

経年配管の再生・長寿命化

Restoration and Life Extension of Aging Pipe Facilities

梅田 成実 板橋 茂記 沢口 透

■ UMEDA Narumi

■ ITABASHI Shigeki

■ SAWAGUCHI Toru

水力発電所をはじめとする多くのプラントは、構成されている配管設備が長年の運転により経年劣化が生じる。この配管設備の経年障害に対する補修として配管ライニング技術に注目し、揚水発電所で構成される複雑形状配管に対しても施工可能なライニング技術を開発した。今回開発したライニング技術を利用して、実際に揚水発電所の埋設配管に対する施工を行い、十分な補修性能が確保できていることを確認した。このライニング技術は、設備保全の一手法として、水力発電所以外のプラント設備へも適用可能であると考えており、この技術が広く適用されることを期待している。

Hydroelectric power plants and other types of plants are largely constituted of pipe facilities, the capabilities of which deteriorate over the course of long-term operations. We have been studying lining technologies as a repair method for aging pipe facilities, and have developed a pipe lining method that is highly suitable for pipes having a complex form such as buried pipes of pumped-storage power plants. This pipe lining method can also be used in other types of plants, and is expected to have expanded practical applications as a useful rehabilitation technique for repairing pipe facilities and maintaining them in good condition.

1 まえがき

一般に多くのプラント設備では鋼管を使用した配管で構成されており、使用される流体種別によるが、その多くは炭素鋼管を使用している。プラントの長年の運転により、この配管設備も腐食・孔食などの経年劣化をきたし、配管内部の流れの阻害や配管外部への漏洩（ろうえい）といった障害に至ることがある。水力発電プラント設備も例外ではなく、その設備構成上からコンクリートに埋設して布設されている配管も多く存在する。経年劣化による障害発生時の対策として、露出配管の場合には取替えは比較的容易であるが、埋設配管の場合には取替えが極めて困難であり、設備を保全するうえでの課題と考えられていた。特に、揚水発電所の場合には、複雑な配管構成となり、埋設部に屈曲部や異口径配管継手部や分岐部が多く存在するほか、高圧かつ流体脈動や振動の影響を受ける厳しい使用環境となっている。

ここでは、経年配管の再生・長寿命化方策としてライニング技術に注目し、水力発電所の使用環境に適用可能な配管補修技術を開発・検証し、実機への適用について述べる。

2 ライニング工法と特性

配管ライニングの施工手順を図1に示す。大きく区分すると、前処理としてライニング材料を確実に配管内面へ付着させるために配管内面のさびや異物を除去するクリーニング作業と、ライニング材料を配管へ付着させて管内面を保護する

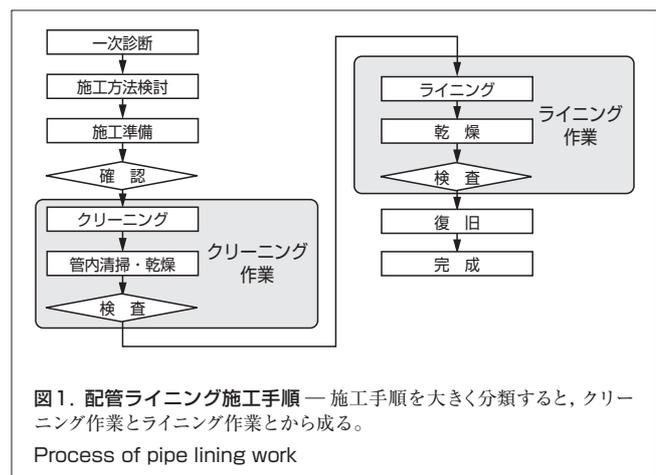


図1. 配管ライニング施工手順 — 施工手順を大きく分類すると、クリーニング作業とライニング作業とから成る。
Process of pipe lining work

ライニング作業とから成る。クリーニングやライニング自体は多種の施工法が開発されており、高層ビルやマンションといった建造物の給排水配管などへの施工を中心に多くの施工実績がある。しかしながら、各施工法はそれぞれの特徴があり、すべての条件に適用できるものではなく、適用対象に合わせた施工法が選択されている。

水力発電所、特に揚水発電所の埋設配管への適用条件をまとめると次のとおりである。

- (1) 小口径から大口径まで各種の配管口径が存在する。
- (2) 配管形状が複雑で、同一系統内に各種の異口径配管が存在するほか、分岐部やレギュレーサ、リング形状部が存在する。
- (3) 1系統の配管長が長いものが多い。

(4) 施工する作業スペースに制約があるうえ、短期間での施工が求められる。

(5) 自然環境に配慮し、薬品処理を必要とする方法は適用しない。

この条件へ適用できる施工法として、各種の配管クリーニング工法及びライニング工法を評価検討し、クリーニング工法としては、ピグクリーニングとウォータージェット洗浄の2種類、ライニング工法としてはピグを使用した引張方式と吸引方式の2種類を選定し、各工法を検証した。検証結果を表1に示す。ウォータージェット洗浄と吸引式ライニングは作業時間が短く、ピグクリーニングは内面の仕上がりが良い。

ライニング材料としては、エポキシ系塗料とガラスフレーク入りビニルエステル系塗料 (PUF フレーク塗料) の2種類を選定し、水車の流水面に塗装しているタールエポキシ塗料と比較検証する形で、塗膜の密着力測定を実施した。テストピースを図2に示す。

表2に比較材料のターボエポキシ塗料の密着力を1とした場合のライニング材料の密着力比を示す。この測定結果から比較材のタールエポキシ塗料に対して5～6倍の密着力を持っており、いずれもライニング材料として適用可能であることが確認された。

次に、使用済みの配管を使用してライニング施工し、耐圧試験、耐久試験、密着力測定を行い、特性検証を実施した。密着力は図3に示す試験方法にて行い、クリーニング工法による比較、配管内の上面側と下面側での比較、新しい配管

と使用済み配管での比較を行った。

耐圧試験では、ピンホールと割れを模擬した配管に2種類のライニングを施工した後に、水圧を5.9 MPaまで加圧する耐圧試験を実施しライニングの補修性能を確認した。

耐久試験では、ポンプ水車の運転状態を想定した水圧脈動を付加して、ピンホールと割れに対する補修ライニングの耐久性を確認した。

各種試験での評価結果を表3に示す。エポキシ系塗料は孔(あな)やスリットを埋める補修性能は比較的低い。また、配管内面状態を図4に示す。

以上の結果をまとめると次のとおりである。

(1) クリーニング工法については、ウォータージェットにて

表2. テストピース密着力測定結果

Adherence measurement of lining materials painted on test pieces

塗料の種類		完全硬化後の密着力比
比較材	タールエポキシ塗料	1.00
ライニング材料	エポキシ系塗料	5.02
	ビニルエステル系塗料	6.63

表1. クリーニング及びライニング工法の検証結果

Evaluation of cleaning and lining methods

工 法		作業性	作業時間	内面状況
クリーニング	ウォータージェット	○	◎	○
	ピグクリーニング	○	○	◎
ライニング	吸引式ライニング	○	◎	○
	引張式ライニング	○	○	○

◎ 優れている ○ 良い

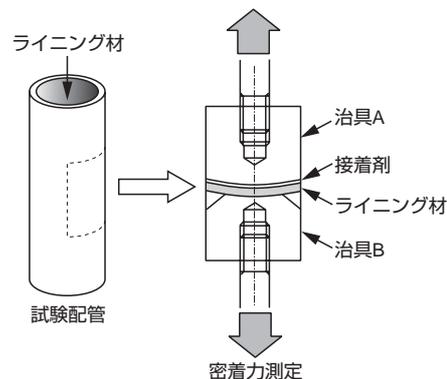


図3. 配管への密着力測定方法 — 試験配管へライニング施工して、ライニング材料の密着力を測定する。

Method of measuring adherence of lining material painted inside pipe

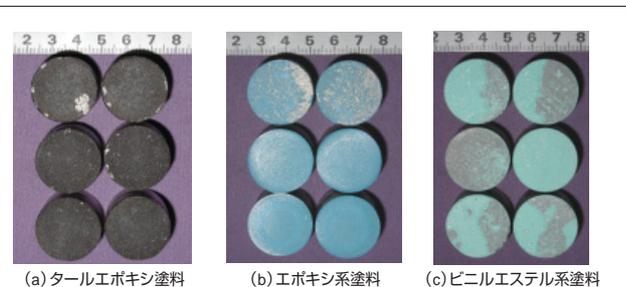


図2. 密着力測定用テストピース — タールエポキシ塗料を比較材料として、2種類のライニング材料の密着力を比較試験した。

Test pieces to measure adherence of lining materials

表3. 耐圧・耐久・密着力の特性評価

Evaluation of pressure resistance, durability, and adherence properties

ライニング材料	耐圧試験	耐久試験	密着力試験				
			クリーニング		配管上下		新旧配管
			WJC	PIG	上面	下面	新品 使用品
エポキシ系塗料	△	◎	◎	◎	◎	◎	○
PUF フレーク塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○

◎ 非常に優れている ○ 優れている △ 普通

WJC: ウォータージェット洗浄 PIG: ピグクリーニング

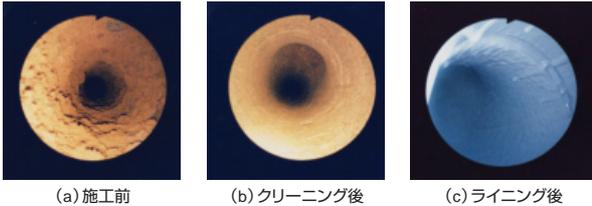


図4. 配管の内面状況 — 経年配管の施工前、クリーニング作業後、ライニング作業後の内面状態を示す。

Inner surface condition of pipe

一次洗浄し、内面を確認後に必要に応じてビグクリーニングを実施する。

(2) 配管の防食にはエポキシ系塗料を用いた吸引式ライニング工法を、ピンホールなどの補修にはビニルエステル系塗料を用いた引張式ライニング工法を目的に応じて使い分ける。

3 配管ライニングの補修性能検証

配管ライニングによる経年損傷部の補修性能を検証するために、腐食孔の模擬としてφ1～12mmの各種大きさの円形孔を空けた配管と、亀裂の模擬として幅0.5～3mmのスリットを設けた配管へビニルエステル系塗料をライニング施工し、耐圧試験による性能確認を行った。

円形孔を空けた配管に対する試験結果を図5に、スリットを設けた配管に対する試験結果を図6に示す。

円形孔空き配管については、試験実施したφ1～12mmのすべての範囲で9MPaまで漏洩はなく、十分な補修性能を持っていることが確認された。また、スリット配管については、図6に示すとおり、スリットは直角方向(円周方向)よりも水平方向(軸方向)のほうが補修性能は悪くなるものの、実際の損傷では亀裂幅は1mmに満たない程度であることから、実用上の補修性能を十分確保できている。

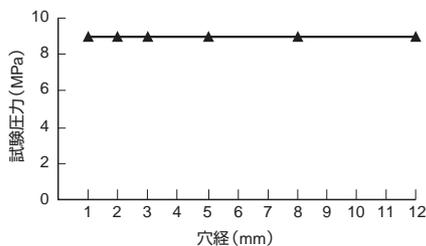


図5. 円形孔空き配管での耐圧試験結果 — 試験実施した全範囲で9MPaの耐圧性能が確認できた。

Results of pressure-resistance tests on linings of pipes with holes of various diameters

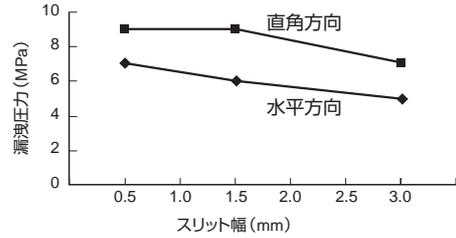


図6. スリット付き配管での耐圧試験結果 — スリット幅が大きくなると補修性能は低下する。

Results of pressure-resistance tests on linings of pipes with slits of various widths

また、配管ライニング施工後の乾燥時間が補修性能に与える影響を確認するために、乾燥時間による性能変化についても確認した。この結果、図7に示すとおり、最終ライニング施工完了後に15時間の乾燥時間があれば、9MPaの圧力での漏洩はないことが確認された。これは、前日の夕刻にライニング施工が完了していれば、翌日の朝からライニング塗膜厚検査や耐圧試験などを実施し、その後に配管への通水が可能なることを示しており、乾燥のための特別な工程を確保する必要がなく、工程短縮につながる。

最終検証として、揚水発電所の埋設配管を模擬したモックアップによる施工検証を行い、施工治具の改良を含めて、塗

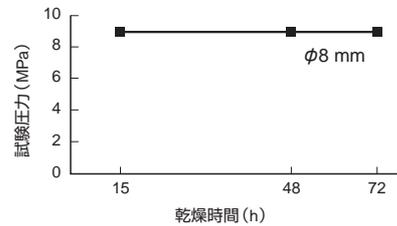


図7. 乾燥時間に対する耐圧試験結果 — 15時間以上の乾燥時間を確保できれば、9MPaの耐圧性能があることが確認できた。

Results of pressure-resistance tests with respect to drying time



図8. モックアップ配管の外観 — 揚水発電所の埋設配管を模擬したモックアップモデルを製作して、ライニング施工方法を改良した。

Appearance of mock-up piping

り斑(むら)の少ない施工方法への改善を行った。モックアップ配管の外観を図8に示す。

4 実機埋設配管への配管ライニング施工

以上の開発・検証結果をもとにして、実際に図9に示す配管構成で揚水発電所の埋設配管に対するライニング施工を実施した。事前の配管診断にて、φ1~2mm程度の腐食孔が隣接して複数存在していることが確認されたため、図10に示すビニルエステル系塗料を用いた引張式ピグライニング工法を適用した。配管ライニング施工状況を図11に、ライニング施工後の配管内面状態を図12に示す。

この配管は一部の腐食孔箇所が、配管外面から目視でき

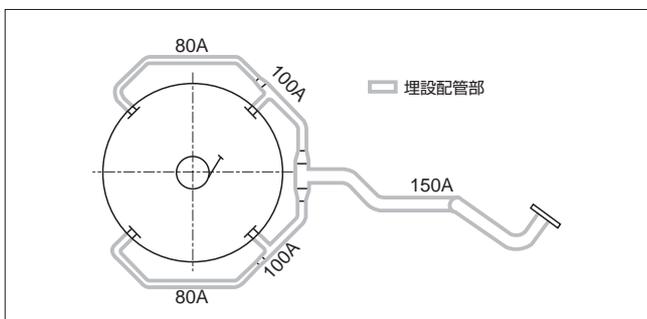


図9. ライニング施工した配管の構成 — 複雑な構成となっている揚水発電所の埋設配管を示す。
Configuration of pipes painted with lining materials in actual plant

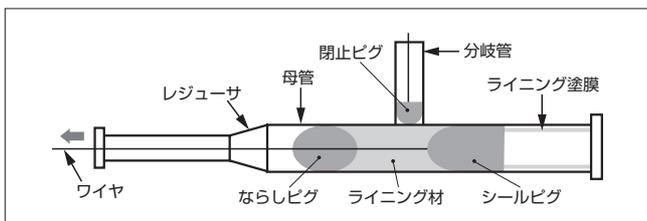


図10. 引張式ピグライニング工法 — ワイヤに連結されたピグをけん引して、配管内面へライニング塗膜を形成する。
Drawing style pigging lining method



図11. 配管ライニング施工状況 — 埋設配管の露出フランジ部からピグを挿入して、ワイヤでけん引している。
Views of pipe lining construction

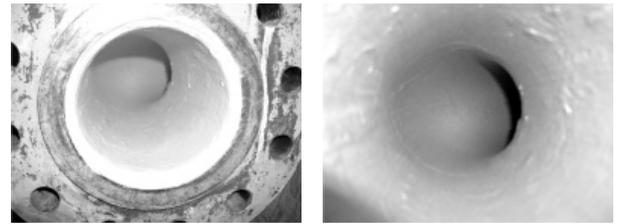


図12. ライニング施工後の配管内面状態 — ライニング材料で経年配管の内面を保護している。
Inner surface condition of pipe after lining

る状態にあり、ライニング施工後にはライニング材が腐食孔部をふさいだ形に補修できていることが配管外面からの目視検査でも確認できた。また、ライニング施工後の膜厚検査で所定の膜厚が確保できていることが確認でき、耐圧試験でも所定の耐圧性能を確保していることが確認された。

5 あとがき

今回、揚水発電所で構成されている複雑形状の埋設配管に対しても、十分な補修性能を確保できる配管ライニング技術を開発・検証することができた。ここで開発・検証した技術は、水力発電所以外の各種プラント設備へも適用できるものと考えており、更に、経年劣化により障害発生に至る前に、ライニングによって配管の寿命を延伸化させておくことで、障害発生を未然防止できる効果も大きい。このような観点からも、経済的な設備保全に向けた設備延命化の保守メニューとして、この技術が広く活用されていくことを期待している。

文 献

- (1) 東京電力(株)編. 分岐配管を持つ埋設配管への新しいライニング補修技術の適用. 電気評論, 平成15年電力技術革命のあゆみ. 1, 2004, p.52 - 53.



梅田 成実 UMEDA Narumi
東京電力(株) 建設部 水力電気グループ。
水力発電所の建設、運転、保守の技術業務に従事。
The Tokyo Electric Power Co., Inc.



板橋 茂記 ITABASHI Shigeki
電力・社会システム社 京浜事業所 水力機器部主務。
水車本体の設計・開発に従事。
Keihin Product Operations



沢口 透 SAWAGUCHI Toru
東芝プラントシステム(株) 水力部グループ長。
水力発電機器の現地据付工事エンジニアリングに従事。
Toshiba Plant Systems & Services Corp.