

2006年”0”号座礁事故における海岸の重油汚染の特徴と経過

CHARACTERISTICS OF HEAVY OIL POLLUTION ON THE MATSUMAE COAST CAUSED BY VESSEL ACCIDENT IN 2006

大塚夏彦¹・佐々木邦昭²・石川 清³

Natsuhiko OTSUKA, Kuniaki SASAKI and Kiyoshi ISHIKAWA

¹正会員 工博 北日本港湾コンサルタント株式会社 (〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11-18)

²正会員 Oil Spill Combating 代表 (札幌市豊平区3条4丁目)

³正会員 工修 北海道漁業環境保全対策本部 (〒060-0003 札幌市中央区北3条西7丁目)

In the winter of 2006, Panaman cargo ship “Outsailing” had run aground on the Southwestern Coast of the Hokkaido Island and heavy fuel oil had spilled into seawater. The spilled oil had spread along the coast and polluted the shoreline which was consisted of pebbles and granules. This paper aims to describe the characteristics of oil pollution in the coast and transition of oil contaminated sediments on this accident.

Key Words : Oil spill, Heavy oil, Oil pollution

1. はじめに

平成 18 年 12 月 6 日, パナマ籍貨物船 Outsailing5 (1,972 トン) が北海道松前郡松前町茂草海岸の浅瀬に乗揚げ, 船体浸水するとともに燃料油流出が発生した。流出した油は, 12/6~12/10 にかけて海上に浮流するとともに, 乗揚げ地点近傍の海岸に約 700m に渡って漂着した。本研究は, この 0 号事故における重油による海岸汚染の特徴, 汚染した重油が逸散して海岸がもとの状態に向かって回復していく過程を確認するとともに, 流出油による海岸の汚染特性について検討することを目的として実施したものである。

2. 海上油流出事故の概要

(1) 事故の概要¹⁾

平成18年12月6日正午前頃, パナマ籍貨物船 Outsailing5 (1,972トン) が松前郡松前町茂草漁港の北側海域の浅瀬 (北緯41度30分, 東経140度01分) に乗揚げ, 船体浸水し, 船尾付近からの油流出が確認された (図-1)。同日夕刻の時点では, 左舷燃料タンク付近から油が流出し, 一部が海岸に漂着していることが確認された。

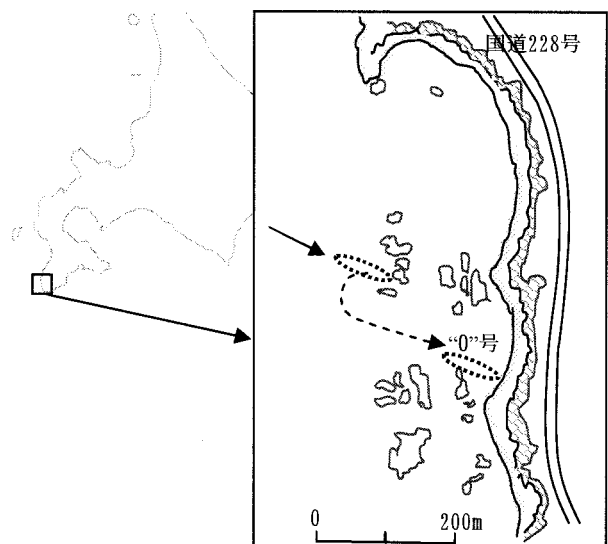


図-1 事故発生地点

油の流出状況は, 12/6~12/10にかけて海上浮流油が確認されるとともに, 0号の漂着地点の北側約450m, 南側約200mの海岸に燃料重油の漂着が発生した。この間, ”0”号は波浪によってさらに海岸方向に漂流, 海浜に乗揚げた (図-2)。漂着油は事故後の時化によって汀線から10~15m程度陸側の範囲にまで到達すると同時に, 円礫主体の底質に付着, 汚

染範囲は波浪によって地表ないし地中約0.8mまでの範囲におよんだ。

これに対し、12/8には関係者等約90人が海岸に漂着した油の回収作業を実施、10/用袋800袋（約8トン）を回収した（砂混じり）。また12/9には、高粘度油捕獲材を船尾の油が漏洩している箇所付近に展開した。

船内残存重油の抜き取りは、重油が低温および乳化のために高粘度化していること、および背後地の標高が海岸から約20m高いため、多くの手間と時間を要した。船内残存油の本格的抜き取り作業は12/16より開始され、12/25にほぼ完了した。同時に船体の浸水・損傷状況の調査にて航行に支障がないことが確認され、0号はタグボートにより岩礁帯を離脱、函館港弁天岸壁に曳航された。

この事故のため、12月下旬より始まる予定であった、座礁地点を含む漁場における茂草地区の岩ノリ・フノリ漁は休漁された。また、当該漁場における5月からのウニ・アワビ漁、および稚ウニの採集・出荷も休漁することになった。一方、茂草地区以外の隣接漁場においては、事故発生後、網、海藻・藻・岩ノリ等への油汚染について調査・分析が実施された結果、被害に結びつくような汚染は確認されなかった。また0号漂着海岸では、事故後1週間時点で、継続的に、重油汚染痕のあるコンブ、アマモ、キタムラサキウニ死骸が、少量ではあるが打ち上げられているのが確認された。

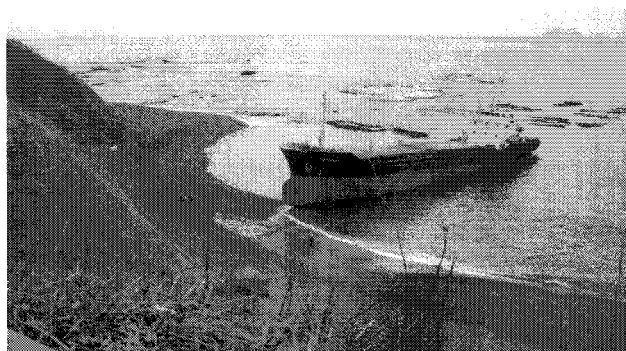


図-2 座礁した“0”号

3. 海岸の汚染状況

(1) 海岸の状況

船体が海岸に乗揚げた地点は、陸側から高さ約15~20mの崖が海岸にせまり、その下に約15~30m程度の幅の浜が西に面して続いている（図-3）。北側と南側に岩礁が発達した間の弧状の海岸となっており、底質は数mm~40mm程度の小円礫が主体で砂分は少ない。水際線のすぐ先（水中）で平坦な岩盤が出現し、岩盤上の堆積層（円礫、粗砂主体）の厚さは、薄いところで0.2m、全体的には1.0m強程度である。高波浪時には、崖のすぐ下まで波浪が遡上し、時化の度に横断地形はかなり変化する。浜の部分におけるESI数値²⁾は5（砂礫混合浜）に相当

すると思われる。すなわち、定常的に波浪が作用し、底質の移動が顕著なために、浜の範囲における付着植物等の密度は低いと評価される。

しかし当該海岸の海中部は岩礁帯であり、付着性植物（岩ノリ、フノリ、コンブ、ワカメ、アマモ）およびフジツボ類、ムラサキイガイ、巻貝類、アワビ、ウニなど、生物層は多様である。実際に当該海域は、前述のように磯根漁業の良好な漁場となっており、流出油による汚染の影響は深刻である。このように、ESI指標は概ね潮間帯より上方の領域に視点を置いたものとなっているため、実際の汚染事故に際して、海岸域の脆弱度・重要度を判断する場合には、海域の利用に関する要素や、汚染の影響を受けやすい浅海域の底質についても考慮することが必要である。

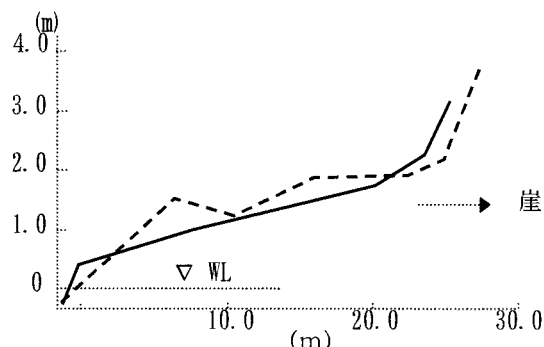


図-3 茂草海岸の地形例

(2) 海岸の汚染状況

事故発生直後の12/7は、船体から海面に燃料用重油（A重油およびC重油）が流れ出し、一部は沖合い方向の海面に漂流、また残りは、船体乗揚げ地点近傍の海岸に沿って漂流した。海岸近傍では、海面がエマルジョン化した油の厚い層に覆われるまでには至らず、高波浪による砕波によって重油と海水が激しく混ざり合い、海水が褐色に変色した状態で海岸に遡上した。海岸の平面図および汚染範囲を図-4に示す。

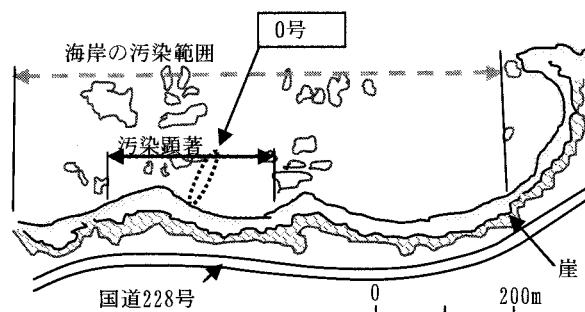


図-4 汚染された海岸の範囲

エマルジョン化した重油と混濁した海水は、遡上と引き波の繰り返しにおいて底質である円礫と混ざり合いながら、海岸にエマルジョン化した重油を残していった。図-5中に示した部分が、海水が褐色に混濁している部分である。海岸の汚染の様子は次のようであった。

- ① 円礫等の底質の粒子個々に付着して一様に底質を汚染（図-6）
- ② パッチ状または塊状になって地表面に残された油塊（図-7）
- ③ 底質の汚染範囲は、水際線から約 15m 程度陸側までの範囲。漂着時の波浪遡上端付近では、地表付近に顕著。地表近傍の層は汚染無くても、地中で汚染層が見られる。
- ④ 汀線近傍海中の岩礁およびムラサキイガイには重油残留物は見られない。



図-5 波によって海岸に打ち上げられる流出油



図-6 流出油の漂着状況 (12/7)

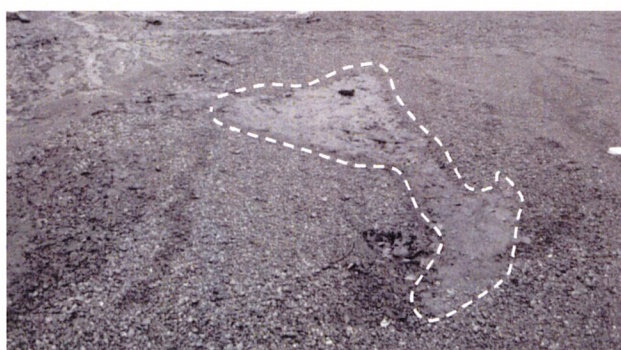


図-7 パッチ状流出油の漂着状況 (12/8)

4. 海浜汚染の特徴

(1) 横断方向の汚染範囲の調査

汚染された海岸の現地踏査より、流出重油による汚染が地中に及んでいることが確認されたため、その汚染範囲を確認する調査を実施した。

a) 調査の内容

事故直後 (12/9), 1 週間後 (12/14) および 4 ヶ月後 (2007. 4. 7) に、主として掘削によって汚染土の範囲に関する調査を実施した。また代表的な部位のサンプルを採取し、油分の含有量についても確認した。それぞれの調査地点および内容を図-8 および表-1 に示す。ここに SP は、北海道函館土木現業所による仮設基準点で、20m 間隔にて崖下に弧状に設置された基線である。SP-0 は乗り上げ地点の北約 320m にあるコンクリート擁壁の南端部、0 号乗揚げ地点は SP-16 付近である。

表-1 横断方向汚染範囲の調査項目

時 期	調 査 内 容
事故直後 2006. 12. 9 ～12. 10	1) 試掘・表層付近のサンプル採取： SP-9～10, SP-21～23 2) トレンチ掘削調査： SP-22.5 にて 1.0m 幅、7.0m 長にオープン掘削、汚染土が無くなるか岩盤が出るまで掘削。最大深 GL-0.7m.
1 週間後 2006. 12. 14 ～12. 15	1) ケーシング掘削： SP-9 にて、横断方向 3 点について、汚染土が無くなるか岩盤が出るまで掘削。最大深 GL-0.7m. 2) 試掘・サンプル採取 SP-14.5, SP-22.5
4 ヶ月後 2007. 4. 7	ケーシング掘削 SP-22 1 点, SP-12 横断方向 3 点について、汚染土が無くなるか岩盤が出るまで掘削。最大深 GL-1.0m.

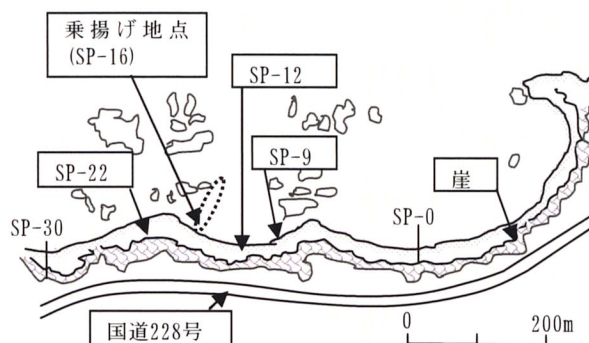


図-8 横断方向汚染範囲調査位置

ケーシング掘削では、内径 200mm、長さ 1,000mm の塩ビパイプをケーシングとして、内部を掘削しながら地中に圧入し、深度別に土壌の汚染度合を確認、適時サンプルを採取した。

b) 事故直後の調査結果

事故直後に実施された防除作業によって、地表に見られた油の塊やパッチ等は除去された。しかし

地表近傍の円礫質の底質がエマルジョン化した重油に汚染されており、流出油による汚染は、0 号乗揚げ地点を中心に、特に SP9～SP24 付近の間で顕著となっている。

乗揚げ地点より北側の範囲 (SP-9～SP14 付近) では、汀線から円礫によるバームが特に発達し、全体的に地表も円礫が卓越する。表層近傍の汚染は、汀線から数 m 陸側から始まり、陸側に数 m の幅で帯状に分布していた。この範囲では、地表に汚染された円礫が露出するか、汚染されていない円礫層が薄く堆積した下に、汚染層が容易に見つかる状態であった。汚染土の状態を図-9 に示す。

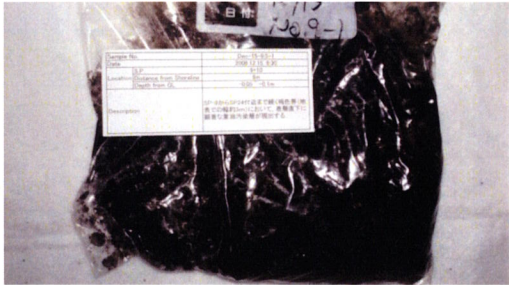


図-9 汚染された円礫サンプル (SP-10)

一方、乗揚げ地点近傍の SP-14 付近から南側の SP23 付近までの範囲の地表では、汀線より数 m の範囲が円礫主体、続いて 10m 程度の幅で粗砂が堆積し、その陸側では再び円礫が主体となる。地表を乱さない状態では、この中間の粗砂の地表面上には薄い帯状の褐色痕があり、油で混濁した海水が遡上したことをうかがわせる。油汚染は、概ねこの中間の粗砂帯の下の円礫層に認められ、粗砂層の厚さは 0.1m～0.2m 程度であった。

SP-22 付近では、汀線付近にて円礫の堆積層が消えて平坦な岩盤が露出しており、円礫層の縁端面は油に汚染された状態であった。この側線位置にてトレンチ掘削を実施した結果を図-10、図-11 に示す。汚染土層は地表から 0.1～0.2m の位置から現れ、その厚さは 0.1～0.2m 程度、その下では汚染度合いが低下した。汚染土層はこの汀線近傍から、陸側に約 16m までの範囲にわたり、地表の勾配に沿って地中に傾斜して連続していた。

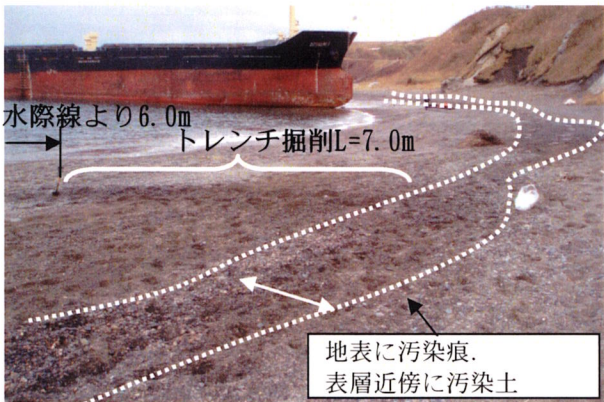


図-10 トレンチ掘削地点 (SP-22.5)

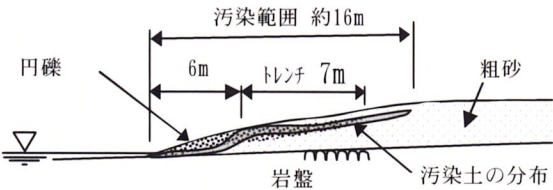


図-11 汚染土の分布範囲模式図 (SP-22.5)

c) 事故 1 週間後の調査結果

事故発生 1 週間後の再調査では、事故直後の調査以来大きな時化がなく、海浜の地形状態にも大きな変化は認められなかった。特に乗揚げ地点近傍から南側の SP14～SP30 の状況は、事故直後の調査時と同様であった。これより、未調査であった乗揚げ地点北側の汚染状態を確認する目的で、SP-9 において、横断方向の汚染土分布をケーシング掘削にて確認した。確認した結果を図-12、表-2 に示す。

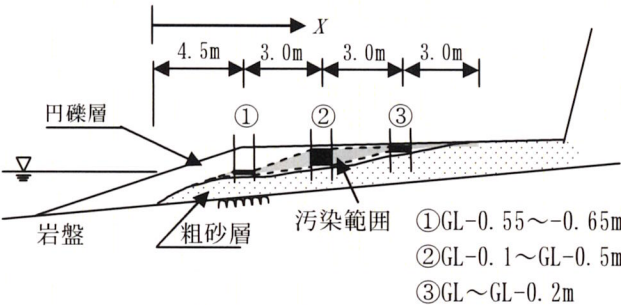


図-12 横断方向の汚染土分布 (SP-9)

表-2 横断方向の汚染土分布 (SP-9)		
X (m)	底質構成	汚染土
4.5	地表から 0.5m まで円礫主体、砂分は極少量。地中 0.65m 付近より粗砂混じりとなる。	GL-0.55m～-0.65m に現出し、上方で汚染度が高く、-0.65m では汚染度はかなり低下する。
7.5	地表から約 0.6m 範囲は円礫主体で、砂分は極少量。地中 0.6m 付近より粗砂主体となる。	表層から 0.1m 程度下方より汚染された円礫層が出現。GL-0.5m 付近まで汚染円礫層が分布し、GL-0.5m 付近から下は汚染度低下。
10.5	地表から約 0.4m 範囲は円礫主体で、砂分は極少量。地中 0.4m 付近以下で粗砂の割合が増大。	表層付近から 0.2m 程度下方までの範囲に汚染された玉砂利層が出現。GL-0.3m 付近より下方では汚染度低下。
13.5		上記 10.5m 地点から連続して、表層付近から約 0.2m の厚さで汚染円礫層が見られる。

d) 事故 4 ヶ月後の調査結果

外見上は、油汚染の痕跡は極めてわずかであり、海岸の踏査では（汚染範囲全域延長約 0.8km）、重油ボール状の塊 1 個、固結した重油の塊が気温上昇で融けだしたような状況を呈する小さな 2～3cm 大の油塊 4 個（SP-26, 22, 10, 6 付近）、重油と思われる油に汚染されたロープ塊 2 個（SP-25, 8 付近）を発見、回収した（図-13）。ただし、0 号からの流出物である客観的証拠はない。また、油汚染が直接的な原因と思われる生物の死骸は発見されなかった。



図-13 油塊（SP-5 付近）

事故 1 週間後調査の後、数回の大きな時化が発生しており、海岸（浜）の地形は顕著に変化した場所が多く、所によっては 12 月調査よりも 1m 以上高くなっているために、地中の調査を断念した部分がある。特に乗揚げ地点よりも南側で、堆積傾向が顕著であった。このため SP-22 では、水際線から大きなバームをこえて谷になった部分（水際線から 8.5m 地点）のみ、ケーシング掘削を行なった。

また、乗揚げ地点の北側では、SP-12 にてケーシング掘削を行なった。結果を表-3 に示す。この近傍は、事故直後時点においては SP-22 と同様に、水際線から数 m 陸側から数 m の幅で带状に、地表付近の底質が汚染されていたところである。

表-3 横断方向の汚染土分布（事故 4 ヶ月後）

SP	X (m)	底質構成	汚染土
12	4.5	地表から 0.55m で岩盤露出。円礫主体で、深くなるにしたがって粗砂を含む。	なし
	9.5	地表から約 0.4m で岩盤露出。地表付近は粗砂主体、その下は粗砂混じりで小さな円礫主体。礫径は 4.5m 地点よりも小さくなる。	なし
	10.5	地表から約 0.25m で岩盤露出。粗砂主体で、小円礫が混じる。	なし
22	8.5	0.1m 厚の円礫と粗砂の互層が続く。GL-0.5m 以下は粗砂混じりの円礫層となり、GL-1.0m で海水位となる。	左記範囲で汚染なし

以上のように事故から 4 ヶ月後においては、地表、地中部を通じて流出油による汚染土は発見されなかった。

(2) 汚染土中の重油分量の推定実験

a) 実験方法

サンプルバッグより取り出した重油汚染土サンプル（①）を、40～60℃の温水中に置いて油分を分離、油分は油吸着マット（タフネルを使用）にて吸着し、脱油後のサンプルを表面乾燥状態まで乾燥させ、重量を計量した。サンプルバッグに付着した砂分は、湯水にて洗浄し、油分ごと①のサンプルに加えた。またバッグに残った油分は、空のバッグ重量から差し引いて算出した。タフネルに吸着した油量は、水分をよくふき取って吸着前後のタフネル重量を計量して算出した。

以上をもとに、表面乾燥状態における土粒子重量に対する油分の重量比を推定した。これは、試料土は湿潤状態にあったものの、油汚染しているために含水比を同定することが困難であったことによる。汚染油分の重量比は次式で算出した。

$$\begin{aligned} \text{含有油重量} &= [\text{吸着前後のタフネル重量差}] + \\ &\quad + [\text{サンプルバッグ残留油分重量}] \\ \text{油重量比 (\%)} &= [\text{含有油重量}] / [\text{洗浄後のサンプル土重量 (表面乾燥状態)}] \times 100 \end{aligned}$$

b) 実験結果

温水による油分の分離結果を表-4、図-14に示す。顕著に汚染されている試料においては、油分含有量は 3～6%であった。なお、油分分離が可能であったのは、底質に細粒分がわずかししか含まれず、円礫が主体であったことによると考えられる。

表-4 表乾重量に対する汚染重油の重量比含有率

採取日	SP	汀線からの距離 X (m)	地表からの深度	油分 (%)	備考
12/9	21	10.0	0.15	2.6	
12/10	23	11.0	0.30	3.8~6.0	
12/15		9.5	0.10	2.5	
12/15	9	4.5	0.55	1.5	GL-0.5m 以下に汚染層
			0.65	少量	
		7.5	0.20	1.8	GL-0.1~ -0.5m に分布
			0.40	3.7	
			0.60	ほぼ 0	
		10.5	0.10	1.6	地表近傍に分布
			0.30	少量	
12/15	22.5	2.0	0.25	3.0	GL-0.05 以下岩盤までの 0.25m 厚に分布

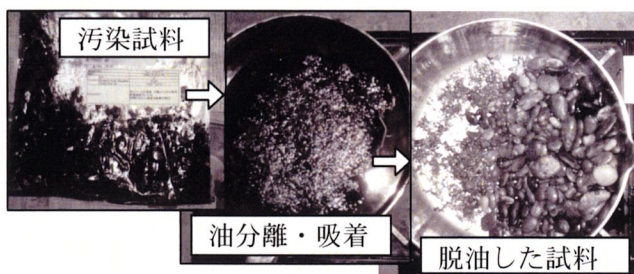


図-14 重油分離前後の汚染土の様子

(3) 海浜部底質の汚染プロセスの考察

- ① 流出事故時は高波浪状態で、汀線は後退するとともに、油は遡上する波浪に運ばれて、静穏時の汀線よりも10～15m程度陸側の範囲にまで到達していた(図-15・16)。ここで、油の混ざった海水の遡上、遡上した海水の底質中への浸透と沖側への流下、海水移動による底質の移動によって、底質は傾斜した層状に汚染された。
- ② その後、海上が静穏となり、汀線は前進、油に汚染された層の上にも新たに堆積が生じることにより、図-15のように、汚染層は地表ないし地中約0.7mまでの範囲に傾斜して分布するに至ったと考えられる。(事故1週間後程度までの時点)
- ③ さらにその後、複数回の時化によって油汚染層まで達する底質の移動が繰り返され、その都度汚染土は海水に激しく洗われたものと考えられる。これによって底質に付着していた流出油は再び海中に放出され、分散したと考えられる。こうして、4ヵ月後には、ほとんどの漂着油が逸散し、現地海岸では汚染土はほぼ消失した。

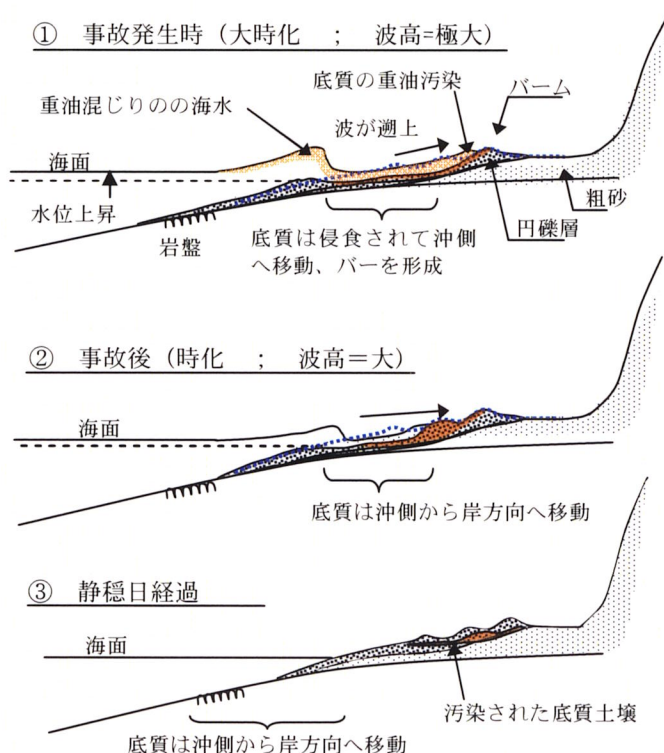


図-15 海岸汚染の進行過程

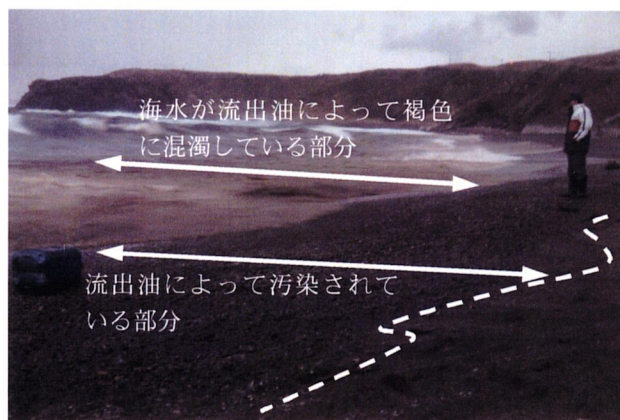


図-16 汚濁した海水が遡上する様子

5. まとめ

松前町沖で発生した重油流出事故によって、円礫質の海岸が汚染された災害に際し、海岸汚染の特徴と汚染後の経過について調査を行った。調査と検討の結果を以下に記す。

- 1) 海岸の汚染は地中にも及んだ。地中の汚染範囲は陸から汀線方向に傾斜した層状を呈し、その最深部はGL-0.7m程度、海水面より少し上方程度であった。この層の形成について、波浪の大きさと作用過程、および底質の移動プロセスに注目して検討した。
- 2) 汚染された底質について、温水による分離試験を実施した。現地で視認された代表的な汚染度合のサンプルにおいて、重油分の含有量は重量比で約1.5～6%程度であった。
- 3) 汚染発生から4ヵ月後の海岸の調査では、汚染土砂は発見されなかった。これは、その後の複数回の時化によって汚染土が再び海水と接触、かき混ぜられ、油が海中に再放出されたためと考えられる。これと同様の挙動が、マリタイムガーデニア号事故でも認められており、外洋に面する礫海岸の特徴といえる。
- 4) 温水によって油分が容易に分離できたこと、および実際の海岸を汚染していた油分が比較的早期に逸散したことの理由として、底質が円形で移動しやすいこと、表面が滑らかで付着油が乖離しやすいこと、砂以下の細かな粒子がわずかであったこと、があげられる。
- 4) 本事例より、礫質の海岸における油汚染では、岸側から多量の海水を流すことによって底質を洗浄し、水際線で吸着材にて回収する方策で効果を期待できる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 海上保安庁 第一管区海上保安本部, <http://www5.kaiho.mlit.go.jp/>, (accessed 28 Jan. 2006.)
- 2) 海上保安庁 海洋情報部, http://www5.kaiho.mlit.go.jp/esi_setumei/ESILANK.htm, (accessed 28 Jan. 2006.)