

産業廃棄物からなる土壌改良材を利用した 飛砂防止対策の開発

富永禎秀* 持田 灯** 清水敬二***
青木泰伸**** 高橋正男***** 本間良春*****

(平成10年10月31日受理)

Development of Prevention Method for Blown Sand by Spraying the Industrial Waste Clod

Yoshihide TOMINAGA*, Akashi MOCHIDA**, Keiji SHIMIZU***
Yasunobu AOKI****, Masao TAKAHASHI***** and Yoshiharu HONMA*****

The blown sand has been a serious problem for the inhabitant in the coastal area. The damage is especially serious in the district facing the Japan Sea where seasonal wind is very strong in winter. In order to reduce the strong wind which causes the blown sand, wind break fence and net have been widely used. But such measures have a problem that the perspective and the landscape at the coastline are much prevented. In this study, a new type of countermeasure for mitigating the environmental problems due to the blown sand was developed. Here, the blown sand is prevented by spraying the clod generated from the chemical industry as the waste. The performance of the developed method was tested based on the data of field measurements and wind tunnel tests.

Key words : Blown sand, Industrial waste, Wind tunnel test, Field measurement

1. はじめに

海岸線における飛砂の問題は、従来から近隣の住民にとって重大な問題であった。特に冬季の季節風が強い日本海側地方では、その被害は深刻である。例えば新潟市の沿岸沿いの道路の例では、海岸沿いの道路が飛砂で埋め尽くされてしまい、その処理で年間約3000万円の支出を強いられているということである。また最近では、海岸線ばかりでなく、沿岸都市の砂地盤造成工事等でも、周辺住民から飛砂に対する苦情が多く見られるようになり、居住環境上の大きな問題の一つとなってきた。

地域振興整備公団は、平成6年度より新潟県中条町において中核工業団地の造成工事を行なっている (Fig.1 参照)。中条町は新潟県北端の海岸線に位置し、冬季の季節風の強い地域であり、また一帯が砂地盤であるため、造成中の飛砂による環境障害が問題となった。本稿はこの工事の際に考案した、酸性白土から石鹼等の化学製品を製造する過程で生成さ

*建築学科 助手

**建築学科 助教授

***建築学科 教授

****地域振興整備公団・新潟中条開発所 事業課長

*****水澤化学工業株式会社・中条工場工場企画 次長

*****株式会社福田組・山北地区工事事務所 所長

れる産業廃棄物を有効利用した土壌改良剤を散布することにより、飛砂発生を抑制しながら植栽の育成を促進するという新しいタイプの飛砂防止対策について報告するものである。

2. 飛砂の発生要因と既往の対策の問題点

2.1 飛砂発生の要因

飛砂は砂面上の風速がある値（限界摩擦速度）を超えると発生する。標準的な砂面の場合、限界摩擦速度は0.2~0.4m/s程度と言われており、これは地上高さ1mでの風速がおおよそ5~6m/s程度のときに相当する。しかしこの限界摩擦速度は、砂の含水比、地表面の粗度長の状態等によって変化すると考えられている。

まず飛砂量は砂表層の含水比が高いほど減少する。含水比が増大するにつれ、飛砂量は急激に減少する。特に強風時ほど風乾時と含水時の差は多くなり、風乾時に比べて含水時では1/100~1/1,000程にも飛砂量が減少するとされる。

地表面の粗度長とは地表近くの風速低下に寄与する地表面の凸凹の状態を指し、粗度長を大きくして砂面付近の風速を低下させれば（Fig. 2）、当然飛砂量は減少する。すなわち飛砂を発生させないためには、砂面の含水比を出来るだけ高くすることと、地表面の粗度を大きくすることが重要である。

2.2 既往の対策の問題点

飛砂の防止策としては、防風用のフェンス、ネットを用いる方法が一般的であるが、砂によるフェンスの目詰まりや海岸線の景観・眺望を著しく損ねる等の問題がある。従って地表面を植栽により覆う方法が望ましいが、①強風や乾燥によって種子が根づかない、②飛砂防止効果を発揮するまで時間がかかる等の問題がある。すなわち景観・眺望を損なわず、速やかに緑化を進め、飛砂を防止する工法の開発が強く望まれる。

3. 本研究で開発する飛砂防止工法の概要

地域振興整備公団による中条町での工業団地造成においても、植栽による飛砂防止対策が考えられたが、植栽初期に強風や乾燥によって種子が根づかない点が問題とされた。そ

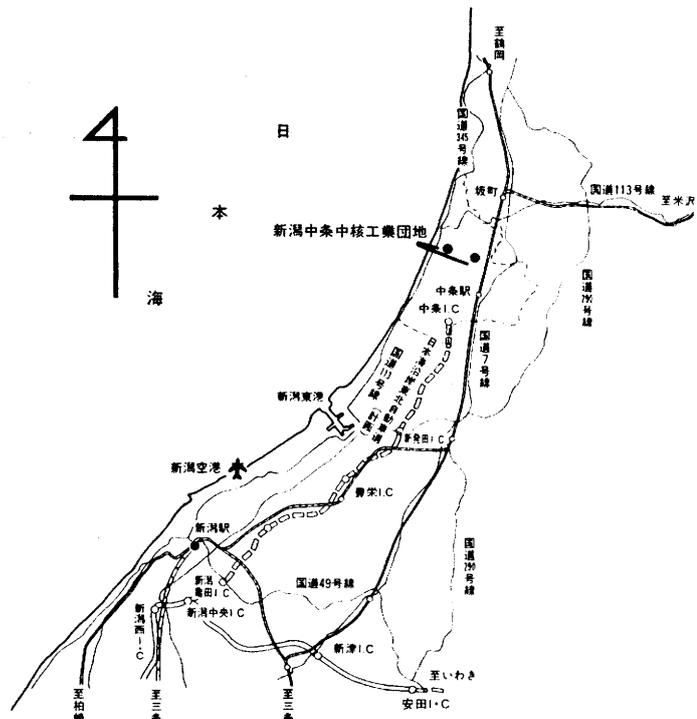


Fig. 1 新潟中条中核工業団地の位置

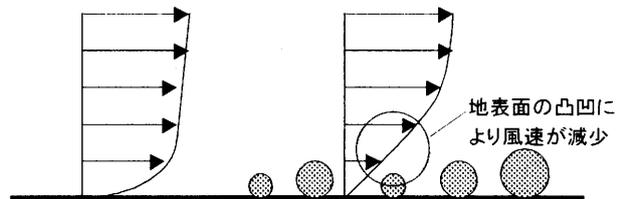


Fig. 2 地表面の凸凹（粗度）と風速分布

ここで、「砂面に突起物設ければ、粗度長が大きくなるため砂面上の摩擦速度が小さくなり、砂面上の風速が限界摩擦速度を超える（すなわち飛砂の発生する）確率を抑えることができる」という原理に基づく対策を構想した（Fig.2 参照）。この方法ではフェンス等のように眺望の障害にもならない。

さらに本工法では、摩擦速度を低減させるための突起物として、同じく中条町にある水澤化学工業（株）より産出される産業廃棄物（酸性白土の副産物：商品名ガレオナイトHK（以下ガレオナイト））に着目した。ガレオナイトは石鹼などに用いられる酸性白土採集時に選別されるシルト分を中心とした淡黄茶色の土壌物質であり、選別され、堆積される過程で固結し、径 30mm 前後の土塊となる。

なおガレオナイトは、重金属類は含有せず、保水力・保肥力に富むことから、土壌改良資材として使用されていた。ガレオナイトの製造工程を Fig.3 に示す。その物性的特徴をまとめると、以下ようになる。①無機質で安全性が高く、化学的に安定である。②中和反応でコロイド化した細かい粒子が圧縮成型された多孔物質であり、毛管吸水力が大きい。③天然の粘土と違い、吸水膨潤することがないため、水中で崩壊しない。④嵩比重が 0.75 であり、軽量である。

すなわちガレオナイトを散布することにより、含水比率の増加と粗度長の増大という飛砂防止に重要な2つの機能が確保され、飛砂防止工法として極めて有効と考えられる。

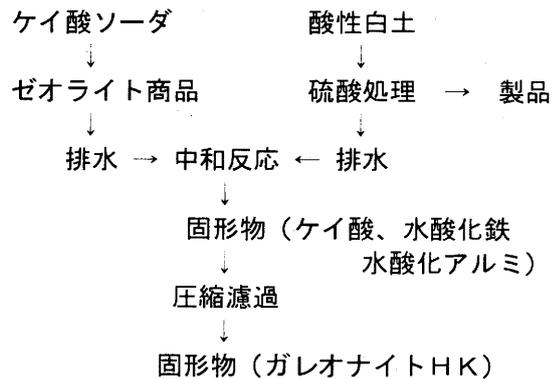


Fig.3 ガレオナイトの製造過程

4. 試験施工による本工法の検証

4.1 測定概要

新潟中条中核工業団地内に Fig.4 に示すような 50m²（5m×10m）の砂地盤の試験区を、5面配置した。各試験区の試験内容を Table 1 に示す。A～C試験区はガレオナイトを散布した試験区で、ガレオナイトの粒径が異なる。Aは原形の 30mm のままの散布、B、Cはそれぞれ 5, 10mm 径に粉碎したものを散布した。D試験区はガレオナイトの原形散布に植栽を併用したものである。ガレオナイトはそれぞれ粒径程度の厚さとなるように均一に散布した。比較のため、施工しない砂のままの状態をE試験区とした。なお試験区の周囲は高分子系の被覆材を併用した植栽を施し、周囲からの砂の移動を制御した。

飛砂量の測定は、Fig.4 中に示す9箇所での測定位置における地表面からの高さを測定した。平成7年7月13日に初期値の計測を行い、以降1週間程度の間隔で9月22日までの間に10回測定

Table 1 検討ケース

| 試験区 | ガレオナイト粒径 | 備考 |
|-----|----------|--------|
| A | 30 mm | |
| B | 10 mm | |
| C | 5 mm | |
| D | 30 mm | 芝を併用 |
| E | — | 非施工（砂） |

を行った。風速の測定高さは地上 11.9m である。

4.2 測定結果

試験期間中の最大風速の上位 3 位は、9 月 18 日の 11.0m/s を筆頭に 9 月 2 日の 9.1m/s、8 月 28 日の 8.6m/s のように 8 月後半以降に集中している。各試験区の初期値 (7 月 13 日) からの変位量を、各試験区内の 9 つの測定点の平均値で示したものが Fig. 5 である。正の値は堆積を、負の値は浸食されたことを意味する。

4.3 考察

E 試験区 (非施工の砂面) では 8 月 3 日以降継続して浸食を受ける傾向が認められる。一方、A 試験区 (原型のガレオナイトを散布) では測定した全地点で堆積する傾向にあり、9 月 22 日の段階で E 試験区と比較すると 12mm もの高低差が生じる。

粉砕したガレオナイトで覆った B、C 試験区では浸食を受けている部分もあるが、最終的には基準値よりも地表が高くなっている。8 月 22 日の計測において、特に B、C、E の地表が下がっているが、これは 8 月 3 日からの 1 週間に雨の日が多く、大雨の日もあったことが原因であると考えられる。D 試験区 (原型のガレオナイトに芝草を併用) では、特に試験開始初期の段階に砂を多く捕捉しており、植栽を併用することで、本工法の飛砂防止効果が一層増すこと

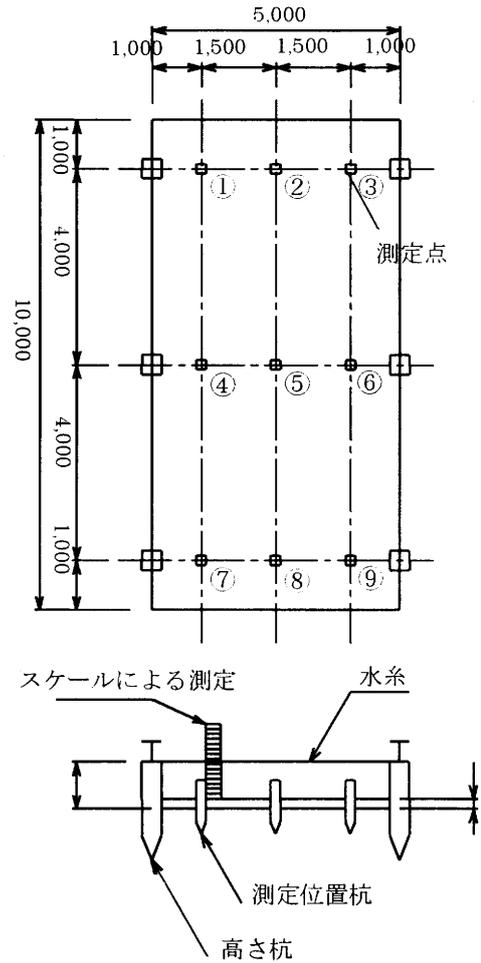


Fig.4 試験区の概要 (単位 mm)

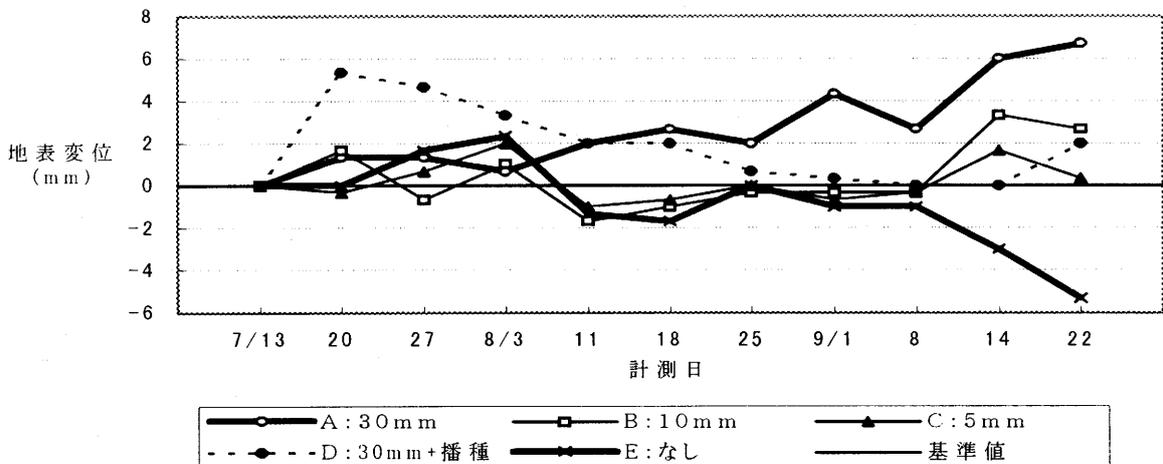


Fig. 5 各ケースにおける地表高さの変化

を示唆している。以上をまとめると、ガレオナイトを散布した地区では調査期間全体を通して飛砂を抑制する効果が明確に認められた。特に 30mm の原型を散布したA試験区の飛砂捕捉量が多かった。

5. 風洞実験による有効性の検証

5.1 実験方法

前述のように、試験施工の測定期間では風速が最大で 11m/s 程度であり、冬の強い季節風を考えると、より高風速の状況下における本工法の有効性を検証する必要がある。またガレオナイトによる飛砂防止効果は確認できたが、ガレオナイトの微粒子自身がどの程度飛散するかについては、試験施工では十分確認できていなかった。上記の点を確認することを目的として、新潟工科大学所有の境界層風洞を利用した風洞実験を行った。

Fig. 6 に示すような、補助台を風洞床に設置し、試験体を 2 体ずつおいて実験を行った。検討ケースを Table 2 に示す。ケース A～C は、全て砂面上にガレオナイトを均一に散布しているが、粒径が異なるケースである。ケース D は砂のみの場合である。各ケースごとに約 2.0m/s づつ風速を増加させ、砂粒子の移動が目視で確認できた場合、5 分間、一定の風を吹かせ、その時の砂厚を測定する。試験体内の測定位置を Fig. 7 に示す。

今回使用した風速の鉛直分布を Fig. 8 に示す。飛砂実験中の風速は床面高さ 1000mm に設置したピトー管で測定した。

5.2 実験結果

風洞実験の状況を Fig. 9 に示す。各ケースにおいて、飛砂の確認された段階の砂面からの高さ 1000mm における平均風速（以降本稿では限界風速 U_{1000} と記す）を Table 3 に示す。本実験では、風速 7.5～23.7m/s の範囲で実験を行なったが、飛砂が確認できたのはケース A, C, D であった。ケース B では、本実験における最高風速 23.7m/s においても明確な飛砂は確認できなかった。

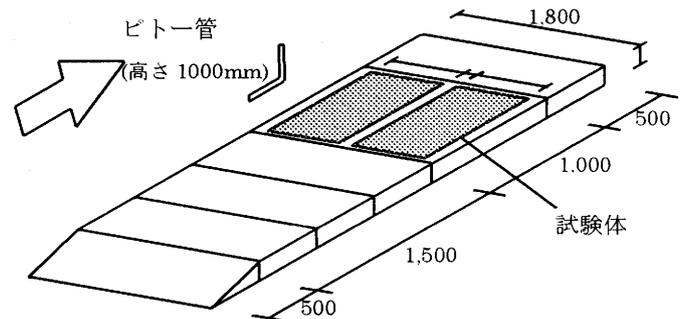


Fig.6 実験装置概要 (単位 mm)

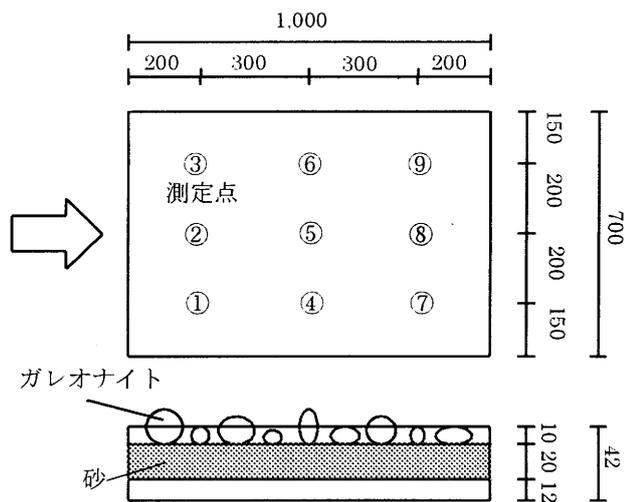


Fig.7 試験体概要 (単位 mm)

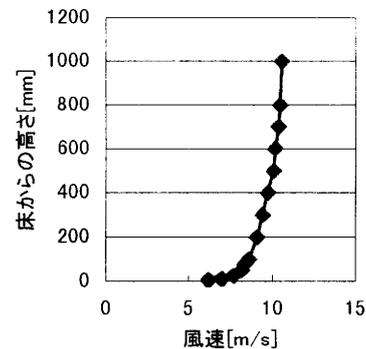


Fig. 8 流入風速の鉛直分布

Table 2 検討ケース

| ケース | 種類 |
|-----|-------------|
| A | ガレオナイト 30mm |
| B | ガレオナイト 10mm |
| C | ガレオナイト 5mm |
| D | 砂のみ |

5.3 考察

砂だけのケースDでは、床上 1000mm の平均風速 12.4m/s で飛砂が発生しており、ガレオナイトを撒いたケースA～Cに比較して、飛砂の発生する風速が大幅に低くなっている。

次に、実験で求められた限界風速を摩擦速度に換算する。今回の実験で使用した風速の鉛直分布から、接近流の粗度長 z_0 を推定すると $1.0 \times 10^{-6} \text{m}$ となる。風洞内気流が以下のような対数則に従うと仮定する。

$$\frac{U_z}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (1)$$

ここで z は床面から鉛直方向の距離、 U_z は高さ z における平均風速

である。(1)式に上記の z_0 の値と適当な高さ z における風速 U_z を代入することにより、摩擦速度を求めることが出来る。今回使用した風速の鉛直分布 (Fig. 8) より、 $z=500\text{mm}$ の場合、 $U_z=10.1\text{m/s}$ となるので、これと $z_0=1.0 \times 10^{-6}\text{m}$ を(1)式に代入し、 $u^*=0.308\text{m/s}$ を得る。同じく Fig. 8 より、高さ 1000mm での風速 U_{1000} は 10.6m/s なので、本実験における u^* と U_{1000} の関係は次式となる。

$$u^*=0.029 U_{1000} \quad (2)$$

今回行なった風速範囲では、風速の鉛直分布の形 (基準高さの風速に対する各高さの風速比) は殆ど変化しないので、全てのケースにおいて、(2)式の関係を利用して問題はない。(2)式により Table 3 の各ケースの限界風速からその時の摩擦速度 u^* を求めると Table 4 のようになる。既往の文献³⁾によれば、粒径 0.4mm、密度 2.66g/cm³ の砂の場合、限界摩擦速度 u^* は 0.3m/s 程度と報告されているので、本実験で得られた値 (ケースD (砂) で 0.36m/s) は概ね妥当なものであると言える。

今回の実験では、砂だけの場合とガレオナイトを撒いた場合では明確な差が観察され、本工法の高い飛砂防止効果が確認された。粒径 10mm のケースBが、最も飛砂抑制効果が高いという結果になったが、ガレオナイトの径による差はそれほど明確ではなく、30mm 径の場合が最も効果が大きかった試験施工結果も踏まえ、さらに検討したいと考えている。

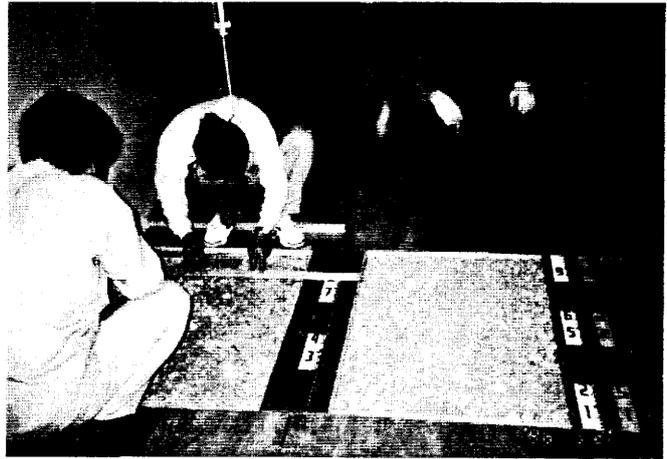


Fig.9 風洞実験の状況

Table 3 各ケースの限界風速 U_{1000}

| ケース | A | B | C | D |
|-----------------------|------|------------|------|------|
| 粒径 | 30mm | 10mm | 5mm | 砂のみ |
| 限界風速 U_{1000} [m/s] | 21.9 | 23.7 以上 | 21.8 | 12.4 |

Table 4 各ケースの限界摩擦速度

| ケース | A | B | C | D |
|--------------|------|------------|------|------|
| 粒径 | 30mm | 10mm | 5mm | 砂のみ |
| 限界摩擦速度 [m/s] | 0.63 | 0.68 以上 | 0.62 | 0.36 |

なおガレオナイト微粒子自身の飛散については、目視による確認を行ったが飛散は認められず、問題とならなかった。

6. 施工方法に関する検討

施工上の問題は、ガレオナイトをいかに簡便にかつ定量に散布するかである。本研究では、以下のような定量散布装置を考案した。概要を Fig. 10 に示す。

製造プラントで作られたガレオナイトは施工場所までトラック運搬され、ストックヤードに仮置きした後、散布装置に積み込む。定量散布装置は 5.0 t 級のクローラダンプに装着し、積載するガレオナイトを走行しながら均一に散布することとする。本装置は散布ローラー、駆動用油圧モーター、支持調整装置等で構成されており、ベース車両となるクローラダンプの動力を利用し、走行速度と連動させることにより一定量の散布を行うことができる。クローラ式の機械を使用しているため不整地や軟弱地盤にも対応が可能である。クローラダンプの進入できないのり面等では、散布装置を使わずにバックホウや人力によって敷き均しを行う。

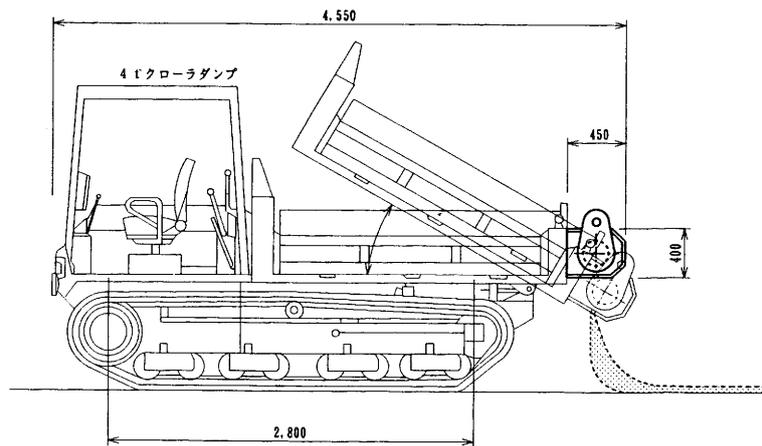


Fig.10 クローラダンプの概要

7. まとめ

- 1) 砂面に土塊を散布する新しい飛砂防止工法を開発し、試験施工・風洞実験結果による検証を行った。これにより本工法が飛砂の抑制に十分有効であることが確認された。
- 2) 本工法は産業廃棄物からなる土壌改良材を利用したリサイクル・無公害工法であり、環境問題にも十分配慮された画期的工法と言える。
- 3) 本工法で用いている土塊の高い保水性は、夏季に周辺の気温を低減させる効果が期待される。現在、この点に着目して、周辺の温熱環境に及ぼす影響についての検討を進めている。

謝辞

本研究の実施にあたりましては、地域振興整備公団新潟中条開発所長・桂木義治氏、同・工業再配置事業部造成課・伊丹貢二氏（研究当時 同・新潟中条開発所事業課）、グリーン産業（株）営業部・平松正彦氏に有益なご協力・ご助言を頂きました。また本稿作成に際しては、（株）福田組建設本部技術部・朝妻貴夫氏にご協力頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 辻本哲郎, 赤城里至 : 飛砂層におけるサルテーション運動と風速分布, 水工学論文集, 第38巻, 1994年2月, pp.621-626
- 2) 村井 宏, 石川政幸ほか編 : 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用—, ソフトサイエンス社, 1992年9月
- 3) Ishihara, T. and Iwagaki, Y. : On the effect of sand storm in controlling the mouth of the Kiku River, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 2, 1952, 1-32