

カリフォルニア州で適用が始まったサンドミティゲーションプログラム

—— 海岸保護工と砂浜保護の両立を目指して ——

阪 東 浩 造*・Lesley Ewing**・Sherilyn Sarb**

1. はじめに

アメリカでは、1969年制定された国家環境政策法 (National Environmental Policy Act) のもと、環境アセスメントが制度化されている。国家環境政策法は、環境は次世代のために管理する責任があるとの認識から、透明性が高く柔軟性のあるアセスメントを目指し、事業の早期の段階での実施・複数の代案の提示・住民の参加と訴訟の権利など、開発事業者に厳しい環境配慮を求めている。具体的に配慮すべき環境要素などは、様々な環境保護関連法によって規定され、主導連邦政府機関が最終的な意思決定を行う。この決定を実行するために、モニタリングや代償ミティゲーションなどが課されることもある。開発事業は、上記の連邦法が適用されるだけでなく、環境面から各州の法律によりさらに規制される。

カリフォルニア州の環境保護政策はアメリカでも厳しいことが知られているが、海岸域での開発行為については1976年制定のカリフォルニア海岸法 (California Coastal Act) に基づき規制されている。この法律によれば、開発者はカリフォルニア海岸委員会に許可申請し、カリフォルニア海岸委員会は開発の必要性や環境に配慮した設計となっているかなどを厳しく審査することになっている。

海岸線の長いカリフォルニア州での大きな関心事の一つは、砂浜の維持と砂浜への一般市民のアクセスの確保である。アメリカでは、海岸は一般市民の憩いの場との認識が強い一方で、海岸地域の民有化が認められているため、海岸域に存在する民有財産の保護と砂浜へのアクセスの確保の両立がしばしば問題になっている。また、民有財産を波浪による侵食から守るために、海岸護岸や捨て石投入などによる海岸保護工が実施されているが、構築物を守るための海岸保護工であっても、自然の砂を中心とした相互作用を妨害し、周辺の砂環境に悪影響を及ぼすことになる。このような課題を解決するために、カリフォルニア海岸委員会では、海岸保護工などによる砂浜への影響を緩和するための方策について調査研究を

進め、サンドミティゲーションプログラムという制度を開発し、このような海岸保護工による環境影響に対する対策としようとしている。このプログラムの特徴は、

- (1) 海岸保護工によって直接的間接的に失われる砂量を定量的に把握すること。
- (2) 環境影響を受ける要因 (砂浜や砂) に対して措置を講じようとする。
- (3) 対策として狭い領域で別個に対応するのではなく、定量的に評価された影響に見合う補償料を徴収し、基金としてプールし、広域な養浜プロジェクトへの資金援助を行うこと。

である。この論文では、このサンドミティゲーションプログラムの概要・アメリカでの実適用事例・日本で適用した場合の例などを報告するものであり、今後日本での様々な環境影響に対する緩和策を考える場合の参考となることを期待している。

2. プログラム開発の背景

1976年制定のカリフォルニア州海岸法には、カリフォルニア州の沿岸域での全ての開発行為には開発許可が必要であることが規定されている。このカリフォルニア州海岸法を実施運用するために、州の組織であるカリフォルニア海岸委員会が設置されている。海岸委員会は、開発業者から開発許可申請を受け付け、審査の後、適切な計画を持つ開発業者には許可証あるいは条件付きの許可証を発行する。海岸法は、擁壁・護岸・崖浸食防止工などの海岸侵食防止工の設置も自然の海岸過程を変える人為的行為と認識しており、許可の必要な開発行為と見なしている。海岸法の30235条は、護岸・崖保護構築物・侵食の危機にさらされている既存構築物や砂浜を守るために行われる自然の海岸過程を変える建設行為について、それらが海岸への砂供給に対する悪影響を除去したりあるいは緩和するように設計されている時、海岸委員会が、許可することを求めている。

代償措置としては、失われたり悪影響を受ける海岸へのアクセスや砂について、等価以上のアクセス施設の建設や新しい砂浜で置き換えることなどの方法が可能である。しかし、海岸保護工に対しては、失われた砂に対し

* 正会員 鹿島 海外事業本部土木部

** California Coastal Commission

て直接の代償措置はとられなかった。その代り、アクセス施設の付加という方策が、新しい海岸保護工による影響の一部を代償するために用いられてきた。この対策アクセス施設を維持管理する公的あるいは私的組織が名乗りをあげれば、この施設は直ちに一般市民に公開されることになる。一方、管理組織が現れない場合には、海岸域の財産所有者にその所有地に沿ってあるいは通過する海岸への公的アクセスを義務づける法定文書 (Offer To Dedicate Public Access Easement: OTD) の提出を要求し、将来管理者が現れた場合のアクセス権を確保することになっている。現在、委員会は 932 の沿岸方向アクセスのための OTD と 139 の沿岸直角方向アクセスのための OTD を受け付けている。現在まで、32 の直角方向の OTD が役所あるいは NGO によって承認管理されており、11 の階段や遊歩道が地方自治体あるいは州政府との共同事業として実施供用されている。

このような状況の中で、海岸委員会では、影響を受ける環境因子（この場合、砂浜や砂）に対して直接関与する方法で、影響を除去あるいは緩和するための手法の開発を進めてきた。この結果、海岸保護工による海岸過程への影響を、影響を受ける砂量として定量評価し、更にその砂量を貨幣価値に変換し、海岸開発許可の承認条件として開発申請者に金銭的負担を求めるサンドミティゲーションプログラム (In-Lieu Fee Beach Sand Mitigation Program) が考案された。

このプログラムは、影響回避が不可能なケースで、一般に、砂浜地域が公有地になって OTD によるアクセス施設付加による代償を採用できない時に採用される。

3. プログラムによる消失砂量の推定とその利用

(1) 概要

サンドミティゲーションプログラムの前提は、『海岸線侵食に対する構造的な対策は、自然の海岸過程を変化させる』ということである。影響を受ける海岸過程は、たとえば、砂浜の形成や保持・海岸線への砂の供給となる崖の後退などである。海岸線での保護工の設置は、砂浜の陸側位置を固定し砂浜断面の陸側への移動を防止したり、砂供給のための崖侵食を防止したりすることにより、これらの自然過程を妨害することになる。

海岸委員会は、海岸保護構造物が海岸過程に与える影響のうち、後述の三種類の影響が重要で定量化できると結論した。開発された手法は、これら三種類の量を計算し、プロジェクトにより影響を受け消失するであろう砂浜領域を修復するのに必要な砂量と漂砂セルへの供給が停止された砂量を評価するように設計されている。この

計算には、対策工の寿命など提案対策工に特有の情報・崖の幅や高さ及び既存構造物に対する保護工の必要性を検討したときに用いられた予想侵食量など、プロジェクト地域に特有の情報を用いる。このプログラムでは、解析により得られた量の砂を直接砂浜に入れたり、同じ漂砂セルの中での養浜プロジェクトを直接実行する代わりに、影響を金額に換算し、開発プロジェクトによる影響の度合いに応じた費用として開発者から徴収される。徴収される費用は、定量評価された砂量を基に、材料費・輸送費・敷設費の和で与えられる。徴収された資金は、一般に、適切な基金にプールされ、地域での砂の移動や収支及び他地域への影響を考慮した総合的な養浜プロジェクトに融資される。いわゆる in-kind のミティゲーションと言うことができる。

(2) 構造物が設置されたことによる砂浜の消失面積

海岸護岸や突堤などの海岸保護工は全て、空間を占有する物理的な構造物である。海岸保護工が砂浜上に設置されると、その場所は砂浜として使用することはできない。もしこの砂浜が公有地であれば、一般市民は以前のようにこの領域を用いることができない。砂浜として用いることのできない占有領域は、保護工が構築された時点から発生し、それが除去されるか移動されるまで、変わらず続くことになる。

占有面積 A_e は、保護されている構築物の幅(海岸方向長さ) W と保護工の占有幅 E の積で計算される。構築物の幅は、プロジェクトの設計から決定する。

$$A_e = W \times E$$

(3) 砂浜陸側位置固定による長期的な砂浜の消失面積

保護工のない侵食性自然海岸では、砂浜の陸側位置あるいは崖位置は陸側に移動する。海岸保護工は、この陸方向への移動を止め、崖位置を固定することになる。したがって、波の作用による前浜の陸側への移動(侵食)が起こっているならば、砂浜陸側位置の固定は砂浜を狭くする結果となる。

継続的に発生する長期間的な砂浜損失面積 (A_w) は、予想される長期的な侵食量と海岸保護工によって防護されている構築物の幅 (W) の積で与えられる。長期的な侵食量の予測は困難であるため、今までに観測された歴史的な傾向と過去の海岸線の変動に基づいた長期の年平均侵食量 (R) と、海岸保護工が設置されて後浜あるいは崖位置が固定される期間 (L) の積で近似する。30235 条の重要な審査項目の一つは、対象となる構築物が侵食により脅威を受けているかどうかである。この評価を行うために、申請者は、長期年平均侵食量を用いる。そこで、この時に用いた長期年平均侵食量と同じ値を用いて、前

浜の陸方向への侵食が後浜あるいは崖の陸方向への移動と平衡しないために消失が予想される砂浜面積を決定することにする。したがって、

$$A_w = R \times L \times W$$

(4) 崖が自然に侵食される時に砂浜に供給される砂量

多くの海岸崖は、海面条件などが現在と異なる昔に形成された砂浜で、海岸段丘である。海岸段丘はかつては砂浜であり、その構成材料の多くは、砂浜に見られる砂や砂利であり、砂浜に供給されるとその地域の漂砂セルに重要な貢献をしている。砂浜が地質学的スケールで海岸段丘になる一方、砂浜と崖の間での材料の自然の交換が海岸保護工により妨害されるならば、砂浜は無視できない砂供給の減少を被ることになる。このプログラムでは、崖の構成材料のうち砂や砂利が砂浜にとって重要な構成材料であることを考慮して、崖や砂丘の砂・砂利部分のみを砂浜の構成材料として定量化した。

図-1には保護工を設置した場合の考えられる崖プロフィールを示している。実線は保護工が設置された場合のプロファイル(外郭線)、破線は設置しなかった場合の崖のプロファイルを示している。保護工の寿命期間中に漂砂セルに供給されているであろう砂の量は、実線と破線に挟まれた面積と保護されている構築物の幅で決定される。侵食量は、崖の長期的年平均侵食量に保護工が設置される期間を掛け合わせて近似する。最後に、重要な材料は砂・砂利であるので、崖材料のうち砂や砂利の占める割合(S)を乗じて、保護工がなければ漂砂セルに供給されるであろう砂量(V₀)を計算する。V₀は、

$$V_0 = S \times W \times L \times [R \times h_0 + 1/2 \times h_u \times \{R + (R_{cu} - R_{cs})\}]$$

(5) 消失が予想される全砂量の評価

砂浜領域や砂の損失を伴う海岸保護工設置に対する許

可証承認の条件として、消失する砂浜面積に等価な砂量と漂砂システムから除外された砂量を、地域の養浜プロジェクトに貢献させることがサンドミティゲーションプログラムの意図することである。そこで、次のステップは、砂浜の消失面積を砂量に換算することである。

砂浜を建設するために必要な砂浜面積と砂量の換算には、単位砂浜面積当たりの体積を単位に持つ換算値vが用いられる。このvの値は、地域の砂浜とその海岸地形などの地域特性に依存するが、この値を特定するための地域データがない場合には、しばしば10 m³/m²と15 m³/m²の間に設定される(National Research Council, 1995)。海方向に砂浜を1 m建設するためには、岸沖の砂移動領域全体にわたって1 mのくさび形の砂を供給するのに十分な砂が必要である。砂の岸沖に移動する領域が-10 mから+3 mまでである場合、1 mの砂浜の追加は、-10 mから+3 mの全ての領域で追加されなければならない。この13 m×1 mの平行四辺形(幅1 m)を建設するには、13 m³の砂量が必要となる。この時v=13 m³/m²である。

この換算値について、千葉県屏風ヶ浦におけるデータから推定する。資料(堀川ら, 1970)によれば、水深20 m付近では海底の侵食量は少なく、過去100年の海岸線後退量が70 mであることを考慮すると、20 m×70 mの楔形の面積が海底での侵食量と考えられる。したがって、この100年間では、沿岸方向1 mで失われた砂量は、

$$1 \text{ m} \times 70 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 1/2 = 700 \text{ m}^3$$

である。一方、この間の砂浜消失面積は、

$$1 \text{ m} \times 70 \text{ m} = 70 \text{ m}^2$$

である。この時、換算値vは、約10 m³/m²となる。

プロジェクトにより影響を受ける全砂量(V_i)は、

$$V_i = (A_e + A_w) \times v + V_0$$

で与えられる。サンドミティゲーションプログラムでは、申請者には、上記の砂量供給のための費用を基金に支拂うことを許可証発行の条件として課すことになる。費用は、必要な全砂量(V_i)を基に、その材料費・運搬費・敷設費から算出される。

4. カリフォルニア州での実施例

このサンドミティゲーションプログラムは、サンディエゴ郡北部に位置するエンシニタス市の崖侵食を防ぐための海岸保護工に対して初めて適用された。この地域は公有の崖と砂浜が続き、崖の上には多くの住居がある。この崖は、今まで階段や護岸などの海岸保護工の人為的な工作物による変革は受けておらず、海岸線への保護工

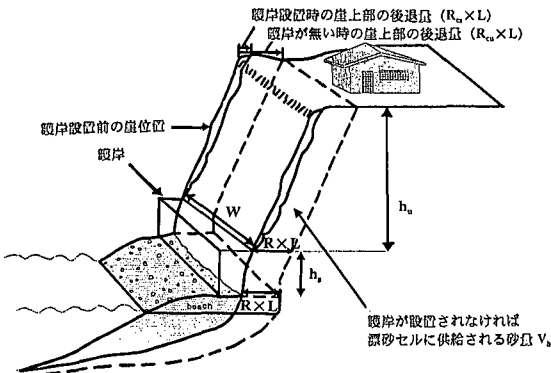


図-1 V₀の定義

の設置は、大量の土砂の崩落を防止しようと意図されたものであり、崖下の侵食という自然過程を停止すると考えられた。この地域の住居の幾つかは、崖上部の崩落を経験しており、保護工への要望と申請許可の迅速化が求められていた。

このような状況の下、委員会は以下に示すようなさまざまな理由により、サンドミティゲーションプログラムの適用が適切であると判断した。

- (1) 提案されている海岸保護工は一般市民によって利用されている砂浜に設置されること。
- (2) 海岸保護工は、危機的な状態にある民間の財産を侵食から保護するために必要であること。
- (3) 海岸保護工は、州の海岸に悪影響を与えること。
- (4) 影響を緩和するような代替設計案がないこと。
- (5) 料金徴収によるミティゲーションは広範囲で連携した養浜が可能で、公有砂浜への長期的な影響を相殺すること。

最初のサンドミティゲーションプログラム適用にあたっては、陸軍工兵隊とサンディエゴ市町村協会(SAN-DAG: the San Diego Association of Governments)が5年間にわたる海岸線調査を実施した。サンディエゴ市町村協会はサンディエゴ郡で活動している地域の政府組織で、地域のほとんどの自治体が参加している。侵食が続く砂浜に関連した郡の懸念は、協会によって採択された海岸線保存戦略の中で言及されており、協会の海岸線侵食委員会がミティゲーション基金の管理とこの基金に

表-1 サンドミティゲーションプログラム申請承認

申請者	住所	費用(\$)	備考
Evleth	312 Neptune	2918	Auerbach プロジェクト
Pierce	370 Neptune	2876	
Rosa	378 Neptune	3004	
Auerbach	396 Neptune	2982	
Frickman	402 Neptune	3004	
Milis	470 Neptune	5406	Richards プロジェクト
Knotts	478 Neptune	3861	
Harlow	492 Neptune	6178	
Oakley	498 Neptune	3089	
Klinck	502 Neptune	3089	
Sbordone	510 Neptune	3089	
Sbordone	518 Neptune	4634	
Richards	522 Neptune	7990	
Favero	452 Neptune	7778	
Hann	386 Neptune	3069	
Coleman	680 Neptune	4051	
Clayton	638 Neptune	4881	
Wood	521 Neptune	5770	
Gozzo/Sowtelle	528-554 Neptune	9968	
Denver/Cantor	164/172 Neptune	10757	
City of Encinitas	N. El Portal	2000	概算費用
City of Encinitas	N. El Portal	10979	概算費用

表-2 Denver/Cantor プロジェクト適用パラメータ値

W	E	v	R	L
24.4 m	0.4 m	7.4 m ³ /m ²	0.06 m/年	25 年
S	h_s	h_u	R_{cu}	R_{cs}
0.75	4.0 m	20.4 m	0.06 m/年	0 m/年

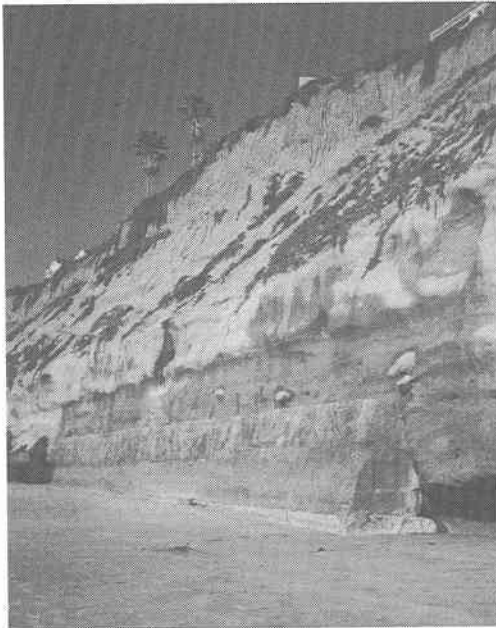


写真-1 Auerbach プロジェクト

よって予算化される養浜プロジェクトの特定を行うことに同意したものである。

このようにして、1993年にRichardsプロジェクトが、1994年にAuerbachプロジェクトが、それぞれ承認された。いずれも、砂浜と崖は公有地であり、崖上の数軒の居住構造物を保護することを目的として、約2.7mの高さのコンクリート護岸を建設したものである。写真-1は、Auerbachプロジェクトで建設途中の護岸である。その後、表-1に示すプロジェクトに対して、ミティゲーション費を支払うことを条件として、護岸建設が認められた。費用計算の例として、Denver/Cantorプロジェクトでのミティゲーション費用概算のためのパラメータを表-2に示す。これらのパラメータ値を用いて影響土砂

量は、約 1345 m³と計算された。この土砂量に、1 m³当りの費用 8 ドルを乗じて、このプロジェクトによるミティゲーション費用は 10757 ドルと決定された。

表-1 に示すミティゲーション費用のうち、約 96000 ドルが既に SANDAG 基金に支払われている。その一部は、市内の人気の高い砂浜である Moonlight Beach の砂補給のために用いられたが、現時点まで、ほとんど未使用のまま基金に残っている。

5. 屏風ヶ浦での試算

千葉県屏風ヶ浦は、延長約 9 km の侵食の激しい崖海岸であり、鎌倉時代には 2~6 km 先に海岸汀線があったとされている。侵食された土砂は、南側に位置する九十九里浜に供給されていると考えられている。この崖崩壊を防止するため昭和 37 年頃からブロック積みによる消波堤設置が実施されている(千葉県土木部, 1989)。屏風ヶ浦の消波堤設置は、広範囲にわたり、国民財産である国土を守ることであり、カリフォルニア州とは背景が異なるため、十分な合意形成なしに、このミティゲーションプログラムを適用することは不適切と思われるが、このプログラム適用のプロセスを具体的に示すことのみを重点を置くこととし、このプログラムを屏風ヶ浦に適用してみた。なお、この試行は正確な砂量を算出することよりは、プログラムの適用に重点を置いたもので、簡略化した推定値である。

資料や研究結果(千葉県土木部, 1989; 堀川ら, 1969; 堀川ら, 1970)によれば、消波堤は昭和 63 年までに約 3 km にわたって設置されることになった。この消波堤は、異形ブロックを乱積みした形式で、天端幅 5 m 下端幅約 22 m の台形で、汀線付近に設置されている。消波堤設置前の崖の年間侵食速度は 20 年の平均で約 0.8 m、崖の平均高さは約 43 m である。これらの数字を基に、このプログラムにより消波堤設置による砂損失量の推定を試みる。まず、構造物が設置されたことによる砂浜の消失面積 A_e は、屏風ヶ浦前面の砂浜を汀線付近も含めて潜在的アクセス可能な公的空間と仮定して、そのままこのプログラムを適用すると、

$$A_e = 22 \times 3000 = 66000 \text{ m}^2$$

である。一方、長期の侵食により失われる砂浜面積 A_w は、消波堤が汀線付近に設置されているため、砂浜幅は減少しないと仮定し、零とする。

$$A_w = 0 \text{ m}^2$$

保護工によって崖から砂浜への供給を妨げられている砂量 V_0 は、崖プロファイルの計測(堀川ら, 1969)から

$$V_0 = 41800 \text{ m}^3/\text{km}/\text{year} \times 3 \text{ km} \times 50 \text{ year} \\ = 6270000 \text{ m}^3$$

となる。ただし、消波堤の設置期間を 50 年とし、全ての供給土砂は砂浜の重要な構成材料とした(即ち $S=1$)。砂浜消失面積から等価砂量に変換するパラメータ ν は上記説明のように 10 m³/m²とすると、代償すべき砂量は、

$$V_i = 66000 \times 10 + 6270000 = 6930000 \text{ m}^3$$

となる。

6. ま と め

海岸地域での開発行為に伴ない発生する不可避な砂浜や砂移動への影響緩和の対策例として、今後、日本での最適な対策法を考案する場合の参考となることを目標として、サンドミティゲーションプログラムを紹介した。

- (1) カリフォルニア海岸委員会では、海岸域に存在する民有財産の確保と海浜保護の両立を目指したサンドミティゲーションプログラムを開発した。このプログラムは影響を貨幣価値で定量化するもので、開発許可の承認条件として課すことにより砂浜への影響を緩和する。
- (2) このプログラムにより評価された影響緩和費用が、開発者から徴収され基金にプールされ、地域での砂の移動や収支及び他地域への影響を考慮した総合的な養浜プロジェクトに融資される。
- (3) 影響を受ける砂量の定量評価は、対策工の寿命など提案対策工に特有の情報・崖の幅や高さ・保護工申請時に用いられた予想侵食量など、プロジェクト地域に特有の情報をを用いて比較的簡単に行われる。
- (4) 砂浜の減少に危機感を抱く地方自治体に受け入れられている。現在まで、10 件以上の比較的小規模な侵食対策工に対して適用されている。

参 考 文 献

- 千葉県土木部 (1989): 千葉の海岸, 45 p.
- 堀川清司・砂村継夫 (1969): 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について, 第 16 回海岸工学講演会論文集, pp. 137-145.
- 堀川清司・砂村継夫 (1970): 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について (2), 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 289-296.
- Ewing, L. and S. Sarb (1998): California's Program for Mitigating Sand Supply Impacts from Seawalls, Symposium on Emerging Trends in Beach Erosion and Sand Rights Law, Captiva Island, FL.
- National Research Council (1995): National Research Council Book, Beach Nourishment and Protection, Marine Board, Committee on Engineering and Technical Systems, National Academy Press, Washington, D.C., p. 169.