

夢洲 2 区（万博用地）の浚渫粘土層の地盤特性と圧密沈下予測

大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 大島昭彦

1. 研究の背景と目的

1977年に埋立が開始された人工島である夢洲（大阪市此花区，390ha）は，大阪・関西万博や統合型リゾート（IR）の用地として開発される予定にある。しかし，夢洲は浚渫粘土，建設発生土および廃棄物の処分場として埋め立てられたので，極めて複雑な地盤構造となっており，例えば，浚渫粘土層の不均質性と短期的な沈下，沖積粘土層や洪積粘土層の長期的な沈下は今後の構造物の設計・施工に大きく影響する。本研究は対象を夢洲 2 区（万博用地）の浚渫粘土層に絞り，2025 年 4 月からの万博が無事に開催できるように，浚渫粘土層の地盤特性（層厚，物理・圧密特性など）を調べ，それを基に圧密沈下予測を行い，万博構造物に不同沈下が生じない対策を提案することを目的としている。

一般に，浚渫粘土層は高含水比の状態ではポンプ圧送されて排砂管から投入されるため，排砂管近傍に粗粒土が，遠方に細粒土が貯まりやすく，場所によって粘土の物性が異なる不均質な状態となる。また，超軟弱で層厚が大きいので，長時間にわたって大きな沈下が生じる。そこで夢洲 2 区では，その圧密促進のために約 17 万本の PBD（プラスチックボードドレーン，水抜きのための排水材）が打設された。2022 年 3 月現在，最終的な盛土施工が行われており，1 年の圧密放置期間を経て，2023 年 4 月からパビリオンを含む万博構造物の建設が始まる状態にある。本研究では万博構造物の不同沈下を課題とし，浚渫粘土層の地盤調査・土質試験に基づく圧密沈下予測によって将来の沈下性状を求める。また，同時に PBD 打設時の油圧抵抗を基に三次元的な地盤特性（強度特性，圧密特性）も求める。

2. 夢洲 2 区浚渫粘土層の土質特性

図-1 に夢洲全体の区分けを示す。万博用に土地造成工事を行っているのが 2 区の赤破線の内の約 30ha である。2 区は図-2 に示すように，第 1，第 2，第 3 の 3 つの工区に分かれている。この 2 区の地盤の沈下性状を把握するために，大阪港湾局の発注で層別沈下計を各工区内の①，②，③地点に設置する工事と地盤調査が 2021 年 6～8 月に行われた。その際に①，②，③地点で浚渫粘土層の乱れの少ない試料のサンプリングが行われ，その試料を用いて土質試験を行って詳細な土質特性を調べた。なお，サンプリング時点では浚渫粘土層の表層 1.5m が表層混合処理，その上に敷砂・盛砂 1m が行われている。なお，図-2 内の 1-1～3-12 は地表面沈下測点（後述）である。

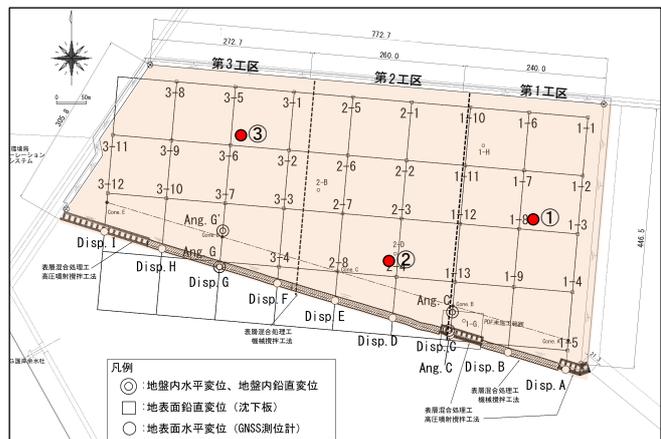


図-1 夢洲全体の区分け

図-2 夢洲 2 区土地造成地内のサンプリング位置

図-3~5 にそれぞれ①, ②, ③地点の(1)自然含水比 w_n , 液性限界 w_L , 塑性限界 w_p , (2)粒度含有率, (3)圧縮指数 C_c , (4)圧密係数 c_v , (5)圧密降伏応力 p_c と一面定体積せん断強さ s_u の深度分布, 図-6 に各地点の圧縮曲線を $\log f$ - $\log p$ 曲線¹⁾として示す。

各図(1)の w_n , w_L , w_p から, ①地点では粘土層の w_L の変化が大きく不均質な状態にあり, 標高 DL-1m, DL-6.5m, DL-10.5m 前後の w_n , w_L は低い。平均的には $w_L=90\%$ 前後, $w_n=70\%$ 前後となっている。②地点では比較的均質な粘土であるが, DL-0.5m 前後のみ w_n , w_L は低い。平均的には $w_L=90\%$, $w_n=80\%$ 程度となっている。③地点は最も均質な粘土であり, 他の地点よりも塑性が高い。全体に $w_L=100\%$ 前後, w_n は 90~60% で深度方向に減少している。ただし, DL-13m 付近の w_n , w_L は低い。

各図(2)の粒度含有率から, 図(1)で w_n , w_L が低かった標高では細粒分含有率が小さく, 砂分が混入している。それ以外では 100%に近い。粘土分含有率は w_L と調和している。浚渫粘土層の砂分混入による不均質性は排砂管からの距離によると考えられる。

各図(3)の C_c は, 各地点とも w_L と相似な分布を示しており, 砂分が混入している標高では C_c が小さい。図中に示した C_{cr} は高圧力域の値で, C_c と C_{cr} の差は粘土の構造発達程度を表すが, 浚渫粘土層では堆積時間が短いので, 構造発達があまり見られない。

各図(4)の c_v (正規圧密域の値) は, 各地点とも w_L と逆相似な分布を示しており, 砂分が混入している標高では c_v は大きい, それ以外では $50\text{cm}^2/\text{d}$ 程度の値を示している。特に③地点の c_v はほぼ一定である。

各図(5)の p_c は, 調査時点の有効土被り圧 p_0 ^{注)}と対比しているが, ①地点では正規圧密か, やや未圧密状態にある。DL-3m 付近は試料に乱れがあった(既設の PBD に当たったもよう)ため p_c は小さい。②地点の p_c は弓形分布で, 一次元圧密状態での未圧密の分布となっている。これは, ②地点がかつての計測槽 2-D (地下水位低下井戸と層別沈下計測兼用)位置に近く, PBD が未打設であったためと考えられる。③地点は全体にやや未圧密にある。 p_c と p_0 の差が深度方向に一定(約 30kN/m^2)となっていることから, PBD の鉛直排水工が効いた分布と解釈できる。なお, 各図(5)には p_c で圧密した一面定体積せん断強さ s_u も示した。座標軸を p_c の 1/3 としているので ($s_u/p=1/3$ と仮定して), p_c と同様な深度分布となっている。

注) ここでの p_0 は, ①, ②, ③地点の盛土部の地下水位 DL+7.28, +7.32, +6.74m (実測値) に対して, 敷砂層の地下水位を DL+2.0m (実測値) に固定して, 水位差による有効応力増分を粘土層内に比例配分して求めている。

図-6 の圧縮曲線は, ①, ②地点で不均質性が, ③地点で均質性が表れている。粘土の深度方向の塑性変化に応じて圧縮曲線の位置が上下している。図内に後述の圧密計算に用いた $\log f$ - $\log p$ 式を書き入れた。

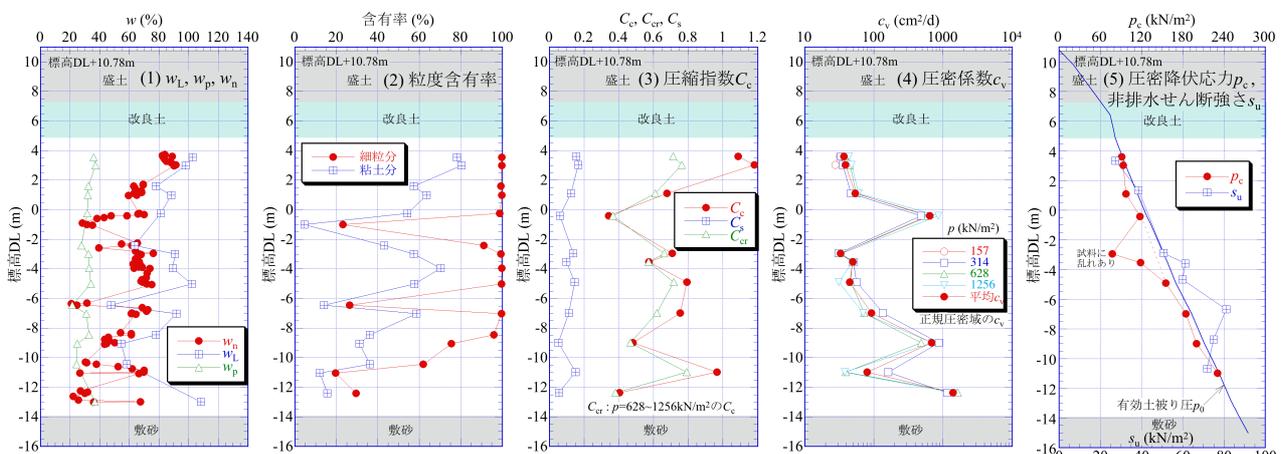


図-3 夢洲 2 区①地点の浚渫粘土層の土質特性

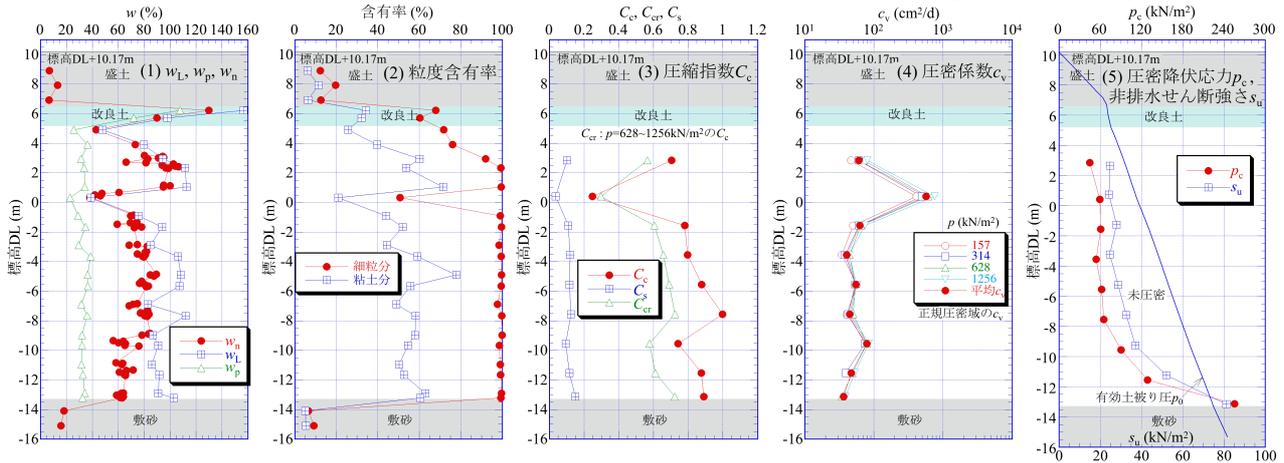


図-4 夢洲 2 区②地点の浚渫粘土層の土質特性

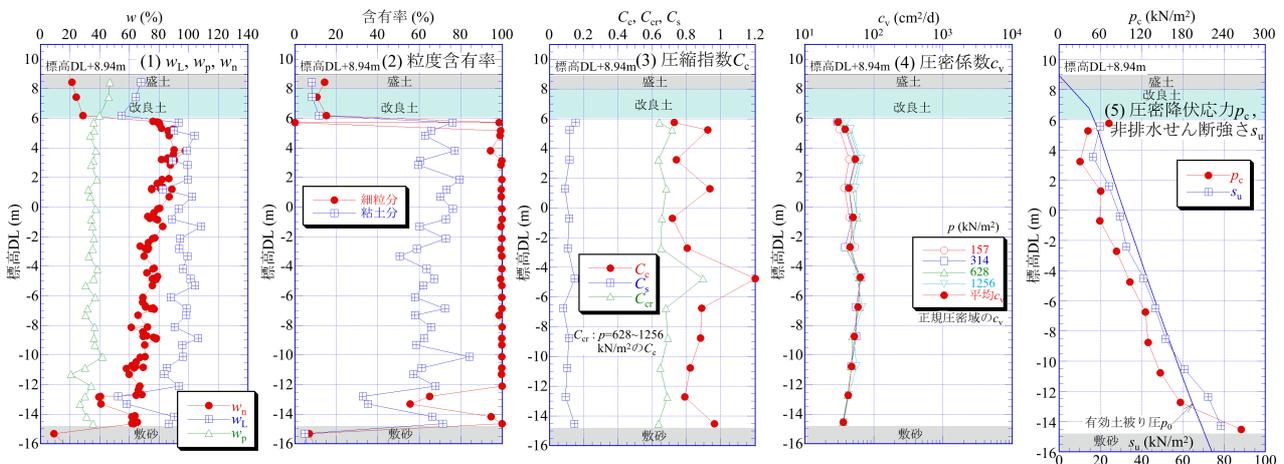


図-5 夢洲 2 区③地点の浚渫粘土層の土質特性

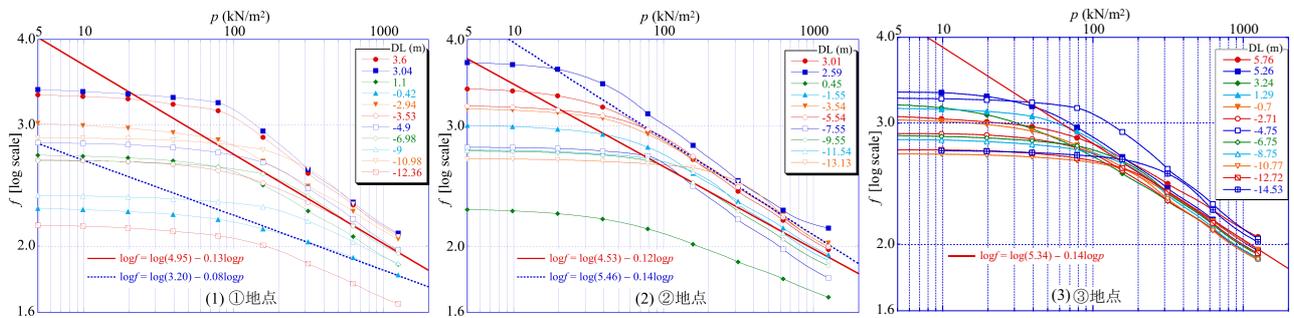


図-6 夢洲 2 区の浚渫粘土層の圧縮曲線 (log-f-log-p 曲線)

3. 夢洲 2 区の圧密沈下予測

3.1 夢洲 2 区土地造成の概要

夢洲の埋立は 1977 年から始められ、旧海底面の沖積粘土層に敷砂、サンドドレーン施工後、浚渫粘土投入に応じて敷砂層に設置した排水井戸によって地下水位低下工法を併用した圧密促進が行われた（2 区では 1992～2002 年頃まで）。表-1 に今回対象とする夢洲 2 区土地造成の工程表を示す。1987～2002 年に一次浚渫粘土が投入され、2003 年に処分地の減容化のため、水面上から PBD が打設され（PDF 工法）、2004～2018 年に二次浚渫粘土が投入された。その後、2019 年から浚渫粘土層上部 1.5m が表層混合処理され、敷砂 0.5m と盛砂 0.5m 施工後、2020 年 10 月から 2021 年 4 月まで一次、二次浚渫粘土層を通して再度 PBD が打設され、2022 年 3 月まで盛土による土地造成がなされた。今後、2023 年 3 月まで 1 年間の圧密放置期

間を経て、2023年4月から2025年3月まで万博パビリオンなどの建設工事が始まる予定にある。

表-1 夢洲2区土地造成の工程表

| 年(西暦) | 1987 | 1988 | 1989 |)) | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |)) | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | |
|---------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 年(和暦) | S62 | S63 | H1 | | H13 | H14 | H15 | H16 | | H29 | H30 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | |
| 一次浚渫粘土 | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| PDF打設 | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 二次浚渫粘土 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 表層混合処理 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | |
| 敷砂・盛砂 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | |
| PBD打設 | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| 盛土造成 | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | |
| 圧密放置期間 | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | |
| パビリオン建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |

万博開催

3.2 ③地点の浚渫粘土層の埋立状況の再現計算

地盤調査時点以降の圧密沈下予測を行うに当たって、過去の浚渫粘土層の埋立の投入状況を再現する必要がある。具体的な浚渫粘土の投入量・投入時期の記録はなかったが、③地点近傍では表-2、図-7の■線で示す一次、二次浚渫粘土の埋立履歴となる泥面標高の経時変化が測定されていた。そこで、この泥面標高の経時変化を圧密計算によって再現することにした。

表-2の左半分に、浚渫粘土層の投入年月日、経過日数と泥面標高の実測値を示す。経過日数は浚渫粘土の投入を開始した1987年11月29日を0としている。表の太字(橙の網掛け)で示している浚渫粘土投入直前の実測値に合うように、粘土の投入段階ごとの投入層厚を繰返し計算で求めた。その結果を表-2の右半分に示す。図-7の■線で標高が増加しているのは投入期間、標高が減少しているのは放置期間として、一次浚渫粘土を6段階、二次浚渫粘土を3段階で投入とした。ただし、浚渫粘土投入と同時に、浚渫粘土の自重圧密と沖積粘土Ma13層以深(洪積粘土層を含む)の沈下が始まるので、泥面標高は浚渫粘土の投入分に加えて浚渫粘土とMa13層以深の沈下を考慮する必要がある。Ma13層以深の沈下は③地点近傍の観測台Bの図-8に示す実測値があるので、それを加えたのが図-7の橙線である。さらに浚渫粘土層の沈下量を加えたのが図-1の◆線で示す浚渫粘土の投入標高となる。

さらに、先に述べたように、現地では浚渫粘土層下の敷砂層に設置した排水井戸によって地下水位低下も行っている。2区内の堤内水位(浚渫粘土層上面水位)と敷砂層水位は図-9に示す測定が行われている

表-2 浚渫粘土の泥面標高の実測値と計算値

| 浚渫粘土投入回数 | 年月日 | 経過日数(day) | 実測値 DL (m) | 投入層厚 (m) | 計算値 DL (m) | |
|----------|-----------|------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 一次浚渫粘土 | 1 | 1987/11/29 | 0 | -7.46 | 14.5 | -7.46 |
| | | 1990/4/20 | 873 | 1.96 | | 2.27 |
| | 2 | 1991/8/26 | 1366 | 0.77 | 2.2 | 0.72 |
| | | 1992/3/2 | 1555 | 1.85 | | 1.88 |
| | 3 | 1992/9/24 | 1761 | 1.26 | 9.6 | 1.22 |
| | | 1995/5/23 | 2732 | 5.81 | | 5.38 |
| | 4 | 1995/11/15 | 2908 | 4.66 | 5.0 | 4.60 |
| | | 1996/9/11 | 3209 | 7.96 | | 7.87 |
| | 5 | 1997/9/13 | 3576 | 6.60 | 4.1 | 6.61 |
| | | 1998/5/21 | 3826 | 8.85 | | 9.32 |
| | 6 | 2000/11/10 | 4730 | 7.12 | 6.4 | 7.10 |
| | | 2001/11/14 | 5099 | 11.24 | | 11.24 |
| PDF施工 | 2003/7/1 | 5693 | 10.47 | | 10.46 | |
| 二次浚渫粘土 | 7 | 2003/11/14 | 5829 | 9.69 | 5.8 | 8.95 |
| | | 2007/1/17 | 6989 | 6.54 | | 6.52 |
| | 8 | 2007/1/17 | 6989 | 6.54 | 6.6 | 6.52 |
| | | 2009/7/23 | 7907 | 9.11 | | 9.38 |
| | 9 | 2012/12/6 | 9139 | 7.78 | 2.9 | 7.77 |
| 2014/9/2 | | 9774 | 8.64 | 9.12 | | |
| | 2019/2/18 | 11404 | 8.00 | | 8.02 | |

一次Σ41.8m, 二次Σ15.3m, 合計57.1m

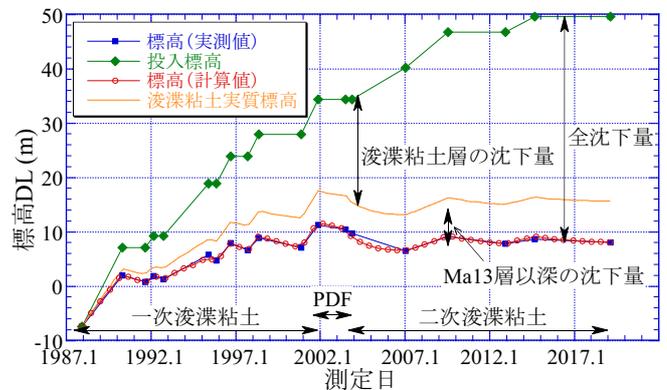


図-7 ③地点近傍での泥面標高の経時変化

ので、この水位差による有効応力増分を圧密応力として加えた。

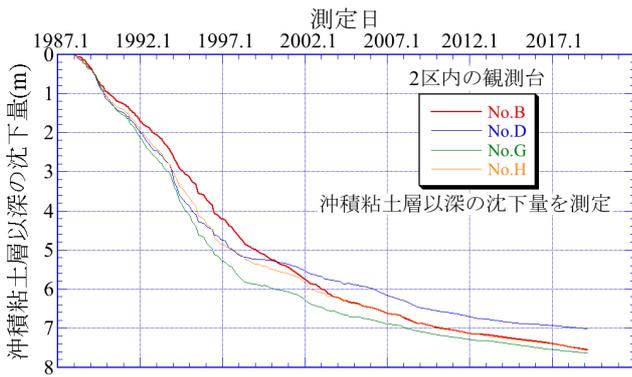


図-8 2区内の沖積粘土層以深の沈下量

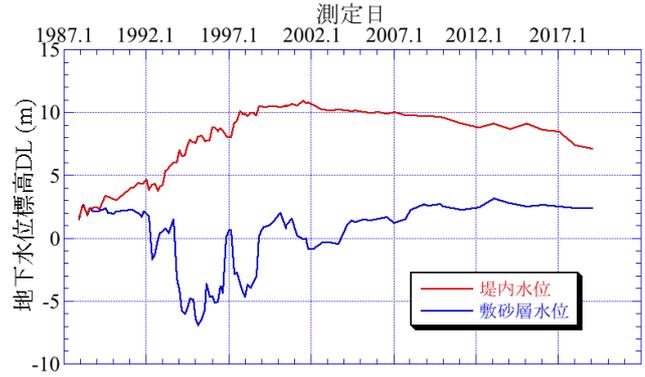


図-9 2区内の地下水位の測定結果

計算条件は以下である。一般に浚渫粘土層が自重圧密を始める際の含水比は、液性限界 w_L の 2~3 倍といわれている。③地点の浚渫粘土層は均質で $w_L=100\%$ であったので、初期含水比 $w_0=250\%$ と仮定した。浚渫粘土層の圧縮曲線 ($\log f$ - $\log p$ 関係) と c_v ($\log f$ - $\log c_v$ 関係) は、先の圧密試験結果から次式とした。いずれも対数体積比 $\log f$ を用いている¹⁾。

$$\log f = \log(5.34) - 0.13 \log p \quad [p: \text{kN/m}^2] \quad (1)$$

$$\log f = \log(53.6) - 0.79 \log c_v \quad [c_v: \text{cm}^2/\text{d}] \quad (2)$$

自重圧密計算は、次式の三笠の有限ひずみ圧密理論 (圧密中の c_v 変化と粘土自重を考慮) の自然ひずみ ε 式を用い、差分式で行った。

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_v \exp(2\varepsilon) \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z_0^2} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right)^2 \right\} + \exp(2\varepsilon) \frac{dc_v}{d\varepsilon} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right)^2 \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_v \exp(2\varepsilon) \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z_0^2} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right)^2 \right\} + \exp(2\varepsilon) \frac{dc_v}{d\varepsilon} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right)^2 \quad (3)$$

2003 年には一次浚渫粘土層には PBD (幅 95mm) が打設された (三角形配置, ピッチ $d=1.8\text{m}$) ので、それ以降は一次浚渫粘土層には Barron 解を、二次浚渫粘土層には式(3)を用いて計算した。

図-7 の○線で浚渫粘土層の泥面標高の計算値を示す。計算値が■の実測値をほぼ再現できていることがわかる。

3.3 ③地点の埋立後の表層混合処理、敷砂、盛砂、PBD 打設、盛土造成による圧密沈下予測

次に、③地点の 2019 年以降の表層混合処理、敷砂、盛砂、PBD 打設、盛土造成における圧密沈下予測を行った。表層混合処理は浚渫粘土層の表層 1.5m を固化させているので、圧密沈下層から対象外とした (荷重としては考慮)。敷砂、盛砂はそれぞれ 0.5m 層厚で、载荷に要する時間が短いことから一括载荷荷重とした。その後 2021 年 4 月以降に、一次、二次浚渫粘土層を通して PBD (幅 150mm の広幅タイプ) が打設された (三角形配置, $d=1.4 \text{ m}$)。これ以降は一次、二次浚渫粘土を通して Barron 解で計算した。最後に、盛土造成は実測値に応じて段階载荷荷重として与えた。なお、敷砂、盛砂、盛土の単位体積重量は $\gamma_t=19.6\text{kN/m}^3$ (2.0tf/m^3) とした。以上の工程は同じ 2 区内であっても場所によって異なるが、ここでは③地点近傍で実測されている施工年月日と盛土層厚を設定して計算した。

夢洲 2 区では、100m 間隔で地表面沈下測点 (浚渫粘土層上面に設置した沈下板) が 37 ヶ所あり、その内 9 ヶ所では浚渫粘土層下面の敷砂層に沈下板を設置して Ma13 層以深の沈下量も計測している。③地点は測点 3-6 の近傍となっている (沈下測点位置は後述の図-12 参照)。

図-10 に測点 3-6 (③地点) の表層混合処理以降の圧密曲線を盛土の経時変化とともに示す。図中の赤線が浚渫粘土層の沈下量の計算値、□は測点 3-6 の地表面沈下量の実測値、△は測点 3-6 の Ma13 層以深の実

測値, ○は□から△を差し引いた浚渫粘土層の沈下量の実測値である。計算値(赤線)は実測値(○)を良く再現している。最終沈下量 $S_f = 2.11\text{m}$ となった。圧密放置期間が終わる 2023 年 3 月時点では $S = 2.04\text{m}$ とな

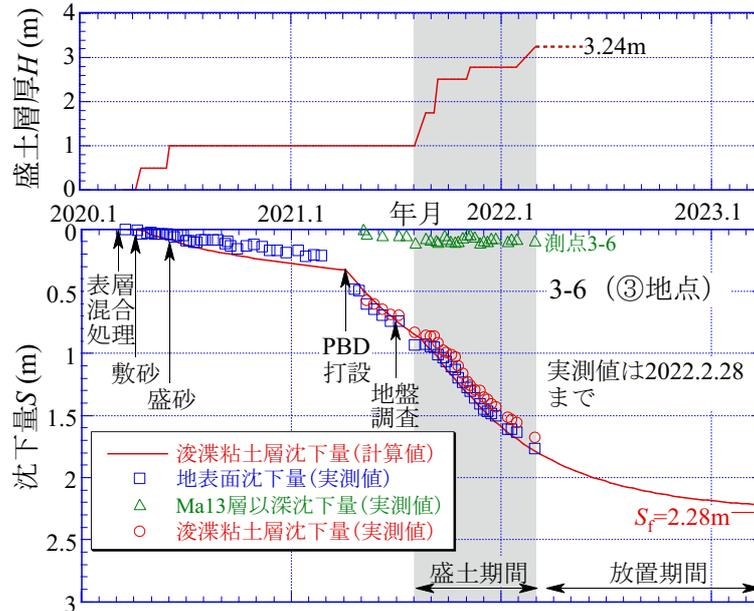


図-10 測点 3-6 (③地点) の表層混合処理工以降の圧密曲線と盛土の経時変化

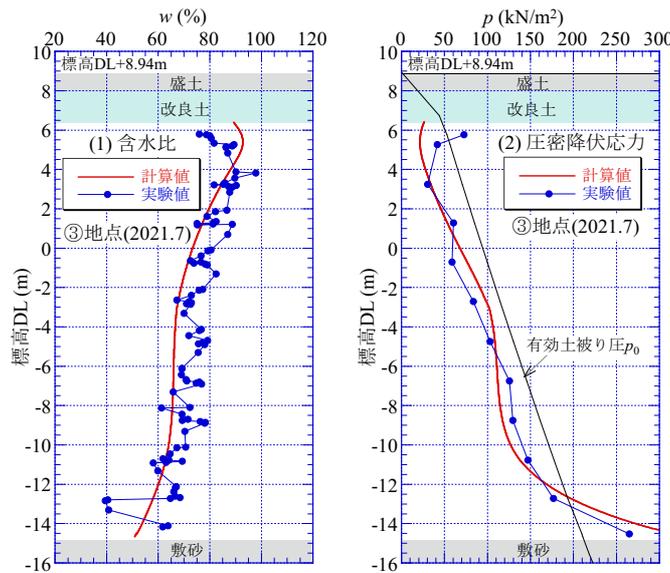


図-11 2021 年 7 月時点の w_n , p の実測値と計算値の比較

り, PBD の設計通りに圧密度 90%を超えていることが確認できる。また, 地盤調査時点での浚渫粘土層の層厚は 20.6m, 計算値は 21.1m であり, 粘土層厚も再現できている。

図-11(1), (2)に地盤調査時点 (2021 年 7 月) でのそれぞれ含水比 w_n , 圧密降伏応力 p_c の実測値と計算値の標高分布を示す。両者の実測値と計算値はほぼ一致しており, 計算値が浚渫粘土層の圧密進行状態を再現できているといえる。

3.4 夢洲 2 区全体の沈下計測点での浚渫粘土層の沈下予測方法

図-12 に夢洲 2 区内の 37 ヶ所の地表面沈下計測点 (図の○, 浚渫粘土層の上部敷砂層に設置した沈下板) の位置を示す。その内 9 ヶ所では沖積粘土 Ma13 層以深の沈下 (図の●, 浚渫粘土層の下部敷砂層に設置

した沈下板²⁾も計測している。なお、外周の測点は内護岸に近く、2003年のPBD未打設であり、地盤条件が異なるので、本研究では図-12の青線内の20の測点を計算対象とした。なお、沈下量の実測は2020年3月頃から始められている。

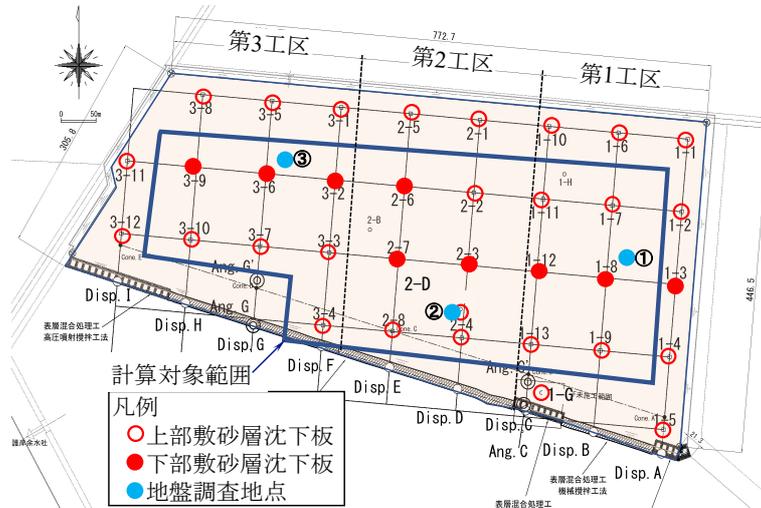


図-12 夢洲2区の沈下測点と計算対象範囲

各測点での沈下予測方法は、まず、浚渫粘土層の埋立履歴は、3.2の③地点と同様に、泥面標高の経時変化の記録のある観測点の内、沈下測点に最も近いものを用いた。また、浚渫粘土層上下の地下水位差による有効応力増加は実測値に基づいた。次に、表層混合処理、敷砂、盛砂、PBD、盛土造成の施工年月日は測点ごとの記録を用いた。盛土造成は2022年2月28日で完了した。浚渫粘土層の圧密特性は図-12の●で示す①、②、③地点で詳細に求めているので、図-12に示す第1、第2、第3工区内をそれぞれ①、②、③地点の圧密特性を用いた。既に①、②、③地点の圧縮曲線(logf-logp曲線)は図-6に示した(代表となるlogf-logp式を赤線で入れた)。③地点は均質であるが、①、②地点は不均質なため、深度方向で圧縮曲線の位置に幅を持っている。これは、同一工区内であっても、浚渫粘土投入時の排砂管位置からの距離が原因で、砂分混入により不均質となり、圧密特性が異なるためと考えられる。そこで、3.5で述べる圧密沈下の計算値が実測値と合わない場合には圧縮曲線を低塑性側、高塑性側に補正し(図-6の青破線)、再計算を行った。

3.5 夢洲2区全体の沈下計測点での沈下予測結果

図-13~15にそれぞれ第1、第2、第3工区の代表として南北方向の3つの沈下測点の圧密曲線の計算値と実測値の比較を示す(測点位置は図-12参照)。図中のHは盛土層厚(敷砂、盛砂を含む)である。赤線が浚渫粘土層の沈下量の計算値、□は地表面沈下量の実測値、△は図-12の●で示した測点1-8、2-3、3-2のMa13層以深の実測値、○は□から△を差し引いた浚渫粘土層のみの沈下量の実測値である。計算値は実測値(○)とよく合っている。ただし、測点1-7では図-6(1)の赤線で示す圧縮曲線を使うと赤点線のように計算値は過大となった。これは浚渫粘土層の不均質性(砂分混入)のためと考え、圧縮曲線を低塑性側に補正(図-6(1)の青点線)して再計算したのが赤実線である。また、圧密放置期間が終わる2023年3月末時点ではPBDの当初設計通りに圧密度90%を超えていることが確認できる。

図-16に2区全体の沈下測点での2022年2月28日時点の沈下量の計算値(上段)と実測値(下段)を示す。外周の測点は実測値のみを示している。沈下量の計算値は実測値とほぼ整合しており、南西方向に大きく、北東方向に小さい傾向にある。これは、浚渫粘土投入時の排砂管に近い位置では低塑性、遠い位置では高塑性粘土が堆積し、沈下量の小、大が現れたと考えられる。

図には示さないが、圧密放置期間が終了する 2023 年 3 月末時点（パビリオンなどの万博構造物の建設が始まる時点）での地表面標高の計算値は、文献 2) で報告される実測沈下量から双曲線法によって推定した値とよく整合しており、計算値、推定値ともに現場での盛土高の調整によって標高差は 1m 以内に収まることを確認している。

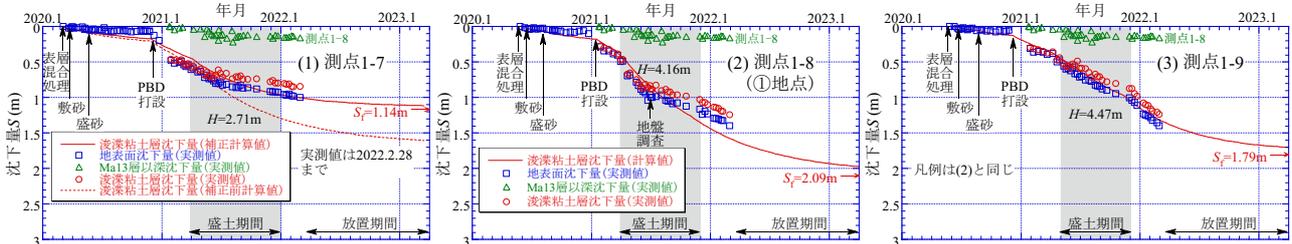


図-13 第 1 工区の圧密曲線の計算値と実測値の比較

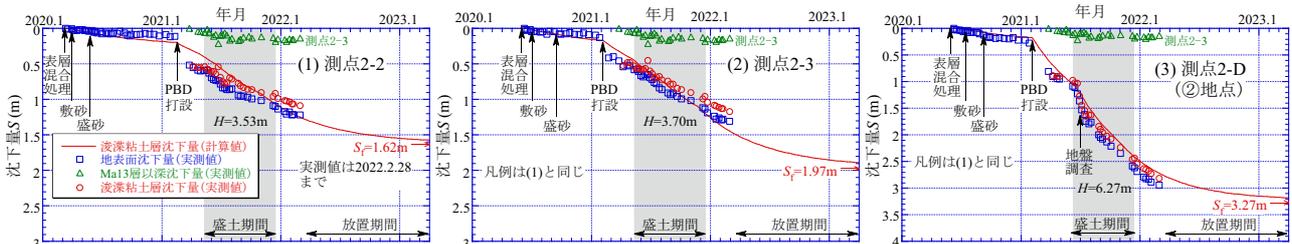


図-14 第 2 工区の圧密曲線の計算値と実測値の比較

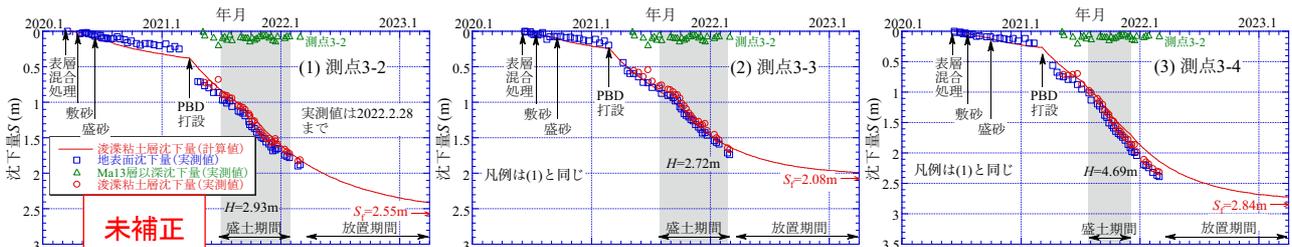


図-15 第 3 工区の圧密曲線の計算値と実測値の比較

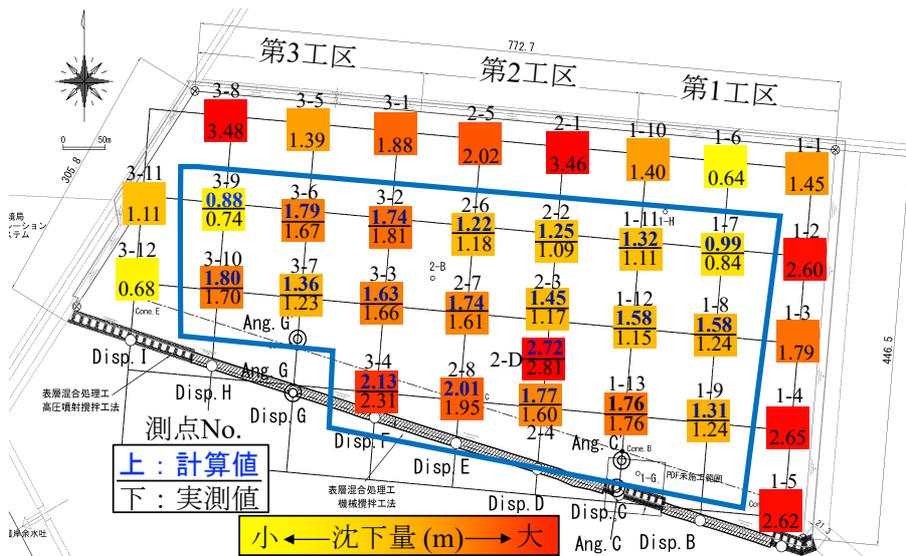


図-16 2022 年 2 月 28 日時点の沈下量

4. 浚渫粘土層の PBD 打設時の貫入抵抗による強度・圧密特性の推定

3.1 で述べたように、夢洲 2 区では浚渫粘土層の圧密促進のために鉛直排水工として 2020 年 10 月から

2021年4月までに約175,000本のPBD（プラスチックボードドレーン）が打設された。このPBD打設では、PBDを収めたケーシング圧入時の油圧抵抗 P_M と圧入深さを計測している。この仕様は電気式コーン貫入試験（CPT）と類似しており、一種のサウンディングと見なすことができる。既に P_M と CPT の先端貫入抵抗 q_t とを関連付けて地盤強度を推定する技術が開発されている³⁾。本研究では、この技術を応用し、さらに補正してPBD打設時の貫入抵抗 $q_{t,PBD}$ から浚渫粘土層の強度、圧密特性の面的な分布を推定した。

ここでは紙面の都合で、詳細を書くことができないので、推定した強度、圧密特性の面的な分布を以下に示す（詳細は成果論文を参照されたい）。

図-17に夢洲2区のPBD打設時の貫入抵抗 $q_{t,PBD}$ の東西断面の深度分布を南北方向に約25mピッチで並べたものを示す（以下の図も同様な表記で示す）。北部と南部で $q_{t,PBD}$ が小さい（青色）状態にあることがわかる。また、中央付近の西側、東側において赤色で示す2MPaを超えている箇所は粘土ではなく（浚渫粘土の $q_{t,PBD}$ は0.1~1MPa程度）、明らかに砂質土であることを表しており、敷地全体で砂混入による不均質な状態が見て取れる。これは、文献2)で示したPBD打設深度の分布に対応しており、排砂管位置の影響が現れていると考えられる。

図-18に夢洲2区の非排水せん断強さ s_u の分布を示す。当然ながら s_u には $q_{t,PBD}$ の分布が反映されるが、場所による浚渫粘土層の s_u の分布の違いを見ることができる。やはり北部と南部で s_u が小さい傾向にある。

図-19に夢洲2区の圧密降伏応力 p_c の分布を示す。当然ながら p_c には s_u の分布が反映されるが、やはり北西部や中央付近で p_c が大きく、北部と南部で p_c が小さい傾向にあり、特に南東部の p_c が小さい。

図-20に夢洲2区の過圧密比 OCR の分布を示す。当然ながら OCR には p_c の分布が反映されるが、北西部や中央付近で過圧密、北部と南部が未圧密の傾向が見られる。この結果から、過圧密の箇所は沈下量が小さく、未圧密の箇所は沈下量が大きくなると予想でき、それが沈下量の実測値²⁾と整合していることを確認している。

さらに、この $q_{t,PBD}$ と体積圧縮係数 m_v を対応させて夢洲2区の沈下量を予測することもできた。

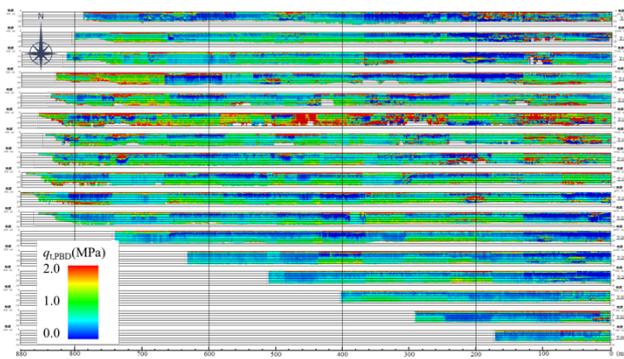


図-17 夢洲2区の貫入抵抗 $q_{t,PBD}$ の分布

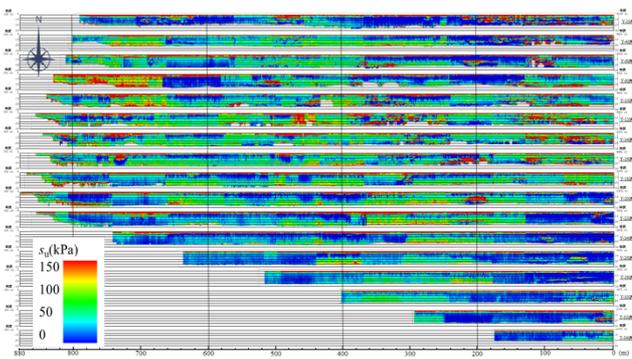


図-18 夢洲2区の非排水せん断強さ s_u の分布

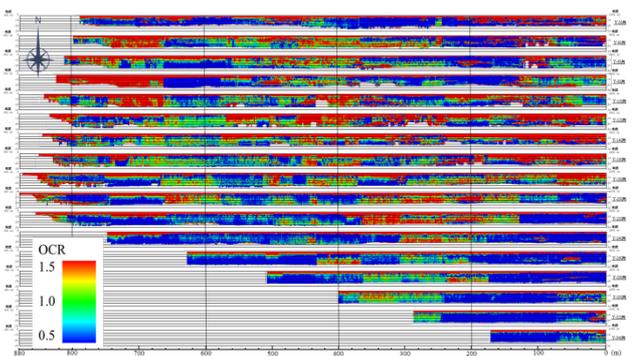
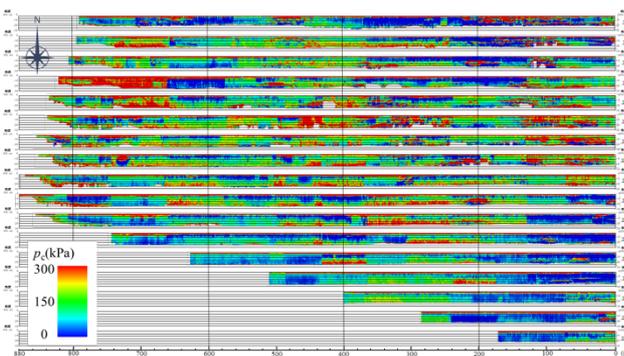


図-19 夢洲2区の圧密降伏応力 p_c の分布

図-20 夢洲2区の過圧密比 OCR の分布

5. まとめ

本研究で、夢洲2区の浚渫粘土層の土質試験による圧密特性を用いて、浚渫粘土層の埋立履歴、地盤改良履歴を圧密計算で再現し、2019年以降の表層混合処理、敷砂、盛砂、PBD打設、盛土造成における圧密沈下予測を行った。その結果、2区全体の沈下測点での2022年2月末の沈下量の計算値は実測値とほぼ整合し、圧密放置期間が終わる2023年3月末時点ではPBDの当初設計通りに圧密度90%を超えることが確認できた。沈下量は南西方向に大きく、北東方向に小さい傾向にある。これは、浚渫粘土投入時の排砂管に近い位置では低塑性、遠い位置では高塑性粘土が堆積し、沈下量の小、大が現れたと考えられる。しかし、現場での盛土高の調整によって標高差は1m以内に収まっており、地表面標高の不陸は最小限となった。

ただし、本研究では、浚渫粘土層を対象とした圧密沈下予測を示したが、最終的な盛土荷重によって、その下に堆積している沖積粘土層および洪積粘土層が長期的に沈下していくので、今後はその圧密沈下予測を行う予定である。

なお、本研究は2021年度に地盤工学会関西支部に設置された「夢洲の地盤性状と沈下性状に関する研究委員会」（申請者が委員長）での活動の一環として行ったことを付記する。

最後に、夢洲2区での工事と地盤調査を実施いただいた大阪港湾局と五洋建設(株)、およびPBDの油圧抵抗データとその解析ソフトを提供いただいた錦城護謨(株)に謝意を表します。

参考文献

- 岡田広久・大島昭彦：対数体積比 $\log f$ で表した圧密特性の再検討—浚渫粘土を例にして—，地盤工学ジャーナル，Vol. 10，No. 2，pp.187-199，2015.
- 大月一真・白神新一郎・大川浩司・明石実可子・大島昭彦：PBD打設機により軟弱粘土層下部に設置した沈下計測機器の活用法の提案，土木学会第77回年次学術講演会(投稿中)，2022.
- 平田昌史・白神新一郎・清水英樹・福田淳・川鍋修・野村忠明：プラスチックボードドレーン打設機の油圧抵抗を利用した地質推定方法の開発，土木学会論文集C，Vol.67，No.3，pp.358-371，2011.

成果論文

- 大島昭彦・一谷浩史・萩原侑大・林口美木・岡田広久：夢洲2区(万博用地)の浚渫粘土層の土質特性，第57回地盤工学研究発表会(投稿中)，2022.
- 一谷浩史・大島昭彦・坂口雄人・岡田広久・大月一真・西口松男：夢洲2区(万博用地)の浚渫粘土層の埋立・地盤改良を再現した圧密沈下予測，第57回地盤工学研究発表会(投稿中)，2022.
- 一谷浩史・大島昭彦・坂口雄人・岡田広久・大月一真・西口松男：夢洲2区(万博用地)の浚渫粘土層の圧密沈下予測と実測値との比較，土木学会第73回年次学術講演会(投稿中)，2022.
- 大島昭彦・一谷浩史・坂口雄人・中野将吾・岡田広久：夢洲2区(万博用地)の沖積粘土Ma13層，洪積粘土Ma12，Ma11層の土質特性，土木学会第77回年次学術講演会(投稿中)，2022.
- 林口美木・大島昭彦・萩原侑大・大月一真・西口松男・白神新一郎・榊原司：夢洲2区(万博用地)の浚渫粘土層のPBD打設時の油圧抵抗とCPTとの対応，第57回地盤工学研究発表会(投稿中)，2022.
- 萩原侑大・大島昭彦・林口美木・大月一真・西口松男・白神新一郎・榊原司：夢洲2区(万博用地)の浚渫粘土層のPBD打設時の貫入抵抗の推定，第57回地盤工学研究発表会(投稿中)，2022.
- 林口美木・大島昭彦・萩原侑大・中野将吾・大月一真・西口松男・白神新一郎・榊原司：夢洲2区(万

博用地)の浚渫粘土層の PBD 打設時の貫入抵抗と圧密特性の分布, 土木学会第 77 回年次学術講演会(投稿中), 2022.

- 8) 萩原侑大・大島昭彦・林口美木・大月一真・西口松男・白神新一郎・榊原司: 夢洲 2 区(万博用地)の浚渫粘土層の PBD 打設時の貫入抵抗に基づく沈下予測, 土木学会第 77 回年次学術講演会(投稿中), 2022.