 値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、6, 7 号炉の申請であることを踏まえ、7 号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、古安田層中に挟在する砂層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

A-3 地点の新期砂層・沖積層は、大湊側の周辺調査個所と比べて、細粒分含有率が小さいものの、N 値が大きいことから、大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、新期砂層・沖積層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

埋戻土層については、液状化試験を実施した A-1 地点の N 値が周辺調査個所に比べて小さく下限付近であることから、試験は保守的な個所で実施している評価した。ただし、大湊側での N 値のデータが少ないことから、大湊側の埋戻土層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、埋戻土層から試料が確実に採取できる場所を選定する。



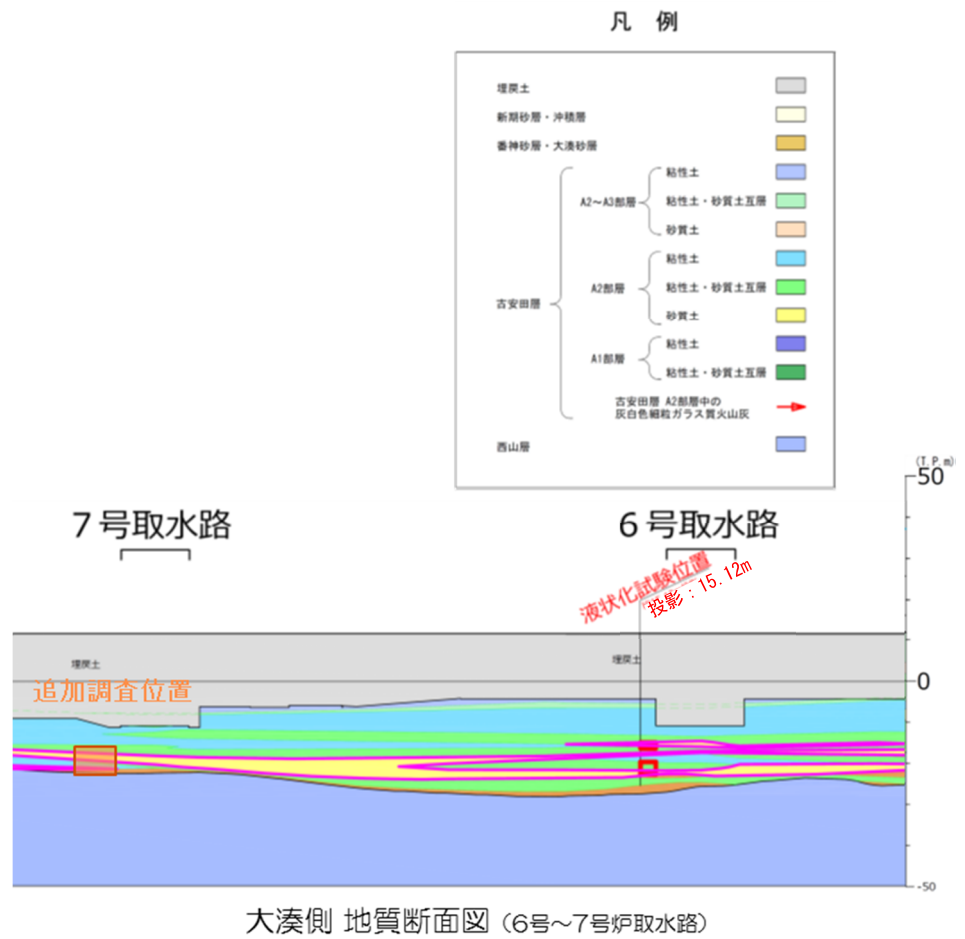
荒浜側 調査位置図



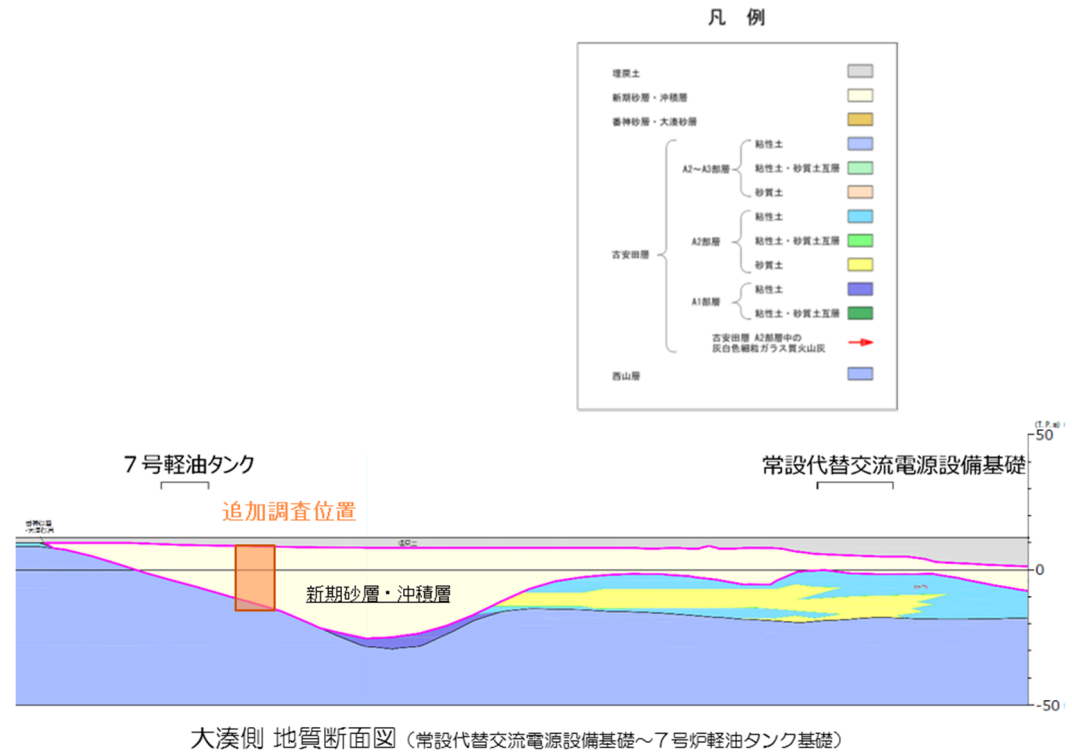
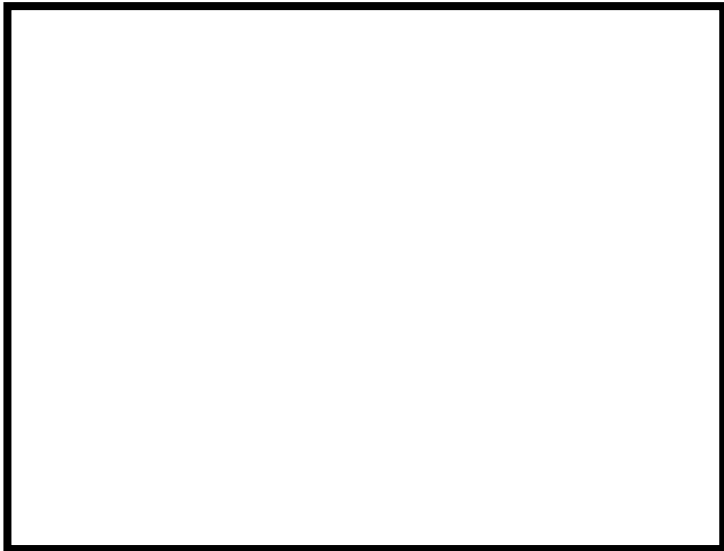
荒浜側 地質断面図

(a) 荒浜側：A-1 地点の洪積砂層 I, II 及び A-2 地点の洪積砂層 I

第 11-3-15 図 追加調査実施予定地



(b) 大湊側：O-1 地点の洪積砂質土層 I, II 及び大湊側の埋戻土層
第 11-3-15 図 追加調査実施予定地



(c) 大湊側：新期砂層・沖積層
 第 11-3-15 図 追加調査実施予定地

4. 液状化試験結果

4.1 液状化試験方法

地盤工学会では、地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）が規程されている。実務的には、地盤の液状化強度特性を求める試験方法として、繰返し非排水三軸試験のほかに、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験等が用いられる。（安田，1991） 第 11-4-1 図に一般的な液状化試験方法の例を示す。

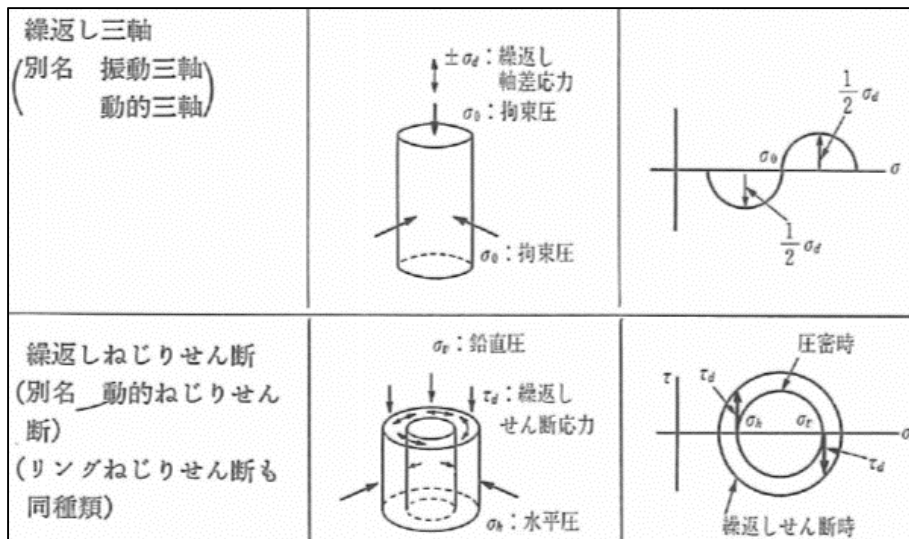
三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して、ねじりせん断試験は比較的広範囲な応力経路又はひずみ経路を供試体に与えられる。（地盤工学会，2009） 三軸試験では圧縮側と引張側で挙動が異なり、応力経路は上下では対称ではないし、ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係、応力経路ともほぼ対称な形をしている。（土木学会，2003：第 11-4-2 図）

以上を踏まえ、洪積層である古安田層中の砂層や N 値の比較的大きい新期砂層・沖積層を対象とした試験を実施するにあたり、高せん断応力比の液状化試験を実施する必要があることから、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験を採用した。

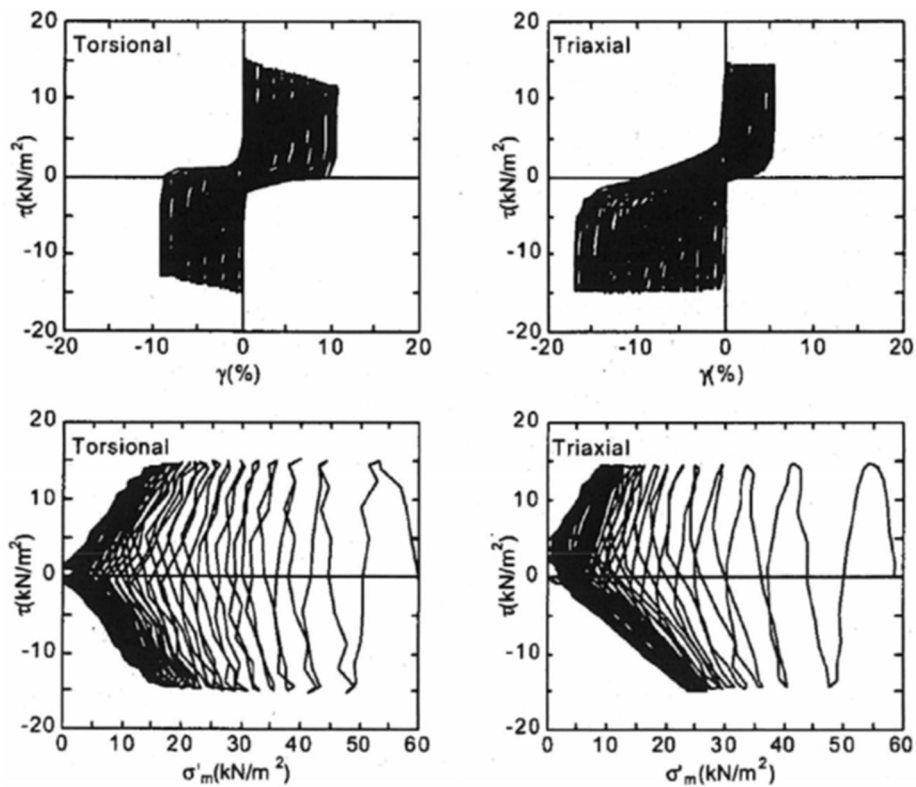
実施した中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要を第 11-4-3 図に、試料採取に用いた凍結サンプリングの概要を第 11-4-4 図に示す。

載荷状況

応力状態



第 11-4-1 図 一般的な液状化試験方法の例
(安田, 1991 抜粋)



(a) 繰返しねじりせん断試験

(b) 繰返し三軸試験

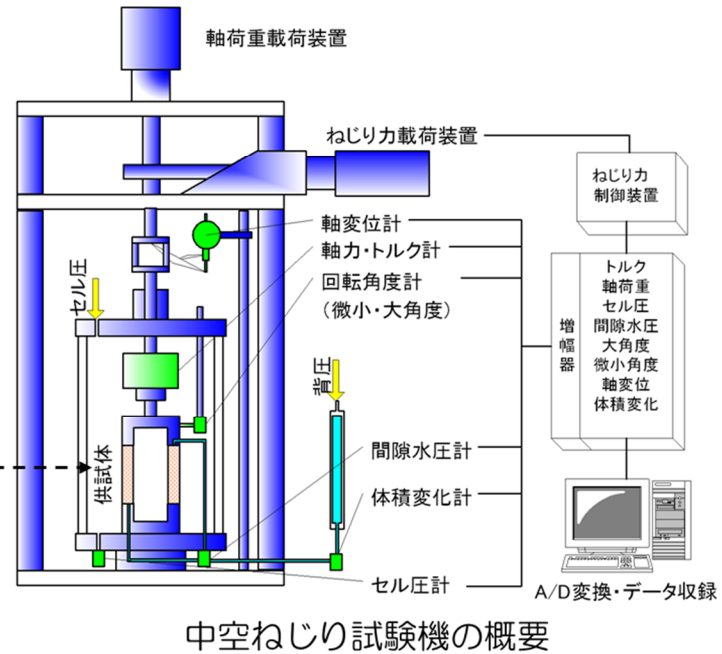
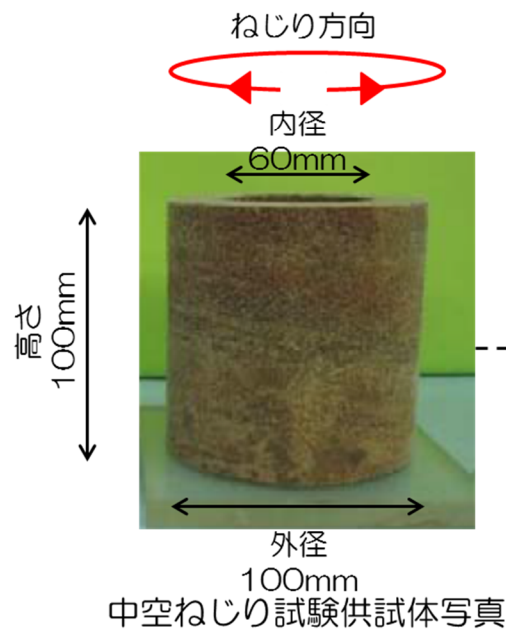
第 11-4-2 図 液状化試験結果の例
[上図: 応力-ひずみ関係, 下図: 応力経路]
(土木学会, 2003)

【試験の概要】

- 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法（地盤工学会：JGS 0543-2000）（以下、中空ねじり試験という。）を参考に実施。

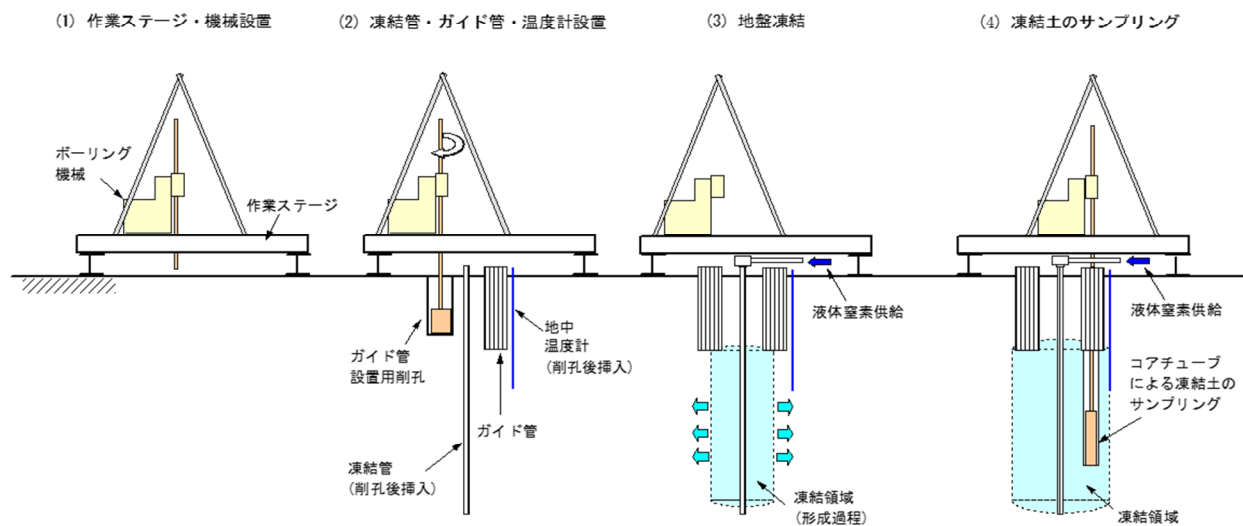
【試験条件】

- 供試体寸法：外径100mm（内径60mm），高さ100mm（一部供試体は，外径70mm（内径30mm），高さ100mm）
- 载荷波形：正弦波（0.1Hz）
- 拘束圧：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定
- 繰返し回数200回を上限として，過剰間隙水圧比0.95および両振幅せん断ひずみ15%に達するまで試験を実施。（JGS 0541-2000を参考）
- 所定の両振幅せん断ひずみ（1.5%，2%，3%，7.5%，15%）および過剰間隙水圧比0.95の繰返し回数を評価。（JGS 0541-2000を参考）

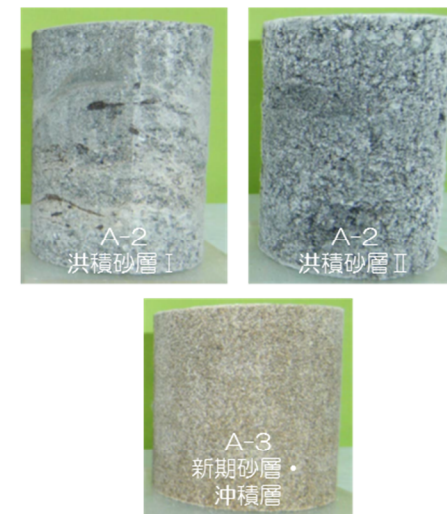


第 11-4-3 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要

- 凍結サンプリングは、砂・砂質土地盤や砂礫地盤を対象に高品質な不攪乱試料を採取する手法。
- 凍結管に液体窒素を流し込み、ゆっくりと地盤を凍結させた後に、コアサンプリングを行う。
- サンプリング手順は以下の通り
 - ① 既往調査より対象土層の厚い箇所を確認し、凍結サンプリング計画地点を決定。
 - ② 凍結サンプリング計画地点近傍にてパイロットボーリング（孔径φ86mm）を行い、サンプリング対象層の深度を確認。
 - ③ 液体窒素を流し込み、地中温度計が0度付近になるまで地盤の凍結を行う。
 - ④ 凍結が確認された後、コアチューブによる試料のサンプリングを行う。



凍結サンプリングの概要



試験供試体例
 (左上：洪積砂層 I 右上：洪積砂層 II
 下：新期砂層・沖積層)

第 11-4-4 図 凍結サンプリングの概要

4.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

レベル2地震動による液状化研究小委員会活動成果報告書（土木学会，2003）では，地盤の液状化及びそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。第11-4-5図に地盤の強度とダイレイタンスー特性の概要を示す。

【液状化】

地震の繰返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象。

【サイクリックモビリティ】

繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で，限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなっても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンスー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し，せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に，密な砂や礫質土，過圧密粘土のように正のダイレイタンスー特性が著しい土において顕著に現れる。

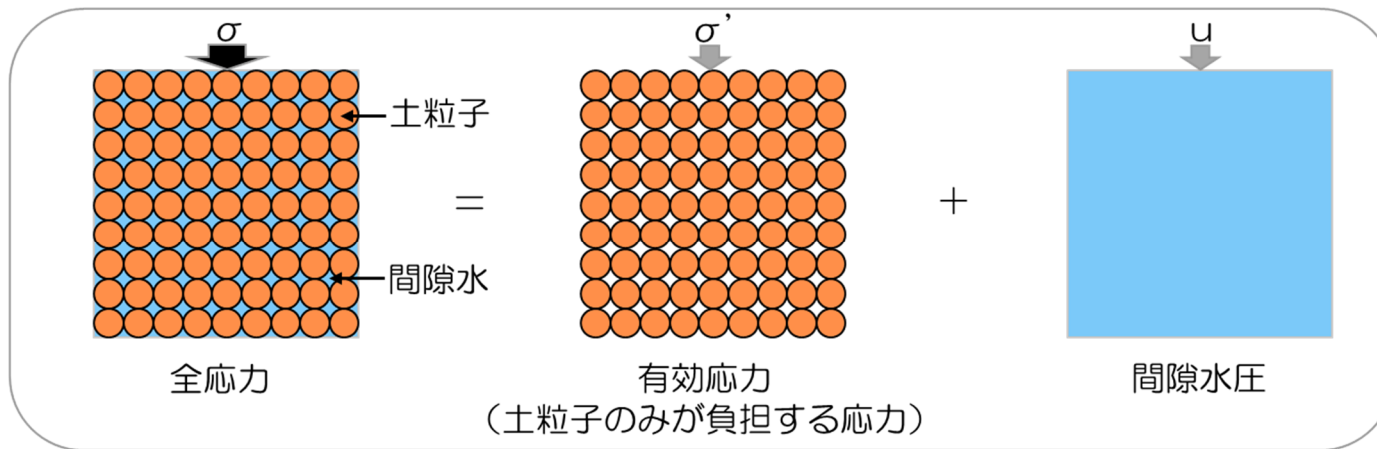
【繰返し軟化】

繰返し载荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土のもつダイレイタンスー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

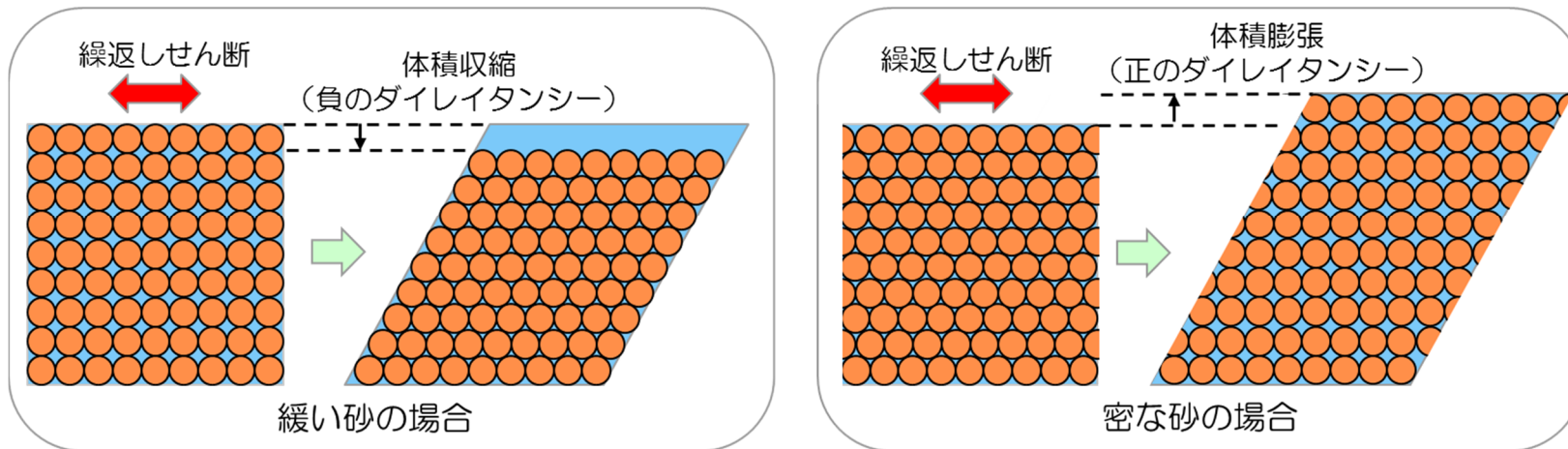
これらの事象のうちサイクリックモビリティは、その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また、第 11-4-6 図及び第 11-4-7 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し、液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

- サイクリックモビリティとは、砂などの繰返し载荷において、有効拘束圧がゼロに近づいてから、载荷時にせん断剛性の回復、除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが、ひずみは有限の大きさとどまる現象であり、液状化とは区別して用いられることがある。(地盤工学会, 2006)
- 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。(井合, 2008)
- サイクリックモビリティにおいて、有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので、間隙水圧比が 100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。(吉見, 1991)
- 密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が 0 になっても、その後せん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加(回復)し、有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。(安田, 1991)

これらの知見を踏まえて、液状化試験結果を、「液状化」、「サイクリックモビリティ」及び「非液状化」の3つに大別することとした。

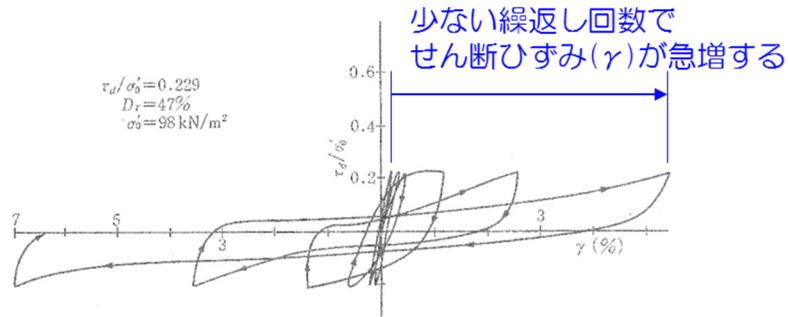


地盤の強度の概要

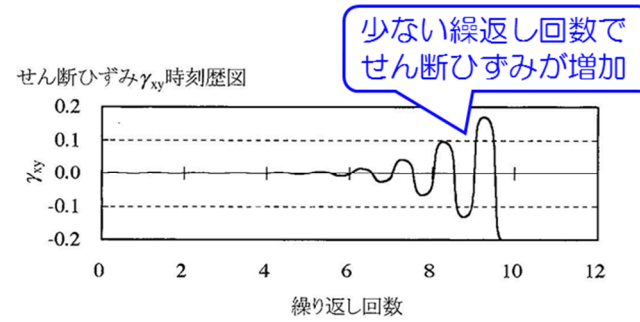


第 11-4-5 図 地盤の強度とダイレイタンスー特性の概要

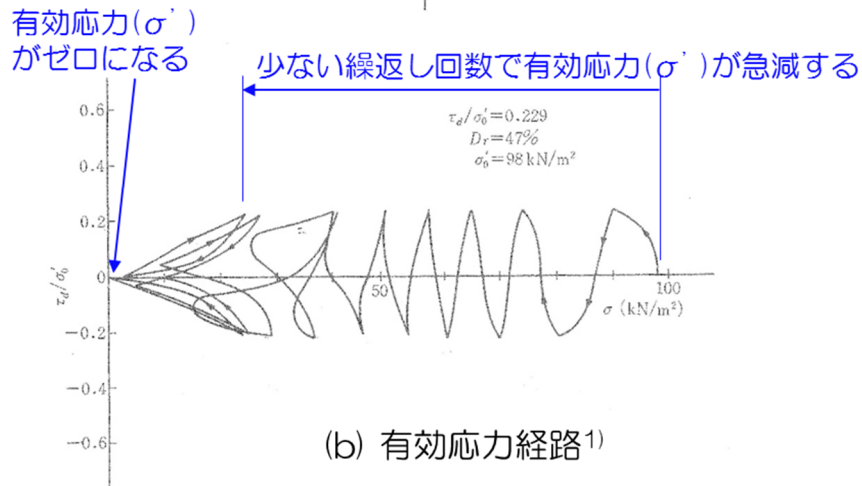
【液状化試験のイメージ (1)】



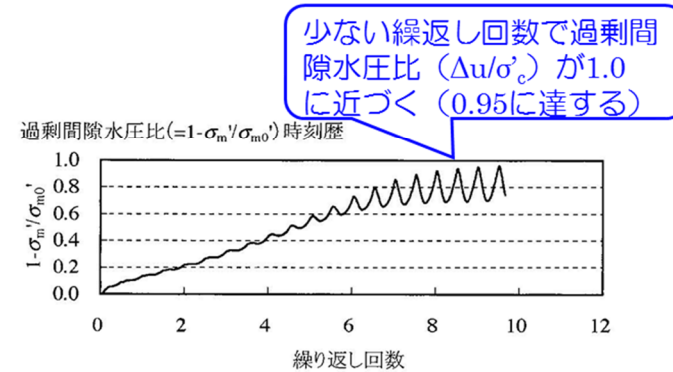
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾



(c) せん断ひずみ²⁾



(b) 有効応力経路¹⁾



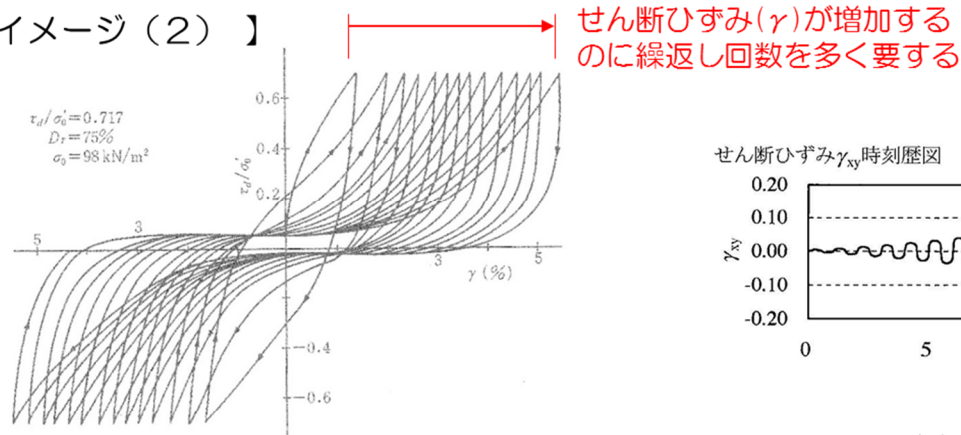
(d) 過剰間隙水圧比²⁾

液状化試験の例 (液状化する場合)

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984
 2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008.

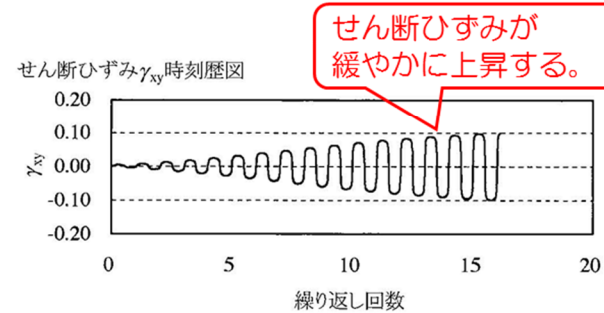
第 11-4-6 図 緩い砂の液状化試験結果

【液状化試験のイメージ (2)】

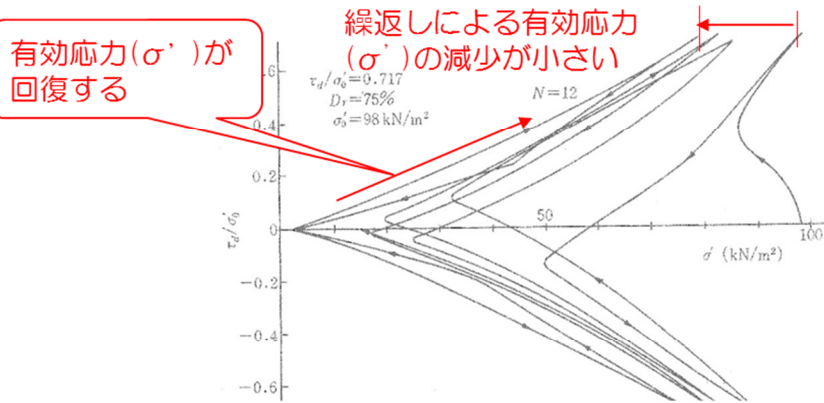


(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾

せん断ひずみ(γ)が増加する
のに繰返し回数を多く要する



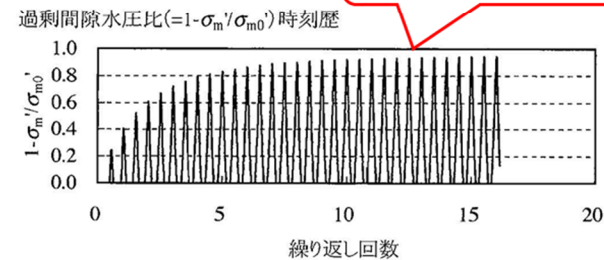
(c) せん断ひずみ²⁾



(b) 有効応力経路¹⁾

繰返しによる有効応力
(σ')の減少が小さい

過剰間隙水圧比が
上昇と下降を繰返す。



(d) 過剰間隙水圧比²⁾

液状化試験の例 (サイクリックモビリティの場合)

1) 永瀬英生: 多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性, 東京大学博士論文, 1984
2) 井合進, 飛田哲男, 小堤治: 砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係, 京都大学防災研究所年報, 第51号, pp.291-304, 2008.

第 11-4-7 図 密な砂の液状化試験結果

4.3 試験結果の分類

第 11-4-1～8 表に各土層の液状化試験結果を、第 11-4-8～15 図に各土層の液状化試験結果の例を、第 11-4-9 表に液状化試験結果のまとめを、第 11-4-16 図に液状化試験後の供試体状況を示す。

A-1 地点の埋戻土層の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 1.0 に近づき (0.95 を上回り)、有効応力がゼロとなる。また、その繰り返しせん断を受けても、有効応力の回復はみられず、せん断ひずみが急激に上昇する。これらの状況から、この試験結果は液状化していると判断した。

A-3 地点の新期砂層・沖積層及び A-1 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に 1.0 に近づく (0.95 を上回る)。これに伴って、有効応力は減少するが、繰り返しせん断を受けることで回復する。また、せん断ひずみは緩やかに上昇する。これらの状況から、この試験結果はサイクリックモビリティであると判断した。

A-2 地点の洪積砂層 I・II 及び 0-1 地点の洪積砂質土層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 0.95 を上回ることがなく、試験実施の間、有効応力を保持している。また、せん断ひずみが緩やかに上昇し、試験終了直前で急激にせん断ひずみが増大する傾向である。A-2 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験後の供試体状況をみると、明確なせん断破壊が確認され、このせん断ひずみの増大はせん断破壊によって発生したものと考えられる。これらの状況から、この試験結果は非液状化であると判断した。

これらの区分を整理して、第 11-4-10 表に示す。

埋戻土層以外の土層は、比較的 N 値が高く、液状化試験結果はサイクリックモビリティあるいは非液状化を示している。このことは、道路橋示方書において、一般に N 値が高く、続成作用を受けている洪積層等は、液状化に対する抵抗が高いため、一般には液状化の可能性は低いという記載に整合する。

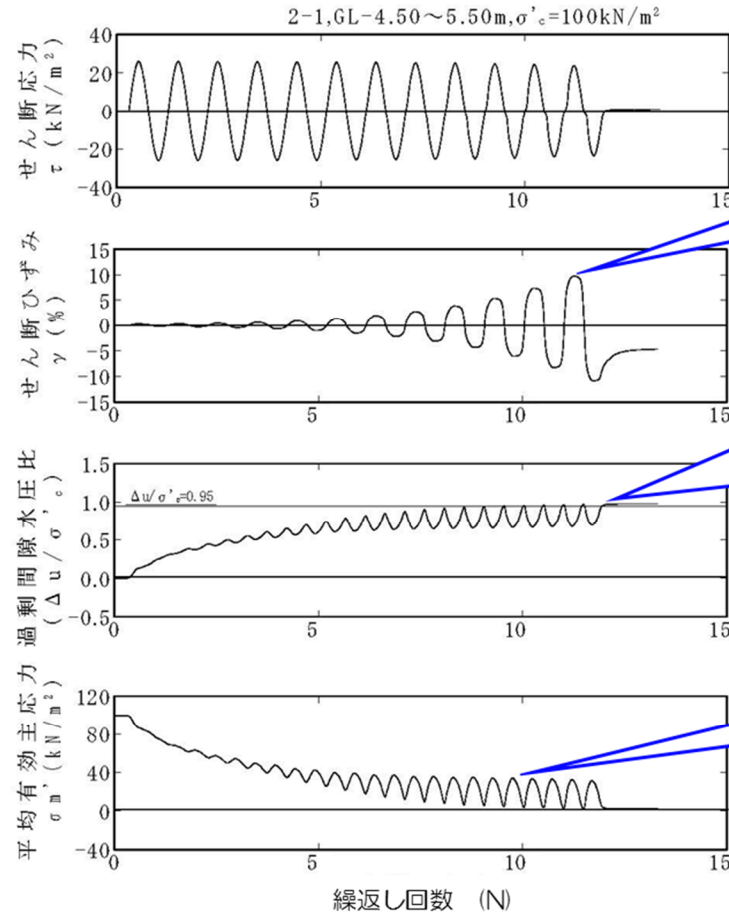
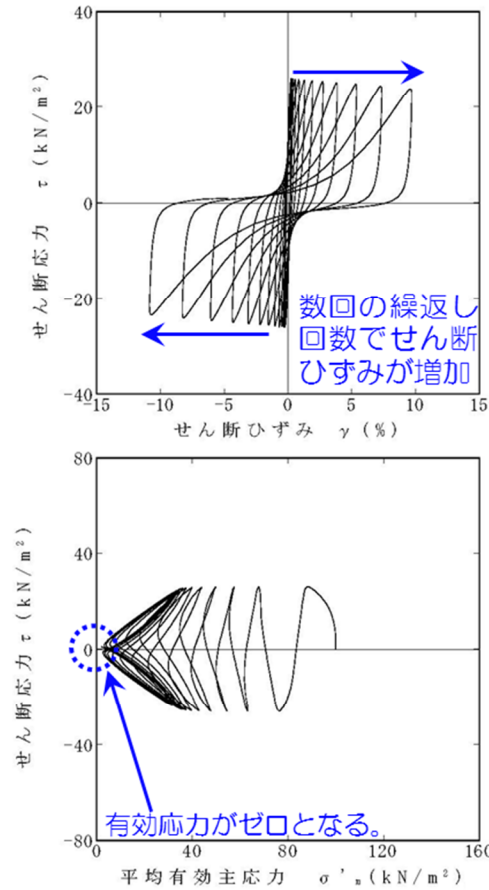
埋戻土層については試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定法 (FL 法) を実施し、基準地震動 S_s 作用時の液状化の有無を判定する。埋戻土層以外の土層については液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられることから、液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。

第 11-4-1 表 液状化試験結果 (A-1 地点の埋戻土層)

試料番号		#1-0-1				#1-0-2				
深度 G.L.- (m)		3.50~4.50				4.50~5.50				
土質材料		埋戻土層				埋戻土層				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.710				2.720				
圧密圧力 σ'_c (kN/m ²)		50				100				
せん断応力比 τ_d/σ'_c		0.25	0.30	0.20	0.35	<u>0.26</u>	0.21	0.24	0.29	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	7.5	5.5	103	3.5	<u>4.5</u>	54	29	5.5
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	8.5	7	106	5	<u>5</u>	56	32	6.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	10	9	111	7.5	<u>6</u>	59	36	8
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	16	15	119	27	<u>8</u>	64	46	12
		$\gamma_{DA}=15\%$	21	23	127	109	<u>10</u>	68	54	15
	過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		15	16	116	35	<u>9</u>	64	45	14

: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果

$$\sigma'_c = 100 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.26$$



数回の繰返し回数でせん断ひずみが増加

数回の繰返し回数で過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が1に近づく (0.95に達する)

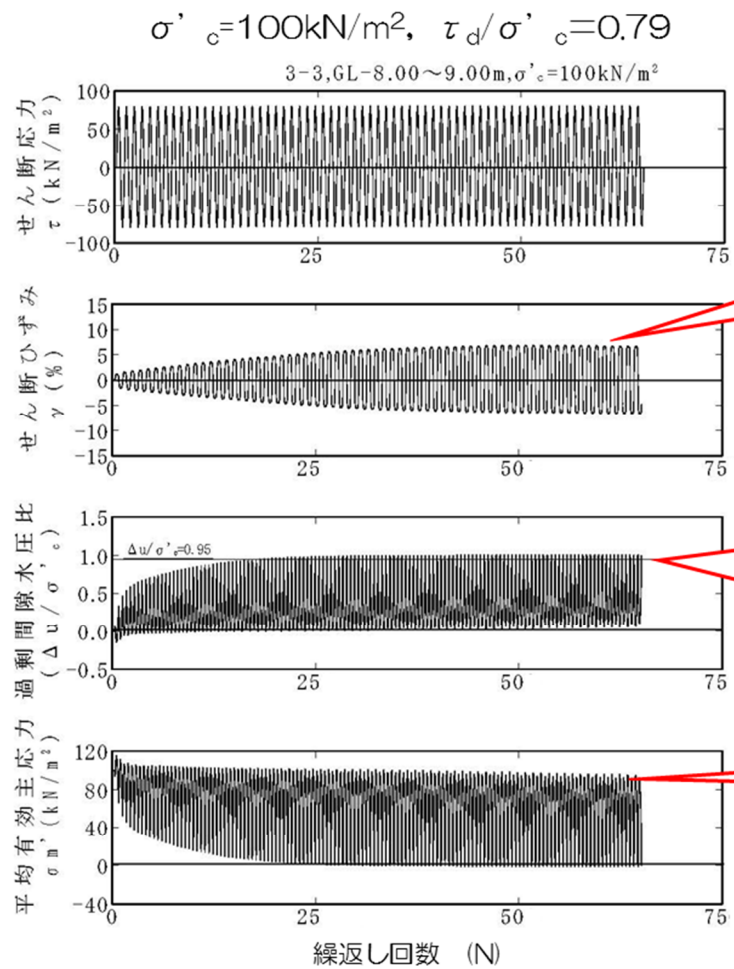
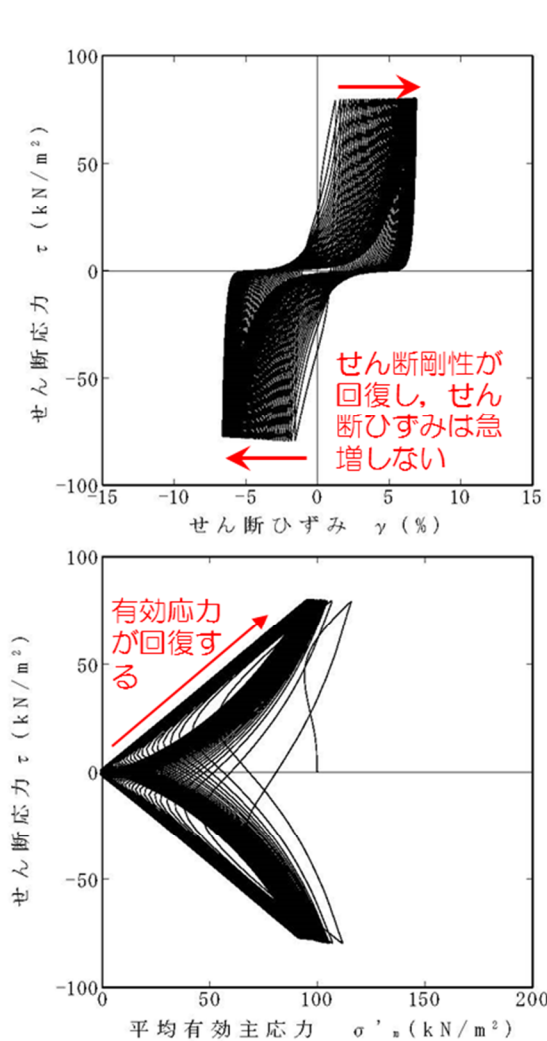
有効応力が徐々に減少する

第 11-4-8 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の埋戻土層)

第 11-4-2 表 液状化試験結果 (A-1 地点の洪積砂層 I)

試料番号		#1-1-1				#1-1-2				
深度 G.L.- (m)		8.00~9.00				10.00~11.00				
土質材料		洪積砂層 I				洪積砂層 I				
供試体 No.		1	2	<u>3</u>	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.739				2.732				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		100				150				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.47	0.59	<u>0.79</u>	0.97	0.48	0.61	0.44	0.39	
繰返回数	せん断 ^両 振幅 ^{ひすみ}	$\gamma_{DA}=1.5\%$	4	0.9	<u>0.5</u>	0.3	1.5	0.5	0.9	3
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	6.5	2	<u>0.7</u>	0.5	2.5	0.6	1.5	5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	14	6.5	<u>1</u>	0.7	5	0.9	4	8.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	48	32	<u>14</u>	9	18	7.5	17	25
		$\gamma_{DA}=15\%$	102	96	—	41	53	23	41	48
過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		40	31	<u>18</u>	19	21	15	22	25	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

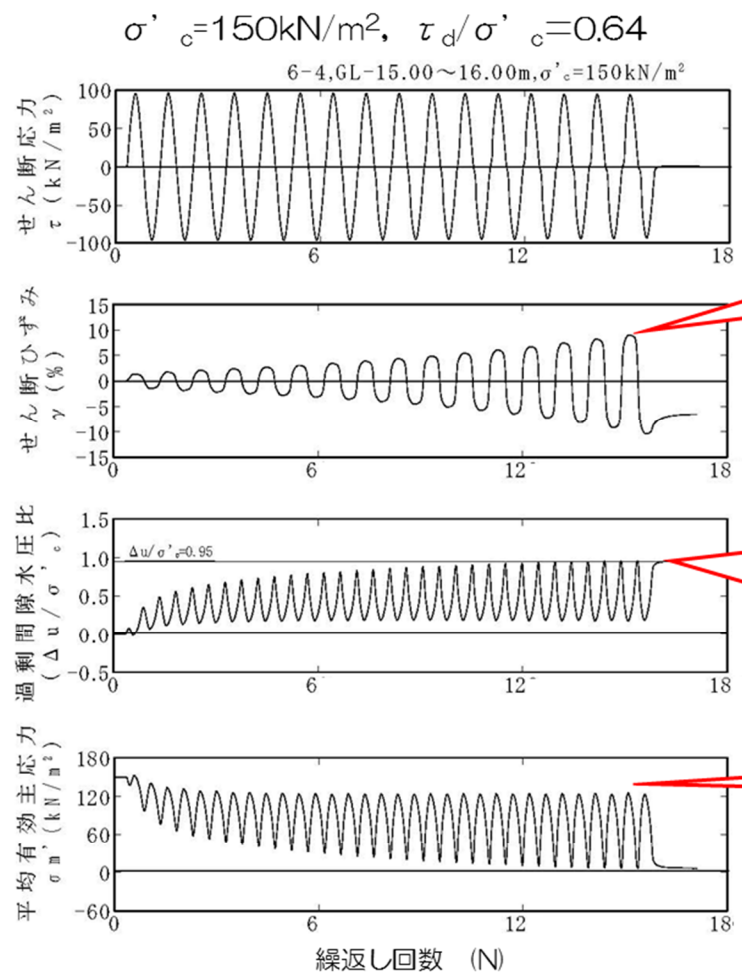
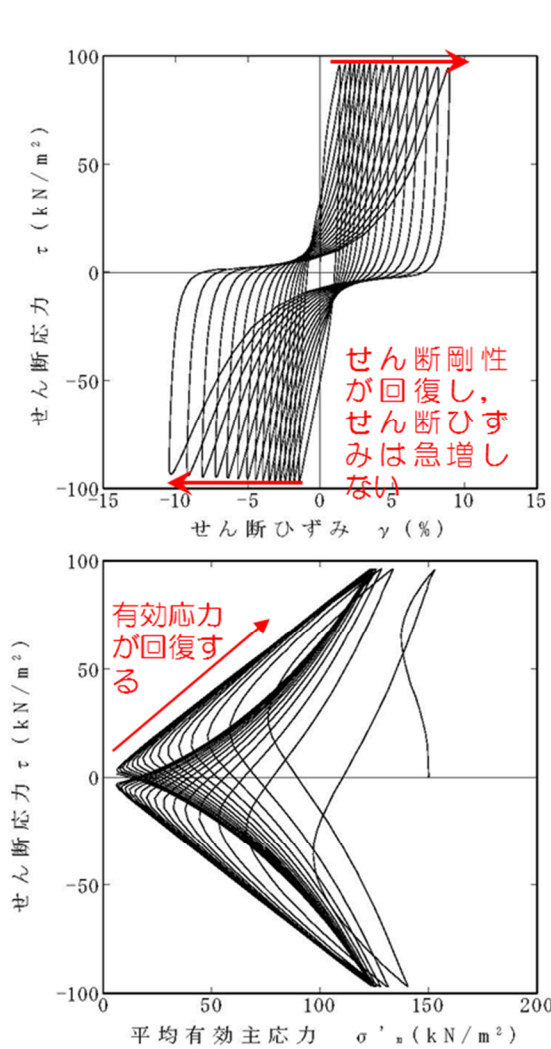
有効応力が回復する。

第 11-4-9 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-3 表 液状化試験結果 (A-1 地点の洪積砂層 II)

試料番号		#1-2-1				<u>#1-2-2</u>				#1-2-3				#1-2-4				
深度 G.L.- (m)		13.00~14.00				<u>15.00~16.00</u>				17.00~18.00				20.00~21.00				
土質材料		洪積砂層 II				洪積砂層 II				洪積砂層 II				洪積砂層 II				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	<u>4</u>	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.714				<u>2.688</u>				2.684				2.685				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				<u>150</u>				200				200				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.51	0.41	0.46	0.36	0.39	0.45	0.50	<u>0.64</u>	0.40	0.35	0.48	0.38	0.40	0.46	0.50	0.62	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	0.4	0.8	1	10	2	1.5	0.8	<u>0.5</u>	2	4.5	0.6	7	2	0.9	0.8	0.6
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	0.6	1	2	11	2.5	3.5	1	<u>0.7</u>	3.5	7.5	0.8	12	3.5	1.5	1.5	0.7
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	0.9	4	2.5	20	6	7	4	<u>1</u>	6.5	14	2	20	7	4.5	5	1.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	7	30	17	65	26	20	18	<u>7</u>	15	30	7	39	27	16	19	9
		$\gamma_{DA}=15\%$	16	56	32	102	48	37	33	<u>13</u>	22	43	13	56	52	25	31	18
	過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		16	40	22	61	31	27	24	<u>14</u>	19	33	13	42	31	22	30	-

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_e$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

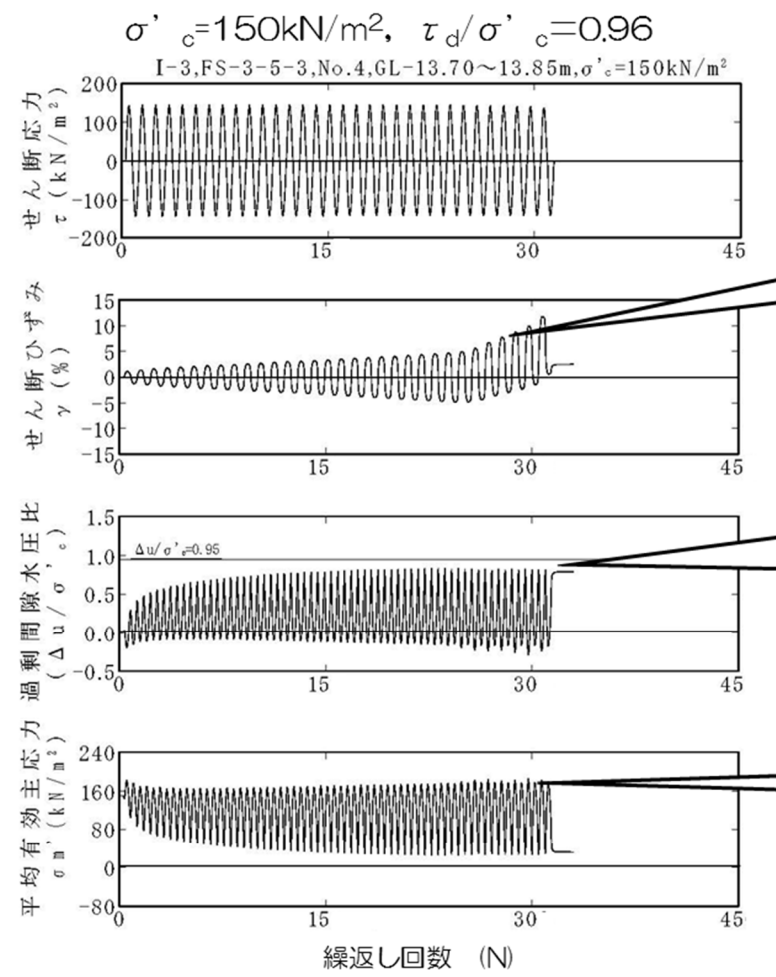
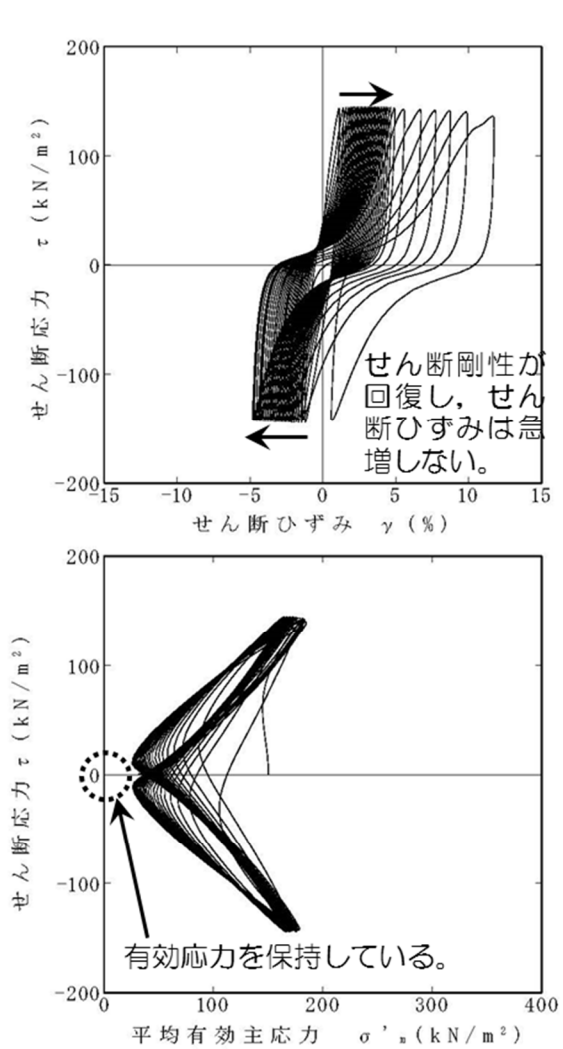
有効応力が回復する。

第 11-4-10 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)

第 11-4-4 表 液状化試験結果 (A-2 地点の洪積砂層 I)

試料番号		#4-1-1				#4-1-2				#4-1-3				
深度 G.L.- (m)		13.20~14.14				13.36~13.99				<u>13.21~13.85</u>				
土質材料		洪積砂層 I				洪積砂層 I				洪積砂層 I				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.665				2.656				<u>2.754</u>				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				150				<u>150</u>				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.60	0.43	0.92	1.18	0.79	1.03	1.20	0.61	1.01	0.71	0.81	<u>0.96</u>	
繰返回数	せん断ひずみ 面振幅	$r_{DA}=1.5\%$	10	5	0.7	0.4	0.9	0.5	0.4	9	0.5	0.9	0.6	<u>0.6</u>
		$r_{DA}=2.0\%$	23	9	1	0.5	3	0.6	0.6	18	0.7	2	0.8	<u>0.9</u>
		$r_{DA}=3.0\%$	44	21	4	0.7	13	0.9	0.9	37	1	8	2	<u>2.5</u>
		$r_{DA}=7.5\%$	60	56	23	5	51	4.5	6.5	91	5	43	17	<u>18</u>
		$r_{DA}=15\%$	71	62	35	-	63	7	9	-	7	-	29	-
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

下線：次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

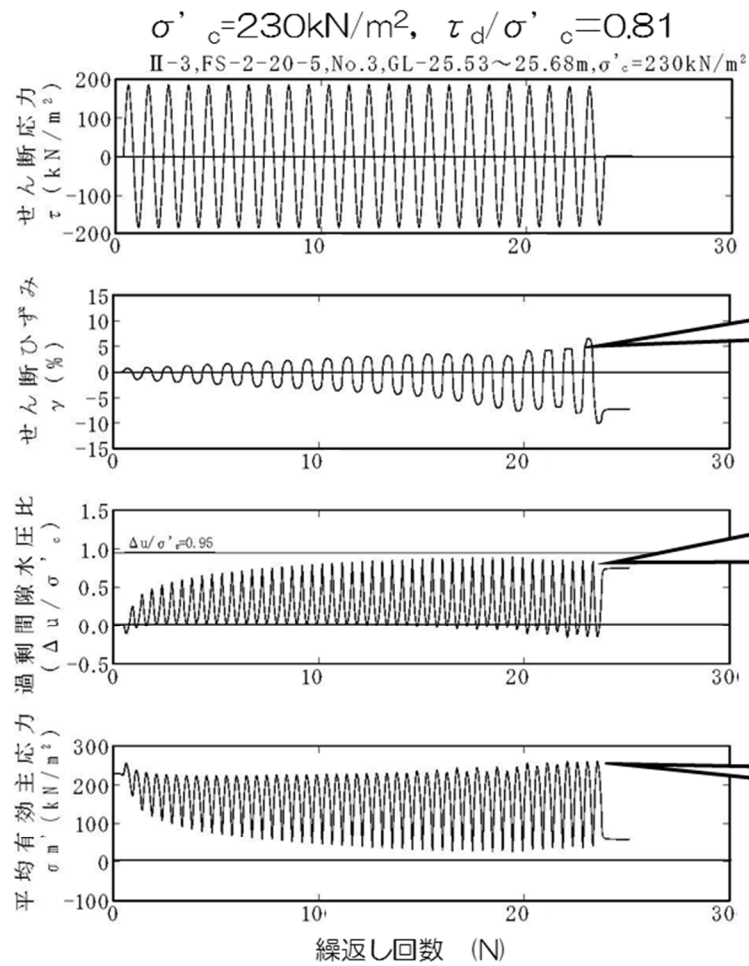
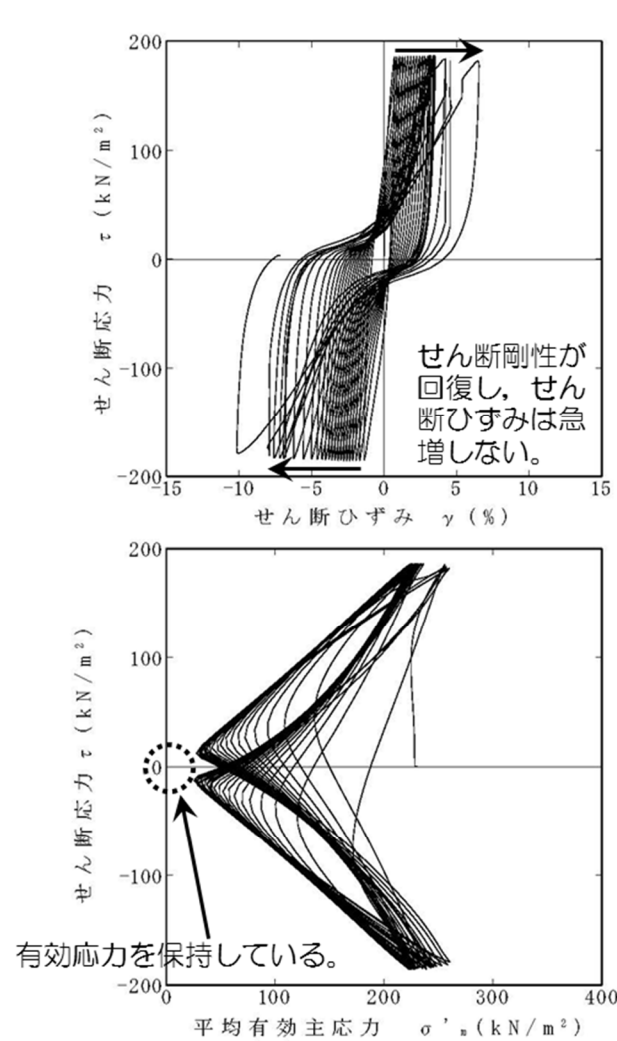
有効応力が回復する。

第 11-4-11 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-5 表 液状化試験結果 (A-2 地点の洪積砂層 II)

試料番号		#4-2-1				#4-2-2				#4-2-3				
深度 G.L.- (m)		20.20~21.96				21.96~22.62				<u>25.15~26.23</u>				
土質材料		洪積砂層 II				洪積砂層 II				洪積砂層 II				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.680				2.679				<u>2.721</u>				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		230				230				<u>230</u>				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.42	0.80	0.63	0.36	0.57	0.66	0.80	0.70	0.71	0.86	<u>0.81</u>	0.76	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	1.5	0.3	0.8	200	2.5	0.9	0.3	0.3	2	0.8	<u>0.7</u>	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	3.5	0.4	1.5	-	6	2	0.5	0.4	5.5	1.5	<u>1</u>	2.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	7	0.7	3.5	-	14	5.5	0.7	0.6	17	4.5	<u>3</u>	6
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	20	3	15	-	46	22	3.5	2	74	17	<u>14</u>	22
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	7.5	-	-	78	-	6.5	4.5	110	-	<u>24</u>	36
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	61	-	-	-	87	-	-	-	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

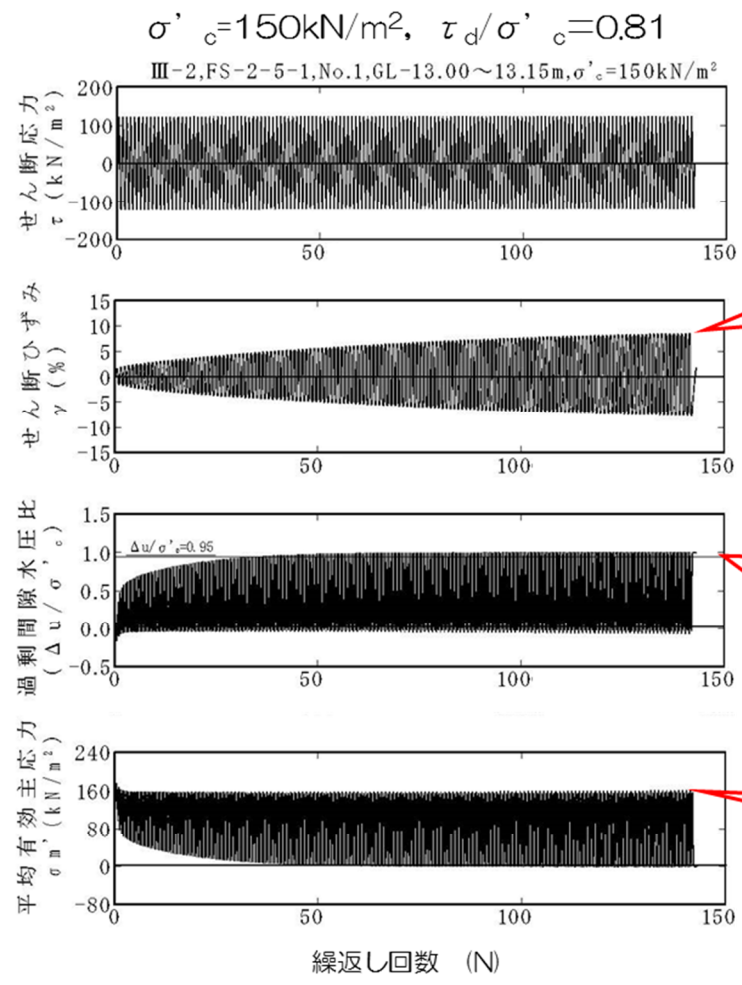
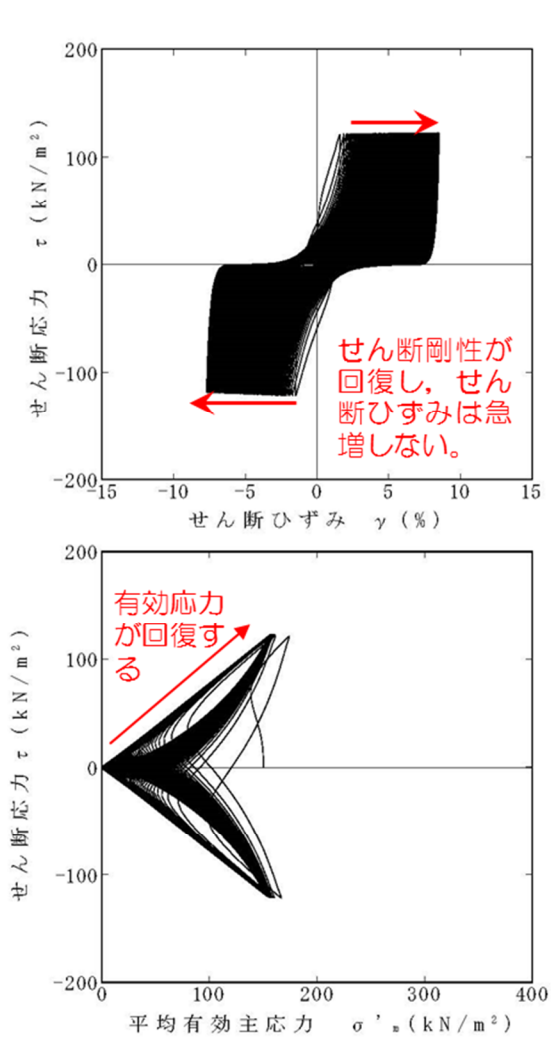
有効応力が回復する。

第 11-4-12 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 II)

第 11-4-6 表 液状化試験結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

試料番号		#4-3-1				<u>#4-3-2</u>				#4-3-3				
深度 G.L.- (m)		13.04~13.51				<u>13.00~13.68</u>				14.96~15.43				
土質材料		新期砂層・沖積層				新期砂層・沖積層				新期砂層・沖積層				
供試体 No.		1	2	3	4	<u>1</u>	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.719				<u>2.780</u>				2.685				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				<u>150</u>				150				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.81	0.70	0.62	0.49	<u>0.81</u>	0.91	0.72	0.54	0.60	0.81	0.70	1.02	
繰返し回数	せん断ひずみ 振幅	$r_{DA}=1.5\%$	0.5	0.6	0.7	2	<u>0.5</u>	0.3	0.6	0.9	0.8	0.3	0.7	0.3
		$r_{DA}=2.0\%$	0.6	0.8	0.9	3.5	<u>0.7</u>	0.4	0.8	1.5	1.5	0.5	0.9	0.4
		$r_{DA}=3.0\%$	0.9	2	2	8.5	<u>1</u>	0.6	2	4	5	0.7	3	0.5
		$r_{DA}=7.5\%$	15	19	18	50	<u>24</u>	9	24	21	32	9	22	8
		$r_{DA}=15\%$	76	96	53	146	<u>112</u>	91	77	65	94	43	60	77
過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		28	28	30	40	<u>38</u>	44	34	24	38	25	28	39	

 : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

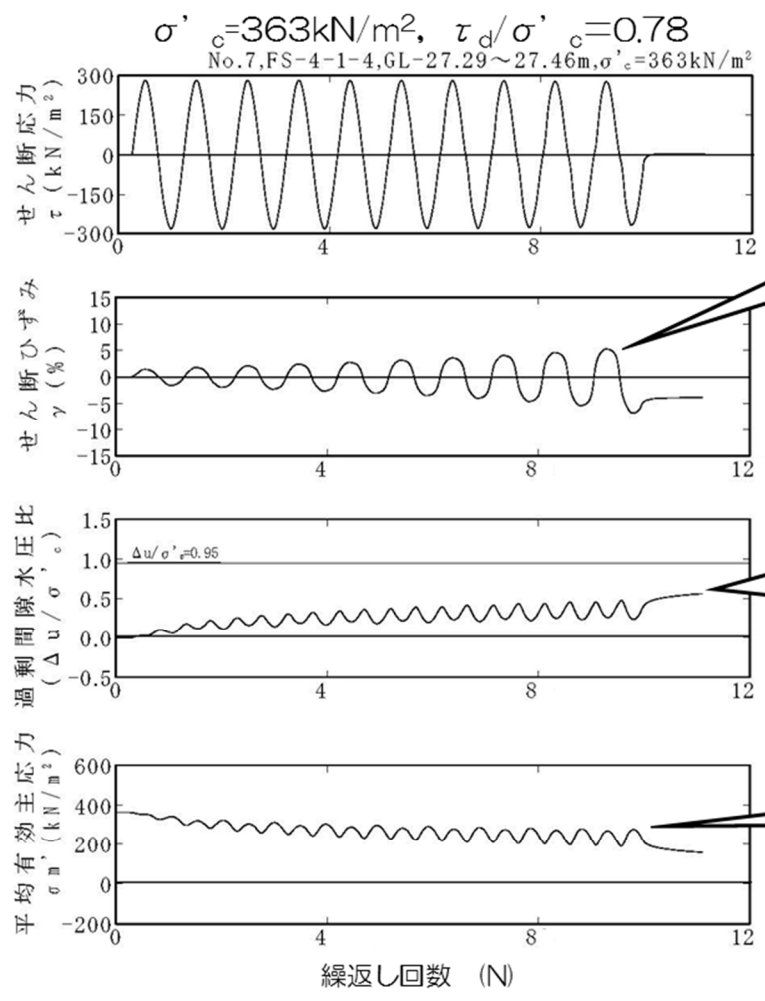
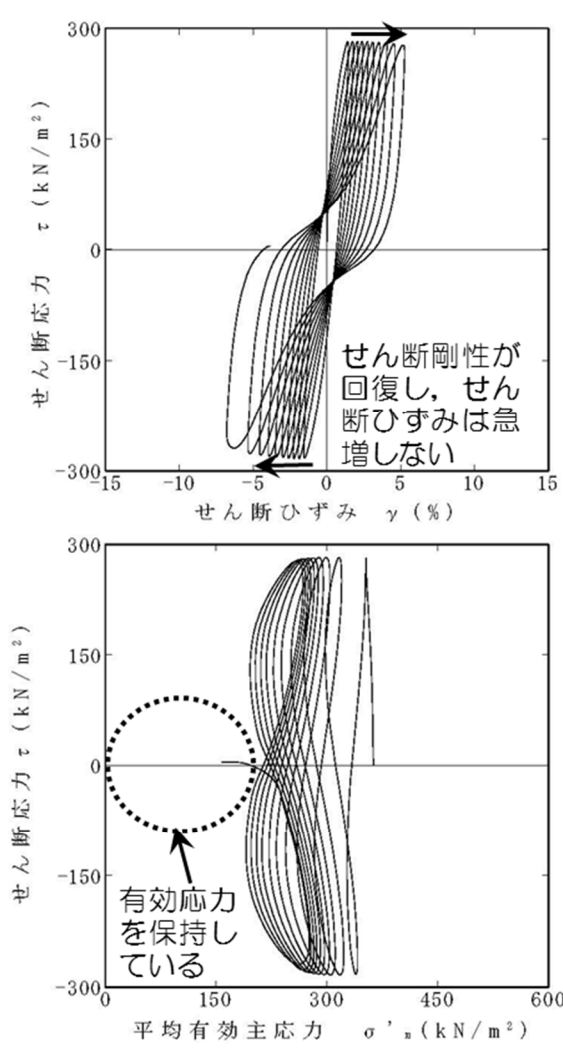
有効応力が回復する。

第 11-4-13 図 液状化試験結果の例 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

第 11-4-7 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

試料番号		#6-1-1				#6-1-2				#6-1-3				
深度 G.L.- (m)		27.68~28.16				<u>26.95~27.63</u>				26.88~27.48				
土質材料		洪積砂質土層 I				洪積砂質土層 I				洪積砂質土層 I				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	<u>3</u>	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.649				<u>2.677</u>				2.669				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		363				<u>363</u>				363				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.51	0.60	0.78	0.64	0.51	0.61	<u>0.78</u>	0.68	0.51	0.46	0.35	0.64	
繰返回数	せん断ひずみ 振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	8.5	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7	<u>0.5</u>	0.5	0.5	42	200>	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	18	5.5	0.7	0.9	6	1	<u>0.7</u>	0.7	0.7	200>	-	3.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	30	26	1.5	2	35	12	<u>1</u>	1	1	-	-	15
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	54	71	5	7	121	46	<u>7</u>	6	8.5	-	-	45
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	-	-	-	127	53	-	-	12	-	-	-
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比($\Delta u / \sigma'_c$)が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

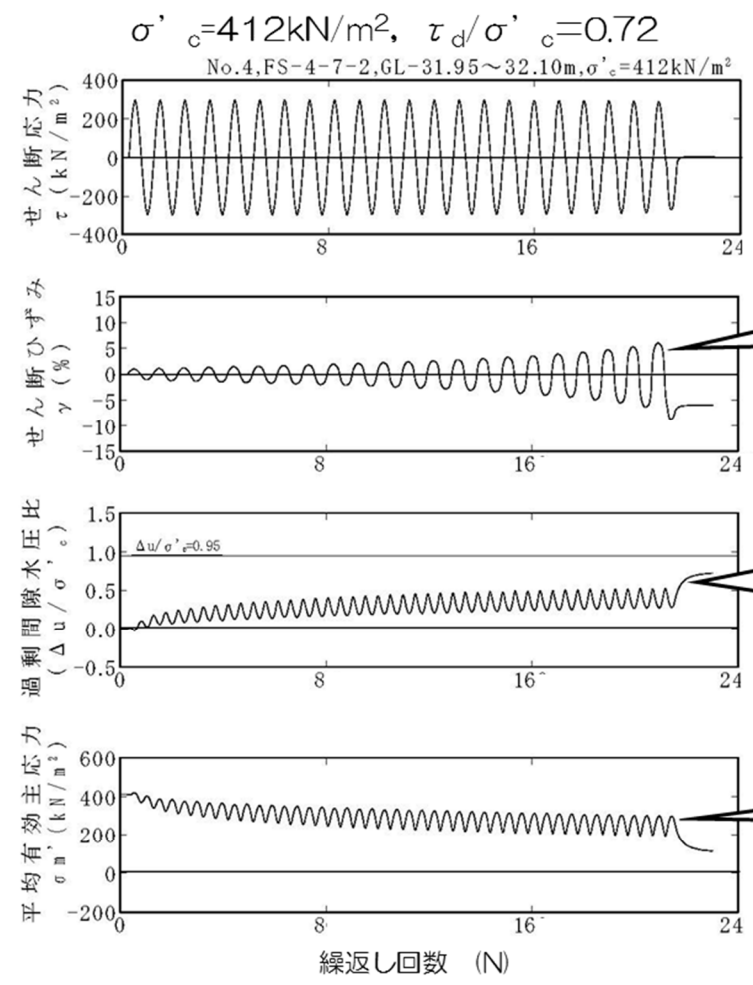
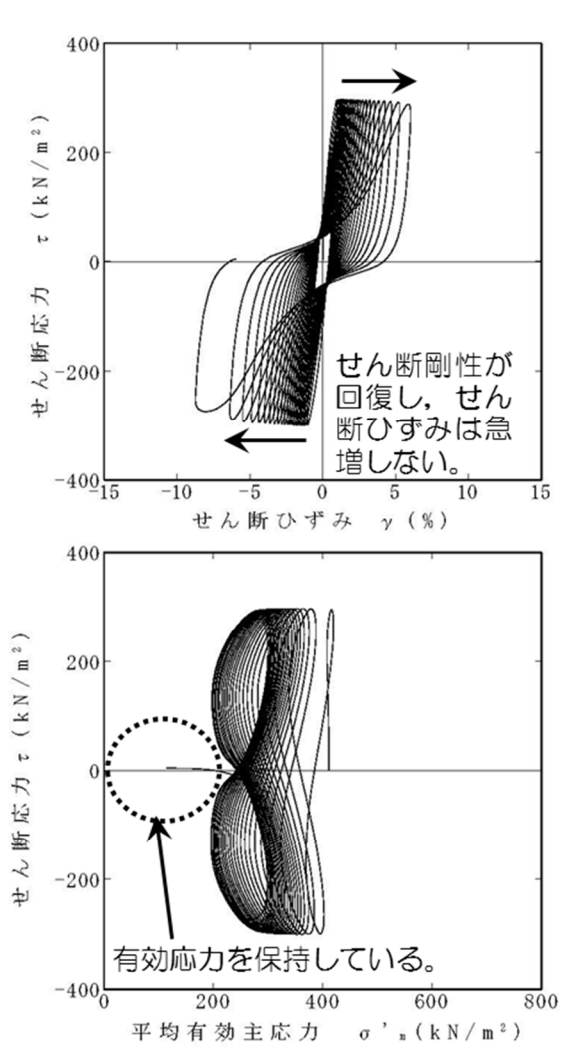
有効応力を保持している。

第 11-4-14 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

第 11-4-8 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ)

試料番号		#6-2-1				#6-2-2				#6-2-3				
深度 G.L.- (m)		31.65~34.75				32.10~32.95				32.95~33.55				
土質材料		洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				
供試体 No.		1	2	3	<u>4</u>	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.664				2.646				2.672				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		412				412				412				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.59	0.52	0.79	<u>0.72</u>	0.51	0.58	0.69	0.64	0.57	0.53	0.70	0.65	
繰返回数	せん断ひずみ 面振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	1.5	6.5	0.3	<u>0.7</u>	5.5	0.8	0.6	1	1	2	0.7	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	5	11	0.5	<u>1</u>	24	1.5	0.9	5.5	4	6	1	2
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	13	19	1	<u>5</u>	61	7	2.5	17	14	15	3.5	5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	36	38	2	<u>17</u>	111	25	8.5	38	37	34	9.5	16
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	-	-	-	116	30	-	-	43	43	11	-
	過剰間隙水圧比 95% N_{L95}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果







せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降を繰返し、0.95に達しない。

有効応力を保持している。

第 11-4-15 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)

A-1 (埋戻土層)	A-3 (新期砂層・沖積層)	A-1 (洪積砂層 I)	A-1 (洪積砂層 II)
			
供試体側面にしわが確認される。	供試体側面にしわが確認される。	供試体側面にしわが確認される。	供試体側面に大きな変状は認められない。
A-2 (洪積砂層 I)	A-2 (洪積砂層 II)	O-1 (洪積砂質土層 I)	O-1 (洪積砂質土層 II)
			
供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。	供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。	供試体側面に大きな変状は認められない。	供試体側面に大きな変状は認められない。

第 11-4-16 図 液状化試験後の供試体状況

第 11-4-9 表 液状化試験結果のまとめ

	A-1 埋戻 土層	A-3 新期砂層 ・沖積層	A-1 洪積砂層Ⅰ	A-1 洪積砂層Ⅱ	A-2 洪積砂層Ⅰ	A-2 洪積砂層Ⅱ	O-1 洪積砂質土 層Ⅰ	O-2 洪積砂質土 層Ⅱ
形成時期	-							
		沖積層	洪積層					
N値おおむね50以上	×	○	○	×	×	○	○	○
平均相対密度80%以上	×	○	○	○	○	○	○	○
液状化試験試料 採取深度 (GL m)	-3.5~ -5.5	-13.0~ -15.4	-8.0~ -11.0	-13.0~ -21.0	-13.2~ -14.1	-20.2~ -26.2	-26.9~ -28.2	-31.7~ -34.8
過剰間隙水圧比が 0.95※を上回らない。	×	×	×	×	○	○	○	○
過剰間隙水圧比が回復 する。	×	○	○	○	○	○	○	○
せん断破壊発生の有無	×	×	×	×	○	○	○	○
現象の整理	液状化	サイクリック モビリティ	サイクリックモ ビリティ	サイクリックモ ビリティ	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化

※JGS 0541-2000において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としていることによる。

第 11-4-10 表 液状化試験結果の分類

対象層	A-1 (埋戻土層)	A-1 (洪積砂層Ⅰ) A-1 (洪積砂層Ⅱ) A-3 (新期砂層・沖積層)	A-2 (洪積砂層Ⅰ) A-2 (洪積砂層Ⅱ) O-1 (洪積砂質土層Ⅰ) O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)
液状化試験の状況	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が1.0に近づく(0.95を上回る)。 有効応力がゼロになる。 ひずみが急激に上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づく(0.95を上回る)。 有効応力が減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。 有効応力を保持している。 ひずみが緩やかに上昇する。
試験結果の分類	試験結果は、液状化である。	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果は、サイクリックモビリティである。 有効応力が回復するため支持力が期待できる。 	試験結果は、非液状化である。
基準地震動Ssに対する液状化判定	基準地震動Ssに対する液状化判定(F _L 法)を実施	基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認	