

浦安市における各種静的サウンディング試験の比較(その8: SPS と沖積粘土の土質特性)

サンプリング, 沖積粘土, 土質特性

大阪市立大学大学院

○国 大島昭彦 学 鈴木達也 学 氏家彰大

基礎地盤コンサルタンツ(株)

正 和田昌大 正 久保田耕司 笹尾憲一

大和ハウス工業(株)

正 平田茂良

ソイルアンドロックエンジニアリング(株)

国 吉村 貢

1. まえがき

2011 年 11 月に実施した浦安市高洲 8 丁目での地盤調査の一斉試験は, 液状化の原因を探るために, 主として深度約 16m までの埋立層と沖積砂層を対象に行ったが, その下には深度 31~32m まで層厚 16m ほどの沖積粘土層が堆積する。この沖積粘土層の性状がその上の埋立層と沖積砂層の液状化挙動に影響すると考えられたため, 沖積粘土層を連続サンプリングし, その土質特性の詳細を調べることにした。

筆者らは, 比較的軟らかい粘土のサンプリング方法として一般に用いられる「水圧式サンプラー」を用いて, 定流量ポンプで清水をサンプラーに送り, サンプリング時における水圧と流量速度を測定することによって, サンプリングとサウンディングを同時に行う新しい地盤調査法 (Sampling Sounding : SPS) の開発を行っている^{1)~4)}。本稿では, この SPS の結果と浦安沖積粘土層の土質特性の詳細を報告する。

2. SPS 試験の結果

調査場所は, 文献 5) に示した地点 3 の標準貫入試験 (SPT) 位置の 1m 離れの位置である。SPS 試験は沖積粘土層を対象に深度 15m から 31.2m まで 18 本行った (最上部の砂層, 最下部の硬質粘土層を含む)。サンプリング時 (採取長は約 90cm) に測定した水圧と流量速度から貫入抵抗 q_p と貫入量を算出し, q_p の深度分布を求めた。SPS 試験の方法と結果の整理方法の詳細は文献 1)~4) を参照されたい。

図-1 に 18 本の貫入抵抗 q_p の深度分布を示す。ただし, q_p は土質変化などによって増減が激しい場合があるので, 各ケースの q_p を積分して貫入量で除して平均化した代表貫入抵抗 q_p^* を●で図中に示している。 q_p^* は深度方向に増加しているが, 深度 24m 以深では減少して, 特に 26m~30m の q_p および q_p^* はかなり小さい。この原因については後述するが, 参考のために, 図-2, 3 にそれぞれ大型動的コーン貫入試験 (SRS) の N_d 値⁶⁾, RI-CPT の周面摩擦抵抗 f_s ⁷⁾ の深度分布 (沖積粘土層部の結果) を示す。両者ともやはり 26m 以深で小さくなる傾向が見られる。なお, 31m 以深は非海成の硬質粘土である。

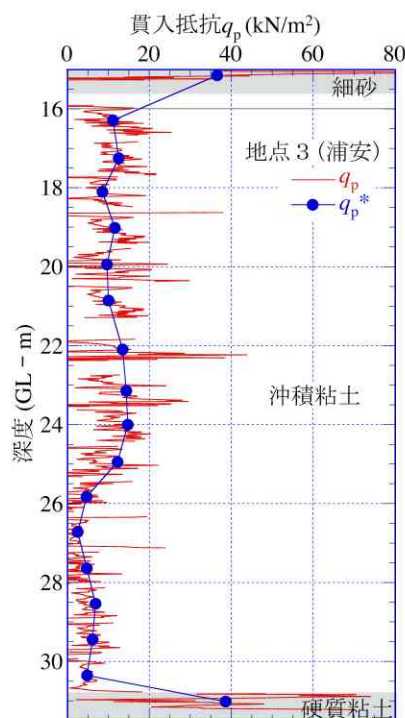


図-1 SPS 試験の貫入抵抗 q_p の深度分布

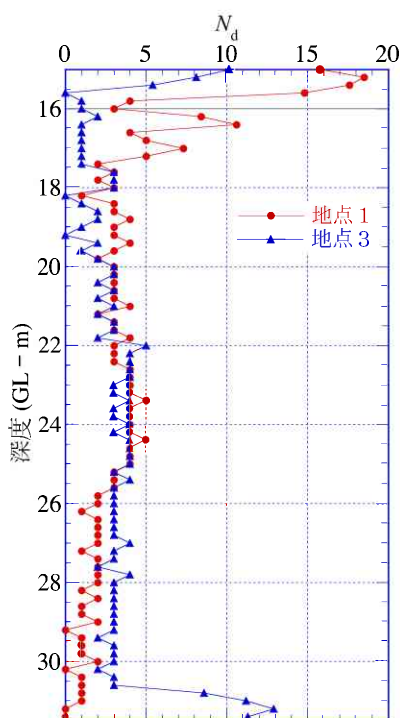


図-2 SRS 試験の N_d 値の深度分布

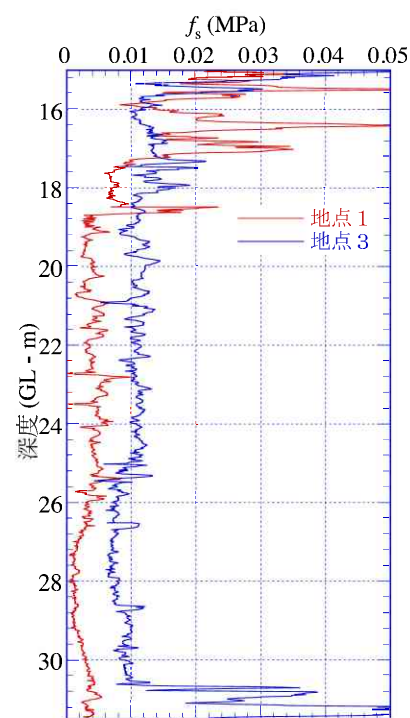


図-3 RI-CPT 試験の f_s 値の深度分布

Comparison of Various Static Sounding Tests in Urayasu City (Part 8: SPS and Geotechnical Characteristics of Holocene Clay)
Oshima Akihiko, Suzuki Tatsuya and Ujiie Akihiro (Osaka City University), Kubota Kouji, Wada Masao and Sasao Kenichi (Kiso-Jiban Consultants), Hirata Shigeyoshi (Daiwa House Industry), Yoshimura Mitsugu (Soil and Rock Engineering)

3. 沖積粘土層の土質試験結果

図-4 に連続サンプリングした試料による物理・化学試験結果を示す。図(1)の自然含水比 w_n 、液性限界 w_L 、塑性限界 w_p から、全体的に中央部で塑性が高く、上・下部で塑性が低い分布形状が見られ、海進・海退の堆積環境の変化を受けていると考えられるが、細かく見ると弓形形状が4パターンほど繰り返されていることがわかる。全体に $w_n > w_L$ で鋭敏性が高く、特に26m以深は超鋭敏性を示すことがわかる。それは図(2)の液性指数 I_L から明らかで、26m以深の I_L は2~2.5を示している。図(3)の土粒子密度 ρ_s は平均的に2.65程度を示す。20m付近でやや小さいのは、火山灰混入の影響と推定している。図(4)の粘土含有率は w_L の分布と調和している。また、26m以深はやや砂分の混入が大きい。図(5)の塑性図から、全て深度でシルト (ML~MH) に分類される。これは関東特有のローム系土粒子によるものと推定される。一方、図(6)のpHは上部で8程度を示し、深度方向に増加している。特に深度26m以深では9.5を超え、アルカリ度が高い。図(7)の電気伝導率はpHとは逆に深度方向に減少し、深度26m以深では50未満となる。このpHと電気伝導率の性状と鋭敏性が関連しそうに思われるが、それについては現在、他の地域の粘土を含めて検討中である。

図-5 に力学試験結果を示す。図(1)の圧縮指数 C_c は図-4(1)の w_L 分布形状と調和しており、両者の相関性が高いことがわかる。図(2)の圧密係数 c_c は中央部で大きく、上・下部で小さい分布形状となり、 w_L 、 C_c と逆の相関性があることがわかる。図(3)の圧密降伏応力 p_c から、この粘土層はほぼ正規圧密、ないしわずかに過圧密状態にあることがわかる。図(4)の一軸圧縮強さ q_u からほぼ正規圧密状態である（荷重増加率 $s_u/p=1/3$ と仮定すると、 $q_u/2 \times 3$ は p_c 相当となる）ことがわかる。図には繰り返し一軸圧縮強さ q_{ur} も示したが、26m~30mでは繰り返すとトロトロの液体状になり、全く自立しなかった。

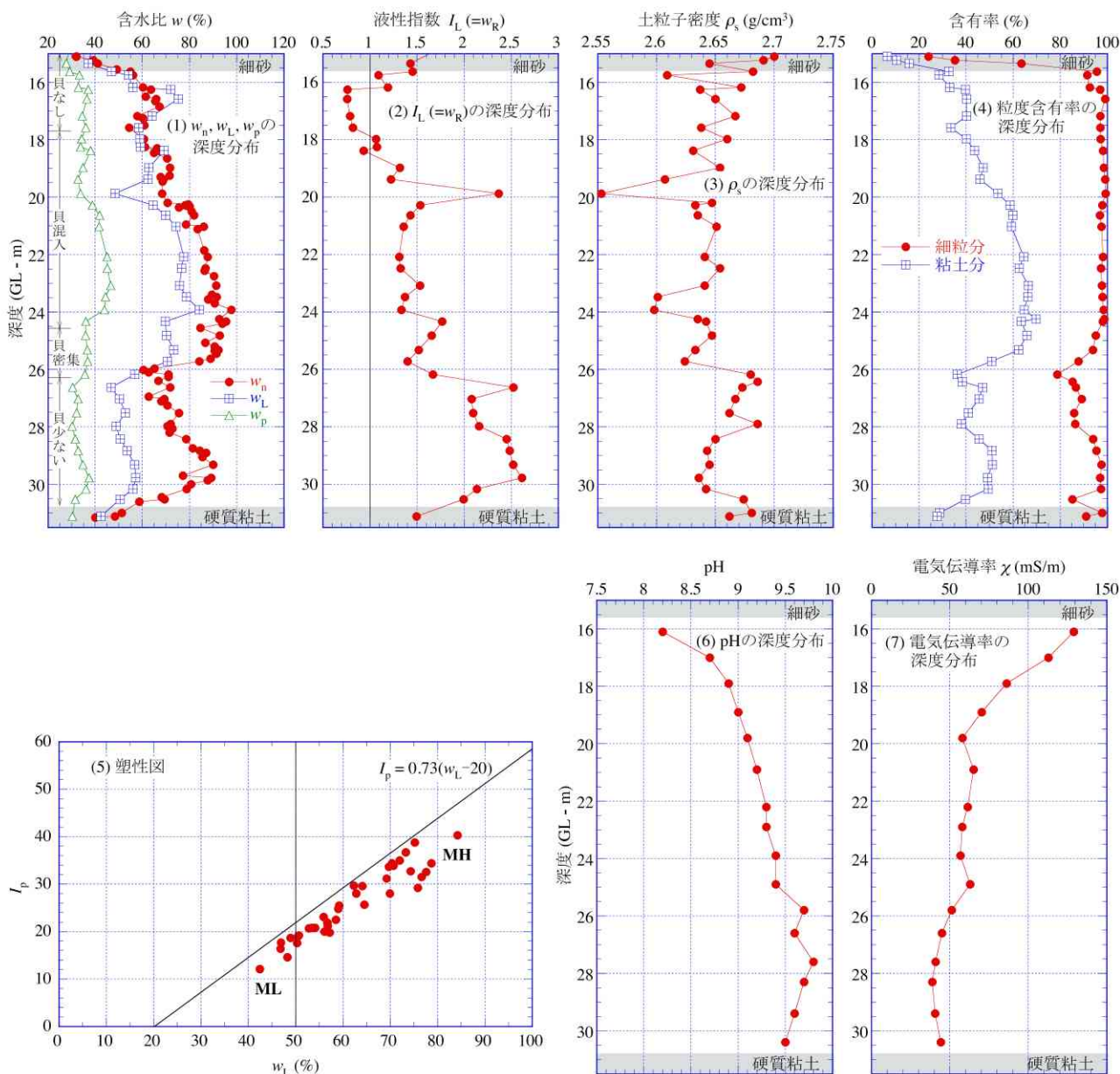
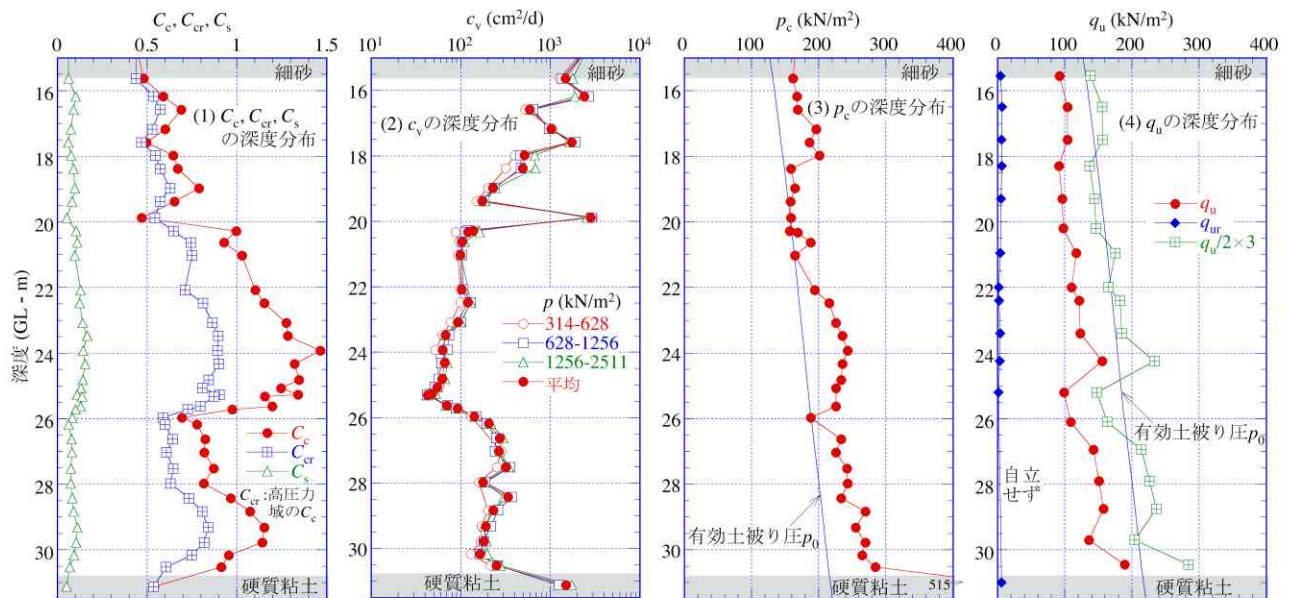


図-4 浦安市高洲8丁目の沖積粘土層の物理・化学性質



この鋭敏性の高さを状態図（液性指数 I_L と非排水せん断強さ $q_u/2$ の関係）として図(5)に示す。ただし、今回の粘土の I_L は、通常の状態図の I_L の範囲 ($I_L=0\sim1.6$) を超えるので、図(6)に $I_L=1\sim2.6$ の範囲として示した。やはり I_L が 2 を超える 26m 以深の粘土は超鋭敏で、鋭敏比が 100 を優に超えることがわかる。なお、●でプロットした練返し強度はやや過大な値となっている。

以上から、図-1 に示した SPS 試験の 26m～30m の q_p および q_p^* がかなり小さくなった原因は、サンプリングチューブの貫入に伴い、その周囲の超鋭敏な粘土が練り返されて、周面摩擦力が減少したことによると考えられる（ただし、サンプリングされた試料の乱れが大きいわけではない）。同様に、図-2, 3 の SRS 試験の N_d 値や RI-CPT 試験の f_s 値が 26m 以深で小さくなったのも超鋭敏な粘土が打撃または貫入によって練り返され、抵抗が小さくなったためと考えられる。

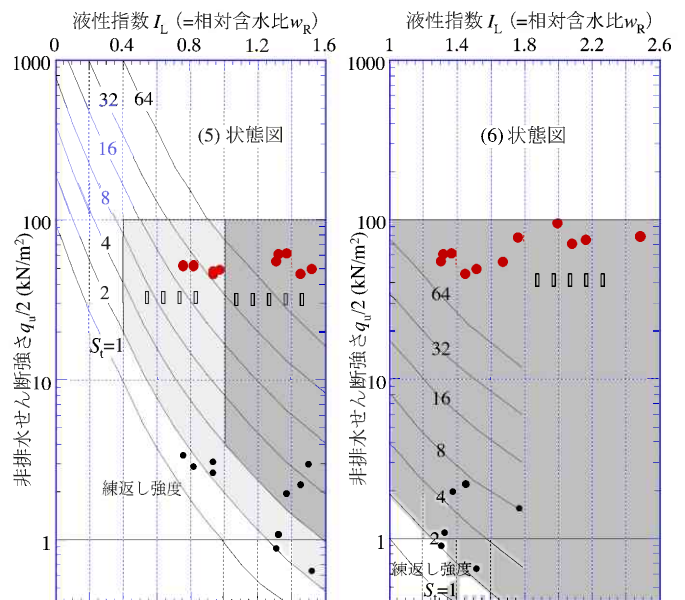


図-5 浦安市高洲 8 丁目の沖積粘土層の力学性質

4. 鋭敏粘土層の分布域

これまでに、内陸の埼玉県中川低地で超鋭敏粘土が存在することは報告されていた⁸⁾が、東京湾に面した浦安市で超鋭敏粘土が現れるということはどうやら知られていなかったようである。しかし、文献 9) に浦安市周辺の既存のボーリングデータがまとめられていた（1974 年までのデータなので、埋立前の調査が多い）。これに記載された全ての w_L , w_p , w_n から求めた液性指数 I_L の深度分布を図-6 に示す。やはり I_L が高い粘土が存在することがわかる。さらに、各地点で、●：深度方向に全て $I_L > 1$ 、●：深度方向に 1 点以上 $I_L > 1$ 有り、●：深度方向に全て $I_L < 1$ として、 I_L の平面分布を図-7 に示す。局所的に I_L が高いところがあることがわかる。この I_L が高い分布と液状化被害が発生した分布とは関連すると考えられる。

5. あとがき

浦安市高洲 8 丁目で採取した沖積粘土層 (GL-16m～-31m) は超鋭敏な粘土であること、それがサウンディング試験結果に影響していることがわかった。一方、浦安市内では沖積層基底面が GL-60m～-70m となるオボレ谷地形が多数見られる。この沖積粘土層の超鋭敏性と層厚分布が地震動を増幅し、上部の埋立層・沖積砂層の液状化発生に影響した（仮説）と考えられるので、今後、この超鋭敏粘土層の分布域と地震動へ与える影響について調べる必要があると考えている。

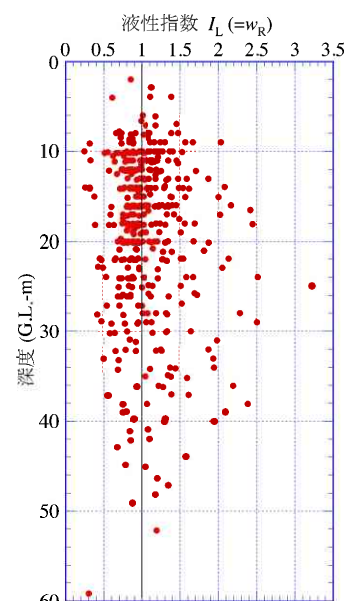


図-6 浦安市周辺の沖積粘土層の液性指数 I_L の深度分布

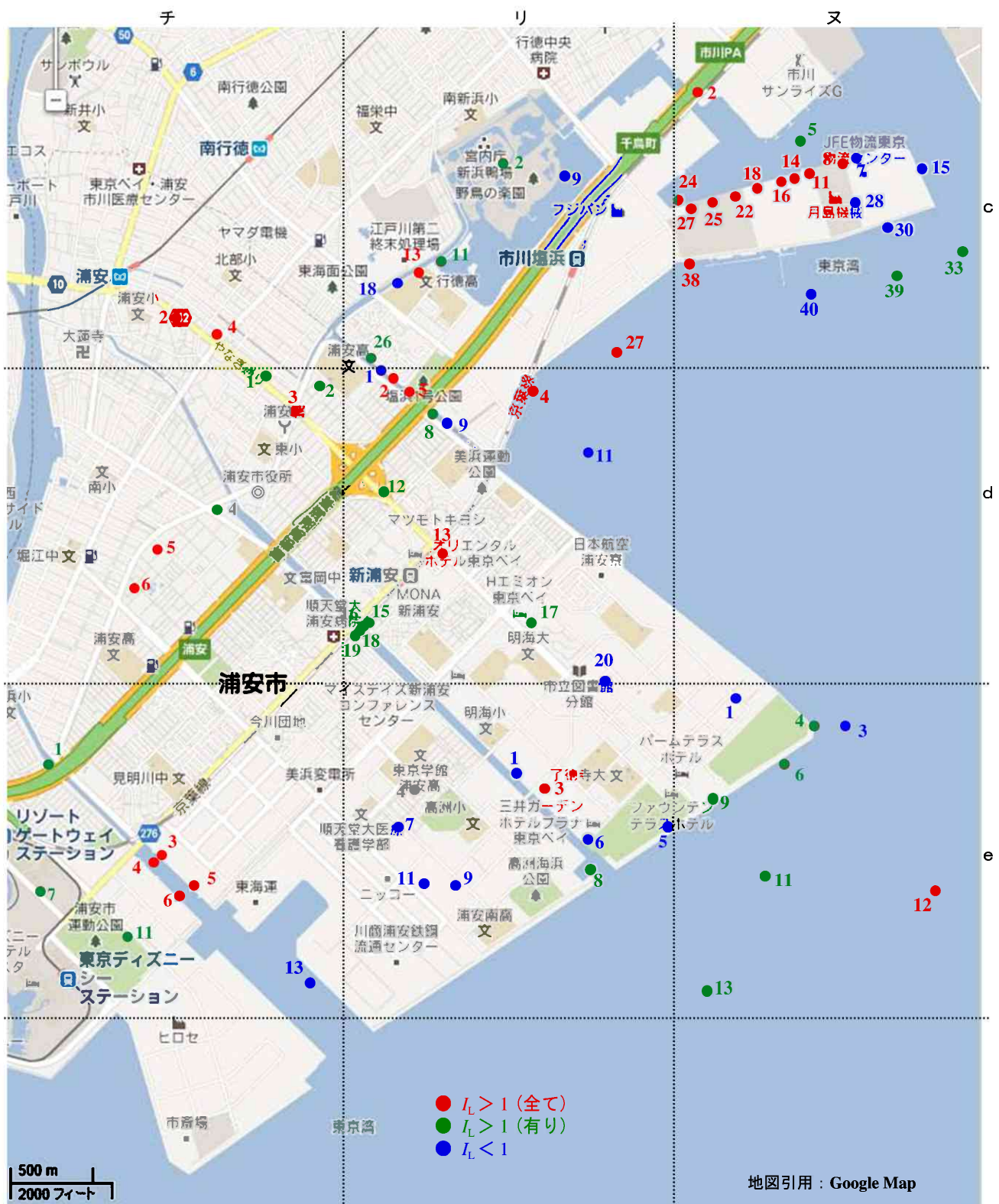


図-7 浦安市周辺の沖積粘土層の液性指数 I_L の平面分布

参考文献

- 1) 大島, 他: 水圧式サンプラーを用いたサウンディング試験結果の整理方法, 第46回地盤工学研究発表会, No.40, 2011.
- 2) 大島, 他: 水圧式サンプラーを用いたサウンディング試験と他の試験の比較, 第46回地盤工学研究発表会, No.41, 2011.
- 3) 鈴木, 他: 水圧式サンプラーを用いたサウンディング試験の貫入抵抗と他試験との比較, 土木学会第66回年次学術講演会, III-356, 2011.
- 4) 鈴木, 他: 水圧式サンプラーを用いたサンプリング・サウンディング試験の開発と測定例, 第47回地盤工学研究発表会, No.100, 2012.
- 5) 大島, 他: 浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その1: 調査概要), 第47回地盤工学研究発表会, No.67, 2012.
- 6) 平田, 他: 浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その2: SRS), 第47回地盤工学研究発表会, No.68, 2012.
- 7) 吉村, 他: 浦安市における各種静的サウンディング試験の比較(その1: RI-CPT), 第47回地盤工学研究発表会, No.76, 2012.
- 8) 赤間, 他: 中川低地における超軟弱地盤の地質・土質特性と関東大地震, 第43回地盤工学研究発表会, No.1106, 2008.
- 9) 千葉県開発庁臨海開発局: 内湾臨海部土質調査資料集(I) A区域(浦安～船橋), 1974.