

復水器微小海水漏洩管の新検知法

「火力原子力発電」平成2年1月号抜萃

復水器微量海水漏洩管の新検知法

(New Method of Detecting Trace Leakage of Seawater from Condenser Tubes)

石部 忠生*・茂木 道教**
(Tadao Isibe) (Michinori Mogi)

Detection of seawater leakage from the steam turbine condenser tubes in thermal power plants has been formerly done using conventional films. This method, however, has shortcomings such as the difficulty in detecting leakage from pin holes of diameters below 0.1 mm and the long time required for the work, making it difficult to act quickly in an emergency. The new method, using foamed film, was tested in thermal power plants and proved to have many advantages over the conventional film method such as its remarkably enhanced sensitivity, high efficiency in identifying the leaking tube and easing of detection work.

はじめに

蒸気タービン復水器の細管は、主に異物の詰りによって予期しない穿穴を受けることがあり、現在でも年間1万本当たり1本弱の漏洩管が発生⁽¹⁾している。海水漏洩が発生し復水処理設備の処理能力を超えた場合はユニットの運転に支障を来すことになる。そのため、運転中に海水漏洩が生じ所定の漏洩率を起える場合には、迅速に漏洩管を検知し封栓をすることが重要な対策となる。

従来、漏洩管の検知は細管に生じたピンホール等を通して空気が負圧状態の復水器内に吸引される状況を、極薄フィルムや水マノメータを用いて検知している。しかし、この方法では、フィルムの密着性の不良等のため微量漏洩箇所を検知が難しいことや、作業性が悪いなどの問題があり、漏洩発生時の対応が難しい。

今回開発した新検知法は、微小ピンホールの検知および作業性を向上させることを目標に、シェーピングフォームのような泡沫を携帯可能な塗布装置で復水器管板面に塗布し、あたかも細管部に栓をした状態として実施する新しい検知方法である。現在までに数カ所の火力発電所にて本検知法を適用し、良好な結果を得ることができた。本報

では、新検知法の開発過程ならびに実機への適用性について報告する。

1. 新検知法の開発

1.1 検知方法

従来、漏洩管の検知は主として復水器水室管板面に極薄フィルムを貼り、ピンホールを通して空気が吸引される状況をフィルムの凹みや破れを確認することにより行われている。しかし、この方法では、細管端部とフィルムとの密着性の善し悪しによって検知感度が左右され、特に閉止栓が施されている漏洩管周辺の細管については、密着性が悪く、微量の空気の吸引を検知するのはかなり困難である。また、このことは管端部についても同様である。このため、微小ピンホールの場合には判別が難しく、熟練者により検知作業を実施しても再起動後、再検査を余儀なくされることが多々発生する。

新検知法の開発にあたっては、これらの問題を解決するために、細管両端部を十分に密封でき、細管内外部の微小の圧力差でも容易に識別可能な形状変化がおきる素材の検討を行った。その結果、シェーピングフォームで代表されるような泡沫が、海草等が付着した管板面に対しても密封性

*中部電力㈱ 電力技術研究所
(Chubu Electric Power Co., Inc.)

**㈱日本環境調査研究所
(Japan Environment Research Co., Ltd.)

原稿受付 平成元年9月6日

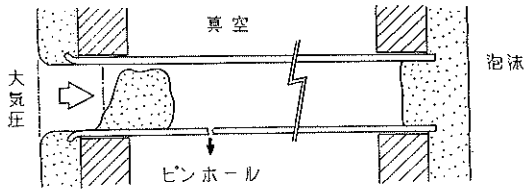


図1 新検知法の原理

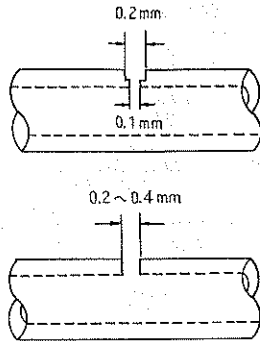


図3 試験用ピンホールの形状

が高く、かつ微小圧力差による形状変化が大きい素材であることがわかった。泡沫を用いた検知法の概要を次に示す。

新検知法は

- (1) 両管板面に従来の薄膜フィルムの代りに泡沫を塗布し
- (2) 塗布面をコテ等を用いて全体をならしながら細管端部まで塗込み、泡沫で細管に栓をした状態にする
- (3) 泡沫は、細管との密着性が良く、液体のような自重による凝集作用が小さいので、垂直な細管口を容易に密封することができる。また、泡自身の比重が小さく、ピンホールのような僅かな圧力差でも細管内部を容易に移動する(図1)
- (4) そのため、管板面全面に白壁状態で塗布された泡沫の一部が陥没する形になり、漏洩管を容易に判別できる。

また、従来の薄膜フィルムによる方法では検知が困難であった管端部での漏洩も容易に検知することが可能である。復水器細管の管板拡管取付部の不具合の場合にも、細管と管板との隙間から空気が吸引されるので管板面に泡沫が塗布されていれば空気の代わりに泡沫が吸引され、漏洩箇所を中

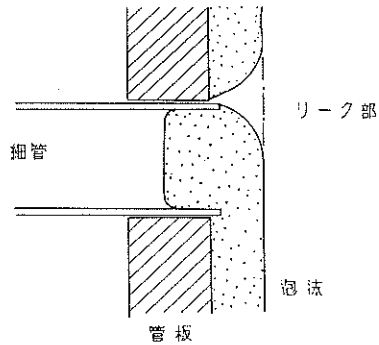


図2 拡管部漏洩の検知

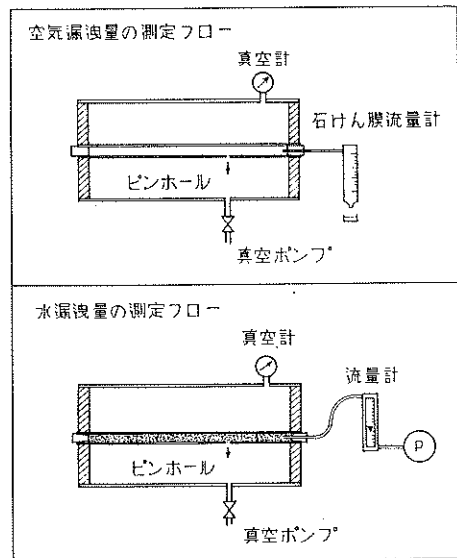


図4 ピンホールからの漏洩率測定

心にすり鉢状に穴が開くので、漏洩部を検知することができる。(図2)

1.2 検知感度

新検知法による検知感度は、モックアップ試験装置により確認を行なった。モックアップ試験装置は、長さ5mの細管にそれぞれ0.1, 0.2, 0.3, 0.4mmφのピンホールを作り、それらの細管を組込んで模擬復水器としたものである。初めに、海水の漏洩と同じピンホールから検知作業時に吸引される空気の吸引率との関係を調べるため、真空度および水圧を変化させて、それぞれ漏洩率の測定を行った。試験用ピンホールは、機械加工上の問題から0.1mmのピンホールは2工程で他は1工程で開けた(図3)。漏洩管と真空度の関係を調べるため、真空度と空気漏洩率は石鹼膜流量計

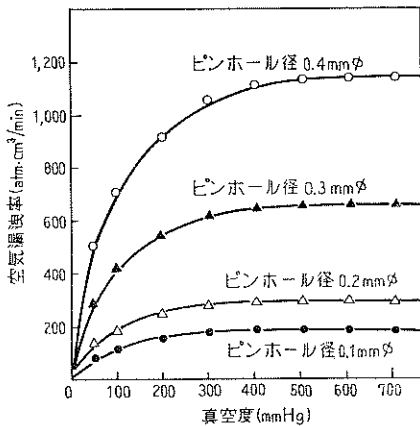


図5 真空度の変化に伴う空気漏洩率

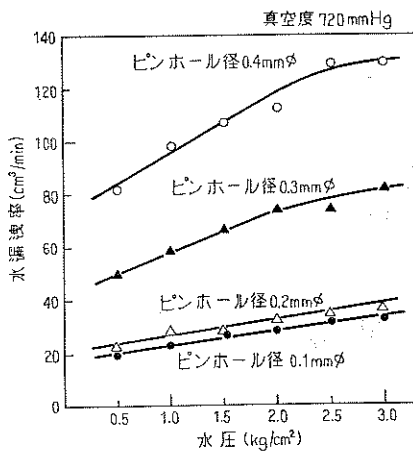


図6 水圧の変化に伴う水漏洩率

で、真空度と水漏洩率はより広範囲での圧力特性をとるため水圧をかけながら流量計により測定した(図4)。測定結果を図5~6に示す。

空気漏洩率は真空度が上昇するに従い増えていくが、ピンホールの半径が小さくなるほど低い真空度で、その値は一定となった。これは、微小ピンホールの場合、復水器内の真空度が200~300 mmHgと低くても、高真空にした場合と検知条件はあまり変わらないことを示している。水漏洩率は、水圧の上昇とともに増えている。発電所運転中における代表的な条件下での漏洩率について表1に示す。これによると空気漏洩率の体積比は、形状の異なる0.1mmφのピンホールを除くと10.4~11.0の値にあることがわかる。この値を用いて2.1で述べるように、海水漏洩による復水の導電

表1 代表的な条件下における漏洩率

ピンホール径 (mmφ)	空気漏洩率 (atm·cm³/min)	水漏洩率 (cm³/min)	体積比 (空気/水)
0.1	195	27	7.2
0.2	300	28	10.7
0.3	660	60	11.0
0.4	1,140	110	10.4

条件: 水圧 1.5kg/cm² 真空度 720mmHg

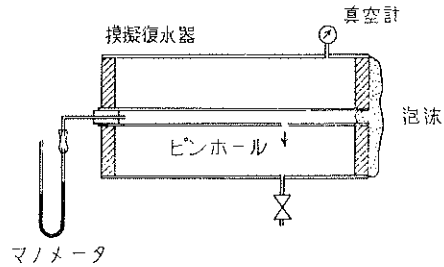


図7 泡沫の検知感度測定

率の上昇値と検知可能な空気漏洩率とを関連づけることが可能である。

次に、管板面に塗られた泡沫が細管内に吸込まれ始める大気と細管内の差圧を、図7に示す装置により測定した。図の右側管板面に泡沫が塗布されると細管内の空気は密封され、ピンホールから空気が吸引されることにより細管内の気圧は徐々に低下し、泡沫が移動し始める。0.1mmφのピンホールの場合、泡沫を塗布してから約3秒で移動し始め、そのときのマンメータの値は-23~-25 mmAqであった。

以上の結果をまとめると、次のとおりとなる。

- 1) 同じピンホールからの運転中の海水漏洩量と検知作業時の空気漏洩量との体積比は10.4~11.0である。
- 2) ピンホールから空気が吸引され、管板面に塗布された泡沫が移動し始める大気と細管内の差圧は、-23~-25mmAqである。
- 3) 0.1mmφのピンホールでも、約3秒で検知することができる。

1.3 泡沫の開発

検知材としての泡沫の性状や塗布方法は、新検知法の検知感度ならびに作業性に大きな影響を与える。そこで泡沫液の開発にあたっては、次の点を特に考慮した。



図8 泡沫塗布装置

- 1) 泡沫は閉鎖された復水器水室内で使用されるため、発泡剤として添加する液化ガスは不燃性のものとし、また酸欠のおそれがないこと。
- 2) 管板面に塗布された泡沫はコテ等で均一に均すことができ、検知作業の間、垂直な管板面に保持されるだけの硬さと粘性を有すること。
- 3) 復水器の片肺運転中への適用を考慮して、管板面の温度が最大60°Cでも適用が可能なこと。
- 4) 泡沫液の保管は一般的环境で行えること。
- 5) 緊急を要する場合を想定し、泡沫液は携帯可能な消火器タイプのボンベに充填してスプレイガンにより泡沫を塗布することができること。

泡沫液の原料の選定やその割合、添加液化ガスの種類やその割合、さらには、泡沫を発生させる過程での圧力損失やノズルの形状など泡沫の性状を含め 1)~4)の条件を満たす泡沫を開発することができた。また、5)の消火器タイプのボンベについては、充填作業を高圧ガス製造業者において実施することにした。ボンベ内は加圧されているため、エアレススプレイガンにより連続して泡沫を塗布することが可能である。装置の外観を図8に

表2 観察時間と検知感度

①観察時間	②空気漏洩率 atm·cm ³ /sec	③海水漏洩率 cm ³ /min	④検知感度 (上昇導電率換算) μS/cm
3秒	5.7	32.9	0.5
10秒	1.72	9.9	0.15
30秒	0.57	3.3	0.05
1分	0.28	1.6	0.024
3分	0.096	0.55	0.008
5分	0.057	0.33	0.005

示す。

2. 実機適用性の評価

2.1 検知感度と判別性

復水器出口部には通常プロセス導電率計が設置されて連続監視しており、それによって海水漏洩が発生したかどうか、判別できるようになっている。従来の薄膜フィルム法では、この導電率の値が5μS/cmに相当するピンホールを発見するのが限界とされている。新検知法を適用した場合の検知感度を導電率換算で試算すると、以下のように従来の方法と比べて10~30倍の感度を有している。

試算に用いた復水器の仕様は次のとおり。

復水器	2系統
冷却管	φ25.4mm L14,000mm
復水流量	600 t/h
真空度	-720mmHg
冷却水水圧	1.5kg/cm ² (細管部での圧力)

漏洩管は、漏洩部より空気が吸引されるのに伴い、管板面の泡沫が移動することにより検知することができる。泡沫が移動するのに必要な大気と細管内の差圧は、実験値によると2.5cmAqである。復水器細管1本の内部の空気量を、7,090cm³ (φ25.4×14,000) とすると、泡沫が移動するために必要なピンホールからの吸引空気量は

$$7,090 \times 2.5 / 1,033 = 17.2 \text{ cm}^3$$

となる。

泡沫塗布後の放置観察時間は、管板面の状態、残留水の有無などにより左右されるが、少なくとも1カ所10秒以上は泡膜保持が可能である。放置観察時間と検知感度との関係を表2に示す。

ここで

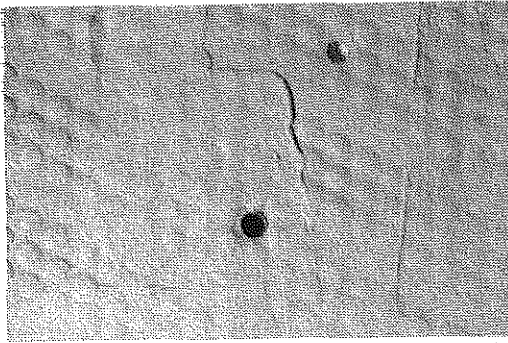


図9 細管漏洩の検知状況

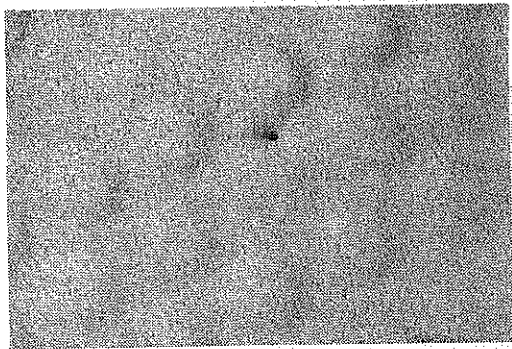


図10 管端部漏洩の検知状況

① 観察時間

管板面の泡沫をコチ等により均して、泡沫の表面状態の変化を観察できる時間。

② 空気漏洩率

観察時間を経過した時点において、泡沫が移動するのに必要な空気量 (17.2cm³) がピンホールを通して吸引される空気漏洩率。

③ 海水漏洩率

空気漏洩率と水漏洩率の比 (実験値) 10.4 を用いて算出。

④ 上昇導電率換算

算出された海水漏洩で、復水中に海水が混入した場合の導電率の上昇値を、次式により算出した。

$$L = (C_c / 76,000) \times F \times 10^3 \times (1,60)$$

L: 海水漏洩率 [kg/min] 1kg=1l とした

C_c: 上昇復水導電率 [μ S/cm at 25°C]

76,000: 海水の導電率 [μ S/cm at 25°C]

F: 復水流量 [t/h]

2系統に別れているので600/2=300を用いた。

表3 泡沫に含まれるハロゲン等物質の分析結果

分析試験項目	結果	検出限界	分析方法
塩素	検出されず*	50ppm	モール法
ヨウ素	"	5ppm	ヨウ素適定法
臭素	"	5ppm	フルオレセイン 吸光光度法
フッ素	"	1ppm	LAC 吸光光度法

表2より、泡沫を塗布してから3~10秒間の観察で、新検知法は従来法と比べて10~30倍の感度を有することがわかる。

次に管端部漏洩の検知に関して、管端部の一点から漏洩が生じている場合、そこから泡沫が吸引され欠陥部が判別できるまでの泡沫の吸引量は約2cm³と算出される。泡沫の吸引率が海水の漏洩率と等しいと仮定すると、10秒間の観察で検知できる漏洩は0.2 μ S/cmの上昇導電率に相当する。

漏洩部の判別性については、実機の火力発電所での細管の漏洩を模擬した試験では、水室への入口マンホール付近でも塗布管板面の状況から漏洩部を十分判別できた (図9)。また、管端部の漏洩に関してはモックアップ装置により確認を行い、泡沫の表面を均一に均すことにより判別できた。(図10)

2.2 機器等への影響

新検知法に用いている泡沫液について、機器等への影響を評価するため、まず泡沫液中に含まれるハロゲン等について分析を行った。分析結果を表3に示す。いずれの物質についても検出限界値以下であり、管端部に漏洩があり泡沫が1次系統内に吸引されたとしても1カ所当たりたかだか0.5g程度と微量であり、系統機器へ及ぼす影響は少ないと考えられる。

次に、復水器構造材への影響については、泡沫との接触時間が短いことから影響は少ないと考えられるが、主な構造材であるアルミニウム黄銅管とチタン管について腐食試験を行った。試験は、海水および泡沫に、それぞれ試験片を浸漬させ、25日間の腐食速度の変化を比較観察した。試験結果を図11に示す。泡沫浸漬の場合の腐食速度は、海水の場合と比べて、アルミニウム黄銅管では明らかに小さく、チタン管ではほぼ同程度であることがわかる。

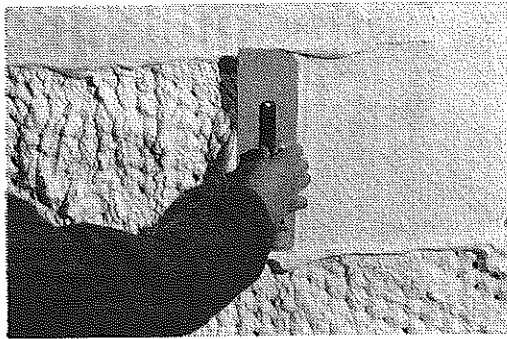


図13 泡沫の均し作業

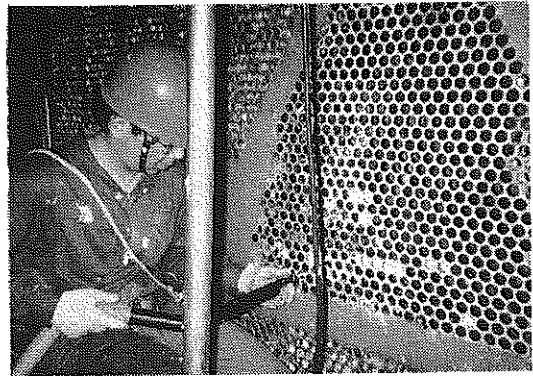


図14 泡沫の回収作業

作業項目	1	2	3	4	5	6	7	時間
マンホール解放	—							
足場組立	—	—						
管板面清掃		—						
エアブロー			—					
泡沫塗布			—					
検知確認				—				
泡沫回収				—	—	—		
欠陥部処置							—	
足場解体							—	
マンホール閉								—

例 400MW級 火力発電所

図15 検知作業工程例

漏洩管があれば発見できる。(図13)

⑤ 漏洩部の確認

再度 泡沫を均しながら、細管および管端部の漏洩箇所を検査する。細管漏洩の場合、どちらか一方の管板面の泡沫が陥没する形になるので両管板面からの確認が必要である。また管端部漏洩の場合は、泡沫の形状変化が小さいので注意を要する。泡沫の性状は時間の経過とともに泡が消えたりして変化するので塗布してから1時間内で確認するのが望ましい。

⑥ 泡沫の回収

管板面の泡沫をゴムべら等を用いて、かき落とし回収する。次に細管内に残った泡沫は、真空掃除器により吸引回収する(図14)。これにより殆どの泡沫は回収されるが、必要によりエアブローを行う。回収した泡沫は、焼却、固化、または一般産業廃棄物として処理する。

以上の作業手順に基づいた作業工程の例を図15に示す。

3.2 適用例

これまでに実施した実機における適用の例を表5に示す。

本検知法による作業後の結果は、ほぼ良好である。泡沫の塗布ならびに検知確認作業に要している時間は、管板面 1m^2 当り5~6分であり、所用時間としては1.5~2時間程度である。事前のエアブローは、細管内の水はけが悪く残留海水が多い場合実施しているが、その作業により実施しない場合と比べ1~2時間余分に時間を要していることになる。また、泡沫の回収作業では目視で確認できないほど確実に泡沫を回収すると3時間弱の時間を要しているが、その時間は各発電所の回収に対する要求の程度に依存している。

片肺運転中での適用では、できるだけ短時間で作業を終了することが望ましく、さらに時間短縮の検討が必要であると考えている。

事前のエアブローは、泡沫塗布作業と並行することにより所用時間の短縮化がはかれる。また泡沫の回収作業は、使用機器の検討・回収器具の改良などにより短縮が可能である。今後特に、これらの点について検討を重ね、検知に要する総作業時間を3~4時間以内で終了することを旨ざしたいと考えている。

まとめ

泡沫を用いた復水器海水漏洩管の新検知方法は従来の薄膜フィルム法と比べて10倍から30倍程度の感度を有し、微小漏洩管の検知、ならびに、従来困難であった管端部での漏洩箇所の検知を可能にするものである。また、その判別性は高く、

表5 実機適用の例

発 電 所	A	B	C	D
種 別	火力発電所	火力発電所	火力発電所	火力発電所
復水器概要				
管板面の寸法	2.7×3.8m ²	4.0×8.0m ²	3.0×5.0m ²	3.5×4.3m ²
細管径	25.4	38.1	25.4	25.4
管穴数	—	9,300	9,700	9,700
適用時期	片肺運転中	停止中	片肺運転中	停止中
検知前の復水器の導電率	数 $\mu\text{S}/\text{cm}$	—	数十 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下
漏洩管の検知数	1本	0本	3本	0本
対策後の復水の導電率の上昇	なし	—	なし	なし
使用泡沫重量	35kg	95kg	50kg	55kg
作業時間				
事前エアブロー	—	120分	—	60分
泡沫塗布	105分	100分	60分	60分
検知確認	—	60分	35分	35分
泡沫回収	55分	50分	180分	160分
検知のみ全作業時間	2時間50分	6時間30分	5時間10分	6時間
作業人数	4名	10名	5名	7名

検知に高度の熟練を要しないという特長を有している。

実機への適用にあたっては、機器構造材、環境、作業員への影響について評価を行い、実機での適用経験を重ねている段階である。検知作業に要する作業時間は3～6時間程度であるが、今後、作

業の方法・手順等を改善することにより、さらに作業時間の短縮が可能と考えている。

参 考 文 献

- (1) 永田ほか：「復水器管の使用実績と防食対策」
火力原子力発電 34 (1983) 12