

東京・埼玉県南部における沖積層の土質特性 : 春日部・戸田・亀戸・若洲コア試料の動的特性と鋭敏性の 堆積時環境について

Soil mechanical properties of Holocene clay in the lowland of Tokyo
and southern Saitama, Kanto plain
: Relationship between sedimentary depositional environment
and shear modulus of Kasukabe, Toda, Kameido and Wakasu core sample.

竹村貴人¹・濱本昌一郎²・小田匡寛²・川本 健²・木村克己³
Takato Takemura¹, Shoichiro Hamamoto², Masanobu Oda², Ken Kawamoto² and
Katsumi Kimura³

¹ 日本大学文理学部地球システム科学科 (Department of Geosystem sciences, Nihon University)

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

³ 地質情報研究部門 (AIST Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

Abstract: The effects of earthquakes in the Kanto district are strongly related to the three-dimensional distribution of the soil mechanical properties of the Chuseki-so, which is the name given to incised-valley fills from the Late Pleistocene to the Holocene. To characterize the effect of the sedimentary depositional environment and sedimentary process of the Chuseki-so on the soil mechanical properties, PS logging test, physical-chemical test, consolidation test, cyclic tri-axial test, and bender element test have been conducted on an undisturbed core sample. In this study, we report the test results, and it is able to summarize as follows: 1) The delta front and inner bay deposits of the Kasukabe core in the Nakagawa Lowland comprise very soft clay and have a high water content and liquidity index; It is related to the sedimentary depositional environment such as the rate of sediment supply, 2) The delta front and inner bay deposits has low shear modulus because of high natural water content and high liquidity index, 3) Reduction of shear modulus and shear modulus ratio are affected by sand content, confining pressure and plasticity index.

Keywords: chuseki-so, soft clay, sedimentary depositional environment

1. はじめに

関東平野は過去に多大な地震被害を被っており、例えば、1923年に発生した関東大震災では、東京低地や埼玉県南東部の低地において沖積層の上にある建造物に多くの被害がみられた(武村・諸井, 2002)。2011年3月に発生した東日本大震災でも、東京湾岸地域や埼玉県内の沖積層などの低地で液状化被害が確認されており(例えば、桑野・橘(2011))、沖積層と地震被害の間には高い相関があると考えられている。また、東日本大震災での東京区部と埼玉県南部の観測点で得られた計測震度(気象庁, 2011)と沖積層の分布(産業技術総合研究所地質調査総合センター(編), 2012)を見ると明瞭ではないものの台地部と比較して沖積層からなる地域の震度が高くなっていると言える(第1図)。特に、中川低地にある春日部地区に関しては、

東京区部と埼玉県南部の地域で最も高い震度となっており、ゆれ易い地域であると言える。同様に、埼玉県南部の中川低地では関東大震災においても家屋の倒壊率から求めた震度も他に比べて高い地域であったことから、他の沖積低地とは異なる何らかの理由があるものと考えられる。その一つとして、埼玉県南部の中川低地において10 m以上の層厚をもつ高い鋭敏比を持つ軟弱な粘性土層が地震被害を増幅した可能性があげられる。竹村ほか(2013)は、特に春日部地区での粘性土は他地域と比べて超鋭敏な性質を持つ事を報告している。さらに、このような超鋭敏な粘性土の動的特性は、堆積時の水深や海水の割合などの堆積環境が鋭敏性を決める要素である含水比と液性指数と密接な関係にあることを示した。また、このような沖積層の粘性土の地震時の動的特性については、多くの地盤工学系の研究者により土質力学的なアプローチ

から検討されている。例えば、地盤応答解析における地盤材料の非線形性を得るための動的変形特性試験を行うことで粘性土のせん断剛性の歪み依存性が報告されている（例えば、岩崎ほか、1980）。

沖積層の地下地質構造や堆積環境を始めとする地質学的な検討は、1980年代のEndo et al.(1982)や遠藤ほか(1988)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加えて、近年の木村ほか(2006)や田辺ほか(2008)の堆積・層序学を中心とした研究によりさらに発展している。また、各研究機関や自治体からは、収集されたボーリングデータのデータベースも公開されており、ボーリングデータを使った沖積層の空間分布の情報整備が行われつつある（地盤工学会関東支部、2010）。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、現状では沖積層の堆積環境やその形成過程に関する最新の地質情報が土質特性に系統的に反映されていない。

本研究は、(独)産業技術総合研究所の都市地質プロジェクト（平成18～22年度、共同研究機関：埼玉大学および日本大学）により掘削された、関東平野南部における4カ所（春日部、戸田、亀戸、若洲）のボーリングコア試料を用いた土質試験を行い、定量的に得られた各種の土質特性と堆積環境の関係を報告する。また、本論では竹村ほか(2011)と竹村ほか(2013)により報告されている試料と同じものを使用しているが、より詳細な基礎的な測定値を用いて土質特性と堆積環境の関係をまとめた。

2. 試料概説

本研究では、東京臨海部から埼玉県南東部にかけて分布する低地部から4カ所で土質試験用のボーリングコア試料を実験用試料として採取した（第2図）。これらのボーリングコア試料はいずれも不攪乱試料であり、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。不攪乱ボーリングコアは、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）、東京低地においては東京都江東区亀戸の亀戸公園内（GS-TKK-1）、東京都江東区若洲の若洲公園隣接地（GS-TKW）にて掘削されたものである。各地点の堆積相解析により明らかにされている堆積環境は以下の通りである。

GS-KBH-2（春日部コア試料）：本コアは層相解析用に掘削された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(独)産業技術総合研究所により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。

GS-TKT-2（戸田コア試料）：本コアは層相解析用に掘削された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(独)産業技術総合研究所により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。

GS-TKK-1（亀戸コア試料）：本コアは層相解析用に掘削されたGS-KM-1のボーリング孔から北西に約800m離れた地点で不攪乱ボーリング試料として(独)産業技術総合研究所により掘削されたものである。本ボーリングコア(GS-TKK-1)の堆積環境は、GS-KM-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、宮地ほか(2004)、木村ほか(2006)により報告されているGS-KM-1の堆積環境を参考とした。

GS-TKW（若洲コア試料）：本コアは層相解析と土質試験の両方を同一コアで行うために不攪乱ボーリング試料として(独)産業技術総合研究所により掘削されたものである。本ボーリングコアの堆積環境は、磯前(2011)により下位から砂礫層(TKW-Unit1)、砂優勢砂泥互層(TKW-Unit2)、泥優勢砂泥互層(TKW-Unit3)、貝殻混じり砂層(TKW-Unit4)、泥層(TKW-Unit5)、砂優勢砂泥互層(TKW-Unit6)に区分できると報告されている。これらの区分に使われた記載を元に、本研究では、下位より、蛇行河川～氾濫原、泥質干潟、砂質干潟・砂州、内湾底、泥質干潟～氾濫原そして盛り土とした。ここで、砂質干潟・砂州は磯前(2011)による貝殻混じり砂層(TKW-Unit4)に相当し、小松川コア試料の海進砂に相当する堆積環境とした。

これら4カ所のコア試料の堆積環境の区分はそれぞれの研究背景により異なるため、本論では竹村ほか(2013)と同様に堆積システムによる区分ではなく、内湾成環境を柱にした堆積環境による区分とするため、戸田コア試料の小松原ほか(2009)にしたがい区分した(第3図)。すなわち、内湾泥底環境からデルタプレーン環境について、細粒で均質な泥層を主体とする内湾底環境、上方粗粒化を示す泥層～砂層からなるデルタフロント環境、その上位にあって上方細粒化を示す砂・泥層をデルタプレーン環境（塩水湿地～砂質河川）とに区分しその名称の統一をはかった。

3. 各種試験方法および結果

実験は、所定の深度までの不攪乱のボーリング試料を採取した後、ボーリング孔を利用した原位置での動的試験としてPS検層を実施した。ボーリングにより採取された不攪乱試料を、所定の深度から基本物理試

験、標準圧密試験と動的試験の3種類の試験を行うために採取した。実験用の供試体を切り取った後、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、湿潤環境を保った3°Cの冷蔵庫で実験に供するまで保管した。なお、基本物理・化学試験のための試料は、湿潤密度を除いて、力学試験用の供試体を作成する際にトリミングによってでる切り屑から取られた。

3.1 基本物理・化学試験

基本的な物理・化学量を得るため、以下の試験を行った。

土の自然含水比試験：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)。自然含水比 w_n は、試料中の水の重量 W_w と固相重量 W_s から $(W_w/W_s) \times 100$ (%) で計算した。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。

湿潤密度：JIS A 1225の規格に従い湿潤密度 ρ_t はトリミング直後の供試体の全質量 m とその体積 V から、 $\rho_t = m/V$ (g/cm^3) で計算した。ここで供試体の体積 V はノギス法により求めた。

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 w_L は粘性土が液性を示す限界の含水比を、塑性限界 w_p は粘性土が塑性を示す限界の含水比を意味している。ここでの含水比は自然含水比ではなく実験室で調整された含水比である。 w_L 、 w_p 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。 w_L は土が液性から塑性に変わる含水比を、また w_p は土が塑性から半固体に変わる含水比をそれぞれ表す。その差 $I_p = (w_L - w_p)$ は塑性指数と呼ばれ、土が塑性を示す含水比の範囲を示している。土の種々の力学定数との間に実験式が提案されていて、最も基本的な土の物理定数の一つである。また、以下の式により液性指数 I_L を計算した。

$$I_L = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w_n - w_p}{I_p} \quad (1)$$

液性指数 I_L は土の流動性の程度を示す指数であり、 $w_n = w_p$ の場合に0、 $w_n = w_L$ の場合に1となり、土が自然状態で半固体・塑性・液性のうちのどの状態にあるかを示している。また、 $I_L > 1$ では、土は自然状態で液性限界を超える間隙水を含んでおり、容易に液状になることができる鋭敏な性質を示す。

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2.60～2.75 $\text{g}/$

cm^3 の値を示す。土を構成する鉱物のほとんどが2.7 g/cm^3 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。

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)。したがって、粘土とシルトの粒度境界は、2 μm ではなく5 μm にある。

間隙比：土の湿潤密度 ρ_t 、含水比 w_n 、土粒子密度 ρ_s とから、間隙比 e を以下の式により計算した。

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\rho_s}{\rho_t} \left(1 + \frac{w_n}{100} \right) - 1 \quad (2)$$

なお V_v 、 V_s は、それぞれ空隙、固相の体積であり、間隙率 n とは $n = 100e/(1+e)$ (%) の関係にある。

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。強熱減量とは、700～800°C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。強熱減量は高有機質土の物理・力学性質と極めて関係が深く、また結合水・結晶水が多い粘性土では粘土鉱物の性状を知る参考になる。

土懸濁液のpH・電気伝導率試験：JGS 0211とJGS0212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)。測定に用いる土懸濁液は、はじめに適量の試料をビーカーに入れ、試料の炉乾燥質量に対する水(試料中の水を含む)の質量比が5になるように水を加えることで作成した。ここで、乾燥質量はあらかじめ測定した含水比から求めている。作成した土懸濁液を攪拌棒で懸濁させ、30分以上、3時間以内静置したものを測定用の試料液とした。

ゼータ電位：ゼータ電位は春日部コア試料と戸田コア試料について測定を行った。

ここで、若洲コア試料に関しては、土の自然含水比試験から間隙比までの値の測定のみを行った。

3.2 標準圧密試験

JIS A 1217の規格に従い、春日部コア試料、戸田コア試料、亀戸コア試料について以下の土の圧密試験を行った(地盤工学会編, 2004)。直径6 cm、高さ2 cm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1,280 kPa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。

3.3 動的試験

PS 検層：3ヶ所（春日部，戸田，亀戸）のボーリング位置で，ボーリング孔を用いたサスペンション法により行われた。

繰り返し非排水三軸試験：JGS 0541-2000 の規格に従い春日部コア試料，戸田コア試料，亀戸コア試料について以下の土の繰り返し非排水三軸試験を行った（地盤工学会編，2004）。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 50 mm 高さ 100 mm 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。

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り返し試験を行った。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，繰り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，側方方向の歪みを 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。繰り返し試験は軸荷重を変位で制御することにより載荷した。各繰り返し載荷で，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, 2.048 mm と漸増させた。各繰り返し試験の終了後，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り返し試験中の変位，荷重，間隙水圧に関するデータの取得を行った。ここで，軸歪み ε_a は LDT の変位から計算し，せん断応力 τ ，せん断歪み γ を以下の式で求めた。

$$\tau = \frac{1}{2} \Delta \sigma \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{3}{2} \varepsilon_a \quad (4)$$

ここで， $\Delta \sigma$ は偏差応力， ε_a は軸歪みである。また，せん断歪みは非排水の条件（体積歪み $\varepsilon_v = 0$ ）を考慮して求めた。せん断応力とせん断歪みを用いて，繰り返し回数ごとにせん断応力-せん断歪み関係を描き，原点と最大歪み点を結ぶ傾きから得られる次式によりせん断剛性率 G を求めた。

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (5)$$

本実験は，変位を制御した繰り返し試験であり，得られた結果はせん断歪みにより整理することができ，せん断剛性率および減衰定数のせん断歪み依存性を得ることができる。

4. 結果および考察

4.1 粘性土の特徴と堆積環境の関係

関東平野南部の荒川，中川，東京低地を構成する沖積層の地盤工学的特徴はその形成過程における堆積時の環境や堆積後の環境により様々である。ここでは，特に記述しない限り堆積環境は堆積時の環境とする。また，本研究で取り扱っている 4 カ所のコア試料は春日部と戸田地域は内湾奥に位置しており，亀戸と若洲地域は現世の海岸近くである。特に若洲コア試料に関しては，戦後に埋め立てられる前までは海底下にあったものである。本節では，このように異なる堆積環境にあった粘性土の特徴についてまとめる。

粘性土の鋭敏性に関する研究は古くから行われており，北欧や北米で見られる超鋭敏粘土（クイッククレイ）は非常に高い鋭敏性を持つことが知られている。ここで，鋭敏性の高低を評価する鋭敏比は，不攪乱の状態と練り返した状態での一軸圧縮強度の比で示される。一般の粘土だと鋭敏比は 10 程度であるが，クイッククレイでは 500 という高い値を示すこともある。また，Bjerrum(1954)によれば鋭敏比と液性指数は高い相関性をもっており，液性指数でも鋭敏性を評価することができる。北欧や北米で見られる超鋭敏粘土であるクイッククレイは，氷床周辺に堆積した粘土が隆起に伴い陸化し淡水により溶脱作用が進むことで形成されたとされている（Rankka, 2004）。鋭敏比の増加は，海水中での堆積時にできる粘土粒子の作る構造（綿毛構造）を維持したまま，淡水による溶脱作用により粘土粒子間（面と端部）の力が低減することにより起こる。日本においても有明粘土と同様の溶脱による超鋭敏粘土が形成されていることが報告されている（三浦ほか，1996）。

第 4 図に本研究で用いた 4 ヶ所のコア試料の基本物理・化学量と圧密特性の深度プロファイルを示した。また，第 1 表には，春日部，戸田，亀戸コア試料の物理・化学量と圧密特性の結果がまとめられている。第 4 図より，4 つのコア試料のいずれにおいても内湾底からデルタフロントにかけて自然含水比が液性限界より高い値となっている。ここで， I_L は前述したように， $I_L > 1.0$ で土は容易に液状になる性質を持っており，また， I_L は粘性土の鋭敏性と強い相関をもっていることより， I_L を鋭敏性の指標として用いることとする。また，本研究では， $I_L > 1.5$ を持つ粘性土を高い鋭敏性を持つ粘性土とした。第 5 図に I_p と $w_n - w_p$ の関係を示した。ここで，傾きは液性指数 I_L に相当するものであり， $I_L > 1.5$ が複数ある試料は春日部コア試料のデルタフロントと内湾底，亀戸コア試料のデルタフロントと内湾底，そして若洲コア試料の砂質河川である。液性指数の高い試料を詳しくみてみると，春日部コア試料の内湾底では自然含水比，液性限界，塑性限界ともに高い値を示すことで， $w_n - w_p$ ， I_p ともに高い値に分布しているのが特徴である。一方で，他の試料では，その多くは自然含水比，液性限界，塑性限界が低いため，

$w_n - w_p$, I_p とともに低い値に分布している. このことは, I_L の値が過圧密の影響を受けていること (例えば, 日下部, 2004) を考えると, 春日部コア試料の内湾底試料の $w_n - w_p$ と I_p が高い値で分布しており I_L が高いことは春日部コア試料の他の堆積環境での試料, 戸田コア試料と亀戸コア試料と比べて正規圧密に近いと考えられる. ここで, 若洲コア試料に関しては, 圧密試験結果がないため過圧密比が得られていないが, 埋め立てにより約 15 m 分の盛り土があることを考えると過圧密の状態にあると推察される.

液性指数 I_L が影響を受けるものとして, 圧密のほかに塩分の溶脱が挙げられる. 第 4 図にある EC 値は堆積時・堆積後の水環境を反映しており (例えば, 横山・佐藤, 1987; 内山ほか 2011), 春日部コア試料と亀戸コア試料の内湾底では EC 値が 100 mS/m を上回っていることから海成であることが推察でき, 溶脱は大きく進んでいないものと考えられる. 軟弱な性質を持つ粘性土として, 間隙水が淡水に置き換わることで形成される北欧のクイッククレイが有名であるが, 春日部コア試料や亀戸コア試料で見られる軟弱な粘性土は北欧のそれとは異なる性質であることが推察されている (竹村ほか, 2013). また, 軟弱な粘性土が形成される要因の一つに粘土粒子と間隙水の化学的な性質があげられるが, pH とゼータ電位からは, 顕著な違いは見られなかった. 軟弱な性質を強く占める春日部コア試料に関しては, 全体的に粘土分が多く, 深さに関係なく粘土分が 50% を占めており, 細粒分は 90% を超えるものが多いという特徴がみとれる.

第 6 図に塑性図と活性度を示す. ここで, 塑性図は縦軸に塑性指数を, 横軸に液性限界をプロットしたもので, 粘土の物理的な性質を示すものである. 図中の A 線は $I_p = 0.73(w_L - 20)$ で表されており, この線より上は無機質粘土で下は無機質シルトもしくは有機質の粘土およびシルトを意味する. また, B 線は $w_L = 50\%$ で表されており, この線より右の土は圧縮性が大きく, 左は圧縮性が小さいことを意味している. また, 活性度は縦軸に塑性指数を, 横軸に 2 μm 以下の粘土含有率をプロットしたもので, 粘土の活性を示している. ここで, 活性とは他の物質を吸着したり物理化学的に結合する強さをいい, 土粒子表面の界面化学的な強さの性質を意味している. 図中の A の値は $A=2.0$ で超活性粘土, $A=1.25$ で活性粘土, $A=0.75$ で非活性粘土を意味している. 塑性図と土質特性の圧縮指数からも分かるように, 内湾底もしくはデルタフロントで堆積した粘性土の試料は, 他の試料に比べて圧縮性と塑性が大きい傾向にある. また, ばらつきこそあるものの, 3 つの試料はいずれも活性粘土～非活性粘土であるが, 春日部コア試料の一部では活性粘土～超活性粘土に区分されるものが見られる.

4.2 粘性土の動的特性と堆積環境の関係

地盤を構成する粘性土, 砂質土などの土の変形特性は非常に小さな歪みの領域から非線形性を持っており (例えば吉田, 1994), その程度は地質と密接な関係を持っていると考えられる. このような特徴を持つ地盤で地震応答解析を行うためには, 多くのデータが必要となり, その中でも最も重要なものの一つが地震動によるせん断歪みに依存する変形特性であるといえる. 本節では, 春日部コア試料, 戸田コア試料と亀戸コア試料での繰り返し非排水三軸試験の結果を用いて, 堆積環境の粘性土の動的特性への影響についてまとめる.

第 7 図に繰り返し载荷中のせん断剛性比 G/G_{max} と減衰定数 h の歪み依存性特性を示した. 図中の点は実験値であり, 曲線は H-D モデル (Hardin and Drnevich, 1972) によりモデル化されたものである. ここで, H-D モデルは骨格曲線に双曲線モデルを用いることで表されており, モデルに必要なパラメータは基準歪みを竹村ほか (2013) による方法により求めた. ここで, せん断剛性比は (5) 式にあるせん断剛性率 G と初期剛性率 G_{max} との比である. ここで, G は実験により得られるが, G_{max} は実験からは得られないため, 竹村ほか (2013) による方法により基準歪みを用いて決定した. また, 減衰定数 h は次式より与えられる.

$$h = h_{max} \left(1 - \frac{G}{G_{max}} \right) \quad (6)$$

ここで, h_{max} は最大減衰定数であり, h は G_{max} と同様の方法により決定した. このようにして得られた G/G_{max} と h を用いてモデル化を行った. ここで, 骨格曲線の双曲線モデルに履歴減衰を与えるために Ishihara et al. (1985) の方法を用いた. また, モデル化に用いた計測値として LDT から求めたせん断ひずみを使っているが, せん断剛性率比と減衰定数の双方共にせん断ひずみが 10^{-4} 以下でデータのばらつきが顕著なのは, 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の影響で応力の低下が起きる. 通常の繰り返し試験においては, 応力を制御するためにこのような応力の低下は起こらない. よって, ここでのモデル化においては前述の 2 つの条件下のデータは採用せずに行っていることに注意して欲しい.

せん断剛性率比と減衰定数のひずみ依存性は I_p や粒度の影響を受けることが知られている (例えば, 日本港湾協会, 1989; Vucetic and Dobry, 1991). 実験結果を見ると, 確かに I_p と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, I_p の影響を強く受けており, 右側から順に I_p が高いものとなっている. 戸田コア試料では I_p と砂分で区分すると少し違った傾向が見られる. 15 m の試料については I_p も砂分も春日部コア試料の 26 m の試料と同等の値なので似たような曲線を描くが, 他の二つ

は 15 m の試料よりも I_p が低く、砂分を多く含んでいるのにも関わらずあまり変化しない。また、亀戸コア試料の結果も同じで、9～21 m の 4 つにおいては砂分と I_p の影響で傾向が変わっているが、27 m の試料が 21 m の試料と同等の I_p と砂分を有しているにも関わらず、21 m のものよりせん断剛性比の低下が遅い。これらの原因は過圧密比、OCR の影響であると考えられる。戸田コア試料における 19 m と 21 m の試料は OCR が 2 を超えており、亀戸コア試料における 27 m の試料も OCR が 2 に近い。そのために、せん断剛性比の低下が始まるせん断歪みがより大きな値となり、低下の遅れが生じたのではないだろうか。また、減衰定数においても同じ事が言える。

ここで、せん断剛性比と減衰定数の違いを堆積環境と対比してみると、内湾底を中心とする海水で堆積されたとされる層の試料ほど右、汽水環境で堆積したデルタフロントや塩性湿地が中間、デルタプレーンや砂質河川などの淡水で堆積されたとされる層のものほど左へ寄る傾向であることが分かる。亀戸コア試料では OCR の影響が出ているが、OCR すなわち堆積後の環境が同じであれば、動的特性は堆積時の環境に依存しているということが言えよう。従って、粘性土においてせん断剛性比と減衰定数のせん断歪み依存性を議論する上では、堆積時の環境と堆積後の環境を反映する OCR の 2 つを考慮して評価する必要があると考える。

5. おわりに

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て、物理・化学特性の測定、圧密試験そして動的試験として繰り返し試験を行なった結果を取りまとめた。今後、沖積層を始めとした粘性土について、その形成過程などの最新の地質学の成果を取り入れた上で、力学試験の結果を理解していくことを積み重ねていくことで、より定量的に沖積層の形成プロセスを論ずることができるようになると考える。

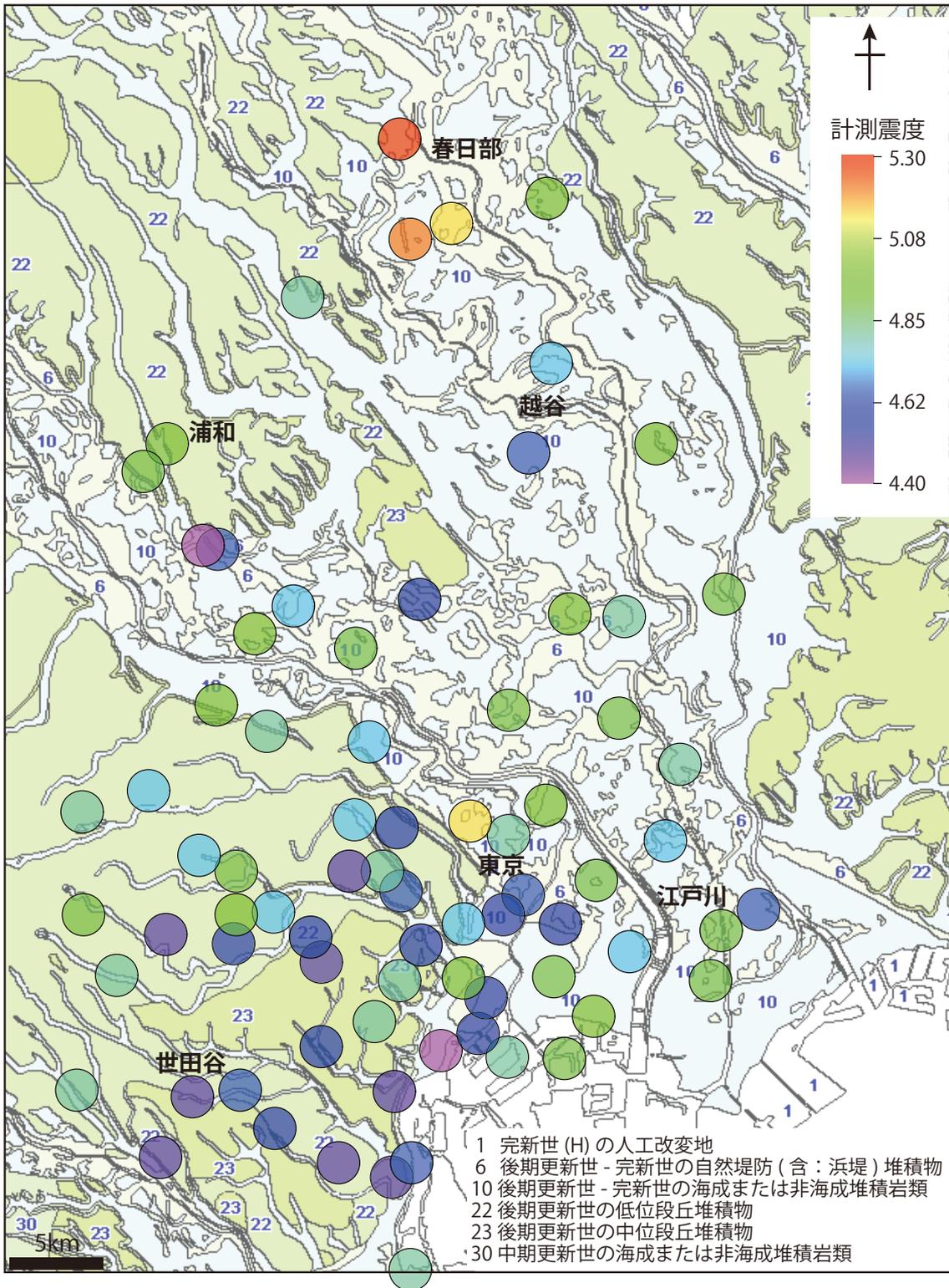
謝辞 本研究での実験を行うにあたり協力を頂きました埼玉大学工学部建設工学科土質工学研究室および日本大学文理学部地球システム科学科地質工学研究の学部生・院生の方々に、感謝いたします。特に、埼玉大学の赤間友哉君と田井秀迪君には多くの実験を行って頂きました。

文献

- Bjerrum, L. (1954) Geotechnical properties of Norwegian marine clays. *Geotechnique*, **4**, 49-69.
- 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・小杉正人・菱田 量 (1988) 関東平野の沖積層とその基底地形. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **23**, 37-48.
- Hardin, O. and Drnevich, V. P. B. (1972) Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, **98**, 667-692.
- Ishihara, K, Yoshida, N and Tsujino, S. (1985) Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading. *Proc. 5th International Conference for Numerical Method in Geomechanics, Nagoya*, **1**, 373-380.
- 磯前陽介 (2011) 東京湾臨海地区における完新統および中・上部更新統の堆積環境と土質特性, 日本大学大学院総合基礎科学研究科修士論文.
- 岩崎敏男・常田賢一・吉田清一 (1980) 沖積粘性土の動的変形特性・強度特性について. 第 15 回土質工学研究発表会, 625-628.
- 木村克己・石原与四郎・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, no.59, 1-18.
- 気象庁 (2011) 平成 23 年 4 月 地震・火山月報 (防災編). 気象庁, 338p.
- 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.
- 日下部治 (2004) 土質力学. コロナ社, 266p.
- 桑野二郎・橋 伸也 (2011) 東北地方太平洋沖地震による埼玉県内の地盤災害事例. 地盤工学会誌, **59**, 50-51.
- 地盤工学会編 (2004) 地盤調査の方法と解説. 地盤工学会.
- 地盤工学会関東支部 (2010) 関東の地盤—地盤情報データベース付 (2010 年度版). 地盤工学会, 140p
- 宮地良典・木村克己・石原与四郎・田辺 晋・中島 礼・堀 和明・中山俊雄・斎藤文紀 (2004) 東京都江戸川区小松川地区で掘削された沖積層ボーリングコア (GS-KM-1) の堆積相・堆積物物性と放射性炭素年代. 地質調査研究報告, **55**, 221-235.
- 三浦哲彦・赤峰剛徳・下山正一 (1996) 有明粘土層の堆積環境とその鋭敏性について. 土木学会論文集, **541**, 119-131.
- 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**, 47-084.
- 日本港湾協会 (1989) 港湾の施設の技術上の基準・同解説.

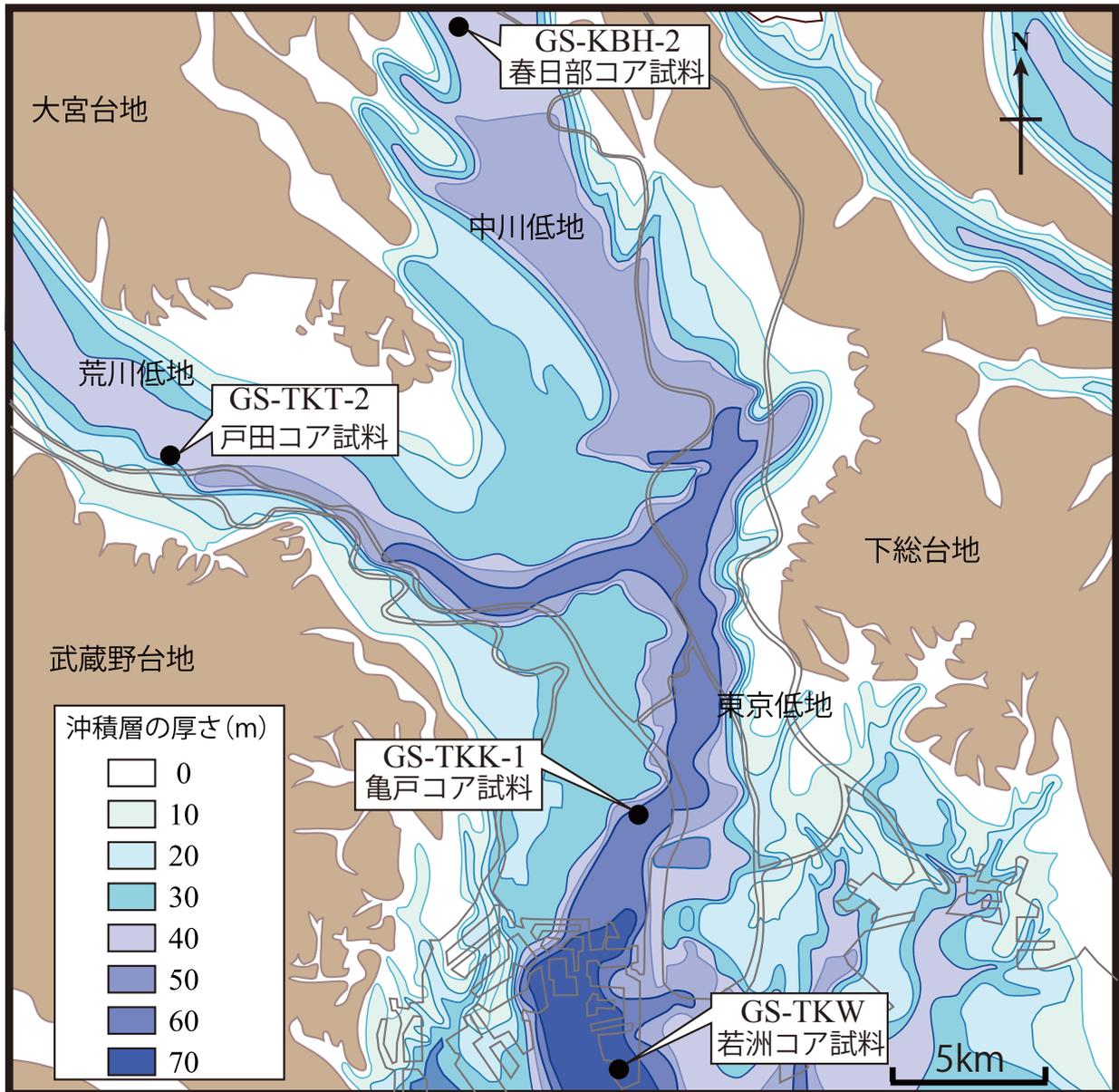
- Rankka, K., Anderssen-Sköld, Y., Hultén, C., Larsson, R., Leroux, V., and Dahlin, T. (2004) Quick clay in Sweden. *Swedish Geotechnical Institute Report*, **65**, 1-145.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2012) 20万分の1日本シームレス地質図データベース(2012年7月3日版). 産業技術総合研究所研究情報公開データベースDB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 武村雅之(2003) 1923年関東地震による東京都中心部(旧15区内)の詳細震度分布と表層地盤構造. 日本地震工学会論文集, **3**, 1-36.
- 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**, 53-73.
- 竹村貴人・小田匡寛・濱本昌一郎・川本 健・赤間友哉・田井秀迪・木村克己(2011) 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. 地質調査総合センター速報, 平成22年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, no. 56, 169-179.
- 竹村貴人・小田匡寛・濱本昌一郎・川本健・赤間友哉・田井秀迪・木村克己(2013) 沖積粘性土の剪断剛性率とその堆積時環境依存性に関する研究—関東平野南部における事例—. 地学雑誌, **122**, 472-492.
- 田辺 晋・石原与四郎・中西利典(2008) 東京低地から中川低地にかけての沖積層の層序と物性: 沖積層の2部層区分について. 地質学雑誌, **116**, 85-98.
- 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, **60**, 85-104.
- 横山卓雄・佐藤万寿美(1987) 粘土混濁水の電気伝導度による古環境の推定 - 千里山丘陵東端部および琵琶湖湖底におけるボーリング・コアの場合 -. 地質学雑誌, **93**, 667-679.
- Vucetic and Dobry, R.M. (1991) Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering*, **117**, 89-107.
- 吉田 望(1994) 実用プログラムSHAKEの適用性. 軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論文集, 14-31.

(受付: 2013年12月24日 受理: 2014年2月14日)



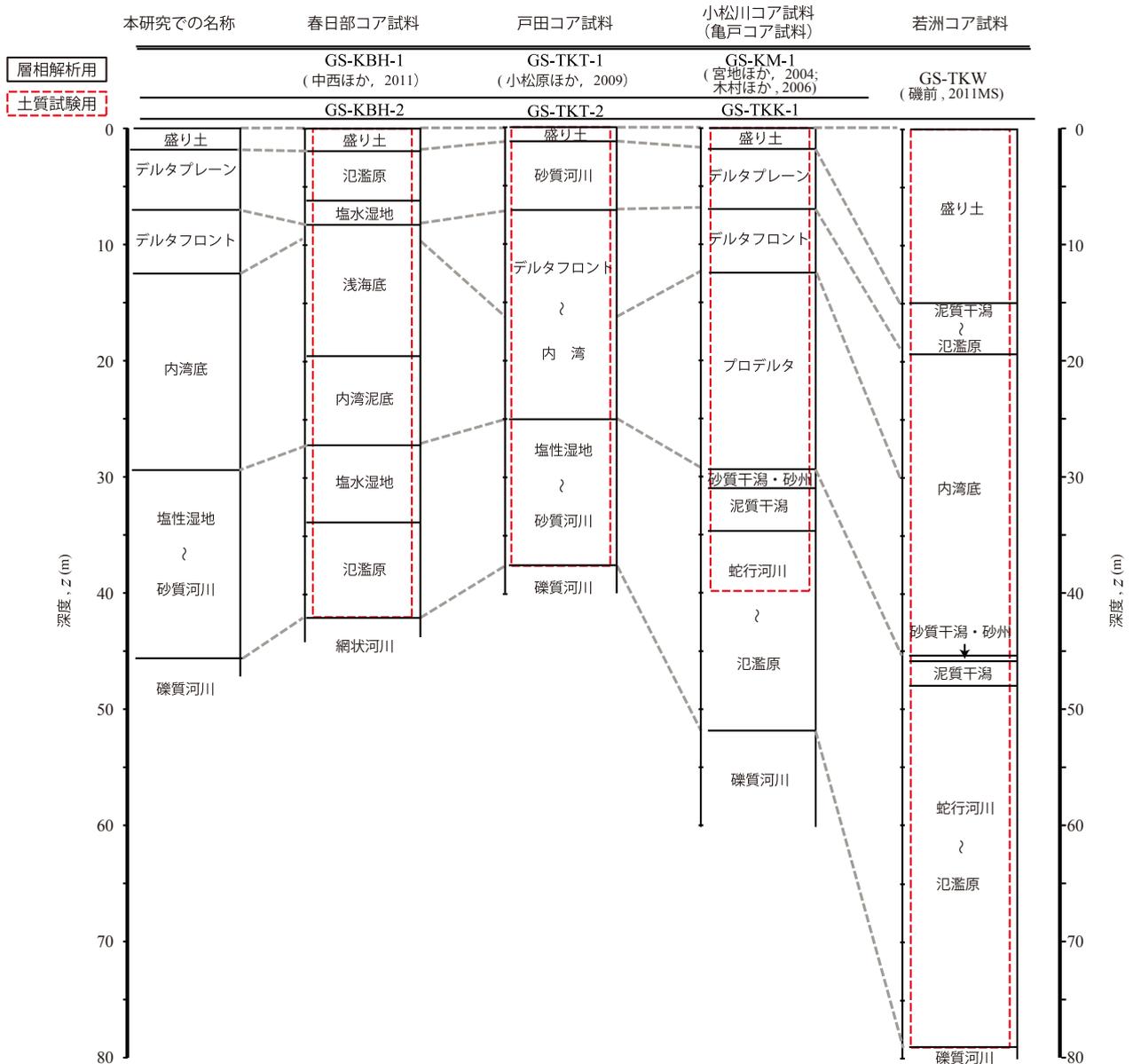
第1図 東北地方太平洋沖地震での東京区部と埼玉県南部の計測震度分布 (気象庁, 2011) . 背景の地質図は産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2012) のシームレス地質図である.

Fig.1 Seismic intensity distribution for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake in the Tokyo and southern Saitama area, here, the data of seismic intensity is quoted from the Japan Meteorological Agency (2011). The geological map is based on Geological Survey of Japan, AIST (ed.) (2012).



第2図 土質試験用のコア試料の位置図 (竹村ほか, 2013 に加筆). 沖積層の基盤深度分布は遠藤ほか(1988)のデータを元に作成.

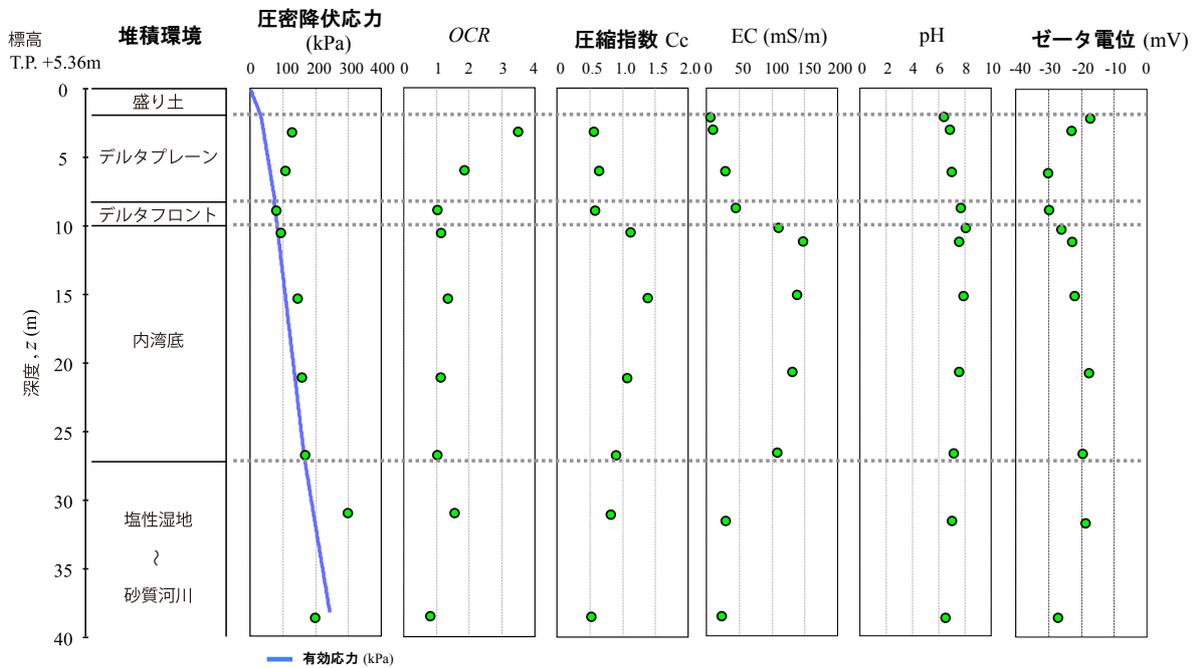
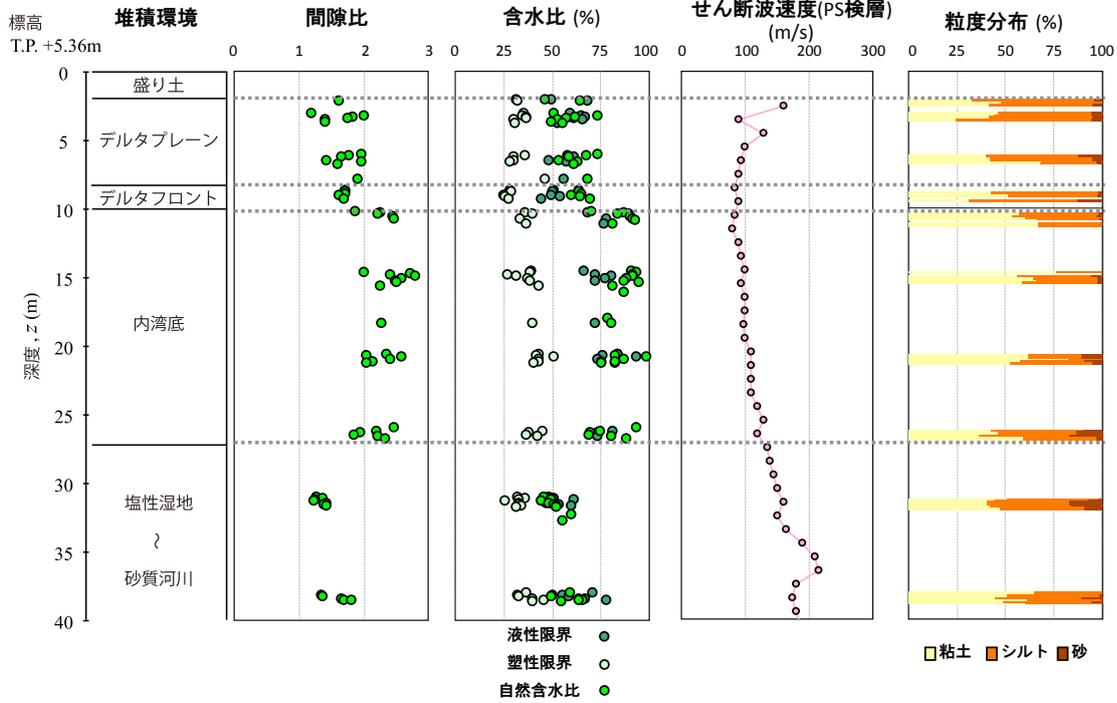
Fig.2 Location map of three boring core sites (the map is based on Takemura et al., 2013). Basal topography of the Chuseki-so in the study area is based on Endo et al. (1988).



第3図 層序比較による3地点のコア試料の堆積環境の名称. 春日部コア試料については中西ほか(2011), 戸田コア試料については小松原ほか(2009), 亀戸コア試料については宮地ほか(2004)および木村ほか(2006), 若洲コア試料については磯前(2011)による区分が基礎となっている. ここで, 亀戸コア試料は小松川コア試料に対応している.

Fig. 3 Sedimentary depositional environment of three boring cores determined by comparing stratigraphic interpretations (Takemura et al., 2013). The basic classification of sedimentary environment is based on Nakanishi et al. (2011) (Kasukabe core sample), Komatsubara et al. (2009) (Toda core sample), Miyachi et al. (2004) and Kimura et al. (2006) (Kameido core sample), and Isomae (2011) (Wakasu core sample). Note that the stratigraphy of the Kameido core sample corresponds to the Komatsugawa core sample.

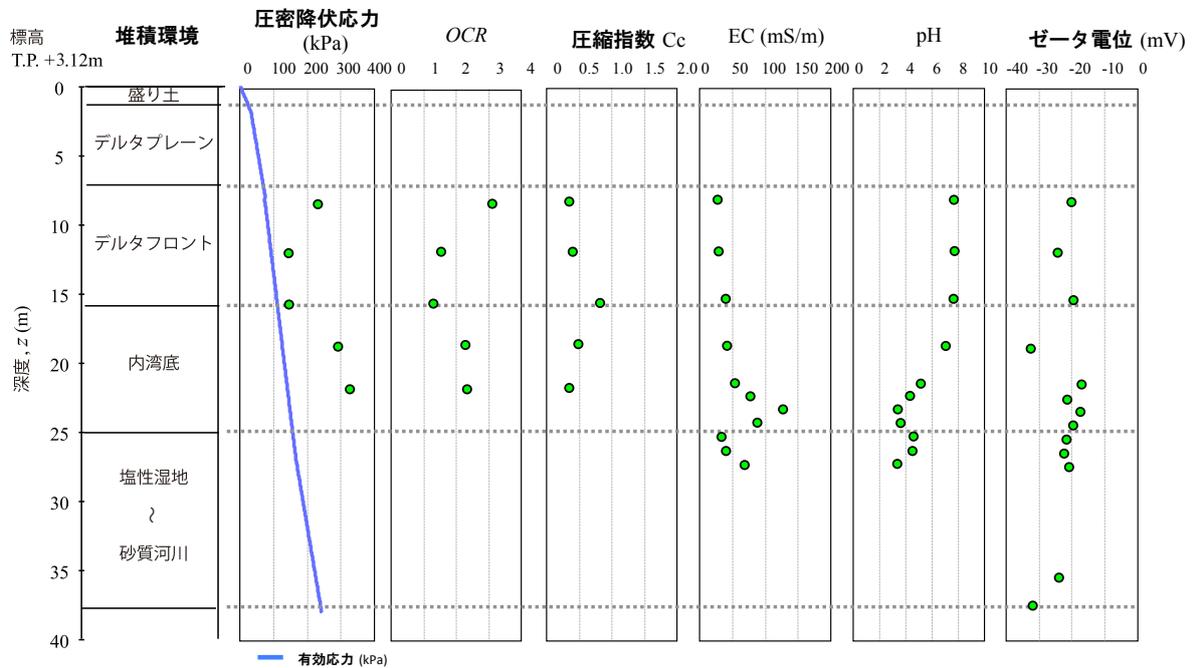
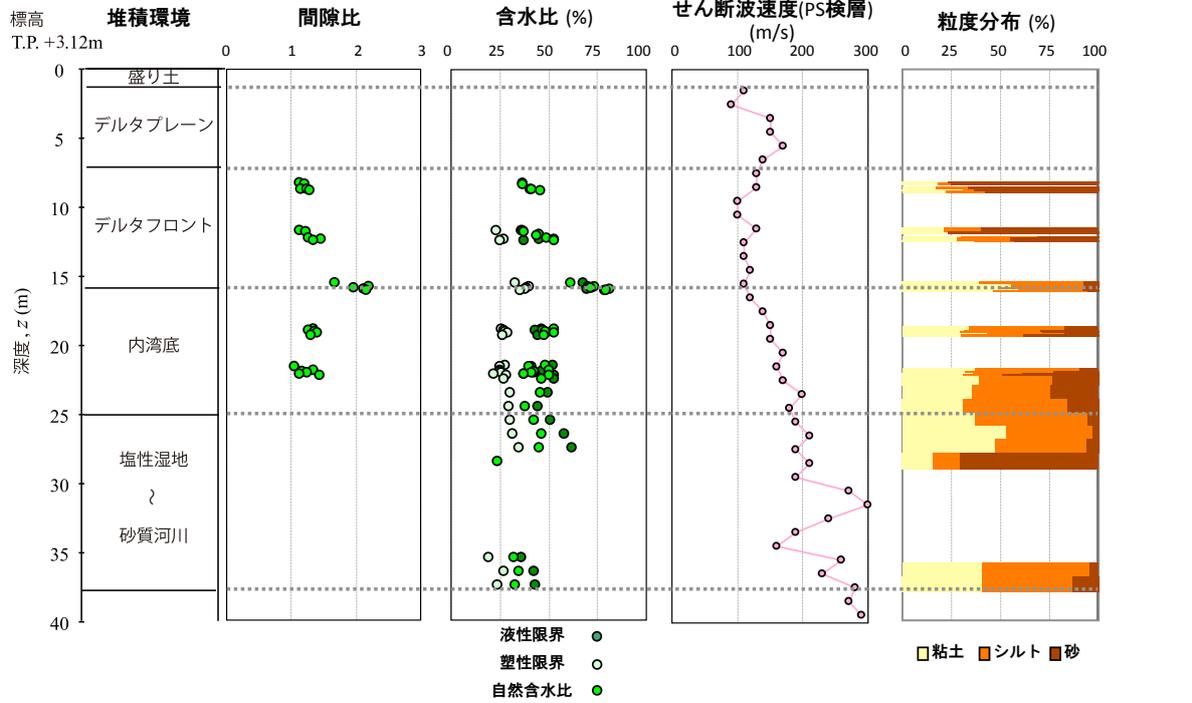
(a) 春日部コア試料 (GS-KBH-2)



第4図 a 物理・化学, 圧密試験の結果 (春日部コア試料).

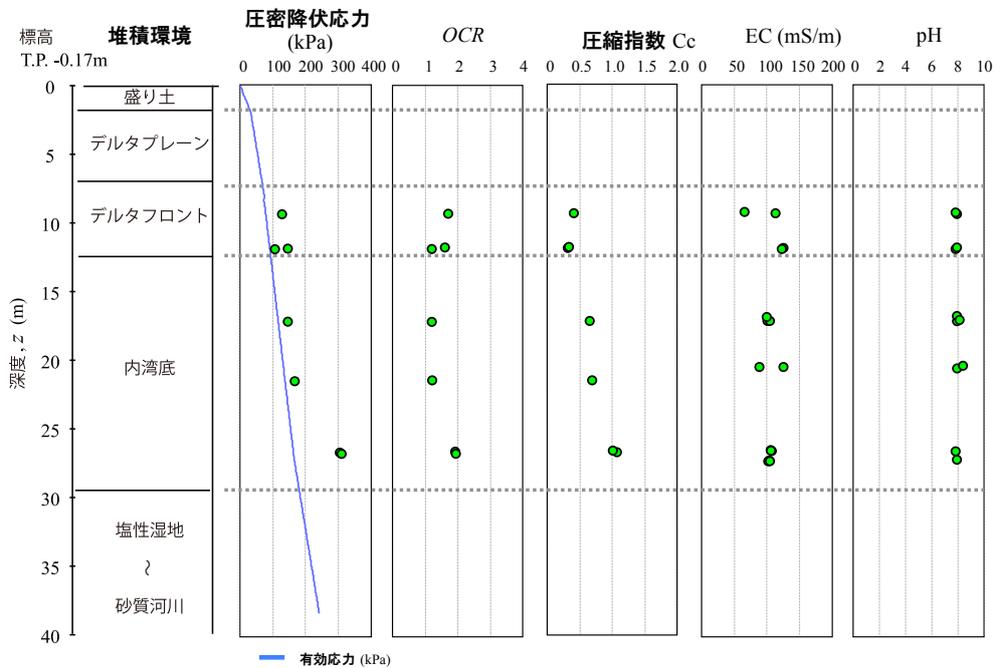
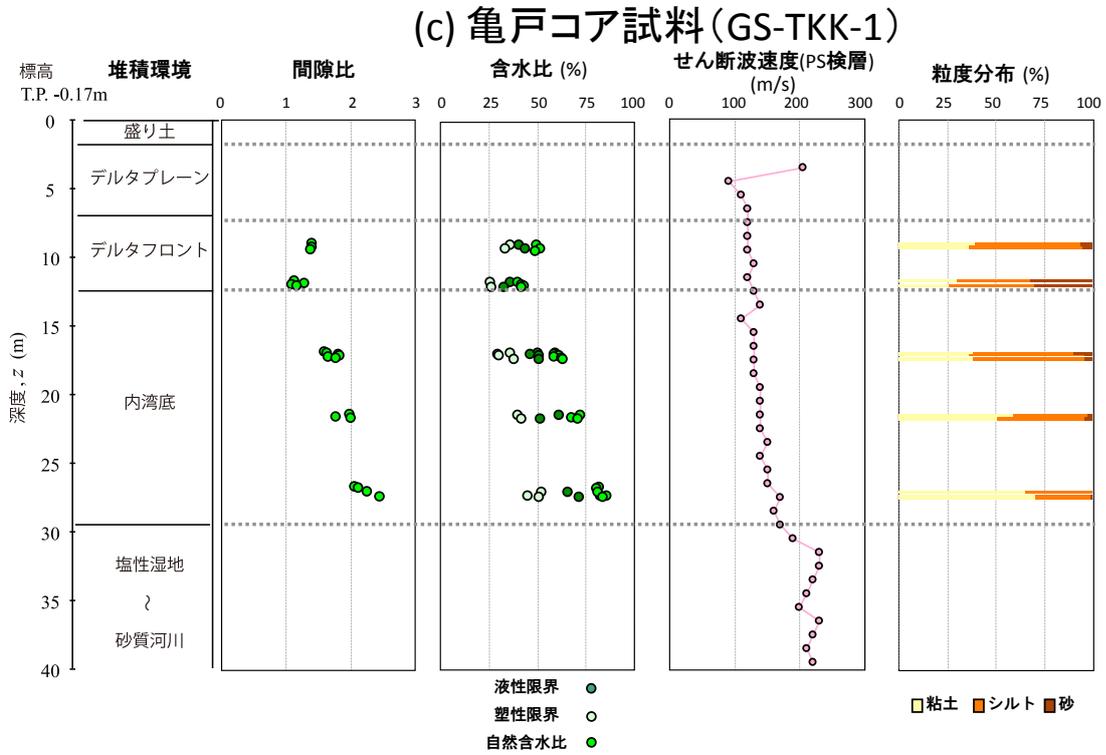
Fig.4a The results of physical, chemical and consolidation test (Kasukabe site).

(b) 戸田コア試料 (GS-TKT-2)



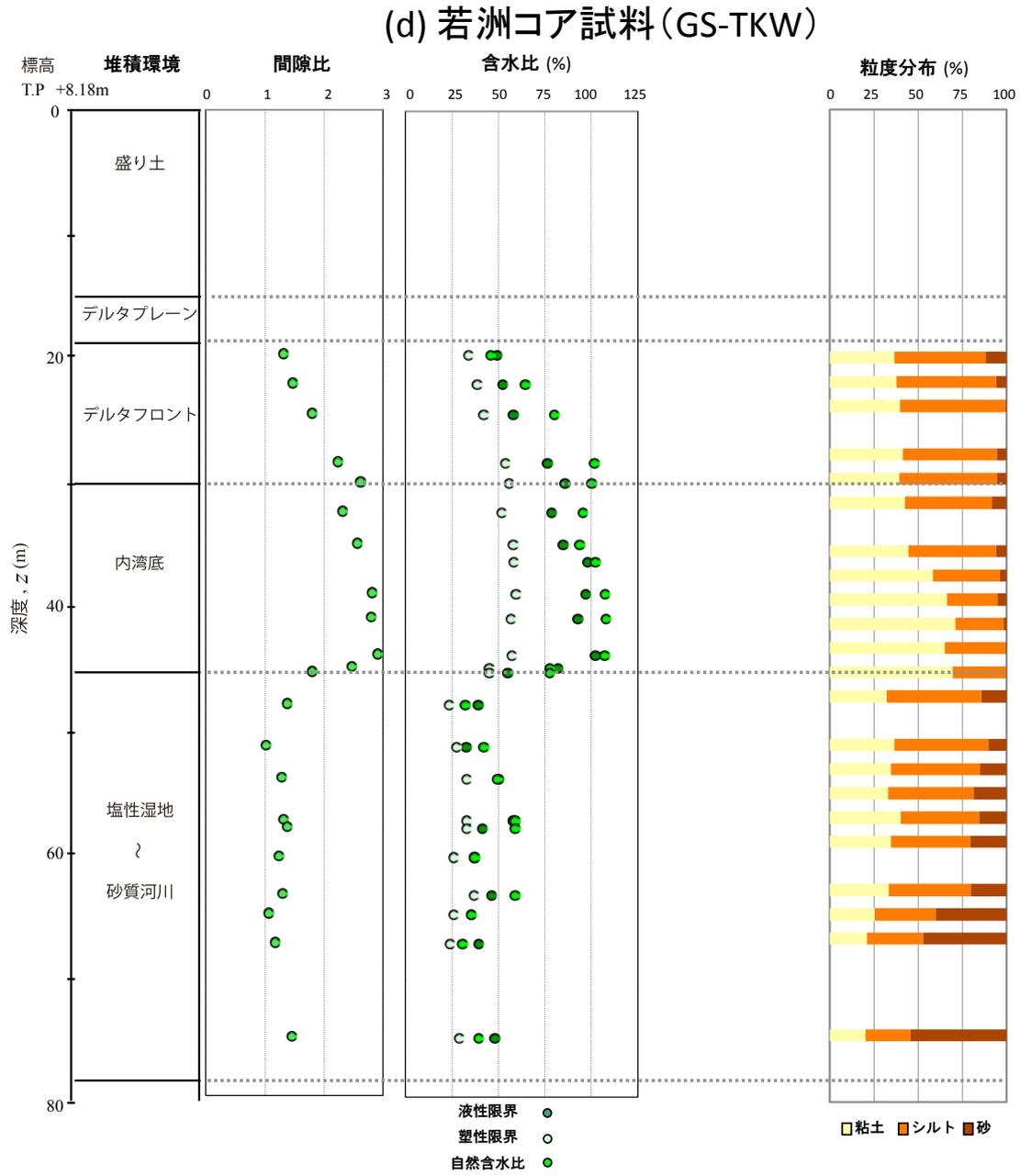
第4図 b 物理・化学, 圧密試験の結果 (戸田コア試料).

Fig.4b The results of physical, chemical and consolidation test (Toda site).



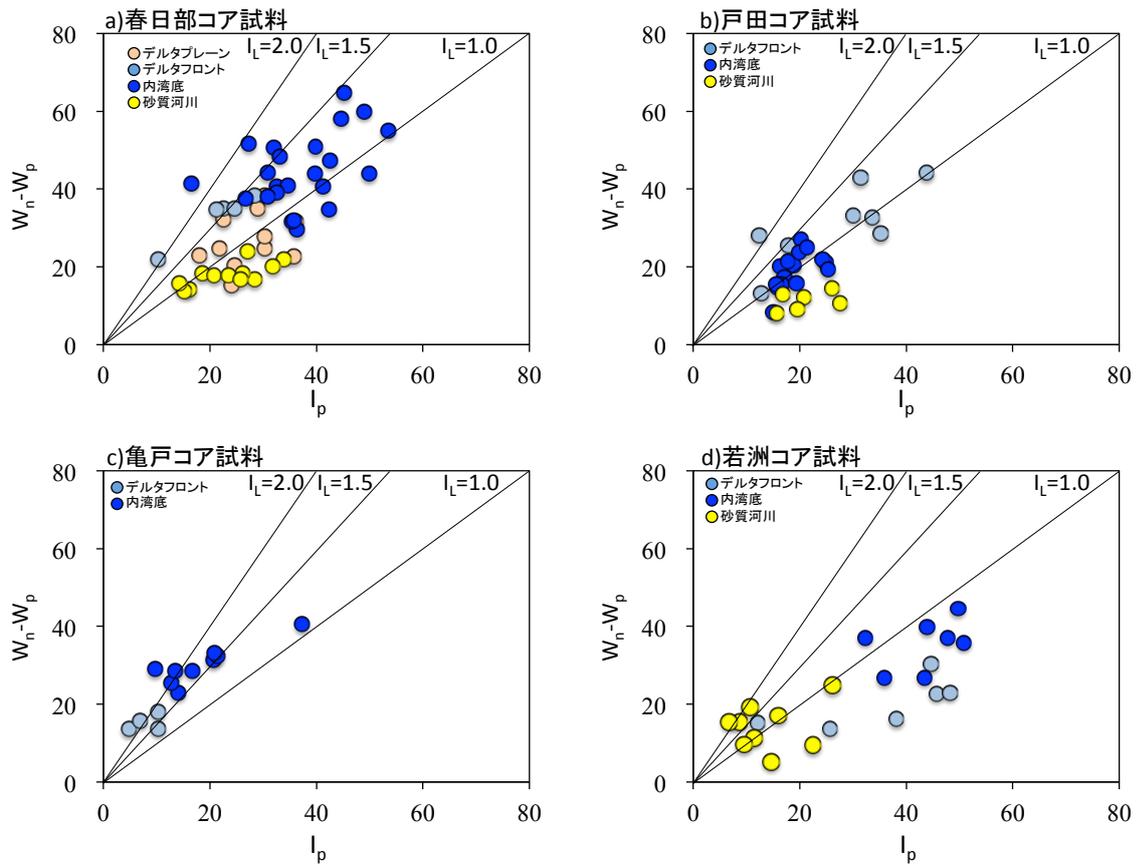
第4図c 物理・化学, 圧密試験の結果 (亀戸コア試料).

Fig.4c The results of physical, chemical and consolidation test (Kameido site).

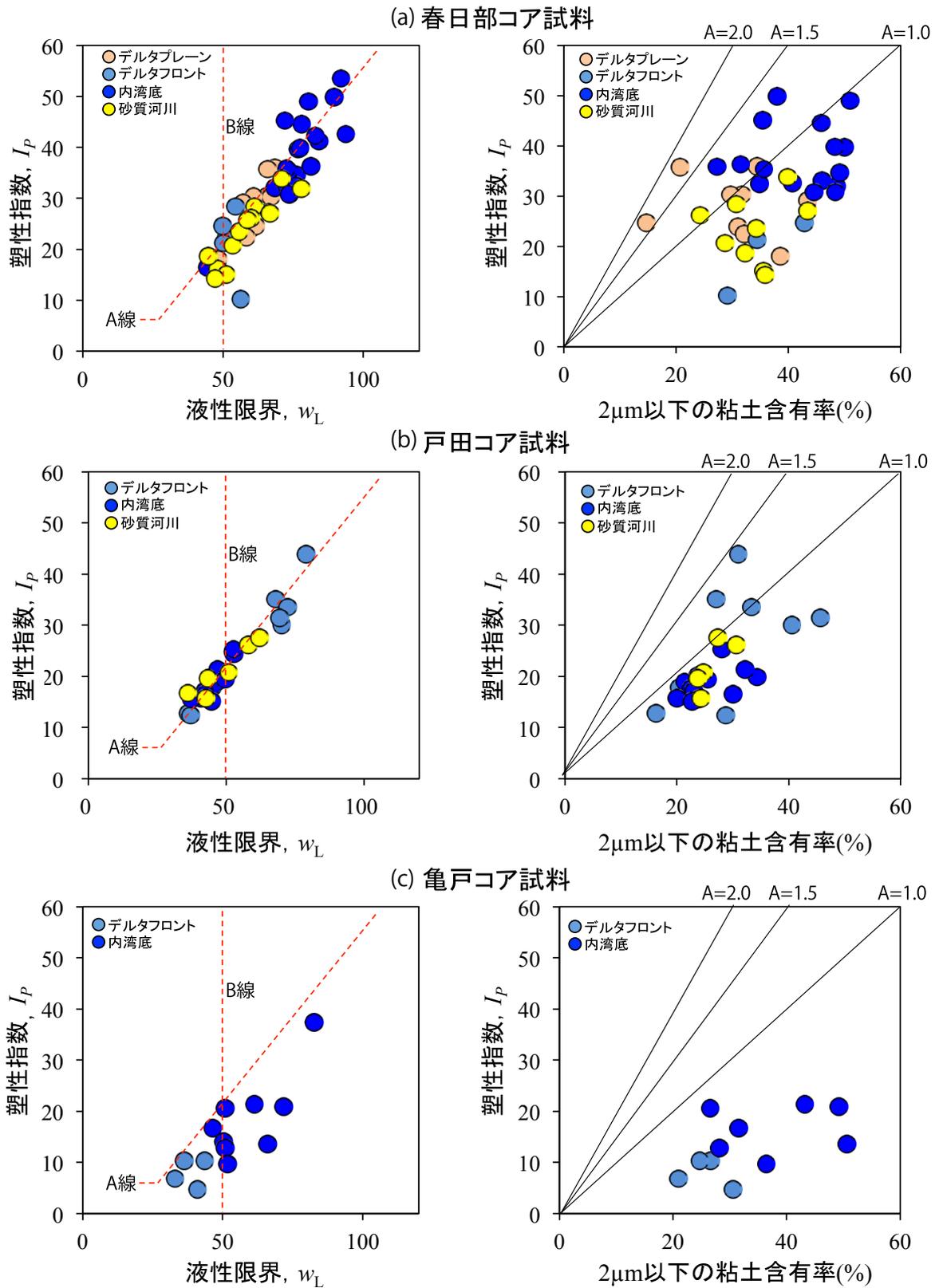


第4図d 物理・化学, 圧密試験の結果 (若洲コア試料).

Fig.4d The results of physical, chemical and consolidation test (Wakasu core site).

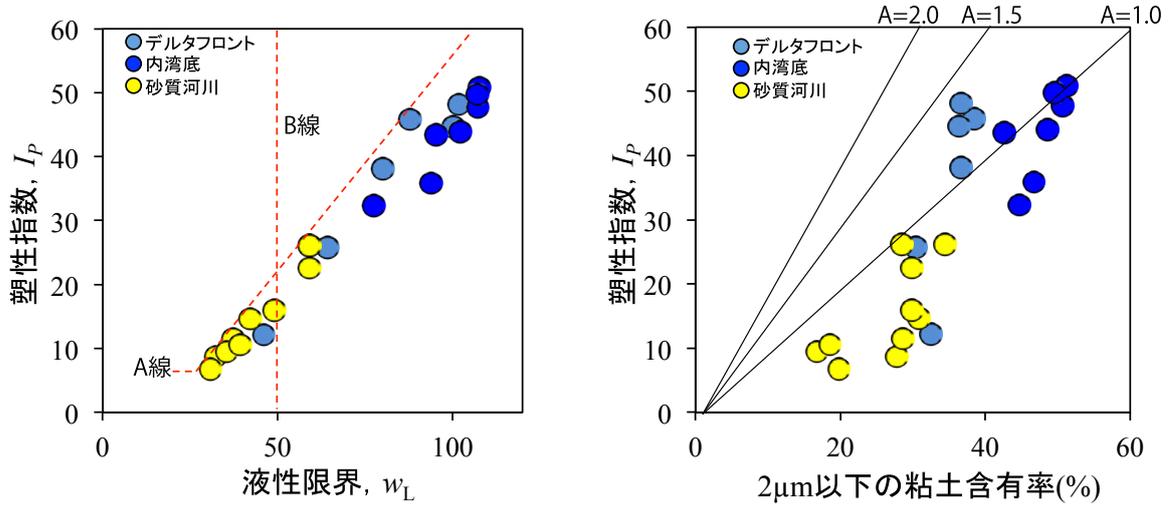


第5図 各コア試料の塑性指数 I_p と $w_n - w_p$
 Fig.5 Relationship between plasticity index, I_p , and $w_n - w_p$.

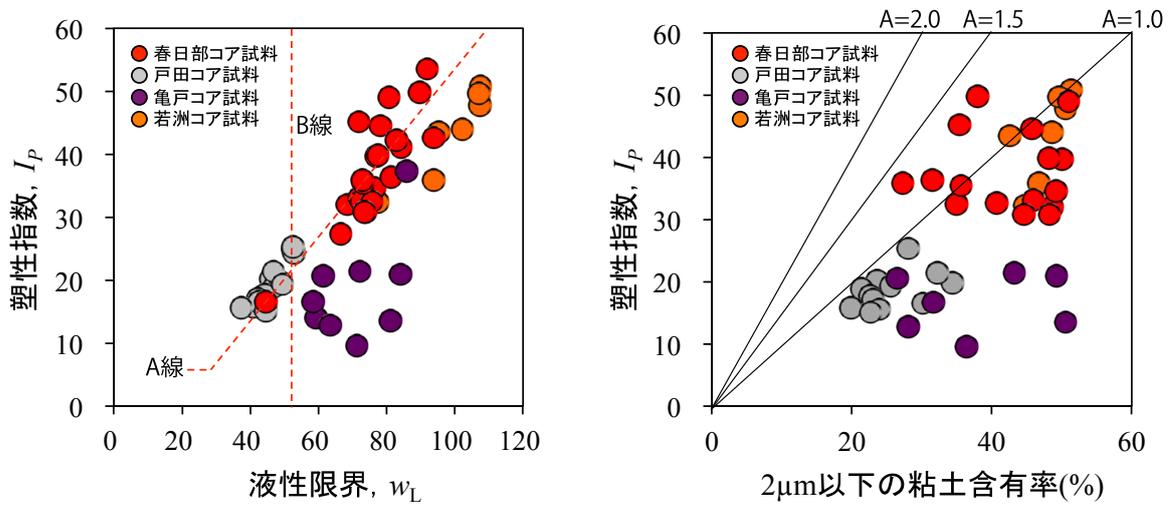


第 6 図 各コア試料の塑性図と活性度 .
Fig.6 Plasticity chart and activity.

(d) 若洲コア試料

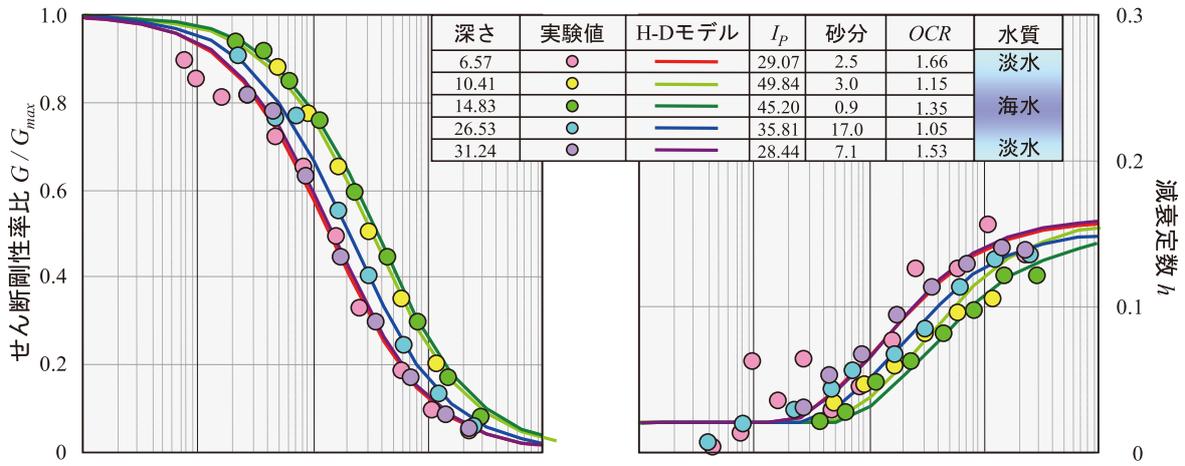


(e) 地域別内湾底試料

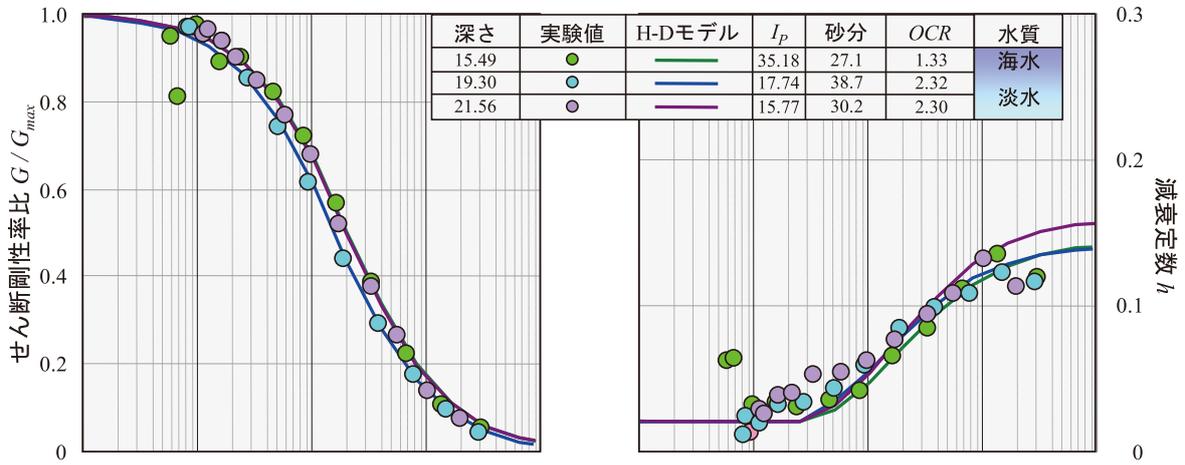


第6図 (つづき) .
Fig.6 (continued).

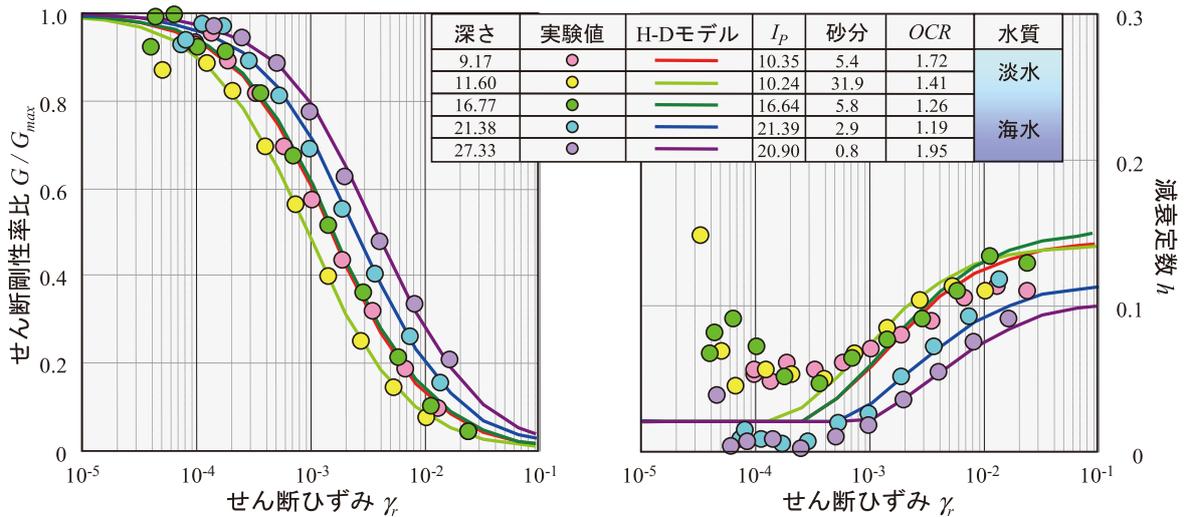
春日部コア試料



戸田コア試料



亀戸コア試料



第7図 繰り返し三軸試験の結果
Fig.7 The results of cyclic triaxial test.

表1 物理・化学, 圧密試験の結果の一覧
Table 1 The results of physical, chemical and consolidation test.

春日部コア試料(GS-KBH-2)その1

深度(m)		基礎物理量										粒度試験					標準圧密試験			
上端	下端	含水比 (%)	湿潤密度 (初期状態) (g/cm ³)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数 I _p	液性指数 I _L	コンシステンシー指数	土粒子密度 (g/cm ³)	強熱減量 (%)	初期間隙比	粘土分 (%)	シルト分 (%)	砂分 (%)	2μm (%)	活性度	圧密降伏応力 (鉛直)(kPa)	圧密降伏応力 (水平)(kPa)	OCR(V)	圧縮指数
2.00	2.15	46.59		49.85	31.87	17.98	0.82	0.18	2.83	5.8		32.00	64.20	3.80	23.80	0.76				
2.15	2.26	64.31	1.63	68.58	32.54	36.04	0.88	0.12	2.59	5.5	1.62	51.00	48.90	0.10	34.40	1.05				
3.04	3.16	50.87	1.87	59.57	35.59	23.98	0.64	0.36	2.71	6.8	1.18	46.10	48.10	5.80	31.00	0.77				
3.22	3.30	73.58	1.58	65.45	35.09	30.36	1.27	-0.27	2.73	5.6	2.00	43.80	54.30	1.90	31.70	0.96	131.1		3.54	0.57
3.30	3.38	61.79	1.52	67.12	36.89	30.23	0.82	0.18	2.66	5.2	1.83	41.40	53.60	5.00				53.4		
3.38	3.50	57.48	1.52	61.58	36.97	24.61	0.83	0.17	2.65	5.7	1.75	23.40	71.00	5.60	14.60	1.69				
3.50	3.62	52.85	1.68	65.94	30.25	35.69	0.63	0.37	2.66	5.3	1.41	31.60	67.10	1.30	20.70	1.72				
3.62	3.74	49.36	1.69						2.73	5.0	1.41	33.60	58.70	7.70	25.20					
3.74	3.86	55.78	1.73	52.91	31.04	21.87	1.13	-0.13		5.4										
6.02	6.10	73.80	1.56						2.65		1.96						108.2		1.66	0.66
6.10	6.24	68.02	1.58	58.29	35.85	22.44	1.43	-0.43	2.61	8.2	1.77	43.40	43.00	13.60	32.20	0.7				
6.24	6.36	58.40	1.65	60.99	30.62	30.37	0.91	0.09	2.76		1.65	38.60	39.40	22.00	29.60	1.02				
6.45	6.57	53.40	1.73	48.38	30.36	18.02	1.28	-0.28	2.73	6.4	1.42	68.10	28.70	3.20	38.60					
6.57	6.69	63.00	1.47	57.16	28.09	29.07	1.20	-0.20	2.67	6.8	1.96	67.30	30.20	2.50	43.50	0.67				
6.77	6.85	61.40	1.63						2.63		1.60							65.26		
7.79	7.91	68.28	1.54	56.42	46.20	10.22	2.16	-1.16	2.67		1.91	43.90	54.30	1.80	29.10	0.35				
8.66	8.78	63.78	1.63	51.18	28.66	22.52	1.56	-0.56	2.70	5.4	1.72	39.50	58.80	1.70	0.73					
8.78	8.90	63.89	1.61	50.35	29.09	21.26	1.64	-0.64	2.67	5.2	1.71	44.30	53.90	1.80	34.40	0.62				
8.91	8.99	64.90	1.63						2.68		1.71						78.21		1.04	0.59
8.99	9.13	60.27	1.62	49.88	25.26	24.62	1.42	-0.42	2.64	5.2	1.62	53.20	44.10	2.70	42.80	0.58				
9.13	9.23	64.44		54.43	26.07	28.36	1.35	-0.35	2.64	6.0										
9.26	9.38	69.50	1.66	44.51	27.97	16.54	2.51	-1.51	2.63		1.69	30.80	56.20	13.00						
10.20	10.28	70.50	1.58						2.65		1.86							69.96		
10.28	10.41	87.00	1.53	68.48	36.42	32.06	1.58	-0.58	2.66	7.2	2.26	59.60	38.20	2.20	48.60	0.66				
10.41	10.54	83.85	1.50	89.72	39.88	49.84	0.88	0.12	2.62	6.4	2.21	53.80	43.20	3.00	38.00	1.31				
10.54	10.60	90.60	1.48						2.67		2.44						91.68		1.15	1.12
10.72	10.84	91.63	1.47	78.09	33.50	44.59	1.30	-0.30	2.66	6.9	2.47	61.40	38.00	0.60	45.80	0.97				
10.84	10.96	92.69										69.30	29.20	1.50	50.80	0.88				
11.05	11.20	81.02		76.73	37.02	39.71	1.11	-0.11	2.72	6.9		67.34	31.60	0.89	50.00	0.79				
14.57	14.63	90.75		66.44	39.13	27.31	1.89	-0.89	2.74	6.8		76.05	23.31	0.63	0.45					
14.63	14.75	93.40	1.68	91.96	38.41	53.55	1.03	-0.03	2.61	6.5	2.00									
14.75	14.83	102.90	1.44						2.62		2.71							69.27		
14.83	14.95	91.52	1.47	72.01	26.81	45.20	1.43	-0.43	2.62	5.8	2.41	50.10	44.30	0.89	35.40	1.28				
14.95	15.07	91.56	1.46	80.61	31.60	49.01	1.22	-0.22	2.88	7.7	2.79	64.20	33.00	2.80	51.00	0.96				
15.13	15.25	88.51	1.47	77.43	37.58	39.85	1.28	-0.28	2.79	7.1	2.58	65.60	32.00	2.40	48.20	0.83				
15.25	15.37	87.27	1.49	71.96	38.83	33.13	1.46	-0.46	2.77	7.1	2.48	59.20	37.80	3.00	46.00	0.72				
15.37	15.45	94.60	1.47						2.64		2.51						148.3		1.35	1.39

表1 (つづき)
Table 1 (continued).

春日部コア試料(GS-KBH-2)その2

15.62	15.74	81.02	1.50		43.33				2.70		2.26	47.30	31.90	20.80	35.50	0.2				
16.10	16.16	87.12																		
18.05	18.14	78.85																		
18.33	18.45	80.53	1.50	72.47	39.87	32.60	1.25	-0.25	2.71		2.26	53.30	38.10	8.60	40.70	0.8				
20.65	20.73	83.80	1.51	84.17	42.98	41.19	0.99	0.01	2.76	6.3	2.35	34.50	56.30	9.20	1.90					
20.73	20.85	82.67	1.52	76.44	41.78	34.66	1.18	-0.18	2.52	6.9	2.04	61.40	27.60	11.00	49.10	0.71				
20.85	20.95	98.65	1.45	93.85	51.26	42.59	1.11	-0.11	2.61	8.5	2.58	82.85	16.56	0.59	0.62					
20.98	21.10	87.13	1.44	73.70	42.93	30.77	1.44	-0.44	2.60	8.5	2.40	57.41	33.49	9.10	48.30	0.64				
21.19	21.25	82.42	1.48	75.76	43.24	32.52	1.20	-0.20	2.54	6.9	2.13	52.50	42.08	5.42	34.90	0.93	157.1		1.16	1.09
21.25	21.40	75.48	1.53	82.88	40.62	42.26	0.82	0.18	2.65	6.2	2.05									
26.00	26.09	93.60	1.47						2.63		2.47								98.72	
26.21	26.33	74.58	1.49	81.37	45.02	36.35	0.81	0.19	2.72	6.3	2.20	42.30	48.40	9.30	31.50	1.16				
26.33	26.45	69.70	1.56	73.36	37.93	35.43	0.90	0.10	2.69	5.9	1.94	46.70	39.70	13.60	35.60	1				
26.53	26.65	68.94	1.57	72.71	36.90	35.81	0.89	0.11	2.64	5.5	1.84	36.30	46.70	17.00	27.30	1.31				
26.65	26.77	80.83	1.50	73.57	42.73	30.84	1.24	-0.24	2.66	6.4	2.21	59.90	36.10	4.00	44.50	0.69				
26.79	26.84	88.60	1.49						2.64		2.34						168.1		1.05	0.91
31.12	31.16	46.07	1.68	48.12	31.97	16.15	0.87	0.13	2.61	7.3	1.27						300		1.53	0.82
31.16	31.24	49.92	1.67	51.20	36.06	15.14	0.92	0.08	2.62	7.0	1.36	50.60	47.80	1.60	35.50	0.43		178.9		
31.24	31.36	49.44	1.71	61.10	32.66	28.44	0.59	0.41	2.57	6.2	1.25	43.50	49.40	7.10	30.70	0.93				
31.36	31.48	44.40	1.75	44.76	26.12	18.64	0.98	0.02	2.70	6.8	1.23	40.60	42.60	16.80	32.30	0.58				
31.48	31.60	48.66	1.65	47.16	32.89	14.27	1.11	-0.11	2.69	7.2	1.43	45.80	38.20	16.00	35.80	0.4				
31.60	31.72	50.72	1.72	53.59	32.85	20.74	0.86	0.14	2.73	7.1	1.39	41.10	52.40	6.50	28.70	0.72				
31.72	31.84	52.34	1.68	60.11	33.93	26.18	0.70	0.30	2.67	6.8	1.42	47.10	43.90	9.00	24.30	1.08				
31.84	31.88	52.55			31.68				2.64	9.0		56.40	37.10	6.50	39.90					
32.35	32.47	60.22																		
32.83	32.90	55.26																		
38.00	38.10	59.12		70.88	37.06	33.82	0.65	0.35	2.61	9.2		64.70	34.60	0.70	39.90	0.85				
38.22	38.34	50.02	1.66	55.79	32.22	23.57	0.76	0.24	2.60	8.6	1.35	51.00	47.60	1.40	34.30	0.69				
38.34	38.46	49.70	1.68	58.69	32.94	25.75	0.65	0.35	2.66	7.1	1.36	44.80	44.30	10.90						
38.46	38.58	63.86	1.61	66.87	39.77	27.10	0.89	0.11	2.61	8.5	1.65	60.50	38.60	0.90	43.50	0.62				
38.58	38.66	66.08	1.55	77.84	45.95	31.89	0.63	0.37	2.52	10.9	1.70	68.29	31.26	0.40	0.64			235.2		
38.66	38.70	63.97	1.49						2.54	10.4	1.80	48.92	45.27	5.81			200		0.83	0.52
38.70	38.75	55.10			39.72				2.57	11.1		60.14	39.08	0.79	36.30					

表1 (つづき)
Table 1 (continued).

戸田コア試料(GS-TKT2)

深度(m)		基礎物理量										粒度試験					標準圧密試験			
上端	下端	含水比 (%)	湿潤密度 (初期状態) (g/cm ³)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数 I _p	液性指数 I _L	コンシステンシー指数	土粒子密度 (g/cm ³)	強熱減量 (%)	初期間隙比	粘土分 (%)	シルト分 (%)	砂分 (%)	2μm (%)	活性度	圧密降伏応力 (鉛直)(kPa)	圧密降伏応力 (水平)(kPa)	OCR(V)	圧縮指数
8.16	8.28	37.00	1.79						2.78	3.1	1.13	23.30	0.00	76.70	20.18					
8.28	8.40	37.09	1.70						2.74	3.0	1.22	17.90	7.00	75.10	15.40					
8.64	8.72	40.96	1.77						2.69		1.15	17.50	15.60	66.90	15.40		346			
8.72	8.78	41.46	1.70						2.70	3.9	1.25	30.50	5.90	63.60	26.60		237.5		3.13	0.34
8.78	8.90	45.86	1.74						2.74	3.5	1.29	22.60	19.90	57.50	18.41					
11.60	11.76	36.72	1.76	36.29	23.54	12.75	-1.85	-0.03	2.73	3.6	1.12	21.30	19.20	59.50	16.20	0.79				
11.76	11.88	37.55	1.68						2.72	3.4	1.23	23.10	0.00	76.90	18.50					
11.88	12.00	45.23								3.5										
12.00	12.12	43.83							2.72	4.0										
12.24	12.30	49.16	1.78						2.69	3.0	1.26	30.10	38.60	31.30	20.50		144.1		1.53	0.42
12.30	12.38	52.62	1.69	44.91	27.08	17.83	1.43	-0.43	2.71	3.6	1.45	27.40	27.50	45.10	20.40	0.87		185.5		
12.38	12.50	53.04	1.78	37.23	24.86	12.37	2.28	-1.28	2.73	4.0	1.35	36.80	20.20	43.00	28.80	0.43				
15.49	15.61	61.20	1.62	67.91	32.73	35.18	0.81	0.19	2.68	4.8	1.67	39.20	52.90	7.90	27.06	1.3				
15.73	15.85	73.38	1.54	70.06	40.06	30.00	1.11	-0.11	2.85	6.2	2.20	55.80	36.70	7.50	40.60	0.74				
15.85	15.93	71.45	1.57	72.31	38.74	33.57	0.97	0.03	2.72	6.4	1.97	48.90	44.30	6.80	33.40	0		94		
15.93	15.98	81.00	1.59	69.48	38.06	31.42	1.37	-0.37	2.73	6.6	2.12	58.80	33.10	8.10	45.70	0.017943	147.3		1.33	0.82
15.98	16.10	79.34	1.53	79.00	35.17	43.83	1.01	-0.01	2.70	6.6	2.16	46.40	47.80	5.80	31.00	1.41				
18.80	18.92	53.07	1.76	46.13	25.88	20.25	1.34	-0.34	2.69	4.5	1.34	33.90	48.60	17.50	23.62	0.86				
18.92	18.98	47.10	1.74	43.16	26.89	16.27	1.24	-0.24	2.68	3.8	1.26	31.30	39.00	29.70	23.21		292.3		2.32	0.47
18.98	19.06	48.21	1.67	46.88	27.96	18.92	1.07	-0.07	2.67	4.4	1.37	29.20	41.70	29.10	21.40	0.88		227		
19.06	19.18	52.84	1.73	48.79	28.97	19.82	1.20	-0.20	2.72	4.7	1.41	43.20	39.30	17.50	34.40	0.58				
19.30	19.42	47.98	1.73	44.30	26.56	17.74	1.21	-0.21	2.69	3.8	1.30	30.00	31.30	38.70	22.60	0.79				
21.45	21.56	48.68		52.43	27.55	24.88	0.85	0.15		4.6										
21.56	21.68	40.21	1.77	41.01	25.24	15.77	0.95	0.05	2.59	3.9	1.04				19.90	0.79				
21.80	21.92	50.39	1.73	46.84	25.46	21.38	1.17	-0.17	2.68	5.0	1.34	37.00	53.40	9.60	32.20	0.66				
21.92	22.04	42.59	1.77	42.35	25.24	17.11	1.01	-0.01	2.69	4.3	1.16	32.00	45.00	23.00	23.05	0.74				
22.04	22.12	41.59	1.74	42.46	25.91	16.55	0.95	0.05	2.78	4.3	1.25	35.60	25.30	39.10	30.10	0.549834		204.1		
22.12	22.18	37.39	1.77	37.43	21.84	15.59	1.00	0.00	2.74	3.6	1.13	31.00	19.80	49.20	23.90	0.652301	327.1		2.30	0.36
22.18	22.30	50.44	1.71	52.85	28.55	24.30	0.90	0.10	2.78	4.7	1.45									
22.00	23.00	46.74		52.70	27.40	25.30	0.76	0.24	2.74	4.4		38.90	37.50	23.60	28.00	0.9				
23.00	24.00	45.94		49.55	30.19	19.36	0.81	0.19	2.74	4.8		35.20	40.70	24.10	25.51	0.76				
24.00	25.00	37.96		44.59	29.50	15.09	0.56	0.44	2.70	4.8		30.90	52.90	16.20	22.70	0.66				
25.00	26.00	42.51		50.98	30.20	20.78	0.59	0.41	2.67	5.2		36.90	57.20	5.90	24.70	0.84				
26.00	27.00	46.57		58.00	31.92	26.08	0.56	0.44	2.68	5.9		53.00	44.10	2.90	30.60	0.85				
27.00	28.00	45.36		62.09	34.52	27.57	0.39	0.61	2.65	6.2		47.50	45.90	6.60	27.40	1.01				
28.00	29.00	24.17							2.74	2.6		15.10	14.60	70.30	11.40					
35.00	36.00	32.25		36.03	19.25	16.78	0.77	0.23	2.70	4.1										
36.00	37.00	35.13		42.75	27.04	15.71	0.51	0.49	2.70	4.8		40.10	55.70	4.20	24.31	0.65				
37.00	38.00	32.94		43.37	23.77	19.60	0.47	0.53	2.72	4.9		41.00	45.80	13.20	23.82	0.82				

表1 (つづき)
Table 1 (continued).

亀戸コア試料(GS-TKK-1)

深度(m)		基礎物理量										粒度試験					標準圧密試験			
上端	下端	含水比 (%)	湿潤密度 (初期状態) (g/cm ³)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数 I _p	液性指数 I _L	コンシス テンシー 指数	土粒子密度 (g/cm ³)	強熱減量 (%)	初期間隙比	粘土分 (%)	シルト分 (%)	砂分 (%)	2μm (%)	活性度	圧密降伏応力 (鉛直)(kPa)	圧密降伏応力 (水平)(kPa)	OCR(V)	圧縮指数
8.80	8.93																			
8.93	9.05	49.81	1.71	40.94	36.17	4.77	2.86	-1.86	2.74		1.40	39.80	54.50	5.70	30.60	0.16				
9.05	9.17																			
9.17	9.29	51.38	1.71	43.58	33.23	10.35	1.75	-0.75	2.71		1.39	36.40	58.20	5.40	26.70	0.39				
9.29	9.37																			
9.37	9.43	48.89	1.69						2.71		1.39						128.8		1.72	0.43
11.60	11.72	39.80	1.78	36.29	26.05	10.24	1.34	-0.34	2.72		1.13	30.10	38.00	31.90	24.70	0.41				
11.72	11.84																			
11.84	11.92	41.91	1.69						2.71		1.28						144.9		1.61	0.34
11.92	11.98	43.27	1.88						2.73		1.08						108.2		1.20	0.32
11.98	12.11	41.92	1.78	33.03	26.15	6.88	2.29	-1.29	2.71		1.17	26.20	43.90	29.90	21.00	0.33				
16.77	16.89	59.26	1.61	50.42	36.37	14.05	1.63	-0.63	2.63		1.60									
16.89	17.01	58.45	1.64	46.50	29.86	16.64	1.72	-0.72	2.73		1.63	38.30	51.90	9.80	31.60	0.53				
17.01	17.13	61.45	1.60	50.80	30.17	20.63	1.52	-0.52	2.78		1.81	36.20	59.90	3.90	26.50	0.777				
17.13	17.21	58.53	1.50						2.66		1.82									
17.21	17.27	62.27	1.64						2.69		1.66						150.7		1.26	0.63
17.27	17.40	63.33	1.59	50.79	37.97	12.82	1.98	-0.98	2.71		1.78	38.30	58.00	3.70	28.10	0.46				
21.38	21.50	72.03	1.56	61.15	39.76	21.39	1.51	-0.51	2.71		1.99	59.10	38.00	2.90	43.20	0.5				
21.50	21.58																166.7		1.19	0.73
21.58	21.64	67.48	1.59						2.65		1.78									
21.64	21.77	71.13	1.57	51.72	42.06	9.66	3.01	-2.01	2.76		2.01	50.40	45.80	3.80	36.40	0.27				
26.65	26.73	81.82	1.54						2.59		2.06						309.2		1.93	1.03
26.73	26.79	80.35	1.55						2.68		2.12						314.5		1.97	1.07
27.00	27.12	81.05	1.49	66.04	52.50	13.54	2.11	-1.11	2.68		2.26	65.70	34.10	0.20	50.60	0.27				
27.25	27.33	85.71	1.47	82.59	45.23	37.36	1.08	-0.08												
27.33	27.45	83.96	1.464	71.69	50.79	20.9	1.59	-0.59	2.75		2.46	70.50	28.70	0.80	49.2	0.42				