

生分解性プラスチックボードドレーン 「ラクトボード工法」の開発と適用

梅木康之¹・須山泰行²・八木正³

¹正会員 国土総合建設株式会社 技術本部技術開発部（〒108-8432 東京都港区海岸3-8-15国総芝浦ビル）

²蝶理株式会社 産業資材部（〒540-8603 大阪市中央区瓦町2-4-7）

³三井化学株式会社 ポリマー事業開発室（〒297-0017 千葉県茂原市東郷1144）

パーチカルドレーン工法は、鉛直ドレーン材を軟弱な粘性土地盤に打設して、排水距離を短縮することで地盤の圧密沈下を促進する工法であり、これまでに数多くの実績を有している。このドレーン材として生分解性プラスチックボードを用いたのがラクトボード工法である。これは芯材・フィルターともに天然のでんぷん（飼料用とうもろこしでんぷん）や糖類等の植物を原料としたポリ乳酸樹脂を主成分としているため、土中の微生物により生分解が行われる。将来的にはこのラクトボードは完全に生分解するため、周辺環境への負荷が軽減できる工法である。

キーワード：地盤改良，圧密沈下，生分解性プラスチック，環境配慮

1．はじめに

近年、環境やリサイクルへの要求が国内外で高まる中、様々な産業分野において循環型社会への対応が責務となりつつある。建設業界においても、建設リサイクル法の遵守等、環境にやさしい「ゼロエミッション」に努めなければならない、それに向けた技術開発が盛んに行われている。

古くから地盤改良工事（写真-1）に従事してきた我々は、こういった時代背景の中で、プラスチックボードドレーン工法に生分解性のプラスチック材料を使用する研究を進めてきた。これは従来のプラスチックボードドレーン工法に、植物資源を原料とした新材料を用いることで、化石資源の使用量低減や地盤中での生分解という「環境配慮型のパーチカルドレーン工法」となる¹⁾²⁾。本稿は、この環境配慮型のパーチカルドレーン工法の開発と現場への適用性について記すこととする。

2．プラスチックボードドレーン工法

軟弱地盤の圧密沈下を促進する工法としては、鉛直ドレーン材を排水路材として軟弱地盤中に打設して排水距離を短縮させ、人工的に水みちをつくるバ



写真-1 地盤改良工事

ーチカルドレーン工法がある。これにはプラスチックボードを用いるプラスチックボードドレーン工法や砂の杭を造るサンドドレーン工法、小口径袋詰めサンドドレーン（パッドドレーン）工法等があり、現在広く普及している。その中のプラスチックボードドレーン工法の打設サイクルを図-1 に示す。位置決めをした後に共上がり防止用の先端シューを取り付け、ケーシング内にドレーン材を挿入した状態で打設し、規定の深度に達した後にケーシングのみを引き抜き1サイクルが完了となる。

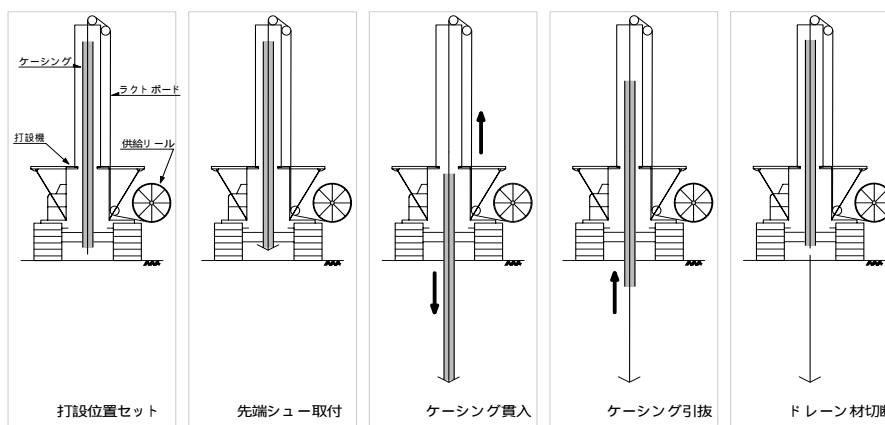


図-1 打設サイクル

この工法で用いるドレーン材は、当初、板紙に溝を付けたものを貼り合わせたカードボードドレーン（ペーパードレーン）として開発されたもので、1965年にスウェーデンより導入され、極めて軟弱な埋立地の改良等に用いられた³⁾。その後、沈下に伴うドレーン材の蛇行や目詰まり等による透水係数の低下を最小限に抑えた材料へと発展したのがプラスチックボードドレーンであり、現在では非晶 PET、ポリプロピレン（PP）樹脂等を原料としたものが主流であり、その断面形状は様々である。

工法の確立とともに使用するドレーン材の種類も複数存在するが、どれも品質的に差がないため同様な打設機と施工方法で工事が進められている。しかしながら、このようなプラスチックボードは軟弱地盤の圧密沈下が完了した後も半永久的に地中に残り続けるため、沈下終了後の地盤掘削あるいは土地の再利用整備等では地中障害物として扱われることも少なくない。つまりこのような場所では圧密期間中にその役目を全うし、任務完了後には無害となるドレーン材が理想である。そこで包装容器や園芸資材等で既に利用が進み注目を集めている生分解性プラスチック⁴⁾を応用したドレーン材（ラクトボード）の開発を進めてきた。

3. ラクトボードの開発

(1) 開発の経緯

2001年からこのラクトボードの開発を進めてきている。開発の経緯を以下に示す。

2001；試作品の検討

2002；形状を袋型とし、実工事において試験的に採用、実証実験の実施、特許申請

2003；実工事にて採用

優先権主張出願（2002年特許申請）

モニタリング調査（第1回）

2004；モニタリング調査（第2回）

NETIS登録

実工事にて採用

2005；一体型形状に改良し、実工事に採用

(2) 天然資源を原料としたプラスチックボード

ラクトボードの主成分は、とうもろこし等に含まれる天然のでんぷんや糖類を原料として作られた「ポリ乳酸（PLA）」樹脂である。従ってラクトボードとして製品化され地中に打設されると、その後微生物によって水と二酸化炭素に生分解され、これが天然植物の生育に必要な不可欠な光合成に寄与するという循環が成り立つことになる（図-2 参照）。

従来の石油精製プラスチックボード（非晶 PET）と比較すると、化石資源使用量（エネルギー換算；MJ/kg）がおおよそ 25%低減し、製造時の CO₂ 発生量（kg/t）を約 50%抑えることができるため、地球環境に配慮したドレーン材と言える。

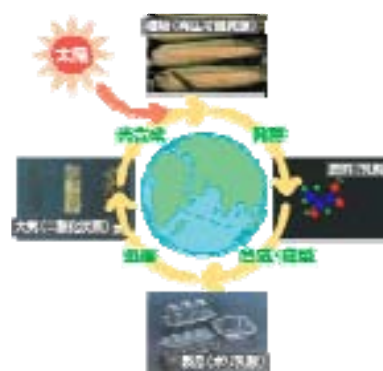


図-2 循環サイクル図

(3)ラクトボードの生分解性

生分解性プラスチックの定義として「使用状態では従来のプラスチックと同等の機能を有し、使用後廃棄された時は土中または海水中などの微生物により分解され、最終的に水と二酸化炭素になるプラスチック」とある。この生分解に必要な微生物とは特殊なものではなく、一般的に日本の土壌に生息するものである。一方で、pH が極端に低い(2~4)、土壌の温度が低い、水分が少なく土壌が乾燥している等といった条件下では、生分解の進行が極端に遅くなる。

ラクトボードの生分解性について、制御されたコンポスト条件下で生分解度を測定している(JIS K 6953, 醗酵コンポスト, 58, 暗所培養)。これを基に実在する一般的な地盤(土質, 微生物, 温度, pH 等)に置き換えて生分解速度を想定した(図-3)。生分解速度は、その地盤条件や微生物の生息状況によって幅を持つが、約5年後から生分解が始まり、約12年経過するとほぼ完了すると推測できる。またラクトボードの厚みを変えることで生分解期間を調整するといった研究も進めている。写真-2に生分解状況(想定)を示す。

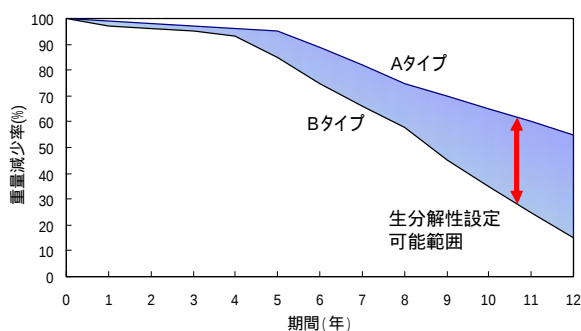


図-3 生分解シミュレーション



写真-2 ラクトボード生分解状況(想定)

生分解性のドレーン材を用いることにより、圧密沈下終了して長期経過した際のシールド工事や地下掘削工事等の作業時に障害を来さず、また掘削土の取り扱いにおいても分別作業が不要となる。また、完全に生分解していなくても、ラクトボードの残骸は可燃ゴミという判断で処分できる。特に宅地造成等においては、軟弱地盤対策後にライフラインや居

住施設の整備のための地盤掘削が頻繁に行われるため、ラクトボードのような無害化となる材料が期待されている。

(4)ドレーン材としての品質

ドレーン材はその目的を満足するために十分な透水性と引張強度が要求されている。表-1に示すようにラクトボードの透水係数(透水試験; JIS A 1218, 面内透水試験)や引張強度(引張強度試験; JIS K 6745)は、それぞれ室内試験により一般的要求値を満足することが確認されている。また形状については、施工性・運搬性の面から従来のプラスチックボードと同様とし、現行での寸法は材料幅 $9.8 \pm 0.5\text{cm}$ 、厚み $2.5 \pm 0.5\text{mm}$ を標準仕様としている(表-2, 写真-3参照)。パーチカルドレーンの設計を行う際には従来通り直径5cmの円形断面へ置き換えることができる。

表-1 物性表

項目	物性値	測定方法
透水係数	垂直 $2.08 \times 10^{-1} (>1.0 \times 10^{-1}) \text{cm/sec}$	JIS A 1218 準拠
	水平 $2.01 \times 10^{-2} (>1.0 \times 10^{-2}) \text{cm/sec}$	
引張強度(乾燥)	$2.41 (>2.00) \text{kN/製品幅}$	JIS K 6745 準拠

表-2 標準仕様

項目	数値・名称
素材	芯材 ポリ乳酸(PLA)
	フィルタ ポリ乳酸(PLA)
	接着剤 ポリ乳酸(PLA)
製品幅	$9.8 \pm 0.5\text{cm}$
厚み	$2.5 \pm 0.5\text{mm}$
荷姿	300m
構造	一体型



写真-3 ラクトボードの形状

(5)ラクトボード工法の新規性

圧密期間終了後には生分解する等，下記のような特徴が挙げられる．

天然植物を原料とするため，化石資源の枯渇と CO_2 発生量を抑制でき，環境負荷を低減できる

一般的な土中の微生物のはたらきによって生分解する，自然に還る素材である

圧密期間終了後に周辺環境の負荷を軽減する地下掘削工事での重機への負担（掘削機の損傷や障害物の撤去等）を軽減する

形状や重量等を変更することで，生分解の期間を調整することが可能である

建設発生土の分別作業（プラスチックと土砂）が必要ない

焼却した場合でも，発熱量が少ないため炉を傷めず，発生ガスもクリーンである

ラクトボードは従来のプラスチックボードと透水性や規格に違いがないため，当工法の施工は2章に示す従来方法と同様としている．

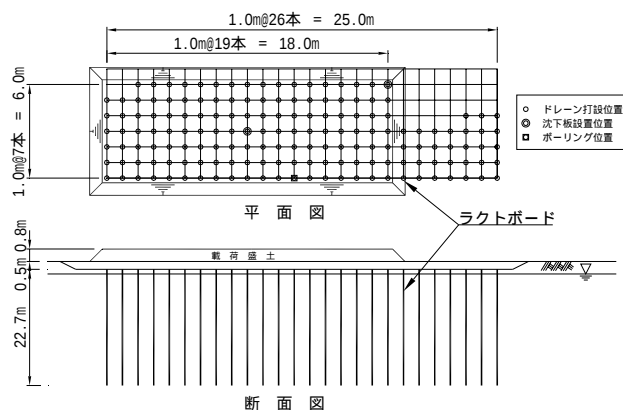


図-4 実証実験打設図

表-3 微生物分析結果

試験項目	土壌深度(m)			
	0.6～1.0	1.6～2.0	3.5～4.0	7.0～8.0
好気性細菌数	1.2×10^7	8.6×10^6	1.1×10^7	1.5×10^8
耐熱性芽胞菌数	9.8×10^4	1.8×10^4	2.1×10^4	1.6×10^4
グラム陰性菌数	3.9×10^4	1.4×10^6	3.0×10^5	3.2×10^5
グラム陽性菌数	1.2×10^7	7.2×10^6	1.1×10^7	1.5×10^8
嫌気性菌数	8.7×10^3	1.2×10^4	1.8×10^4	4.4×10^4
放線菌数	9.6×10^4	1.4×10^4	7.0×10^3	2.1×10^4
系状菌数(カビ数)	3.3×10^3	7.7×10^4	3.0×10^4	3.9×10^4

表中の数値は微生物数CFU/g

4．実証実験による現場適用性

(1)実験概要

ラクトボードをドレーン材として使用した場合の施工性，確実性および生分解性を検証するために，平成15年3月に実証実験を行っている．

ここは，河川の氾濫源により形成された沖積低地（扇状地～三角州）が広がる平坦な水田地帯である．土質はDL-5m以浅はN値が5程度のシルト混じり砂層，それ以深のDL-22.5mまではN値0の非常に軟弱な粘性土層である．こういった地盤の休耕田20m×10mを施工範囲とし，162本，総延長約3,676.7m（打設平均深度22.7m）のラクトボードを打設した（図-4参照）．層別土質性状を図-5に示す．また表-3には当該土壌における微生物数の分析⁵⁾結果を示す．また今回の実証実験の目標は以下のとおりとした．

施工性：従来工法と同等の運転サイクル確認
排水性能：沈下計算結果との比較
生分解性：圧密沈下終了後からの生分解

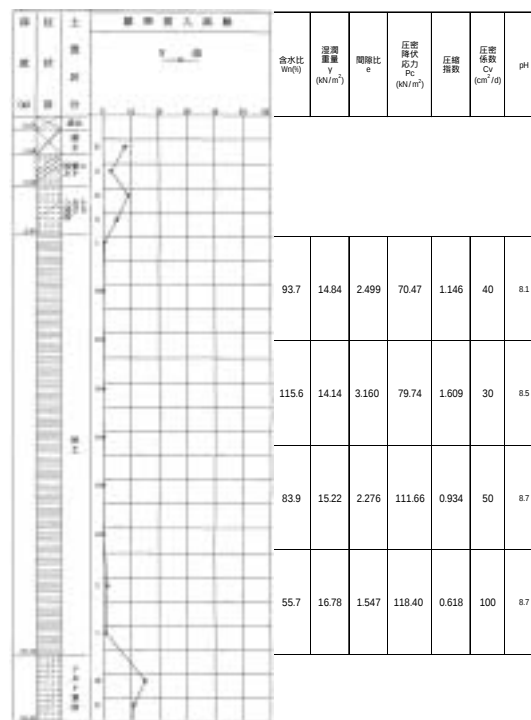


図-5 土質柱状図

(2)圧密沈下

実験前に現地の土質データを基に圧密沈下計算（Cc法，オスターバーク）を行っている．一方現地ではラクトボード打設後に地表面（載荷盛土底面）に沈下板を設置し実際の沈下量を計測しており，

盛土中央部を着目点としてこれらと比較する（図-6 参照）。これによると、ほぼ圧密沈下計算結果に沿った沈下曲線を描いている。ただしこれは1対1の比較にすぎず、より工学的な検証が必要である。

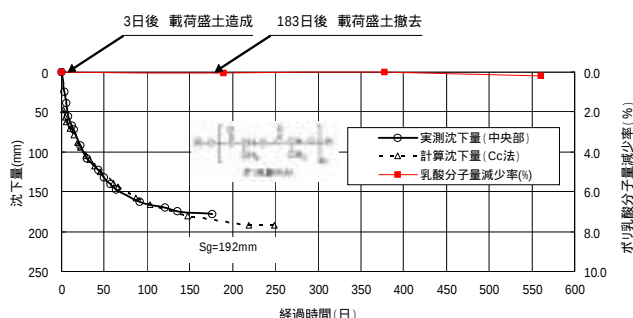


図-6 圧密沈下量とポリ乳酸分子量減少率の経日変化

(3)生分解性

打設以降、2回/年の掘削調査を実施し、地中のラクトボードを採取している。写真-4のとおり目立った目詰まりや破損はない。また主成分であるポリ乳酸の分子量測定（ゲル浸透クロマトグラフ分析（GPC））も継続的に行っており、沈下促進中では生分解はなく最近わずかに生分解が進みはじめている（図-6 ポリ乳酸分子量減少率）。

この生分解の進行した22ヶ月サンプルの品質を、使用前と同様な試験方法により確認している（表-4 参照）。打設前の新品と比較し透水係数は上がり、引張強度については大きく低下しているのがわかるが、これらは生分解による空隙率の増加が影響しているものと考えられる。何れにしても実証には期間が必要であり、今後の長期モニタリングにより検証していきたい。



写真-4 サンプルング（6ヶ月後）

表-4 物性の変化

項目		物性値		測定方法
		打設前	地中22ヶ月経過	
透水係数	垂直	$2.08 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$	$4.52 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$	JIS A 1218 準拠
	水平	$2.01 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$	$3.34 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$	
引張強度（乾燥）		2.41kN/製品幅	0.60 kN/製品幅	JIS K 6745 準拠

(4)環境への配慮

3章(2)節で既に示したように、生分解性プラスチックの採用により化石資源使用量およびCO₂発生量の低減が可能となる。今回、実証実験の総延長3,676.7mに対し、従来品とラクトボードの材料の違いによる環境影響を3章(2)節で示した2項目について比較した。表-5に示すとおり、それぞれ単位m当たりから総延長に相当する量を試算しており、特に化石資源使用量低減への貢献が注目できる。

表-5 環境影響

プラスチックボードドレン材		従来品 (非晶PET)	ラクトボード (PLA)
単位m当たり質量(g)		90	90
化石資源使用量	質量当たり* エネルギー換算(MJ/kg)	76	57
	単位m当たり エネルギー換算(MJ/m)	6.8	5.1
	延長3,676.7m当たり エネルギー換算(MJ)	25,002	18,751
	低減量(MJ)	-	6,250
CO ₂ 発生量	質量当たり* (CO ₂ kg/ton)	3,210	1,774
	単位m当たり (CO ₂ kg/m)	0.289	0.160
	延長3,676.7m当たり (CO ₂ kg)	1,062.6	588.3
	低減量(CO ₂ kg)	-	474.3

*カーギル・ダウ社資料

(5)施工性

施行状況を写真-5、写真-6に示す。

施工は従来のドレン打設機（23m級）をそのまま使用し打設を行った。従来のドレン材と同様の工程ならびにスピードで施工ができ、ラクトボードを使用することによる問題は特に発生しなかった。



写真-5 打設状況



写真-6 打設完了

5．採用実績

これまでのラクトボードの採用実績を表-6に示す。

当初は袋型形状であったが、実工事C以降は一体型に変更している。

実証実験A（4章参照）については、現在もモニタリングを継続中である。

表-6 採用実績一覧

	工事名	年	施工場所	平均打設長(m)	本数(本)	施工数量(m)
1	実工事A	2002	新潟	4.0	50	200
2	実証実験A	2003	福岡	22.7	162	3,676.7
3	実工事B	2003	熊本	20.0	250	5,000
4	実証実験B	2004	埼玉	11.0	392	4,312
5	実工事C	2004	熊本	26.3	726	19,082.8

6．おわりに

2001年から開発を進めているこのラクトボードは、環境配慮型ドレーン材としての性能向上にむけた改良を重ね、また実績を積み今日に至っている。

残された課題として、生分解のメカニズムや分解速度の操作といった計画設計的ノウハウが乏しい点が挙げられる。

今後も、より高い製品と技術の提供を目標に、以下の点について引き続き研究を進めるつもりである。

排水性能については計算沈下量との比較のみでなく、より工学的な観点で評価する。

圧密期間中の品質について詳細な調査が必要である。

生分解性の試験を実施し、土壌条件（微生物、pH等）による生分解性の特性を把握する。

環境への配慮について、具体的数値を用いて定量化し、環境へのアピールを強く示す材料を用意する。

長期モニタリングを継続する。

参考文献

- 1) 大古利勝己：ラクトボード工法，マリンボイス 21，日本埋立浚渫協会，Vol. 232，pp21-23，2003。
- 2) 池上成洋：生分解性プラスチックボードドレーン「ラクトボード工法」，建設技術展 2003 近畿開発技術発表会論文集，pp93-96，2003。
- 3) 社団法人地盤工学会：軟弱地盤対策工法-調査・設計から施工まで-，現場技術者のための土と基礎シリーズ 16，pp89，1988。
- 4) 大淵省二ら：生分解性プラスチックの評価と応用「レイシア」，プラスチック，工業調査会，Vol. 51，pp85-88，2000。
- 5) 土壌微生物研究会編：新編土壌微生物実験法，養賢堂，1992。