

同時削孔方式による硬質地盤対応型プラスチックボードドレーン打設機の開発

- プレーカ付ドレーン打設工法 -

上田 正樹* 杉原 広晃*

要旨

本開発のドレーン打設機は、国内保有台数が最も多い重量 30t 程度のケーシング方式ドレーン打設機をベースマシンとして、ケーシング先端部分に打設補助装置としてプレーカを取り付けたものである。プレーカの破碎効果によって、これまで打設が困難であったN値 15 以上の硬質地盤下部の軟弱地盤改良および硬質土塊混じり軟弱地盤改良までプラスチックボードドレーン工法の打設適用土質範囲を拡大し、削孔と同時にドレーン打設を行うことで、従来行われてきた別途機械による先行削孔の1工程を省略できるため、コストダウンを図ることが可能である。本報告は、開発したプレーカ付ドレーン打設機の打設適用土質範囲の把握と工法の有効性確認を目的として実施した実証実験をとりまとめたものであり、実証実験を通じて本工法の有効性が確認されている。

1. はじめに

プラスチックボードドレーン工法は、サンドドレーン工法などの他の圧密排水工法に比べ安価であるが、打設能力の制約上、N値 15 以下の地盤が適用土質範囲と言われている。圧密改良対象地盤の大半はN値0～3程度の軟弱地盤であり、これまでの設備で打設能力に問題は無いが、現実の現場条件は、表層セメント改良が行われていたり、中間砂礫層の存在、泥岩などの硬質土塊を含んでいるなど様々であるため、しばしば、打設不能という状況に陥っていた。このように硬質地盤が介在している場合のドレーン打設方法として、ドレーン打設位置を、予めオーガーで先行削孔しておくという対策が用いられているが、打設機とは別途に削孔機が必要となるため、工事費が高むという問題が発生していた。この問題を解決するために考案した、プレーカ付ドレーン打設工法は、削孔と同時にドレーン打設を行うシステムであり、別途の削孔機を必要としないため、コストダウンが図れるというのが最大の特徴である。図 - 1 参照。

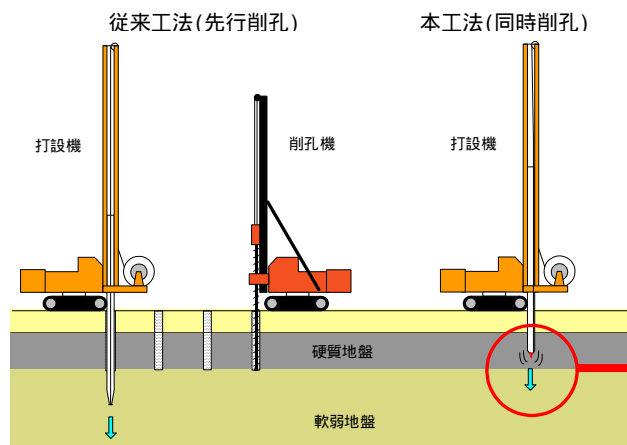


図 - 1 施工システム

2. プレーカ付ドレーン打設機

現在、国内保有台数が最も多いドレーン打設機は、軽量化により軟弱地盤上での機動性に優れた、重量 30t 程度、接地圧 4tf/m²程度、最大貫入力 12tf 程度のケーシング方式ドレーン打設機である。

開発したプレーカ付ドレーン打設機は、工法の汎用性を重視して、国内最多機種重量 30t 程度のドレーン打設機をベースマシンとしており、ケーシング先端部分に、打設補助装置としてプレーカを取り付け、空圧供給設備を搭載するという簡易な改造が施されている。

ケーシング先端構造は、図 - 2 に示すとおり、プレーカを所定のスペースに納めるために、従来中央に貫通していたドレーン材を端にずらした構造としている。

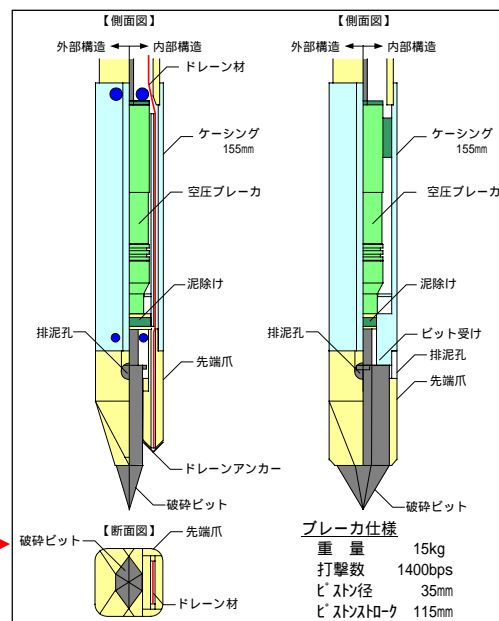


図 - 2 先端プレーカ構造

*技術研究所



写真 - 1 先端ブレード



写真 - 2 [参考]標準打設機先端爪



写真 - 3 先端ブレード分解状況



写真 - 4 空圧供給設備

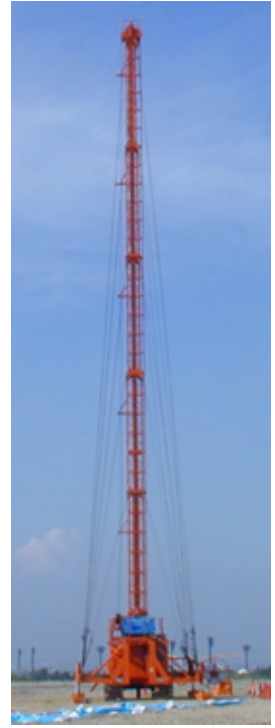


写真 - 5 ドレーン打設機

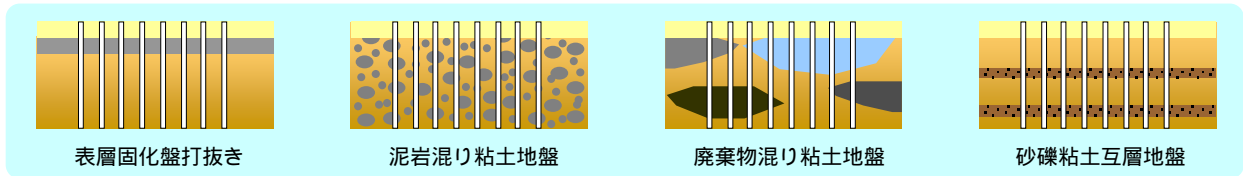


図 - 3 本工法が適用目標としている地盤状況

3. 実証実験

3.1 実験目的

本工法が適用目標としている地盤状況は、図 - 3 に示すとおり、セメント等による表層固化地盤下部の軟弱地盤、泥岩等の硬質土塊や障害物混りの軟弱地盤、焼却灰や鉱滓スラグ等廃棄物混りの軟弱地盤、砂礫粘土互層地盤などである。

本実証実験は、主に図 - 3 に示す地盤状況を想定したブレード付ドレーン打設機の打設適用土質範囲の把握と工法の有効性確認を目的としている。

3.2 実験内容

表 - 1 に実験数量一覧、図 - 5 に実験イメージを示す。

(1) 実証実験 1

図 - 6 に実証実験 1 の詳細図を示す。

層厚 1.5m のセメント固化地盤 ($q_u=500 \sim 1500 \text{ kN/m}^2$) および泥岩密詰め粘土地盤 (泥岩母材強度 $q_u=5000 \text{ kN/m}^2$) を築造し、ブレード付ドレーン打設機による打設を行い、削孔状態・打設速度を検証するものである。

(2) 実証実験 2

図 - 7 に実証実験 2 の詳細図を示す。

表層改良厚 1.5m + シート (母材強度 68.6 kN/m) + 敷砂層厚 0.5m + 盛砂層厚 0.5m の地点で、ブレード付ドレーン打設機による打設本数 64 本の打設実験を行い、施工に伴うシート張力の変化と施工歩掛りの確認を行う。打設完了後に

仕様機種	PDC - 200 LC
型式	クローラー (三角シュー付)
シュー全幅/幅	3.29/0.90 (m)
シュー全長	4.57 (m)
重量	25.79 (t)
本体高さ	3.07 (t)
接地圧	0.391 (kgf/cm^2)
エンジン出力	135 (PS)

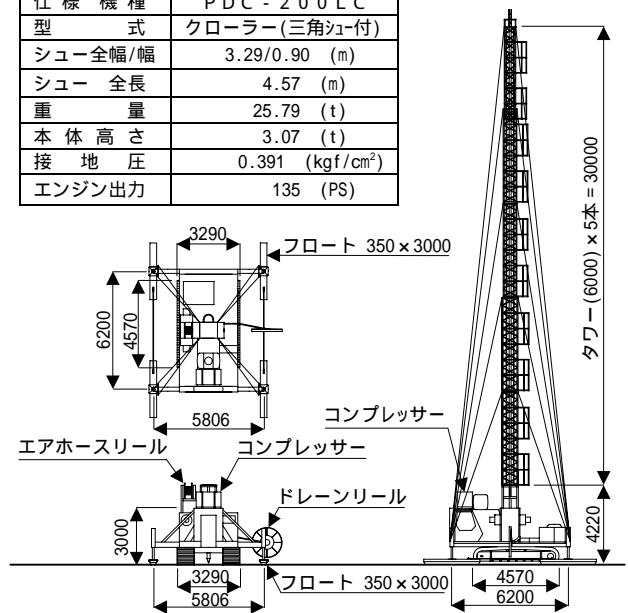


図 - 4 ブレード付ドレーン打設機

は打設範囲に 2m の盛土を築造し、シート張力の変化を確認する。

なお、ドレーン打設機は、軟弱地盤での安定性を確保するために、履帯幅 $W=900 \text{ mm}$ および $3.0 \text{ m} \times 0.35 \text{ m}$ のフロートを装着という改良を施した汎用型打設機をベースとしている。

図 - 4 参照。

表 - 1 実証実験数量一覧

実験ケース	地盤仕様・実験仕様	数量	実験手順詳細
打設実験 Case 0	固化地盤 $q_u = 500\text{kN/m}^2$	2 箇所打設	標準打設機(ブレーカなし)で打設。 ブレーカ付ドレーン打設機で打設。 履帯が地面から離れないように打設力を管理し、 1.5m 厚の実験地盤を貫通するまでの時間を計測。
打設実験 Case 1	固化地盤 $q_u = 500\text{kN/m}^2$	4 箇所打設	
打設実験 Case 2	固化地盤 $q_u = 1000\text{kN/m}^2$	4 箇所打設	
打設実験 Case 3	固化地盤 $q_u = 1500\text{kN/m}^2$	4 箇所打設	
打設実験 Case 4	泥岩(密詰め) + 粘土	4 箇所打設	
ドレーン打設 (1.0m)	表層改良厚 1.5m + シート(母材強度 68.6kN/m) + 敷砂層厚 0.5m + 盛砂層厚 0.5m	64 箇所打設	ブレーカ付ドレーン打設機で浚渫粘土層下部まで打設。 施工に伴うシート張力の変化と施工歩掛を計測。
打設機載荷	打設範囲(7m×7m)中央に載荷	1 回載荷	64 箇所打設完了後、打設範囲中央に打設機を移動して、シート張力を計測。
盛土載荷 STEP 1	盛土厚 $h=0.5\text{m}$	1 回載荷	ドレーン打設が完了した範囲に 1 ステップ 0.5m 厚で 4 ステップの盛土載荷($h=2.0\text{m}$)を行い、盛土載荷に伴うシート張力の変化を計測。
盛土載荷 STEP 2	盛土厚 $h=1.0\text{m}$	1 回載荷	
盛土載荷 STEP 3	盛土厚 $h=1.5\text{m}$	1 回載荷	
盛土載荷 STEP 4	盛土厚 $h=2.0\text{m}$	1 回載荷	

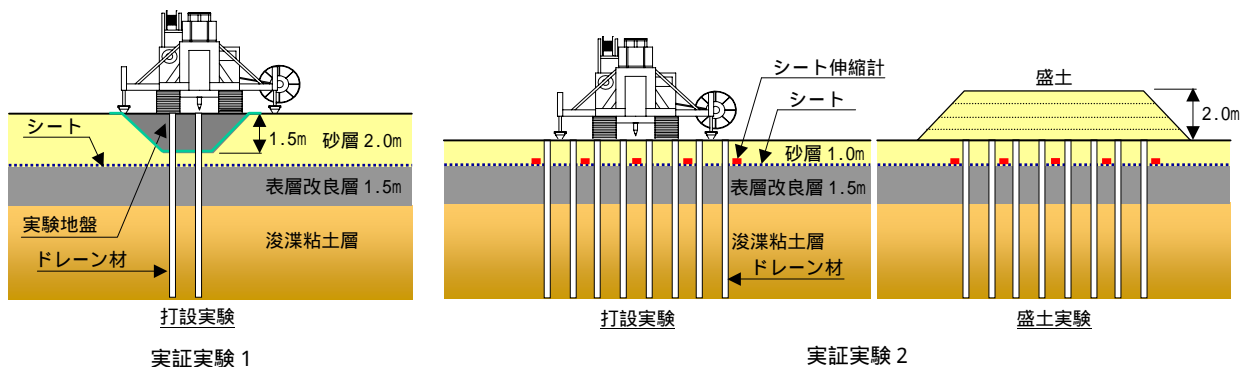


図 - 5 実証実験イメージ図

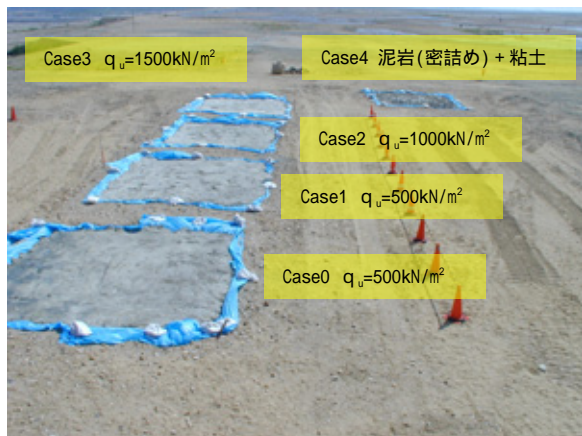


写真 - 6 実証実験1 地盤全景



写真 - 7 実証実験2 地盤全景

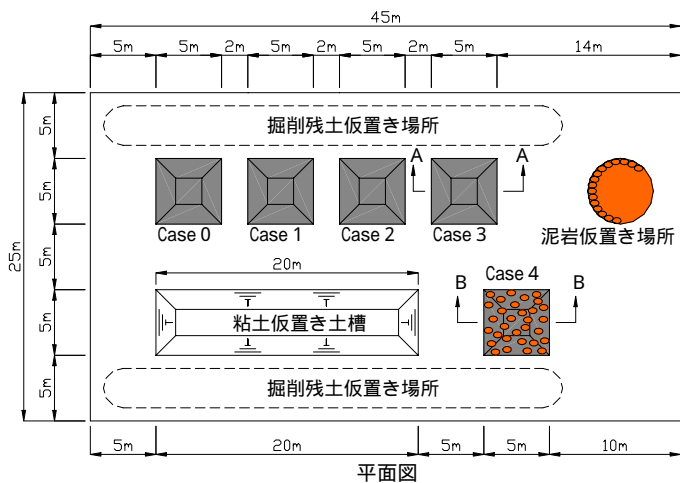
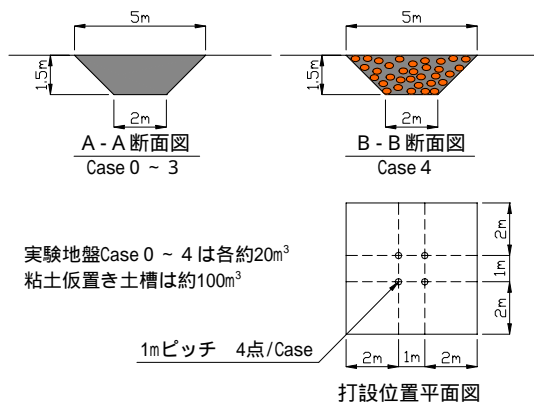
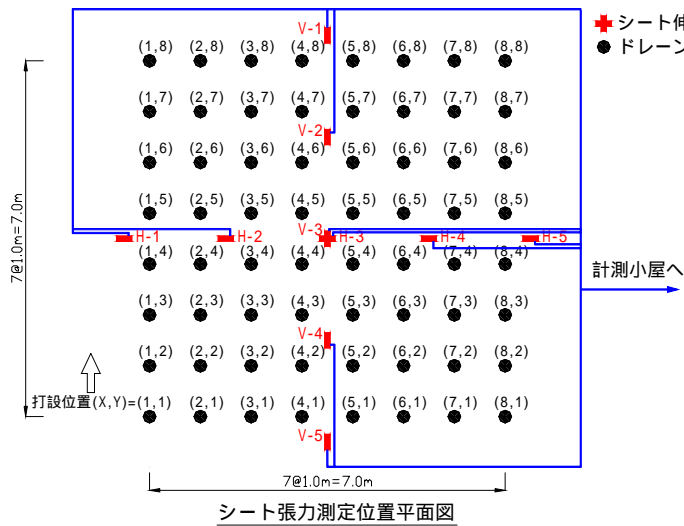


図 - 6 実証実験1 詳細図





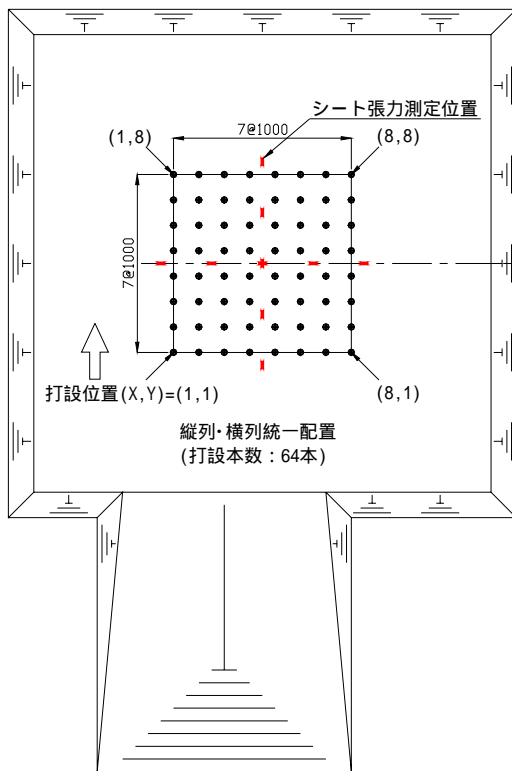
【シート張力計測 管理・判定回数】
 シート張力は連続自動計測であるが、計測続行の管理・判定は以下の通り合計69回実施する。

- ドレーン打設時
- ・打設位置(X,Y)=(1,1) ~ (8,8) 64回
 - ・64箇所打設完了後 打設機載荷時 1回
- 盛土載荷時
- ・盛土載荷 STEP 1 h=0.5m 1回
 - ・盛土載荷 STEP 2 h=1.0m 1回
 - ・盛土載荷 STEP 3 h=1.5m 1回
 - ・盛土載荷 STEP 4 h=2.0m 1回

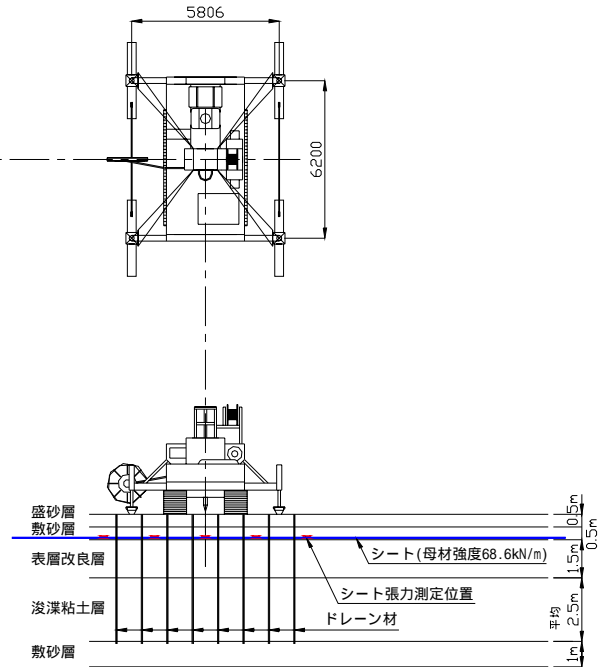
管理基準値

1次管理基準値	破断強度の 50% (24.5kN/m)
2次管理基準値	破断強度の 80% (39.2kN/m)
管理限界値	破断強度の100% (49.0kN/m)

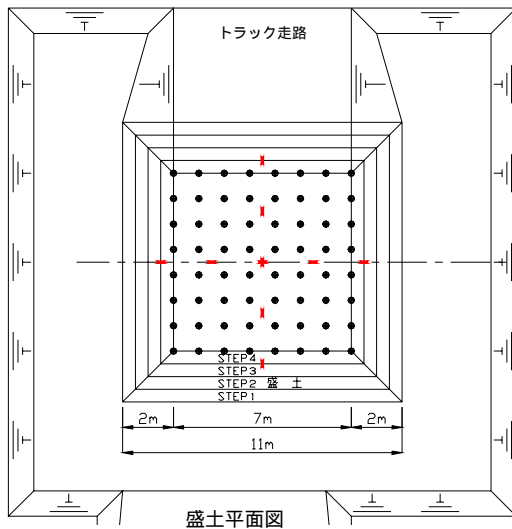
シートの破断強度は、はとめ部の破断強度とする。



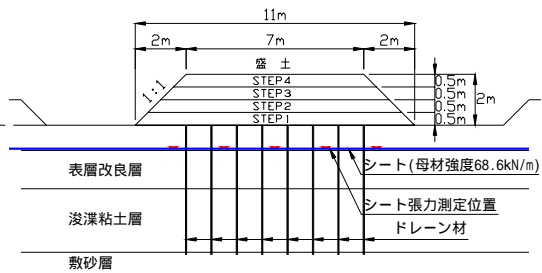
平面図



断面図



盛土平面図



盛土断面図

図 - 7 実証実験2 詳細図

3.3 実験結果と考察

(1) 打設時間・打設速度

本実証実験における厚さ 1.5m の硬質地盤の打設時間・打設速度を表 - 2 に示す。

ブレーカ付ドレーン打設機を使用することで、標準打設機では打設不可能な、一軸圧縮強さ q_u 500kN/m² の固化地盤へのドレーン打設が可能であった。また、母材の一軸圧縮強さ $q_u=5000$ kN/m² 程度の人頭大泥岩密詰め粘土地盤(泥岩粒径から推定すると空隙率は 30 ~ 40%)へのドレーン打設も可能であった。

図 - 8 に一軸圧縮強さと打設時間の相関、図 - 9 に一軸圧縮強さと打設速度の相関を示す。

実証実験 1 (12 点) と実証実験 2 (64 点) の固化地盤打ち抜

きの全データから、最小二乗法により相関式を算出すると以下のとおりである。

$$t = 0.02759q_u + 33.8628 \quad \dots\dots$$

$$v = 1.5/t = 1/(0.0184q_u + 22.575) \quad \dots\dots$$

ここで、 t : 固化地盤 1.5m 打設時間 (sec)

v : ドレーン打設速度 (m/sec)

q_u : 固化地盤一軸圧縮強さ (kN/m²)

実験結果より、固化地盤の一軸圧縮強さと打設速度は非常に良い相関を示しており、相関式はドレーン打設能力算定に十分活用することが可能であると考えられる。

ただし、今回の実験データより得られた適用範囲は、

$q_u=1500$ kN/m² までであり、今後は、さらに高強度についてもデータ収集に努める必要がある。

表 - 2 打設時間・打設速度

実験ケース	実証実験 1					実証実験 2
	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	64 本打設
地盤	固化地盤 $q_u=500$ (kN/m ²)	固化地盤 $q_u=500$ (kN/m ²)	固化地盤 $q_u=1000$ (kN/m ²)	固化地盤 $q_u=1500$ (kN/m ²)	泥岩密詰 + 粘土	表層混合 処理地盤
打設機	標準型	ブレーカ型	ブレーカ型	ブレーカ型	ブレーカ型	ブレーカ型
一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	491	486	973	1463	5215 泥岩母材	312
1.5m 打設時間 t (sec)	打設不可	48	58	76	74	43
打設速度 v (m/sec)	-	0.031	0.026	0.020	0.020	0.035

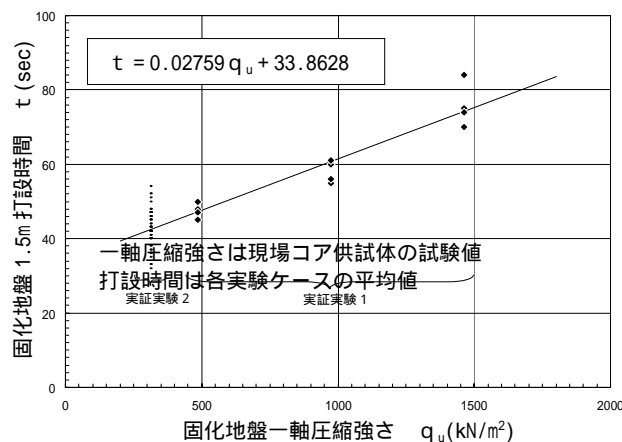


図 - 8 一軸圧縮強さと打設時間の相関

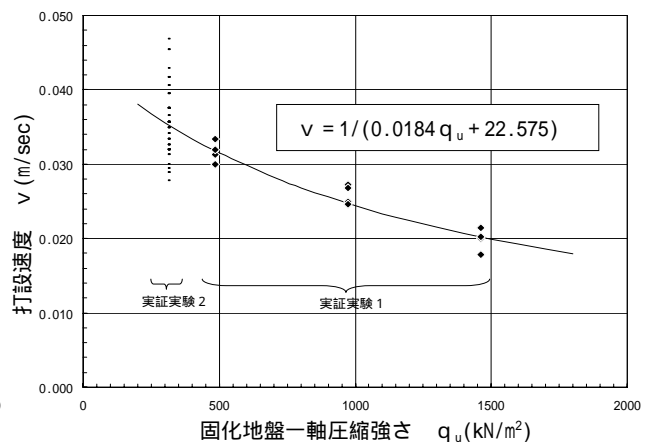


図 - 9 一軸圧縮強さと打設速度の相関



写真 - 8 打設完了状況 [固化地盤]



写真 - 9 打設完了状況 [泥岩密詰め粘土地盤]

(2)打設サイクルタイム

実証実験2における全 64 点の打設記録から打設サイクルタイムをまとめると、表 - 3に示すとおりである。

実証実験は、シート張力を計測しながら慎重に進められ、また、狭い施工エリア、浅い打設深度、新工法に対する作業員の熟練不足などから、十分な施工スピードが得られず、これまでの一般積算資料を参考にした施工時間より若干多く時間がかかっている。

なお、表 - 3は実験工事という観点から、参考値であり、現在、積算(係数方式)で用いられている1時間当たり標準打込長 290m/hr を検証するものではない。

(3)シート張力計測結果

実証実験2において、ドレーン打設開始から盛土載荷実験完了まで、および、その後2日間の放置期間におけるシート張力計測を実施した。

シート張力の変化要因を表 - 4に示す。ドレーン打設直後の接地圧増加や衝撃荷重付加が、シート張力の増加に大きく影響している。また、ドレーン打設により増加したシート張力は、その後の放置によって徐々に減少する傾向が認められる。

計測期間中に発生したシート張力最大値を図 - 10 に、盛土完了時のシート張力を図 - 11 に示す。施工中のシート張力最大値は 22.7kN/m であり、シート破断強度 49kN/m を大きく下回っていることから、実際の現場施工においても、ブレーカ付ドレーン打設機による固化盤打抜き、および、その後の覆土施工の安全性が確保できるものと予想される。

4. おわりに

実証実験を通じて本打設機の有効性は十分に確認された。機械の耐久性や、大規模施工における更なる効率化などについては、今後の実工事を反映しながら、より一層改善を進める必要がある。



写真 - 10 ドレーン打設状況[実証実験2]



写真 - 11 盛土載荷(2m)完了[実証実験2]

表 - 3 打設サイクルタイム(参考)

	実証実験 2		[参考]一般積算値		
	時間 (sec)	速度 (m/sec)	時間 (sec)	速度 (m/sec)	
アンカーセット	50.9	-	45.0	-	
打設	砂層 層厚 1.0m	19.4	0.052	13.3	0.075
	表層改良層 層厚 1.5m	42.5	0.035	-	-
	浚渫粘土層 層厚 2.5m	12.1	0.207	7.1	0.350
着底確認	6.2	-	5.0	-	
引抜き 層厚 5.0m	26.7	0.187	10.0	0.500	
フロート上げ	14.0	-	-	-	
移動	13.3	-	10.0	-	
フロート下げ・他	34.0	-	-	-	

表層改良層の一軸圧縮強さ: $q_u=312\text{kN/m}^2$
 [参考]一般積算値: 平成9年度版NCBドレーン工法積算マニュアル引用

表 - 4 シート張力変化要因

	影響要因	影響度
シート張力増加	ドレーン打設(打設・引抜き)	小
	ドレーン打設直後にフロートを上げた時点(接地圧増加)	大
	ドレーン打設直後の打設機移動(衝撃荷重付加)	大
	シート張力が大きく増加した後の上載荷重増加(盛土)	小
シート張力減少	放置期間	小

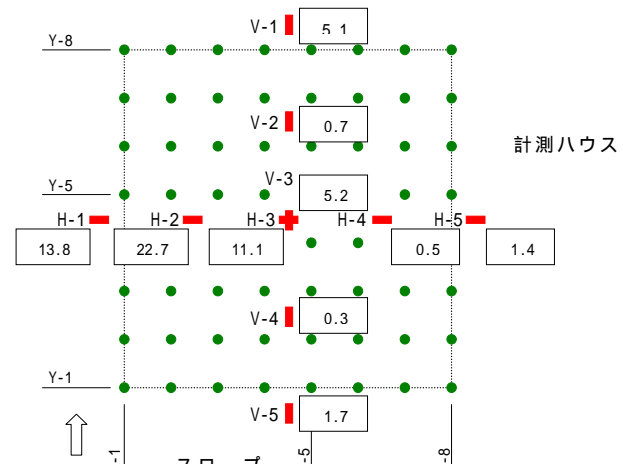


図 - 10 各計測位置のシート張力最大値(kN/m)

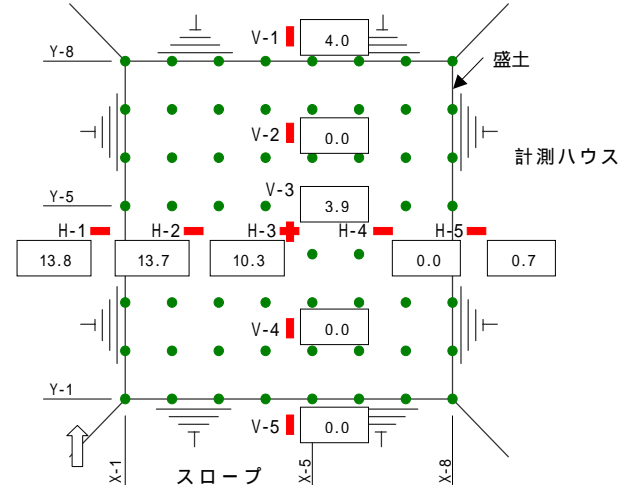


図 - 11 盛土載荷(2m)完了時 シート張力(kN/m)