

カリフォルニア州モンレー湾沿岸に形成された砂丘地におけるblowoutの観察

FIELD OBSERVATION OF BLOWOUT ON SAND DUNE FORMED ON MONTEREY BAY COAST IN CALIFORNIA

宇多高明¹・西村 晋²・清野聡子³・国栖広志⁴

Takaaki UDA, Susumu NISHIMURA, Satoquo SEINO and Hiroshi KUNISU

¹正会員 工博 建設省土木研究所 河川部長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

²正会員 (財)土木研究センター研究開発一部 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

³正会員 農修 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科助手 (〒153-8902 目黒区駒場3-8-1)

⁴フェロー会員 工博 日本海洋コンサルタント(株) (〒102-0082 東京都千代田区一番町27-4)

Topographic features of coastal sand dune located very close to the south end of Monterey Bay in California was observed on September 3, 1999. On this sand dune, landward winds formed blowout at many places and they often block traffic in the Highway. Detailed observation of topographic changes caused by blowout was made. Based on the field observation, longitudinal and vertical change of the sand dune associated with the formation of the blowout is summarized in the schematic diagram.

Key Words : sand dune, blowout, field observation, California, Monterey, schematic diagram

1. まえがき

わが国沿岸では、冬季の季節風時に激しい飛砂が生じ、この結果高い砂丘が発達した海岸が数多くある。日本海に面した新潟海岸、石川海岸、鳥取海岸などにおける比高の高い砂丘の発達がその例である。しかしながら、堀川ら¹⁾が指摘したように、わが国では近年海岸侵食の激化とともに飛砂に関する関心が薄れ、わずかに砂丘に隣接する道路の管理者などにより興味を持たれているに過ぎない状況となっている。また、植林などによる砂丘地の安定化が進められた結果、飛砂問題の数が減少したことも研究者の関心を減らす一因となったと考えられる。しかし、外国の海岸砂丘では飛砂によって障害が出ている場所が数多く見られ、飛砂に関する研究の必要性は依然として高いものがある。

しかしながら、わが国では上述の理由により飛砂に関する研究が少なく、さらに研究も飛砂量公式自体に焦点を当てたものがほとんどであって、飛砂の結果生じる砂丘の変形に関する実態論的な研究の報告は数少ない。この種の研究としては、外崎ら²⁾による太平洋に面した茨城県阿字ヶ浦海岸の砂丘発達の調査結果や、西ら³⁾による鹿児島県の吹上浜海岸における砂丘上のblowout (砂の吹き飛ばし) に関する

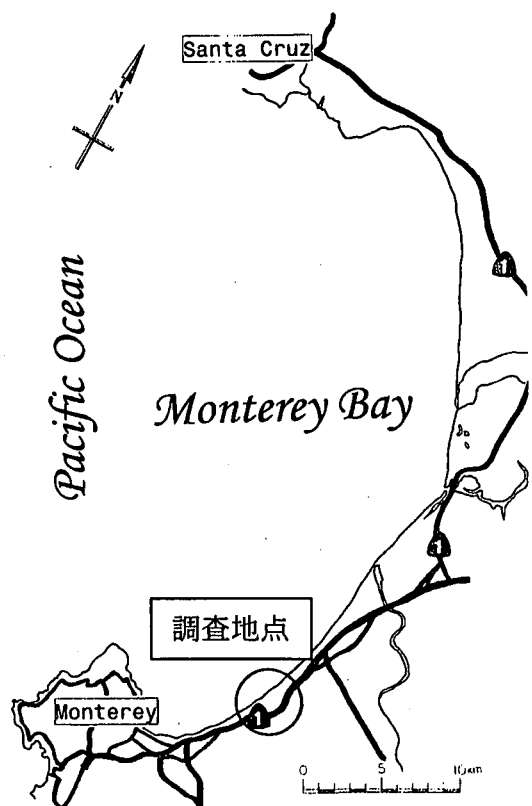


図-1 モンレー湾と調査地点

現地踏査などがあるのみである。今回、筆者らは1999年8月28日から9月5日まで米国カリフォルニア州のサンディエゴからサンフランシスコまで、海岸線に沿って北上しつつ海岸の現地踏査を行った。多くの調査地点のうち、モントレーでは海岸砂丘の調査を行う機会があった。その中で州の保留地となっている自然砂丘においてblowoutが発生し、いまでも活発な砂移動が生じていることが見いだされた。ここではまず、この観察結果を示した上で、観察されたblowout周辺での地形変化機構について簡単な考察を加える。

2. モントレー海岸砂丘におけるblowoutの現地踏査

1999年9月3日、カリフォルニア州中部に位置し、太平洋に面したモントレー湾の海岸砂丘の現地踏査を行った。現地踏査を行ったのは、図-1に示すようにモントレー湾に面した南北約50kmの海岸線の南部、モントレー市街に近い海岸砂丘である。ここでは海岸線に沿って砂丘が発達し、そこを縦断してカリフォルニア州ハイウェイ1号線が走っている。

写真-1は遠方に太平洋を望みながら、砂丘地の一部に形成されたblowoutの状況を観察したものである。沿岸方向になだらかに続く砂丘の一部にくぼみがあり、そこに海風が集中して陸域に吹き込んでいく。このため、そこが集中的に侵食され、blowoutが形成されている。Blowout開始地点でのblowoutの幅は数mである。写真に示すように、海からの強風が吹き抜けるために、blowoutの陸側には緩勾配の斜面が形成され、そこには砂漣が形成されている。またblowoutの両側には急斜面が形成されており、植生に覆われていないこの斜面は砂の安息角にほぼ等しい勾配を持っている。しかし、この斜面の上部は植生で覆われている。写真-2は、このblowoutを海側から陸側を望んで撮影したものである。Blowoutの発生箇所から陸側には緩やかに標高が高まる斜面が続く。

写真-2において、左側の斜面を斜め陸向きに撮影したのが写真-3である。砂丘の頂部は植生で覆われており、そこに砂の安息角にほぼ等しい急斜面が接続し、blowoutの開始点から陸側に広がる相対的に緩やかな斜面との交線を境に勾配が緩やかになっている。この急斜面の発達にはblowoutの開始点近傍で著しく、急斜面の長さは陸向きに次第に減少し、なだらかなる。急斜面を正面から撮影したのが写真-4である。砂丘頂部の植生で覆われた部分のすぐ下部には、ほぼ垂直な崖が形成されている。この小規模な崖はほぼ安息角を有する斜面に続いている。

写真-4において、斜面下部の砂の一部を取り除く実験を行ったところ、形成された穴の上部斜面の勾配が安息角より大きくなったため、上部の砂が落ち込んでそこに再び安息角を有する斜面が形成さ



写真-1 Blowoutの発生地点（陸側から撮影）



写真-2 Blowoutの発生地点（海側から撮影）



写真-3 Blowoutの北側斜面の状況



写真-4 Blowoutの北側斜面に形成されたほぼ垂直な崖と安息勾配斜面

れ、それが乾燥岩屑流を形成して上方へと波及し、最終的に写真-4の上部に見えるほぼ垂直な崖が高くなることが現地実験から観察された。このことより、写真-4に示すblowoutの側方斜面は、blowoutから陸側に延びる相対的に緩やかな勾配の斜面上を陸向きに砂が運び去られる際生じた擾乱が、安息角を持った斜面に沿って上方へと伝播した結果生じたものと考えられる。その場合、砂丘上部まで擾乱が伝播しなかった理由は、砂丘表面近傍は植生の根が繁茂しており、固結度が高かったためと推定される。

写真-5は、写真-1に示したblowoutのすぐ南（左）側に見られたもので、飛砂により取り残された小規模な3次元砂丘である。これらの小規模な砂丘は、海側が植生で覆われ、その背後で風速が低下するため、砂が運び去られずに取り残されたものである。写真-5の右側の窪地が写真-1に示したblowoutである。写真-6は、写真-5に示す取り残された砂丘南側の砂丘状況である。水平線の下部に見える小さな高まりが写真-5に示した小規模砂丘の左側の高まりである。ここでは平坦に近い斜面が続く。写真中央にはその周辺域と比較して規模が大きく、かつ3次元的な特徴を有する砂漣がほぼ直線的に陸向きに延びている。観察によると、これは写真正面に見える斜面の下部に沿って陸向きに延びており、相対的に粗い粒の砂で構成されている。これと同様な特徴は写真-1にも観察される。すなわち、blowoutの北（右）側の急斜面直下に同様な状況が観察され、しかもここでは写真右端に見えるごく小規模な3次元砂丘の周辺では一度不明瞭となるが、その側面では再び内陸側へと延びている。同様に、blowout開始点のすぐ南側の急斜面下部からも帯状の模様が内陸方向に延びている。

写真-7は、写真-3,4で示したblowout北側の急斜面上に連なる植生帯を眺めたものである。この植生帯はblowoutの沿岸方向の広がりを制約する効果を有している。

Blowoutを通じて陸側に運ばれた砂は、blowoutに続く緩やかな斜面を陸側に運ばれたあと、安息角をなして陸側に急に落ち込む。写真-8は、この急斜面を内陸に向けて撮影したものである。草地に海側から砂が落ち込んで堆積するために、植生の一部が砂で埋められている。

写真-9はほぼ安息角に近い勾配を持った斜面を側方から北向きに撮影したものである。写真に示すように、現在発達中の陸側斜面の北には4つの砂丘が観察される。そしてそれらの砂丘の表面を覆う植生の新しさから、前方に見える砂丘のうち左端に位置するのが最も新しく形成された砂丘であることが分かる。このように砂丘が内陸へと発達している区域は背丈の低い樹木や草木類に覆われた平坦な土地である。

写真-10は、写真-9の左端部を拡大して示したものである。写真には4つの砂丘が見える。一番手前の

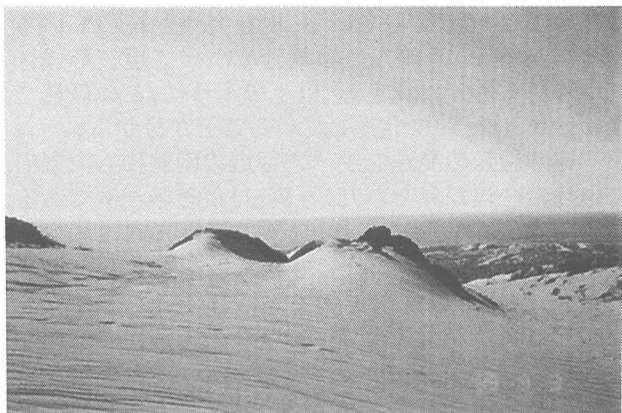


写真-5 頂部に植生を載せた小規模3次元砂丘
(Blowoutの発生地点の南側隣接部)

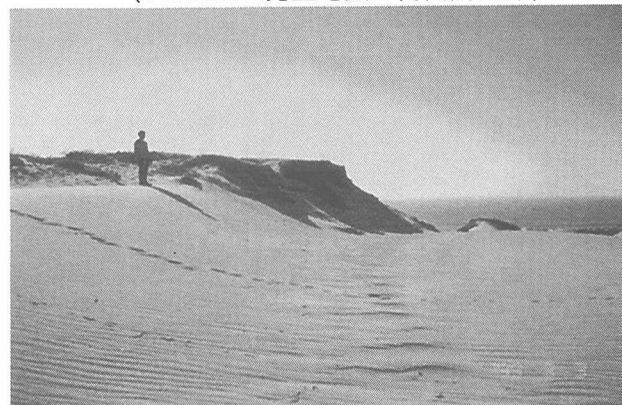


写真-6 Blowoutの南側斜面とその陸側に延びた緩勾配斜面



写真-7 Blowoutの北側斜面の東端部付近における植生状況



写真-8 Blowout陸側の安息斜面と埋もれた植生

砂丘がここで議論している、現在発達が続いている砂丘である。その前方には飛砂によって現在形成されつつある砂丘が見える。以上のように、この区域では砂丘が3次元的に発達していることが分かる。

一連の砂丘の発達を調べた区域の南側にも大規模な砂丘の発達が見られた。写真-11がその一例である。写真の右側が海側であり、飛砂の進行方向は写真右側から左側である。ここでも非常になだらかな砂丘面が発達し、写真左端付近で運ばれてきた砂が安息角をなして堆積している。写真-12は、砂丘の陸側から砂丘の端部を撮影したものである。写真中央から左側に急角度をなして砂が堆積し、植生帯を埋めていることが分かる。写真-13がその拡大写真である。



写真-9 安息斜面とその北側に見える4つの砂丘



写真-10 本研究で観察した砂丘の北側隣接部で同様に発達しつつある砂丘

3. Blowoutの形成に関する考察

図-2にはblowoutの観察結果の要約を示す。図-2aはblowoutの模式平面図である。Blowoutの発生地点を点0とし、そこより飛砂が右側に運ばれるとする。Blowoutの陸側にはなだらかに標高が高まる斜面が形成されているが、この斜面の幅は点0から陸側に向かって次第に広がる。これはほぼ三角形OABで近似される。OA沿いの点0に近い部分には急斜面が形成されているが、これらのうちここでは例として北側



写真-11 本研究で観察した砂丘の南側で同様に発達しつつある砂丘



写真-12 写真-11に示す砂丘の陸側端付近での堆積状況



写真-13 写真-11に示す砂丘の陸側端付近で砂に埋もれつつある植生

の斜面のみを考える。北側斜面をCDEで切断し、それを断面的に示したのが図-2bである。底面に沿って内陸へと飛砂が運ばれて、地盤の標高が低下すると、斜面の下部が安息角を超え、斜面が不安定となる。この擾乱は斜面に沿って上方へと伝わる。しかし、斜面の上部には植生が繁茂し、その下部の土壌は砂の安息角の斜面より固結度が大きい。このため、そこにはほぼ鉛直に近い崖が形成される。しかし、この崖もその規模が大きくなると不安定化して上部の植生ごと崩落し、砂の安息角の斜面上をすべり落ちる。写真-3に

示した安息斜面上に散乱する植生はそのような機構によって崩落したと考えられる。この急斜面の高さは約2 mである。また、写真-1,6に示した砂の安息角に近い急斜面と底面との交線付近で、粗粒の砂から構成され、他の場所と比較して規模が大きな3次元的な形状を持った砂漣が帯状に内陸方向に延びていた原因は次のように推定される。

図-2bにおいて急斜面の下部に生じた擾乱が斜面に沿って上方へと伝播した場合、斜面上部から次々と土砂が供給されるが、それらの土砂のうち比較的粗な粒径の砂は飛砂によって運ばれにくく、このため急斜面の下部に沿って帯状に粗砂が堆積したと考えるものである。

一方、飛砂の移動方向である00'に沿った縦断形を図-2cに示す。ここでは点0から陸向きに斜面の幅が次第に広がっているために、単位長さあたりの飛砂量は次第に減少傾向となり、また砂丘のピーク付近で斜面に沿った風の剥離が起こり、そこより陸側で

は飛砂の急激な堆積が起こる。この場合、なだらかに標高が増大する斜面上を陸向きに移動した砂は、砂丘の陸端に最急斜面の勾配が約30°の安息角を持った斜面0'0''を造って堆積する。このような斜面は上方から砂が被さることにより陸向きに前進するために、砂丘の下部では植生の埋没を引き起こす。

このようにして形成された砂丘も、海側からの砂の供給がなくなれば陸向きの砂丘の発達はやや緩やかになり、砂丘上に植生の繁茂が始まり、安定化が進む。安定化の進んだ砂丘が写真-9に示した砂丘と考えられる。

モンレーでは海岸の砂丘帯に沿ってカリフォルニア州ハイウェイ1号線が走っている。この道路にも上述のようにして飛砂の堆積が起き、場所によっては砂を排除する対策が取られていた。この意味から少なくともモンレー地区ではこのような機構による飛砂移動について注意を払うことは意味があると考えられる。

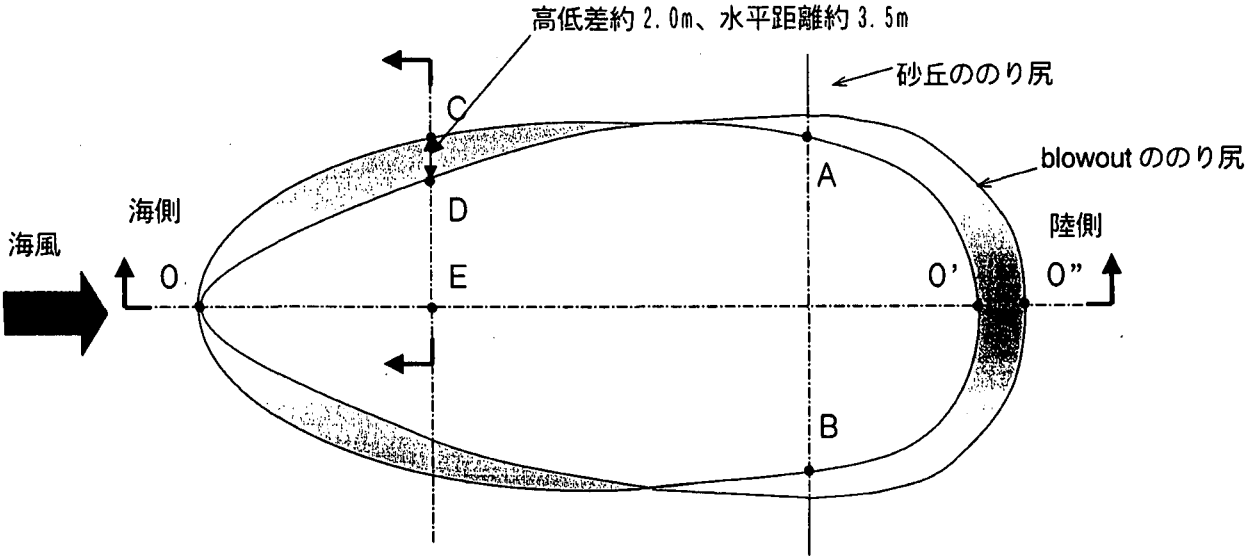


図-2a Blowoutの形成機構の模式平面図

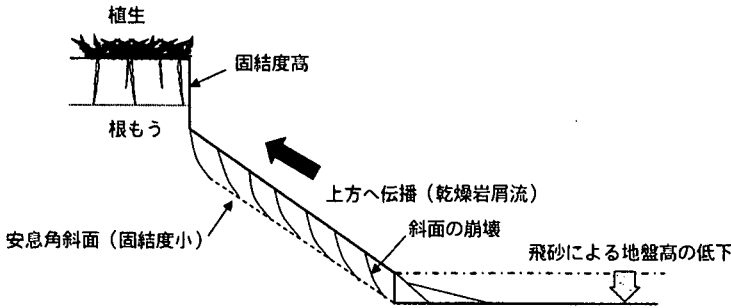


図-2b Blowoutの形成機構の模式断面図

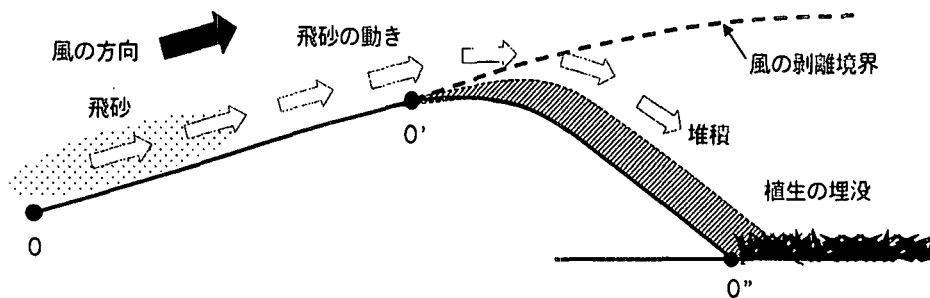


図-2c Blowoutの形成機構の模式断面図

4. あとがき

本研究ではカリフォルニア州モントレイ湾沿岸に発達している砂丘の現地調査において観察されたblowoutについて簡単に要約した。わが国でも各地に砂丘があるが、それらの多くは松などの植林によって安定化が進み、活発な砂移動の結果、blowoutが形成される状況の観察は難しい。このことから、本研究では測量など定量的な観測は行うことができなかったものの、現象の観察ができたことはそれなりに興味深いことと考える。観察地が米国という遠隔地にあることから、本研究で観察した砂丘の定量化は難しいが、今後わが国においても類似の事例を探して研究を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 堀川清司, 堀田新太郎, 久保田 進, 針貝聡一: 海岸における飛砂について, 第28回海岸工学講演会論文集, pp.574-578, 1981.
- 2) 外崎公知, 宇多高明, 五十嵐康之, 岩崎福久, 畑中達也: 阿字ヶ浦海岸における砂丘の発達と変形, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.286-290, 1993.
- 3) 西 隆一郎, 宇多高明, 佐藤道郎, 西原幸男, 井ノ上由人: 吹上浜海岸における汀線と海岸植生および砂丘林境界の長期的変動特性, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.661-665, 1998.