

埼玉県南東部における沖積層地盤の動的変形特性に関する実験的研究

Experimental study of Dynamic Deformation Characteristics of alluvial clayey soils in the southeast of Saitama prefecture, central Japan.

竹村貴人^{1*}・小田匡寛²・濱本昌一郎²・川本 健²・赤間友哉²・田井秀迪²・木村克己³
Takato Takemura^{1*}, Masanobu Oda², Shoichiro Hamamoto², Ken Kawamoto²,
Tomoya Akama², Hidemichi Tai² and Katsumi Kimura³

Abstract: In order to clarify an effect of the depositional environment and the formation process of the Chuseki-so (Latest Pleistocene and Holocene deposits) on soil mechanical properties, we carried out experiments such as physical properties tests, consolidation test and cyclic triaxial test. As a result, the liquidity index of the marine clay, which is the delta deposit, is high, and the formation process of that clay may be different from quick clay in Northern Europe. The results of cyclic triaxial test indicate that the dynamic properties could depend on the depositional environment and the over-consolidation ratio. Therefore, the depositional environment and the formation process, such as salt leaching and consolidation history, are important to ever better understanding dynamic properties of the Chuseki-so.

キーワード: 沖積層, 堆積環境, 粘性土, 動的特性

Keywords: Chuseki-so, depositional environment, clay, dynamic properties

要旨

本研究では、沖積層の形成過程や堆積環境が土質特性へ与える影響を明らかにすることを目的とした実験を行なった。その結果、堆積環境が海成である試料ほど、液性指数が高く軟弱な粘性土であり、その形成過程は北欧で見られるようなクイッククレイとは異なるものである可能性が示された。粘性土におけるせん断剛性と減衰定数のせん断ひずみ依存性をはじめとする動的特性は、堆積環境と過圧密比の2つに依存している可能性を示唆する結果が得られた。従って、沖積層の動的特性をより詳細に理解するためには、堆積環境のみならず、圧密や地下水流動による塩分の溶脱などを取り入れた沖積層の形成過程（時間軸）を考慮に入れる必要があるといえる。

1. はじめに

本研究は、沿岸域の地質・活断層調査研究に不可欠

な研究手法の開発を目的として実施される、関東平野臨海部の浅層地盤を対象とする研究課題の一つである。本研究では、沖積層の堆積環境と地盤工学特性とに密接な関係があることを踏まえて、堆積環境の影響が地盤工学特性および動的特性にどのように発現されるか、そのメカニズムの解明に関わる研究を行った。

埼玉県南東部の現在の低地の地下浅部は、最終氷期に開析された谷を埋積する未固結で軟弱な堆積物である沖積層により構成されている。これらの低地は大宮台地の東は中川低地、西は荒川低地にあたり、沖積層の厚さは深いところで50mに及ぶ地域もあるとされている。1923年に発生した関東大震災では、埼玉県南東部においては、これらの沖積層地盤上の建造物に被害が多くみられ、沖積層と地震被害の間には高い相関があるとされている(武村・諸井, 2002)。

関東平野における沖積層の地下地質構造や堆積環境は、Endo et al. (1982) や遠藤ほか (1983) による沖積層基底の分布やその形成史に関する一連の研究に

* Correspondence

¹ 日本大学文理学部 (Nihon University, College of Humanities and Sciences)

² 埼玉大学大学院理工学研究科 (Saitama University, Graduate School of Science and Engineering)

³ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology Geoinformation)

加えて、木村ほか(2006)、田辺ほか(2008)の堆積相を中心とした研究から明らかにされつつある。また、各機関のボーリングデータの収集からそのデータベースも公開されており、データ整備が行われつつある。これらの沖積層の形成過程、堆積環境や空間分布に関する研究が、近年に急速に展開されているが、沖積層の土質特性に堆積環境やその形成過程に関する情報が系統的に反映されていないのが現状である。本研究では、沖積層の形成過程や堆積環境が土質特性へ与える影響を明らかにすることを目的とした実験を行なった。このうち、特に、地震動への影響に焦点をあてるため、堆積環境の動的特性への影響についての実験結果の報告を行う。

2. 試料

本研究では中川低地においては、埼玉県春日部市の正善小学校敷地内(GS-KBH-2)、荒川低地においては埼玉県戸田市の東町公園内(GS-TKT-2)の2箇所における不攪乱ボーリング試料を用いた。各試料の堆積環境は以下の通りである。

GS-KBH-2：本コアは2005年6月に掘削されたGS-KBH-1のボーリング孔から約1m離れた地点で不攪乱ボーリング試料として掘削されたものである。本ボーリングコア(GS-KBH-2)の堆積環境は、GS-KBH-1のボーリングコアで解釈されたものと同じであるとし、中西ほか(2011)により報告されているGS-KBH-1の堆積環境を参考とした。中西ほか(2011)によれば、GS-KBH-1のボーリングコアの堆積環境は、堆積相・化石相・放射性炭素年代の解析等から、次の8つのユニットに分けられる。深度49.9-48.3mはユニット1(浅海成中部更新統)、深度48.3-42.3mはユニット2(網状河川堆積物)、深度42.3-33.9mはユニット3(氾濫原堆積物)、深度33.9-27.4mはユニット4(干潟堆積物)、深度27.4-19.5mはユニット5(内湾堆積物)、深度19.5-8.2mはユニット6(浅海底堆積物)、深度8.2-6.3mはユニット7(塩水湿地堆積物)、深度6.3-1.9mはユニット8(氾濫原堆積物)そして、深度1.9m以浅は盛り土である。

GS-TKT-2：本コアは2007年11月に掘削されたGS-TKT-1のボーリング孔から約1m離れた地点で不攪乱ボーリング試料として掘削されたものである。本ボーリングコア(GS-TKT-2)の堆積環境は、GS-TKT-1のボーリングコアで解釈されたものと同じであるとし、小松原ほか(2009)により報告されているGS-TKT-1

の堆積環境を参考とした。小松原ほか(2009)によれば、GS-TKT-1のボーリングコアの堆積環境は堆積相・化石相の解析等から、大きく次の5つのユニットに分けられる。深度51.0-50.6mはユニット1(更新統下総層群)、深度50.6-37.8mはユニット2(礫質河川堆積物)、深度37.8-25.0mはユニット3(砂質河川～塩性湿地堆積物)、深度25.0-7.3mはユニット4(内湾～デルタフロント堆積物)、深度7.3-1.3mはユニット5(砂質河川堆積物)そして、1.3m以浅は盛り土である。

実験に用いた不攪乱ボーリング試料は、GS-KBH-2、GS-TKT-2共に不攪乱試料であり、試料の採取にはロータリー式試錐機を用いて行い、サンプラーは固定式シンウォールサンプラーを使用し、試料の採取や運搬による乱れは極力避けるようにした。ボーリングにより採取された不攪乱試料は、所定の深度から実験用の供試体として12cm切り取った後、ラップで包み、空気などの影響を受けないようにパラフィンでコーティングし、3℃の冷蔵庫で実験に供するまで保管した。

3. 実験方法

3.1 物理・化学特性および圧密特性

基本的な物理・化学特性を得るため、以下の試験を行った。

土の含水比試験：JIS A 1203の規格に従い含水比試験を行った(地盤工学会編, 2004)。試料は供試体作成時、トリミングによって切り取られたものを用いた。また、冷蔵保存された試料であるため表面に水滴が付き、含水比を正確に測定できなくなる可能性があるため、表面の土の使用は避けた。

液性・塑性限界試験：JIS A 1205の規格に従い液性・塑性限界試験を行った(地盤工学会編, 2004)。液性限界、塑性限界は土粒子の粒径が小さくなるほど、また、その量が多くなるほど大きな値を示す。また、交換性陽イオン、有機物量、粘土鉱物の種類にも関係する。

土粒子の密度試験：JIS A 1202の規格に従い土粒子の密度試験を行った(地盤工学会編, 2004)。試料は供試体作成時、トリミングによって切り取られたものを用いた。無機質土の土粒子密度は一般に2.60～2.75g/cm³の値を示す。土を構成する鉱物のほとんどが2.7g/cm³付近の密度を示すため、有機物の含有量が多くなるほど土粒子密度は小さくなる。トリミングした供試体の質量と体積から湿潤密度 ρ_t を求め、こ

れと含水比 w_n , 土粒子密度 ρ_s から, 土の性質を表す基本的な指標である間隙比 e , 飽和度 S_r を以下の式により求めることができる。

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_t} \left(1 + \frac{w}{100} \right) - 1 \quad (1)$$

$$S_r = \frac{1}{e} \frac{w}{100} \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (\%) \quad (2)$$

土の粒度試験: JIS A 1204 の規格に従い, 粒度試験を行った (地盤工学会編, 2004)。土を構成する土粒子の粒径分布状態を粒度といい, 土粒子の分布状態を粒径とその粒径より小さい土粒子の質量百分率の関係を示した粒径加積曲線で表される。

土の強熱減量試験: JIS A 1226 の規格に従い, 土の強熱減量試験を行った (地盤工学会編, 2004)。強熱減量とは, 700~800 度で炉乾燥試料土を強熱した時の減少質量を強熱前の質量に対する百分率で表したものである。泥炭のような土の強熱減量はほぼ有機物量と等しいため, 有機物含有量を簡便に判定できる。

土懸濁液の pH・電気伝導率試験: JGS 0211 と JGS 0212 の規格に従い, 土懸濁液の pH・電気伝導率試験を行った (地盤工学会編, 2004)。

ゼータ電位: ζ 電位計 (Model 502, 日本ルフト (株) 製) を用いて顕微鏡電気泳動法で電気泳動度の測定を行い, Smoluchowski の式を用いて算出した (例えば古澤, 2004)。

X 線回折分析: JGS0251-200 の規格に従い, 試料を作成し (地盤工学会編, 2004), 地盤工学会 (1989) による方法により分析を行った。実験装置は Rigaku 製 RINT 2100S であり, 管電圧/電流の測定条件は 50kV/250mA である。

土の圧密試験: JIS A 1217 の規格に従い, 土の圧密試験を行った (地盤工学会編, 2004)。直径 6cm, 高さ 2cm の供試体を用いて, 一次元圧密条件下で圧密応力 p を段階的に 1,280kPa まで載荷した。圧密試験は各深度の不攪乱試料を用いて行なった。圧密応力の各段階での変位量から求めた間隙比 e と圧密応力 p の関係 (e -log p 曲線) から沈下量や沈下時間の推定に必要な圧縮指数 C_c , 圧密係数 C_v および圧密降伏応力 P_C を求めた。ここで, 圧密係数 C_v は, 変位量と時間の関係から \sqrt{t} 法により求め, 圧密降伏応力 P_C は, e -log p 曲線より三笠法により求めた。また, 有効土被り圧と実験で得られた圧密降伏応力 P_C の比から過圧密比 OCR を求めた。

3.2 繰り返し非排水三軸試験方法

JGS 0541-2000 の規格に従い土の繰り返し非排水三軸試験を行った (地盤工学会編, 2004)。本研究では等方圧密後に繰り返し荷重を制御して行った荷重制御試験と, K_0 圧密後に軸変位を制御して行った変位制御試験の 2 種類の試験を行った。実験に用いた供試体は所定の深度のコア試料の中心部から直径 50mm 高さ 100mm の円柱状に切り出したものを用いた。それぞれの実験の手順は以下のとおりである。

荷重制御試験: 本実験では, 三軸試験機 (株式会社誠研舎) により軸荷重を油圧サーボコントローラーで制御することで繰り返し応力を発生させた。実験は実験試料の採取深度の有効応力状態を等方状態で再現した等方圧密を行った後, 試料内を非排水条件にし, 繰り返し応力を載荷するという手順で行った。ここで, 載荷した繰り返しせん断応力比 τ_d/σ'_z は以下の式で算定した (足立, 2002)。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d \quad (3)$$

τ_d : せん断応力

α_{max} : 最大加速度

g : 重力加速度

σ_z : 鉛直全応力

σ'_z : 鉛直有効応力

$r_n = 0.1(M - 1)$

$r_d = 1 - 0.015z$

ここで, M は想定マグニチュード, z は深度 (m) である。本研究では, 想定マグニチュードは関東地震 (1923 年) の $M=7.9$ とし, 最大加速度 α_{max} は建築基礎構造設計指針 (日本建築学会, 2001) に記されている終局限界検討用の水平加速度 350cm/s^2 を用いた。繰り返し回数は春日部コア試料が 100 回, 戸田コア試料が 25 回とし, 実験中に変位, 荷重, 間隙水圧に関するデータを取得した。繰り返し回数は, 制御の精度を維持するため, 途中で試験を中止したものがあつた。設定回数に満たない実験もある。実験から得られる結果から, せん断応力 τ , せん断ひずみ γ を以下の式で求めた。

$$\tau = \frac{1}{2} \Delta \sigma \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{3}{2} \varepsilon_a \quad (5)$$

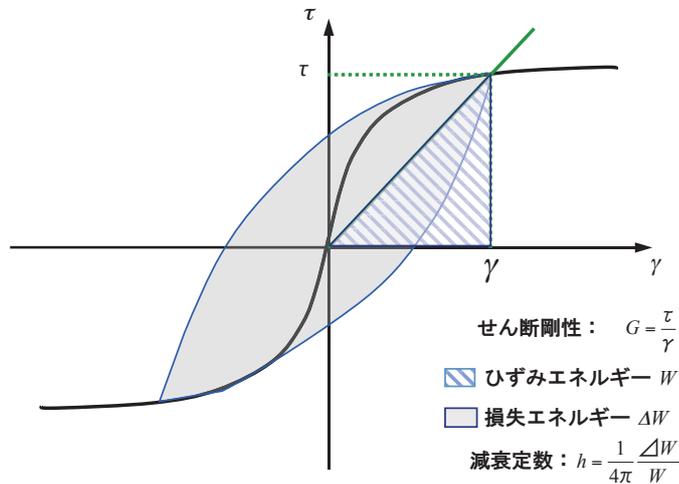
ここで、 $\Delta\sigma$ は偏差応力、 ϵ_a は軸ひずみである。また、せん断ひずみは非排水の条件（体積ひずみ $\epsilon_v=0$ ）を考慮して求めた。せん断応力とせん断ひずみを用いて、繰り返し回数ごとにせん断応力-せん断ひずみ曲線を描き、原点と最大ひずみ点を結ぶ傾きで得られるせん断剛性 G と以下の式で定義される減衰定数 h を求めた。

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (6)$$

$$h = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (7)$$

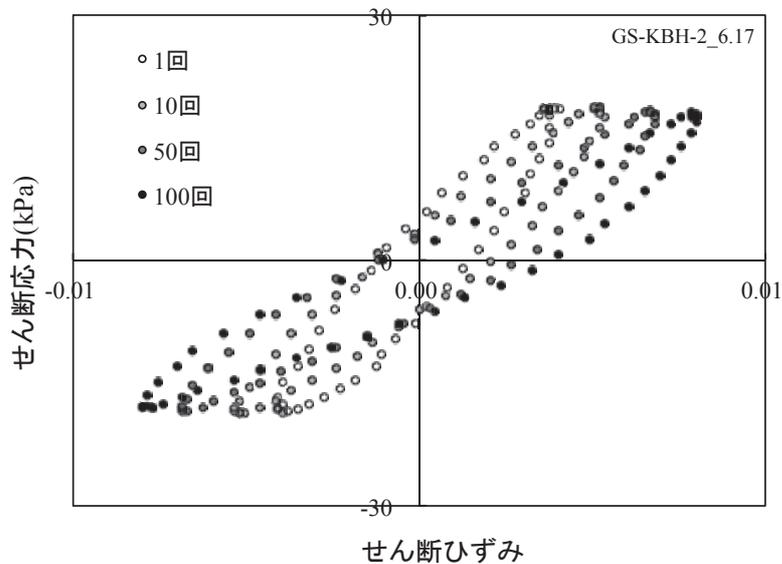
ここで、 ΔW は損失エネルギー、 W はひずみエネルギー

ギーである。Fig. 1 にせん断応力-せん断ひずみ曲線（ τ - γ 曲線）からせん断剛性と損失係数を求めるためのモデル図を示した。図中の灰色部が損失エネルギーであり、斜線部がひずみエネルギーに相当する。Fig. 2 には、実験から得られる実データの一例として春日部コア試料（GS-KBH-2）の中心部も深度が 6.17m に位置する試料のせん断応力-せん断ひずみ曲線である。曲線は繰り返し回数 1 回、10 回、50 回、100 回の代表的な 4 種類を示した。また、Fig. 3 には同試料の実験中に計測された、繰り返し応力、軸ひずみ、過剰間隙水圧比の繰り返し回数の変化である。ここで、過剰間隙水圧比は初期の有効鉛直応力 σ'_{z0} と発生した間隙水圧 u の比であり、 u/σ'_{z0} で表される。



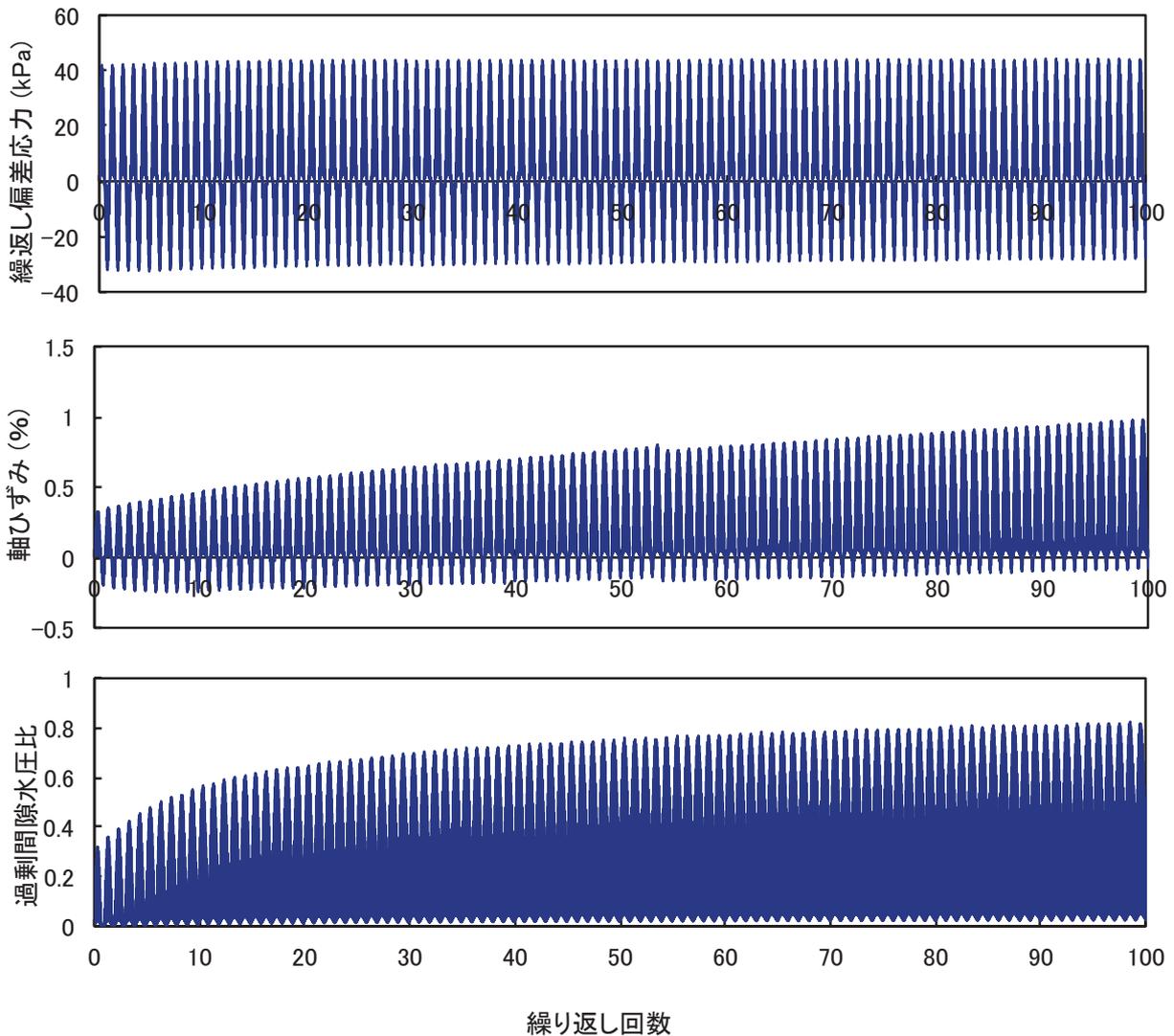
第 1 図 土の動的試験から得られる τ - γ 曲線。

Fig.1 Observed and idealized dynamic behavior of soil. The dynamic shear modulus and damping coefficient were calculated by τ - γ curve.



第 2 図 動的試験から得られる τ - γ 曲線の一例（GS-KBH-2_6.17m）

Fig.2 Typical τ - γ curve of dynamic behavior test (GS-KBH-2_6.17m).



第3図 動的試験から得られる繰返し偏差応力，軸ひずみ，過剰間隙水圧比の一例（GS-KBH-2_6.17m）

Fig.3 Differential stress, axial strain and excess porewater pressure ratio versus number of loading cycles for typical results of dynamic behavior test (GS-KBH-2_6.17m).

変位制御試験：本実験では，三軸試験機（株式会社誠研舎製）により軸変位を空圧サーボコントローラーで制御することで繰返し試験を行った。実験は，実験試料の採取深度の有効応力状態を K_0 圧密で再現した K_0 圧密試験を行った後，試料内を非排水条件にし，繰返し試験を行うという手順で行った。ここで， K_0 圧密試験は，側方方向のひずみを LDT（局所変位計：Local Deformation Transducer）により拘束制御することにより行った。繰返し試験は軸荷重を変位で制御することにより载荷した。各繰返し载荷で，変位は，片振幅で 0.001, 0.002, 0.004, 0.008, 0.016, 0.032, 0.064, 0.128, 0.256, 0.512, 1.024, 2.048mm と漸増させた。各繰返し試験の終了後，過剰間隙水圧を解放させ，試験を継続

することで各段階の繰返し試験中の変位，荷重，間隙水圧に関するデータの取得を行った。ここで，軸ひずみ ε_a は LDT の変位から計算し，せん断ひずみは，(5) 式から計算した。また，せん断剛性と減衰定数は，荷重制御試験の時と同様にせん断応力－せん断ひずみ曲線から求めた。本実験は，変位を制御した繰返し試験であるため，得られた結果はせん断ひずみにより整理することができ，せん断剛性および減衰定数のせん断ひずみ依存性を得ることができる。

4. 結果

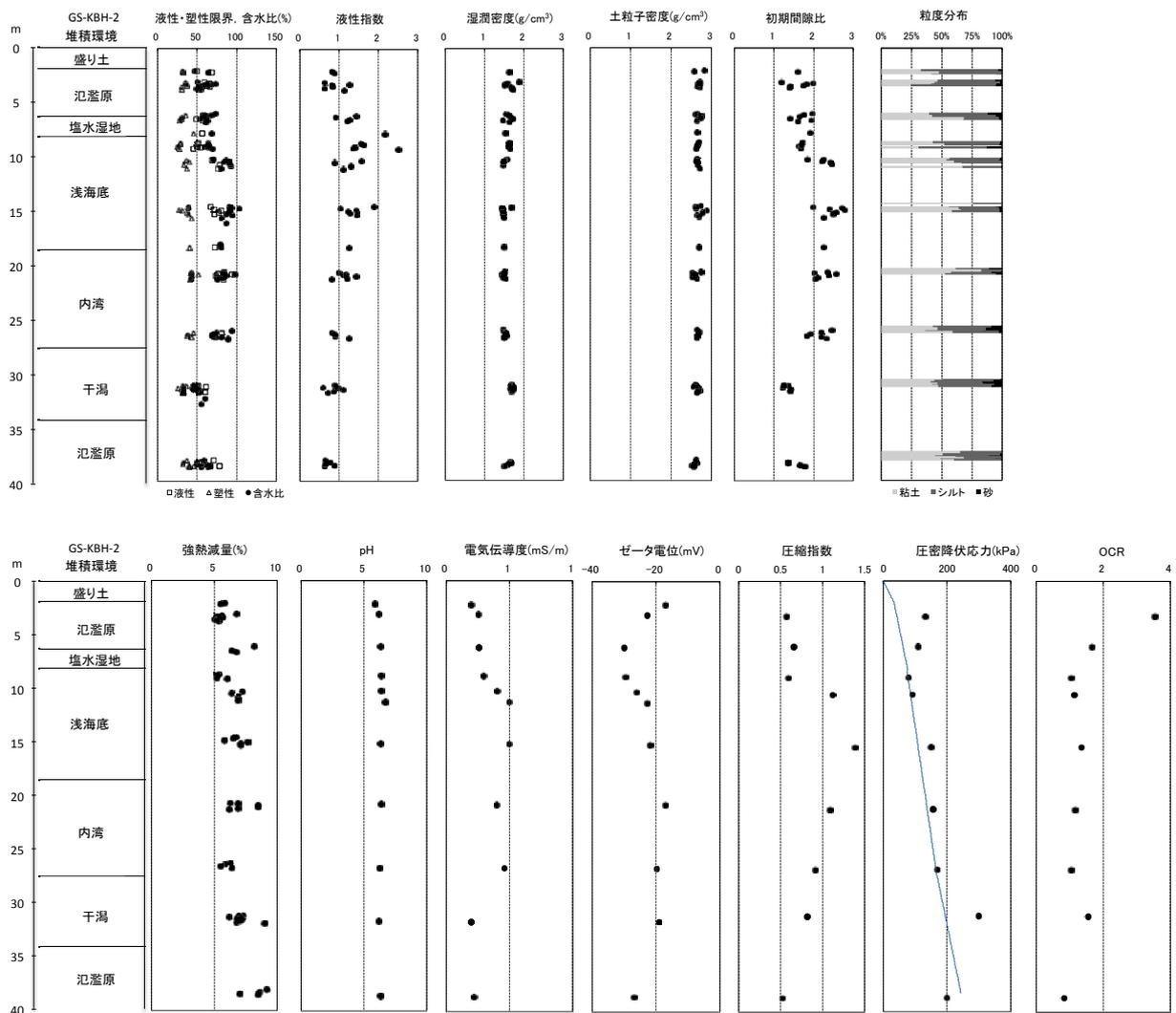
4.1 物理・化学特性および圧密特性

春日部，戸田のコア試料の物理・化学特性の結果を Fig. 4, 5 に示す。図中の堆積環境は小松原ほか

(2009), 中西ほか (2011) により報告された堆積環境である。

2 地点での堆積環境については内湾の海成環境について名称や区分の仕方が違うので名称と堆積環境の内容を統一するために、以下比較する。内湾の海成環境について、戸田コア試料では、深度 25.0m ~7.3m が内湾の海成環境の層準に相当し、内湾底 ~デルタフロントと記載されている (小松原ほか, 2009)。このうち、デルタフロントは、内湾底のなかで、最上部の上方へ粗粒化する、すなわち粘性土が卓越する岩相から次第に砂質な岩相に変化する層準 (深度 15.9~7.3m) とされている。一方、春日部コア試料では、深度 27.4~8.2m が内湾の海成環境の層準に相当し、深度 27.4~19.5m の上方へ深海化する内湾泥底環境、深度 19.5~8.2m の上方へ浅海化する浅海底環境に区分され、このうち深度 10.0~8.2m におい

て上方に粗粒化している (中西ほか, 2011)。戸田コア試料と春日部コア試料の堆積環境の対応では、産出する貝化石、粒度・堆積相、¹⁴C 年代の堆積曲線から判断すると、春日部コア試料の海成環境にあたる深度 27.4~8.2m の全区間が戸田コア試料の内湾底環境に対比され、戸田コア試料に認められる上方粗粒化を示す層準は、春日部コア試料では最上部の深度 10~8.2m に限られる。したがって、両コアで堆積環境の表記を統一させるため、戸田コア試料 (GS-TKT-2 コア) を基準とすると、海成環境を浅海底~内湾環境とし、そのうち、最上部に認められる上方粗粒化を示す層準を特にデルタフロントと呼称することにする。その結果、戸田コア試料では、深度 25.0m~15.9m は内湾底環境、深度 15.9~7.3m はデルタフロント、春日部コア試料では、深度 27.4~10.0m は内湾底環境、深度 10.0~8.2m はデルタフロントとなる。



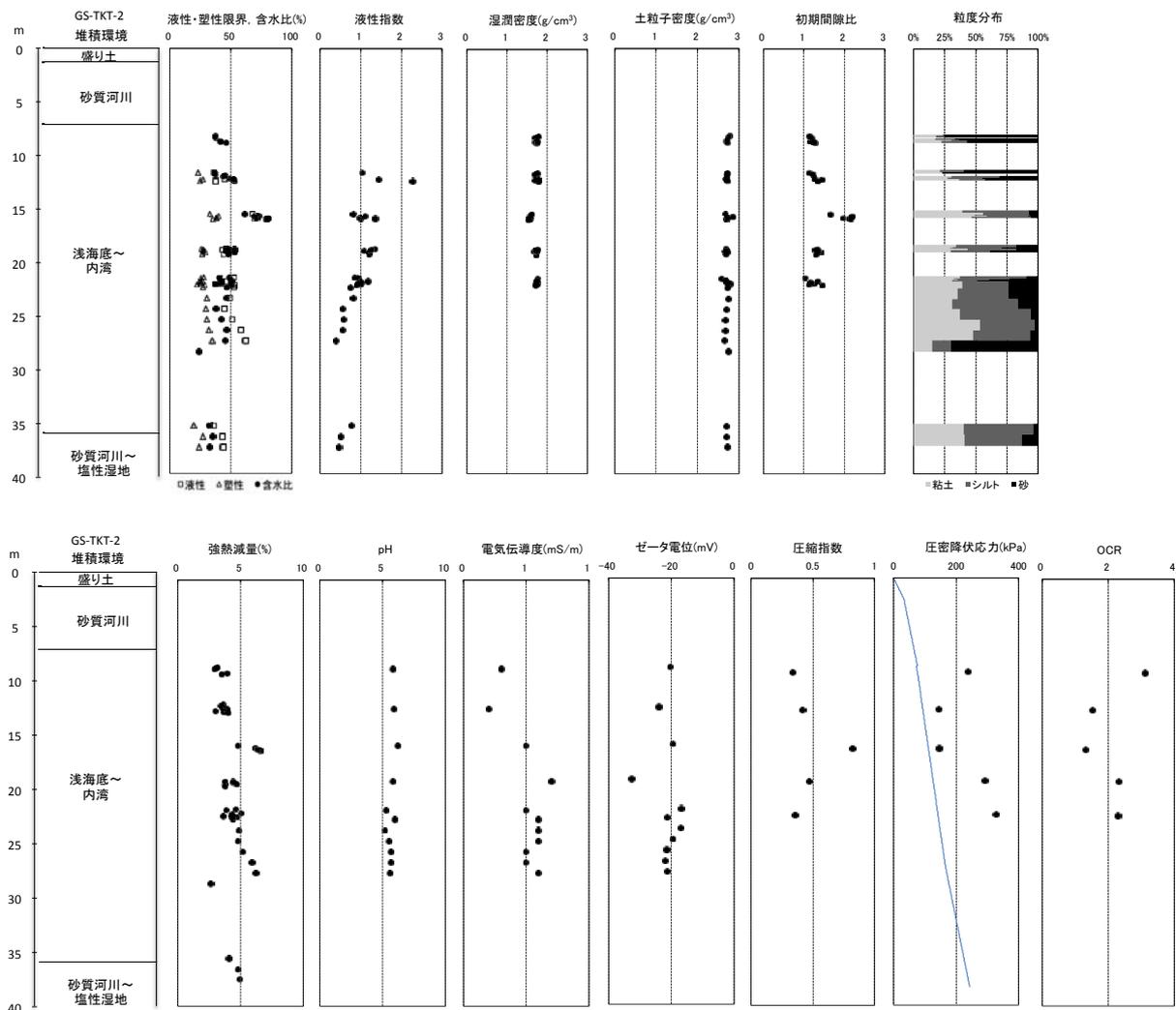
第 4 図 春日部コア試料 GS-KBH-2 の物理・化学特性と圧密特性。

Fig.4 Physical, chemical and consolidation properties of Kasukabe sample (GS-KBH-2).

海成環境で堆積した内湾底およびデルタフロントの堆積物は間隙比、自然含水比、液性指数、圧縮指数を見ると淡水成環境である河川で堆積された層より高い値になっており比較的軟弱な層であるといえる。春日部コア試料では、自然含水比は内湾底およびデルタフロントの泥底堆積物で液性限界を超えており（液性指数が1以上）、繰り返しただけで液状になる非常に軟弱な性質を示す。海成環境であるがゆえに塩分が多く、pHと電気伝導度が高い。内山ほか（2011）によれば、堆積物試料の懸濁水のpHとECは堆積環境によって変化し、海成環境の試料ではpH8-10と弱アルカリ性でECが高いのに対して、淡水成環境の試料では、pH7前後と中性でECが低いことが明らかにされている。本研究で測定したpHは層準によらずにpH6前後を示すが、これは測定した堆積物試料の酸化状態が影響（内山ほか、2011）したものと考えられる。液

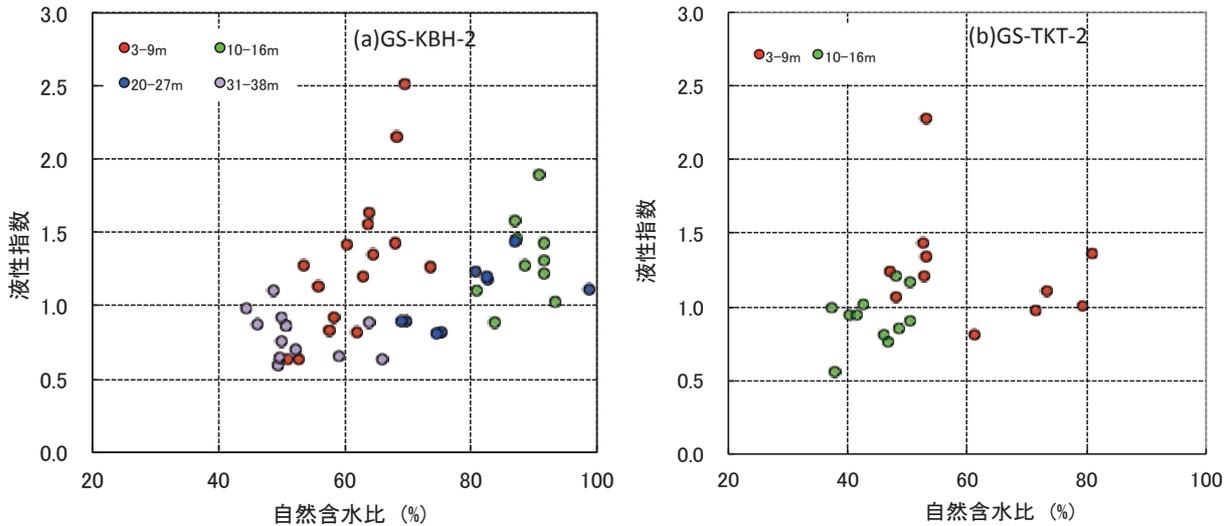
性指数の高い粘性土は鋭敏性が高く、振動などの外力で液体状になる性質を持っている。このような粘性土として北欧のクイッククレイが有名であり、その形成過程は海成環境で堆積した粘性土が隆起により陸上に現れ、雨などの影響で塩類が溶脱されることによるとされている（例えば足立、2002）。しかしながら、本地域での海成環境で堆積された液性指数の高い粘性土は、淡水成環境と比べ高い電気伝導度であることより溶脱は北欧のクイッククレイほどは進んでいないと考えられる。従って、本地域の液性限界の高い粘性土は北欧のクイッククレイとは異なる形成過程によるものと考えられる。

Fig. 6に塑性図と活性度を示す。塑性図と土質特性の圧縮指数の項目からも分かるように、海成もしくは汽水成環境で堆積された試料は淡水成環境で堆積された試料に比べて圧縮性と塑性が大きい傾向にある。ま



第5図 戸田コア試料GS-TKT-2の物理・化学特性と圧密特性.

Fig.5 Physical, chemical and consolidation properties of Toda sample (GS-TKT-2).



第 6 図 液性指数と自然含水比の関係。(a) GS-KBH-2, (b) GS-TKT-2.

Fig.6 Relationship between liquidity index and natural water content: (a) GS-KBH-2, (b) GS-TKT-2.

た、ばらつきこそあるものの、いずれも普通粘土～非活性粘土であることが分かる。春日部コア試料と戸田コア試料のデルタフロントに相当する層準の試料の X 線回折分析の結果、いずれの試料にも活性度が低く膨潤性の低いイライトやカオリナイトが含まれていることを確認した。

4.2 繰り返し载荷試験

Fig. 7, 8 に応力制御試験による繰り返し試験の結果から得られた、せん断剛性、過剰間隙水圧比と繰り返し回数との関係とせん断剛性と有効応力の関係を示した。春日部コア試料と戸田コア試料を比べると、せん断剛性と過剰間隙水圧比ともに戸田コア試料の方が低い値を示している。これは、春日部コア試料に対して、戸田コア試料の方が砂分含有率が高いため、繰り返し载荷中に発生する過剰間隙水圧が大きくなることの原因であると考えられる。このことは、戸田コア試料の方が少ない繰り返し回数でせん断剛性の減少が収束することからも示唆される。

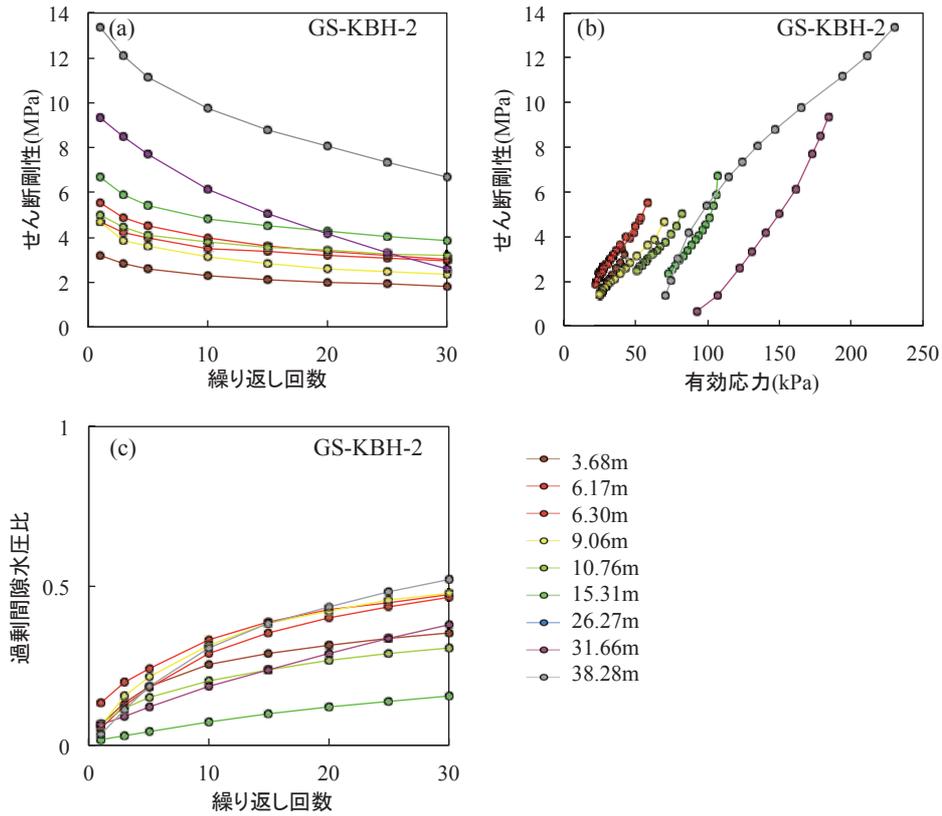
Fig. 9, 10 に繰り返し载荷中のせん断剛性および減衰定数とせん断ひずみの関係を示した。LDT (局所変位計) を用いてせん断ひずみを求めているが、せん断剛性比と減衰定数ともにせん断ひずみが 10^{-4} 以下でデータのばらつきが顕著である理由は、LDT の精度を超えているためである。また、ひずみレベルが大きくなると繰り返し荷重の制御精度が低下することで、実験精度が落ちていると考えられる。従って、本実験で精度の高いデータが保障されているせん断ひず

み区間は 10^{-4} から約 2×10^{-1} までの間であると言える。せん断剛性と減衰定数のひずみ依存性は液性限界や粒度の影響を受けることが知られており、本研究での実験結果からも液性限界と粒度、特に砂分、の影響を受けていることが分かる。春日部コア試料では砂分の影響はあまりなく、液性限界の影響を強く受けており、Fig. 10 (a) 中の曲線の右側から順に液性指数が高いものとなっている。また、戸田コア試料における 19m と 21m の試料は過圧密比 OCR が 2 を超えており、OCR が動的特性になんらかの影響を与えている可能性が示唆される。

せん断剛性と減衰定数のひずみ依存性の違いを堆積環境で違いをみると、海成環境で堆積された試料ほど右、汽水環境で堆積したデルタフロントや砂質干潟・砂州が中間、デルタプレーンや蛇行・網状河川などの淡水成環境で堆積された層のものほど左へ寄る傾向であることが分かる。堆積環境の違いは、液性指数を始めとする物理・化学特性に影響を与えた結果として、繰り返し試験から得られる動的特性にも影響を与えていると考えられる。

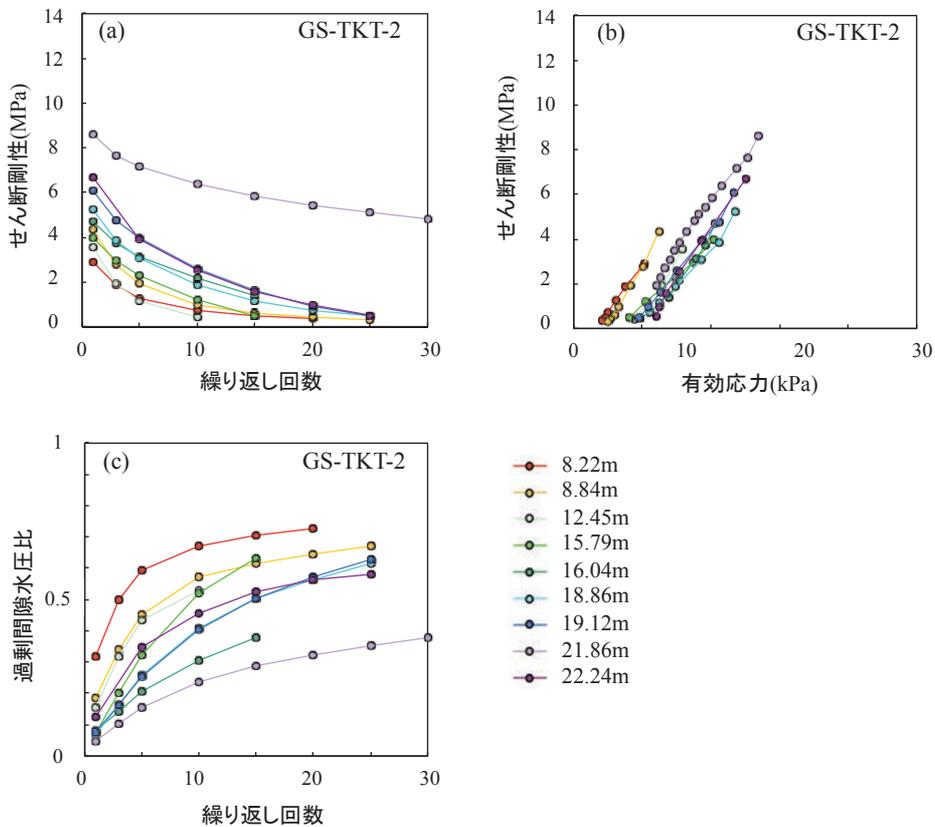
5. まとめ

本研究では、沖積層の形成過程や堆積環境が土質特性へ与える影響への依存性を明らかにすることを目的として、物理・化学特性の測定、圧密試験そして動的試験として制御方法の異なる 2 種類の繰り返し試験を行なった。その結果、堆積環境が海成である試料ほど、液性指数が高く軟弱な粘性土であり、その形成過程は



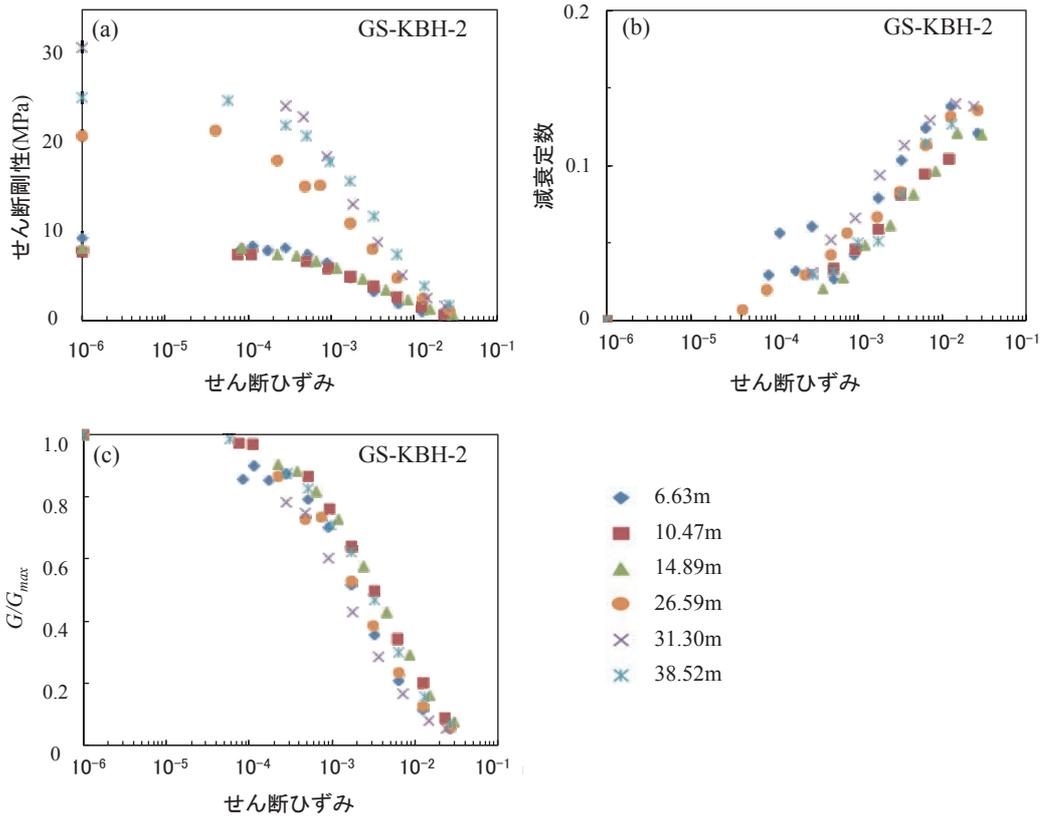
第7図 (a)せん断剛性-繰り返し回数曲線, (b)せん断剛性-有効応力曲線, (c)せん断剛性-繰り返し回数曲線(GS-KBH-2).

Fig.7 (a) Shear modulus - number of loading cycles curve, (b) Shear modulus - effective stress curve and (c) excess porewater pressure ratio - number of loading cycles curve (GS-KBH-2).



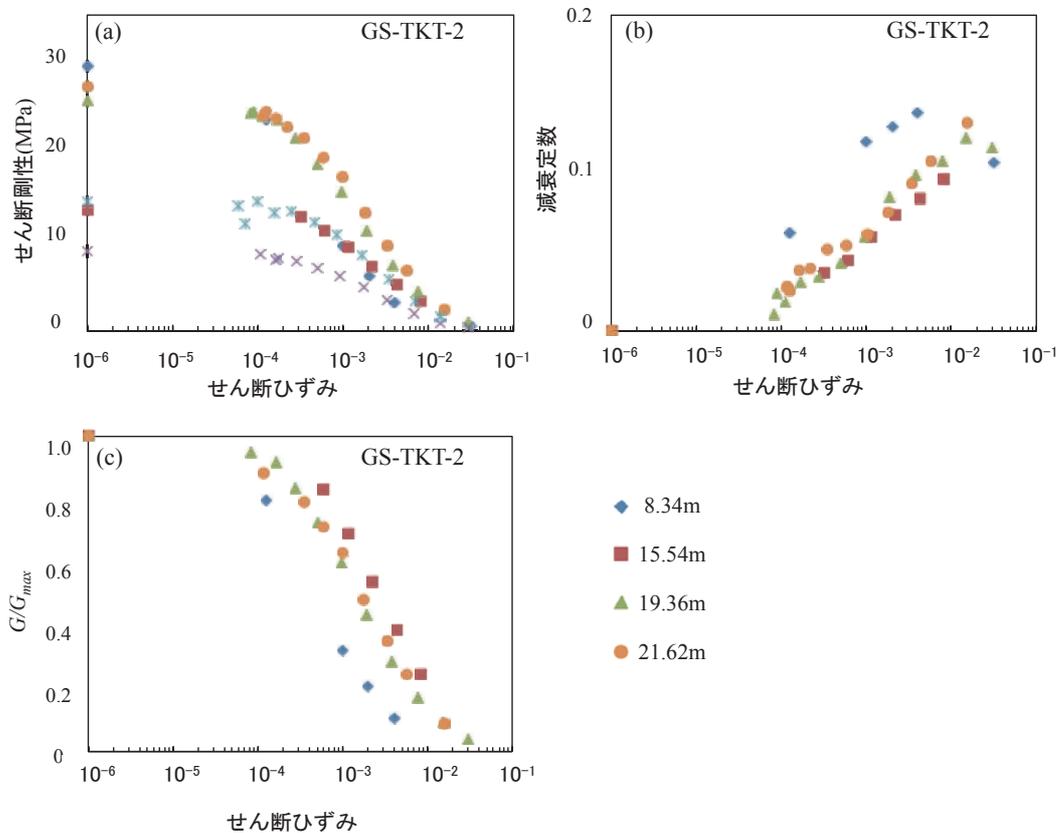
第8図 (a)せん断剛性-繰り返し回数曲線, (b)せん断剛性-有効応力曲線, (c)せん断剛性-繰り返し回数曲線(GS-TKT-2).

Fig.8 (a) Shear modulus - number of loading cycles curve, (b) Shear modulus - effective stress curve and (c) excess porewater pressure ratio - number of loading cycles curve (GS-TKT-2).



第 9 図 せん断剛性 (a), 減衰定数 (b) とせん断剛性比 G/G_{max} (c) のせん断ひずみ依存性図 (GS-KBH-2).

Fig.9 Shear modulus (a), damping coefficient (b) and normalized shear modulus G/G_{max} (c) as function of the shear strain for GS-KBH-2.



第 10 図 せん断剛性 (a), 減衰定数 (b) とせん断剛性比 G/G_{max} (c) のせん断ひずみ依存性図 (GS-TKT-2).

Fig.10 Shear modulus (a), damping coefficient (b) and normalized shear modulus G/G_{max} (c) as function of the shear strain for GS-TKT-2.

北欧で見られるようなクイッククレイとは異なるものである可能性が示された。また、せん断剛性と減衰定数のせん断ひずみ依存性が液性指数の影響を強く受けていることを考えると、堆積環境の違いは、液性指数を始めとした物理・化学特性に影響を与えた結果として、動的特性にも影響を与えていると考えられる。しかしながら、戸田コア試料の結果は、本研究でいう堆積環境とは関係の薄い過圧密比 OCR も動的特性に影響を与えている可能性を示唆している。OCR は、本研究でいう堆積環境との関連性より、むしろ堆積後の環境や沖積層の形成過程との関連性の方が高いと考えられる。粘性土におけるせん断剛性と減衰定数のせん断ひずみ依存性をはじめとする動的特性を議論する上では、堆積環境と OCR の 2 つを考慮して評価する必要があると考えられる。従って、沖積層の動的特性をより詳細に理解するためには、堆積環境のみならず、圧密や地下水流動による塩分の溶脱などを取り入れた沖積層の形成過程（時間軸）を考慮にいれた実験を行い、力学のフレームワークで地質情報を取り扱っていくべきであろう。

文献

- 足立格一郎 (2002) 土質力学 (テキストシリーズ土木工学). 共立出版, 282p.
- Bjerrum, L. (1967) Engineering geology of Norwegian normally- consolidated marine clays as related to settlements of buildings, seventh rankine lecture. *Geotechnique*, 17, 81-118.
- Endo, K., Sekimoto, K. and Takano, T. (1982): Holocene stratigraphy and paleoenvironments in the Kanto Plain, in relation to the Jomon transgression. *Proceedings of the Institute of Natural Sciences, Nihon University, Earth Sciences*, 17, 1-16.
- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘 (1983) : 関東平野の沖積層. *アーバンクボタ*, 21, 26-43.
- 古澤邦夫 (2004) ζ 電位の測定. *ぶんせき*, 2004.5, 247-254.
- 地盤工学会編 (1989) 岩の調査と試験. 丸善, 540p.
- 地盤工学会編 (2004) 土質試験の方法と解説 (第 1 回改訂版訂正版), 902p.
- 木村克己・石原与一郎・宮地良典・中島 礼・中西利典・中山俊雄・八戸昭一 (2006) 東京低地から中川低地に分布する沖積層のシーケンス層序と層序の再検討. *地質学論集*, 59, 1-18.
- 小松原純子・中島 礼・木村克己 (2009) 沖積層ボーリングコア GS-TKT-1 (埼玉県戸田市) の堆積相と堆積物物性. *堆積学研究*, 68, 13-25.
- 中西利典・田辺 晋・木村克己・中島 礼・内山美恵子・柴田康行 (2011) 埼玉県春日部市東備後地区に分布する沖積層の堆積相, 珪藻化石群集, 物性, 放射性炭素年代値. *地質調査研究報告*, 62, 47-84.
- 日本建築学会 (2001) 建築基礎構造設計指針. 日本建築学会, 485p.
- 武村雅之・諸井孝文 (2002) 地質調査所データに基づく 1923 年関東地震の詳細震度分布その 2. 埼玉県. *日本地震工学会論文集*, 2, 55-73.
- 田辺 晋・中西利典・木村克己・八戸昭一・中山俊雄 (2008) 東京低地北部から中川低地にかけての沖積層の基盤地形. *地質調査研究報告*, 59, 497-508.
- 内山美恵子・原未来也・竹内美緒・木村克己 (2011) 東京低地と中川低地の沖積層堆積物で作成した懸濁液の水素イオン濃度指数及び電気伝導度. *地質調査研究報告*, 62, 85-104.