

フレキシブル袋体を用いた液体燃料の地下貯蔵システムの研究開発

New Underground Liquid Storage System

吉村 隆・藤城春雄..・井上秀之..・傳田 篤...

Takashi YOSHIMURA, Haruo FUJISHIRO, Hideyuki INOUE, Atsushi DENDA

New type fuel for thermal power plants such as emulsified liquid of bitumen and water is now attracting the attention of some power companies. This new type fuel is so far stored in the modified conventional tank for C heavy oil.

In the new underground liquid storage system mentioned here, several big balloons made of elastic membranes are installed into an in-ground tank, which is filled with water or sometimes seawater. This storage system has several advantages compared to the conventional tank in the point of safety control, simplicity of daily control, construction cost, etc. And also this system is available for many kind of liquid even if their density is quite different from that of water or seawater.

Key words: underground storage, emulsified liquid fuel, synthetic resin, thermal power plants

1. はじめに

昨今の電力事業をみると、電力コストの削減が叫ばれている一方、1997年12月に開催された第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)にみられるような厳しい環境規制が課せられるなど、極めて厳しい状況下にある。このような中で、安価で良質な電力の安定供給という大命題の下に様々な企業努力が行われている。特に、火力発電用の燃料については、長期的に安定な燃料の確保に努めつつも、一方では燃料の種類や供給源の多様化等によるリスク分散をはかっており、その一環として新しいエマルジョン系燃料が注目されてきている。このエマルジョン系燃料は、重油や石炭の代替エネルギーとして石炭をしのぐ様々なメリットが期待されている^{1,2)}。

筆者らは、エマルジョン系燃料を対象に新しい地下貯蔵システムの研究開発を行っている。地下構造物の構築技術については既に確立されており、数多くの実績があるため、本報では新しい貯蔵システムの提案、基本的な貯蔵理論の検討および小型試験体による確認実験の結果に絞って報告する。

2. 火力発電用燃料の貯蔵

2.1 火力発電用燃料貯蔵の現状

代表的な火力発電用燃料である石油、石炭、LNGおよびLPGについて、現在適用されている貯蔵方法についてまとめると表-1に示すようになる。こ

表-1 代表的な貯蔵方法¹⁾

燃料	貯蔵方式
石油系	地上式
	地中式(地下式)
	岩盤式
	洋上式
石炭	地上式貯炭 (屋外)
	岩盤内貯炭 (屋内)
LNG	地上式
LPG	地下式
	地上式
	地下式

キーワード：地下貯蔵，エマルジョン系燃料，高分子系膜材料，火力発電所

* 正会員 清水建設株式会社 エンジニアリング本部 課長

** 同上 技術研究所

*** 同上 技術研究所 主席研究員

れらの中で最も一般的な貯蔵方式は地上式や地下式のタンクである。地上式タンクの規模は数百 m^3 ～十数万 m^3 程度、地下式タンクは数万 m^3 ～数十万 m^3 程度であり、その規模は貯蔵目的、利用方法によって種々様々である。

2.2 エマルション系燃料の貯蔵

最近注目されているエマルション系燃料は、瀝青物に水と界面活性剤を添加してエマルション化したものであり、常温では液状物質で、密度は水や海水と同程度である³⁾。しかし、過度のせん断力が作用すると分散している瀝青物粒子が凝集し、粘度が高くなり液状物質として取り扱うことが困難になる、いわゆる非ニュートン流体の性質を有している。したがって、攪拌に弱く給排出の搬送時にせん断力のかかりにくいスクリーポンプなどを使用する必要がある。また、エマルション系燃料は、水を数十%含有しているため、引火点が測定できず非危険物として扱われ、低温・高温環境の貯蔵では変質するために、 15°C ～ 30°C の温度範囲で貯蔵する必要がある。

現時点では、エマルション系燃料の特性を考慮して設計された専用貯蔵施設がないため、従来型の重油用の地上式タンクに加温・保温設備を付帯したり、ポンプを変更したりして利用している。一般に、重油タンクのような危険物仕様の貯蔵施設は、JIS B 8501「鋼製石油貯そうの構造」において、使用可能な材料、接合方法、形態および容量等が定められているが、エマルション系燃料のような消防法上で非危険物として取り扱うことができるものの貯蔵に危険物仕様の貯蔵施設を適用すると、タンク材料の品質や施工基準等が過剰になる。

以上のことから、ここでは非危険物であるエマルション系燃料の特性を考慮した簡易でかつ合理的な新しい地下式貯蔵方法を検討、提案することにした。

2.3 フレキシブル袋体による貯蔵システム

エマルション系燃料の特性や現状の貯蔵施設の改善点を考慮し、筆者らは図-1に示すような膨張・収縮が自由なフレキシブル袋体を用いた貯蔵方法（以下、フレキシブル袋体方式と呼ぶ）を考案した。

この貯蔵方式では、地下に構築した貯水槽に外部液体（海水等）を充填し、その中に膜材で作製したフレキシブル袋体を設置して、この袋体の内部に内部液体（エマルション系燃料）を貯蔵するものである。

フレキシブル袋体方式による貯蔵には、以下のような特徴や利点があげられる。

- (1)フレキシブル袋体方式にエマルション系燃料を貯蔵すると、外部液体の海水や水と密度が同程度であるため、エマルション系燃料の容量が変化しても、エマルション系燃料の液面は常に外部液体の水位にはほぼ一致することになる。また、ここで提案している本システムでは外部液体に対する供給・排出設備を有しているため、外部液体の水位を一定に保持することができる。
- (2)一般に、火力発電所における燃料の出力調整は流量制御バルブによって行われるが、エマルション系燃料は前述したように非ニュートン流体であるため、その性質上からバルブによる流量制御が困難である。フレキシブル袋体方式では、外部液体の水位を調整することによって、エマルション系燃料の液面を制御す

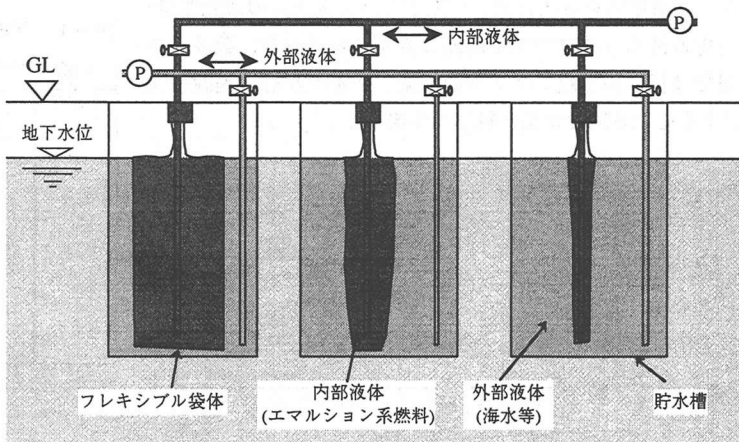


図-1 フレキシブル袋体による貯蔵方式

ることができ、地上に設置したポンプの吸い込み側のサクシオンヘッドを調整することができる。このため、大きな吸引力は有していないが、せん断力が作用せずにポンプの回転数によって流量の調整ができるスクリーンプンプの使用が可能である。

- (3)地上式タンクにエマルジョン系燃料を貯蔵すると、タンク底部にスラッジ等が堆積しやすいため、定期的なメンテナンスが必要である。一方、フレキシブル袋体方式ではエマルジョン系燃料の供給・排出時に袋体が一様に膨張・収縮する機構のため、袋体の底部にスラッジ等の堆積が少なくなり、袋体の定期的なメンテナンスや点検がきわめて簡単になる。
- (4)フレキシブル袋体の点検時には袋体を吊り上げればよく、貯水槽内の海水をポンプアップする必要があるため、施工時を除けば構造物に作用する側圧は内水圧分だけ相殺される。また、底版についても前述したように内部液体の貯蔵容量にかかわらず外部液体の水位を常に一定に保持できるため、その重量分だけアップリフトが低減され、底版厚を薄くすることができる。したがって、既往の地下式タンクと比較して構造的にスリム化が可能になり、経済的である。
- (5)エマルジョン系燃料は15～30℃の範囲で貯蔵することが求められており、わが国の冬期の気温によっては保温が必要となる場合も少なくない。フレキシブル袋体方式は、発電所施設の復水器からの温排水の利用が可能であること、また地下施設のため保温性は地上式に比較して優れていることから、保温設備が不要になり、経済的である。
- (6)フレキシブル袋体を外部液体と貯水槽が保護しており、しかもエマルジョン系燃料と外部液体の密度がほぼ同程度であることから、万が一袋体が破損しても急激に漏洩する可能性は小さい。また、地下式であるため、漏洩しても貯水槽内の外部液体の水位を周囲地盤の地下水位より少し低くすれば周辺地盤への拡散を防止することが可能であり、汚染範囲を貯水槽内に限定できるために対策は取りやすい。

3. フレキシブル袋体による貯蔵システムの基本的検討

3.1 目的

2章において提案したエマルジョン系燃料の貯蔵システムは、フレキシブル袋体内外の液体の密度が同程度である時は、袋体や貯蔵燃料の給排出設備に作用する負荷を小さくすることができる。また、この貯蔵システムは、袋体や給排出設備を適切に設定すれば、外部液体と異なる密度の液体を袋体の内部に貯蔵することも可能であると考えられる。ここでは、当貯蔵システムで種々の密度の液体を貯蔵することを想定し、袋体内外の液体の密度を変化させた場合の袋体挙動について検討する。

3.2 液密度と釣り合い

外部液体中に沈設したフレキシブル袋体に各種液体を貯蔵した場合の釣り合い条件は、袋体内外の液密度の大小関係によって異なり、貯蔵システムを設計する上での釣り合いを考慮する必要がある。この釣り合い条件は、液密度、内部液体の容積およびフレキシブル袋体に作用する外力との関係で決まり、これらは内部液体の給排出に伴うフレキシブル袋体の膨張・収縮挙動に影響する。したがって、外部液体に比べて内部液体の密度が大きい場合、等しい場合および小さい場合の3ケースについて、その釣り合い条件を考察することにする。

3.3 液密度とフレキシブル袋体の挙動

3.3.1 内部液体の密度が外部液体より小さい場合

内部液体の密度が外部液体より小さい場合には、袋体内部に供給される液体は、図-2に示すように一部が外部液体の液面上に浮き上がって釣り合うことになる。その釣り合い条件は(1)式で与えられ、内部液体の自重と外部液体から受ける浮力が等しくなるところで釣り合う。

$$\rho_i \cdot g \cdot V_i - \rho_o \cdot g \cdot V_{i2} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ρ_o : 外部液体の密度(t/m³)、 ρ_i : 内部液体の密度(t/m³)、 g : 重力加速度(m/s²)、 V_i : 内部液体の全容

積 ($V_i = V_{i1} + V_{i2}$) (m^3)、 V_{i1} を外部液体の液面上部に貯蔵されている内部液体の容積(m^3)、 V_{i2} を外部液体の液面下部に貯蔵されている内部液体の容積(m^3)とする。

供給した液体は (1) 式の釣り合いを保ちながら上部から下方に貯蔵され、また排出時も (1) 式の釣り合いを保ちながら下方から上部に排出されていくと考えられる。外部液体の液面上部に浮き上がった内部液体の量について、貯蔵した内部液体の総量に対する割合で表すと (2) 式が得られる。

$$V_{i1} = (1 - \frac{\rho_i}{\rho_o}) \cdot V_i \dots\dots\dots (2)$$

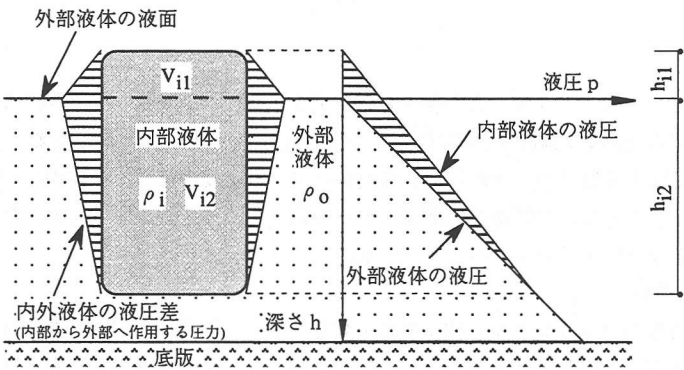
(2) 式より、外部液体の液面上部に浮かぶ内部液体の容積は、袋体内部の液体の容積と、袋体内外の液密度の差に比例して大きくなることわかる。また、袋体天端からの内部液体の深さ h の位置において袋体に作用する袋体内外の液圧差は、(3) 式と (4) 式で与えられる。

$h_{i1} > h \geq 0$ のとき、 $\Delta p(h) = \rho_i \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (3)$

$h \geq h_{i1}$ のとき、 $\Delta p(h) = \rho_o \cdot g \cdot h_{i1} - (\rho_o - \rho_i) \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (4)$

ここで、 h は袋体天端からの内部液体の深さ(m)、 $\Delta p(h)$ を深さ h において袋体に作用する液圧差(tf/m^2)、 h_{i1} を袋体天端から外部液体の液面までの深さ(m)とする。

(3) 式は外部液体の液面から浮き上がっている袋体部分の内部液体の液圧を示しており、外部液体の液面位置に近いほど袋体に作用する液圧差が大きくなることを表し、(4) 式は外部液体の液面から深い位置ほど袋体に作用する液圧差は小さくなることを示している。すなわち、内部液体の密度が外部液体より小さい場合には、袋体に作用する液圧差は外部液体の液面位置で最大となる。



図一 2 $\rho_i < \rho_o$ の場合の貯蔵形式

3.3.2 内部液体と外部液体の密度が等しい場合

内部液体と外部液体の密度が等しい場合には、袋体の内部に供給される液体は、図一 3 に示すように内外液体の液面が一致した状態で貯蔵され、その釣り合い条件は (5) 式で与えられる。すなわち、供給した液体は袋体の内部に均一に拡散し、排出時も袋体全体から均一に排出されていくと考えられる。

$$\rho_i \cdot g \cdot V_i - \rho_o \cdot g \cdot V_i = 0 \dots\dots\dots (5)$$

この場合に袋体に作用する液圧差は (6) 式で与えられる。

$$\Delta p(h) = (\rho_o - \rho_i) \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式から、内部液体と外部液体の密度が等しい場合には内外液体の液圧が相殺されるので、袋体には液圧差は生じないと考えられる。

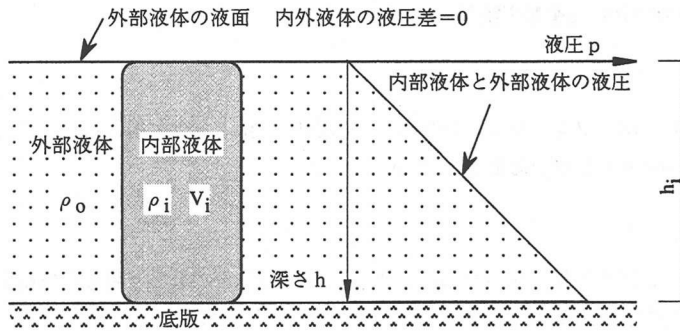


図-3 $\rho_i = \rho_o$ の場合の貯蔵形式

3.3.3 内部液体の密度が外部液体より大きい場合

内部液体の密度が外部液体より大きい場合には、袋体の内部に供給される液体は、図-4に示すように内部液体が外部液体の液面下に沈んだ状態で貯蔵され、その釣り合い条件は(7)式で与えられる。袋体は、内部液体の自重と外部液体から受ける浮力との差を底板が支持し、その支持荷重は貯蔵量に応じて変化する。供給した液体は(7)式の釣り合いを保ちながら袋体の下部から上方に貯蔵され、また排出時も(7)式の釣り合いを保ちながら上方から下部に排出が進むと考えられる。

$$F = (\rho_i - \rho_o) \cdot g \cdot V_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで、F：水槽の底板が袋体を支持する荷重(tf)である。

袋体天端からの内部液体の深さhの位置において袋体に作用する袋体内外の液圧差は(8)式で与えられる。

$$\Delta p(h) = (\rho_i - \rho_o) \cdot g \cdot h \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8)式は深い位置ほど袋体に作用する液圧差は大きくなることを示している。すなわち、内部液体の密度が外部液体より大きい場合には、袋体に作用する液圧差は底板付近で最大となる。

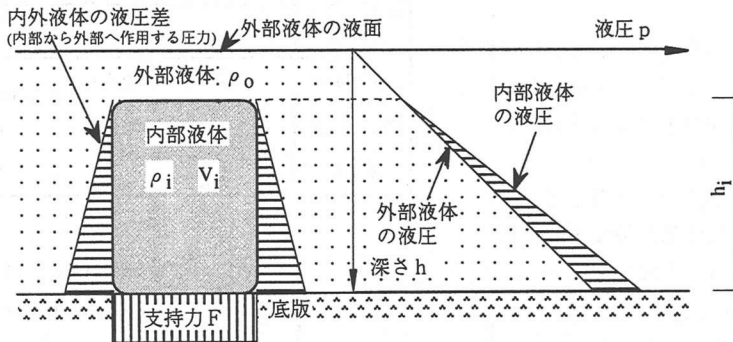


図-4 $\rho_i > \rho_o$ の場合の貯蔵形式

3.4 検討結果

本検討において、袋体内外の液比重が変化した場合に生じる袋体の基本的な挙動が把握できた。すなわち、内部液体の密度が外部液体の密度に比べて小さい場合は袋体の一部が浮き上がった状態で袋体の上部から内部液体が溜まり、等しい場合は内部液体が袋体の内部に均一に拡散しながら溜まり、大きい場合は袋体が沈んで袋体の下部から内部液体が溜まる、という貯蔵モードを示すと考えられる。袋体に作用する液圧差は、袋体内外の液密度が同等の場合はほとんど発生しないと考えられる。また、袋体内外で液密度が異なる場合は、密度差に応じて袋体に液圧差が作用する。

4. 小型フレキシブル袋体を用いた挙動実験

4.1 目的

前章の基本的検討をもとに、フレキシブル袋体内外の液密度を変化させた場合について、内部液体の給排出に伴うフレキシブル袋体の膨張・収縮挙動を実験的に確認した。

4.2 実験概要

4.2.1 フレキシブル袋体

袋体内部の液体挙動の観察を容易にするために本実験では、図－5に示す透明な合成樹脂フィルムで作製した矩形の封筒型袋体を用いた。袋体には、予め上部のパイプから内部液体の給排出管を挿入し、これを実験に使用した。

4.2.2 袋体内外の液体

袋体内外の液体の種類と組合せは、表－2のとおりである。すなわち、水道水と塩化カルシウム水溶液を用いて、袋体内外の液密度を調整し、外部液体に比べて、内部液体の密度が大きい場合、等しい場合および小さい場合の3条件で実験した。

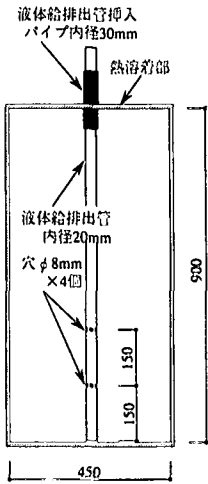
4.2.3 実験方法

図－6のガラス水槽と一軸スクリーポンプを組み合わせた実験装置を用い、内部液体の給排出に伴う袋体挙動の確認実験を実施した。内部液体の給排出に伴う袋体挙動は、供給開始前、供給中、供給終了時、排出中および排出終了時に袋体の膨らみ方やしわの発生状況を観察し、写真撮影した。内部液体の供給の打ち切りは $4.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$ （満杯の約90%）とし、内部液体の給排出時の流速は毎分 $1.0 \times 10^4 \text{ cm}^3$ とした。なお、内部液体は、袋体の膨張・収縮挙動を確認しやすくするために、水道水を緑色に、塩化カルシウム水溶液を青色に着色した。

4.3 実験結果

袋体の内外の液密度を変化させた袋体挙動実験の結果を写真－1～写真－4に示した。これらの結果から、明らかな事項は以下のとおりである。

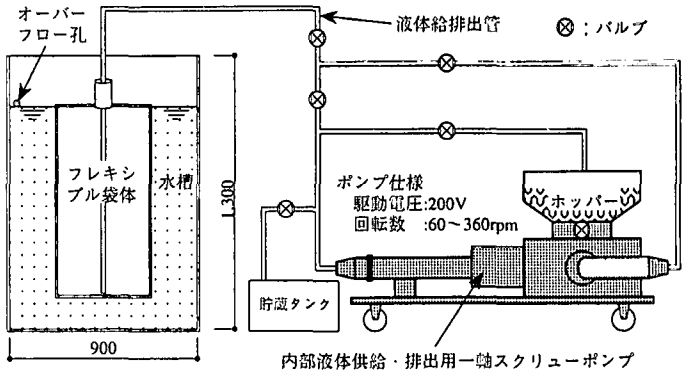
- (1) 内部液体の密度が外部より小さい場合は、内部液体が袋体上部から溜まり始め、内部液体の一部が外部液体の液面上部に浮き上がって釣り合った状態で次第に下方に溜まってゆき満杯になった。排出では、浮き上がった内部液体が外部液体との釣り合いを維持しながら、供給とは逆に下方から上方に排出が進んだ。
- (2) 内部と外部の液密度が等しい場合は、内外液面が一致した状態



図－5 袋体の形状(単位：mm)

表－2 袋体内外の液密度

内外液密度の 大小関係	液体の密度 (U/m^3)	
	内部液体	外部液体
内部<外部	1.00 (水道水)	1.05 (塩化カルシウム水溶液)
内部=外部	1.00 (水道水)	1.00 (水道水)
内部>外部	1.20 (塩化カルシウム水溶液)	1.00 (水道水)

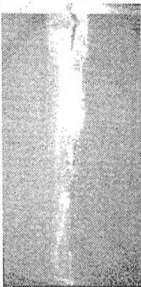
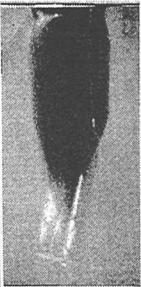
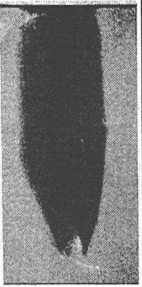
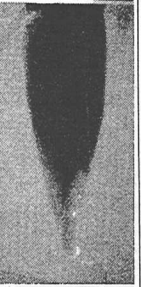
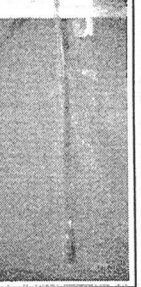


図－6 実験装置の概要

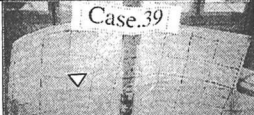
で内部液体が袋体全体に均一に拡散しながら溜まり、排出時も内外液面が一致した状態で袋体全体から均一に排出された。

(3) 内部液体の密度が外部より大きい場合は、内部液体が袋体下部から溜まり始めて内部液体の液面が外部液体より低い位置を維持し、次第に上方に溜まってゆき満杯になった。袋体の吊り部には、内部液体の自重と浮力の差が荷重として作用した。排出では、供給とは逆に上方から下方に排出が進んだ。

写真－１ 内部液体の密度が外部液体より小さい場合の袋体挙動

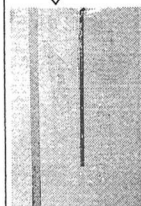
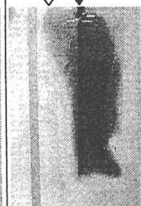
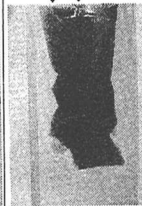
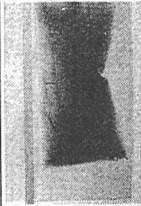
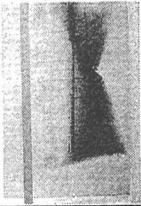
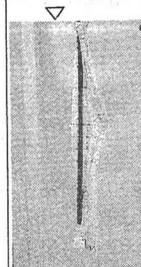
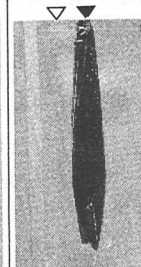
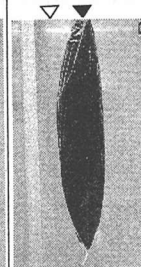
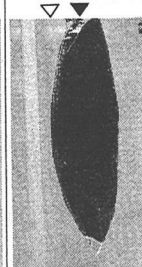
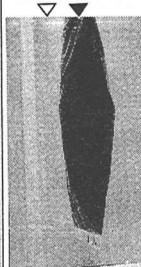
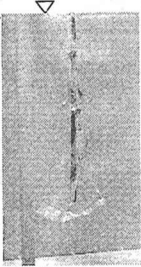
液体の貯蔵量(%)	供給			供給終了	排出		
	0%	30%	60%	90%	60%	30%	0%
側面							

写真－２ 内部液体の密度が外部液体より小さい場合の液面位置の推移

液体の貯蔵量(%)	供給			供給終了
	0%	30%	60%	90%
正面 上部				

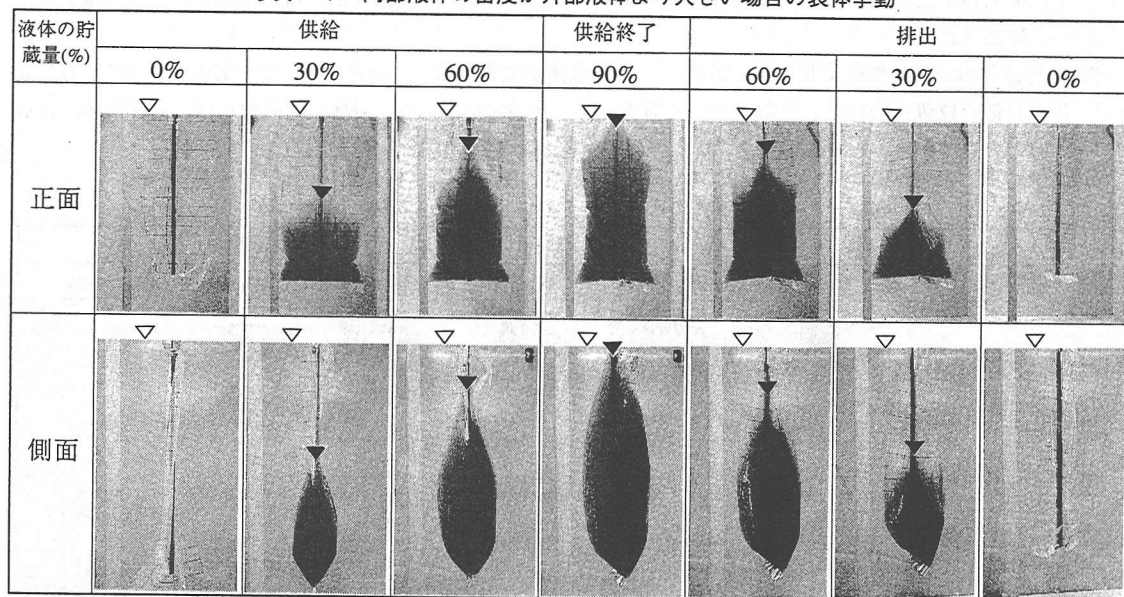
▼：内部液体の液面位置 ▽：外部液体の液面位置

写真－３ 内部と外部の液密度が等しい場合の袋体挙動

液体の貯蔵量(%)	供給			供給終了	排出		
	0%	30%	60%	90%	60%	30%	0%
正面							
側面							

▼：内部液体の液面位置 ▽：外部液体の液面位置

写真－4 内部液体の密度が外部液体より大きい場合の袋体挙動



▼：内部液体の液面位置 ▽：外部液体の液面位置

4.4 まとめ

本実験の結果から、内外の液密度の大小関係で内部液体の溜まり方、排出状況、液面位置および満杯時の袋体の釣り合い位置が異なることが明らかになった。すなわち、3章で述べたとおり、外部液体の密度に比べて、内部液体が小さい場合は上部から、等しい場合は全体に均一に、大きい場合には下部から溜まる貯蔵モードであることが実験で確認できた。また、満杯時の袋体の釣り合い状態は、外部液体の密度に比べて、内部液体の密度が小さい場合は浮力により袋体の一部が外部液体の液面より上部に浮き上がり、等しい場合は内外液体の液面が一致し、大きい場合は袋体が沈んで内部液体の液面が外部液体より下がる現象が実験的に確認できた。

5. 今後の検討課題

エマルション系燃料の特性を考慮してフレキシブル袋体を用いた新たな貯蔵方法を提案し、貯蔵の仕組みの基本的検討および給排出にともなうフレキシブル袋体の挙動の実験的検討を行った。これらの結果を踏まえて、実機貯蔵システムの実現に向けての課題を整理すれば、以下のようなものが挙げられる。

(1) 貯蔵システムに関して

フレキシブル袋体方式で実際にエマルション系燃料を貯蔵するためには、貯蔵システムとして確立することが必要である。特に、貯蔵規模にともなう貯蔵形態や形状の検討、貯水槽の構造や施工方法、耐震設計法およびプラントシステムなどの検討が重要となる。

(2) 袋体に関して

長期にわたってエマルション系燃料と接しても劣化の少ないメンブレン材料の選定や袋体の製造・加工方法を検討する必要がある。また、貯蔵規模に応じた袋体の形状、設置する袋体の数および配置等の検討が必要である。本報告では、小型のフレキシブル袋体の挙動を確認したが、立体形状の袋体の挙動あるいは複数の袋体を設置した場合の袋体の膨張・収縮挙動についても検討する必要がある。

(3) その他

フレキシブル袋体方式では、貯水槽の外部液体に海水を利用することを提案しており、海生生物の付着等の対

策を講じる必要がある。また、本貯蔵システムを長期間使用するためには、安全・維持管理方法についても検討を加える必要がある。さらに、地下構造物を構築する際には既存の技術を水平展開する予定ではあるが、適用が困難な場合には、その影響や対策についても検討する必要がある。

6. おわりに

火力発電用燃料の種類や供給源の多様化等によって、最近注目されてきている新しいエマルジョン系燃料の特性を考慮した簡易でかつ合理的な新しい地下式貯蔵のフレキシブル袋体方式について、2章で提案した。また、3章ではフレキシブル袋体方式の基本的な貯蔵理論の検討を行い、4章では小型試験体による袋体の挙動を実験的に確認した。その結果、以下に示す事項を明らかにすることができた。

- (1) 地下に構築した貯水槽に外部液体（海水等）を充填し、その中に膜材で作製したフレキシブル袋体を設置して、この袋体の内部に内部液体（エマルジョン系燃料）を貯蔵するフレキシブル袋体方式を考案した。
- (2) フレキシブル袋体方式は、袋体や給排出設備等を適切に設定すれば、外部液体と異なる様々な密度の液体を貯蔵することができる。
- (3) フレキシブル袋体方式では、内外の液密度の大小関係で内部液体の溜まり方や排出状況が異なり、外部液体の密度に比べて、内部液体が小さい場合は上部から、等しい場合は全体に均一に、大きい場合には下部から溜まる貯蔵モードであることが確認できた。
- (4) 液面位置および満杯時の袋体の釣り合い位置は、外部液体の密度に比べて内部液体の密度が小さい場合は浮力により内部液体の一部が外部液体の液面より上部に浮き上がり、等しい場合は内外液体の液面が一致して浮き上がり、大きい場合は袋体が沈んで内部液体の液面が外部液体より下がる現象が確認できた。

また、実機貯蔵システムの実現に向けての課題としては、以下のことなどが挙げられる。

- (1) 貯蔵規模にともなう貯蔵形態や形状の検討、貯水槽の構造や施工方法、耐震設計法およびプラントシステムなどについて検討する。
- (2) 劣化の少ないメンブレン材料の選定や袋体の製造・加工方法の検討および立体形状の袋体の挙動あるいは複数の袋体を設置した場合の袋体の膨張・収縮挙動などについて検討する。
- (3) 海生生物の付着等の対策や安全・維持管理方法などについて検討する。
- (4) 既存技術を見直して、対応できない場合の影響や対策を検討する。

今後はこれらの検討を踏まえて、フレキシブル袋体方式を新たな地下式貯蔵システムとして確立していく予定である。

本開発研究は、財団法人エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センターの平成9年度社会開発システム策定事業の一つとして実施した調査研究分科会「新燃料（超重質油）の地下貯蔵システムの可能性に関する調査研究」（分科会長：中央大学 國生剛治教授）の成果⁴⁾の一部と、清水建設が独自に行った実験結果についてまとめたものである。本報告にあたり、清水建設技術研究所小野正主任研究員、同土木本部土屋信洋氏、田中榮一氏、小川晃氏には多大なご協力を得たことを記し、ここに深甚なる謝意を表する次第である。

また、「新燃料（超重質油）の地下貯蔵システムの可能性に関する調査研究」の遂行にあたっては、多くの方々からさまざまな指導や助言をいただくとともに、本調査研究分科会に参加していただいた方々には、多大なる労をも厭わず、精力的に取り組んでいただいた。ここに併せて心から感謝を表する次第である。

[参考文献]

- 1) 松本清一; オリマルジョン導入の状況とその他非在来型炭化水素について; 国際エネルギー動向分析, No.198, pp.70-92, 1994
- 2) 市川和芳ほか; 天然オリノコ重質油(オリマルジョンTM)のガス化方式に関する基礎的検討; 電力中央研究所横須賀研究所報告, No.W93008, 1993
- 3) Franzo Marruffo, et al; Orimulsion an alternative source of energy; International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems(22th) Clearwater, pp.13-24; 1997
- 4) (財)エンジニアリング振興協会; 平成9年度「新燃料(超重質油)の地下貯蔵システムの可能性に関する調査研究」報告書, 1998