

ファイバードレイン工法—環境に優しいバーチカルドレイン工法—

Fibredrain Method—Environmentally Friendly Vertical Drain—

周 藤 宜 二 (すとう よしじ)

復建調査設計(株)ジオシステム部 課長

三 浦 哲 彦 (みうら のりひこ)

佐賀大学教授 理工学部建設工学科

濱 田 弘 治 (はまだ こうじ)

広島県港湾振興局専門員

井 上 年 行 (いのうえ としゆき)

復建調査設計(株)国際事業部 次長

吉 田 義 和 (よしだ よしかず)

広島県港湾振興局工務課 課長

網 干 壽 夫 (あぼし ひさお)

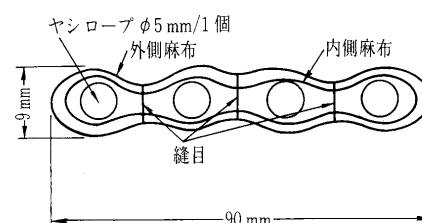
広島大学名誉教授

1. ま え が き

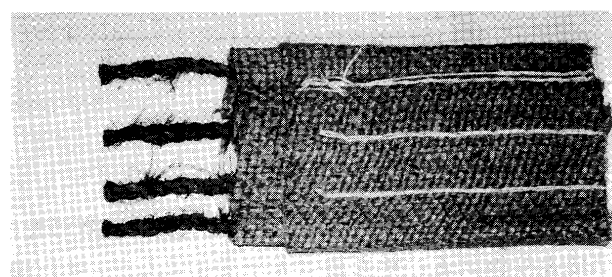
戦後の経済発展を支えてきた瀬戸内海コンビナート、市街地の再開発用地、工業団地等は軟弱な地盤上への埋立て、盛土によって確保されてきた。その場合には、バーチカルドレイン系の地盤改良工法によって軟弱な粘土層の圧密沈下の促進をはかる対策工がとられ、サンドドレイン（以下、SD と称する）やプラスチック系のドレイン（以下、PD と称す）材が用いられてきた。近年、良質なドレイン砂の入手が困難になってきていると共に、砂採取による環境破壊が問題視されつつある。また PD 材は、地盤改良の役目を終わった後も半永久的に地中に残ってしまうので、将来の掘削工事等に支障となることが指摘されている。

ファイバードレイン（以下、FD と称する）材は、シンガポール国立大学 S. L. Lee（リー）名誉教授を中心とした研究グループによって開発されたバーチカルドレイン材であり、チャンギ国際空港第二滑走路構築のための埋立て工事（1979年）において厚さ約20 m の軟弱地盤の改良に適用された¹⁾。FD 材は、黄麻繊維の織物とヤシの実の外皮繊維をよったロープからできている。黄麻は、一年草で東南アジアでは広く栽培されており、原料の供給は豊富である。またヤシの実の外皮繊維は、本来コブラを取った後はほとんど捨てられていたものを再利用したものである。このように FD 材は天然繊維からできているので、地盤改良後は地中のバクテリア等によって徐々に分解され最終的には土に同化する特性を有している。このような観点から、FD 材は環境に優しいゼロエミッション型の地盤改良材といえることができる。

FD 材を用いた地盤改良は東南アジア、特にシンガポール、インドネシア、マレーシアでは施工実績が蓄積されているが、日本国内での実績は皆無であった。日本へ導入するにあたり、再度材料の引張り強度、通水能力等の工学的特性について室内実験によって確認すると共に、現地試験工事においてその改良効果についても検証を行ったので、それらの結果について報告をする。



図—1 ファイバードレイン材の概略断面



写真—1 ファイバードレイン材

2. 材 料 特 性

2.1 構成・形状

FD 材の概略断面を図—1 に、また形状の概略を写真—1 に示す。FD 材は幅約90 mm、厚さ約9 mm の板状のドレイン材で、二重の黄麻織物を二つ折りにして帯状とした内部にヤシの実の外皮繊維をよった4本のロープをほぼ等分に配列し、各ロープ間を織物の上から連続縦縫いして構成されている。

外側の黄麻織物は、土粒子をドレイン内に通過させないフィルター材としての役割があり、二重であればその効果は十分であるとされている¹⁾。またヤシロープは、FD 材の断面形状を保つことと通水路を確保する役割がある。

2.2 通水特性

室内通水試験装置（試験装置については文献²⁾を参照のこと）を用いて FD 材の縦方向の通水性能について、四つの側圧条件（ $\sigma_3=0.5, 1.0, 1.5$ および 2.0 kgf/cm^2 ）、四つの動水勾配条件（ $i=0.2, 0.3, 0.5$ および 0.9 ）のもとで実施した結果を図—2（供試体の変形条件は変形な

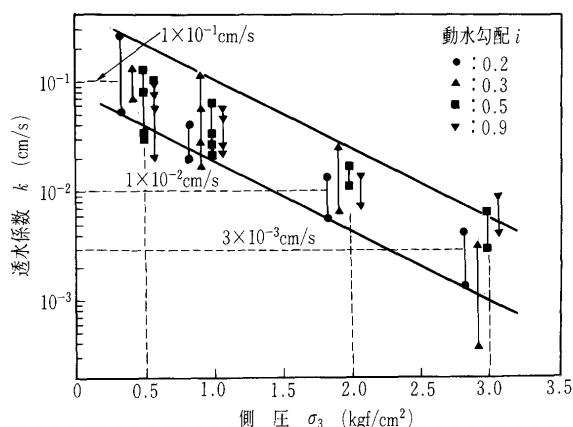


図-2 側圧と透水係数の関係

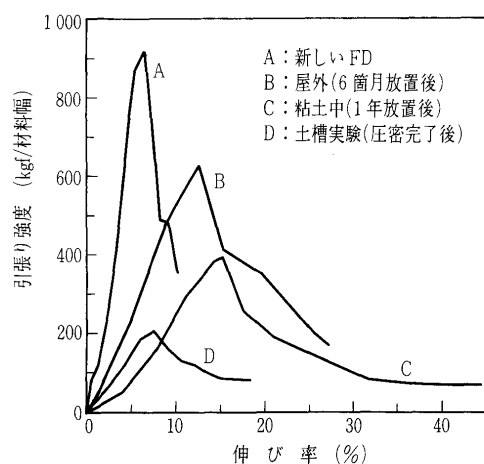


図-3 伸び率と引張り強度の関係

し)に示す。透水係数の算出にあたっては、側圧の大きさにより供試体の断面積は若干変化するが、 8.1 cm^2 ($=9.0 \times 0.9$) で一定としている。FD 材は天然繊維でできているので微少な空隙が無数にあるためか、一定条件下での試験中でも通水量は時々刻々と変化するので図-2に示すように幅のある結果となっている³⁾。FD 材を強制的に折り曲げて同様な試験を行っているが、折り曲げがない場合とほとんど変化はない。透水係数の平均的な値としては、側圧が $\sigma_3 = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に $k = 1.0 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ 、 $\sigma_3 = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に $k = 1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ であり、パーチャルドレーン材としての通常の使用においては十分な通水能力があるものと判断される。

2.3 引張り強度の変化

各種条件下で養生した FD 材の試験体を所定期間経過後に取り出して引張り試験 (引張り速度 $1.0\%/min$) を行い、引張り強度の変化を把握することにより FD 材の劣化の程度を調べた。図-3 は引張り強度と伸び率の関係を例示したもの、図-4 は経過時間と引張り強度の関係を例示したものである。新鮮な FD 材の引張り強度は 900 kgf 強/材料幅で、従来の PD 材のそれと比較して相当強い。

引張り強度の低下は、屋外に放置したものあるいは有明粘土中に浸潤させたものよりも後述する土槽実験で圧

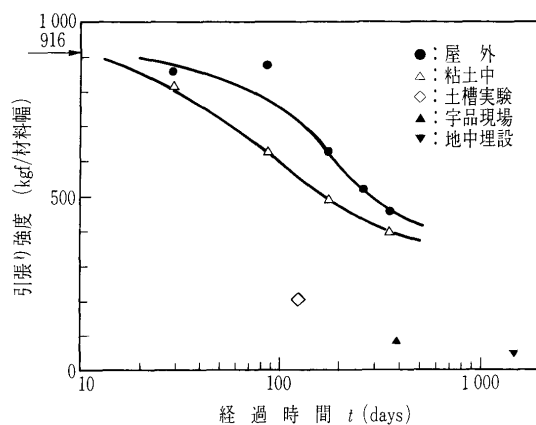


図-4 放置期間と引張り強度の関係

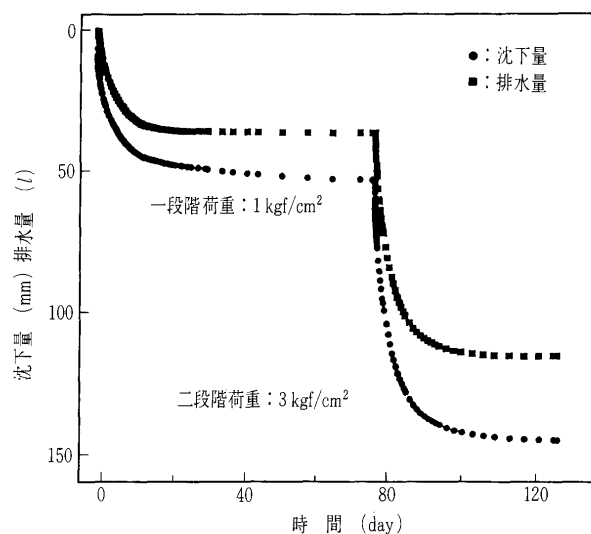


図-5 圧密時間と沈下量、排水量の関係

密完了後に取り出したもの、実打設現場 (広島港宇品地区) で13箇月後に掘り出した (地表面下 2.2 m) もの、約4年間地中埋設 (地表面下 $50 \sim 60 \text{ cm}$) したものの方が著しく大きい。拘束圧条件下で変形を受けた場合、また地中で乾湿繰返しを受けた場合の方が、劣化の進行が促進されるものと推定される。

いずれにしても、FD 材は地中に打設された後は時間経過と共に劣化して土と同化する傾向があることがわかる。

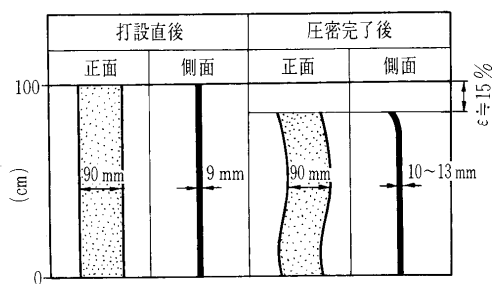
2.4 圧密沈下に伴う追従性

大型鋼製円筒圧密試験装置 (直径 120 cm 、高さ 130 cm) 内に練返した有明粘土 (自然含水比 $w_n = 105\%$ 、液性限界 $w_L = 86.2\%$ 、塑性指数 $I_p = 47.9$) を詰め、 0.5 kgf/cm^2 の鉛直圧力を約1年間負荷して予圧密を行って試験体を作成した。その後 FD 材を試験体の中心に打設し、2段階の鉛直応力を負荷して沈下量と排水量を測定した⁴⁾。

沈下量、排水量と時間の関係を図-5に示す。沈下曲線から逆算で求めた水平方向の圧密係数 c_h は、第1段階荷重において $252 \text{ cm}^2/\text{d}$ 、第2段階荷重では $293 \text{ cm}^2/\text{d}$ と2段階目の方が大きいという結果が得られ、また不攪乱の有明粘土の圧密係数はおよそ $c_v = 70 \text{ cm}^2/\text{d}$ であるのに対して3~4倍大きく、FD 材がドレーン材と



写真—2 FD材の変状状況



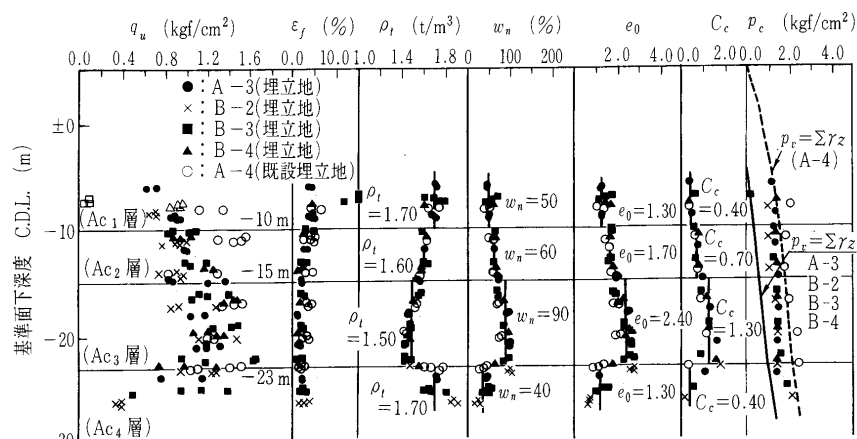
図—6 変状の模式図

して有効に機能していることがわかる。実験完了後に粘土を削りFD材を取り出して観察したところ、写真—2および図—6の模式図に示すようにFD材は沈下(縦)方向に収縮し、またその断面が当初厚さが9mm程度であったものが10~13mmに膨張する変状状況が観察され、前記現象もこの変状形態に関連するものと考えられる。このような変状形態は、サンドドレーンと類似しているものと推察され、FD材は圧密沈下による地盤の沈下に追随し、大きな地盤の沈下が生じても地中で座屈、破断しにくい特性があることが判明した。

3. 現地試験工事における改良効果の評価

広島港の一部での埋立造成事業における地盤改良工事において、基本的にはSD工法で地盤改良が実施されている中で同じ地盤改良目標(盛土放置期間10箇月で圧密度90%)でFD工法の試験工事を実施した結果について述べる⁵⁾。

当地区の土質定数の深度分布を図—7に示す。軟弱な沖積粘土層は4層に区別され、層厚は20m程度であり、現地盤の土被り圧に対して過圧密状態である。上記地盤改良目標に対してSD工法での改良仕様は、ドレーンの直径 $d_w=40$ cmの場合打設ピッチは $d=2.5$ m(正方形配置)である。これに対してFD工法では、ドレーンの打設長が30 m程度と長いことから次式に示すように吉



図—7 土質定数の深度分布

国の解⁶⁾(ウェルレジスタンス係数 L)を適用して設計を行った。なお、ドレーン径はPD工法の設計を準用して $d_w=5$ cmとしている。

$$L = \frac{32}{\pi^2} \cdot \frac{k_c}{k_w} \cdot \left[\frac{H}{d_w} \right]^2$$

ここに、 k_c : 粘土の透水係数

k_w : ドレーン材の透水係数

H : ドレーン材の排水長

当初設計においては、ドレーン材の透水係数を将来受ける土被り圧を考慮して $k_w=1.0 \times 10^{-2}$ cm/sと設定すると $L=4.6$ となり、地盤改良目標に対するFD工法での改良仕様は $d=1.1$ m(正方形配置)となる。

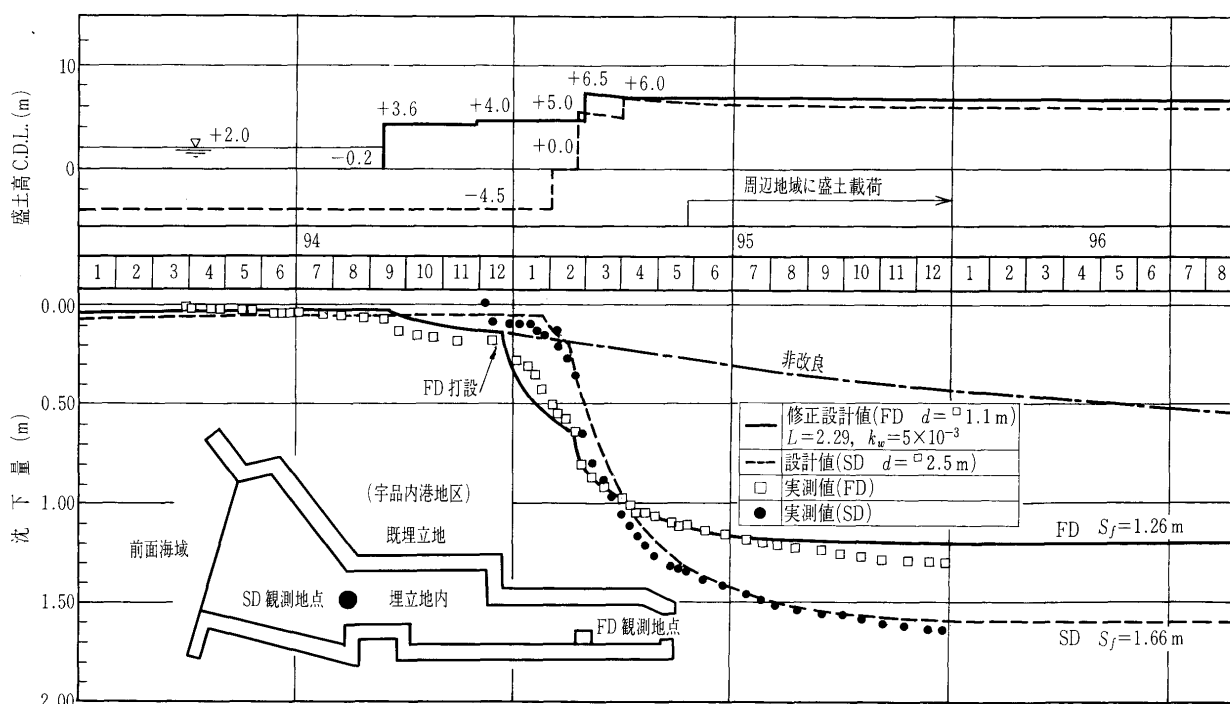
SD工法、FD工法における理論沈下と実測沈下の対比を図—8に示す。両観測地点で層厚、載荷重等が異なるために、最終沈下量には差異が生じている。FD工法における理論沈下曲線は、FD材自体に設置した間隙水圧計の観測結果より損失水頭の深度分布の経時変化を図—9に示すが、間隙水は上下方向に排水されていることが判明したために前記 L の算定式中の H を $H/2$ に、さらに実測値とのフィッティングから L の値としては当初設定値の1/2の $L=2.3$ とし、結果として k_w の値は当初設定値の1/2の $k_w=5.0 \times 10^{-3}$ cm/sと修正をしている。

SD工区における実測沈下は、当初の理論沈下曲線とよく一致していると共に、FD工区においては実測値より理論値を修正しているが、いずれにしても両改良工区ともに当初の地盤改良目標を達成しており、FD材はSDの代替材として十分な機能を有していることがわかる。

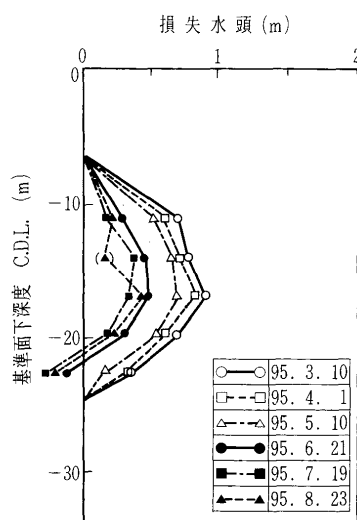
4. あとがき

すでに東南アジアでは実績のあったファイバードレーン材を日本の地盤改良工事の一部に導入して検証した結果、サンドドレーンと同等の軟弱地盤改良能力を有することが確認された。検証した地域は、典型的な瀬戸内海の沖積粘土が分布する広島港であり、この結果は日本の軟弱地盤に普遍的に適用できるものと考えられる。

ファイバードレーン材は黄麻とヤシの実の天然繊維か



図—8 理論と実測沈下との対比



図—9 FD 材の損失水頭の経時変化

らできており、東南アジアではそれら材料の供給は豊富であり、また自然環境を損ねることもない。さらに地中に打設後徐々に分解して、最終的には土と同化する環境に優しい材料である。

さらに FD 材は沈下と共に収縮して厚さが大きくなるような SD と類似の変状状態を示し、大きな沈下を受けても座屈、破断することなく、確実な排水路を維持できるものとする。

施工方法については別途公表されるものと思うが、従来から用いられている打設機に若干の付加装置等を設置

することにより、最大3 000 m の連続打設が可能となる等の改善を図っており、施工能率、品質も従来の工法と同程度である。

最後に、本工法についての技術的事項について御指導、御協力をいただきましたシンガポール国立大学 S. L. Lee 名誉教授、また材料の提供に便宜をいただいた(株)アミノの村上氏に深く感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Lee, S. L., Karunaratne, G. P., Das Gupta, N. C., Ramaswamy, S. D. and Aziz, M. A.: Laboratory Testing and Field Behaviour of Fibredrain, Symposium on the Application of Geosynthetic and Geofibre in Southeast Asia, pp. 1-17~1-25, 1989.
- 2) 三浦哲彦・朴 永穆・M. R. Madhav: プラスチックボードドレーンの排水性能に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 481/Ⅲ-25, pp. 31~40, 1993.
- 3) 唐・三浦・房野・室田: ファイバードレーンの排水特性に関する基礎実験, 土木学会西部支部研究発表会, pp. 430~431, 1995.
- 4) 唐・三浦・房野・室田: ファイバードレーンの排水性能に関する大型圧密実験, 土木学会第50回年次学術講演会, 第3部門, pp. 1472~1473, 1995.
- 5) 吉田・浜田・先森・後藤: ファイバードレーン工法の地盤改良効果について, 土木学会第50回年次学術講演会, 第3部門, pp. 1504~1505, 1995.
- 6) 吉国 洋: パーチカルドレーン工法の設計と施工管理, 技報堂出版, pp. 40~49, 1979.

(原稿受理 1997.3.3)