流出油吸引回収時の粘性の影響*

上 田 浩 一** 山之内 博**

Influence of Oil Viscosity on Spilled Oil Recovery by Suction

by Koichi Ueda and Hiroshi Yamanouchi

During recovery of spilled oil, floating oil is contained with a barrier and the oil layer is thickened and removed. When the contained oil is recovered, the aim is to increase the recovery rate and to reduce the water content in the recovered oil-and-water mixture. When the recovered water is discharged after separation through the oily water separator on board, oil content has to be at or below 15 ppm. To make it easy to separate oil from water, the oil should be recovered with low water content. Oil recovery with no water content is ideal, but when the oil layer becomes thin, recovered oil contains a large amount of water.

In this study, oil was suctioned from above the surface of the oil layer to reduce water content in the recovered oil-and-water mixture. Even if air was sucked in with the oil, the air could be easily separated. When the suction inlet was located near the interface between the oil layer and the water, the water content increased; the influence of the clearance between the suction inlet and the oil layer surface and the influence of the oil viscosity were investigated experimentally.

In the low-viscosity case, at a clearance of 4 mm and using a vacuum cleaner, the oil was recovered well with low water content. In the case of high-viscosity oil, at a clearance of 3-4 mm and using a high-vacuum pump, oils could be recovered well with low water content.

1. はじめに

波浪中で静水面を造って流出油を回収する場合、水面上から油を回収する方法は表面油の流れを妨げないし、構造的に容易である。油が沿岸に漂着すると回収が難しくなる。海洋で油を回収する時、回収油中の含水率を小さくすることが必要である。ベルトやディスクに付着させて回収する方法はCooperら¹⁾により、ロープモップによる方法はSingsaasら²⁾によって研究されている。これらの方法は含水率は小さいが、回収量は多くない。表

層油の回収についてはTissot³⁾や日本造船研究協会⁴⁾により調査されている。これらの装置は水面下の装置である。波浪中で流出油を回収する場合、回収船の中に消波板や整流板で静水面を造って⁵⁾油層の上から回収する方法は構造的に容易である。そこで低含水率で回収量を多くするために、油層の上から吸引し回収する方法について調べた。空気は油と一緒に回収されても瞬間的に分離する。

2. 実験装置

図1に浮遊油上方からの吸引回収特性を評価するための実験装置概要を示す。実験装置は回流水槽、堰、吸引口、フレキシブルホース、吸引回収タンク（透明ガラス製）、真空ポンプで構成されて

*原稿受付 平成16年6月9日

**正 会 員 海上技術安全研究所（三鷹市新川6-38-1）

Vacuum equipment	Capacity	Pumping Speed	Ultimate Pressure
Vacuum cleaner	1.01kw	570liter/second	-17kPa
Vacuum pump	0.86kw	1.7liter/second	-100kPa

図1 実験装置概要

いる。吸引口から回収タンクまでのフレキシブルホースは内径3cmで長さは215cmである。実験は幅45cm、水深45cm、直線部の長さ8mの回流水槽で行った。水槽の直線部は観察するためにガラス製である。浮遊油層は堰の前に水流で滞留させておき層が定常状態になった後、油を真空にしたガラス製のタンクへ吸引回収した。回収タンク内の圧力を計測し、回収された油水の量を計量し含水率を求めた。回収タンクの真空には真空ポンプまたは真空掃除機を使用した。真空ポンプによって回収タンクは-100kPaまで真空にできるが排気量は少ない。真空掃除機は-17kPaまでの真空であるが排気量が多い。吸引口はトラバース装置により上下させ、油面（水面）と吸引口の間隙をねじで調整できる。吸引口を図2に示すように透明アクリル製で吸引口は8mm×75mm×2である。吸引口は図3のように設置した。吸引口は油層を滞留させるための堰の前方5cmの位置に設置した。

試験油として、低粘性の灯油、中粘性の潤滑油、高粘性の潤滑油を使用した。試験油の粘度を図4に示す。図4でOil-N、Oil-Eは潤滑油で、Oil-Kは灯油である。Oil-N、Oil-E、Oil-Kの比重は15℃でそれぞれ0.941、0.894、0.796である。油は観察し易くするために赤で着色した。深さ5cmの堰を回流水槽に設置し、流速 14～18cm/s に設定した

図2 吸引口

図3 吸引口の設置

図4 試験液の粘度

後、供試油を10³ツル（単位幅当たり222cm³/cm）注いだ。油を堰の前に滞留させ、それから吸引回収試験を行った。高粘性油の場合には流速が15cm/s以上になると堰から漏れ出す。吸引口と浮遊油層

の表面との間隙は2～4mmに変えて実験を行った。間隙測定用の針を吸引口に取り付けた。針で計測しないと、吸引口についた油滴や水滴の表面張力のため間隙を測定し難い。回収タンクに回収した油水混合物は約1時間静置して、油と水の回収量を計量した。実験前後の水位の変化を避けるために、回流水槽へは、水を実験中も注水しオーバーフローさせて実験を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 水の吸引実験 水面上から浮遊油層を吸引回収する場合、油と空気と水が同時に回収される。この時、油をできる限り多く回収し、含水率を少なくする必要がある。水面と吸引口の間隙がどの程度までの範囲で液を吸引回収できるかを調べるために、最初に、油層がない場合について実験を行った。吸引口と水面間の間隙と水の回収量の関係について実験した。水のための回収量の実験結果を図5に示す。図6に真空ポンプタイプの吸引回収時の回収タンク内の圧力、図7に掃除機タイプの吸引回収の場合の回収タンク内の圧力を示す。間隙が5mm程度まで回収でき、それより間隙を多くすると、空気の流入が増え液体の回収量が著しく減少することがわかった。この実験では10秒間吸引した。また水のように低粘性 $0.9 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ の場合には、管内の粘性抵抗が少ないため、低真空で排気量の多い掃除機タイプで回収できる。

3.2 油層による実験 油を使用した吸引実験結果を表1に示す。実験中の回収タンク内の圧力変化について、図8 (Oil-K)、図9 (Oil-E)、図10 (Oil-N) に示す。

低粘性油（灯油）の場合：

吸引口と油層の表面の間隔が大きくなるにつれて、含水率が小さくなり、圧力ドロップも図8のように小さい。間隙が4mmの時油分が100%の結果が得られた。灯油の場合、吸引口と堰の間の油層は薄くなることが観察された。低粘性の油を高真空のポンプで吸引する場合（図8のOil-K-4mmP）、管内の圧力損失は小さいため、一瞬に多量の水と油

図5 水のための吸引回収

図6 真空ポンプで吸引回収時の圧力変化

図7 真空掃除機で吸引回収時の圧力変化

が吸引される。回収タンク内の圧力が短時間に大気圧になるので、油を連続的に回収することはできない。低粘性浮遊油層の回収には排気量の多い掃除機タイプの真空装置が適している。

表1 実験結果

Symbol	Initial vacuum	Oil viscosity	Clearance	Water velocity	Initial oil thickness	Suction time	Recovery quantity of oil and water mixture	Oil content	Oil recovery rate
	kPa	Pa・s	mm	cm/s	mm	second	litre	%	litre/s
Oil-K-2mmC	-16	0.002	2	17	9	60	11.6	49	0.1
Oil-K-3mmCa	-16	0.002	3	17	10	60	6.3	63	0.07
Oil-K-3mmCb	-17	0.002	3	17	10	60	8.9	50	0.07
Oil-K-4mmC	-16	0.002	4	17	10	60	5.3	100	0.09
Oil-K-4mmP	-99	0.002	4	17	10	9	2.9	31	0.1
Oil-E-2mmP	-99	2.1	2	17	-	32	11.8	55	0.17
Oil-E-3mmPa	-96	1.9	3	18	21	30	5.5	100	0.18
Oil-E-3mmPb	-99	2.5	3	15	16	30	12.7	44	0.19
Oil-E-3mmC	-17	1.9	3	18	21	30	0.6	100	0.02
Oil-E-4mmP	-99	2.4	4	16	18	30	7.7	57	0.15
Oil-N-2mmP	-98	5.6	2	14	20	30	18.4	38	0.23
Oil-N-3mmPa	-100	10	3	15	-	32	8.25	21	0.05
Oil-N-3mmPb	-97	11	3	15	13	90	6.4	87	0.06
Oil-N-4mmP	-99	13	4	13	17	35	6.8	58	0.11

粘性のある油の場合：

粘性係数が1.9Pa・s（表1のOil-E-3mmC）の場合，真空掃除機では管内抵抗が大きく吸引圧力が不足し回収できないので，真空ポンプを使用した．間隙が2mmの時（Oil-E-2mmP）の観察では，吸引口の前の油層はスムーズに吸引口へ流れた．間隙が3mmの場合には吸引口と堰の間の油層はほとんどなくなり，吸引口前の油層は非常にゆっくりと流れた．回収油の含水率は56%であった（表1のOil-E-3mmPb）．間隙が4mm（Oil-E-4mmP）の場合，吸引口と堰の間の油層は回収されて，水面が現れた．間隙が3mm程度の時が油の回収率が良い．表1と図9のOil-E-3mmPbとOil-E-3mmPaの実験を比較すると，ほぼ同じ条件であっても回収時には油水界面が微妙に変化するので，回収油中の含水率が大きく異なってくる．水の混入量が管内の圧力損失に大きな影響を与え，含水率が少なくなると管抵抗が大きくなる．

非常に粘性の高い油の場合：

図10のOil-N-3mmPbの場合にはホースが高粘性油で閉塞した．ホースはできるかぎり短くする必要がある．Oil-N-2mmPの場合，気温が高くなり，

図8 水面上の灯油回収時のタンク内圧力変化（間隙：2,3,4mm）

図9 水面上のOil-Eの吸引回収時のタンク内圧力変化（間隙：2,3,4mm）

油の粘度が低くなり、油層の動きがスムーズに吸引口に流れ、多量の水と油が吸引された。油がいくらかの水と共に回収されると、Cooper⁶⁾の環状水封入のように、管内の圧力損失は図10のOil-N-3mmPaの実験のように小さくなる。

4. まとめ

水面上にある油層を上方から吸引によって油を回収する場合、低真空中で排気量の多い真空掃除機タイプが灯油のような低粘性油には適している。高真空の真空ポンプが粘性のある油には適している。吸引口と油層との間隙については、灯油のような低粘性油には含水率と回収量から考えると4mm程度が適しており、高粘性油には同じか少し狭い3～4mmの間隙が良い。低粘性油は真空掃除機タイプで連続的に吸引回収できる。しかしながら高粘性油を真空ポンプによって回収する場合は、油と水の混合状況により管内の圧力損失が著しく変化する。

参考資料

- 1) Cooper, D and A. Obenauf, "Canola Oil-Pick It Up!", in Proceedings of the Twenty-fifth Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, ON, pp.115-126,2002
- 2) Singsaas, Ivar, Per S. Daling, Mark Reed, Merete P. Moldestad and Hans V. Jensen, "The Influence of Physical-Chemical and Rheological Properties of Oils on Skimmer Performance", in Proceedings of the Twenty-fourth Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, ON, pp.303-317,2001
- 3) Tissot, P., C.Fuller, P. Louchouart, J. Bonner, S. Dellamea, and D. Bujnoch, "Quantitative Method for Surface Oil Measurement and Recovery Based on a New Type of Low Impact Skimmer", in Proceedings of the Twenty-third Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Canada, Ottawa, ON, pp.353-366,2000
- 4) 海洋油濁防止装置の性能評価基準に関する調査研究報告書, 日本造船研究協会, 昭和56年3月
- 5) Ueda, K., H. Yamanouchi and K. Hikida, "Recovery of Spilled Oil in Waves", in Proceedings of the Twenty-fourth Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, ON, pp.275-283,2001

図10 Oil-Nの吸引回収時の圧力変化
(間隙：2,3,4mm)

- 6) Cooper, D.W. and R. Mackay, "Assisted Pumping of Extremely Viscous Oils", in Proceedings of the Twenty-fourth Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, ON, pp.373-386,2001

質疑応答

〔質問1〕

低粘性、高粘性油と分けて考えられていますが、実際上は海上を油が漂っている間にかなりエマルジョン化されると思いますがその辺の検討はいかでしょうか。

〔回答〕

流出油の粘度は流出直後の軽質油からエマルジョン化した油を考えると $1\text{mPa} \cdot \text{s}$ から $10^7\text{mPa} \cdot \text{s}$ までの広範囲になります。2500 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 以上の粘性の油になりますと、5mm程度のネットベルト等で掬って回収できます。この吸引回収は流出直後の流動性のある早期の回収向きで、この場合に $10^4\text{mPa} \cdot \text{s}$ 程度までの油を回収できますが、この範囲でも粘性に応じて吸引方法をきめ細かくして回収することにより回収性能の向上をはかろうとするものです。

〔質問2—(1)〕

吸引口の材質は何ですか。

〔回答〕

回収油水の流れを観察するために透明なアクリルで作っています。

〔質問2－(2)〕

現在実用化されている他の方式と回収率（量）などを比較するとどのようなになるか。

〔回答〕

ベルトやディスクやロープモップに付着させて回収する方法では含水率は少ないが、単位時間の回収量は多くない。表層油を水面下のトラップに流して回収する方法では回収量が多いが、含水率が高い傾向にある。上からの吸引回収は水面下に消波板や整流板等による集油装置を設置しても構造上問題なく、空気と油と一緒に回収しても分離し易い。

〔質問2－(3)〕

実際に回収船クラスで実現可能か。

〔回答〕

粘度1300mPa・sの油を厚さ6mmに散布し、幅1.2m、長さ3.5mの波浪対応型流出油集積装置を設置した双胴船の模型（1/20縮尺模型）に、上方からの吸引装置を設置し、波高10cm、模型船速度10cm/sで曳航しながら行った実験では100秒間で30%の油を回収できた。実現可能と考えられる。（参照：参考資料5）及び特許第3385366号波浪対応型流出油集積装置）