

透水層埋設海浜の地盤特性と透水層の長期排水性 に関する調査研究

岩 佐 直 人*・堀 謙 吾**・谷 山 正 樹***

1. はじめに

透水層を海浜中に埋設して、遡上してきた波を地盤内に浸透させた後、海中に自然排水させて前浜の侵食を抑制させる新しい海浜安定化工法が開発され実用化されつつある。この透水層埋設による海浜安定化工法に関しては、これまでに模型実験・現地試験が行われ、地下水位の低下・前浜侵食の低減・平面的な前浜堆積効果等の海浜安定化効果はもとより海水浄化効果等も確認されている(例えば、柳嶋ら, 1995, 1996, 1997, 1998; 塩見ら, 1995)。

しかし、透水層の耐久性に関する既往の調査研究は、ほとんどないのが実状である。透水層の耐久性は、特に排水特性に支配されていると考えられることから、透水層の長期排水性を明らかにすることを目的として、透水

層埋設後の海浜地盤の締固め度に着目した現地調査ならびに、透水層の周囲を覆っている防砂シートに関する長期室内透水試験を行ったので、その内容について報告する。

2. 調査概要

(1) 現地調査

透水層は、茨城県波崎町運輸省港湾技術研究所波崎海洋観測所に隣接する範囲(沿岸方向 7.6 m × 岸沖方向 88 m)に、深さ 1~2 m の深さに埋設されている(詳細は、柳嶋ら, 1995 参照)。

今回行った調査は、図-1 に示す透水層を埋設した範囲の中心線上及び透水層設置範囲中心線より沿岸方向の鹿島側に 45 m 離れた自然海浜上を、岸沖方向に 10 m 間隔で、地盤の締固め度を測定した。計測にあたっては、

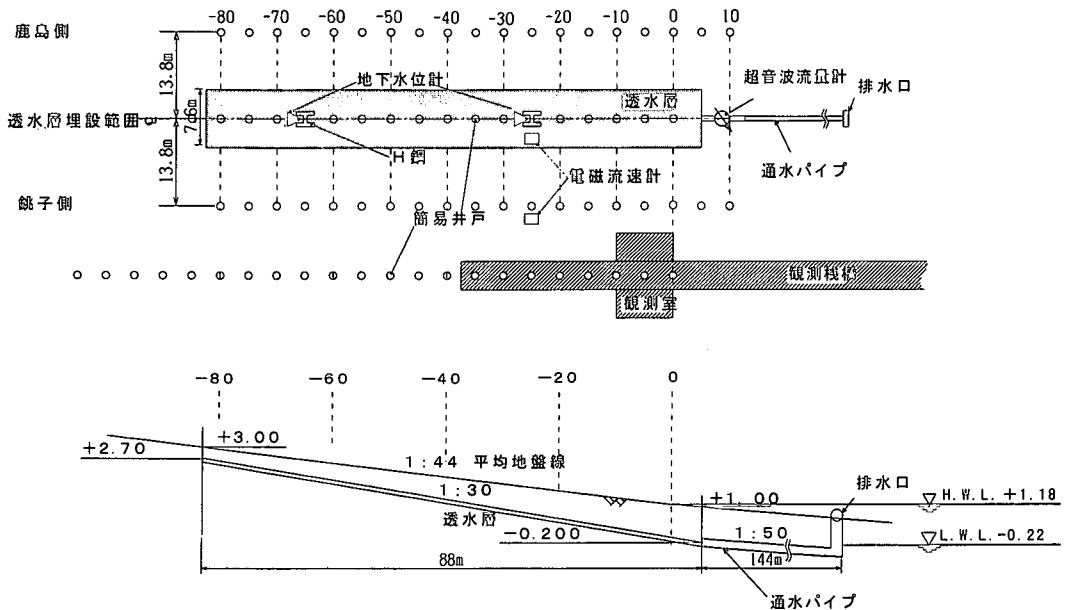


図-1 透水層埋設部の概要

* 正会員 日鉄建材工業(株) 土木商品開発部
** 正会員 日鉄建材工業(株) 土木商品開発部
*** 正会員 日鉄建材工業(株) 鉄構海洋商品部

体重約 60 kg の男性が簡易静的貫入試験機(ポータブルコーンペネトロメーター)を地盤に貫入させ、貫入可能

な深さまでの「深さ」と深さ 10 cm 毎の「押し込み抵抗
力：コーン支持力」を計測した。

(2) 長期定水位室内透水試験

図-2 に示すモールド径 10 cm の定水位透水試験装置
を用い、試料土厚 $L=17$ cm, 動水勾配 $\Delta H/L=2.5$ の条
件で長期透水試験を行った。

フィルター材には、透水層の防砂シートとして使用し
ている厚さ 3 mm, 透水係数 3×10^{-1} cm/s のニードルパ
ンチ方式で製造されたポリエステル短繊維不織布を用い
ている。表-1 に試料砂の物性、図-3 に試料砂の粒度分
布を示すが、この試料砂は波崎観測棧橋下において深さ
1 m 程度より採取した海浜砂を用いており、相対密度
40% (間隙比 0.8)・乾燥密度 1.526 g/cm³ の締固め条件
で試料土をモールドに詰めた後、越流水槽内に水をゆっ
くりと注入し、モールド底部からの水浸により試料砂を

表-1 波崎砂の物性

土粒子の密度 g/cm ³ (Mg/m ³)	透水係数 (JIS)		
	乾燥密度 g/cm ³ (Mg/m ³)	間隙比	透水係数 (cm/s)
2.716	1.642	0.654	8.4×10^{-3}

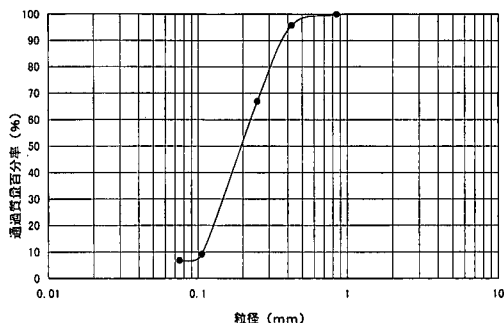


図-3 波崎砂粒度分布

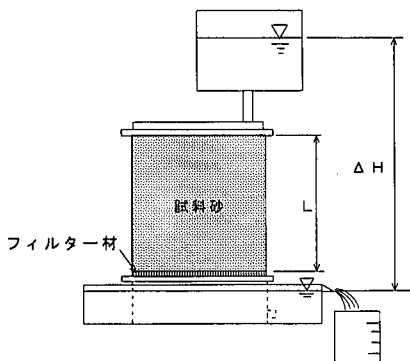
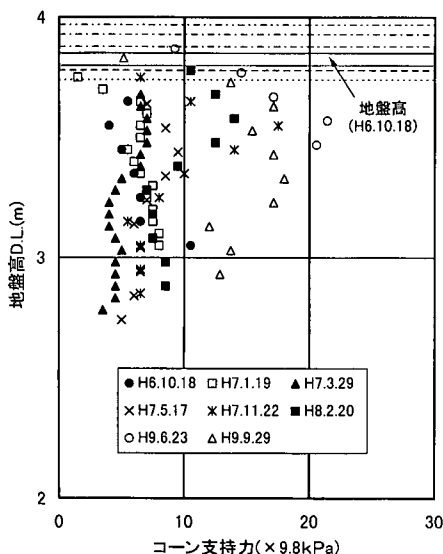


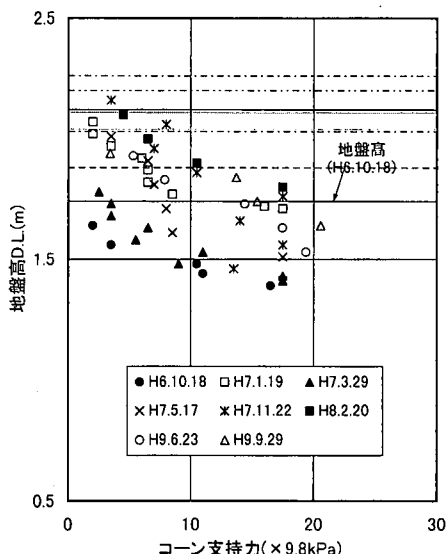
図-2 試験装置概要

飽和させた。試験は動水勾配 0.4 にて 2 時間ほど通水さ
せた後、動水勾配を 2.5 にあげ、通水量が一定となるまで
通水させた。

実際の透水層は水位差によって排水するため、波浪条
件によっては排水口から逆流現象が生じていることが報
告されている (柳嶋ら, 1995)。したがって本試験では、
この逆流による影響を確認するために、通水量が一定に
なった後、上部水槽と下部水槽を逆転させてモールド下
端から通水させる試験を実施した。



(a) 測点-80 m



(b) 測点-20 m

図-4 透水層埋設地盤のコーン支持力経時変化

3. 現地調査結果

図-4(a)及び(b)は、透水層埋設地盤における測点-80 m、-20 mにおける深さ方向のコーン支持力経時変化を表している。また、同図の実線または点線は、調査日の地盤高を表している。

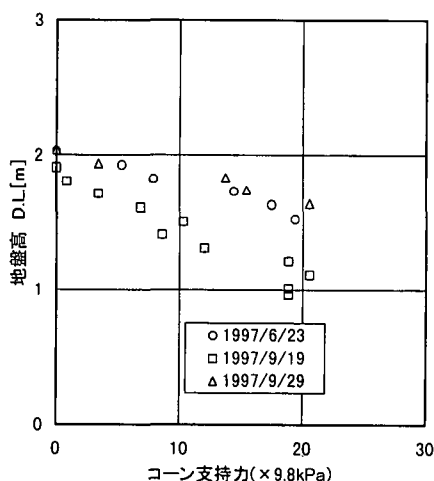
波の遡上履歴がほとんどない-80 m地点では、地盤高の変動はわずかであり、透水層を埋設した時期(H 6.10.18)から1年程度は $5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ ($49.0 \sim 98.0 \text{ kPa}$)のコーン支持力で深さ方向にもほぼ一様である。しかし、時間の経過とともに同一深さにおけるコーン支持力が徐々に大きくなっていく様子が見うけられる。これは、透水層設置後約3年の間に波の遡上履歴を受け、水締めによって徐々に締め固まっているためだと考えられる。

一方、常に波が遡上している-20 m地点では-80 m

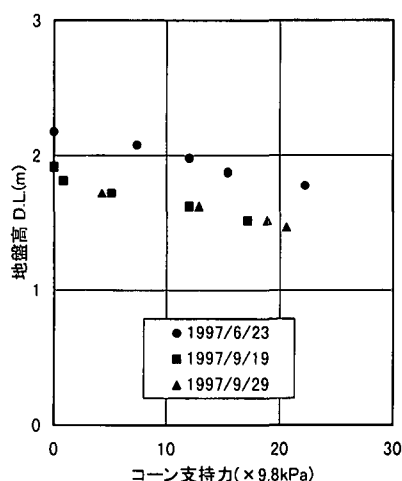
地点と比較して地盤高の変動が大きく、また徐々に地盤高が高くなっており堆積している傾向にあることがわかる。表層より比較的浅いところは $5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ ($49.0 \sim 98.0 \text{ kPa}$)のコーン支持力であるが、深くなるにつれコーン支持力が大きくなっている。また-80 m地点と異なり、透水層を埋設した時期から時間の経過とともに同一深さのコーン支持力が大きくなっていることがわかる。

図-5は、台風9720号の来襲した1997年9月19日と台風が通過した9月29日に、透水層の影響の及ばない自然海浜上と透水層上において調査した深さ方向のコーン支持力分布を表している(いずれも-20 m地点)。同図には、比較のために台風来襲前(1997年6月23日)の調査結果を記してある。また、図-6は調査日における透水層埋設部と自然海浜の前浜地形と地下水位を示している。

図-5において、台風9720号の来襲した1997年9月

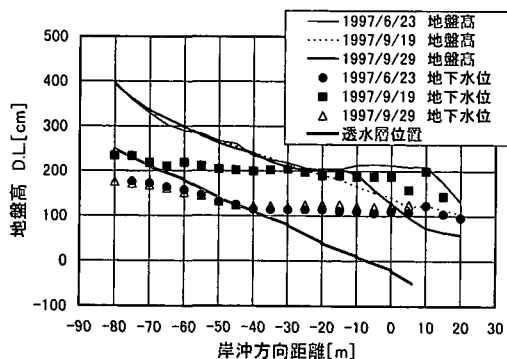


(a) 透水層上地盤

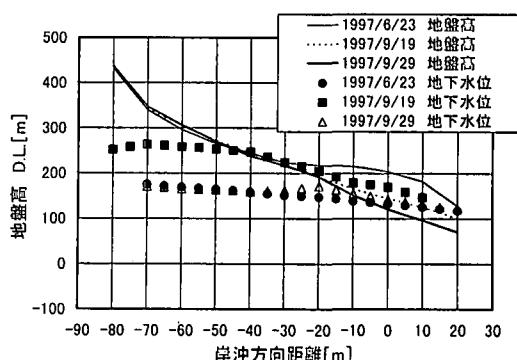


(b) 自然海浜上地盤

図-5 透水層上と自然海浜上の深さ方向のコーン支持力分布



(a) 透水層埋設部



(b) 自然海浜部 (透水層中央より45 m 鹿島側)

図-6 前浜地形と地下水位

19日における透水路上と自然海浜上のコーン支持力を比較すると、自然海浜上の値(■印)は地表面より50 cm程度までが20 kg/cm²(196.0 kPa)以下であるのに対し、透水路上の値(□印)は地表面より深さ1 mまでが20 kg/cm²(196.0 kPa)以下であり、またその勾配も大きい。一方平穏時である6月23日や9月29日においては、透水路上も自然海浜上もコーン支持力の深さ方向分布はほぼ同一の傾向にある。

したがって、透水路上の地盤は、荒天時には自然海浜上地盤より軟らかい傾向にあると考えられる。この理由を、透水路による効果である前浜地形と地下水位の関係(図-6参照)及び透水路の構造より考察してみる。

図-6より6月23日に透水路上・自然海浜上に形成されていたバームが、いずれも9月19日には侵食されて無くなっている。しかし透水路上では10日後の9月29日には-20 m付近において既にバームが形成されつつあるのに対し、自然海浜上では侵食されたままである。6月23日・9月29日のコーン支持力は同一傾向であるから前浜地形の変化(特に堆積)は前述の現象を説明することはできない。さらに地下水位をみると、台風が来襲した9月19日の透水路を埋設した箇所は、透水路によって地下水位が下げられているものの地下水位は地表面付近にある。一方自然海浜においては、地表面を流出している現象を示しており、いずれも地下水位が高い状態にある。しかし、透水路上の地盤のコーン支持力は自然海浜上地盤より小さい。したがって9月19日における透水路上の地盤が軟らかい現象に関して地下水位の影響はほとんどないと考えられる。

一方、透水路内の排水は波による水位差を利用しているため、ここ波崎における試験では透水路の排水口を透水路先端より沖合144 mに設けている。これまでの調査によると、その排水口の水位が前浜の地下水位より高くなると逆流が生じ、特に荒天時にはその現象が顕著であることがわかっている(柳嶋ら, 1995)。

したがって荒天時に透水路上の地盤が軟らかくなる現象は、透水路内に「沖から岸に向かう流れ」が生じた際に、それに伴って地盤が一時的に乱されるために生じる現象ではないかと考えている。

4. 室内透水試験結果

図-7に長期透水試験結果を示す。動水勾配0.4で実施した通水初期の段階では、通水開始後5分後より約 1×10^{-2} cm/sで一定となったことから「試料土+フィルター材」の透水係数は約 1×10^{-2} cm/sであると思われる。その後、動水勾配を2.5に上げると、土粒子の移動による状態変化等によって一時的に非定常状態になるため透水係数が上昇するが、その後通水時間とともに徐々に

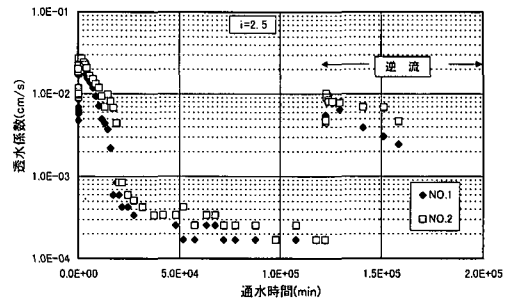


図-7 長期透水試験結果

表-2 長期透水試験後のフィルター材透水係数
単位: cm/s

	試験前	No. 1	No. 2	No. 3
透水係数	5.0×10^{-1} (実測値)	3.8×10^{-1}	4.7×10^{-1}	4.9×10^{-1}

透水係数が低下し、約120000分(約80日)経過した時点で初期透水係数より2オーダー低い 2×10^{-4} cm/s程度の透水係数で一定となった。この透水性の低下の要因としては次の3つの要因が考えられる。

- ① フィルター材に侵入した土粒子による目詰まり
- ② 水締めによる地盤の締固め
- ③ 試料砂とフィルター材の境界面に形成される二次フィルター層の影響(例えば宮田ら, 1996)

表-2に長期透水試験後(通水後12万分経過した時点)にフィルター材を回収して、その透水係数の計測結果を示している。

表-2より、回収したフィルター材は若干の透水性の低下が見られるもののオーダーとしては同じであることから、土粒子がフィルター材に侵入したことによる透水性低下はないと判断できる。

図-8は、採取した波崎砂の間隙比と透水係数との関係を示したものである。また図中には現場透水試験結果(○印)も併記してある。同図より、波崎砂は最も締固まっている状態(最小間隙比0.609)で、約 3.0×10^{-3} cm/s程度の透水係数を示していることがわかる。したがって、

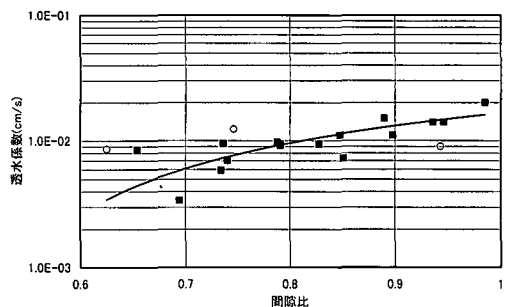


図-8 波崎砂の間隙比と透水係数の関係

水締めによる締固めによって透水性は低下するものの、2オーダーもの低下が水締めだけで生じているとは考えにくい。

なお現場透水試験で得られた透水層上の地盤の透水係数は $9 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ であり、透水層を埋設した地盤の透水性が高いことがわかる。

図-7には約12万分通水後に通水方向を逆転させた場合の結果をも記しているが、 10^{-4}cm/s 程度まで低下していた透水係数が2～3分で初期透水係数まで回復した。これは、逆流によってフィルター材と試料土との境界面に形成されていた二次フィルターが破壊され、透水係数が回復されたと考えられる。したがって透水性の低下の主な要因には、この二次フィルターの影響もあると考えられる。

なお逆流は重力に逆らう形で流れが生じるため、逆流時の透水性の低下は正流時と比較して緩やかな傾向を示す。

以上より透水層を埋設した海浜部では遡上してきた波が海浜内に浸透を繰り返すうちに、徐々に透水層の透水性が低下していくと予想されるが、沖合にある排水口のある波高以上の波が通過する際に生じる「沖から岸方向」の流れがちょうど呼吸のように繰り返されるため、透水層周囲に二次フィルターが形成され難い環境にあり良好な排水性が持続していると思われる。

5. おわりに

本調査で得られた主要な結論は以下の通りである。

(1) 透水層を埋設した地盤は、水締めによって徐々に締固まっている。しかし、荒天時には自然海浜と比較して軟らかい地盤特性を示す。これは、透水層内の逆流現象によるためと考えられる。

(2) 波崎砂は、最も締固まっている状態（最小間隙比0.609）で約 $3.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 程度の透水係数である。また透水層上の地盤の透水係数はおおよそ $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ である。

(3) 透水層の排水性の低下には、水締めの他、フィルター材と試料土との境界面に形成される二次フィル

ターが要因となる。

(4) 波による水位差によって透水層の正逆を繰り返す排水特性は、透水層の排水性を維持する上で重要な役割を果たすと考えられる。

最後に本研究は、運輸省港湾技術研究所、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所、(株)テトラ及び日鐵建材工業(株)の4者による「透水層埋設による海浜安定化工法の開発」に関する共同研究の一部として実施したものである。運輸省港湾技術研究所加藤特別研究官、柳島主任研究員をはじめとする研究会関係者には終始有益なご助言を頂いた。記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 塩見雅樹・戸引 勲・松川文彦・津川昭博・長谷川巖 (1995): 透水層埋設による海浜安定化効果の定量的評価, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 721-725.
- 柳嶋慎一・加藤一正・天坂勇治・名城 整・望月徳雄 (1995): 現地海岸に埋設した透水層の排水量と前浜地形変化, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 726-730.
- 柳嶋慎一・加藤一正・望月徳雄・金澤 寛・平井宣典 (1996): ストライプ状透水層の前浜地形に及ぼす三次元的効果: 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 661-665.
- 柳嶋慎一・加藤一正・中官利之・金澤 寛・原田久志 (1997): 現地海岸に埋設した透水層の海水浄化効果: 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1171-1175.
- 柳嶋慎一・加藤一正・中官利之・下河原銀二・野口雄二・岩佐直人 (1998): 透水層工法における排水能力低下要因: 海岸工学論文集, 第45巻, 投稿中.
- 岩佐直人・堀 謙吾・中島美代子・本城勇介・佐藤 健 (1998): 人工フィルター材の長期透水性に関する実験的検討, 第33回地盤工学研究発表会講演集, 投稿中.
- 辰井俊美・佐藤雅宏・二木幹夫 (1989): ジオテキスタイルの長期特性について, 第24回土質工学研究発表会講演集, pp. 1685-1686.
- 宮田喜壽・木暮敬二・浜田慎之・近藤誠二 (1996): 不織布の碎石ドレーン被覆材としての有効性に関する一考察, 第31回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2125-2126.
- 林 英雄 (1995): 人工フィルター材の目詰まりについて, 土と基礎, 44-4, pp. 50-51.
- Honjo, Y., M. A. Haque, K. A. Tsai (1996): Self-filtration behavior of Broadly and Gap Graded Cohesionless soils, Proc. of 2nd. International Conference on Geofilters, pp. 227-236.