

層厚 5m の泥炭層の圧密促進工法による軟弱地盤対策 Improvement Against Soft Ground of Peat Layer Using Accelerated Consolidation

坪井 広美* 岡本 哲朗*
Hiromi Tsuboi Teturo Okamoto

要 約

当工事は、富士急行株式会社が静岡県沼津市に計画する敷地面積約 14,600m² のバス営業所（車輛基地）の建設工事である。大型貸切バスを含むバス 126 台および従業員乗用車 141 台を収容するものであり、事務所棟など建築物の他、調整池など防災施設を築造するものである。

当該場所周辺の地盤は、地表面から約 5m が超軟弱な高有機質土である泥炭（含水比 625%～799%、圧縮指数 5.5～5.7）が一様に堆積しており、この泥炭の軟弱地盤対策が最大の技術的課題となる。軟弱地盤対策工法については、発注者より「ドレーン工法による圧密促進工法」の指定であったが、採用するドレーン工法やその仕様、周辺への影響抑制のための遮断工等については、当社の設計施工である。また、全体工期は約 8 ヶ月であり、十分な圧密期間がとれないことから、工程上も厳しい条件となっている。

本稿では、泥炭層に対する軟弱地盤対策工事の計画と施工管理結果について報告する。

目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. 計画および施工上の課題
- § 3. 軟弱地盤対策工
- § 4. 施工結果
- § 5. おわりに

§ 1. 工事概要

1-1 工事概要

工事概要を表-1 に、工事全体図を図-1 にそれぞれ示す。

当工事は、富士急行株式会社発注のバス営業所新設工事で、既存の「三島営業所」「沼津営業所」を統廃合し、「富士急シティバス株式会社」の本社機能とともに移転するものである。

契約工期は表-1 に示すとおりであるが、農地転用等の許認可の関係から、実際の着工は平成 16 年 8 月 6 日であった。

1-2 地質概要

- (1) 既存ボーリング資料

発注者より提示された敷地内 2 箇所のボーリング調査結果に基づく地質想定断面図を図-2 に示す。約 30cm の田圃耕作土以深は、未分解の繊維状植物が主体の泥炭層が約 5m の層厚で堆積し、場所によりシルト質の中間層が介在する。その下は支持層である砂礫層となる。地層概要を表-2 に、泥炭層の土質試験結果を表-3 にそれぞれ示す。

- (2) 追加調査

場内に点在する建築物、構造物は砂礫層を支持層とす

表-1 工事概要

工 事 名	富士急シティバス営業所建設工事	
事 業 主	富士急行株式会社	
工 事 場 所	静岡県沼津市東椎路字東荒 466 番	
工 期	平成 16 年 7 月 6 日～平成 17 年 3 月 31 日	
土地利用面積	14,615m ² (4,421 坪)	
駐 車 台 数	バス 126 台, 通勤車輛 141 台 (合計 267)	
工 事 内 容	建 築 ・ 設 備 工 事	営 業 所 (鉄骨造 1 階) 288m ² 整 備 作 業 所 (鉄骨造 1 階) 367.5m ² 自家用給油所 (軽油 30kℓ) 洗車機, オイル交換所, 検車台 給排水衛生空調設備工事, 電気設備工事
	土 木 工 事	軟弱地盤対策工 (13,000m ²) プラスチックドレーン工 遮 断 工 (9,680m ³) 舗 装 工 (10,500m ²) 構造物工 (擁壁工, 排水工, 河川橋梁工, 他)
	基 礎 工 事	既 製 杭 工 (PHC φ300, L=6~10m) 155 本 松丸太杭工 (φ150, L=4m~6m) 707 本

*横浜 (支) 富士急沼津 (作)

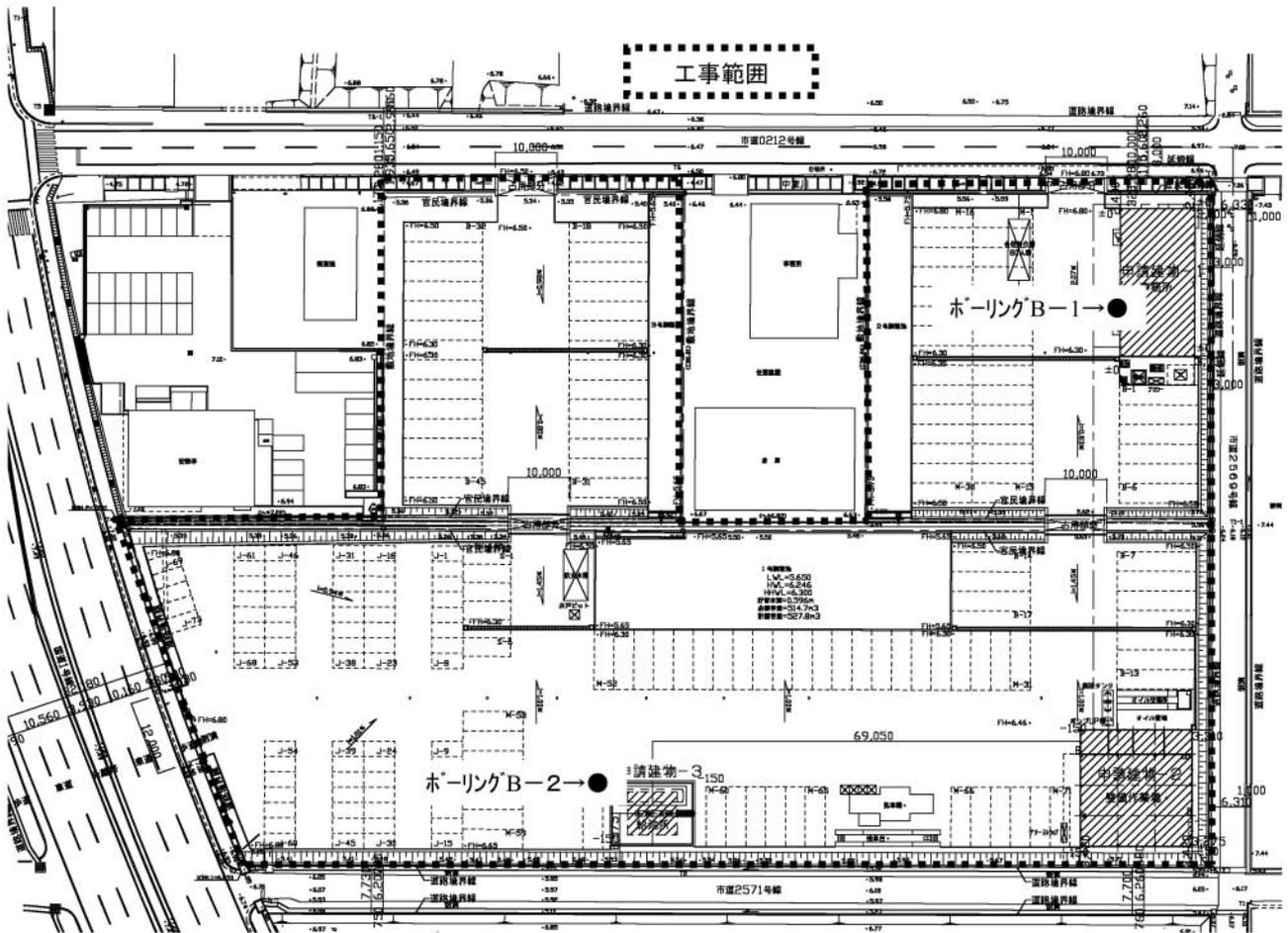


図-1 工事全体図

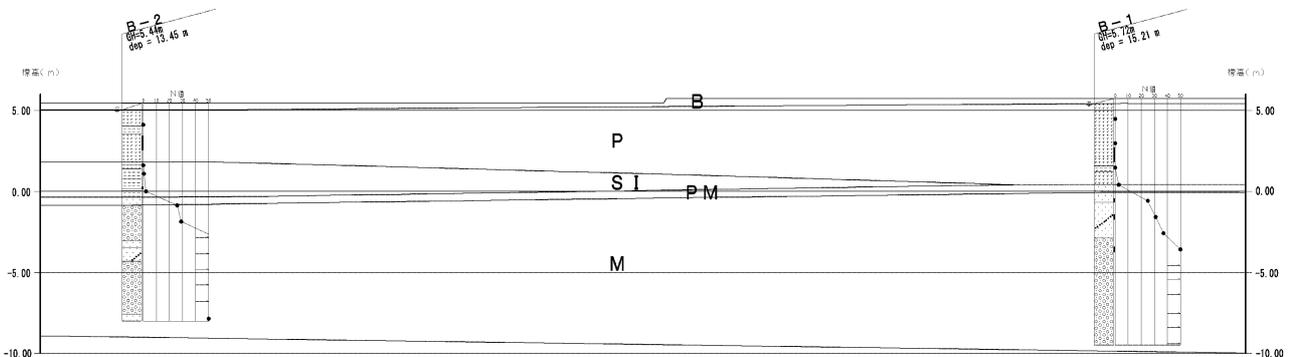


図-2 地質想定断面図

表-2 地層概要

ボーリング下限 深度(層厚): m		地質 年代	地層名	記号	土質	N値	性状
B-1 (北側)	B-2 (南側)						
0.3 (0.30)	0.3 (0.30)	現世	表土層	B	耕作土	-	田圃耕作土
5.3 (5.00)	3.65 (3.25)		泥炭 (腐植土層)	P	泥炭 (腐植土)	モンケン 自沈	未分解の繊維上植物を主体とする 含水量が非常に高く、非常に軟らかい 植物遺骸の多い部分は弾力に富む
-	5.80 (2.15)	第四紀 沖積世	シルト層	SI	シルト 砂、腐植土	0~4	含水量の高いシルト 上部は有機物を混入する
5.80 (0.50)	6.30 (0.50)		中間層	PM	腐植物混じり砂 砂	5~21	海成の細砂~粗砂で、腐植物を少量混 入する
15.21+ (9.41+)	13.45+ (7.15+)		海成砂層	M	砂礫、砂	25~37	砂礫、礫混じり砂、砂の互層

表-3 泥炭層の土質試験結果

項目	単位	B-1	B-2
		深さ 3.0~3.9m	深さ 2.0~2.9m
湿潤密度	ρ _t g/cm ³	1.025	1.017
土粒子の密度	ρ _s g/cm ³	1.300	1.277
自然含水比	w %	625.2	799.2
間隙比	e	8.212	10.299
一軸圧縮強さ	qu kN/m ²	19.251	27.763
E ₅₀	MN/m ²	0.400	29.841
圧縮指数	C _c	5.584	5.743
圧密降伏応力	P _c kN/m ²	17.13	19.54
M _v	m ² /kN	8.1 × 10 ⁻³	2.6 × 10 ⁻³
C _v	cm ² /d	500	780
強熱減量	%	48.1	67.2
pH		5.6	5.5

る杭基礎であるため、支持層の標高を平面的に確認する目的で、スウェーデン式サウンディング試験を場内 5 箇所で行った。

支持層である砂礫層の標高は南側に傾斜しており、既存ボーリング結果と整合するものであった。また、支持層と腐植土層との間に介在するシルト質中間層は、北側が薄く、南側ほど厚くなる結果であり、これも既存ボーリング結果とよく整合した。

§ 2. 計画および施工上の課題

2-1 要求仕様

特記仕様書による軟弱地盤対策工に関わる要求仕様は以下の 3 項であった。

- ①軟弱地盤対策（圧密促進ドレーン工法）での残留沈下 10cm 以下
- ②周囲（河川、側溝、道路、建物ほか）への影響を与えない
- ③敷地内への盛土品質条件は路床 CBR 3 以上

2-2 検討課題

以上の施工条件、発注者の要求事項を勘案し、本工事での計画および施工上の検討課題は、以下の 3 項となる。

(1) 最適な圧密促進工法の計画

「ドレーン工法」による圧密促進工法について、より効果的な方法を選定する必要がある。特に、約 8 ヶ月の全体工期の中、建築建物および土木構造物の施工を考慮すると、2 ヶ月程度しか圧密時間がとれないことから、排水性確保による圧密促進について十分検討する必要がある。

(2) 周辺への影響抑制のための遮断工の計画

敷地周辺は、民地（商業施設、事業所）、河川水路の他、離隔約 1m でφ300mm 高圧ガス幹線が存在する。当該腐植土が、非常に軟らかく、弾力性に富むことと、急速な圧密促進を行うことから、円弧すべり等による周辺への影響が考えられる。ドレーン工や盛土工の軟弱地盤対策工に先立ち、短時間で施工可能な工法、また、施工中のみならず、供用後も長期的に外部への影響を発生させない遮断工の選定が重要となる。

(3) 盛土・圧密管理および周辺変状監視

平面的に広大な敷地での短時間の載荷盛土、圧密管理を効率的に施工する施工フローおよび圧密結果を直ちに盛土へフィードバックする施工管理体制を計画する必要がある。また、周辺変状監視もリアルタイムに実施し、異常時の対応方法も十分に計画する必要がある。

§ 3. 軟弱地盤対策工

3-1 基本計画

繊維質腐植土における「ドレーン工法」の採用例は少

ないが、北海道の泥炭地盤における「ドレーン工法」の試験施工結果が報告されてきている²⁾。同報文によれば、泥炭地盤においては、「サンドドレーン工法」による圧密促進効果は認められないが、「プラスチックドレーン工法」は排水材料の透水性が高く、圧密進行に伴う折れ曲がりに強いことから、圧密促進効果が認められると考察されている。そして、排水材打設速度が速く、工程上有利である点からも、「プラスチックドレーン工」による圧密促進工法を選定した。

また、周辺への影響抑制のための遮断工としては、供用後の恒久的な安定性と施工工程を考慮し、「パワーブレンダー工法」による地盤改良工を選定した。

3-2 プラスチックドレーン工

(1) ドレーン材の選定

プラスチックドレーン工法は、軟弱地盤中に人工排水材（プラスチックボード）を鉛直に打設し、圧密時の排水距離を短縮することで圧密促進を図るものである。排水材には多くの種類があるが、今回は、全面での集水が可能で、フィルタの破損の少ない複合分離構造の「ジオドレーン」を採用した。ドレーン材の仕様を表-4 に示す。

(2) ドレーンピッチと深度

ドレーンピッチは、2 点のボーリング調査のうち、条件の悪い B-1 ($mv = 8.1 \times 10^{-3}$) で得られた物性値を用い、全体工程から許される圧密期間 60 日で許容残留沈下 10cm を満足できるように決定した。検討の結果、図-3 の経時沈下曲線に示すように、ドレーンピッチは 1.0 m とした。

ドレーン打設深度は、最近では、下部排水層まで貫通させない不完全貫入方式を採用する事例も増えてきている。しかし、本工事の場合、対象層が超軟弱であり、ソイルマット打ち抜き直後のドレーンの貫入制御が難しいことと、大きな圧密沈下によりドレーン材が撓んでも排水性は確保されることなどから、排水層まで貫通する完全貫入方式とした。

また、泥炭層からの直接的な排水を期待して、泥炭層上部にも暗渠排水管を施工した。軟弱地盤対策工の概念

表-4 ドレーン材の仕様

		鉛直ドレーン	水平ドレーン
種別		プラスチックドレーン	サンドマット代替
名称		ジオドレーン	RC ドレーン
構造形式		複合分離構造	複合分離構造
断面形状			
材質	芯材	ポリオレフィン樹脂	ポリエステル樹脂
	フィルター	ポリエステル系合成繊維	ポリエステル不織布
寸法	厚さ	3.4mm	10.0mm
	幅	98.5mm	300.0mm
透水係数	面内	$1 \times 10^6 \text{cm/sec}$ 以上	$1 \times 10^6 \text{cm/sec}$ 以上
	フィルター	$1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 以上	$1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 以上
強度	引張強度	175kgf/製品幅	4kgf/製品幅
	圧縮強度	-	5.0kgf/cm ² 以上

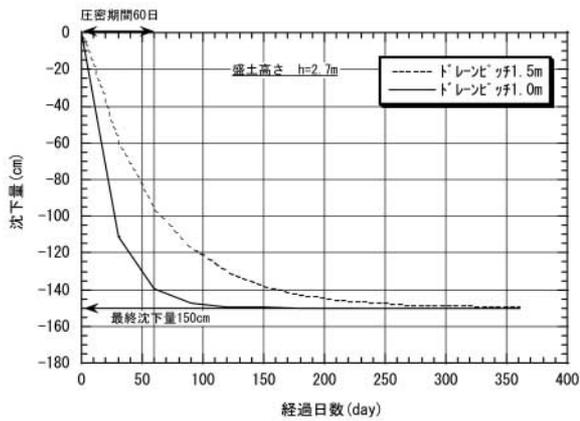


図-3 経時沈下曲線 (ボーリング B-1)

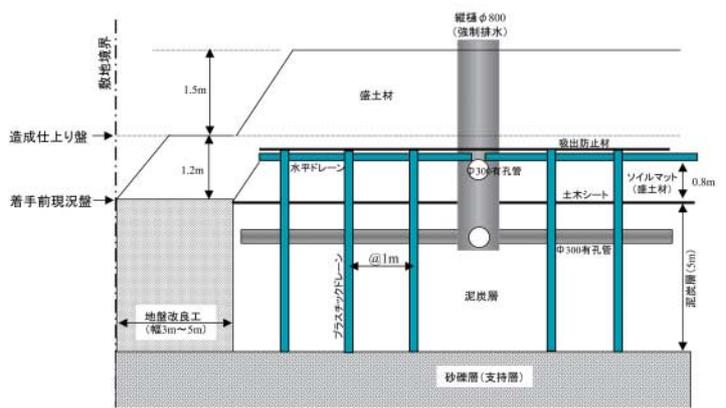


図-4 軟弱地盤対策工概念図

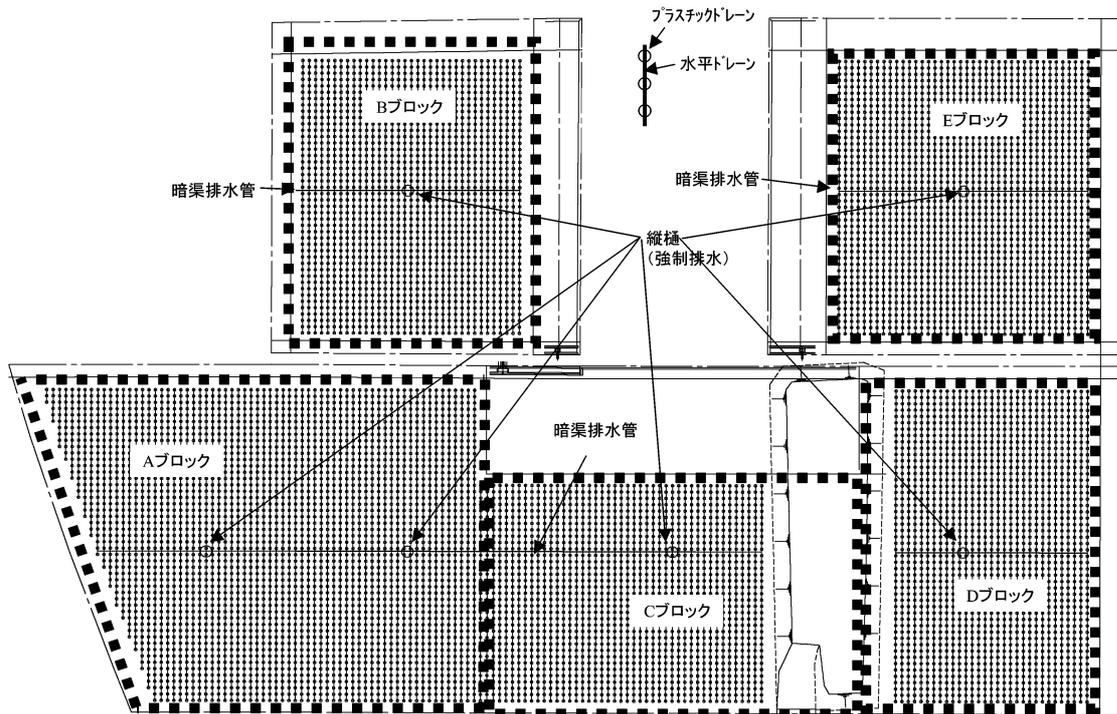


図-5 排水系統平面図

図を図-4 に示す。

(3) サンドマット代替水平ドレンの採用と排水方法
 プラスチックドレンにより排水された水は、透水性のよいサンドマットを介して集水するのが一般的である。しかし、良質な砂が入手困難であったことと、より効果的な排水を行う目的で、サンドマットに替わり表-4 に示す水平ドレン材を採用した。水平ドレン材はプラスチックドレン材と基本構造は同じであるが、上載荷重 50tf/m² においても排水断面を確保できる強度を有している。今回は幅 30cm のものを採用した。

鉛直プラスチックドレンの上端を水平ドレンの固定テープに十分な余裕をもたせて巻き込み、水平ドレンを通して暗渠排水管(φ300mm)により、場内6箇所
 の縦樋に集水し、ポンプにより強制排水させる。水平ドレン、暗渠排水管、縦樋の配置を図-5 に、プラスチックドレンと水平ドレンの接続状況を写真-1 に示す。

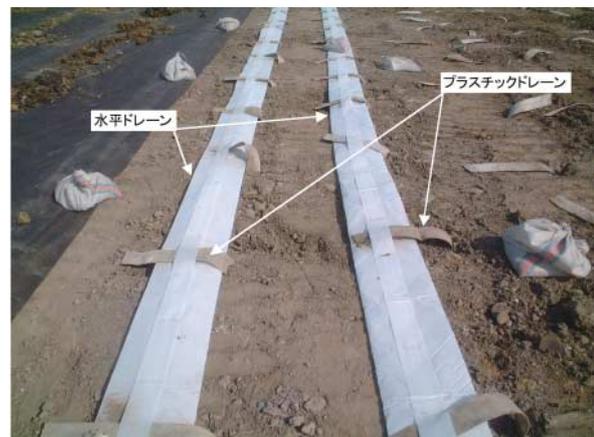


写真-1 ドレン材接続状況

3-3 遮断工 (パワーブレンダー工法)

載荷盛土による周辺への影響を遮断するため、地盤固結工法であるパワーブレンダー工法を採用した。敷地に隣接する構造物等により、水路直近部、既設盛土近接部

および一般部の 3 ケースに分類し、滑動、転倒、端趾圧の 3 項から必要改良幅を設計した。また、改良体の設計基準強度は 100kN/m^2 とし、現場における攪拌効率、土質のばらつき、養生条件の相違などから室内配合強度を 200kN/m^2 とし、固化材の配合を決定した。

3-4 荷重盛土および計測管理

工事敷地を 5 つのブロックに分け、荷重盛土の施工工程を管理した (図-5 参照)。一層撒き出し厚さは 30cm を標準とし、各ブロックとも 1 日で 1 層撒き出し転圧を行うことから、30cm/日の急速盛土となる。

着手前の現況地盤に 20m メッシュで沈下棒を 41 本セットし、盛土高さおよび沈下量を計測管理する。測定頻度は 1 回/日とした。

§ 4. 施工結果

4-1 施工管理フロー

(1) 施工管理方法

効果的かつ確実な圧密促進をさせるために、以下の施工管理方法をとった。

- ① 泥炭層が極めて不均一であることから、盛土初期段階で体積圧縮指数 (mv) を推定し、ブロックごとの最終盛土高さを決定する。
- ② 二次圧密を可能な限り促進するため、プレロードを作用させる。
- ③ 「双曲線法」から求まる残留沈下量が 100mm 以下となることを確認し、荷重盛土を完了し、建築工事、土木工事等に着手する時期を見極める。

(2) 施工管理フロー

施工管理フローを図-6 に示す。

4-2 圧密促進挙動

敷地内 5 ブロックのうち、A、C、D の 3 ブロックについての沈下経時曲線を図-7 に示す。ここでの沈下量は、ブロック内の沈下盤 8 点の平均としている。

盛土高さ 1m 程度までの初期段階では、一次圧密式に基づく mv の推定が難しく、盛土高さ 1.2m 以上のステップで推定した。各ブロックで推定された mv と最終舗装盤に相当する盛土高さ、プレロードを考慮した最終盛土高さを表-5 にまとめる。

各ブロックでの mv には大きな差があるが、北側程 mv が大きいことから、調査ボーリング結果と傾向は一致した。また、プレロード量は、推定された mv や車輻動線等を考慮して決定した。

4-3 盛土終了判断

推定した mv から最終盛土高さを決定し、その最終盛土ステップの沈下挙動から「双曲線法」により、最終沈下量を求めた。代表として、A ブロックにおける結果

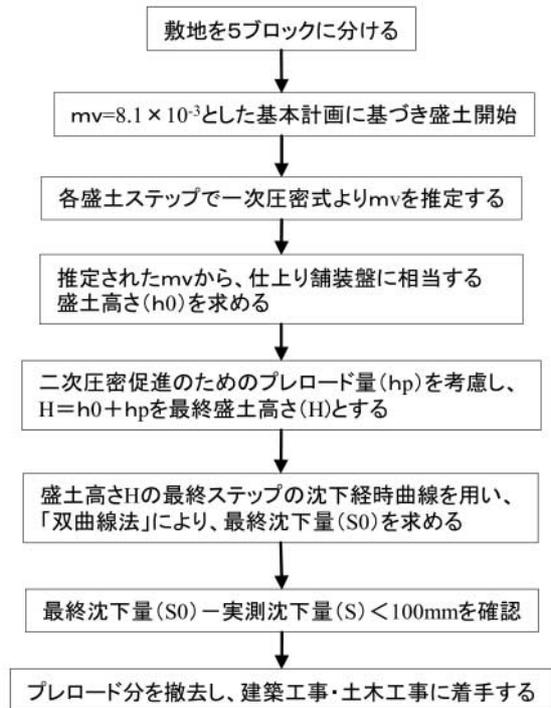


図-6 施工管理フロー

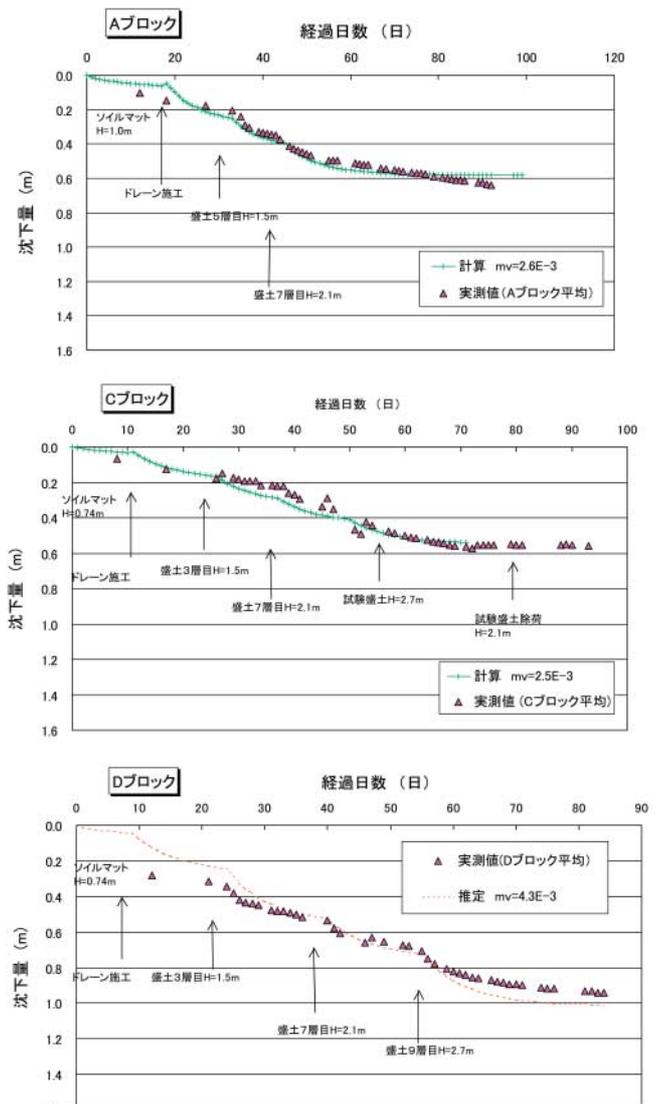


図-7 沈下経時曲線

表-5 最終盛土高さ (ブロック内平均)

	体積圧縮係数 (mv)	盛土高さ (m)		
		必要盛土高さ (h0)	プレロード量 (hp)	合計盛土高さ (H)
A ブロック	2.6×10^{-3}	1.5	0.6	2.1
B ブロック	1.8×10^{-3}	1.4	0.1	1.5
C ブロック	2.5×10^{-3}	1.5	0.6	2.1
D ブロック	4.3×10^{-3}	1.7	1.0	2.7
E ブロック	4.6×10^{-3}	1.7	1.0	2.7

を図-8に、各ブロックにおける最終沈下量をと予測残留沈下量を表-6にまとめる。

11月20日時点で、どのブロックにおいても残留沈下量が10cm以下となることから、載荷盛土の終了を判断し、プレロードの撤去、建築工事、土木構造物工事に着手した。また、平成17年3月1日の舗装工事開始時点での予測沈下量から引渡し後の残留沈下を求めると、どのブロックにおいても50mm以下となることから、発注者の要求事項である「残留沈下10cm以下」は確保できると判断した。

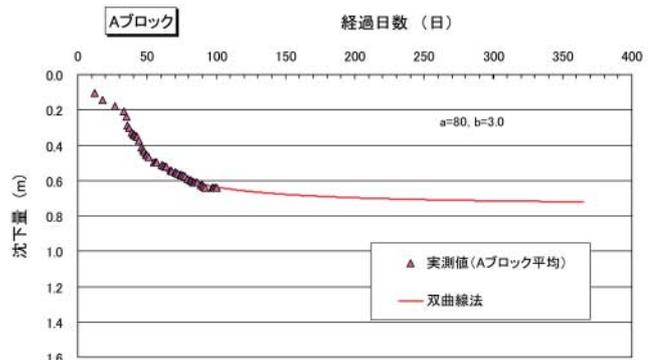


図-8 双曲線法による最終沈下予測 (Aブロック)

表-6 最終沈下量と残留沈下量

	最終沈下予測量 S0 (m)	11/20時点実測沈下量 S (m)	予測残留沈下量 S-S0 (mm)	3/1舗装工開始時点予測沈下量 S1 (m)	引渡し後予測残留沈下量 S1-S0 (mm)
A ブロック	0.742	0.642	▲100	0.697	▲45
B ブロック	0.209	0.165	▲44	0.198	▲11
C ブロック	0.665	0.565	▲100	0.641	▲24
D ブロック	1.038	0.939	▲99	1.018	▲20
E ブロック	1.059	0.964	▲95	1.040	▲19

4-4 泥炭層におけるドレーン工法の効果

前述のとおり、泥炭層など腐植土層でのドレーン工法の採用は少なく、その圧密促進効果には不明な点が多かった。基本計画とした図-3の沈下経時曲線は、ボーリングB-1のデータを用いて計算している。ほぼ同位置のEブロック内沈下盤P11の実測沈下経時曲線を図-9に示す。盛土高さ2.7mに対し、沈下量1.45m、経過日数約60日であり、計画時の計算値とほぼ合致している。このことから、今回施工したプラスチックドレーン、水平ドレーンとも、排水効果による圧密促進機能を有していたと考えられる。

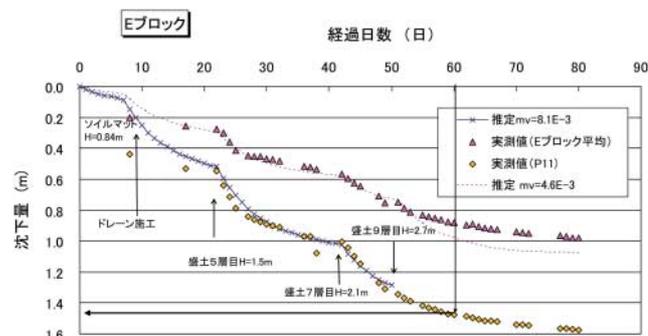


図-9 経時沈下曲線 (Eブロック沈下盤 P11)

4-5 周辺への影響結果

パワーブレンダー工法による地盤改良は、現位置サンプリング供試体の強度試験結果の平均が240kN/m²であり、そのばらつきも小さいことから、十分な強度の確保と均質な改良が行えたと判断している。その結果、盛土施工中から引渡しに至るまで、周辺への影響は皆無とすることができた。特に、離隔1m程度で隣接する高圧ガス幹線については、探芯棒による変状測量結果からも変状が全く認められなかった。

また、隣接する商業施設、事業所の4棟については、事前事後の家屋調査を実施したが、変化は認められず、家主の申出もなく工事を完了することができた。

§ 5. おわりに

今回の工事は、「浮島ヶ原」と呼ばれる静岡県を代表する泥炭地での軟弱地盤対策工事であった。腐植土層における「ドレーン工法」の採用例が少ないことと、繊維

質特殊土が、予測の難しい二次圧密の量が比較的大きいことから、施工中の現象の把握と長期的な沈下予想に悩むことも多かった。特に、二次圧密の抑制に苦慮したが、各種の研究論文や施工事例を参考に「プレロード工法」を採用することで、供用後の二次圧密による残留沈下を抑制できるものと判断した。今後、現地の沈下状況を把握し本工法採用の妥当性を検証していく予定である。

最後になりましたが、類似工事を施工された九州支店吉永所長、山口係長には貴重な経験を教えて戴いた。また、本社土木設計部、技術研究所の方々には、多大なる御指導を戴いた。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 能登繁幸：泥炭地盤工学，技報堂出版，1991。
- 2) 林宏親，他：泥炭地盤におけるプラスチックドレーン工法の圧密促進と強度増加，第37回地盤工学研究発表会，pp.1149-1150，2002。
- 3) 倉持隆，他：有機質土地盤におけるペーパードレーン工法の実施例，第20回土質工学研究発表会，pp.1665-1666，昭和60年。