

透水層工法における排水能力低下要因

柳 嶋 慎 一* ・加 藤 一 正** ・中 官 利 之***
下川原銀二****・野 口 雄 二*****・岩 佐 直 人*****

1. はじめに

透水層を 1994 年に建設後, 透水層埋設による海浜保全工法に関する現地調査をおこない, 地下水位の低下, 前浜侵食の減少, 三次元的な前浜堆積促進効果, 海水の浄化効果を確認した(柳嶋ら, 1995, 1996, 1997)。

しかし, これまでの 4 年間の調査期間中に何度か排水能力の低下があった。これは, 透水層の効果を長期にわたり維持する上で問題であるので, その原因を排水流量, 透水層地下水位, 排水口位置水位, 排水口地盤高および生物との関係に注目し検討した。

2. 調査方法

調査は, 茨城県の鹿島灘に面する砂浜海岸にある波崎海洋研究施設(図-1, 以後 HORS と呼ぶ)で行った。

透水層は, 前浜から後浜にかけての 88 m, 幅 7.6 m の範囲に, 現地盤から 1~2 m の深さに設置してある(詳細は, 柳嶋ら, 1995 参照)。

排水管(φ0.4 m)は, 汀線から 144 m 沖の位置で海底面から垂直に 2.83 m 立ち上げている。排水口は, 鹿島側と銚子側の 2 方向に開口している(図-2)。

排水口フィルター材には, パンチングメタル(φ16 mm の穴, 開口率 52.5%), 船底塗料を塗布したステンレス網(目合い 0.2 mm), 不織布(厚さ 3 mm, 透水係数 0.5 cm/s)を用いた。

以下の項目について連続測定を行った(図-2)。

a) 排水口位置での水面変動を観測棧橋上に取り付けた超音波式波高計によって測定した。水位については, 観測データを平均して求めた。

b) 排水管外側に取り付けた超音波流量計によって排水管内の流量を測定した。

c) 透水層内(透水層沖側端から岸方向へ 28 m 地点)の地下水位を地下水位計によって測定した。

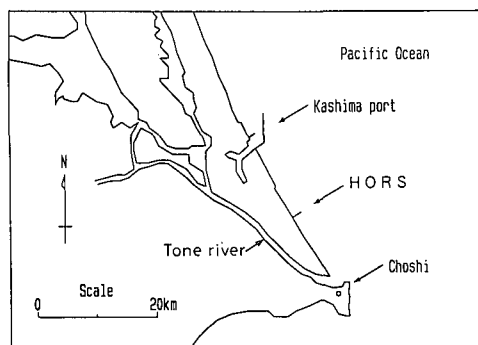


図-1 調査位置図

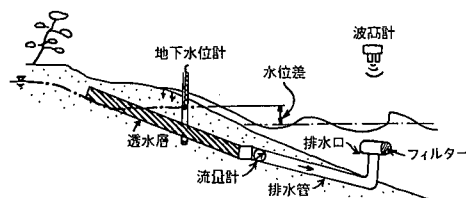


図-2 調査概略図

d) 排水口から沿岸方向に 30 m 離れた地点の海底地形(排水口地盤高と呼ぶ)は, 休日を除く毎日 1 回測定した。

3. 排水能力低下の判定

図-3 は台風第 9424 号が来襲した, 1994 年 9 月 18 日 20 時 10 分から 20 分間の排水流量, 透水層地下水位および排水口位置の水位変動を示している。ただし, 排水口の水位変動は, 10 秒間の移動平均をした結果である。地下水位は, ゆっくりと 0.2 m の振幅で変化している。排水流量の変動には約 6 分の長い周期の変動と, 1~2 分の変動が重なっている。この変動は, 地下水位と排水口の水位差の変化によるものである。

管内の流れは, 排水口の水位が地下水位よりも低い時には沖に向かい, 20 時 17 分, 25 分のように, 排水口の水位が地下水位よりも高くなると岸へ向かう(逆流が生じる)。17 分の際の逆流は, 1 分以上連続している。

図-4 は, フィルター材取り付け後間もない期間の

* 正会員 運輸省港湾技術研究所海洋環境部主任研究官
** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所特別研究官
*** 運輸省第三港湾建設局神戸港湾港工事事務所
**** 沖縄総合事務局平良港湾工事事務所
***** (株)テトラ ブロック事業本部技術部
***** 日鐵建材工業(株)土木商品開発部

データについて、20分間平均の水位差と排水流量の関係を示している。○印はパンチングメタルを設置した期間(1994年9月10日～17日)、□印はステンレス網を設置した期間(1994年12月18日～1995年1月25日)を示している。ただし、パンチングメタルは、砂の粒径よりも大きな16mmの穴があいておりフィルター無しと考えた。●印はパイプ内に詰まっていた砂を排除した直後のデータ(1994年12月18日)で、このデータについては平均値ではなく瞬間値を示している。この図から水位差と排水流量との間には正の相関があることが分かる。そこで全調査期間について水位差と排水流量の関係を調べた。

図一5は、調査期間中のフィルター材の変遷、水位差、排水流量、排水口地盤高の変化を示している。図中水位差および流量が不連続なのは欠測のためである。

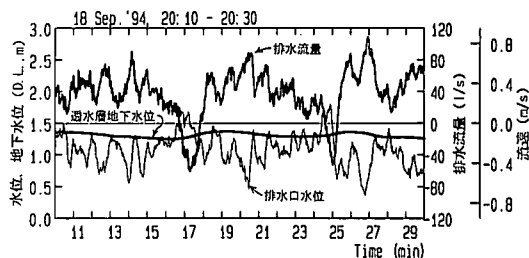
排水能力低下の状況は直接見ることはできない。そこで、排水能力の低下は、図一4に示した水位差と排水流量の関係をもとに判断した。そうすると、水位差が大きいかかわらず排水流量は0で、排水されていないと判断されるのは、フィルター無しの、1994年9月25日(図中A)～12月18日、不織布を用いた1996年8月23日(C)～9月30日である。

水位差が大きいかかわらず排水流量が少なく、排水能力が低下していると判断されるのは、ステンレス網を用いた1995年6月12日(B)～11月3日、1996年5月2日～7月30日、1996年10月20日～1997年6月30日、1997年7月31日(D)～12月31日である。

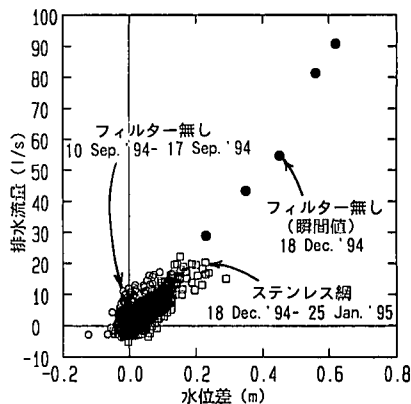
排水口地盤高は、調査開始直後は-2～-3mで低かった。しかしその後地盤高は徐々に高くなり、1996年10月から1997年9月18日の間は図中に破線で示す排水口天端高

端高と同一かそれよりも高くなる状態も多くなっている。1996年10月以前でも短期的に高くなる場合があり、その時期は排水能力が低下する時期に一致している。

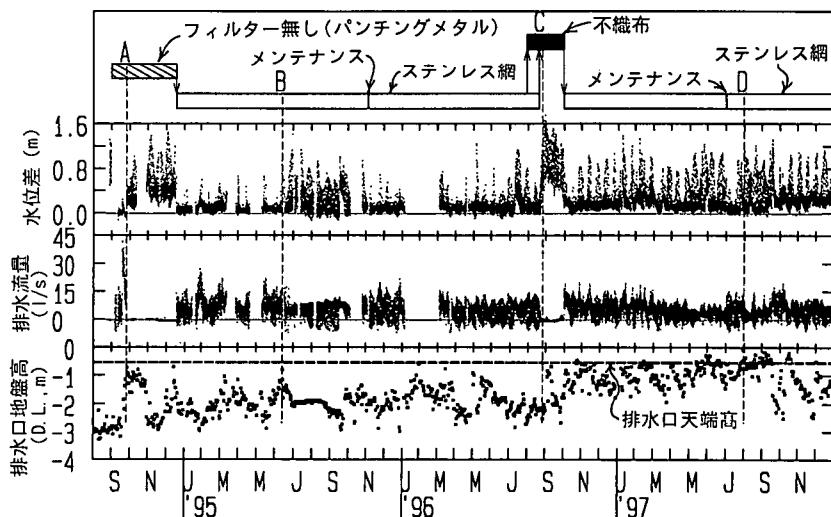
以下にフィルター材の種類毎に排水能力が低下した4つの代表的なケースについて詳細に検討する。



図一3 排水流量、透水路地下水位、排水口水位の変化



図一4 水位差と排水流量の関係



図一5 フィルター材の変遷および水位差、排水流量、排水口地盤高の変化

4. 排水能力低下要因

(1) 逆流時の排水管詰まり

1994年8月30日にフィルター無しで調査を開始してから9月25日までは順調に排水されていた。

図-6は、9月17日から26日までの20分平均の潮位(排水口の水位)を上段に、20分間における逆流の発生頻度を中段に、排水流量と水位差を下段に示している。ここで、逆流の発生頻度とは、20分間の総データ数に対し流量が負(逆流)になったデータ数の割合である。

9月18日未明、台風第9424号の来襲により波の遡上が多くなり排水流量は急激に増加している。その後、排水流量は波の減衰とともに徐々に減少していたが、9月25日早朝の上げ潮時に急激に減少し、図中矢印で示す時刻に、全く流れなくなっている。

逆流の発生頻度は、台風来襲前の17日の上げ潮時に最も多くなっている。しかし、18日から21日までは波の遡上により浸透海水量が増え、その結果排水流量が増大するため逆流の発生は少なくなっている。そして逆流の発生頻度は22日以降の上げ潮時に再び多くなっている。流れなくなる少し前の管内の流れは、1～2分間連続して逆流(最大0.3 m/s)する状況が間欠的に生じていた。

図-7は、19日から25日までの排水口付近海底地形の変化を示している。9月19日の排水口地盤高は、排水口より1.4 m低い-1.9 mである。その後、波の減衰とともにバーが沖から岸方向に移動し、地盤高は徐々に高くなり、排水流量が0になった25日に排水口下端と同一になっている。排水口の位置はバー頂部に一致しており、この付近で波が碎波し、砂が巻き上げられていた。

排水管内の状況を確認するために12月18日に潜水調査を実施した。その結果、図-8(A)に示すように排水管立ち上げ部は上部まで砂が完全に詰まっていた。詰まっていた砂の粒径は、排水口周辺の砂と同一で粗かった。この付近の砂の粒径は時化直後に中粒径(0.3 mm)になることが加藤ら(1990)によって報告されている。

以上を考慮すると、パイプ詰まりの過程は以下のように推察される。

- ① バーが岸寄りに移動したため、排水口地盤高は高くなり排水口下端とほぼ同一になった。
- ② 逆流する頻度の多い上げ潮時に、波の碎波によって巻き上げられた高濃度の浮遊砂が逆流によってパンチングメタルの穴(φ16 mm)から管内に運びこまれた。
- ③ 沖に向かう流れになった時に砂は舞い上がるけれど排水管立ち上げ部があるため完全に排出されない。
- ④ ②、③を繰り返すうち、管内に砂が徐々に詰まり、排水されなくなった。
- ⑤ 排水管立ち上げ上部まで砂が完全に詰まっていた

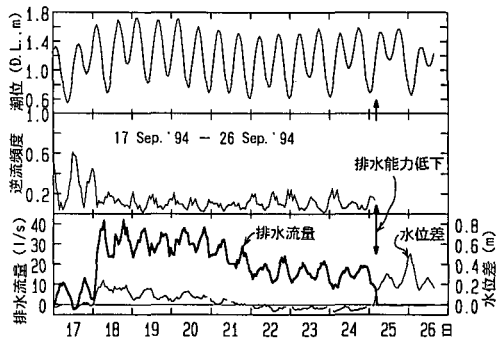


図-6 潮位、逆流発生頻度、排水流量、水位差の変化

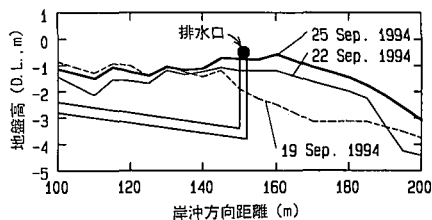


図-7 排水口付近海底地形の変化(1994年9月)

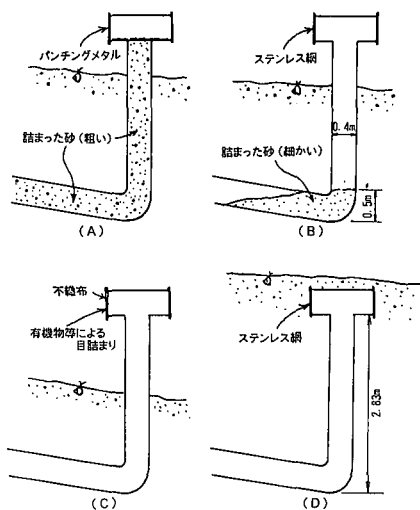


図-8 排水能力低下時の排水管の状態

のは、9月25日以降の地盤高の浅い時に、沿岸流(10月5日、鹿島方向へ0.9 m/sの流れ)によって移動する砂が銚子側から鹿島側のパンチングメタルを通過する間に、管内に沈降・堆積したためと考えられる。

12月18日に排水管内の排砂作業を併せて行った。排水管立ち上げ最上部の管1 mを取り外し、ジェットポンプノズルを管内の砂中に挿入した。注水を開始してから3分後には水とともに詰まっていた砂が吹き出した。この時、排水流速は増大(最大0.7 m/s)し、6分間に透水層内の地下水位は0.43 m低下した(この時の水位差と

排水流量の関係を図-4に●丸で示している)。このような透水層地下水位の急激な低下は、透水層自体には、透水能力の低下は生じていないことを示している。

フィルター無しでは、巻き上がった砂が管内に入り込んでしまうので、次に目合いの細かなステンレス網を用い砂を入り難くした。

1994年12月18日にフィルター材としてステンレス網を取り付け、その後1995年6月始めまでの約6ヶ月間順調に排水されていた。この間排水口地盤高は低いままであった。しかし、6月12～13日に波高が1.0m～1.4mと小さいにもかかわらず排水能力が低下した。

図-9は、6月11日から13日までの潮位を上段に、排水流量と水位差を下段に示している。水位差が不連続になっているのは、透水層地下水位が計測地点の透水層下端よりも低くなり測定不能になったためである。6月11日までは、水位差の増加にともない排水流量は増加し、11日の干潮より3時間前に排水流量は極大(図中破線)になっている。11日昼頃の上げ潮時の排水流量は、負でありこの時逆流が生じていたことを示している。12、13日とも排水流量は、干潮より6時間前に極大(図中①、②)になり、その後は減少している。この変化は11日の変化と異なっている。一方水位差は、流量の減少した12、13日の干潮時に0.9m～1mで最大になっている。排水流量は0になっていないことから、管内は完全に詰まっただけではないものの排水能力が低下していることを示している。

6月2日頃の排水口地盤高は、排水口下端よりも1m低かった。その後地盤は徐々に高くなり、12日には、排水口下端から0.1m低い高さになった。この時も排水口の位置はバー頂部に一致しており、波高1.0m～1.4mの波がこの場所で碎波していた。

11月3日に管内を確認するために潜水調査を行った。その結果、図-8の(B)に示すように、排水管下端から約0.5mまで砂が詰まっていた。この時詰まっていた砂の中央粒径は、0.16mmで周辺の砂よりも細かった。

以上のことから、今回も排水口地盤高が高くなり、波の碎波によって巻き上がった砂のうち、ステンレス網の目合い(0.2mm)よりも細かな砂が逆流によって管内に運ばれたものと推察される。ただし、詰まった砂の量は、ステンレス網を取り付けたことによって少なかった。

(2) 生物による不織布の目詰まり

細かい粒径の砂が依然として逆流時に流入してしまうので、1996年8月20日10時に不織布を排水口に取り付けることにした。

図-10は、20日から23日までの、水位差と排水流量の関係の軌跡を、一日毎に線種を変え示している。また○印は、0時の時の値を示している。水位差と排水流量は、

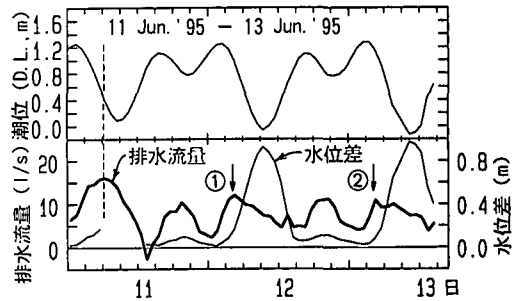


図-9 潮位、排水流量、水位差の変化(1995年6月)

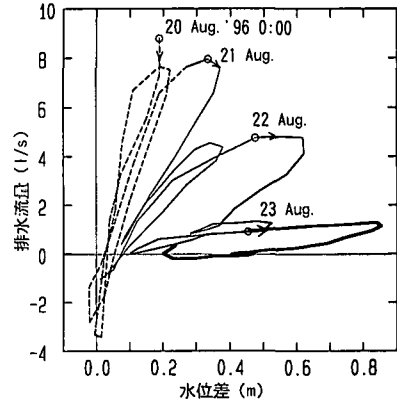


図-10 水位差と排水流量変化の軌跡(1996年8月)

20日10時に不織布に交換後、22時までは、図-4に示したような関係で変化している。しかし、23時以降水位差に比べ排水流量が少なくなり、時間とともに両者の関係はずれてゆき、23日正午頃には、排水されなくなっている。つまり、3日間で完全に流れなくなった。

潜水調査を9月30日に行い、不織布を回収した。不織布を持ち帰り、表面および内部の生物等の分析を行った。その結果、図-8の(C)に示すように、不織布がプランクトンの死骸、有機物等で目詰まりし、流れなくなることが分かった。表面には藻類、動物プランクトン、底生成物が付着していたがこれらが透水性を悪くするものではないと判断された。この期間の排水口地盤高は、低いままであり、管内に砂は全く入っていなかった。

不織布では、きはめて短期間に目詰まりしてしまうため再度ステンレス網を用い調査を継続した。

(3) 排水口の埋没

1996年9月30日にステンレス網を取り付け調査を開始した後、排水口地盤高は浅くなり排水口が埋まるようになり(図-8(D)), 1997年12月までこのような状態が続いている。排水能力の低下および回復が明確に現れた1997年8月の場合について次に述べる。

図-11は7月28日から8月1日までの海底地形を示

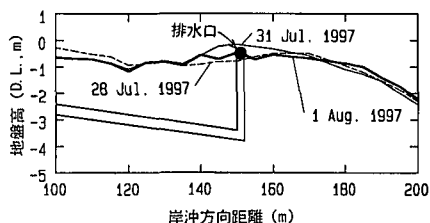


図-11 排水口付近海底地形の変化 (1997 年 7, 8 月)

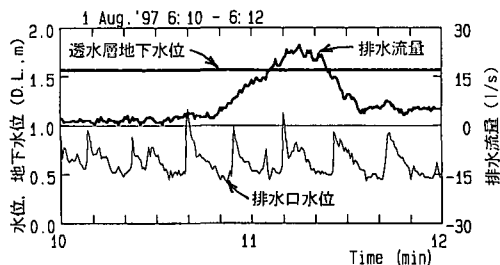


図-12 下げ潮時の排水流量, 地下水位, 排水口水位の変化

している。7月28日には、排水口の沖側15mの位置にバーがあり、排水口地盤高は排水口下端よりも低い。31日には、沖側にあったバーが岸側に移動し、排水口は完全に埋まっている。8月1日の排水口は、半分埋まった状態になっている。ただし、排水口は、海底地形測定地点から30m離れており、この時も埋っていた可能性がある。

排水口が完全に埋まった31日の上げ潮時に排水流量は0になり、この状態は8月1日の下げ潮時まで17時間継続した。そして干潮よりも3時間早い、1日6時11分頃、冲向きの流量は急激に増大した。

図-12は、この時の排水流量、透水層地下水位、排水口位置の水位を示している。排水流量は、波高0.7mの波の谷が通過した10分48秒から急激に増加し、25秒後に24l/sで最大になっている。透水層地下水位は、この時、排水口が砂に埋まっていたため高く、冲向きに流れ出した時の水位差は約1mであった。この冲向流量の急激な増大は、水位差が大きくなり排水口付近の砂にボイリングが生じたためと考えられる。しかし、排水流量が極大になってから20秒後に流量は少なくなっており、排水能力が完全に回復するまでには至らなかった。砂のボイリングが原因と考えられる冲向流量の増大は、1時間後にも発生していた。

その後、満潮よりも2時間早い13時57分頃に再び急激な冲向きの流れが生じていた。

図-13は、そのときの排水流量、透水層地下水位、排水口位置の水位を示している。排水流量は、波形勾配の大きな波(波高1.1m)の谷が通過した56分40秒頃約

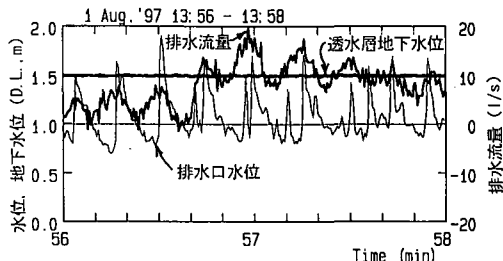


図-13 上げ潮時の排水流量, 地下水位, 排水口水位の変化

11l/s急激に増加し、その後も減少していない。水位差は満潮に近いため0.5mで小さい。従って、この時の流量の増大は、下げ潮時の砂のボイリングとは異なり、排水口付近の砂が波によって液状化したためと考えられる。流量が極大になった後も冲向きに継続して流れているのは、波の影響が連続的に続くためと考えられる。

1998年1月以降現在まで排水口地盤高は低いことが多く、排水能力の低下は生じていない。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

- ① フィルター無しおよびステンレス網は、海底が浅くなった時に、波によって巻き上げられた砂が逆流により管内に入り管詰まりを生じる。
- ② 不織布は、きわめて短期間で目詰まりするため、排水口フィルター材には適さない。
- ③ 排水口が砂に埋まった状態でも砂のボイリングや、波による砂の液状化によって排水能力は回復する。
- ④ 排水能力の低下は排水口の詰まりが原因であり、透水層自体の透水能力の低下は生じていない。

最後に、本調査は、運輸省第2港湾建設局横浜調査設計事務所、(株)テトラ、日鐵建材工業(株)および当所の共同研究の一環として実施したものである。

参考文献

- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上和良・村上裕幸・藤田 誠 (1990): 砕波帯内の底質粒度の変動特性、一波崎海洋研究施設における現地調査一、港研報告、第29巻、第2号、pp.37-61.
- 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流量と前浜地形変化、海岸工学論文集、第42巻、pp.726-730.
- 柳嶋慎一・金澤 寛・平井宜典・加藤一正・望月徳雄 (1996): ストライプ状透水層の前浜地形変化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.