

土木研究所資料

漂着油の影響および回収 技術に関する調査

平成13年 3 月

国土交通省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright © (2001) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

漂着油の影響および回収 技術に関する調査

海岸研究室 研 究 員 加 藤 史 訓
室 長 鳥 居 謙 一

要 旨

1997年1月のナホトカ号油流出事故による日本海沿岸での重油漂着の過程を整理するとともに、重油が漂着した福井県三国町で海岸環境への影響に関する調査を行った。また、海岸利用から見た漂着油の回収目標を室内実験により検討した。さらに、米国における漂着油対策技術を整理するとともに、効率的な漂着油回収技術を室内実験により検討した。

キーワード：油流出事故、重油漂着、海岸環境、海岸利用、漂着油対策

目次

1. はじめに	1
2. ナホトカ号油流出事故の概要	
2. 1 事故の概要	2
2. 2 三国町での重油漂着	2
2. 3 海岸に漂着した重油の様子	3
3. 海岸環境に関する影響調査	
3. 1 概要	8
3. 2 水質調査	8
3. 3 底質調査	8
3. 4 砂浜海岸における生物調査	10
3. 5 岩礁・礫浜における生物調査	10
3. 6 まとめ	11
4. 海岸利用に関する影響調査	
4. 1 概要	17
4. 2 海水浴場の印象に関するヒアリング調査	17
4. 3 漂着油の認識に関する室内実験	17
4. 4 まとめ	19
5. 漂着油の回収技術	
5. 1 概要	22
5. 2 米国における漂着油対策技術	22
5. 3 回収技術の整理	31
5. 4 ミキサーによる礫の洗浄実験	33
5. 5 液状化による砂浜油分の除去実験	34
5. 6 高温時の油の挙動実験	34
5. 7 まとめ	35
6. おわりに	44
付録1 影響調査の確認種一覧	45
付録2 現地踏査写真集	53

1. はじめに

1997年1月にロシア船籍タンカー「ナホトカ」号から流出した重油は日本海沿岸の広範囲に打ち上がり、海岸域での利用や環境に大きな影響を与えた。重油が漂着した海岸では関係機関、地元住民、ボランティア等により精力的に回収作業が行われたが、冬季風浪による高波浪と低温という厳しい作業条件のため犠牲者を出すほどの難業となった。油流出事故は毎年相当数起こっており、今後も海岸に油が漂着するような事故が発生することが予想される。海岸域は豊かな生態系を育む空間であるとともに海水浴等の海岸利用の場であり、危機管理として効率的かつすばやい漂着油回収が社会的に求められている。

土木研究所海岸研究室では、重油漂着直後から現地調査を継続的に実施するとともに、漂着油の回収技術に関して研究を行ってきた。本稿はその成果をとりまとめたものである。

2. ナホトカ号油流出事故の概要

2. 1 事故の概要

19,000kℓのC重油を積んで上海からカムチャッカ半島のペトロパブロフスクに向けて航行していたロシア船籍タンカー「ナホトカ」号は、1997年1月2日に隠岐島沖で嵐により船体が二つに折れた。その船首は日本海を漂流し、それ以外の部分は水深2,500mの海底に沈んだ。全部で6,240kℓの油がタンカーから流出し、その一部が山形県から島根県に至る日本海沿岸に漂着することになった。

漂流していた船首は、1月7日に福井県三国町の海岸で座礁した。写真-2.1は、座礁した船首と海岸に漂着したスラッジ状の油を示している。三国町では、約2か月間に渡って間欠的に油が海岸に漂着した。初期の時点ではスラッジ状の油が漂着したが、最初の漂着から約1か月経ってからは油粒のみが漂着するようになった。座礁した船首から油が完全に除去されたのは2月25日であるが、それ以降も油粒が海岸に漂着することがあった。

図-2.1は、各沿岸で最初に油が漂着した日と各県で3月28日までに回収された油の総量を示している。石川県の加賀沿岸から鳥取沿岸にかけては、最初に油が漂着した日は1月7～9日である。流出した油は対馬海流と風による流れにより運ばれたため、能登半島以北では加賀沿岸に比べて最初の漂着は遅かった。回収量には油だけでなく砂礫や海水も含まれているため、その総量は38,000kℓと流出した油の総量より多かった。このうち、18,000kℓは福井県で、13,000kℓは石川県で回収された。この中でも、三国町や若狭湾東部、能登外浦の北部で特に回収量が多かった。

2. 2 三国町での重油漂着

三国町では、船首が座礁した1月7日に初めて油塊が漂着した。それ以降、約2か月間にわたって断続的に重油の漂着が続いた。初めはスラッジ状の油塊が海岸に押し寄せたが、最初の漂着から約1か月後以降は少量の油粒が打ち上がる程度になった。漂着した船首から完全に重油が回収されたのは2月25日であったが、その後も油粒が漂着することがあった。

図-2.2は、調査地の北東約40kmに位置する建設省の徳光海象観測所（石川県松任市）の有義波高および風向・風速、三国町の重油漂着日と油回収量を示している。徳光海象観測所には、離岸距離1,500m、水深15mの海底に超音波式波高計が設置されているとともに、陸上の標高約15mに風速計が設置されている。徳光海象観測所では、海象観測を始めた1988年から1996年における最大の有義波高は4.93mであったが、1997年は1月2～3日、6日、21～22日、2月21～22日においてそれを上回り、1月2日7時には有義波高は6.11mに達した。このことから、ナホトカ号の事故から2か月間は例年にない高波浪が越前・加賀沿岸に襲来していたことがわかる。また、1月から2月にかけて有義波高が1m以下となる日が少なく、これが重油防除作業に困難をきたした原因の一つと考えられる。一方、風も10m/sを超えることが多く、とりわけ北西の強風が多かった。

回収作業は漂着直後から行われ、三国町全体で1月20日までに2,170kℓ、3月28日までに2,520kℓの砂礫や海水を含む重油が回収された。浜地海岸では前浜上の油塊を回収した後、砂中の油粒を回収するため、砂を篩にかけたり、前浜の砂を海へ押し出して、徹底的な油回収が行われた。また、丸岡藩砲台跡下では、石油

に浸した布で礫を拭く作業が3月に行われた。

2. 3 海岸に漂着した重油の様子

海岸に漂着した重油の様子は、海岸の底質により異なっていた。共通しているのは、漂着直後を除くと、漂着油は汀線付近には見られず、波の打ち上げ線付近に集中していることである。

砂浜では、漂着した油の上に海浜変形により砂が堆積した結果、地中に油が埋もれる現象が見られた。漂着直後は、写真-2.2のように、油塊は波の打ち上げ線に沿って堆積している。海浜変形が活発な砂浜では、その上に砂が堆積することにより、写真-2.3のように地中に油層が見られる。

礫浜では、写真-2.4のように、漂着した重油は礫間の隙間に入り込む現象が見られた。後述するように、礫が無くなり砂層となる深さまで重油は入り込んでいた。また、砂浜と比べて海底勾配が急なため、重油の打ち上げ高は砂浜より高くなる傾向が認められた。

岩礁では、漂着した重油は岩の隙間や窪みに入り込んでいた。重油の打ち上げ高は礫浜よりさらに高く、写真-2.5のように飛沫帯にも油は付着していた。

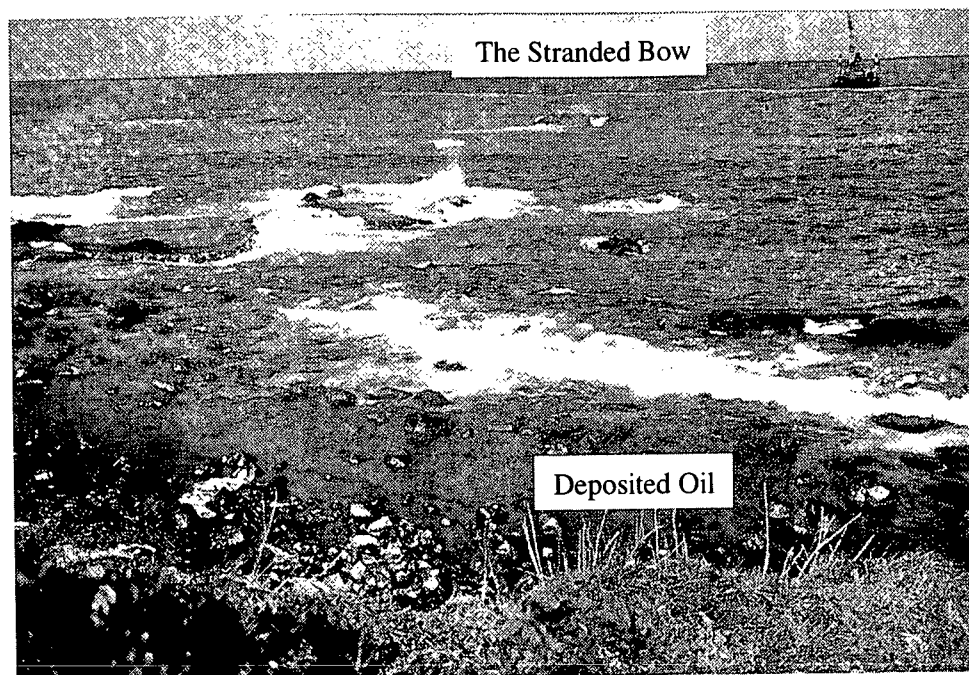


写真 -2.1 船首座礁地点 (1997年1月11日)

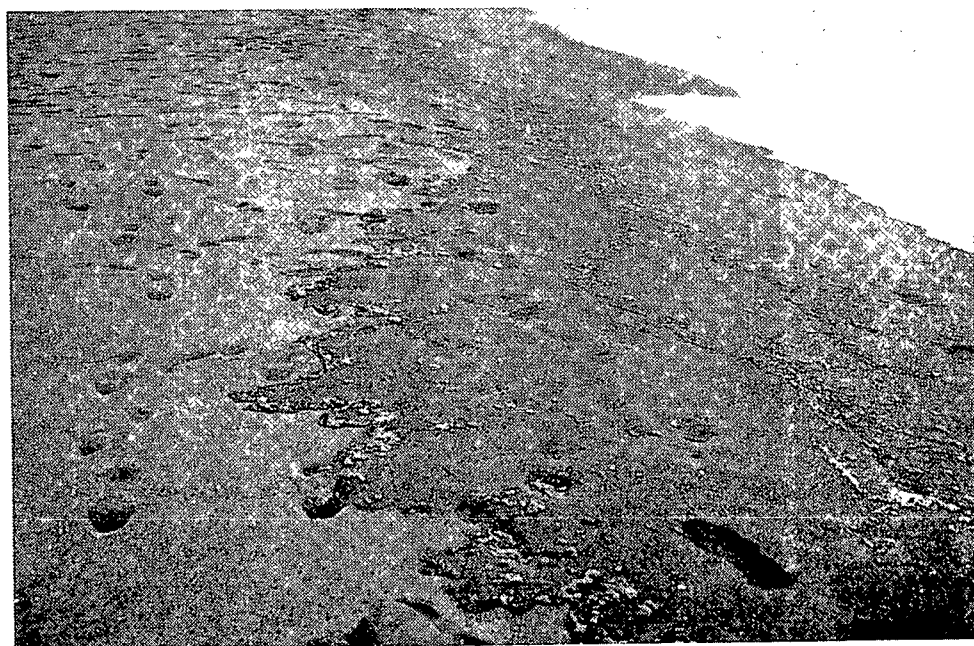


写真 -2.2 砂浜での油の漂着 (三国町サンセットビーチ、1997年1月11日)

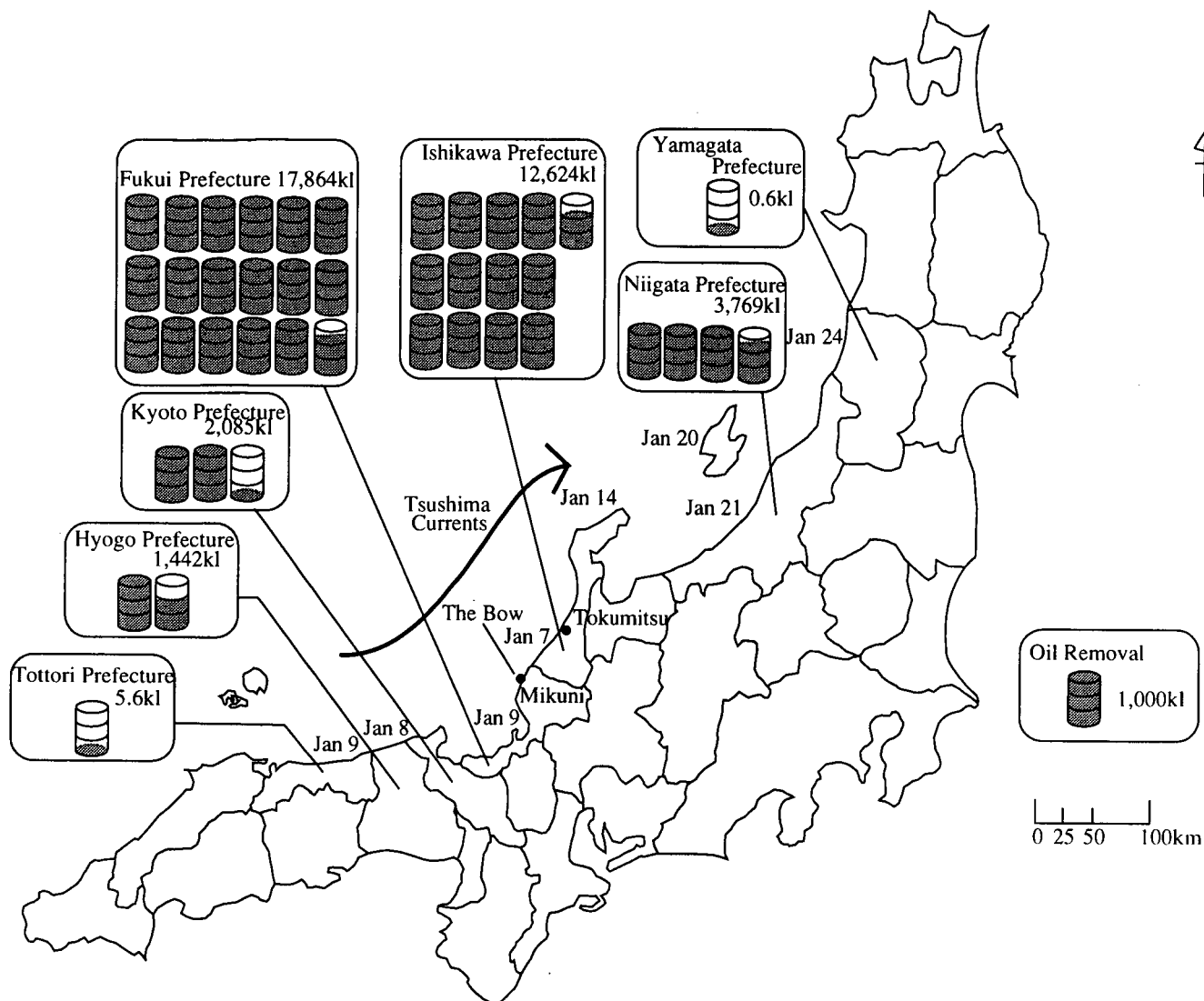


図-2.1 各沿岸の重油漂着日と各県での1997年3月28日までの重油回収量

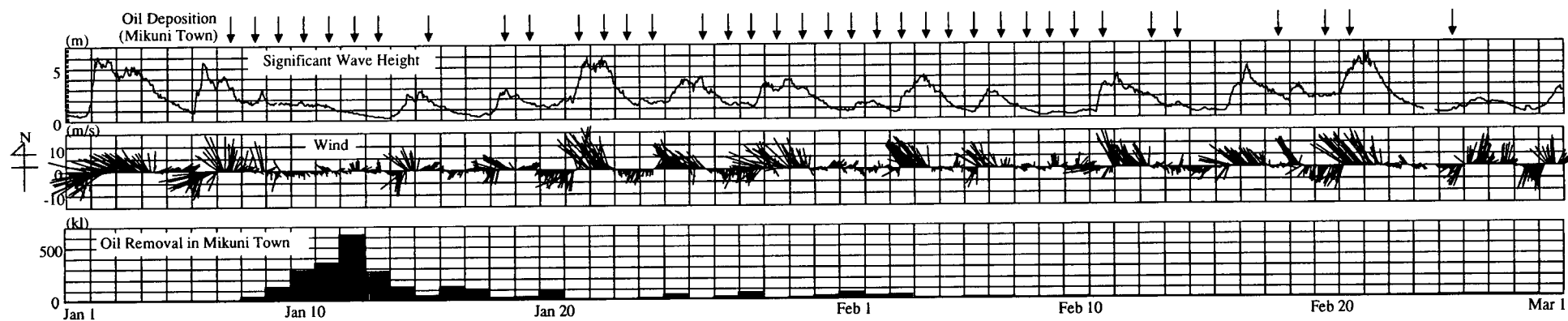


図-2.2 徳光海象観測所の有義波高・風速と三国町の重油漂着日・油回収量

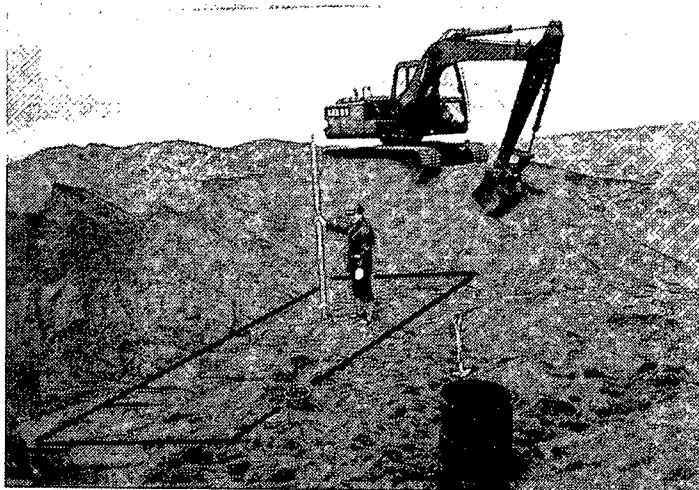


図 -2.3 砂浜地中の油層（浜地海岸，1997 年 2 月 6 日）

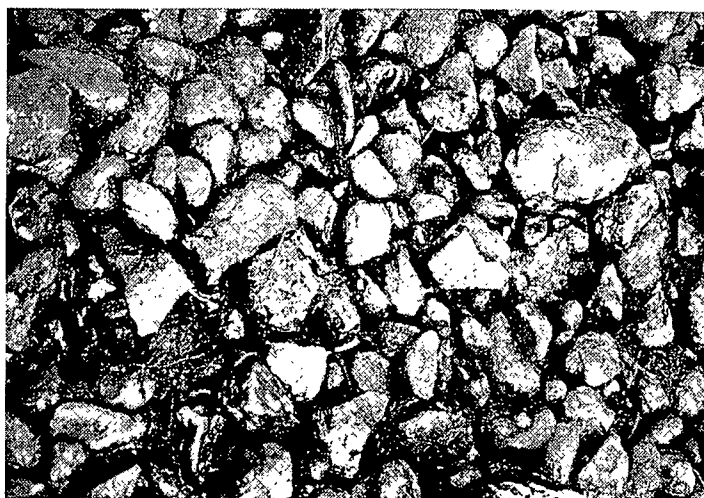


図 -2.4 船首座礁地点近くの礫（1997 年 2 月 6 日）

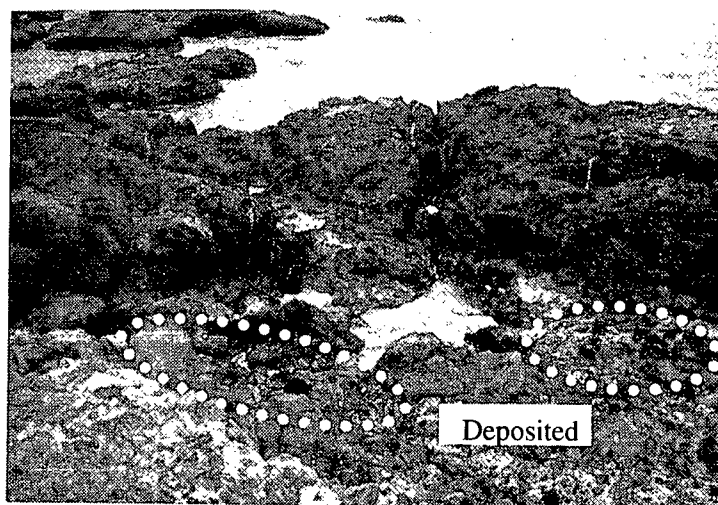


図 -2.5 タイドプール周囲に付着した重油（石川県志賀町、1997 年 2 月 10 日）

3 海岸環境に関する影響調査

3.1 概要

重油が漂着した海岸では、地方自治体や地元住民、ボランティア等により油の回収が行われたが、油の漂着および残留による環境への影響が懸念されていた。そこで、漂着油の回収目標の設定など事故対策検討の基礎資料を得るため、漂着油が海岸域に及ぼす影響に関する調査を行った。

調査地は、ナホトカ号の船首漂着地点に近く、他機関の調査地と重ならない条件で選定した。その結果、図-3.1に示す、船首漂着地点の東側約1.5kmの越前松島の岩礁、東側約2kmの丸岡藩砲台跡下の礫浜、東側約3kmの浜地海岸で調査を行うこととした。浜地海岸は中央粒径が1~2mm程度の砂浜で、図-3.2のように、西よりの約1kmの区間は、砂浜幅約40~60mで、離岸堤が7基設置されており、それより東側の砂浜幅は10~15mである。また、浜地海岸の西端は今津川の河口となっており、その西側は礫浜になっている。

調査項目は水質、底質、砂浜生物、底生生物、付着動物、海藻とした。事故以前のデータがないので、1997年1月から1998年3月にかけて調査を行い、事故後の諸量の経時変化から重油漂着の影響を考察することとした。また、高波浪による海浜変形等により漂着油が海浜中に潜り込んでいることが考えられるので、1997年2月および3月に浜地海岸および隣接する礫浜海岸において底質中の油分の鉛直分布を調べた。

3.2 水質調査

スラッジ状の油塊が大量に漂着した事故直後から時間が経過しても、三国町の沖合では油膜が漂っていた。水質は生物の生息環境の最も基本的な要素であり、その悪化による生物への悪影響が懸念される。そこで、浜地海岸の2測線において、表層および底層の海水中の油分を測定した。離岸堤の影響を調べるため、図-3.2のように、測線1は離岸堤の開口部に、測線2は離岸堤のない区間に設定した。測点は両測線とも汀線より50m沖および150m沖に設定しており、測線1の岸側の測点は離岸堤より陸側に、沖側の測点は離岸堤より沖側に位置する。採水は、原則としてガラス製の試水瓶を直接水に付けて行った。採水量は1ℓとし、分析は四塩化炭素抽出の赤外分光法（JIS K0102-26）で行った。なお、1997年3月までの調査では、DO、pH、透視度、濁度、COD、大腸菌群数の測定も行ったが、全般に有機物が少なく、特異な測定値はなかった。

図-3.3は浜地海岸での水中油分の測定結果である。最大で海水1ℓ当たり1.5mgの油分が検出された。別の調査では1月14日に三国町内の海岸の汀線付近で3.0mg/ℓの水中油分が検出されているが¹⁾、今回の測定結果はそれより低かった。また、1974年に起きた三菱石油水島製油所の重油流出事故発生後20日後に高松市で最大0.5mg/ℓの水中油分が測定されているが²⁾、今回の測定結果はそれと同じオーダーであった。油分は間欠的に検出され、必ずしも時間の経過とともに減少していなかった。これは、波浪などの攪乱により、海岸に残留していた油分が再流出したためと考えられる。たとえば、6月11日の水中油分が高かったのは、海水浴場整備のため浜で重機による敷き均しが行われて、前浜の砂の一部が汀線付近に押し出されたためと考えられる。また、両測線の岸側の油分に顕著な差異はないことから、離岸堤の影響はなかったと考えられる。

3.3 底質調査

既往の事故調査では、砂浜海岸に重油が漂着すると、表層の重油を回収しても地中に重油が残存することが報告されている²⁾。浜地海岸では、海岸に漂着した重油の上に波により砂が2～3m堆積したことが報告されている³⁾。また、漂着した油塊の一部が砂に付着して海底に沈降することも想定される。そこで、陸上部および海底部の底質中の油分の測定を行った。

3. 3. 1 鉛直分布調査

地中における油分の鉛直分布を調べるため、機械による掘削調査を行った。調査地は、浜地海岸と、今津川をはさんで隣接する礫浜である。浜地海岸では1997年2月6～7日に測線1, 2, 3において、今津川河口左岸の礫浜では1997年3月6日に3箇所 (Point 1および3: 汀線から12m陸側, Point 2: 15m陸側) で底質を採取した。

浜地海岸では、図-3.4, 3.5のように、測線1で深さ140cmまではほぼ一様に砂1kg当たり10mg前後の油分が検出される一方、測線2で深さ90cmでスポット的に230mg/kgの油分が検出された。また、測線3でも深さ120～130cmでスポット的に20,000mg/kgという非常に濃い油分が検出された。これらのことから、地中に油分が高い層が散在していたことがわかる。

今津川河口左岸の礫浜では、汀線付近の礫には油の付着は見られなかったが、汀線から7m以上陸側には重油の付着した礫がかなり残っていた。図-3.6のように、底質中の油分は砂浜の浜地海岸に比べ全体的に高かった。油分は、礫が大半を占める深さ50～70cmでは72.7～415mg/kgと高いが、礫混じりの砂層となる深さ90～100cmでは15mg/kg前後に減少し、礫がない砂層となる深さ130～150cmでは検出されなかった。このことから、礫浜に漂着した重油は礫層内に集中して存在していたことがわかる。

3. 3. 2 定点調査

漂着油の残存を経時的に把握するため、浜地海岸の陸上部および海底の底質中の油分を定点で測定した。陸上部では、測線1および2の汀線より20m陸側の30cm四方の枠内において、深さ30cmまでの表層、深さ50cmおよび100cmの底質をシャベルで採取した。海底では、直径80mmのコアチューブで厚さ10cm以上になるように底質を採取した。採取した試料は四塩化炭素抽出の赤外分光法で分析し、砂1kg当たりの油分を算出した。

図-3.7のように、陸上部の表層では第1回調査の際に10mg/kg弱の油分が検出されたが、その後は低減して5月には検出限界以下になった。しかし、翌年の2月には再び油分が検出された。これは、冬季の高波浪による海浜変形のため地中に残留していた油分が海浜上に露出したり、さらにそれが再流出して再び海浜に打ち上がったためと考えられる。一方、地中の底質については、5月に測定限界以下になったものの、7月9日には測線2の深さ100cmで19mg/kg、11月6日には測線1の深さ50cmで41mg/kgの油分が検出されていたが、これは、地中に散在する油分の高い層を検出したものと考えられる。

海底では、図-3.8のように1997年2月25日に測線1, 2とも14～26mg/kgの油分が検出されているものの、他の時期には油分はほとんど検出されなかった。海底には砂漣が発達し、その間に海藻片などが溜まっていたが、1997年2月25日に直径1cm程度の油塊が1個発見された以外には油塊や油が付着した砂礫は全く発見されなかった。これらのことから、漂着した重油がそのまま沈降して堆積することはなかったと考えられる。

3. 4 砂浜海岸における生物調査

既往の事故調査では、油の漂着により砂浜に生息する生物に影響が出たとの報告がある^{2) 4)}。そこで、今回の事故の砂浜生物への影響を把握するため、砂浜生物と底生生物に関する現地調査を浜地海岸で実施した。

3. 4. 1 砂浜生物

測線1および2の汀線から陸側20mにおいて、30cm四方の枠内の深さ30cmまでの砂をシャベルで採取し、その砂中に存在する砂浜生物の同定計数を行った。

表-3.1、図-3.9、3.10のように、砂浜生物は1997年2月まではほとんどいなかったが、夏から秋にかけて多く、翌年の3月は少なかった。冬季に少なかった原因として、冬季風浪による海浜変形が激しいため砂浜生物の生息に適していないことが考えられる。砂浜生物の種類数や個体数は、このように季節や海象条件に大きく影響されると考えられるため、図-3.9、3.10に示した結果のみから重油漂着の影響を特定することは難しい。

3. 4. 2 底生生物

測線1および2の50m沖（onshore）および150m沖（offshore）の海底で、0.05m²の採泥器で2回海底堆積物を採取し、その中に含まれるマクロベントス（1mm目の篩に残る底生生物）の同定計数を行った。

表-3.2、図-3.11、3.12は、底生生物の種類数および個体数をプロットしたものである。浜地海岸では、底生生物は1997年2月6日はほとんどいなかったが、春から秋にかけて多く、翌年の2月は少なかった。三国町から約40km北東に位置する石川海岸で事故以前に得られたデータでも、砂浜海岸の底生生物は春から秋にかけて多く冬季に少ない変動を示していた。このことから、砂浜生物と同様に、事故直後に底生生物が少なかったのは重油漂着の影響より冬季風浪に伴う海岸環境変化によるところが大きかったと考えられる。

3. 5 岩礁・礫浜における生物調査

3. 5. 1 付着動物

岩礁や礫浜の汀線付近に付着している動物は、漂着した重油の影響を直接受けるので、その影響はかなり大きいと考えられる。そこで、越前松島（岩礁）および丸岡藩砲台跡下（礫浜）にて、汀線付近に設置した30cm辺の方形枠内の付着動物の同定計数と目視観察を行った。

表-3.3、図-3.13、3.14のように、種類数、個体数とも極端な変動は認められない。丸岡藩砲台跡下でのみ事故直後に付着動物が少ないが、転石帯のため冬季風浪による高波浪の影響を受けていた可能性があり、必ずしも重油漂着の影響とは断定できない。

重油漂着直後の目視観察では、汀線付近のアラレタマキビなどに重油の付着が認められたが、活性が低い個体は見られなかった。しかし、活性が低い個体は既に波にさらわれてしまった可能性があり、重油漂着の影響は否定できない。

以上のことから、付着動物は重油漂着直後にその影響を受けた可能性があるが、その後の種類数や個体数の変動は大きな影響を受けなかったと考えられる。

3. 5. 2 海藻

汀線付近に油が漂着した際、付着動物とともに影響を受けやすいのが海藻である。越前松島、丸岡藩砲台跡下とも、海面下にはホンダワラ類による海藻群落が構成されており、汀線付近から飛沫帯にかけてはアマノリ属などが生息している。1997年1月末に現地調査を開始した時点では、海面下の海藻に油の付着が見られなかったものの、油にまみれた海藻が海岸に打ち上がっていたり、岩に付着したノリ類が明らかに油の影響と思われる光沢を帯びていた。そこで、越前松島と丸岡藩砲台跡下において、目視観察とともに、30cm辺の方形枠内で海藻の定量採取を行った。その結果を表-3.4、図-3.15に示す。両地点とも、海藻の種類数は大きく変動しておらず、群落構成にも大きな変化は見られなかった。目視でも重油漂着の痕跡は時間の経過とともに減少し、3月以降の調査時にはほとんど見られなかった。汀線付近でも、ノリ類が季節変化とともに減少すると、海藻に付着した油分もほとんど見られなくなった。

海藻への油分の付着および取込状況を調べるため、海藻に付着している油分と含有されている油分の分析を行った。付着油分は、採集した海藻をガラス瓶の中で数回四塩化炭素で洗った後、四塩化炭素中の油分を測定し、海藻1kgあたりに換算して求めた。含有油分は、付着油分を洗い流した海藻をすりつぶして、再度四塩化炭素で抽出して測定した。比較のため、重油が漂着しなかった富山湾に面する雨晴海岸で1997年3月18日に同様に調査したところ、付着油分は1.9mg/kg、含有油分は64mg/kgであった。

図-3.16のように、越前松島、丸岡藩砲台跡下とも、付着油分は1997年3月18日を除いて雨晴海岸より顕著に高かった。図-3.3のように、この日は浜地海岸の水中油分も検出されていないことから、海水中に油分があると海藻に付着することがわかる。一方、含有油分は雨晴海岸と有意な差はなかった。これらのことから、海藻の表面に油分が付着していても、海藻中の油分が著しく多くなることはないと考えられる。

以上のことから、海水中の油分が海藻の表面に付着することがあったものの、海藻の種類数や個体数の変動に対する重油漂着の影響はなかったと考えられる。

3. 6 まとめ

本研究により得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) 浜地海岸（砂浜）での水中油分は海象や回収作業等の影響で間欠的に検出された。
- (2) 浜地海岸の海浜では地表から深さ140cmでも油分が検出され、油分が多い層が地中に散在していたことがわかった。また、浜地海岸に隣接する礫浜でも、礫が存在する深さ1mまで油分が検出された。
- (3) 浜地海岸の陸上部では、表層の油分は徐々に減少し1997年5月以降ほとんど検出されなかったのに対し、地中の油分はその後も検出された。一方、海底の底質中の油分は冬季に検出されただけであった。
- (4) 浜地海岸の砂浜生物、底生生物の種類数や個体数の変動に重油漂着の影響は認められなかった。
- (5) 岩礁および礫浜の付着動物、海藻についても、種類数や個体数の変動に重油漂着の影響は認められなかった。また、海藻に油分が付着することはあっても、海藻中に含まれる油分は油が漂着しなかった海岸と差異がなかった。

参考文献

- 1) 山口晴幸：ロシアタンカー流出重油日本海沿岸を襲う，土木学会誌，Vol.82-4，pp.28-34，1997。

- 2) 岡市友利, 辰巳修三編著: 瀬戸内海の重油汚染, p.80, 1975.
- 3) 沢野伸浩: 漂砂による漂着重油の埋没とその後の回収・処理作業の課題, 月刊海洋, Vol.29, No.10, pp.618-622, 1997.
- 4) 矢可部芳州, 兵頭秀樹, 楠本謙二, 屋形直明, 竹内伸一: 海洋における流出油の自浄メカニズムの解明, 平成8年度化学品検査協会研究発表会講演要旨集, pp.62-70, 1997.

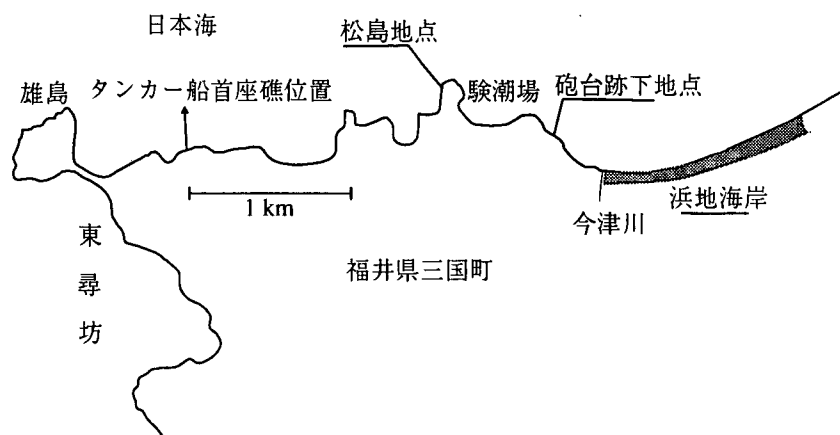


図-3.1 調査地の位置

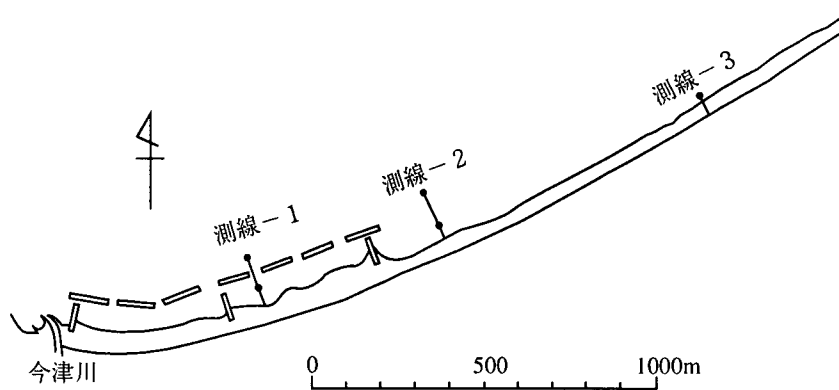


図-3.2 浜地海岸

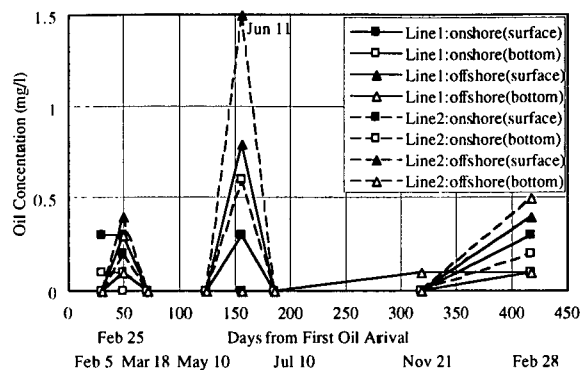


図 -3.3 水中油分

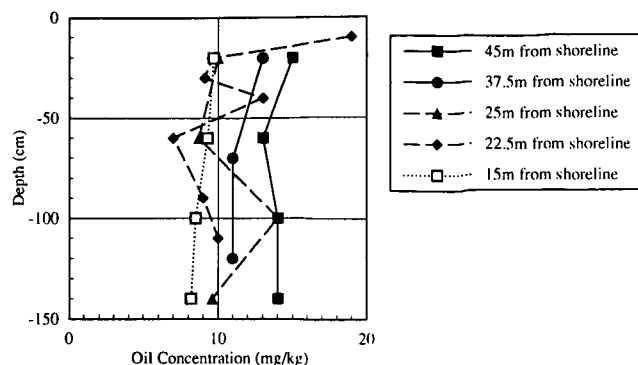


図 -3.4 底質油分の鉛直分布 (測線 1, 砂浜)

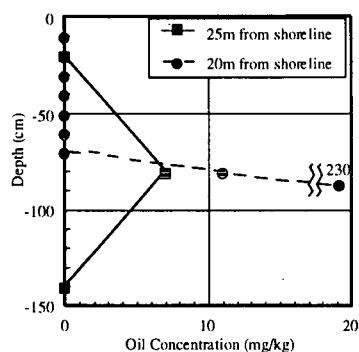


図 -3.5 底質油分の鉛直分布 (測線 2, 砂浜)

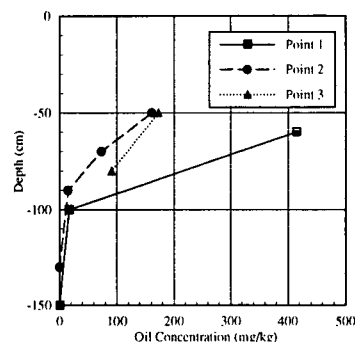


図 -3.6 底質油分の鉛直分布 (磯浜)

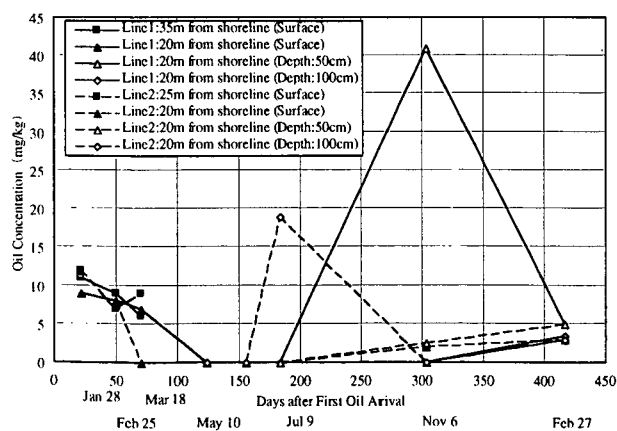


図 -3.7 陸上部の底質油分

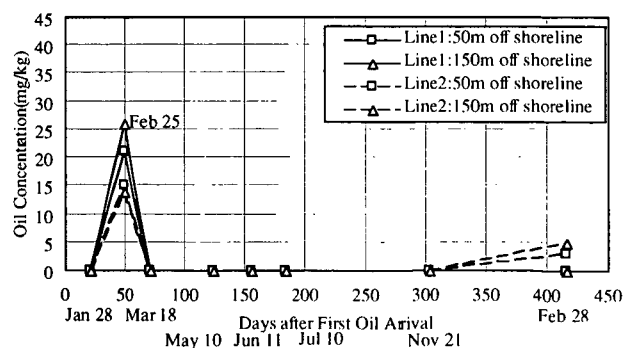


図 -3.8 海域の底質油分

表 -3.1 浜地海岸の砂浜生物

Unit: /0.09m²

Line	Distance from the shoreline	Jan 28		Feb 25		Mar 18		Jun 11		Nov 6		Mar 6	
		Species	Number	Species	Number	Species	Number	Species	Number	Species	Number	Species	Number
1	35m	0	0	1	1	3	49	—	—	—	—	—	—
	20m	0	0	1	1	3	13	5	27	6	421	4	11
2	25m	0	0	0	0	3	5	—	—	—	—	—	—
	20m	0	0	0	0	1	2	6	89	2	11	1	2

表 -3.2 浜地海岸の底生生物

Unit: /0.1m²

Line	Distance off the shoreline	Feb 6		Feb 25		Mar 18		Jun 11		Nov 21		Feb 28	
		Species	Number	Species	Number	Species	Number	Species	Number	Species	Number	Species	Number
1	50m	2	4	4	48	6	48	7	185	8	118	10	72
	150m	0	0	6	124	4	22	6	173	13	29	7	79
2	50m	2	10	5	69	7	50	7	46	13	347	7	212
	150m	2	9	6	34	11	127	9	179	15	167	2	3

表 -3.3 三国町内の海岸の付着動物

Unit: /0.09m²

Point	Item	Jan 28, Feb 5	Feb 25	Mar 18	Jun 11	Dec 6	Feb 5,6
Gravel Coast	Species	22	37	40	64	63	59
	Number	61	101	287	368	346	360
	Weight(g)	3.3	9.6	9.3	56	16.5	10.1
Rocky Coast	Species	61	74	44	61	30	64
	Number	247	299	125	206	242	329
	Weight(g)	27.4	28.6	8.6	40.6	18.7	37.6

表 -3.4 三国町内の海岸の海藻

Unit: /0.09m²

Point	Item	Jan 28, Feb 5	Feb 25	Mar 18	Jun 11	Dec 6	Feb 5,6
Gravel Coast	Species	32	24	36	20	25	25
	Weight(g)	43.51	214.66	133.31	398.36	221	129
Rocky Coast	Species	34	31	29	22	26	27
	Weight(g)	82	92.01	165.09	86	198	568

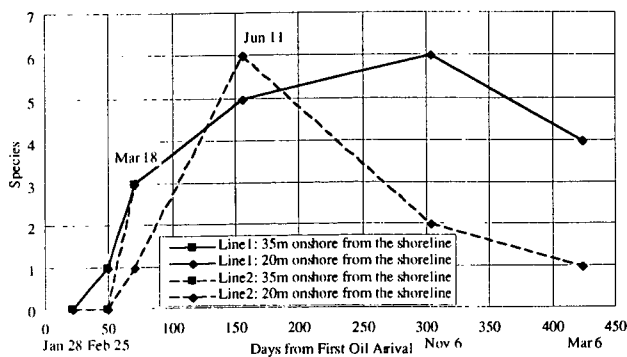


図-3.9 砂浜生物の種類数

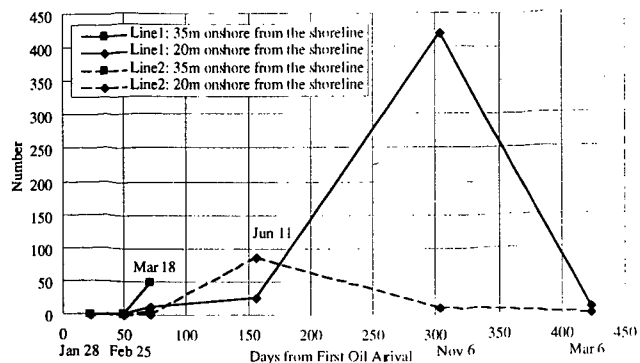


図-3.10 砂浜生物の個体数

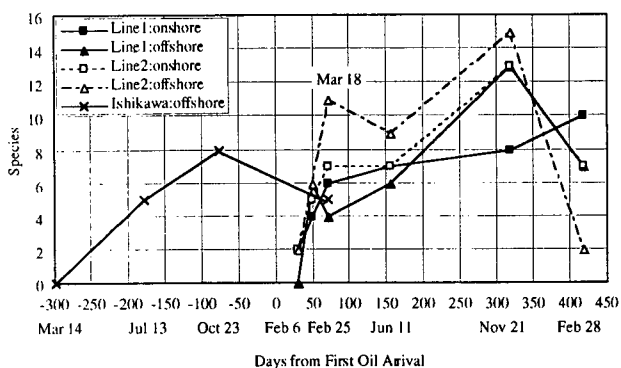


図-3.11 底生生物の種類数

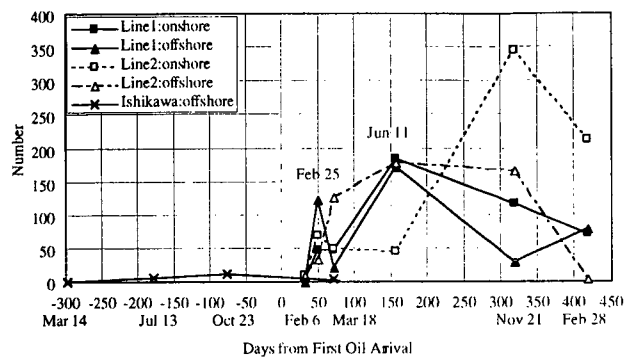


図-3.12 底生生物の個体数

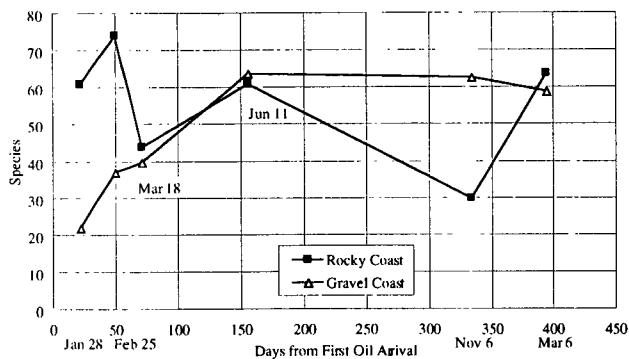


図-3.13 付着動物の種類数

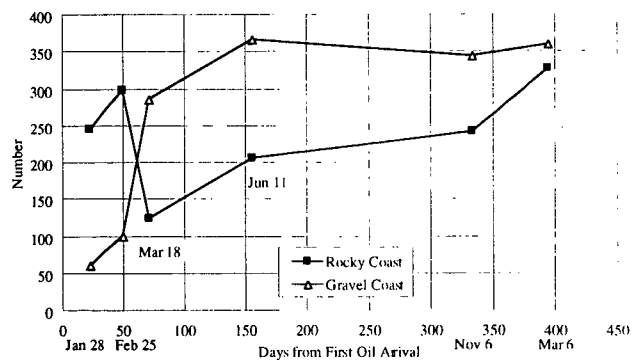


図-3.14 付着動物の個体数

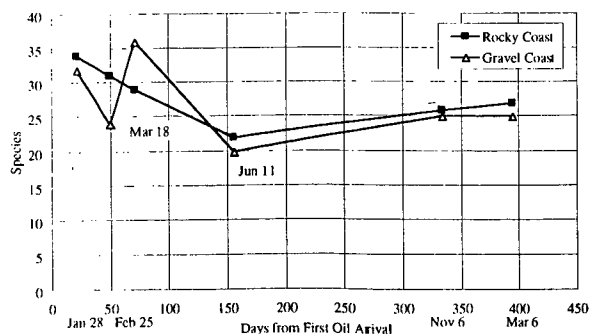


図-3.15 海藻の種類数

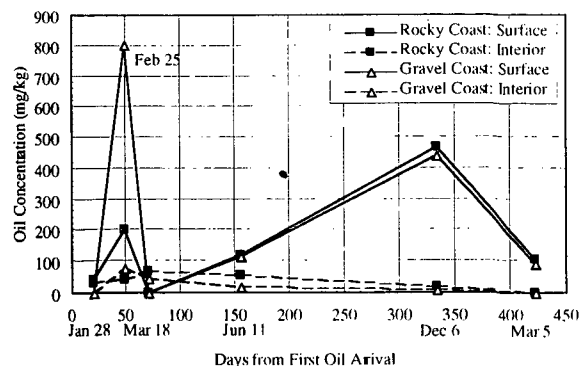


図-3.16 海藻の付着油分、含有油分

4. 海岸利用に関する影響調査

4. 1 概要

ロシア船籍タンカーから流出した重油が漂着した海岸では、生物や海岸利用への影響を低減するため漂着油の回収が行われた。海岸に漂着した重油は完全に取り去ることが理想的であるが、費用や技術の制約から完全に除去することができないことが多かった。重油除去の目標を生物や海岸利用に影響が出ない程度とすることが現実的であるが、重油残留量と生物や海岸利用への影響との関係が明らかになっていないのが現状である。潮間帯生物への漂着油の影響については関係機関により研究が行われているが、海岸利用への漂着油の影響については検討されていない。そこで回収目標の一指標を得ることを目的として、砂浜と接触する機会の多い海水浴に関して、重油が漂着した海岸で利用者がどのように感じるのか現地調査および室内実験で調べ、海水浴客が不快と思わない残留油分量について検討した。

4. 2 海水浴場の印象に関するヒアリング調査

冬季に重油が漂着した海水浴場において、海水浴客を対象としたヒアリング調査を1997年8月9～10日に行った。調査を行った海水浴場は、福井県三国町の浜地海岸（中央粒径1.2mm）およびサンセットビーチ（同0.2mm）、石川県加賀市の片野海岸および塩屋海岸（同0.5mm）である。いずれの海水浴場でも砂浜の表面に油粒は見られなかったが、塩屋海岸では隣接する突堤付近の浜崖に油混じりの砂が層状に見られた。油臭は、突堤に油の付着が見られる塩屋海岸でのみ感じられた。

1 海岸あたり約80人の被験者に、調査の主旨や重油事故に関する情報を知らせないで、砂浜の印象を尋ねた。図4.1のように、海岸全体の印象については、どの海岸でもほとんどの人が快適もしくは普通と答えているが、片野・塩屋海岸では浜地海岸やサンセットビーチに比べて快適という回答の割合が低かった。図4.2のように、砂の感触については、サンセットビーチ、片野・塩屋海岸、浜地海岸の順に印象が良かった。これは粒径の小さい順である。井上・島田（1976）は粒径が小さいほど海水浴客が満足することを明らかにしており、今回の調査でも同様の結果が出ているものと考えられる。また、図4.3のように、水のきれいさについては、砂の感触の逆順になっていた。これは、粒径が小さいほど濁りやすいためと考えられる。図4.4のように、浜辺のきれいさについては、片野・塩屋海岸の評価が比較的低かったが、表面に油粒はないもののゴミが比較的多かったためと考えられる。

以上のように、これらの海岸では海水浴場の印象において重油漂着の影響は認められなかった。そこで、漂着油の回収が徹底に行われなかった海岸を想定して、海水浴客が漂着油をどのように感じるのか調べるため室内実験を行った。

4. 3 漂着油の認識に関する室内実験

砂浜海岸に海水浴に訪れた人は、まず砂浜全体を見渡す。そして、砂浜を歩いたり砂をいじったりするなど砂に触れる。その過程において、異臭を感じればそれに反応する。このような漂着油の存在認識に関して室内実験を行った。

4. 3. 1 視覚による漂着油の認識

片野海岸に油塊が散在する写真を合成し、その合成写真を見て汚いと感じるかどうかを調べた。油塊の分布密度は5段階で設定した。被験者に合成写真中の黒い物質が油と知らせた場合と知らせない場合の2ケースについて、それぞれ10人の被験者にその印象を3段階（非常に汚い、やや汚い、普通）で評価してもらった。その結果、少しでも砂浜に異物があると汚いと感じられること、異物が油であることがわかるとより汚いと感じられることがわかった。

次に、油を含まない砂の上に油混じりの砂を散在させた1.0m×0.8mの方形枠を見下ろした時に汚いと感じるかどうかを同じ10人の被験者に尋ねた。油混じりの砂の密度は5段階で設定し、その印象を同様に3段階で評価してもらった。その結果、枠内の油混じり砂の面積比が0.15%となる、もっとも油混じりの砂の少ないケースでも9人がやや汚いと評価した。

以上のことから、砂浜の表面に少しでも油混じりの砂が見えると汚いという印象を与えることがわかった。

4. 3. 2 漂着油の付着の認識

油混じりの砂に触れた時、手に油が付いたかどうかは視覚により認識される。そこで、触れると油分が付着する砂中の油分濃度を調べるため、油分濃度が異なる砂を手で約1分間かき混ぜた時の油の付着状況を視覚で評価した。実験に用いた砂は、浜地海岸および塩屋海岸で採取した油混じりの砂と油を含まない砂を混合したものである。混合した砂は表4.1のとおりである。油混じりの砂は浜地海岸で1997年2月26日、塩屋海岸で同年9月30日に採取されたもので、実験を行った同年12月まで密閉して15℃以下の冷暗倉庫に保管していたものである。付着の評価は3段階（1…付かない、2…付いたように見える、3…明らかに付いている）で行った。実験結果を図4.5に示す。油の付着が認識される最低の油分濃度はケースによりばらついているが、20mg/kgが安全側の指標と考えられる。また、油混じりの砂の粒径が小さいほど、また混合される油を含まない砂の粒径が小さいほど、油が付着しにくいことがわかる。これは、油が付着した砂粒子の表面に油が付着していない砂粒子が接触した際に砂の粒径が小さいほど密に付着する結果、手などへ接触する面積が減少するためと考えられる。また、ケース3と4の比較より、湿砂の方が乾砂より手に付着しやすいことがわかる。

4. 3. 3 嗅覚による漂着油の認識

砂の油分濃度がどれくらいあると油臭を感じるのか実験により調べた。浜地海岸で採取した油分濃度20,000mg/kgの砂を直径15cmの皿に薄く敷き詰め、それを直径30cm、高さ50cmの円筒形の容器に入れ、その表面を24時間60℃（夏の日中の砂浜表層の最高温度）で保った。その後、容器内の気体を3l採取し、全炭化水素と臭気濃度（臭いが感じられなくなる希釈倍数）を測定した。実験に用いた砂は浜地海岸で1997年2月26日に採取されたもので、約1年間密閉して15℃以下の冷暗倉庫に保管していたものである。図4.6は砂の油分量と気体中の全炭化水素濃度（メタン換算値）、臭気指数（ $=10\log(\text{臭気濃度})$ ）の関係を示している。一般に、臭いを発生する工場等の敷地境界線における臭気指数の規制値は10~21とされていることから、安全側に考えると容器の底面積707cm²に対し油分0.4g以下が指標となる。換算すると1m²当たり5.7g以下と付着の指標値に比べ閾値が非常に高いので、流出してから1年経った重油の臭いに関しては特に指標を設ける必要はないと考えられる。

4. 4 まとめ

重油が漂着した海岸を海水浴場として利用する場合、視覚および付着に対する配慮が重要であり、砂浜の表面に油粒がないこと、海水浴客が触れる可能性がある深さまで油分濃度が20mg/kg以下であることが求められる。

参考文献

井上雅夫・島田広昭：海水浴場に関する海岸工学的研究，第23回海岸工学論文集，pp.572-576，1976.

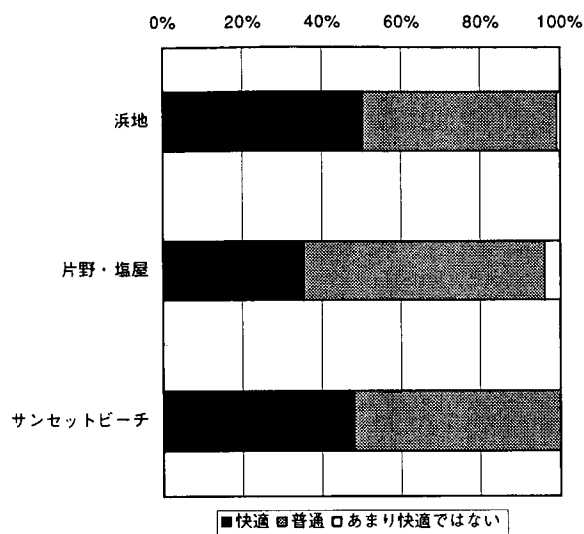


図 -4.1 海岸の印象

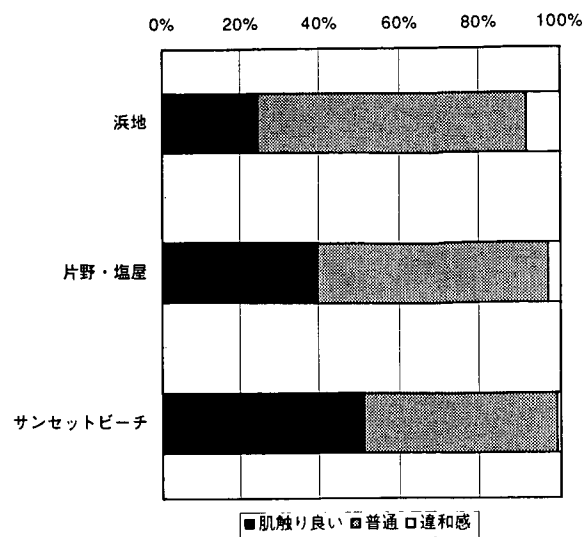


図 -4.2 砂の感触

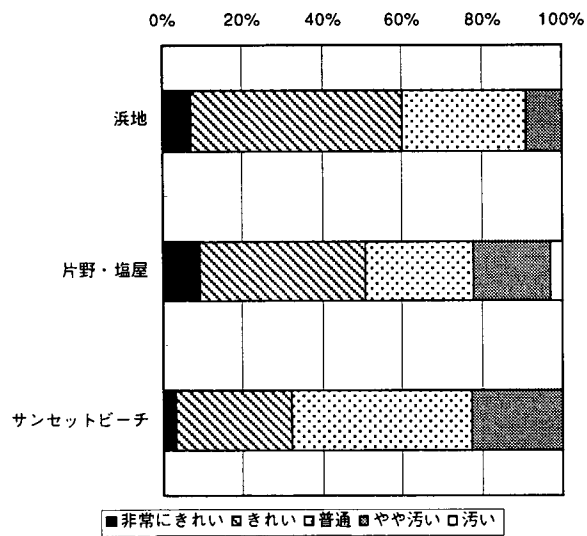


図 -4.3 水のきれいさ

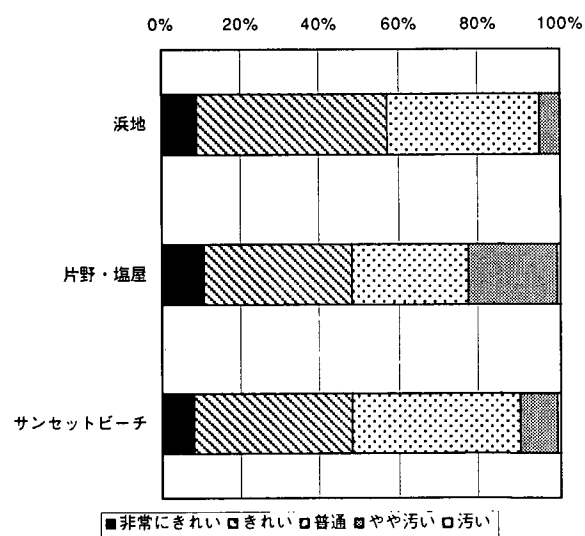


図 -4.4 浜辺のきれいさ

表-4.1 混合した砂

ケース	油混じり砂	油を含まない砂
1	浜地海岸	浜地海岸 (乾砂)
2	浜地海岸	塩屋海岸 (乾砂)
3	塩屋海岸	塩屋海岸 (湿砂)
4	塩屋海岸	塩屋海岸 (乾砂)
5	塩屋海岸	サンセットビーチ (乾砂)

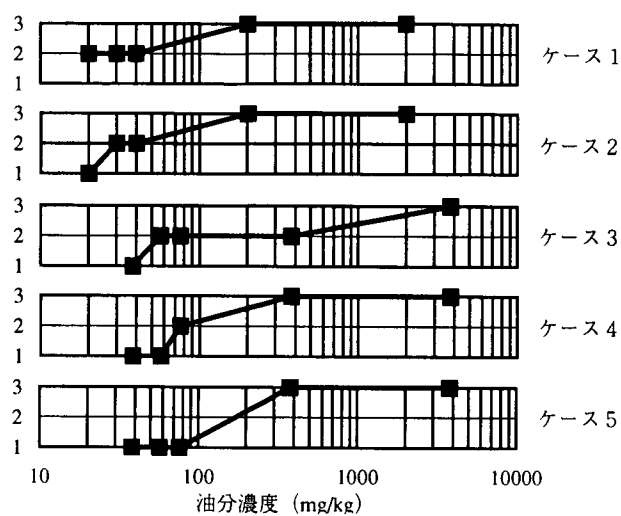


図-4.5 油の付着状況

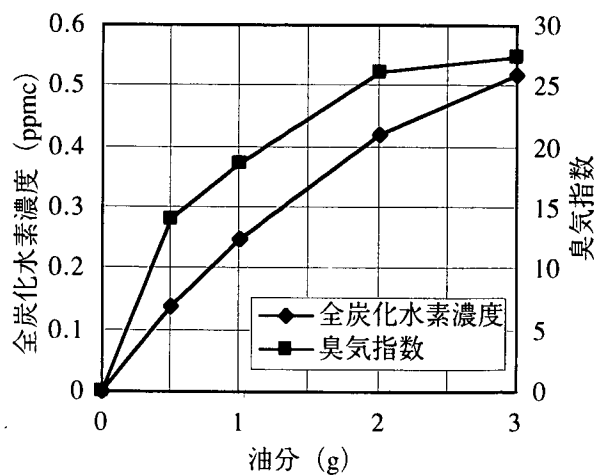


図-4.6 油分と臭気指数

5. 漂着油の回収技術

5. 1 概要

1997年1月2日に沈没したロシア船籍タンカー「ナホトカ号」から流出したC重油は、山形県から島根県に至る日本海沿岸に漂着した。重油が漂着した海岸では、地方自治体や地元住民、ボランティア等により、多大な人力を投入して漂着油の回収が行われた。

岡市・辰巳（1975）によれば、ナホトカ号事故を上回る重油が流出した1974年の三菱石油水島製油所の事故では、海岸での回収はひしゃく等を用いた人海戦術によるところが大きかった。また、Exxon（1990）によれば、1989年の米国アラスカ州で起きたタンカーからの原油流出事故では、シャベルや吸着材等による人力回収、冷水や温水による洗浄、バイオレメディエーションが海岸環境の回復のため広く行われた。ナホトカ号の重油が漂着した海岸は漁業や観光など人間生活の場となっているところが少なくないので、生物への悪影響を回避しつつ早急に漂着油を回収することが求められた。このため、温水による洗浄やバイオレメディエーションは局所的な実施が求められることになり、水島製油所の事故時と同様に人手によるところが大きくなった。

海上保安庁（1996）によると、国内の油流出事故は毎年500件前後発生している。流出した油がひとたび海岸に漂着すれば潮間帯の生物や海岸利用に大きな影響を及ぼすため、漂着油を効率的に回収する技術が求められている。そこで、本研究では、米国における漂着油対策技術を整理し、海岸に漂着した重油の回収技術についてナホトカ号事故時の事例を参考にして整理するとともに、より効率的な漂着油回収技術を室内実験により検討した。

5. 2 米国における漂着油対策技術

NOAA（1992）では、図-5.1～4のように、油が漂着した海岸のタイプおよび漂着した油の種類毎に望ましい対策を示している。ここでは、海岸のタイプや漂着した油の分類、各対策の要約を示す。

5. 2. 1 海岸のタイプ

海岸のタイプは以下のように分類されている。

（1 a）Exposed Wave-Cut Cliffs

海蝕崖なので、潮間帯は30度以上の急傾斜で非常に狭い。反射波の影響で油は海岸に近づきにくく、海岸に漂着してもすぐに波により取り除かれる。波による洗い流しに対してもっとも抵抗力がある油は、高潮線あるいはそれより上で穴が空いた帯のように留まる。潮間帯の生物への影響は短期間と予想される。

ここでは、アクセスが困難かつ危険であり、回収は通常必要ではない。

（1 b）Seawalls and Piers

護岸や岸壁は、開発された地域でよく見られる。油は、構造物間に浸透したり、構造物の潮間帯を覆う。このため、生物は油の堆積により損傷を受けたり殺されることが予想される。

油の除去、生物の付着基盤の回復、景観被害の最小化、構造物からの長期にわたる油の滲出を防ぐために

は、高圧水洗浄が必要とされうる。

(2) Exposed Wave-Cut Platforms

波食台は、潮間帯がさまざまな広さの平らな岩で構成されている。海岸の背後には急勾配の断崖があることがある。波食台では、タイドプールや割れ目が見られることがある。このような環境が、動物や植物が表面を覆う豊かな生態系を支えている。ここでは、油は岩盤には付着せず、高潮線に沿って堆積する。砂礫があるところでは、油はそれらの中に浸透し残留する。油が浸透した砂礫の存在は、遮蔽域や砂礫の堆積量が多いところを除いては、通常短期間である。

ここでは、回収は通常必要ではない。高潮線付近にアクセス可能であれば、漂着油や油まみれの破片を回収することは可能である。

(3) Fine-Grained Sand Beaches

細砂で構成される砂浜で、一般的には平坦で広く締め固まっている。背後には砂丘や堤防がよく見られる。海浜上部の動物相は貧弱である。軽油の堆積は、潮間帯上部に沿って帯状に生じる。重油は海浜全体を覆うが、上げ潮により海浜下部の油は離床する。地中への浸透は深さ最大10cmである。最初の数週間において、汚染されていない砂の堆積により油層は地中30cm以内へ埋没する。砂中の生物は窒息や間隙水中の致死量を超える油分により死亡する。海鳥は汚染されていない地区へ移動しうるが、油にまみれると死ぬことがある。

このような砂浜はもっとも清掃が容易である。海岸への油の漂着がすべて終わってから、遡上帯上部からの油の除去に集中すべきである。侵食を防ぐため、海浜からの砂の除去は最小限にすべきで、背後に堤防があるところでは特に注意が必要である。海岸から除去する砂の量を最小化するには、機械より人の手による清掃の方が推奨される。汚染されていないところでの汚染を防ぐため、油まみれのところと砂丘にまたがる活動は限定すべきである。油を地中に押し込むことになる、車や人の移動による底質と油の混合を防ぐことにあらゆる努力を集中させるべきである。

(4) Coarse-Grained Sand Beaches

粗砂で構成される砂浜で、背後には砂丘や堤防がよく見られる。一般的に生物の密度や多様性は乏しい。軽油の堆積は、高潮線に沿って帯状に生じる。非常に大量に油が堆積すると、油は海浜全体を覆うが、上げ潮により海浜下部の油は離床する。地中への浸透は深さ25cmに達することがある。汚染されていない砂の堆積による油層の埋没は急速に生じることがあり、その深さは60cm以上に達する。そのような埋没は、堆積しやすい期間においては1m以上になりうる。生物への影響は埋込動物の総数の一時的な減少を含み、それを餌とする海鳥にも影響する。

遡上帯上部からの油の除去をまず行うべきである。侵食を防ぐため、海浜からの砂の除去は最小限にすべきである。油を取り除くため海浜の砂を碎波帯内に投入することを行うことができる。油まみれの砂の中での活動は、油を地中に押し込むことになる油の混合を防ぐため限定すべきである。海岸から除去する砂の量を最小化するには、機械より人の手による清掃の方が効果的である。

(5) Mixed Sand and Gravel (or Shell) Beaches

20%以上の砂と25%以上の礫で構成される砂礫浜である。移動しやすい底質と乾燥のため、動物や植物の密度は低い。小規模な油流出では、油は高潮線やその上部に堆積する。大規模な油流出では、潮間帯全体に

油は広がる。地中への浸透は深さ50cmに達することがある。砂の割合が40%を超えると、油の挙動は砂浜での挙動とはほぼ同様になる。汚染されていない砂の堆積による油の埋没は、高潮線付近あるいはそれより上部で生じることがあり、そこでは油はそのまま残る傾向にある。このような傾向は断続的に波にさらされる海浜で特に見られる。遮蔽された海浜では、堆積した大量の油を除去しないと、そのほとんどが表面に残るので、広範囲にわたって底質がアスファルト状になることがある。アスファルト状の底質は非常に安定的なので、何年にもわたって存在し続けることがある。特に油が風化したり乳化している場合、海浜下部の粗い底質上に油が打ち上がることもある。

前浜上部に堆積した油の除去を行うべきである。また、油まみれのすべての破片も取り除くべきである。海浜からの底質の除去は最小限にすべきである。スキマーや吸着剤で除去するため、低圧水洗浄により底質から油を浮かせる方法も可能である。高圧水洗浄は、細かい底質を潮間帯下部や潮下帯に押しやる可能性があるもので、避けるべきである。バームが見られる、常に波にさらされているところでは、油を取り除くため海浜の砂を高潮線付近から潮間帯上部に投入することが効果的で、地中深くにある油層まで掘り起こすことも行うことができる。

(6) Gravel Beaches and Riprap Structures

中礫から巨礫で構成される礫浜や、石積みの構造物が対象である。ここでは、勾配は急で、複数列のバームが見られる。動物や植物は、底質が比較的動きにくい海浜下部に通常限定される。ただし、石積みの構造物上の生物相は質、量ともに豊かなことがある。波にさらされている海浜では、油は高潮線やバームに押し上げられることがあり、通常の打ち上げ帯より上で堆積しやすい。また、油の浸透や漂着した油の急速な埋没が起こりやすい。長期間にわたって漂着油が存在し続けるかどうかは、高波浪により攪拌される深さと漂着油の浸透の深さとの関係で決まる。相対的に波当たりが弱い海浜では、油の堆積が多いと堆積物がアスファルト状になりやすい。石積みの構造物では、石の間に油が深く浸透しやすい。生物は油によって死ぬことがある。

堆積した油は海浜上部から速やかに除去すべきである。また、油まみれの破片もすべて取り除くべきである。海浜からの底質の除去は最小限にすべきである。スキマーや吸着剤で除去するため、低圧水洗浄や高圧水洗浄により底質から油を浮かせる方法も可能である。バームが見られる、常に波にさらされているところでは、油を取り除くため海浜の砂を高潮線付近から潮間帯上部に投入することが効果的であるが、油まみれの底質は平均潮位付近より下に移動させるべきではない。波にさらされている海浜では、地中深くにある油層まで掘り起こすことも行うことができる。油まみれの構造物は、取り除いたり置き換えたりすることが必要になることがある。

(7) Exposed Tidal Flat

主に砂や泥で構成される干潟が対象である。砂の存在は、潮汐や風による流れ、波が底質を動かすほど強いことを示している。底質は、低潮時に干出する高い部分を除くと水で飽和している。非常に多くの数の埋在動物の生息や鳥の休息や摂餌など、生物利用は非常に活発である。油は通常は干潟の表面に付着せず、干潟を通過して高潮線付近に堆積する。油の濃度が高い場合、下げ潮時に干潟の上に油は堆積する。油は、水で飽和している底質には浸透しない。生物への悪影響は深刻となることがあり、まず埋在動物に、次いでそ

れを餌とする鳥などの捕食者に及ぶ。

流れや波は、自然による油の除去の中で非常に効果的である。人による清掃は非常に困難で、できても干潮時のみである。攪拌による油の地中への浸透を防ぐため、重機の使用は限定すべきである。砂干潟では、油は自然に干潟から取り除かれ、清掃がより容易な周辺の砂浜に堆積する。

(8) Sheltered Rocky Shores

波や潮汐の影響をあまり受けない岩石海岸である。岩が基盤となっているが、砂礫が堆積していることもある。生物の密度や多様性は非常に大きい。ここでは、油はたやすくごつごつした岩の表面に付着し、特に高潮線付近では帯状に付着する。岩の割れ目には油が堆積する。潮間帯下部は常に濡れているので、岩の表面に油が付着しにくい。重油や風化した油は海岸の上部に堆積することがあるが、海岸下部の豊かな生物群集にはほとんど影響しない。砂礫堆積物が多いところでは、表面の礫によって作られる隙間に油は浸透する。礫が緩く堆積している場合、油は深く浸透し、長期間にわたって地中の底質を汚染する。新鮮な油や精製された油は高い急性の毒性を持っており、短時間の接触であっても生物に影響することがある。

油が新鮮な場合、海水温での低圧水洗浄や高圧水洗浄がもっとも効果的である。生物が豊かな潮間帯下部については、洗浄しないよう細心の注意を払うべきである。油が付着した海藻を切り取ることは望ましくない。潮汐により付着した油は次第に剥がれていくので、それを吸着するブームを配置すべきである。

(9) Sheltered Tidal Flat

主にシルトや粘土で構成される干潟が対象である。ここでは、波のエネルギーは非常に小さいが、潮汐による流れは干潟を貫く滞筋など一部では強い。底質は非常に柔らかく、人が歩くことさえできない。二枚貝などの生物が通常豊富で、鳥も季節によってはたくさんいる。油は通常は干潟の表面に付着せず、干潟を通過して高潮線付近に堆積する。油の濃度が高い場合、下げ潮時に干潟の上に油は堆積する。油は、水で飽和している底質には浸透しない。底質の巻き上げにより海水が懸濁しているところでは、油が底質に吸着し干潟に堆積することがある。生物への悪影響は深刻となることがある。

油流出の影響を限定するため、油を吸着するブームやスキマーなどの漂着防止対策をもっとも行うべきところである。底質が柔らかいため、干潟表面の清掃は非常に困難である。ボートを用いた回収や吸着剤の配備は役に立つ。

(10 a) Fringing and Extensive Salt Marshes

草木が生えている、潮汐の影響を受ける塩性湿地が対象である。波浪や潮汐による流れから比較的隔離されている。動物や植物は、質、量ともに豊かである。湿地は、多くの魚の保育場となっており、季節によっては鳥が多数飛来する。油はたやすく植物に付着する。油が付着する高さは潮位に応じて大きく変わるので、複数の油の帯が存在する。油の量が多い場合、油は複数回の潮汐のサイクルを通して存在し続け、根元から高潮線まで植物の茎全体に油は付着する。植物が密生している場合、重油の付着は湿地の縁に限定される。重油などは細かい底質には付着も浸透もしないが、窪みがあるとそこに堆積することがある。軽油などは、底質の表層から数cm程度浸透したり、窪みや割れ目に最大1m浸透することがある。

軽度の油汚染では、自然に回復するようにするのがもっともよい方法である。大量の油の堆積物は、バキュームや吸着剤、あるいは低圧水洗浄により除去すべきである。洗浄の際には、海岸沿いなどの影響が出や

すい領域に油が流れていかないう注意を払う必要がある。また、清掃活動は植物への影響を避けるため注意深く管理されなければならない。あらゆる清掃活動は、底質の攪拌により油が地中に潜り込まないようにしなければならない。植物の根を踏み付けることは最小限にしなければならない。油にまみれた植物の刈り取りは、それを放置することが他のものに危険を与える可能性が高い場合のみ検討すべきである。

(10b) Mangroves

マングローブ林は、その縁は波浪や流れに晒されるものの、湾や入江の中でそれらの遮蔽域にある。底質は泥炭から礫まで幅広い。流れ藻の大量の堆積がよく見られる。断面形は一般的に平坦で、沖の浅い部分には海草が見られる。精製された油は、木や潮間帯の生物に対する急性の毒性を持っている。油は森の中に深く入り込み、高潮線付近で留まり、そこでは底質の汚染が生じることがある。No.2の燃料油や新鮮な原油は窪みや支持根の空洞で永続的に留まる可能性がある。より重い油は潮間帯で付着する傾向があり、高潮線付近でもっとも底質を汚染する。重油がかなり覆うと、木の落葉や死滅が生じる。波や流れの影響を受けないところでは、油は何年も存在することがある。

どの種類の油であれ軽度の堆積であれば、何もしないことが望ましい。油膜がある場合、油が吸着するブームを頻繁に取り替えつつ用いる。長期間にわたる底質の汚染の恐れがあるので、No.2の燃料油は除去が通常必要である。大量に油が堆積した場合、油を底質と混合することがないようにして、すくい取ったり、低圧水によって洗い流す。底質との混合が避けられない場合には、自然に風化させる方がましである。油まみれの破片も、底質を乱さないようにして除去すべきである。生きている植物は刈り取ったり除去したりすべきではない。吸着剤は、細心の管理のもとで、広く支持根に付着した油を除去するのに用いることができる。中度から重度に原油などが堆積した場合、その現場に特化した除去計画が必要となる。

5. 2. 2 油の種類

油は以下のように分類されている。

(1) Very Light Oils

航空機燃料やガソリンを指す。揮発性が高く、1～2日間ですべて蒸発する。毒性（溶性）の部分の濃度が高い。潮間帯の生物に局所的に深刻な被害を与える。影響期間は影響した生物の回復速度による。分散剤は必要ない。

(2) Light Oils

ディーゼル油やNo.2燃料油、軽い原油を指す。中程度の揮発性を有し、流出した油の最大1/3が残留物として残る。毒性（溶性）の部分の濃度は中程度である。潮間帯の生物を長期的に汚染する可能性がある。また、溶解や混合、浮遊砂への吸着により、潮下帯の生物にも影響を及ぼす可能性がある。分散剤は必要ない。除去活動が非常に効果的となることがある。

(3) Medium Oils

ほとんどの原油を指す。流出した油の1/3は24時間以内に蒸発する。水溶性の部分の濃度は10～100ppmである。潮間帯の汚染は深刻かつ長期化することがある。水鳥や毛皮の哺乳類への影響は深刻となりうる。流出から1～2日の間では、分散剤は一つの選択肢である。除去活動は速やかに行えばもっとも効果的である。

(4) Heavy Oils

重い原油やNo.6燃料油などを指す。ほとんど揮発も溶解もせず、水溶性の部分の濃度は10ppm以下である。潮間帯の汚染は深刻になりそうである。水鳥や毛皮の哺乳類への影響は、油の付着や摂餌障害など深刻である。風化は非常にゆっくりなので、長期間にわたって底質が汚染される可能性がある。分散剤はほとんど効果的ではなく、海岸での除去活動はいかなる状況でも困難である。

5. 2. 3 漂着油対策

漂着油への対処方法については以下のように分類されている。このうち、16a～19の実施にあたっては、各地域の対策組織の承認を必要としている。

(1) No Action

油の漂着に対して何も対処しないことである。海岸へのアクセスが困難な場合や、自然の除去速度が非常に速い場合、自然の除去に委ねた方が除去活動を行うより害が少ない場合に選択され、すべてのタイプの海岸に適用可能である。鳥や海洋性哺乳類などの大量の動物が潮間帯や沿岸海域を利用するところでは、この方法は適当ではない。

(2) Manual Removal

機械を用いずに熊手やシャベルなどにより漂着した油塊を取り除くことである。機械がなくても容易に漂着油を取り除くことができる場所で用いられ、もっとも適しているのは油が軽い状態から中程度の状態である。すべてのタイプの海岸に適用可能である。甲殻類や海藻の生息地、鳥の営巣地、砂丘など、人の歩行の影響を受けやすいところでは、実施時期等を限定すべきである。除去活動による表層の攪乱が限定されれば、潮間帯への影響は最小であり、潮下帯には影響ない。

(3) Passive Collection (sorbents)

潮汐や波浪により漂着油が吸着するように、汀線付近に吸着材を設置することである。漂着油が移動するところで用いられる。大まかな回収作業の後の二次的な処置として、またアクセスが制限された傷つきやすい海岸でしばしば用いられる。あらゆるタイプの海岸に適用可能である。この方法は非常にゆっくりしたものとなることがあるので、生物が傷つきやすい時期においても潮間帯に油が残っている可能性があるが、基本的には潮間帯、潮下帯においても無害である。

(4) Debris Removal

人手や機械により、高潮線より上にある油まみれの破片を回収することである。油まみれの流木や破片が環境を汚染したり慢性的な油の流出源となりうる場合に用いられる。安全にアクセスできる海岸で適用可能である。甲殻類や海藻の生息地、鳥の営巣地、砂丘など、人の歩行の影響を受けやすいところでは、実施時期等を限定すべきである。潮間帯や潮下帯への悪影響はない。

(5) Trenching

地中に浸透した油を回収するため、トレンチを掘り、浸透した油を海水の高圧吹きつけ等により水面に浮かせ、ポンプ等で取り除くことである。大量の油が地中に浸透し、表層を液状化させるだけでは油を取り除くことができない場合に用いられる。細砂から礫の大きさの海岸で適用可能である。海藻が豊富な場合、潮

間帯下部までトレンチを掘るべきではない。礫浜では、トレンチを埋めた後、底質の移動によりビーチが安定しない期間が生じることがある。潮下帯への悪影響はない。

(6) Sediment Removal

人手や機械により、油まみれの底質を除去することである。除去しなければならない油まみれの底質が非常に少ない場合に用いるが、海岸侵食が問題となっている海岸には用いるべきではない。油が浸透した深さまでに限って底質を除去するように注意すべきだが、重機を用いてそれを行うのは困難なことがある。表層に堆積物がある海岸で適用可能だが、岩石海岸では人手による除去のみが可能である。掘削機は影響を受けやすい生息地に押し入らないようにしなくてはならない。潮間帯下部や潮下帯の生物群落への影響を最小化するため、底質の除去は潮間帯上部や潮上帯に限定すべきである。また、一般的に魚の産卵地ではこのような処置は制限すべきである。

(7) Ambient-Water Flooding (Deluge)

油の漂着地点より上から海水を流して、表層や岩の隙間の油を洗い流し、浜の下端で回収することである。油の漂着量が多いものの漂着油がまだ液状でゆるく付着している海岸や、大礫や巨礫の底質に油が浸透してしまった海岸で用いられる。この方法は、低圧もしくは高圧での海水や温水による洗浄とともにしばしば実施される。砂より粗い底質の砂海岸や緩勾配の岩石海岸で適用可能で、砂泥海岸や海藻に覆われた海岸、急勾配の岩石海岸には一般的に適用できない。また、入江の入口にも適さない。潮間帯下部に豊かな生物群落がある場合、二次汚染を防ぐため、生物群落がある部分が水面下になる潮位の時に限定すべきである。潮間帯では、砂礫分が洗い流されて生息地が影響を受けたり、動物が下部へ流されることがある。潮下帯では、油まみれの底質が運ばれてくることにより汚染されることがある。

(8 a) Ambient-Water / Low-Pressure Washing

基盤や人工構造物に付着したり、地表に貯まったり、植物で捕捉された液状の油を、低圧の海水で洗い流すことである。洗い流された油はスキマーや吸着材で回収される。油がまだ新鮮で、取り除かないと流出するところで用いられる。ひどく油に汚染された礫浜や石積みの構造物、護岸のうち、油がまだ液状のところで適用可能である。また、油が自由に動く塩性湿地やマングローブ林でも適用可能である。影響を受けやすい低潮帯の生息地に洗浄水が流れ込まないように、洗浄を行う潮位は限定する必要がある。塩性湿地では、植物の踏みつけを避けるため、高潮位の時にポートあるいは高潮線から洗浄を行う。洗浄水の回収が十分でないと、潮間帯下部で汚染が生じることがある。また、潮下帯に油まみれの底質が運ばれて、ベントス等に影響することがある。

(8 b) Ambient-Water / High-Pressure Washing

固い基盤や人工構造物に付着した油を、高圧の海水で洗い流すことである。洗浄を行う箇所のすぐ下に吸着材を設置する。付着した油の除去に海水の低圧洗浄では不十分で、取り除かないと流出するところで用いられる。石積みの構造物や護岸で適用可能である。また、タイドプールや石積みの構造物の隙間の油を洗い流す場合でも適用可能である。影響を受けやすい低潮帯の生息地に洗浄水が流れ込まないように、洗浄を行う潮位は限定する必要がある。潮間帯では、表層の生物は取り除かれてしまう。また、不適当な洗浄方法では油を底質中に押しやってしまうことがある。洗浄水の回収が十分でないと、潮間帯下部で汚染が生じること

がある。さらに、潮下帯に油まみれの底質が運ばれて、ベントス等に影響することがある。

(9) Warm-Water / Moderate-to-High-Pressure Washing

岩に付着した厚くて風化した油に移動性を持たせるため、32℃程度に暖めた海水を中程度から高程度の圧力で洗い流すことである。これだけでは油を洗い流すのに十分ではない場合、低圧もしくは高圧での海水による洗浄等を行う。油は、スキマーや吸着材で回収される。低圧水洗浄では付着した油の除去に不十分なほど油が風化し、取り除かないと流出するところで用いられる。ひどく油に汚染された礫浜や石積みの構造物、護岸で適用可能である。影響を受けやすい低潮帯の生息地に洗浄水が流れ込まないように、洗浄を行う潮位は限定する必要がある。また、河口やタイドプール、潮間帯の豊かな生物群落の近くではその使用を限定すべきである。潮間帯では、ほとんどの生物は死滅したり取り除かれてしまう。また、洗浄水の回収が十分でないと、潮間帯下部で汚染が生じることがある。さらに、潮下帯に油まみれの底質が運ばれて、ベントス等に影響することがある。

(10) Hot-Water / High-Pressure Washing

アクセスできないところや機械では除去しにくいところから、32～77℃の温水を高圧で用いて付着した風化した油を洗い流すことである。油は、スキマーや吸着材で回収される。32℃程度の温水での高圧洗浄でも付着した油の除去に不十分なほど油が風化し、取り除かないと流出するところで用いられる。ひどく油に汚染された礫浜や石積みの構造物、護岸で適用可能である。影響を受けやすい低潮帯の生息地に洗浄水が流れ込まないように、洗浄を行う潮位は限定する必要がある。また、河口やタイドプール、潮間帯の豊かな生物群落の近くではその使用を限定すべきである。洗浄される箇所の生物は全て死滅したり取り除かれ、その使用方法が適切でも潮間帯下部の生物群落に重大な影響が出る。潮間帯の生物が豊かな場合、温水洗浄による被害と洗浄を行わないことによる被害を比較検討する必要がある。さらに、潮下帯に油まみれの底質が運ばれて、ベントス等に影響することがある。

(11) Slurry Sand Blasting

砂を吹き付けることにより、基盤に付着した油を取り除くことである。美観上の理由できれいにする必要があるものの、温水洗浄でも不十分な海岸で用いられる。護岸や石積みの構造物で適用可能である。牡蠣や二枚貝が付着しているところや生物が豊富なところでは用いてはいけな。潮間帯の生物は完全に破壊される。また、潮下帯の生物を砂が覆うことがある。用いた砂を回収しない場合、油まみれの砂は潮下帯の生物に影響する。

(12) Vacuum

囲まれた水域で、基盤表層に溜まった油や水面の油をバキュームで吸引することである。液状の油が海岸に打ち上がったたり、容易にアクセスできる植生帯に捕捉された場合に用いられる。アクセスできればあらゆるタイプの海岸に適用可能である。豊かな生物相の潮間帯のような人の踏みつけや機械の使用が制限されるべきところでは、特に限定的に用いるべきである。適切に使用されて、除去される底質が最小限であれば、潮間帯への影響はもっとも少ない。また、潮下帯への影響はない。

(13) Sediment Reworking

油堆積物を粉碎してその表面積を増やし、地中の油層を混合して油まみれの底質を再加工し、油が自然に

劣化していく速度を増すことである。海浜上の底質を重機で耕したり、海浜上部の底質を波の作用を受ける海浜下部に移動させる。地中に大量に油があるものの、侵食や廃棄処理の問題から底質の除去ができないところで用いられる。波に晒される海浜でのみ適用可能である。油や油まみれの底質が流出する可能性があるため、甲殻類が捕獲されるところや魚の産卵場、鳥の営巣地などの近くでは実施できない。潮間帯下部の生物群落への影響を避けるため、その実施は海浜上部に限定すべきである。

(14) Sediment Removal, Cleaning, and Replacement

重機で取り除いた油まみれの底質をコンテナに入れ、温水や振動により洗浄した後、元々の場所へ戻すことである。地中に大量に油があるものの、底質の除去が望ましくなく、他の方法も効果的ではないところで用いられる。波に晒された砂浜もしくは礫浜で適用可能である。影響を受けやすい生息地には掘削機は侵入してはいけない。潮間帯上部もしくは潮上帯でのみ使用を検討すべきである。置き換える物質には油や毒成分が入っていないといけない。また、置き換える物質は粒径を変えてはいけない。潮間帯では、全ての生物が影響を受ける。潮下帯では、掘削の際に油や油まみれの細砂の影響を受けることがある。

(15) Cutting Vegetation

野生動物への影響を避けるため、油が付着した植物を刈り取ることである。野生動物を汚染する危険性が刈り取られる植物の価値より大きく、許容できるレベルまで危険性を低減するのににより破壊的ではない方法がない場合に用いられる。抽水植物や草本から成る塩性湿地で適用可能である。根の破壊や地中への油の混合を最小にするため、その実施にあたっては厳密なモニタリングをしなければならない。鳥の営巣地へのアクセスは営巣期には限定すべきである。植物の除去は、多くの動物にとって生息地の減少となる。刈り取られた箇所では、植物の生長は最大2年間減少する。波に晒された海岸では、植物が再生せず、侵食や生息地の減少を引き起こすことがある。踏み付けられたところでは、植物の回復はより遅くなる。長期的な影響には、潮間帯での侵食の結果として潮下帯での土砂堆積が増加することが含まれる。

(16a) Chemical Oil Stabilization with Elastomizers

油の拡散や流出を防ぎ、回収の速度や効率を上げるため、化学薬品を用いて水面や海浜の油を凝固させたゼラチン化することである。液状の油の濃度が高く、より影響を受けやすいタイプの海岸に油が運ばれそうな次の潮汐までに物理的な回収が困難な場合に用いられる。植物がある海岸を除く、油が表層に溜まった透水性の低い海岸で適用可能である。植物や石積みの構造物がある海岸には適さない。鳥などの野生動物を処置する海岸から遠ざけることができない場合には、実施を避けるべきである。潮間帯の生物を油が覆うことを助長することがあるので、油が既に最大限覆っている海岸でのみその実施を検討すべきである。

(16b) Chemical Protection of Beaches

油が基盤に付着するのを防ぐため、事前に化学薬品を基盤に塗っておくことである。粗砂や細砂の砂浜、護岸、栈橋、断崖、波食台、石積みの構造物に適用可能である。栄養が豊富な環境、特に閉鎖性水域には適していない。伝えるところによれば、油よりこの化学薬品の方が毒性が低い、事前にその毒性について評価をしなければならない。この処置の環境への長期的な影響はわかっていない。化学薬品の毒性の影響が予想されるとともに、海岸近くの水域の富栄養化を引き起こすことがある。

(16c) Chemical Cleansing of Beaches

油の回収の効率を高めるため、風化したり厚かったりする油塊を化学薬品で柔らかくして、より低い温度や水圧で洗浄できるようにすることである。温水でも流れないほど油が風化した場合に用いる。洗い流しが可能なところで適用可能である。実施前には、毒性や水質に関する生物的な試験を多く必要とする。湿地や干潟の近くで浮遊砂濃度が高いところや、潮下帯が影響を受けやすいところの近くではその使用は限定すべきである。洗浄に用いる水の温度をできるだけ低くする方が、潮間帯の生物はより多く生き残る。

(17) In-situ Burning

漂着した油をその場で燃やして除去することである。油が発火性で、流出から間もない時期に実施される。干潟を除くあらゆるタイプの海岸に適用可能である。熱などにより植物や動物が広範囲で破壊されるので、潮間帯上部や潮上帯での実施に限定すべきである。他の処置や自然の回復と比べて油まみれの湿地を燃やすことの影響がどれくらいであるかはほとんどわかっていない。この処置は大気汚染を引き起こすことがあることを考慮すべきである。

(18) Nutrient Enhancement

微生物による油の分解を速めるため、栄養物を散布することである。中程度から高程度に油にまみれた海岸で、他の処置により可能な限り油が回収された後に用いられる。また、それほど油に汚染されていないくても他の処置が効果的ではない場合や、栄養物が自然の分解の制約要因になっている場合でも用いられる。安全にアクセスできる、あらゆるタイプの海岸に適用可能である。栄養物の過度の供給が富栄養化を引き起こしたり、特にアンモニアなどの栄養物の毒性が気になる閉鎖性湾の浅海域には適していない。河口やタイドプール等の近くではその使用を限定すべきである。

(19) Microbial Addition

微生物による油の分解を速めるため、栄養物と微生物を散布することである。安全にアクセスできる、あらゆるタイプの海岸に適用可能である。栄養物の過度の供給が富栄養化を引き起こしたり、特にアンモニアなどの栄養物の毒性が気になる閉鎖性湾の浅海域には適していない。河口やタイドプール等の近くではその使用を限定すべきである。環境への影響については、フルスケールではまだ評価されていない。

5. 2. 4 対策評価の例

図-5.1～5.4はアラスカ州での対策評価の例である。航空機燃料やガソリンについては、全ての海岸タイプでも何もしないことが推奨されている。ディーゼル油などについては、何もしないことだけでなく、油まみれの破片の回収等が推奨されている。原油や重油などについては、何もしないことよりも、人手や吸着材による回収や破片の回収が推奨されている。

5. 3 回収技術の整理

海岸への重油の漂着は、潮間帯の生物に大きな影響を与える。また、海岸に漂着した重油は砂礫の隙間に入り込むので、その回収は沖合に比べて困難なことが多い。よって、海上に流出した重油の回収は海岸に漂着する前に沖合で行うのが原則である。しかし、沖合での回収は作業船の能力や海象条件に大きく影響されるため、漂流していた重油の一部が海岸に接近することは十分予想される。そこで、海岸での重油漂着対策

についても検討する必要がある。

海岸での重油回収方法については、ナホトカ号事故後に各府県の対策本部等でまとめられている（重油回収技術対策連絡会，1997；兵庫県ロシアタンカー重油流出事故対策本部，1997）。それらをもとに、海岸での漂着対策を漂着前後に分けて整理したのが図-5.5である。

漂着前の対策としては、オイルフェンスの設置や油吸着材等を用いた船からの回収による漂着の防止、むしろ油吸着材の前浜への敷き詰めがある。砕波帯より岸側での対策は砕波により十分な効果が得られないことが多いが、内湾に面した波が穏やかな海岸では十分な効果を発揮することが可能である。なお、月野（1997）は、水深10m以浅の海域では、油処理剤で処理した油が海底付近まで分布するおそれがあるので、その使用を避けた方が良いとしている。

漂着後の対策は、漂着した重油の量により異なる。漂着油が汀線付近を厚く覆う場合、底質の大きさに関わらずポンプやひしゃく等により重油を汲み取ることがまず必要である。一方、それほど漂着量が多くない場合、またポンプ等による一次回収が終わった時点では、底質に応じた回収を行う必要があり、それでも除去できなかった部分については自然の分解に委ねることになる。

岩礁の場合、岩の表面に付いた油を掻き取るか洗い流すのが一般的である。掻き取りはへらや雑巾などを使って人力で行われる。一方、洗い流しは温水もしくは海水を高圧で吹き付けて、洗い流された油分をオイルフェンスと油吸着材により回収する方法である。児玉（1997）は福井県三国町の岩場で高圧・高温洗浄機を用いて洗浄実験を行った結果、圧力100kgf/cm²（9.8MPa）、水温30℃および80℃で1分間噴射することによりほぼ完全に付着した重油を除去できると報告している。ただし、高温・高圧の噴射水の影響だけでなく、洗い流された重油の生物への影響が懸念されるため、洗い流しは限定的な実施が求められた。

礫浜の場合、洗い流しは礫間の空隙の深部に油分を含む洗浄水を侵入させることになる。そのため、へらや雑巾などによる回収が中心であった。岩礁や砂浜に比べると、回収方法が限られており、人力に頼るところが多かった。

砂浜の場合、振動により砂と油粒を分離できるように改造されたビーチクリーナーや人力によるふるい分けにより、表面の油粒はある程度回収が可能である。また、かなりの費用がかかるものの、ジェットポンプにより油を分離する洗砂プラントを用いれば、砂中の油分をほとんど除去することができる。さらに、洗い出された油の回収対策が必要であるが、前浜の砂をブルドーザー等の重機で汀線に押し出すことにより、波で砂中の油分を分離することができる。しかし、3.3でその存在を示した砂浜の地中の油については、重機による掘削が必要である。

以上のことから、海岸での重油漂着対策の課題として以下のような事項を挙げることができる。

（1）礫浜での効率的な回収方法

（2）砂浜での地中の油分の効率的な回収方法

そこで、本研究では（1）についてはミキサーによる礫の洗浄を、（2）については液状化による砂中油分の分離を室内実験により検討した。また、夏季の高温時や降雨時に砂浜上の油塊が溶けてその周辺に拡散することが懸念される。そこで、高温時や降雨時の砂浜上の油分の挙動についても室内実験により検討した。

5. 4 ミキサーによる礫の洗浄実験

油が漂着した礫浜では、高波の遡上点付近に油が付着した礫が多く見られるものの、汀線付近の礫には油の付着が見られない。これは打ち寄せる波により汀線付近の礫が洗浄されたためと考えられる。この作用を利用して油が付着した礫を汀線付近に移動して波により洗浄する方法は効率的であるが、礫に付着していた油分が海に再流出するため、周辺環境への悪影響が懸念される。そこで、現場でコンクリートを混ぜるための小型ミキサーの中に油の付着した礫と水を入れて攪拌して、礫に付着した重油が除去できるかどうか検討した。

実験に用いた礫は、福井県三国町の礫浜で1997年9月30日および11月1日に採取した。写真-5.1のようにその表面は黒く、重油がべったりと付着していた。最初の漂着から8か月以上経過しているため、礫に付着している重油は揮発成分がかなり抜けた状態であるが、触れると手に付着するほど粘着性があった。体積が $30\sim 650\text{cm}^3$ の5つの礫について付着している油分を測定したところ、平均で礫1g当たり 2.17mg であった。

この方法の有効性を確かめるため、冷水より重油が溶け出しやすいと考えられる 50°C の湯40ℓと重油が付着した礫20kgをミキサーに入れて30分間攪拌して洗浄状況を調べた。実験に用いたミキサーの容量は500ℓ、回転数は約30回/分であった。攪拌時間を30分間と短時間に設定したのは、重油漂着現場で礫を大量に洗浄することを想定しているからである。写真-5.2のように、洗浄後の礫はくぼみに油が残っているものの、礫本来の色がわかる程度まで油が除去されていた。その油付着量は平均で礫1g当たり 0.49mg で、洗浄前の23%であった。この方法により、礫に付着した油のかなりの部分を短時間に除去できることがわかった。

しかし、重油漂着現場に大量の温水を用意することは困難である。そこで、洗浄能力が落ちる 20°C の水に油吸着材や金属ボールを加えて攪拌することにより、温水による攪拌と同等の洗浄能力を確保できるかどうかを調べた。使用した油吸着材は製品1g当たりC重油 42.9g を吸収する（メーカー資料）もので、油が吸着しやすいようにほぐして用いた。また、金属ボールは攪拌中に礫のくぼみに衝突して、くぼみに付着した油を剥がれやすくすることをねらったもので、直径1cm、重さ4gである。なお、使用した油吸着材は焼却時に有毒ガスが発生しないので、油回収後は焼却処理が可能である。

図-5.6は、礫20kg、金属ボール5kgの条件で、油吸着材と水の量を変えて洗浄した後の礫の油付着量を、礫1g当たりに換算した結果である。水量に関わらず、油吸着材が 0.065kg 以上では油付着量は温水のみによる洗浄より少なく、その量は油吸着材の量が増えてもほとんど変わっていない。このことから、油吸着材は礫20kgに対し 0.065kg が適量と考えられる。この量は油吸着材1g当たりC重油 0.67g と製品の性能を大幅に下回っているが、重油が付着してから8か月以上放置された礫の洗浄の困難さを示しているものと考えられる。また、油吸着材が 0.01kg の場合、水が20ℓより40ℓの方が20%ほど油付着量が少なかったが、油吸着材が 0.065kg 以上では水量が20ℓでも40ℓでも油付着量はほとんど変わらなかった。

金属ボールの添加の効果を確かめるため、水量40ℓ、油吸着材 0.125kg と 0.25kg の2条件で、金属ボールの量を変えて洗浄実験を行った。図-5.7のように、油吸着材が 0.125kg および 0.25kg の条件では、金属ボールの添加はほとんど効果がなかった。

以上のことから、重油が付着した礫を 20°C の水と油吸着材とともにミキサーで攪拌することにより、80%以上の油分を除去できることがわかった。水や油吸着材の適量は、礫20kgに対しそれぞれ20ℓと 0.065kg であ

り、もとの礫に付着していた油 1g 当りに換算するとそれぞれ 0.46 ㍑ と 1.5g であった。

5. 5 液状化による砂浜油分の除去実験

砂浜の地中の油塊は、掘削しないと発見および回収ができない。しかし、ポンプなどにより水を注入して砂浜を局所的に液状化させれば、砂中に埋もれた油分が表層に浮き上がってくると予想される。そこで、砂地盤の液状化による砂層中油分の分離現象を確かめるため室内実験を行った。

実験装置は直径 30cm、高さ 100cm のアクリル製の筒に中央粒径 0.51mm の砂を詰め、ポンプを用いて水と空気を筒の底面付近から注入するものである。筒の側面の上縁には、表層に染み出てきた水を排水するための穴が空いている。水および空気の注入量は毎分それぞれ約 9 ㍑、2～3 ㍑ である。

実験条件は表-5.1 のとおりである。水の注入時間は礫の洗浄実験と同じく短時間にする必要があるので、ケース 1 では 10 分間、ケース 2 では 30 分間とした。両ケースとも、石川県加賀市塩屋海岸で 1997 年 9 月 30 日に採取した油混じりの砂を用いて、厚さ 5cm の油層を筒中に設けた。その油層は砂 1kg 当たり 38g の油分を含んでおり、油の総量は両ケースとも 190g である。

図-5.8 は実験前後の油分量を示している。実験前後の油分の収支を計算すると、ケース 1 で 51.2g、ケース 2 で 47.9g の油分が減少しているが、減少分は筒や注入装置に付着したり、受水槽に流れ出た砂の中に含まれているものと考えられる。そのような減少分を差し引いて考えると、受水槽や筒内の残留水及び深さ 14～15cm までの表層付近に、ケース 1 で油分の 87%、ケース 2 で 74% が実験後に存在していた。したがって、砂地盤の局所的な液状化を実施した後で表層の砂層を処理すれば、砂中の油分のかなりの部分を除去できることがわかる。また、ケース 2 はケース 1 より 3 倍も注入時間が長かったにも関わらず、残留水や表層付近の油分が少なかった。これは油層の位置の違いによるものと考えられるが、水の注入が 10 分間あるいは 30 分間で十分かどうかはこの結果からはわからない。

図-5.9 は実験前後の油分濃度を示している。油分濃度は表層がもっとも高いが、最下層も若干高めである。深さ 14～15cm までの表層を除去しても、数 100mg/kg の油分が砂中に残ることがわかる。油分がとりわけ鉛直下方に拡散しないよう、十分深い地中から鉛直上方に向けて高圧で水を注入するなど、現場での施工を工夫する必要がある。

また、実験後の筒内や受水槽の水面には油膜が見られた。両ケースにおいて、筒内や受水槽の表層水 2 ㍑ を採取して油分濃度を測定したところ、いずれも 11,000～16,000mg/㍑ と非常に高かった。現地での施工にあたっては、注入水が確実に回収できるよう工夫する必要がある。

以上のことから、水の注入方法や注入水の回収方法にさらなる検討が必要なものの、砂浜を液状化させることにより埋もれた油塊を表層に集めることができることが確かめられた。

5. 6 高温時の油の挙動実験

砂浜の表面は夏季の日中には 60℃ 程度まで熱くなるため、砂浜上の油塊が溶けてその周辺に拡散することが懸念される。そこで、そのような高温時の油塊の挙動を室内実験で調べた。

図-5.10 のように、実験装置は、幅 50cm、奥行 50cm、高さ 100cm のアクリル製の容器に、高さ 50cm まで中央

粒径0.51mmの砂を敷き詰め、その表層もしくは砂中に油混じりの砂を層状に敷き詰め、電灯により表面を熱するものである。油混じりの砂は1997年2月26日に福井県三国町浜地海岸で採取し、冷暗倉庫に置かれた密閉容器で約8か月間保存していたものである。その中央粒径は1.23mmで、油分は砂1kg当たり20g含まれている。なお、実験装置は20℃に保たれた恒温室に置かれている。

実験は4ケース行った。ケース1では表層5cmを油層とし、表面を60℃に保った。ケース2では、ケース1と同じ油層位置、温度設定のもとで、電動式の水撒き装置を用いて10mm/15min.の散水を1日目、3日目、5日目にそれぞれ2回ずつ、計6回行った。ケース3では、ケース1と同じ油層位置で装置全体を20℃に保った。ケース4では、深さ25～30cmを油層とし、装置全体を20℃に保った。いずれのケースも試験体作成後1週間設定温度を保った後、容器中央部分を開削して深度別に砂中の油分濃度の測定を行った。

図-5.11は各ケースにおける油分濃度の鉛直分布を示している。図中の斜線でハッチされた部分は初期の油層の油分濃度を、黒塗りの部分は実験後の砂中の油分濃度を示している。ケース1では、油層の下端から2cmまでの層で3,500mg/kg、その下から1cmの層で50mg/kgの油分が検出された。それより下では油分が検出されなかったことから、油分は3cm程度浸透していたことになる。散水を追加したケース2では、油層の下端から5cmまでの層で850mg/kgの油分が検出され、深さ20～30cmの層でも4mg/kgの油分が検出された。これは、高温により軟らかくなった油が浸透してきた水に洗い流されたためと考えられる。一方、ケース3および4では油の浸透は確認されなかった。

以上のことから、表面温度が60℃になると表面付近の油分が下方に3cm程度浸透すること、それに降水が加わると最大25cm程度浸透すること、またその影響は表面付近に限られることがわかった。

5. 7 まとめ

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 重油が付着した礫を水と油吸着材とともにミキサーで攪拌することにより、80%以上の油分を除去できる。
- 2) 水と空気を注入して砂中を液状化させることにより、砂中の油分のかなりの部分を表層に集めることができる。
- 3) 砂浜の表面温度を一週間60℃に保つと、砂浜上の油塊から約3cm油分が鉛直下方に浸透し、さらに降水があると深さ30cmまで浸透する。

室内実験で有効性が確かめられたこれらの回収技術は現地実験によりさらに検討する必要がある。

参考文献

岡市友利・辰巳修三編（1975）：瀬戸内海の重油汚染，182p.

海上保安庁（1996）：海上保安白書，p.109.

児玉忠（1997）：岩場に漂着した重油の除去実験，福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術，第10号，pp.116-117.

重油回収技術対策連絡会（1997）：重油回収にかかる技術対策および技術情報について（報告書），24p.

月野良久（1997）：流出油防除資機材の現状と問題点，第16回海洋工学パネル概要集，pp.30-127.

兵庫県ロシアタンカー重油流出事故対策本部（1997）：海岸漂着油の回収マニュアル，12p.

Exxon（1990）：Valdez Oil Spill Technology 1989 Operations，100p.

NOAA（1992）：Template Shoreline Countermeasure Manual，64p.

NOAA（1994）：Alaska Shoreline Countermeasure Manual，61p.

Alaska Shoreline Countermeasure Matrix

Very Light Oils (Jet fuels, Gasoline)

- * Highly volatile (should all evaporate within 1 – 2 days)
- * High concentrations of toxic (soluble) compounds
- * Result: Localized, severe impacts to water column and intertidal resources
- * Duration of impact is a function of the resource recovery rate
- * No dispersion necessary

ALASKA MASTER

Compilation of data from
NOAA, USCG, CISPRI,
Pacific Strike Team, and
Alaska Shoreline
Workshop (July 1994)

SHORELINE TYPE CODES

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 - Exposed rocky cliffs | 7 - Exposed tidal flats |
| 2 - Exposed wave-cut platforms | 8a - Sheltered impermeable rocky shores |
| 3 - Fine- to medium-grained beaches | 8b - Sheltered permeable rocky shores |
| 4 - Coarse-grained sand beaches | 8c - Eroding peat scarps |
| 5 - Mixed sand and gravel beaches | 9 - Sheltered tidal flats |
| 6 - Gravel beaches | 10 - Marshes |

COUNTERMEASURE	SHORELINE TYPES											
	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
1) No Action	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
2) Manual Removal												
3) Passive Collection (Sorbents)			C	C	C	C	C	C	C		C	C
4) Debris Removal												
5) Trenching (recovery wells)			C	C	C							
6) Sediment Removal												
7) Cold Water Flooding (Deluge)												C
8) Cold Water Washing												
a) Low Pressure (< 50 psi)												
b) High Pressure (< 100 psi)												
9) Warm Water Washing/Mod.-High Pressure												
10) Hot Water/High Pressure Washing												
11) Slurry Sand Blasting												
12) Vacuum			C	C	C		C	C		C	C	
13) Sediment Reworking †												
14) Excavation, Cleansing, and Replacement												
15) Cutting Vegetation												
16) Chemical Treatment †												
a) Oil Stabilization with Elastomizers												
b) Protection of Beaches												
c) Cleaning of Beaches												
17) In situ Burning of Shorelines												
18) Nutrient Enhancement †												
19) Microbial Addition †												

† - Requires RRT approval

R - Recommended - may be preferred alternative

C - Conditional

☐ Not Recommended

This countermeasure advisability matrix is only a general guide for removal of oil from shoreline substrates. It must be used in conjunction with the entire Shoreline Countermeasures Manual plus field observations and scientific advice. The countermeasures listed are not necessarily the best under all circumstances, and any listed technique may need to be used in conjunction with other techniques (including ones not listed herein). The Federal On-Scene Coordinator (FOSC) or the state OSC operating with the FOSC's authorization has the responsibility for and authority to determine which countermeasure(s) are appropriate for the various situations encountered. Selection of countermeasures is based on the degree of oil contamination, the shoreline type, and the presence of sensitive resources. Extremely sensitive areas are limited to manual cleanup countermeasures.

図-5.1 アラスカ州における海岸での漂着対策（航空機燃料・ガソリン，NOAA(1992)）

Alaska Shoreline Countermeasure Matrix

Light Oils (Diesel, No. 2 Fuel Oils)

- * Moderately volatile; will leave residue (up to 1/3 of spilled amount)
- * Moderate concentrations of toxic (soluble) compounds
- * Will "oil" intertidal resources with long-term contamination potential
- * Has potential for subtidal impacts (dissolution, mixing, sorption onto suspended sediments)
- * No dispersion necessary
- * Cleanup can be very effective

ALASKA MASTER

Compilation of data from NOAA, USCG, CISPRI, Pacific Strike Team, and Alaska Shoreline Workshop (July 1994)

SHORELINE TYPE CODES

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 - Exposed rocky cliffs | 7 - Exposed tidal flats |
| 2 - Exposed wave-cut platforms | 8a - Sheltered impermeable rocky shores |
| 3 - Fine- to medium-grained beaches | 8b - Sheltered permeable rocky shores |
| 4 - Coarse-grained sand beaches | 8c - Eroding peat scarps |
| 5 - Mixed sand and gravel beaches | 9 - Sheltered tidal flats |
| 6 - Gravel beaches | 10 - Marshes |

COUNTERMEASURE	SHORELINE TYPES												
	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10	
1) No Action	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
2) Manual Removal			C	C	C	C	C	C	C	R	C	C	
3) Passive Collection (Sorbents)			C	C	C	R	C	C	C	C	C	C	
4) Debris Removal		R	R	R	R	R	R	R	R	R	C	C	
5) Trenching			C	C	C	C							
6) Sediment Removal										C			
7) Cold Water Flooding (Deluge)											C	C	
8) Cold Water Washing													
a) Low Pressure (< 50 psi)					C	R		C	C			C	
b) High Pressure (< 100 psi)													
9) Warm Water Washing/Mod.-High Pressure													
10) Hot Water/High Pressure Washing													
11) Slurry Sand Blasting													
12) Vacuum			C	C	C	C	C	C		C	C	C	
13) Sediment Reworking †			C	C	C	C							
14) Excavation, Cleansing, and Replacement			C	C	C	C							
15) Cutting Vegetation *													
16) Chemical Treatment †													
a) Oil Stabilization with Elastomizers			C	C	C	C		C					
b) Protection of Beaches			C	C	C	C		C					
c) Cleaning of Beaches			C	C	C	C		C					
17) In situ Burning			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
18) Nutrient Enhancement †			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
19) Microbial Addition †			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

† - Requires RRT approval

R - Recommended - may be preferred alternative

C - Conditional



Not Recommended

This countermeasure advisability matrix is only a general guide for removal of oil from shoreline substrates. It must be used in conjunction with the entire Shoreline Countermeasures Manual plus field observations and scientific advice. The countermeasures listed are not necessarily the best under all circumstances, and any listed technique may need to be used in conjunction with other techniques (including ones not listed herein). The Federal On-Scene Coordinator (FOSC) or the state OSC operating with the FOSC's authorization has the responsibility for and authority to determine which countermeasure(s) are appropriate for the various situations encountered. Selection of countermeasures is based on the degree of oil contamination, the shoreline type, and the presence of sensitive resources. Extremely sensitive areas are limited to manual cleanup countermeasures.

図-5.2 アラスカ州における海岸での漂着対策（ディーゼル油など、NOAA(1992)）

Alaska Shoreline Countermeasure Matrix

Medium Oils (Most Crude Oils)

- * Moderately volatile; will leave residue (up to 1/3 of spilled amount)
- * Moderate concentrations of toxic (soluble) compounds
- * Will "oil" intertidal resources with long-term contamination potential
- * Has potential for subtidal impacts (dissolution, mixing, sorption onto suspended sediments)
- * No dispersion necessary
- * Cleanup can be very effective

ALASKA MASTER

Compilation of data from
NOAA, USCG, CISPRI,
Pacific Strike Team, and
Alaska Shoreline
Workshop (July 1994)

SHORELINE TYPE CODES

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 - Exposed rocky cliffs | 7 - Exposed tidal flats |
| 2 - Exposed wave-cut platforms | 8a - Sheltered impermeable rocky shores |
| 3 - Fine- to medium-grained beaches | 8b - Sheltered permeable rocky shores |
| 4 - Coarse-grained sand beaches | 8c - Eroding peat scarps |
| 5 - Mixed sand and gravel beaches | 9 - Sheltered tidal flats |
| 6 - Gravel beaches | 10 - Marshes |

COUNTERMEASURE	SHORELINE TYPES											
	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
1) No Action	R	R	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2) Manual Removal		C	R	R	R	R	C	R	R	R	C	C
3) Passive Collection (Sorbents)		C	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
4) Debris Removal		R	R	R	R	R	R	R	R	R	C	C
5) Trenching			C	C	C	C						
6) Sediment Removal			C	C	C	C		C	C			
7) Cold Water Flooding (Deluge)		C	C	C	R	R	R	R	R	C	C	C
8) Cold Water Washing												
a) Low Pressure (< 50 psi)					C	R	C	R	R		C	C
b) High Pressure (< 100 psi)		C				C		C				
9) Warm Water Washing/Mod.-High Pressure												
10) Hot Water/High Pressure Washing												
11) Slurry Sand Blasting												
12) Vacuum		C	C	C	C	R	C	C	R	C	C	C
13) Sediment Reworking †			C	C	C	C						
14) Excavation, Cleansing, and Replacement			C	C	C	C						
15) Cutting Vegetation *												C
16) Chemical Treatment †												
a) Oil Stabilization with Elastomizers			C	C	C	C		C	C			
b) Protection of Beaches			C	C	C	C		C	C			
c) Cleaning of Beaches			C	C	C	C		C	C			
17) In situ Burning			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
18) Nutrient Enhancement †			C	C	C	C	C	C	C		C	C
19) Microbial Addition †			C	C	C	C	C	C	C		C	C

† - Requires RRT approval

R - Recommended - may be preferred alternative

C - Conditional

☐ Not Recommended

This countermeasure advisability matrix is only a general guide for removal of oil from shoreline substrates. It must be used in conjunction with the entire Shoreline Countermeasures Manual plus field observations and scientific advice. The countermeasures listed are not necessarily the best under all circumstances, and any listed technique may need to be used in conjunction with other techniques (including ones not listed herein). The Federal On-Scene Coordinator (FOSC) or the state OSC operating with the FOSC's authorization has the responsibility for and authority to determine which countermeasure(s) are appropriate for the various situations encountered. Selection of countermeasures is based on the degree of oil contamination, the shoreline type, and the presence of sensitive resources. Extremely sensitive areas are limited to manual cleanup countermeasures.

図-5.3 アラスカ州における海岸での漂着対策 (ほとんどの原油, NOAA(1992))

Alaska Shoreline Countermeasure Matrix

Heavy Oils (No. 6 fuel, Bunker C)

- * Heavy oils with little or no evaporation or dissolution
- * Water-soluble fraction likely to be <10 ppm
- * Heavy contamination of intertidal areas likely
- * Severe impacts to waterfowl and fur-bearing mammals (coating and ingestion)
- * Long-term contamination of sediments possible
- * Weathers very slowly
- * Dispersion seldom effective
- * Shoreline cleanup difficult under all conditions

ALASKA MASTER

Compilation of data from
NOAA, USCG, CISPRI,
Pacific Strike Team, and
Alaska Shoreline
Workshop (July 1994)

SHORELINE TYPE CODES

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 - Exposed rocky cliffs | 7 - Exposed tidal flats |
| 2 - Exposed wave-cut platforms | 8a - Sheltered impermeable rocky shores |
| 3 - Fine- to medium-grained beaches | 8b - Sheltered permeable rocky shores |
| 4 - Coarse-grained sand beaches | 8c - Eroding peat scarps |
| 5 - Mixed sand and gravel beaches | 9 - Sheltered tidal flats |
| 6 - Gravel beaches | 10 - Marshes |

COUNTERMEASURE	SHORELINE TYPES												
	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10	
1) No Action	R	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
2) Manual Removal		R	R	R	R	R	C	R	R	R	C	C	
3) Passive Collection (sorbents)			R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
4) Debris Removal		R	R	R	R	R	R	R	R	R		C	
5) Trenching													
6) Sediment Removal			R	R	C	C		R	R				
7) Cold Water Flooding (deluge)			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
8) Cold Water Washing													
a) Low Pressure (< 50 psi)					C	R	C	R	R		C	C	
b) High Pressure (< 100 psi)	C	C				C		C	C				
9) Warm Water Washing/Mod.-High Pressure	C	C				C		C	C				
10) Hot Water/High Pressure Washing	C	C				C		C	C				
11) Slurry Sand Blasting													
12) Vacuum			C	C	C	R	C	C	R	C	C	C	
13) Sediment Reworking †			C	C	C	C							
14) Excavation, Cleansing, and Replacement			C	C	C	C							
15) Cutting Vegetation *												C	
16) Chemical Treatment †													
a) Oil Stabilization with Elastomizers			C	C	C	C		C	C				
b) Protection of Beaches			C	C	C	C		C	C				
c) Cleaning of Beaches			C	C	C	C		C	C				
17) In situ Burning	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
18) Nutrient Enhancement †			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
19) Microbial Addition †			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

*† - Requires RRT approval

R - Recommended - may be preferred alternative

C - Conditional



Not Recommended

This countermeasure advisability matrix is only a general guide for removal of oil from shoreline substrates. It must be used in conjunction with the entire Shoreline Countermeasures Manual plus field observations and scientific advice. The countermeasures listed are not necessarily the best under all circumstances, and any listed technique may need to be used in conjunction with other techniques (including ones not listed herein). The Federal On-Scene Coordinator (FOSC) or the state OSC operating with the FOSC's authorization has the responsibility for and authority to determine which countermeasure(s) are appropriate for the various situations encountered. Selection of countermeasures is based on the degree of oil contamination, the shoreline type, and the presence of sensitive resources. Extremely sensitive areas are limited to manual cleanup countermeasures.

図-5.4 アラスカ州における海岸での漂着対策（重油など、NOAA(1992)）

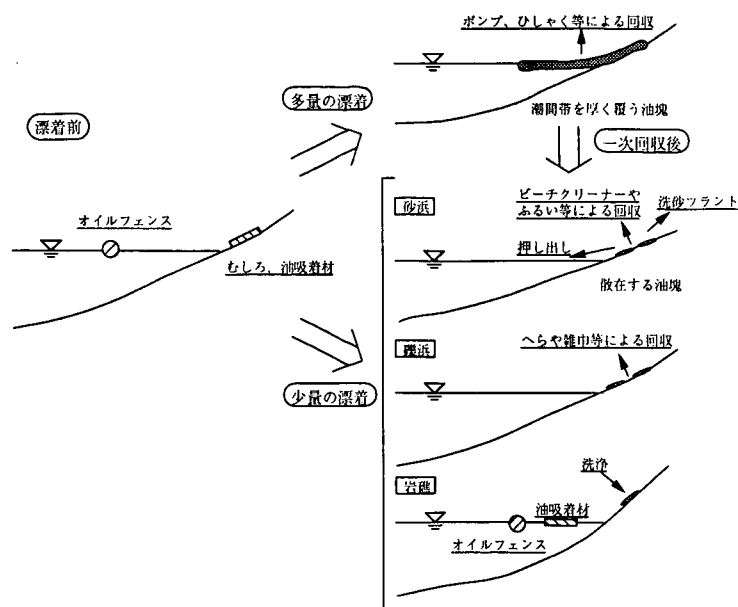


図-5.5 海岸での漂着対策



写真-5.1 洗浄前の礫

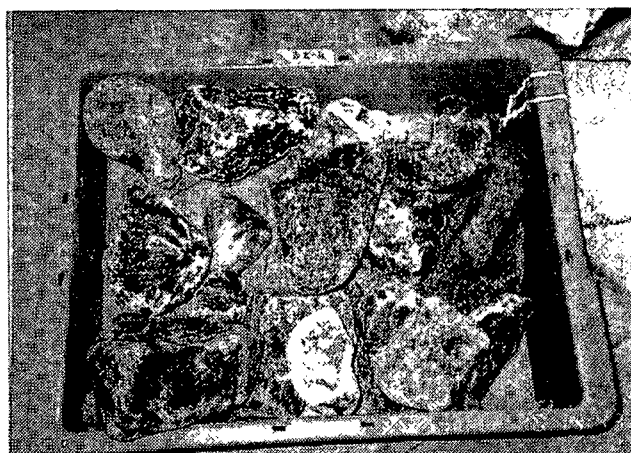


写真-5.2 洗浄後の礫

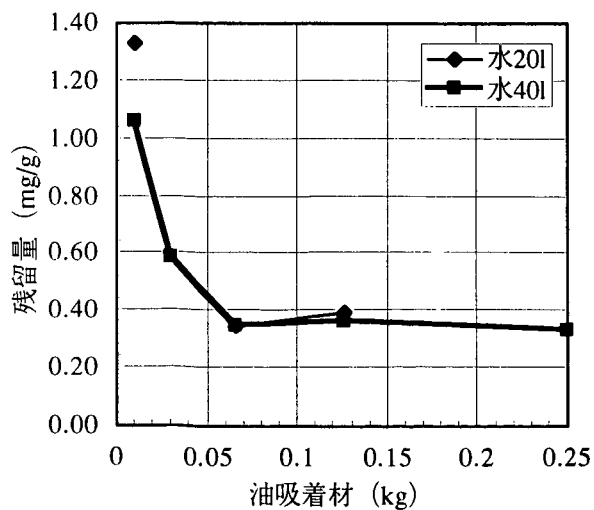


図-5.6 油吸着材と油残留量との関係

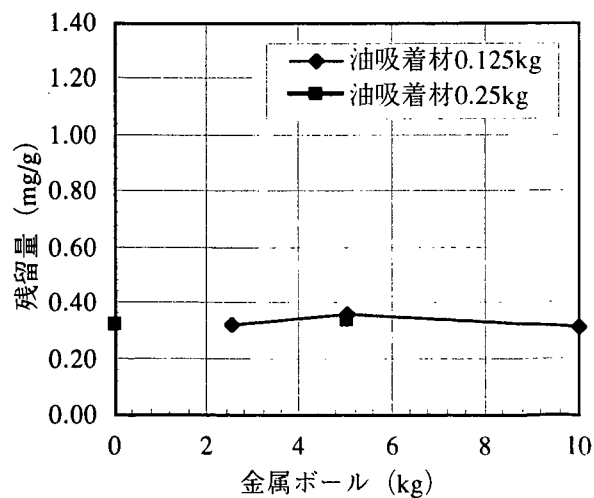
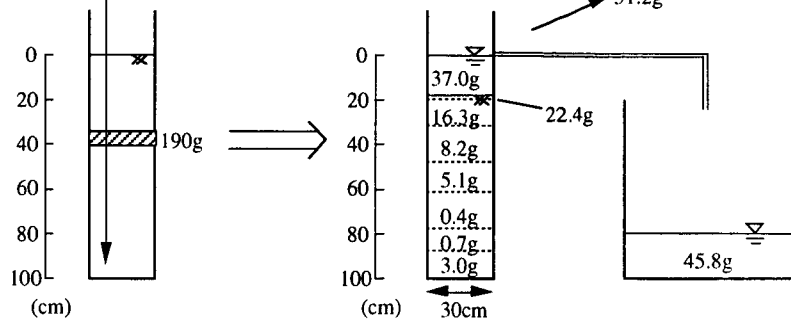


図-5.7 金属ボール量と油残留量の関係

表 -5.1 実験条件

ケース	油層の位置	注入時間
1	深さ35～40cm	10分間
2	深さ75～80cm	30分間

ケース 1 水+空気



ケース 2 水+空気

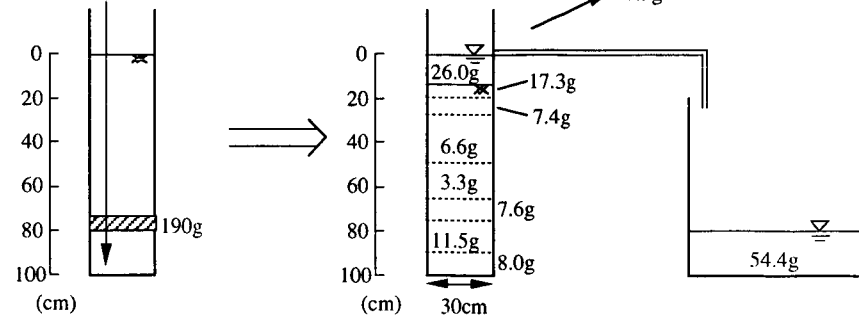


図 -5.8 液状化前後の油分量

ケース 1

ケース 2

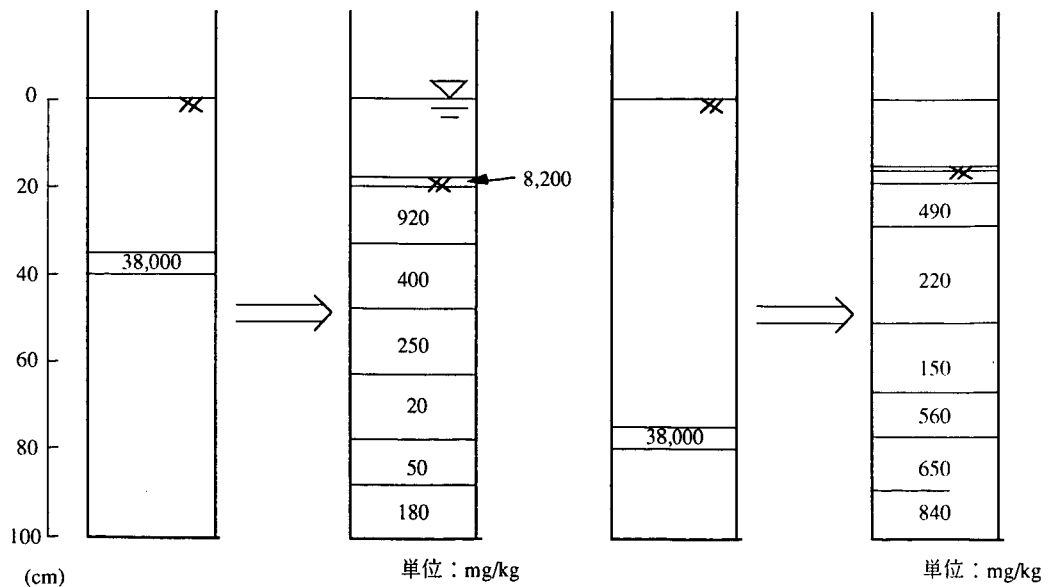


図 -5.9 液状化前後の油分濃度

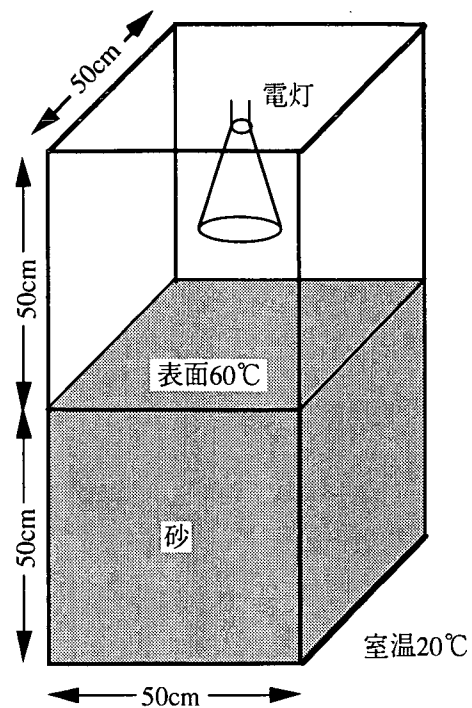


図 -5.10 実験装置

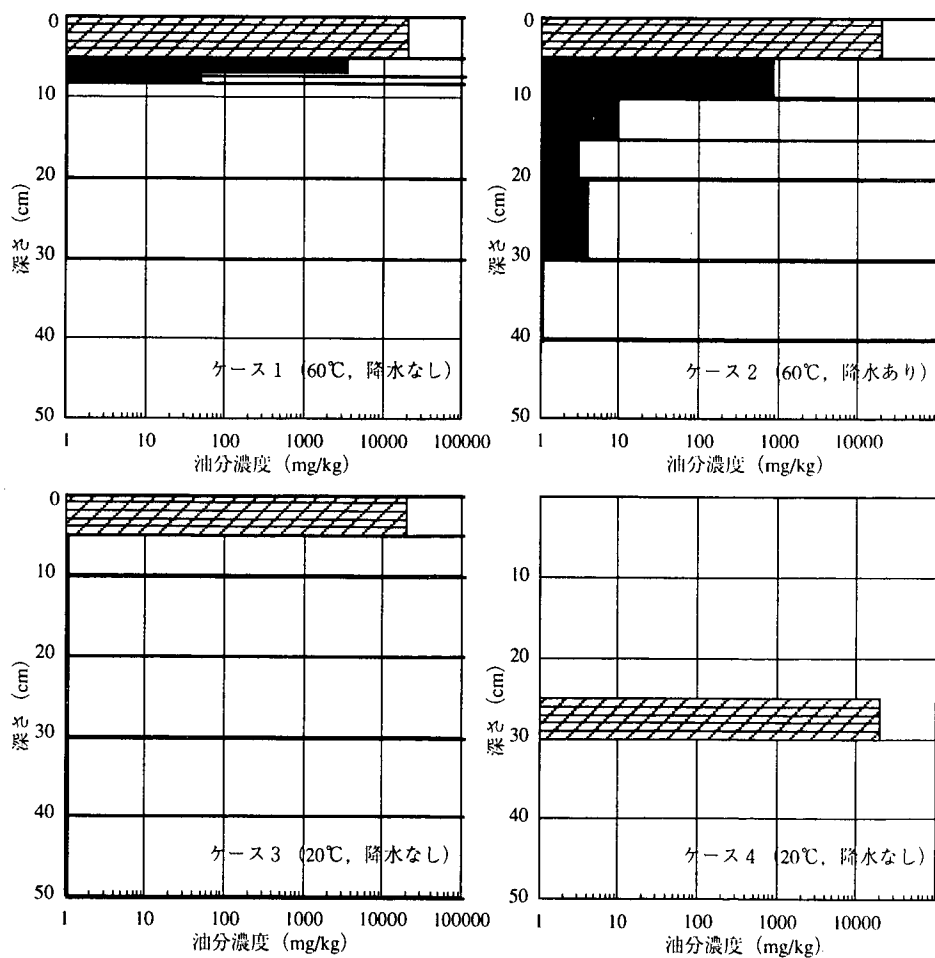


図 -5.11 砂層中の油分濃度

6. おわりに

本研究の主な成果はつぎのとおりである。

- (1) 1997年1月のナホトカ号油流出事故による日本海沿岸での重油漂着の過程を整理した。
- (2) 重油が漂着した福井県三国町の海岸で1997年1月～1998年3月に水質，底質，生物に関する調査を行い，漂着油の残存状況および生物への影響を整理した。
- (3) 重油が漂着した福井県三国町および石川県加賀市の海岸で海水浴場の印象に関するヒアリング調査を行うとともに，漂着の認識に関する室内実験により海水浴客が不快と思わない残存油分量について検討した。
- (4) 米国における漂着油対策技術を整理するとともに，室内実験により効率的な漂着油の回収技術を検討した。

謝辞：

海岸環境に関する影響調査のとりまとめなどについては，建設省河川局防災・海岸課海岸室の御指導をいただきました。現地調査や実験においては，財団法人リバーフロント整備センター研究第三部の上野久主任研究員および片田雅文主任研究員（いずれも現松戸市），芙蓉海洋開発株式会社の植村泰治氏，株式会社建設技術研究所の込山美光氏を初めとする多くの方々にお世話になりました。また，重油回収技術に関しては，金沢大学工学部石田啓教授および福井県雪対策・建設技術研究所の児玉忠氏よりたいへん有益な御助言をいただきました。この他，福井県，建設省北陸地方建設局金沢工事事務所を初めとする関係機関の方々には，現場情報の提供など御協力いただきました。なお，本研究は，田中茂信元海岸研究室長（現中部地方整備局豊橋工事事務所長）および佐藤慎司前海岸研究室長（現東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻教授）の御指導のもとで行われました。ここに記して謝意を表します。

付録 1

影響調査の確認種一覧

調査回	砂浜生物	底生生物	付着生物	海藻
1	1997年1月28日	1997年2月6日	1997年1月28日	1997年1月28日
2	1997年2月25日	1997年2月25日	1997年2月25日	1997年2月25日
3	1997年3月18日	1997年3月18日	1997年3月18日	1997年3月18日
4	1997年6月11日	1997年6月11日	1997年6月11日	1997年6月11日
5	1997年11月6日	1997年11月21日	1997年12月6日	1997年12月6日
6	1998年3月6日	1998年2月28日	1998年3月5-6日	1998年3月5-6日

砂浜生物

No.	門	綱	学名・種名	1	2	3	4	5	6
1	扁形動物	渦虫	Polyclada 多岐腸目				○		
2	袋形動物	線虫	Nematoda 線虫綱				○		
3	海綿動物	尋常海綿	Halichondria sp.					○	
4	環形動物	多毛	Eteone sp.				○		
5			Platynereis bicanaliculate ツルヒゲゴカイ				○		
6		貧毛	Oligochaeta 貧毛綱				○		
7			Enchytraeidae ヒメミミズ科			○		○	○
8	軟体動物	二枚貝	Mytilus edulis ムラサキイガイ				○	○	
9	節足動物	海蜘蛛	Anoplodactylus crassus ズングリツマリウミグモ				○		
10			Ammothea sp.				○		
11		甲殻	Tylos granulatus ハマダンゴムシ		○	○	○	○	
12			Platorchestia crassicomis ヒメハマトビムシ				○	○	
13			Platorchestia platensis ヒメハマトビムシ			○			
14			Trinoorchestia trinitatis ヒゲナガハマトビムシ		○				
15			Trinorchestia sp.						○
16			Platorchestia sp. ハマトビムシ科			○			
17			Caprella tsugarensis ツガルワレカラ					○	
18			Jassa sp.						○
19	原索動物	尾索	Cnemidocarpa fertilis minor						○

底生生物

No.	門	綱	学名・種名	1	2	3	4	5	6
1	紐形動物	無針	Cephalothrichidae ケファロツリックス科			○	○	○	○
2			Nemertinea 紐形動物門			○			
3			Heteronemertini 異紐虫目		○				
4		有針	Hoplonemertini 針紐虫目				○		
5	袋形動物	線虫	Nematoda 線虫綱				○	○	○
6	環形動物	原始環虫	Polygordius sp.		○	○	○	○	○
7			Saccocirrus pacificus ユリネムカシゴカイ				○		
8			Saccocirrus sp.	○	○	○	○	○	○
9		多毛	Pisione sp.		○	○	○	○	○
10			Eteone sp.					○	
11			Nereimyra sp.		○	○	○	○	○
12			Pionosyllis jesae					○	○
13			Sphaerosyllis erinaceus					○	
14			Sphaerosyllis sp.						○
15			Autolytus sp.					○	
16			Ceratonereis sp.					○	
17			Hemipodus yenourensis ヒナサキチロリ	○	○	○	○	○	○
18			Glycera sp.					○	
19			Aonides oxycephala ケンサキスピオ					○	
20			Prionospio paradisea マクスピオ					○	
21			Prionospio sp.					○	
22			Owenia fusiformis チマキゴカイ					○	
23			Chone sp.					○	
24			Perinereis cultifera クマドリゴカイ		○				
25			Capitellidae イトゴカイ科		○				
26			Pisione crassa スナゴカイ	○					
27			Pisione sp.	○					
28			Eusyllis sp.	○					
29	軟体動物	二枚貝	Mytilus edulis ムラサキイガイ					○	
30			Mactra nipponica チゴバカガイ					○	
31			Donacilla picta チドリマスホウ	○	○			○	○
32			Gomphina aequilatera オキアサリ			○		○	
33	節足動物	甲殻	Cypridina sp.					○	
34			Octomeris sulcata コウダカキクフジツボ					○	
35			Melita sp.					○	
36			Jassa sp.					○	○
37			Archaeomysis sp.			○	○		○
38			Bodotria similis ミナミナギサクーマ						○
39			Synchelidium lenorostralum ボンタソコエビ						○
40			Zeuxo sp.				○		
41			Ampithoe sp.			○	○		
42			Harpacticoida ハルパクチクス目			○			
43			Pontogeneia sp.			○			
44			Hyale barbicornis	○					
45			Caprella penantis マルエラワレカラ	○					
46	棘皮動物	蛇尾	Amphiplus japonicus カキクモヒトデ					○	
47		海胆	Fibulariella acuta コメツブウニ					○	
48			Scaphechinus mirabilis ハスノハカシバン				○	○	
49	脊椎動物	硬骨魚	Ammodytes personatus イカナゴ				○		

付着生物（松島地区）

No.	門	綱	目	科	種名	1	2	3	4	5	6
1	海綿動物	石灰海綿	異腔	グランチ	Leucandra sp.	○					
2		尋常海綿	角質海綿	モクヨクカイメン	Polyfibrospongia sp.	○	○	○	○		
3					Keratosa 角質海綿目		○				
4			単骨海綿	ザラカイメン	Callyspongia sp. ザラカイメン属		○	○			
5				カワナシカイメン	Haliclona sp. カワナシカイメン属	○		○		○	○
6					Haliclona permollis ムラサキカイメン				○		
7			多管海綿	テダニア	Iotrochota baculifera		○				
8	腔腸動物	ヒドロ虫	軟クラゲ	ウミサカヅキガヤ	Obelia sp. オペリア属	○					
9		鉢水母	十文字クラゲ	アサガオクラゲ	Halicystus auricule アサガオクラゲ				○		
10		花虫	ウミツタ	ハナゴケ	Cornularia sp.	○					
11			イソギンチャク	ウメボシイソギンチャク	Anthopleura sp.	○	○	○	○	○	○
12				タデジマイソギンチャク	Haliplanella sp.	○					
13	扁形動物	渦虫	新棒腸		Neorhabdocoela 新棒腸目	○					
14			多岐腸		Polyclada 多岐腸目				○	○	○
15	紐形動物	無針	異紐虫	リネウス	Lineus sp.	○	○				
16			原始紐虫	ケファロツリックス	procephalothrix sp.				○		
17		有針	針紐虫	エムプレクトネマ	Emplectonematidae エムプレクトネマ科						
18	星口動物	スジホシムシ	フクロホシムシ	エダホシムシ	Themiste blanda エダホシムシ		○				
19		サメハダホシムシ	サメハダホシムシ	サメハダホシムシ	Phascolosoma scolops サメハダホシムシ	○		○	○	○	○
20	環形動物	多毛	遊在	ウロコムシ	Halosydna brevisetosa ミロクウロコムシ	○	○				
21					Harmothoinae マダラウロコムシ亜科		○				
22					Lepidonotus elongatus ヤチウロコムシ			○			
23					Lidionotus sp.						○
24					Lepidonotus tenuisetosus フサウスウロコムシ				○	○	
25				タンザクゴカイ	Chrysopetalum sp.	○		○	○		
26				サシバゴカイ	Anatides sp.			○	○		
27					Eumida sanguinea マダラサシバ	○	○	○		○	
28					Nipponophyllum sp.	○					
29				オトヒメゴカイ	Hesionidae オトヒメゴカイ科						○
30				シリス	Ehlersia sp.	○					
31					Typosyllis nipponica	○	○				○
32					Typosyllis aciculata orientalis						○
33					Typosyllis sp.	○	○	○	○		○
34					Eusyllis sp.	○					
35					Exogone sp.	○					
36					Odontosyllis undecimdonga						○
37				ゴカイ	Ceratonereis mirabilis フタマタゴカイ	○	○				
38					Platynereis bicanaliculata ツルヒゲゴカイ	○	○			○	○
39					Platynereis dumerilii	○	○	○	○		
40					Perinereis cultrifera クマドリゴカイ	○	○	○			
41					Nereis multignatha	○	○	○	○		○
42					Nereis heterocirrata ヒゲブトゴカイ			○			
43					Nereis neoneanthes ヤスリゴカイ			○			○
44					Nereis sp.			○	○		
45				イソメ	Eunice antennata ジュズイソメ	○	○	○		○	○
46					Marphysa sanguinea イソムシ	○	○				
47					Lysidice collaris シボリイソメ	○	○				
48					Nematonereis unicornis ヒトモトイソメ	○	○	○	○		○
49				ノリコイソメ	Schistomeringos sp.	○		○			
50				ギボシイソメ	Lumbrineris sp.			○	○	○	○
51				セダロイソメ	Arabella sp.			○			
52			定在	スビオ	Polydora sp.	○					
53				ミズヒキゴカイ	Dodecaceria sp.	○	○				
54					Cirratulus cirratus チダサミズヒキ		○		○		○
55					Cirriformia tentaculata ミズヒキゴカイ		○				
56				ホコサキゴカイ	Nainereis laevigata ツブラホコムシ	○	○	○			○
57				オフエリアゴカイ	Polyophthalmus pictus カスリオフエリア		○				
58				イトゴカイ	Dasybranchus sp.		○				
59				タケフシゴカイ	Nicomache sp.		○				
60				フサゴカイ	Thelepus sp.	○	○	○	○	○	○
61					Terebella sp.	○	○	○			
62				ウズマキゴカイ	Spirorbidae ウズマキゴカイ科		○				
63					Dexiospira sp.				○		
64				カンザシゴカイ	Serpula sp.				○		○
65					Hydroides ezoensis エゾカサネカンザシ				○		
66					Hydroides sp.				○		
67	触手動物	苔虫	唇口	コブコケムシ	Celleorina costazii コブコケムシ		○				
68				スジウスコケムシ	Celleporella sp.				○		
69	軟体動物	多板殻	新ヒザラガイ	ウスヒザラガイ	Lepidozonia coreanica ヤスリヒザラガイ		○				
70				ヒザラガイ	Liolophura japonica ヒザラガイ				○		
71					Rhysoplax kurodai クサズリガイ	○	○				○
72				ケハダヒザラガイ	Cryptoplax japonica ケムシヒザラガイ	○					
73					Acanthochiton rubrolineatus ヒメケハダヒザラガイ			○			
74		腹足	原始腹足	ユキノカサ	Notoacmea gloriosa サクラアオガイ	○	○				
75					Lottia kogamogai コガモガイ			○			
76				ニシキウズ	Omphalium rusticus russticus コシタカガンガラ	○	○				
77					Chlorostoma liskei クボガイ						○
78					Omphalium pfeifferi carpenteri オオコシタカガンガラ				○		○
79					Cantharidus japonicus チダサガイ		○				
80					Cantharidus callichroa ハナチダサ	○	○	○	○	○	○
81					Omphalium nigerrima ヒメクボガイ				○		○
82				ベニバイ	Eotricolia megastoma ベニバイ	○			○	○	○
83				ツタノハ	Cellana toreuma ヨメガカサ				○	○	
84			中腹足	チャツボ	Barleeia angustata チャツボ	○	○		○	○	○
85				リソツボ	Alvania cocinna タマツボ						○
86				オニノツノガイ	Plestiotrochus parvus オオシマチゲサカニモリ		○				○
87				カリバガサガイ	Bostrycapulus grasvispinosus アリバネ	○					

付着生物 (松島地区)

No.	門	綱	目	科	種名	1	2	3	4	5	6
88				タマキビガイ	Littorina brevicula タマキビ			○			
89				リソツボ	Alvania ogasawarana オガサワラリソツボ			○			
90				スズメハマツボ	Diala stricta マキミズスズメツボ			○			
91					Diala varia スズメハマツボ				○		
92			新腹足	アクキガイ	Bedevea birileffi カゴメガイ			○			
93					Ergalatax contractus ヒメヨウラク		○				
94					Thaisella bronni レイシガイ			○	○		
95					Thaisella clavigera イボニシ		○			○	
96				フトコロガイ	Euplica versicolor フトコロガイ			○			
97					Pyrene testudinaria tylerae マツムシガイ		○	○		○	
98					Mitrella bicincta ムギガイ						○
99					Anachis misera ボサツガイ		○	○	○	○	○
100					Zafra albomarginata シロオビモクメマツムシ						○
101					Zafra pumila ノミニナ		○	○			
102					Zafra mitriformis ノミニナモドキ		○	○			
103					Zafra hahajimana ハハジマノミニナ				○		
104					Mitrella tenuis コウダカマツムシ				○		
105				オリイレヨフバイ	Reticunassa multigranosa ヒメムシロ			○			
106				アメフラシ	Aplysia parvula クロヘリアメフラシ					○	○
107			タテジマウミウシ	タテジマウミウシ	Arminidae タテジマウミウシ科		○				
108			異腹足	イトカケガイ	Epitoniidae イトカケガイ科			○			
109					Spiniscala japonica ヒメネジガイ				○		
110					Spiniscala casta ナガヒメネジガイ					○	
111					Alexania inazawai イナザワハベガイ				○		
112				ホソアラレキリオレ	Triphoridae ホソアラレキリオレ科						○
113			基眼	カラマツガイ	Siphonaria japonica カラマツガイ						
114		二枚貝	イガイ	イガイ	Septifer keenae ヒメイガイ		○	○	○	○	○
115					Musculus pusio チビタマエガイ		○	○		○	○
116					Lithophaga curta イシマテ		○				
117					Mytilus galloprovincialis ムラサキイガイ				○	○	
118					Modiolus nipponicus ヒバリガイ				○	○	○
119			マルスダレガイ	チリハギガイ	Lasaea undulata チリハギガイ		○				
120				トマヤガイ	Cardita leana トマヤガイ		○	○			
121			フネガイ	フネガイ	Barbatia birescens カリガネエガイ						○
122	節足動物	海蜘蛛	真蛸脚	ホソウミグモ	Anoplodactylus sp. ソコウミグモ属			○			
123				イソウミグモ	Achelia bituberculata フタイボイソウミグモ				○	○	○
124		甲殻	タナイス	タナイス	Tanaïs sp.		○	○			○
125					Zeuxo sp.			○	○		
126			等脚	ウミナナフシ	Paranthura sp.			○			
127				コツブムシ	Dynoides dentisinus シリケンウミセミ		○	○		○	○
128					Holotelson tuberosus チビウミセミ					○	
129				ヘラムシ	Cleantiella strasseni オヒラキヘラムシ					○	
130					Pentias sp.						○
131			端脚	ヨコエビ	Maera sp.		○	○			
132					Maera pacifica					○	○
133					Elasmopus sp.			○	○		○
134				クダオソコエビ	Gammaropsis sp.						○
135				ヒゲナガヨコエビ	Ampithoe lacertosa ニッポンモバヨコエビ		○	○		○	○
136					Ampithoe spp.			○			○
137					Sunamphitoe sp.				○		○
138				カマキリヨコエビ	Jassa morinói モリノカマキリヨコエビ						○
139					Jassa sp.						○
140				テングヨコエビ	Parapleustes sp.				○	○	○
141				ドロクダムシ	Corophium insidiosum				○		
142				アゴナガヨコエビ	Pontogeneia sp.					○	○
143				モクスヨコエビ	Hyalé schmidtii					○	○
144					Hyalé pumila						○
145				ワレカラ	Caprella tsugarensis ツガルワレカラ						○
146					Caprella decipiens マギレワレカラ						○
147					Caprella danilevskii ホソワレカラ						○
148					Caprella penantis マルエラワレカラ						○
149			十脚	テッポウエビ	Alpheus sp. テッポウエビ属			○			
150				ヤドカリ	Paguristes ortmanni ケブカヒメヨコバサミ			○			
151				ホンヤドカリ	Pagurus geminus ホンヤドカリ					○	
152					Pagurus lanuginosus ケアシホンヤドカリ					○	○
153					Pagurus pilosipes アカシマホンヤドカリ						○
154				ヤワラガニ	Rhynchoplax messor ヤワラガニ			○			○
155				クモガニ	Pugettia quadridens quadridens ヨツハモガニ		○	○	○	○	
156					Menaethius monoceros イツカクガニ		○	○			
157				オウギガニ	Macromedaeus distinguendus シワオウギガニ			○			○
158					Pilumnopus indica トラノオガニ			○	○		○
159				イワガニ	Pachygrapsus crassipes イワガニ				○		○
160					Megalopa メガロバ朗幼生			○			
161	棘皮動物	海胆	エキマス	オオバフンウニ	Hemicentrotus pulcherrimus バフンウニ						○
162	原索動物	尾索	腸性	ジデムニ	Diplosoma mitsukurii ネンエキボヤ		○				
163				ボリキトリ	Eudistoma sp.					○	
164			壁性	ボトリルス	Botryllida ボトリルス科					○	
165					Egg mass 卵塊		○	○			○

付着生物（砲台跡下）

No.	門	綱	目	科	種名	1	2	3	4	5	6
1	原生動物	肉質	有孔虫	スナゴムシ	Homotrema sp.						
2	海綿動物	石灰海綿	異腔	ケツボカイメン	Sycon misakiensis ミサキケツボカイメン						
3					Sycon coronatum						
4		尋常海綿	単骨海綿	カワナシカイメン	Haliclona sp. カワナシカイメン属						
5				ザラカイメン	Calyspongia sp. ザラカイメン属						
6			磯海綿	イソカイメン	Halichondria sp. イソカイメン属						
7			多骨海綿	テダニア	Lissodendoryx isodictyalis						
8			有星海綿	ホシカイメン	Stelletta sp. ホシカイメン属						
9		石灰海綿	異腔	グランチ	Leucandra sp.						
10			有星海綿	ホシカイメン	Stelletta sp. ホシカイメン属						
11	腔腸動物	ヒドロ虫	軟クラゲ	ウミシバ	Sertulariidae ウミシバ科						
12		花虫	イソギンチャク	ウメボシイソギンチャク	Anthopleura sp.						
13					Actinaria イソギンチャク目						
14			ウミツタ	ハナゴケ	Cornularia sp.						
15		鉢水母	十文字クラゲ	アサガオクラゲ	Halicystus auricule アサガオクラゲ						
16	絨形動物	無針	異紐虫	リネウス	Lineus sp.						
17			原始紐虫	ケファロツリックス	Orocephalothrix sp.						
18			古紐虫	ツブラヌス	Tubulanus punctatus クリゲヒモムシ						
19		有針	針紐虫	アンフィポールス	Amphiporus sp.						
20				テトラステマ	Tetrastemma sp.						
21					Tetrastemma nigrifrons メノコヒモムシ						
22				エムブレクトネマ	Emplectonematidae エムブレクトネマ科						
23	扁形動物	渦虫	多岐腸		Polyclada 多岐腸目						
24	星口動物	サメハダホシムシ	タテホシムシ	タテホシムシ	Aspidosiphon exhaustus						
25			サメハダホシムシ	サメハダホシムシ	Phascolosoma scolops サメハダホシムシ						
26	環形動物	多毛	遊在	ウロコムシ	Lepidonotus tenuisetosus フサウスウロコムシ						
27					Lepidonotus sp.						
28					Halosydna brevisetosa ミロクウロコムシ						
29					Harmothoe imbricata マダラウロコムシ						
30				タンザクゴカイ	Chrysopetalum sp.						
31				サシバゴカイ	Eulalia sp.						
32					Anatides sp.						
33					Eumida sanguinea マダラサシバ						
34					Eulalia viridis サミドリサシバ						
35				シリス	Typosyllis spp.						
36					Typosyllis fasciata モノシリス						
37					Odontosyllis undecimdentata						
38					Exogone sp.						
39					Opisthosyllis viridis						
40					Autolytus sp.						
41				ゴカイ	Platynereis bicanaliculata ツルビゲゴカイ						
42					Platynereis dumerilii						
43					Nereis heterocirrata ヒゲブトゴカイ						
44					Nereis neoneanthes ヤスリゴカイ						
45					Nereis multignatha						
46					Nereis sp.						
47					Ceratonereis mirabilis フタマタゴカイ						
48				イソメ	Eunice antennata ジュズイソメ						
49					Nematonereis unicornis ヒトモトイソメ						
50					Lysidice collaris シボリイソメ						
51				ギボシイソメ	Lumbrineris sp.						
52				セグロイソメ	Arabella sp.						
53				ビクイソメ	Oenone sp.						
54			定在	スビオ	Boccardia uncata カギノテスビオ						
55				ミズヒキゴカイ	Cirratulus cirratus チグサミズヒキ						
56					Cirriformia tentaculata ミズヒキゴカイ						
57					Dodecaceriasp.						
58				ホコサキゴカイ	Nainereis laevigata ツブラホコムシ						
59				オフエリアゴカイ	Polyophthalmus pictus カスリオフエリア						
60				タケフシゴカイ	Axioghella quadrimaculata						
61				フサゴカイ	Thelepus sp.						
62					Terebella sp.						
63					Nicolea sp.						
64					Pista sp.						
65				カンザシゴカイ	Hydroides ezoensis エゾカサネカンザシ						
66					Serpulidae カンザシゴカイ科						
67				ケヤリ	Branchiomma sp.						
68					Sabella sp.						
69	軟体動物	多板殻	新ヒザラガイ	ヒザラガイ	Rhyssoplax kurodai クサズリガイ						
70					Onithochiton hirasei ニシキヒザラガイ						
71				ウスヒザラガイ	Ischnochiton comptus forma comptus ウスヒザラガイ						
72				ケハダヒザラガイ	Acanthochiton defilippi ケハダヒザラガイ						
73					Cryptoplax japonica ケムシヒザラガイ						
74				ヒゲヒザラガイ	Placiphorella japonica ババガセ						
75		腹足	原始腹足	スカシガイ	Macroschisma dilatatum ヒラスカシガイ						
76					Tugali decussata シロスツカケガイ						
77				ニシキウズ	Cantharidus callichroa ハナチグサ						
78					Omphalius pfeifferi carpenteri オオコシタカガンガラ						
79					Omphalius nigerrima ヒメクボガイ						
80				ユキノカサ	Lottia tenuisculpta コモレビコガモガイ						
81				ベニバイ	Eotricolia megastoma ベニバイ						
82				リュウテン	Turbo cornutus サザエ						
83			中腹足	チャツボ	Barleeia angustata チャツボ						
84				リツツボ	Alvania cocinna タマツボ						
85					Phosinella fusca メノメチヨウジガイ						
86				タマキビガイ	Littorina vrevicula タマキビ						
87			新腹足	フトコロガイ	Anachis misera ボサツガイ						

付着生物（砲台跡下）

No.	門	綱	目	科	種名	1	2	3	4	5	6
88				アケキガイ	Bedevea birileffi カゴメガイ						○
89			異腹足	ホソアラレキリオレ	Triphoridae ホソアラレキリオレ科						○
90			腸紐	トウガタガイ	Oscilla circinata イトマキクチキレモドキ					○	
91		二枚貝	イガイ	イガイ	Mytilus galloprovincialis ムラサキイガイ	○		○	○		
92					Deptifer virgatus ムラサキインコ						○
93					Septifer keenae ヒメイガイ			○	○	○	○
94					Musculus pusio チビタマエガイ				○	○	○
95					Modiolus nipponicus ヒバリガイ					○	
96			マルスダレガイ	マルスダレガイ	Irus ishibasianus オキナマツカゼ				○		
97				コハクノツユ	Kellia sp.					○	○
98				トマヤガイ	Cardita leana トマヤガイ					○	
99				イワホリガイ	Petricolidae イワホリガイ科					○	
100			オオノガイ	キヌマトイガイ	Hiella orientalis キヌマトイガイ					○	
101			ウミタケモドキ	サザナミガイ	Agriodesma navicula オビクイ					○	
102	節足動物	海蜘蛛	真苔脚		Anoplodactylus sp. ソコウミグモ属			○			
103				イソウミグモ	Ammothea hilgendorfi シマウミグモ				○		
104		甲殻	タナイス	タナイス	Tanais sp.		○	○	○	○	○
105			等脚	コツブムシ	Dynoides dentisinus シリケンウミセミ				○	○	○
106				ヘラムシ	paridotea sp.	○	○	○			
107					Cleantiella strasseni オヒラキヘラムシ				○		
108					Pentias sp.				○		
109				ウミナナフシ	Paranthura sp.	○					
110				ウミミズムシ	Janiropsis longiantennata ウミミズムシ					○	○
111			端脚	ヨコエビ	Elasmopus sp.			○		○	○
112					Maera sp.		○		○	○	○
113					Maera pacifica				○	○	○
114				テンダヨコエビ	Parapleustes sp.				○	○	○
115				アゴナガヨコエビ	Pontogeneia sp.				○	○	
116				モクズヨコエビ	Hyale schmidtii				○		
117					Hyale sp.				○		○
118					Hyale pumila					○	
119				クダオソコエビ	Gammaropsis sp.						○
120				ヒゲナガヨコエビ	Ampithoe lacertosa ニッポンモバヨコエビ			○			
121					Sunamphitoe sp.				○	○	○
122					Ampithoe sp.					○	
123				カマキリヨコエビ	Jassa morinai モリノカマキリヨコエビ					○	○
124					Jassa sp.						○
125				ワレカラ	Caprella penantis マルエラワレカラ	○					○
126					Caprella decipiens マギレワレカラ						○
127					Caprella equilibra クビナガワレカラ						○
128				Amphilochidae	Gitanopsis sp.				○		
129				ネクイムシ	Ceinina japonica コンブノネクイムシ				○		
130				ドロノミ	Podocerus sp.						○
131			十脚	クモガニ	Pugettia quadridens ヨツハモガニ		○	○	○	○	
132					Menaethius monoceros イッカクガニ		○				
133				オウギガニ	Pilumnopus indica トラノオガニ	○	○	○	○	○	○
134					Pachygrapsus crassipes イワガニ			○		○	○
135				ヤワラガニ	Rhynchoplax messor ヤワラガニ				○		
136				ホンヤドカリ	Pagurus sp. ホンヤドカリ属					○	○
137	棘皮動物	海胆	エキヌス	オオバフンウニ	Hemicentrotus pulcherrimus バフンウニ				○		
138		蛇尾	蛇尾	チビクモヒトデ	Ophiactis affinis クサイロチビクモヒトデ					○	
139	原索動物	尾索	腸性	ジデムニ	Didemnum moseleyi シロウスボヤ		○	○	○	○	○
140					Egg mass 卵塊						○
141			壁性	モルグラ	Molgula hozawai				○		

海藻（松島地区）

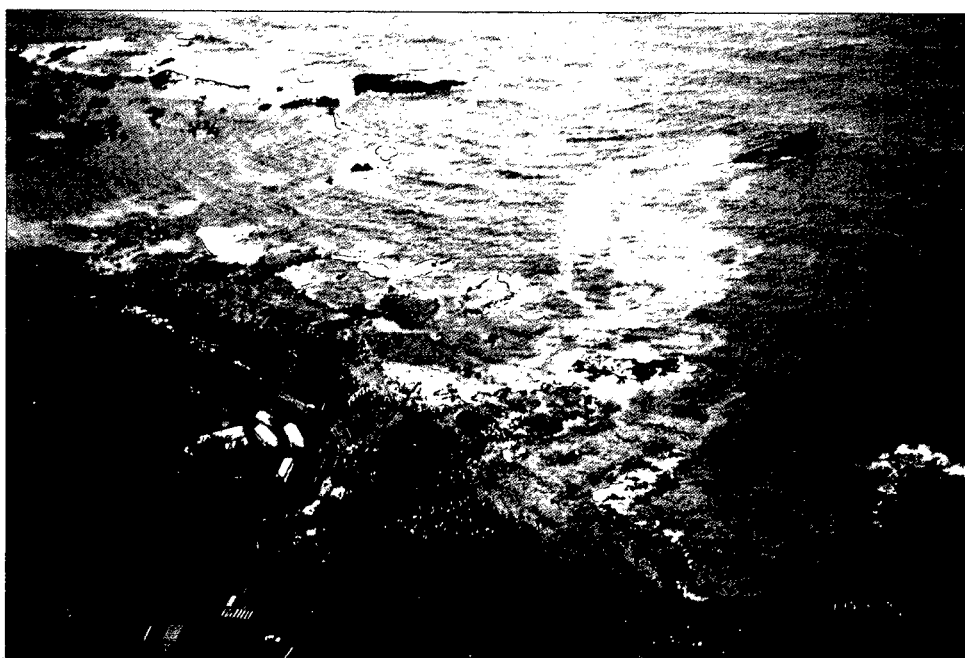
No.	門	綱	目	科	種名	1	2	3	4	5	6
1	藍藻植物	藍藻	ネンジュモ	ユレモ	Lyngbya spp. クダモ属	○				○	
2	緑藻植物	緑藻	アオサ	アオサ	Ulva sp. アオサ属	○	○				○
3					Ulva pertusa アナアオサ			○	○		
4					Enteromorpha sp. アオノリ属				○	○	
5			シオグサ	シオグサ	Cladophora sp. シオグサ属	○	○	○	○		
6	褐藻植物	褐藻	シオミドロ	シオミドロ	Ectocarpus sp. シオミドロ属				○		
7			ナガマツモ	ネバリモ	Leathesia difformis ネバリモ			○	○		
8				ナミマクラ	Elachista sp. ナミマクラ属		○	○			
9				モズク	Nemacystus decipiens モズク				○		
10			カヤモノリ	カヤモノリ	Colpomenia sinuosa フクロノリ	○	○	○	○	○	
11					Petalonia fascia セイヨウハバノリ	○	○	○			
12					Scytosiphon lomentaria カヤモノリ			○	○		○
13			ウイキョウモ	ハバモドキ	Punctaria latifolia ハバモドキ			○			
14			クロガシラ	クロガシラ	Sphacelaria sp. クロガシラ属	○	○	○	○	○	
15			アミジグサ	アミジグサ	Dictyota dichotoma アミジグサ	○	○	○	○	○	○
16					Dilophus okamurae フクリンアミジ	○	○				○
17					Dictyopteris sp. ヤハズグサ属	○	○				○
18			ヒバマタ	ホンダワラ	Sargassum hemiphyllum イソモク			○	○	○	○
19					Sargassum piluliferum マメクワラ	○	○				
20	紅藻植物	紅藻	テングサ	テングサ	Celidium elegans マクサ	○	○	○	○	○	○
21					Pterocladia capillacea オバクサ	○	○				○
22			ウシケノリ	ウシケノリ	Porphyra sp. アマノリ属		○	○		○	
23			ウミゾウメン	アクロケチウム	Audouinella sp. オーデュイネラ属	○	○	○			
24			サンゴモ	サンゴモ	Amphiroa sp. カニノテ属		○				○
25					Corallina pilulifera ビリヒバ	○	○	○	○	○	○
26					Jania sp. モサズキ属	○				○	
27					Melobesioideae サビ亜科	○	○	○	○	○	○
28					Marginisporum crassissima ヘリトリカニノテ	○	○	○			○
29			カクレイト	ムカデノリ	Carpooeltis prolifera コメノリ			○	○		○
30				イワノカワ	Peyssonneliaceae イワノカワ科	○	○	○		○	○
31			スギノリ	スギノリ	Chondrus ocellatus ツノマタ			○	○	○	○
32					Gigartina intermedia カイノリ			○	○	○	○
33				ユカリ	Plocamium telfairiae ユカリ	○	○				
34					Hypnea charoides イバラノリ					○	
35				イソモッカ	Caulacanthus okamurae イソダンツウ					○	
36			マサゴシバリ	ワツナギソウ	Champia parvula ワツナギソウ	○	○				○
37					Antithamnion sp. フタツガサネ属	○					
38					Campylaeophora hypnaeoides エゴノリ	○					
39			イギス	イギス	Griffistia sp. カザシグサ属						○
40					Wrangelia tayloiana ランゲリア	○	○	○	○	○	○
41				ダジア	Dasya sp. ダジア属	○				○	
42				コノハノリ	Acrosorium sp. ハイウスバノリ属	○	○	○	○	○	○
43					Acrosorium venulosum カギウスバノリ	○					
44				フジマツモ	Chondria crassicaulis ユナ	○	○	○	○	○	○
45					Chondria sp. ヤナギノリ属					○	
46					Herposiphonia parca クモノスヒメゴケ	○	○			○	○
47					Laurencia undulata コブゾソ						○
48					Laurencia pinnata ハネソゾ					○	
49					Laurencia sp. ソゾ属	○	○	○	○	○	○
50					Polysiphonia sp. イトグサ属	○	○	○	○		○
51					Symphyocladia marchantioides コザネモ	○	○				○
52					Symphyocladia pennata ヒメゴザネ	○					
53					Laurencia hamata カギソゾ		○				
54					Levillia jungermannioides ジャバラノリ	○	○	○		○	○
55	黄色植物	珪藻	中心	ビドゥルフィア	Riddulphia sp.			○		○	
56			羽状	ディアトマ	Grammatophora marina		○	○			
57					Licmophora sp.	○					

海藻（砲台跡下）

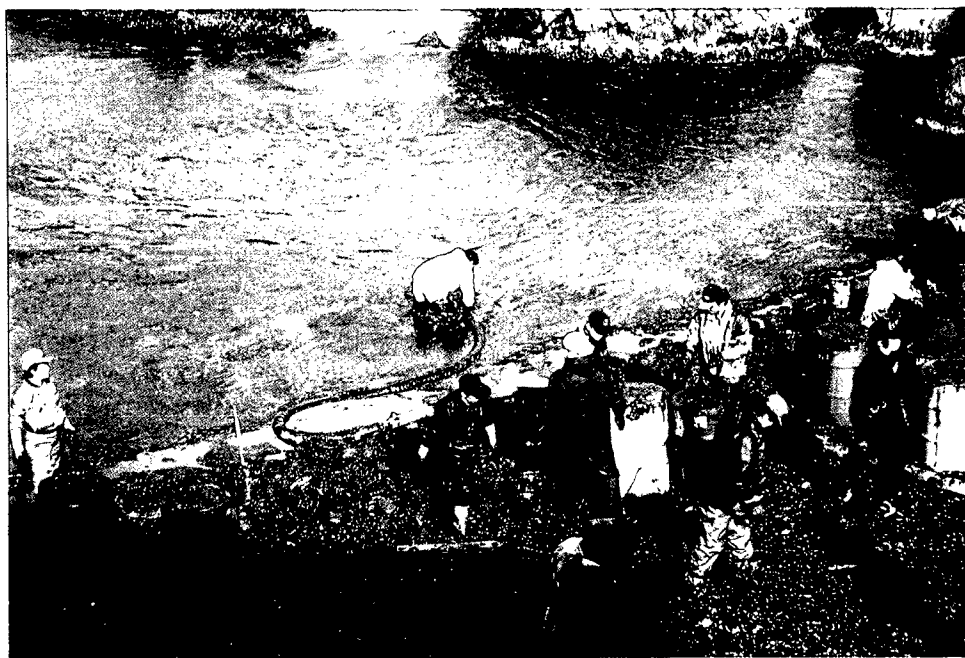
No.	門	綱	目	科	種名	1	2	3	4	5	6
1	藍藻植物	藍藻	ネンジュモ	ユレモ	Lyngbya spp. クダモ属	○					
2					Lyngbya sp. ナガレクダモ属					○	
3			小球体		Chroococcales 小球体目						○
4	緑藻植物	緑藻	アオサ	アオサ	Ulva pertusa アナアオサ			○			
5			シオグサ	シオグサ	Cladophora sp. シオグサ属	○		○	○		○
6			ミル	ミル	Codium fragile ミル				○		
7	褐藻植物	褐藻	シオミドロ	シオミドロ	Ectocarpus sp. シオミドロ属		○	○			
8			ナガマツモ	ネバリモ	Leathesia difformis ネバリモ			○	○		
9				ナミマクラ	Elachista sp. ナミマクラ属		○				
10			カヤモノリ	カヤモノリ	Colpomenia sinuosa フクロノリ	○	○	○			○
11					Petalonia fascia セイヨウハバノリ	○	○	○			
12					Scytosiphon lomentaria カヤモノリ			○			○
13					Endarachne binghamiae ハバノリ				○		
14			ウイキョウモ	ハバモドキ	Punctaria latifolia ハバモドキ			○			
15			コンブ	チガイン	Undariapinnatifida ワカメ			○			
16			アミジグサ	アミジグサ	Dictyopteris prolifera ヘラヤハズ	○		○	○		
17					Dictyota dichotoma アミジグサ	○		○	○	○	
18					Dilophus okamurai フクリンアミジ		○			○	○
19					Pachydictyon coriaceum サナダグサ		○				
20			ヒバマタ	ホンダワラ	Sargassum hemiphyllum イソモク	○	○	○	○	○	○
21					Sargassum horneri アカモク		○	○	○	○	○
22	紅藻植物	紅藻	ウシケノリ	ウシケノリ	Porphyra sp. アマノリ属	○	○	○			
23				アクロケチウム	Audouinella sp. オーデュイネラ属		○	○			
24			テングサ	テングサ	Gelidium elegans マクサ						○
25					Pterocladia capillacea オバクサ						○
26			カクレイト	サンゴモ	Amphiroa sp. カニノテ属	○	○	○	○	○	○
27					Corallina pilulifera ビリヒバ	○	○	○	○	○	○
28					Jania sp. モサズキ属	○				○	
29					Melobesioideae サビ亜科	○	○	○	○	○	○
30					Marginisporum sp. ヘリトリカニノテ属		○			○	○
31				ムカデノリ	Halymeniaceae ムカデノリ科	○					
32					Grateloupia livida ヒラムカデ			○			
33					Pachymeniopsis lanceolata フダラク						○
34				イワノカワ	Peyssonneliaceae イワノカワ科		○	○	○	○	○
35			スギノリ	スギノリ	Chondrus ocellatus ツノマタ	○	○	○			
36					Gigartina intermedia カイノリ						○
37				ユカリ	Plocamium telfairiae ユカリ	○	○	○		○	○
38				イバラノリ	Hypnea sp. イバラノリ属	○					
39			マサゴシバリ	ワツナギソウ	Champia parvula ワツナギソウ	○		○	○		○
40					Lomentaria hakodensis コスジフシツナギ				○		
41			イギス	イギス	Ceramium japonicum ハネイギス	○		○			
42					Ceramium tenerimum ケイギス	○		○		○	○
43					Antithamnion sp. フタツガサネ属	○					
44					Centroceras clavulatum トゲイギス	○					
45					Ceramium sp. イギス属	○				○	
46					Criffitsia sp. カザシグサ属	○				○	
47					Callithamnion sp. キヌイトグサ属		○				
48					Campylaeophora hypnaeoides エゴノリ				○		
49					Ceramiaceae イギス科					○	
50				コノハノリ	Acrosorium sp. ハイウスバノリ属	○	○	○	○		○
51				フジマツモ	Chondria crassicaulis ユナ	○		○	○		
52					Herposiphonia parca クモノスヒメゴケ	○		○		○	○
53					Herposiphonia subdisticha クロヒメゴケ	○		○		○	○
54					Laurencia pinnata ハネソゾ			○			
55					Laurencia sp. ソゾ属	○	○	○	○		
56					Polysiphonia sp. イトグサ属	○	○	○	○	○	
57					Symphyocladia marchantioides コザネモ		○	○	○		○
58					Symphyocladia pennata ヒメゴザネ			○			○
59					Laurencia intermedia クロソゾ	○					
60					Laurencia hamata カギソゾ					○	
61					Herposiphonia fissidentoides ヒメゴケ		○			○	○
62					Chondria lancifolia ササバヤナギノリ					○	
63					Laurencia undulata コブソゾ						○
64	黄色植物	珪藻	中心	ビドゥルフィア	Riddulphia sp.			○			
65			羽状	ディアトマ	Grammatophora marina			○			
66					Biddulphia sp.	○	○				
67					Licmophora sp.	○					
68				ニッチア	Nitzschia sp.					○	

付録 2

現地踏査写真集



福井県三国町の雄島東で座礁した船首からは重油が流出している。
周辺の海岸には大量の重油が漂着した（撮影：1997年1月11日）



福井県三国町浜地海岸西側の礫浜には大量の重油が漂着した。
ひしゃくによる回収だけでなく、バキュームによる汲み取りも行われた。

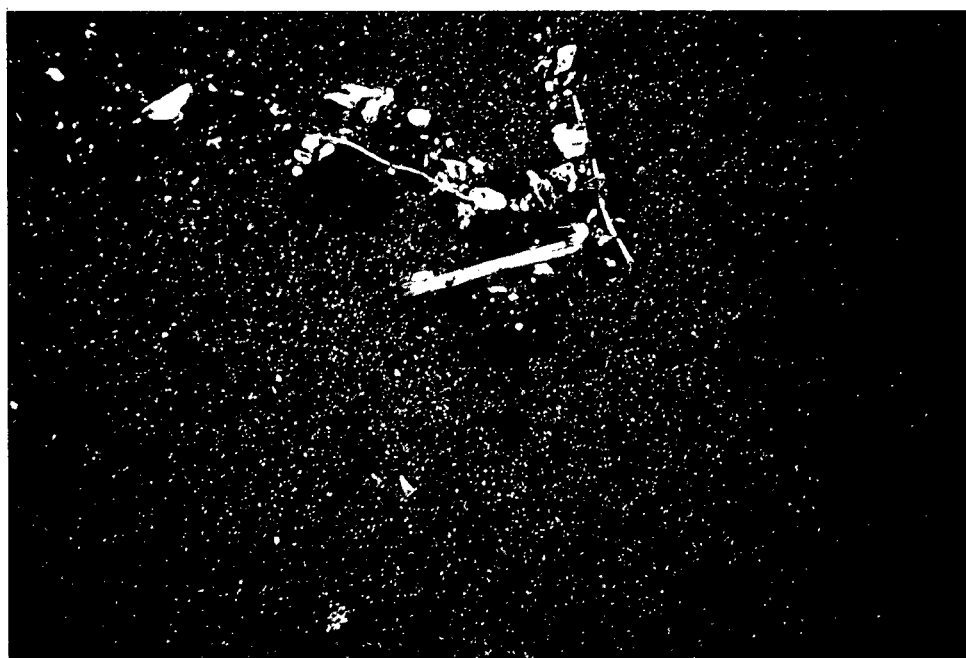
(撮影：1997年1月11日)



浜地海岸では、離岸堤設置区間、非設置区間とも重油が漂着した。
バームを乗り越えて重油が堆積している。（撮影：1997年1月11日）



福井県三国町のサンセットビーチでは、波の打ち上げ線に沿って帯状に油粒が見られる。
(撮影：1997年1月11日)



浜地海岸では、高波浪により海浜変形が進むとともに、
波の打ち上げ線付近に油粒が堆積していた。（撮影：1997年1月23日）



福井県三国町の丸岡藩砲台跡近くの岩石海岸では、岩の隙間に漂着油が入り込んでいた。
(撮影：1997年1月23日)



福井県三国町の越前松島では、岩礁に大量に漂着油が堆積し、
タイドプールには油膜が見られる。（撮影：1997年1月23日）



福井県敦賀市の立石岬では、岩の間に漂着油が堆積し、植物への影響が懸念された。

（撮影：1997年1月24日）



福井県美浜町の竹波海岸では、礫浜にこげ茶色の重油が堆積していた。

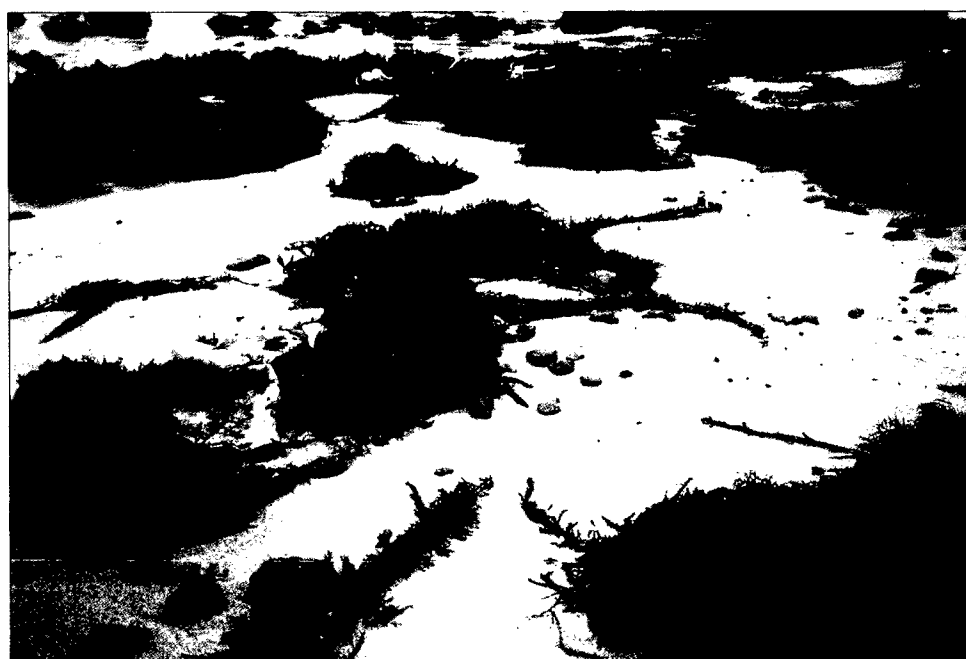
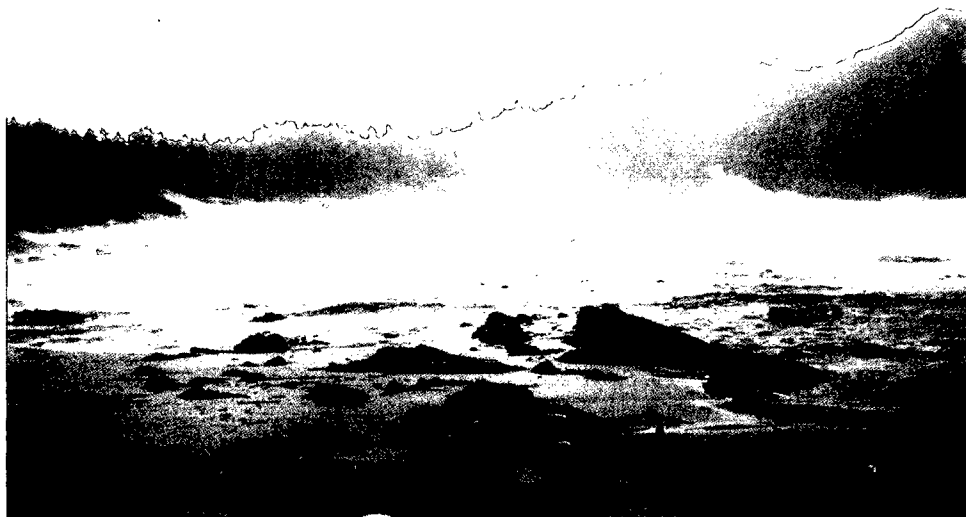
(撮影：1997年1月24日)



福井県美浜町の久々子海岸では、北に開いた地形のため、漂着量は海岸の中央部で多く、西部では少なかった。（撮影：1997年1月24日）



京都府久美浜町の箱石では、回収作業が行われたものの、
崖下を中心に漂着油が残存していた。（撮影：1997年1月25日）

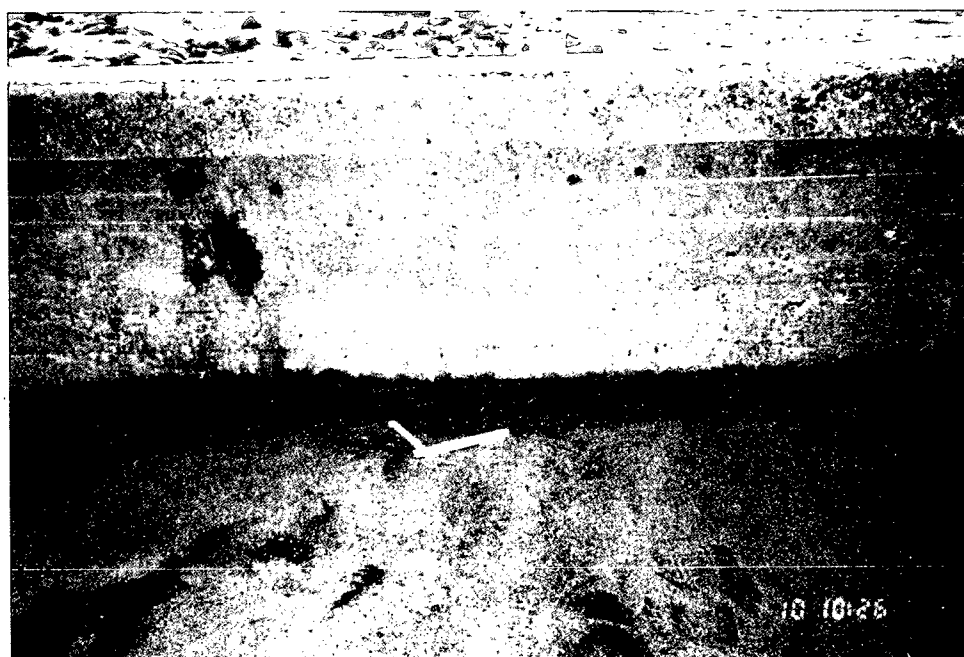


京都府網野町の琴引浜では、海藻とともに直径数cm程度の油塊が打ち上がっていた。

（撮影：1997年1月25日）



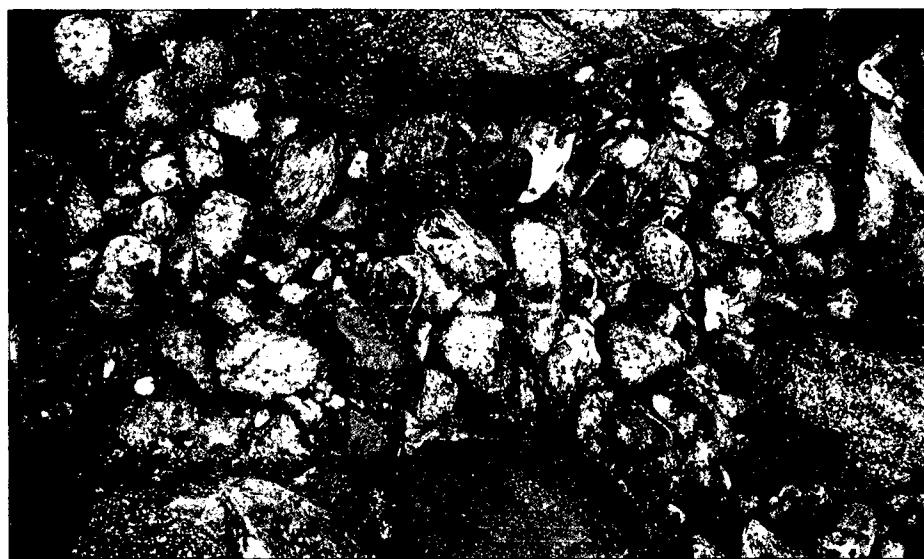
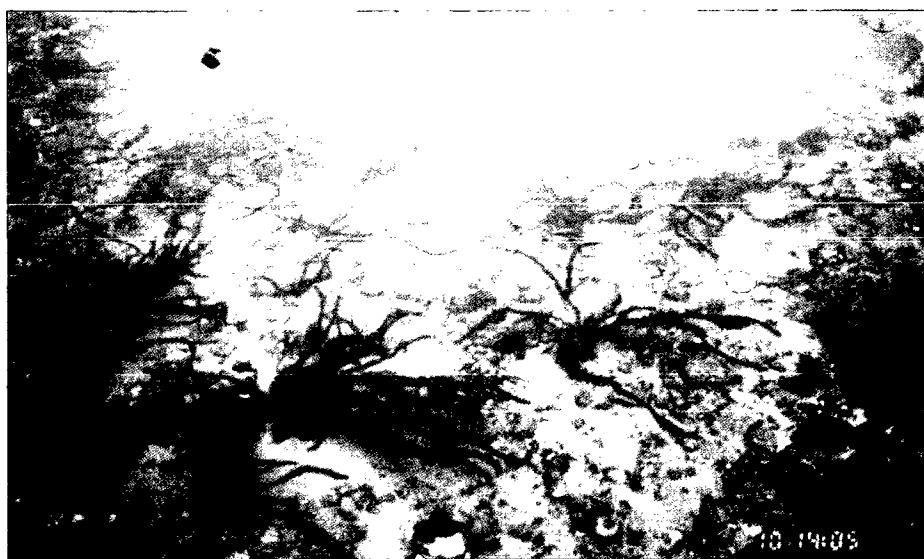
京都府丹後町の上野海岸では、大量の重油が漂着していた。
(撮影：1997年1月25日)



石川県加賀市の片山津海岸では、越波により油塊が堤防より陸側にも堆積していた。
(撮影：1997年2月10日)



石川県の千里浜では、背後の砂丘の約3m海側に帯のように油粒が見られた。
(撮影：1997年2月10日)



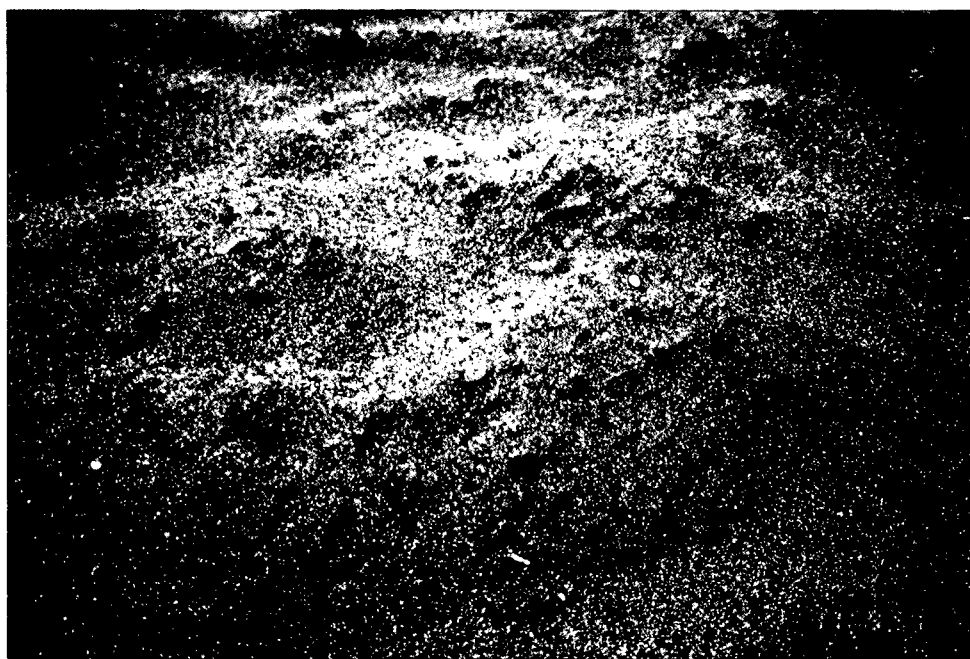
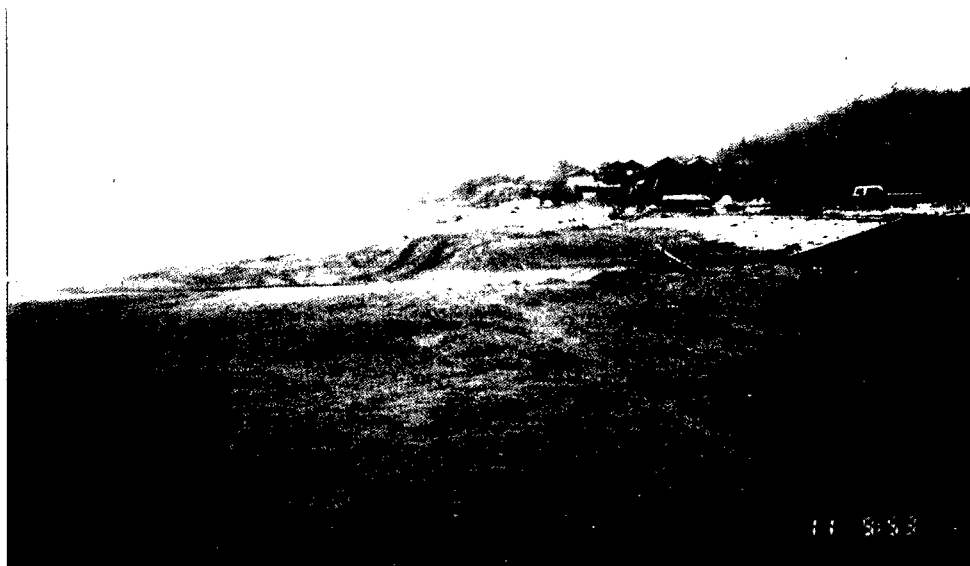
石川県滝町の礫浜では、海中には漂着油は見られないが、陸上の礫に油が付着していた。
(撮影：1997年2月10日)



石川県柴垣町の岩礁では、大量に重油が漂着し、アシは根元から20cm程度まで重油が
付着していた。（撮影：1997年2月10日）



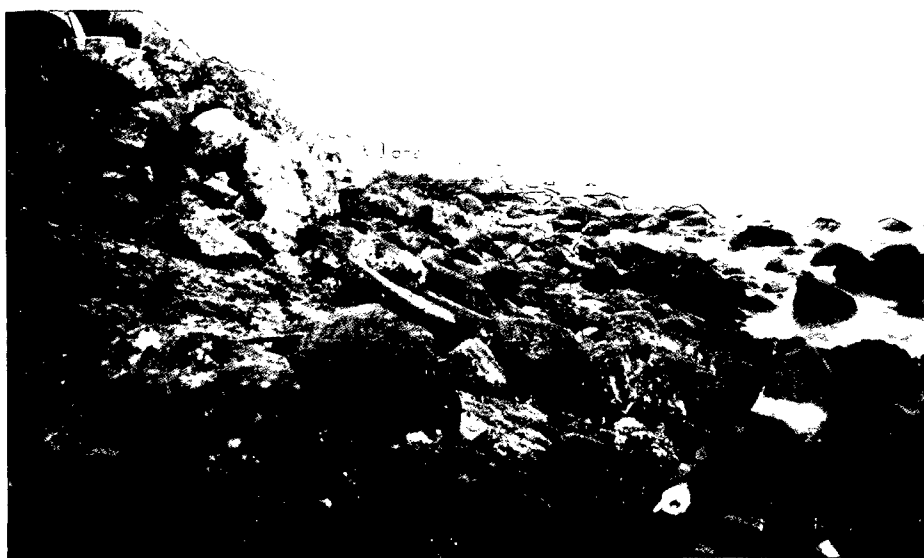
石川県志賀町の岩礁では、飛沫帯にも重油が付着しているが、
汀線付近には青々とした海藻が見られる。（撮影：1997年2月10日）



石川県輪島市の大川浜では、漂着した油塊が飛砂により地中に埋もれようとしていた。
(撮影：1997年2月11日)



石川県珠洲市真浦の岩礁では、緩傾斜護岸、岩石とも重油が付着していた。
(撮影：1997年2月11日)



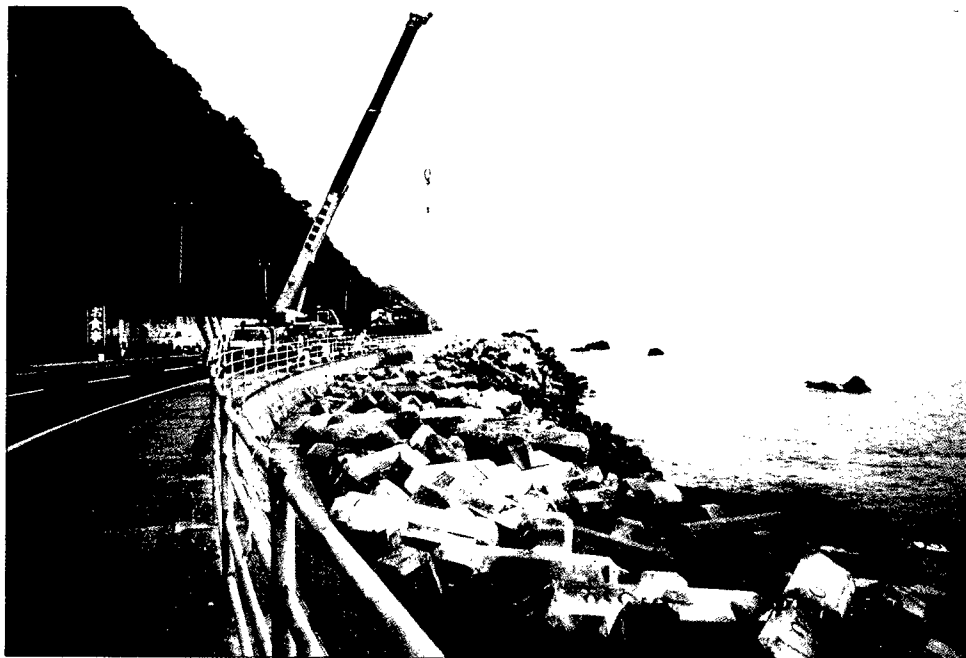
石川県珠洲市の長橋海岸では、重油は海中にはほとんど見られないが、潮上帯に大量に付着していた。（撮影：1997年2月11日）



福井県美浜町の竹波海岸では、直径約10cm程度の油塊はあるものの、
植生が進出していた。（撮影：1997年6月10日）



福井県敦賀市の立石岬では、岩石に油が付着したり、タイドプールに油膜が見られるものの、植物が進出していた。（撮影：1997年6月10日）



福井県河野村では、消波ブロックの隙間の漂着油を除去するため、ブロックをクレーンで道路上に上げて洗浄するとともに、そのスペースに人が入って油塊を回収していた。

（撮影：1997年6月10日）



福井県三国町の船首漂着地点の周辺では、汀線付近でも油膜が見られた。

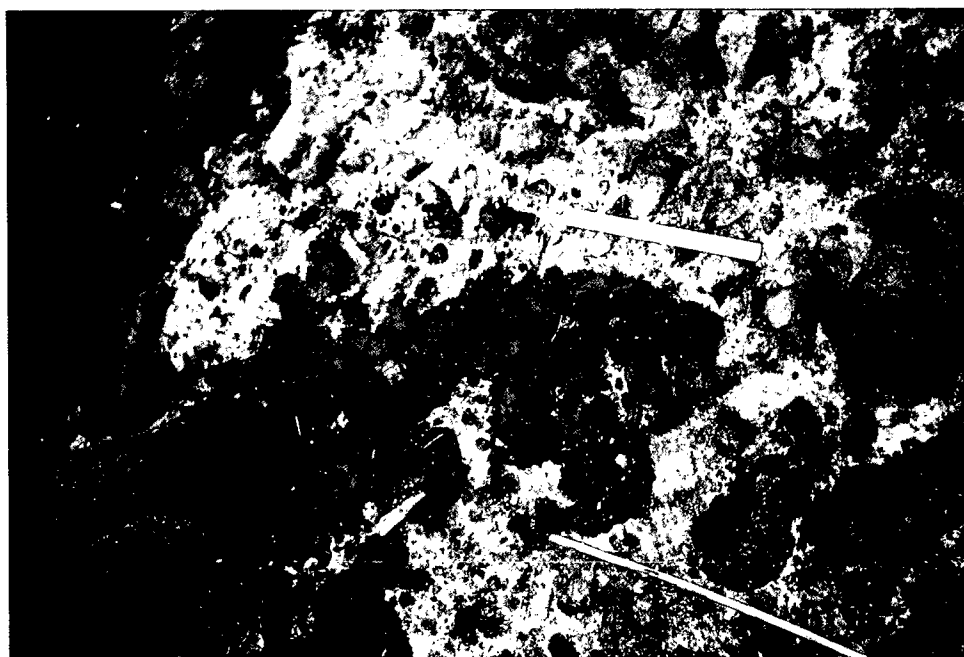
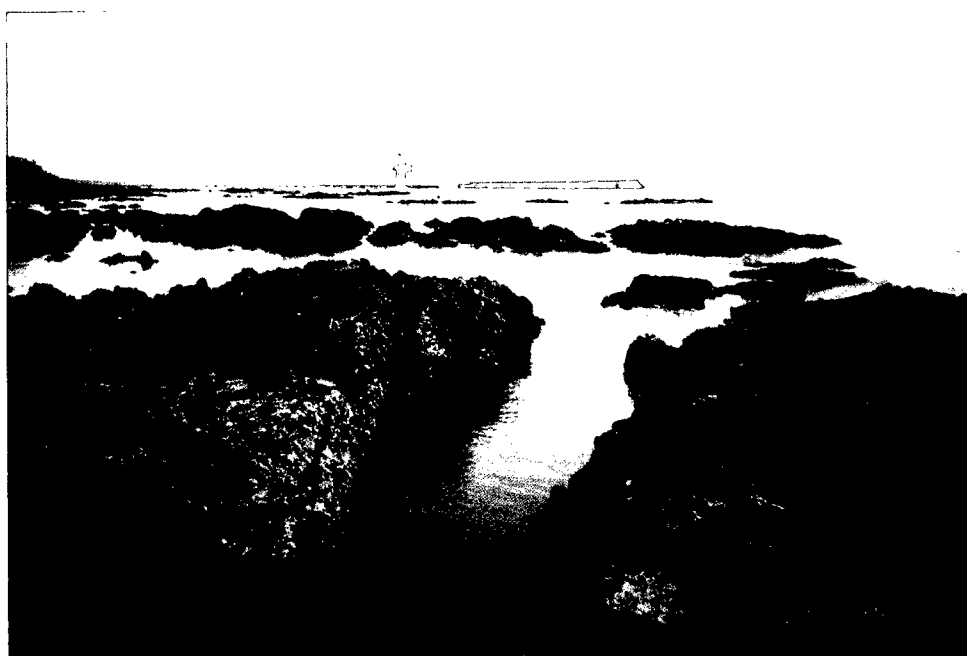
（撮影：1997年6月11日）



福井県三国町の浜地海岸では、高波の打ち上げ線に沿って油粒が見られ、
中には長さ約50cmの油塊も残っていた。（撮影：1997年6月11日）

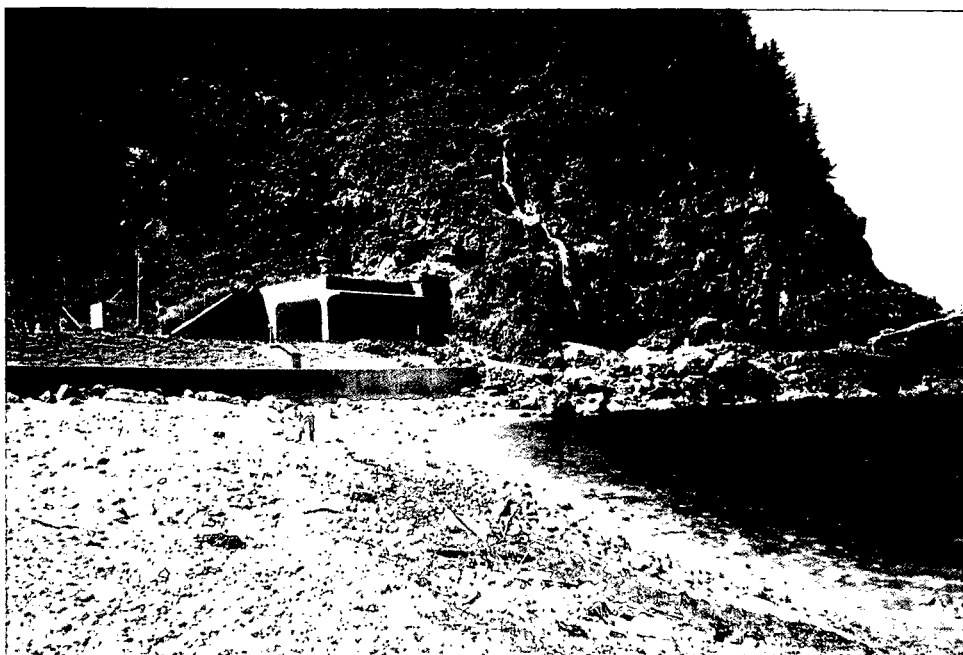


浜地海岸の西側の礫浜では、汀線付近には漂着油はないものの、
護岸の近くの礫には重油が付着していた。（撮影：1997年6月11日）

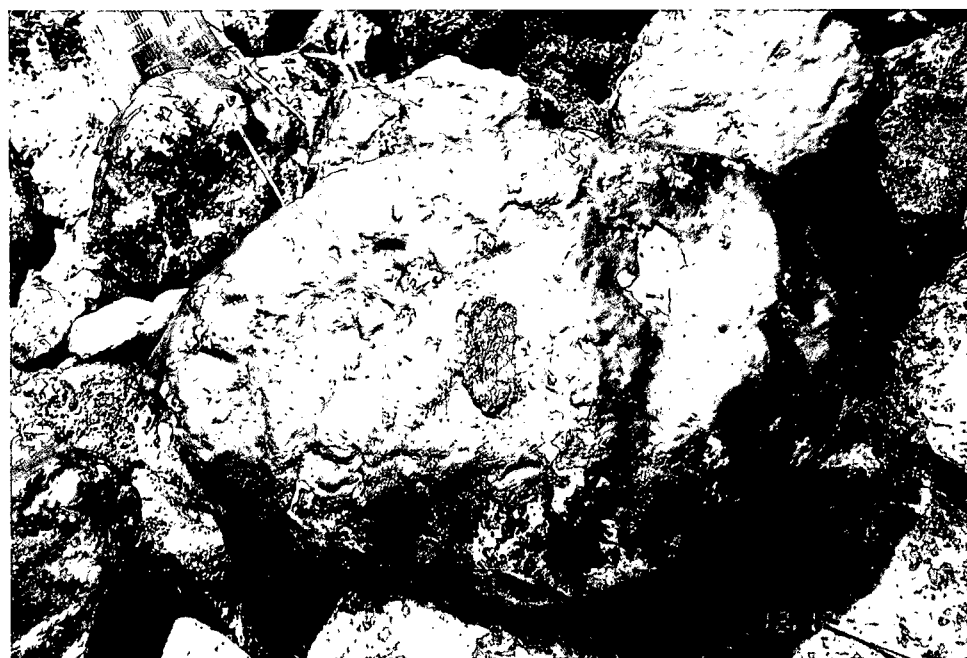


石川県志賀町の岩礁では、2月とあまり変わらない量の漂着油が残っていた。

(撮影：1997年6月11日)



石川県珠洲市の岩礁では、2月と異なり、
岩、緩傾斜護岸とも重油の付着は見られなかった。（撮影：1997年6月12日）



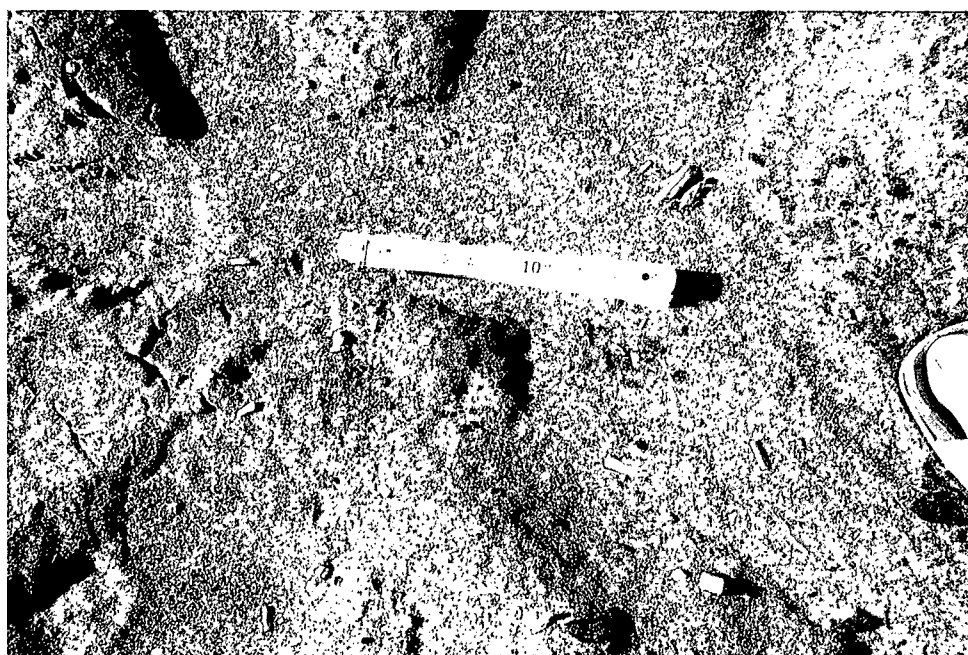
石川県珠洲市の長橋海岸では、背後に植生帯が繁茂するものの、潮上帯の礫には漂着油が付着していた。その表面は黒いが、中はこげ茶色であった。（撮影：1997年6月12日）



浜地海岸には、海水浴客が来ているが、遊泳区域外の砂浜には油粒が見られた。隣の礫浜は相変わらず重油が付着した礫が見られ、油臭が漂っていた。（撮影：1997年8月1日）



船首漂着地点では、油臭はしなかった。サンセットビーチも油粒がなく、
海水浴客で賑わっていた。（撮影：1997年8月1日）



石川県加賀市の片野海岸では、直径5cm程度の油塊が見られた。

(撮影：1997年8月1日)

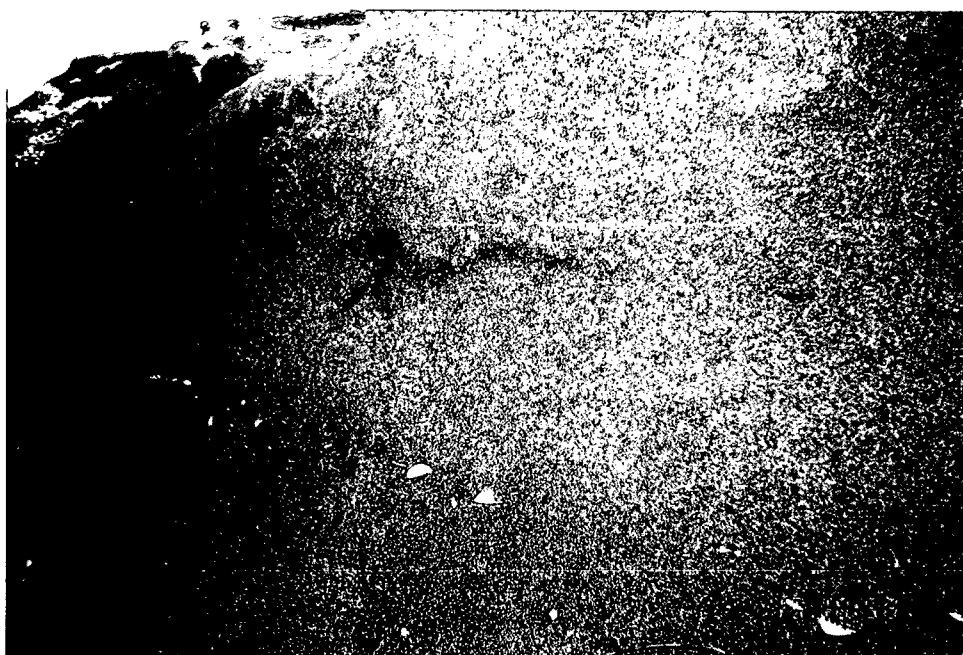


船首漂着地点では、仮設道路の撤去が進んでいた。周辺の礫浜を掘り起こすと、
重油が付着した礫が出てきた。（撮影：1997年11月15日）



浜地海岸の西側の礫浜では、相変わらず護岸の近くの礫には重油が付着していた。

（撮影：1997年11月15日）



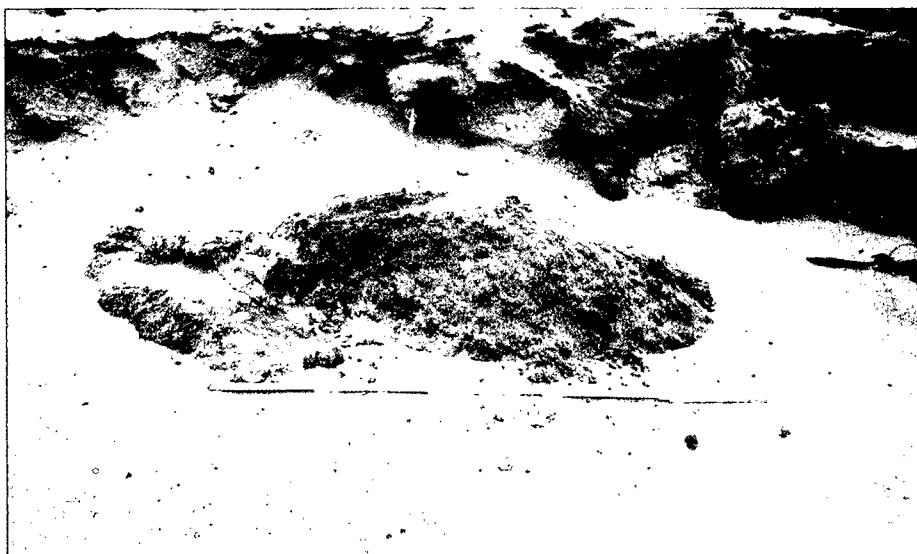
石川県加賀市の塩屋海岸では、浜崖に油層が見られた。（撮影：1997年11月15日）



浜地海岸の西側の礫浜では、これまでと同じく護岸の近くの礫には重油が付着していたが、触っても手に油は付かず、油臭もしなかった。（撮影：1997年12月13日）



塩屋海岸では、浜崖の上端から15cm程度下に油層が見られ、
浜崖の上にも油塊が見られた。（撮影：1997年12月13日）



片野海岸では、海浜変形により油混じりの砂が露出していた。塊を割って触れてみると、手に油が付着した。このほか、高波浪の打ち上げ線付近に油粒が見られた。

(撮影：1997年12月13日)



事故からほぼ2年が経ち、船首漂着地点では重油漂着の痕跡はほとんど認められない。

(撮影：1998年12月6日)



浜地海岸も塩屋海岸も、油粒や油層は見られなかった。（撮影：1998年12月6日）