

トレンチによる飛砂防止対策の試み

Examination of Prevention against Wind-Blown Sand by Trench Trap

清水利浩¹・蜂須賀和吉¹・中川洋一¹・吉田秀樹²・伊東啓勝³・坂井隆行⁴

Toshihiro SHIMIZU, Kazuyoshi HACHISUKA, Yoichi NAKAGAWA, Hideki YOSHIDA
Yoshimasa ITO and Takayuki SAKAI

Effective countermeasure has been concerned with the issue of wind-blown sand from nourished beach to hinterland in Niigata West Coast. Although it has been confirmed that the countermeasure using number of fences is effectively worked so far, it is expected to reduce the number of fences for the cost reduction. In this study a trench trap which has been usually used as measuring method of wind-blown sand was excavated with the size of $D=1\text{m}$, $W=5\text{m}$ and $L=20\text{m}$ on the beach in February, 2008 to check the effectiveness as the countermeasure of wind-blown sand. Through the 5 times observation surveys, it was found that the trench trap itself was effectively functioned to prevent wind-blown sand, however, the most part of trench trap was filled with the wind-blown sand when strong winter wind would continue to blow for about one week.

1. はじめに

新潟西海岸では潜堤・突堤・養浜による面的な海岸防護が進み、豊かな砂浜が復元されており、夏期には海水浴場として利用されるのみでなく、背後には海岸道路が建設され市民の重要な交通路として利用されている。一方、砂浜幅の拡幅に伴い背後住宅区域に侵入する飛砂の問題が懸念され、飛砂侵入に対する抜本的な対策として低木等による緑地帯整備が予定されている。

しかし、事業完成までに日時を要するので、暫定的な対策として海岸線に平行な2列のフェンスとその海側に翼垣を配置する対策が採用され、2005年度と2006年度の冬季(12月～3月)には現地で試験施工された。この試験施工の結果は田中ら(2007)によって報告されており、2列フェンスと翼垣群の組合せは非常に効果的であることが確認された。

2007年度には経済的な対策の模索として、1) フェンスと翼垣の規模や設置密度の減少の効果の確認、2) 従来は飛砂量を計測する際に効率的に飛砂を捕捉することが確認されているトレンチ(例えば、Horikawaら, 1984; 船越ら, 1993)を実際の海岸での飛砂対策として用いた場合の有効性について、検討するために現地実験を行った。その結果、トレンチは現地海岸での飛砂対策工として非常に有効であることが確認されたので、その成果を報告する。

2. 調査方法

1	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所
2 正 会 員	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所 事務局長
3 正 会 員 修(工)	(株)エコー 調査・解析部
4 正 会 員	(株)エコー 調査・解析部

(1) トレンチの配置と規模

写真-1に新潟西海岸の航空写真を示し、図-1に第2突堤周辺のフェンスの配置とトレンチ調査位置を示す。

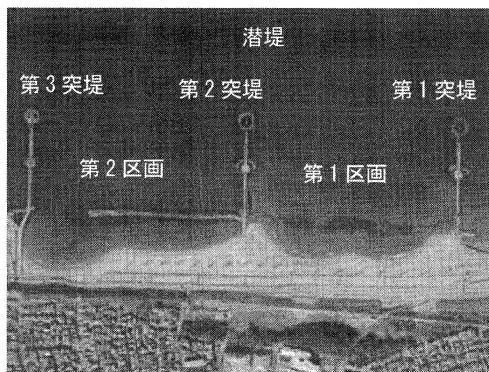


写真-1 新潟西海岸の航空写真(2007年度)

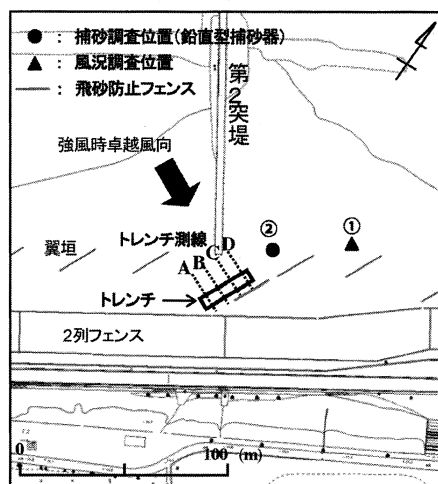


図-1 第2突堤周辺のフェンス配置とトレンチ調査位置

トレンチは当初、1月17日に第2突堤より東側の海浜上に設置されたが、1月24日に海象条件悪化時の遡上波の作用を受け、写真-2に示すようにトレンチ内に土砂が流入し埋め戻された。その後、高波浪時の遡上波の影響を避けるため、2月1日にトレンチを図-1に示す位置（第2突堤の基部付近）に再度掘削し、調査を開始した。

写真-3にトレンチ掘削後の状況を示す。トレンチの配置は強風時卓越風向(WNW)と直交する方向とし、その規模は長さ30m、幅5m、深さ1mとした。トレンチの幅と深さの数値については、トレンチの適切なアスペクト比(B/h , B : トレンチ幅, h : トレンチの深さ)は5~6程度であるという堀田ら(1996)の研究に基づいている。

図-1の地点①は風速測定地点、地点②は鉛直全量型捕砂器の設置位置である。

(2) 観測方法

トレンチ掘削直後の2008年2月1日から2月27日までの間に、調査開始時及び気象条件とトレンチ内の砂の堆積状況を確認しながら合計5回の断面地形測量と風況観測、鉛直型捕砂器による捕砂調査を実施した。トレンチ測量実施日を表-1に示す。

断面地形測量は、図-1に示すとおりトレンチに直交する方向に4測線(測線A~D)を設定した。各測線の測定範囲はトレンチ前面10mとトレンチ内5m、その背後5mを含む合計20mの範囲とした。測量はレベルと標尺による直接水準を基本としたが、トレンチ内の測線上は50cm間隔でポールを立て、地盤高測定と写真撮影を実施した。また、東側の測線C、Dのトレンチ背後5mの位置には翼垣フェンス($H=2m$)を配置してある(写真-3)。

風況観測は、地点①の海浜上(地盤高2m)に風向風速計を設置し、期間中の風速と風向を測定した。

トレンチ断面測量期間中、鉛直全量型捕砂器を用いて飛砂量を計測した。捕砂器は開口幅0.5m、高さ0.2mの木製フレームにプランクトンネットを取付けた吹流式捕砂器である。捕砂器は地点②の地盤上0mに設置した。捕砂器の中心高さが地盤上0.1mとなる。調査期間中は捕砂器を常設し、トレンチ断面測量実施日毎にその期間の捕砂量を計測した。

3. 調査結果

(1) 調査期間中の気象・海象条件

トレンチ調査期間中に地点①で観測された風向、風速を図-4上部(a), (b)に示し、アメダス(新潟)で観測された気象条件(降水量、積雪量、気温、日照時間)を図-4(c), (d), (e), (f)に示す。

2008年1月23~24日と2月23~24日には日本海の低気圧が急速に発達し、気象・海象条件が悪化した。地点①の風向・風速は、1月24日9時に11m/s(WNW)、2月23日21



写真-2 1月24日の荒天により埋め戻されたトレンチ

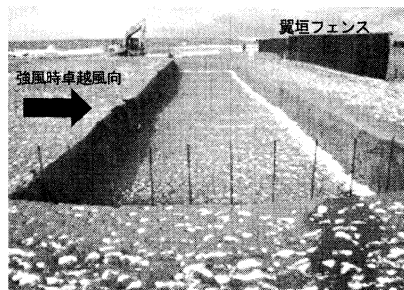


写真-3 トレンチ掘削直後(2月1日撮影, 測線A側より)

表-1 トレンチ断面測量実施日

測量実施日	
調査開始時	2008年2月1日
第1回	2008年2月8日
第2回	2008年2月14日
第3回	2008年2月18日
第4回	2008年2月25日

時に15m/s(WNW)を記録した。海象条件(ナウファス、速報値)で、新潟沖の有義波高は、1月24日22時の $H_{1/3}=5.41m$ と2月24日0時の $H_{1/3}=6.46m$ を記録している。これらの気象・海象条件の悪化により、1月24日の荒天時には1月17日に掘削されたトレンチ、2月24日の荒天時に2月1日に掘削されたトレンチが遡上波によって埋め戻された。トレンチ調査期間中、冬型の気圧配置は2月12~18日の間に長く続き、積雪は数回観測された。

(2) トレンチの断面測量結果

写真-4に2月18日の第3回測量時のトレンチ内の状況、写真-5に2月24日の荒天によって埋め戻されたトレンチを示す。1月24日の荒天時の遡上波によってトレンチが埋め戻された写真-2、2月24日の荒天時の遡上波によってトレンチが埋め戻された写真-5を参照されたい。写真-2ではトレンチの風下端が残っており、遡上波はトレンチを越えて遡上していない。写真-5ではトレンチの形状は跡形も無い。この事実はトレンチの設置位置の決定には荒天時の遡上波を考慮しなければならないことを意味する。



写真-4 第3回測量時（2月18日撮影，測線D側より）



写真-5 2月24日の荒天後（2月25日撮影，測線D側より）

図-2にトレンチの断面測量結果（測線A～D）を示す。

トレンチ内の飛砂堆積量は風上側の地表面条件にも影響されるが，風向によっても影響を受ける．トレンチ両端側の測線AとDはトレンチ内の壁面に近い測線であるため，測線BやCに比べてトレンチの側方（短辺側）から流入する飛砂の影響が含まれる可能性がある．しかし，現観測ではこれらについての評価ができないので，以下の議論はこれらの可能性を考慮しないことにする．

飛砂はトレンチ内風上端底部から徐々に堆積を始める．ほぼトレンチ掘削時の地盤高を保ちつつ，風下側に急な斜面を形成しながら堆積している．2月13日には積雪があり，14日の測量時には積雪上に砂が堆積した（写真-6）．砂面上の地盤高に加え積雪層の上端と下端の地盤高さを測定した．

トレンチ風下側地盤は時間の経過とともに徐々に低下しているが，トレンチ風下側4m程度の地点で地盤の低下は無い．測線C，Dの翼垣前面に砂の堆積が見られない．第3回測量時まではトレンチ風下側端はほぼ直立であり，トレンチ風下端前面凹部に飛砂保留能力を維持している．これらの事実からトレンチ上を通過して風下側に移動する飛砂量はほとんど無いことが推定できる．

測線CとDのトレンチ風下側5m背後には翼垣フェンス

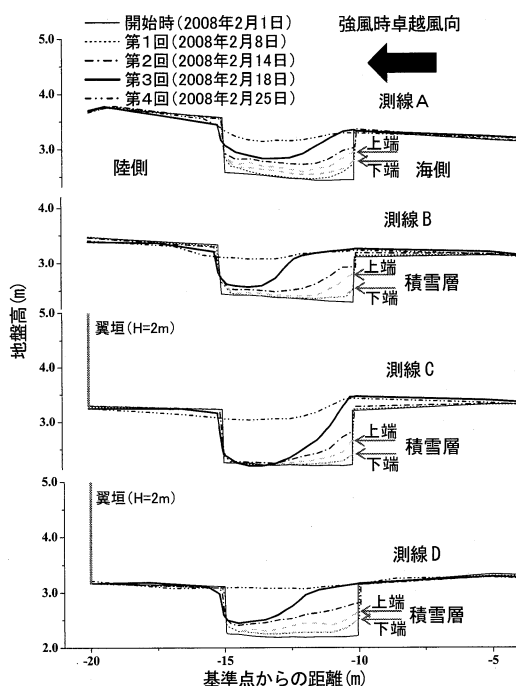


図-2 トレンチの断面測量結果

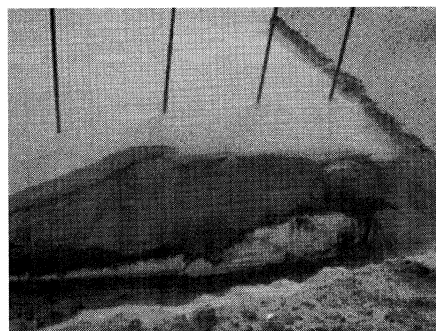


写真-6 トレンチ内の積雪層（2008年2月14日）

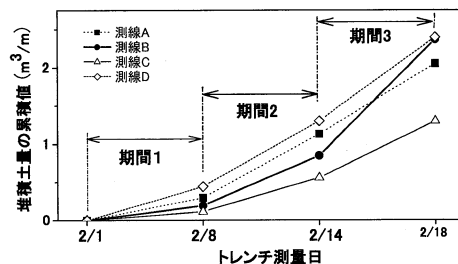


図-3 トレンチ内の断面土量累積値の変化

が配置されている．フェンス前面3～5H（Hはフェンスの高さ）で，風はフェンスの影響を受けて減速する（堀田ら，1990）．トレンチは翼垣フェンスの前面2.5Hから5.0Hの範囲にあり，フェンスによる減速域にあるが，

その影響は現観測では確認できない。

(3) トレンチ内の堆積土量の変化

図-3にトレンチ内の堆積土量の累積変化を示す。データは、積雪層分を除外し、期間1~3 (2月18日測量まで) を解析の対象とした。測線AとDの堆積量は測線B,Cより多い。トレンチ端部の測線であるためトレンチ側方から流入する飛砂の影響も含まれる可能性がある。

(4) 飛砂量の推算

トレンチ調査期間中の気象条件 (地点①の風向・風速) を用いて現地砂面が乾燥していると仮定し、以下の方法で飛砂量を推算し、実測飛砂量と比較した。

飛砂量推算式として河村(1951)による式(1)を用いた。

$$q = K \frac{\rho_a}{g} (u_* + u_{*c})^2 (u_* - u_{*c}) \quad (1)$$

ここで ρ_a は空気の密度, g は重力加速度, u_{*c} は移動限界摩擦速度, K は実験定数, q は飛砂量である。風速鉛直分布に対数則が仮定されれば, 摩擦速度 u_* は地表上ある高さの風速と関係付けることができる。Zingg (1952) の focal point 実験式に新潟西海岸での代表的な粒径 $d_{50} = 0.30\text{mm}$ を代入して式(2)を得る (田中ら, 2007)。

$$u_* = 0.0616u_{200} - 16.5 \quad (2)$$

u_{200} は地点① (地盤上2m) での平均風速(cm/s)であり, 式(2)で得られる摩擦速度の単位はcm/sである。式(1)の移動界摩擦速度 u_{*c} は以下の式(3)を用いた。

$$u_{*c} = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} g d} \quad (3)$$

A は経験的に決める係数 (水理公式集に従い $A=0.1$ とした), d は砂の粒径(cm), ρ_s は砂粒子の密度である。なお, 飛砂量の計算には, 塩澤ら (1993) や田中ら (2007) の現地調査結果より $K=1$ を便宜的に用いることとした。計算に使用する風データは10分間の平均風速値であり, トレンチの配置方向と新潟西海岸の汀線方向を考慮して, $W \sim NNE$ の風向時を対象とした。

推算した飛砂量の時系列を図-4(g)に示す。

(5) トレンチ内堆積飛砂量と推算飛砂量との比較

図-4(h)欄に(g)欄で示してある推算飛砂量の累積値 (実線) とその値を2.5倍した値 (破線) を示す。定数2.5は $K=2.5$ を意味し, 中央粒径0.3mm程度の乾燥自然海浜における平均的な係数である (Horikawaら, 1984)。同じく(h)欄に図-2の断面測量から求めた測線B, Cの累積砂量を測量日にプロットし, その間の期間を破線 (B), 点線 (C) でつないでいる。

調査開始時から2月8日時点では, 実測値は河村式 ($K=1$) による値を上回り, $K=2.5$ とした値に近い。これ

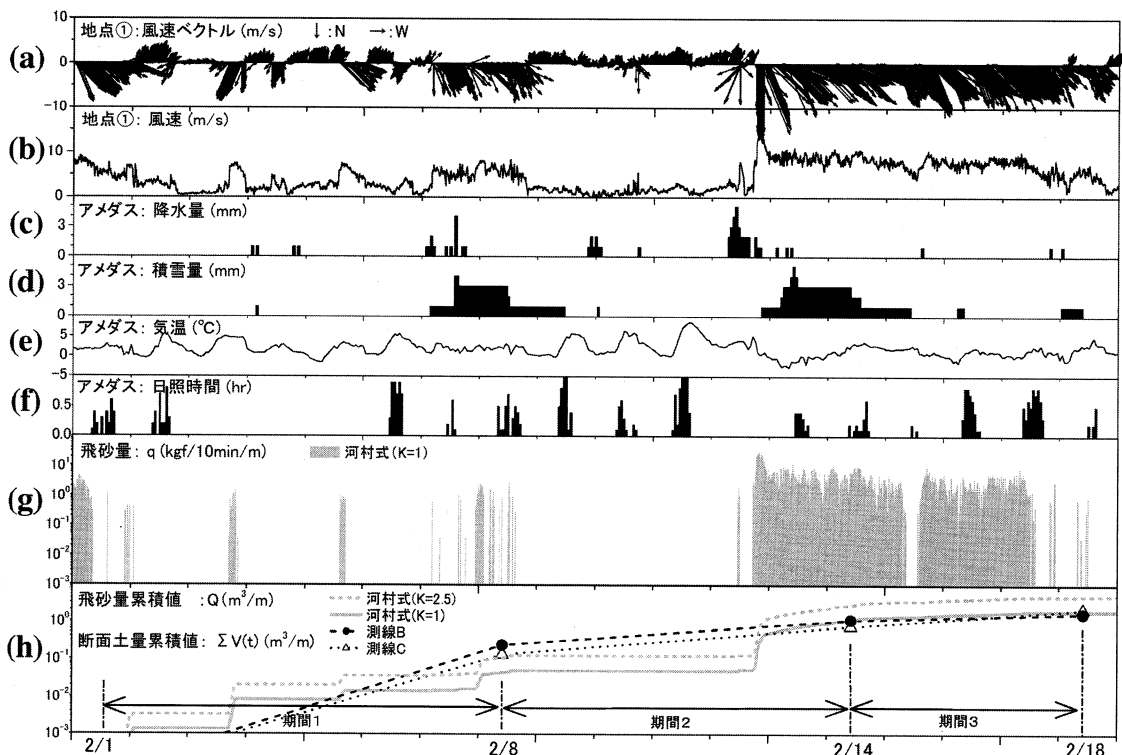


図-4 トレンチ調査期間中の気象条件と飛砂量, 飛砂量の累積値

は、図-4(a)～(f)の気象条件からわかるように期間1は風速がある程度強く、日照もあり、降水や積雪がほとんど無い気象条件が続いたため、乾燥砂に近い状態であったことが理由として挙げられる。12日まで同様の傾向が見られる。13日から強風となり(g)欄の推算飛砂量は大きい(g)欄の実測累積値の増加は少なく、 $K=1$ による値と同程度のオーダーとなっている。気象条件をみると、この期間の日照はある程度あるものの、積雪があり、気温も相対的に低かったことから、砂面が湿潤状態であったことが考えられる。

この事実は乾燥砂面での飛砂量は河村式で $K=2.5$ 程度、湿潤砂面では $K=1$ 程度で推算できることを示唆する。

(6) 期間別累積土量

図-5に実測捕砂量(測線BとC、地点②)と計算値($K=1$)について期間別の累積堆積飛砂量を示す。

期間1では実測値は河村式($K=1$)を上回っている。これは前節に述べたように砂面が乾燥状態にあったからである。期間2では測線BとCの実測値は $K=1$ と同程度であるが、これは12日からの積雪のため砂面が湿潤状態となり、飛砂量が減少したためであると考えられる。期間2で、吹流し式捕砂器の捕捉量が少ないのは積雪により捕砂効率が著しく低下したものと推定される。期間3では河村式($K=1$)の推算値、実測値、吹流し捕砂器の捕捉量はほぼ同程度のオーダーとなっている。

これらの事実は前節に述べたように、乾燥砂面での飛砂量は河村式で $K=2.5$ 程度、湿潤砂面では $K=1$ 程度で推算できることを意味する。

図-5からわかるように吹流し捕砂器で捕捉された砂量はトレンチでの実測値より僅かに小さいが、ほぼ同程度である。この事実は飛砂が地表面近くに集中していることを示し、塩澤ら(1993)の現地観測や久保田ら(2006)の風洞実験結果に一致する。

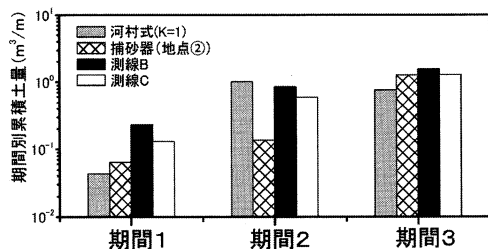


図-5 期間別の累積堆積飛砂量

4. 結論

本調査で得られた結果を以下に挙げる。

- (1) 高波浪時の遡上波の作用を受けると短時間で埋め

戻されてしまうので、トレンチ掘削場所の選定には十分な注意が必要である。フェンスによる対策の場合には、フェンス材料の確保・飛砂シーズン前後の設置・撤去が必要である。また、フェンス前面に大量の堆砂が生じた場合には斜面を駆け上がる飛砂が発生するのでメンテナンスが必要となる。これに対して、トレンチによる対策は、掘削が比較的容易であり埋まった際にも再度掘削することによって対応が可能である。

- (2) トレンチ上を通過して風下側に移動する飛砂量はほとんど無い。従って、トレンチは優れた飛砂防止工であると判断できる。

- (3) 乾燥砂面での飛砂量は河村式で $K=2.5$ 程度、湿潤砂面では $K=1$ 程度で推算できる。

従って、長期の風速観測データがあり、平均的な風速分布が推定できるなら、トレンチの規模、再掘削の回数などの推定ができる。

- (4) 飛砂が地表面近く(地表面20cm以下)に集中している事実が確認できた。

なお、本現地実験では、トレンチ背後に設置した翼垣とトレンチとの相互作用を評価できるデータを得ることができなかった。今後の課題とする。

謝辞: 本研究の調査実施計画案は、2007年度に新潟西海岸技術委員会((財)沿岸技術研究センター)で提案されたものであることをここに付記する。

参考文献

- 河村龍馬(1951): 飛砂の研究, 東大理工研報告, No.5, pp.95-112.
- 久保田進・保坂幸一・鶴飼正志・堀田新太郎(2006): 風洞実験データに基づく飛砂量鉛直分布予測法の確立, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 431-435.
- 塩澤俊彦・中谷内信一・赤澤守・玉城重則・黒木敬司(1993): 新潟西海岸における飛砂の現地観測, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 281-285.
- 田中純彦・蜂須賀和吉・土田吉昭・伊藤晃・伊東啓勝(2007): 新潟西海岸での飛砂対策の有効性検討, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 546-550.
- 船越晴世・大野正人・阿部勝男・鈴木幸一・黒木敬司・玉城重則(1993): 飛砂防止対策について, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 291-295.
- 堀田新太郎・堀川清司(1990): 堆砂垣の機能についての実験的研究, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 444-448.
- 堀川清司・田中寛好・畑中勝守・山谷直昭・堀田新太郎(1996): 飛砂捕捉溝に関する研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 671-675.
- Horikawa, K., S. Hotta, S. Kubota and S. Katori (1984): Field measurement of blown sand transport rate by trench trap, Coastal Eng. Japan, JSCE, Vol.27, pp.213-232.
- Zingg, A. W. (1952): Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material, Proc.5th Hydraulics Conference, IAHR, pp.111-135.