

I - 398

検査結果に基づく水圧鉄管の劣化評価

東北電力(株) 正会員 氏家久芳・佐々木明
(株)大崎総合研究所 正会員 ○稲田 裕・鈴木 誠

1. はじめに

水力発電所の水圧鉄管の維持管理では、定期点検や詳細調査などの検査により得られた結果を基に、構造物の寿命の評価を行ない、取り替え、修繕といった対策を講じる。著者らは、昨年、水圧鉄管の信頼性理論に基づく経年劣化の評価手法を提案し、検査時期、間隔、初期欠陥等が構造物の寿命に及ぼす影響について検討を行なった。本研究では、実構造物の検査により得られた結果を用いた劣化評価システムの構築を行ない、実際の水圧鉄管について寿命の評価を試みた。

2. 水圧鉄管の検査と経年劣化

経年劣化の評価は新潟県のS発電所の水圧鉄管を対象とする。検査は外観調査、板厚および応力測定からなる。外観調査は鉄管本体および付帯施設を目視観測し、板厚測定および応力測定は管路上の2断面(A, B)で行なった。応力測定は充水時の静的応力と定格運転時、負荷遮断時の動的応力について、管の円周方向、管軸方向の歪みを測定し応力に換算した。検査結果から劣化評価に重要なものを表-1に示す。外観調査では、塗膜の剥離、劣化による発錆が進行しているところが一部見られた。また応力集中等がなく、発生応力が設計値と良く対応していることが静的応力測定から分かった。しかし、定格運転時に水車の回転に伴う内部水圧の変動によって、鋼管の円周方向に大きな変動応力が生じていることが示された。この応力は変動振幅が大きく繰り返し数が多いことから、鋼管に疲労破壊を生じる可能性がある。疲労による鋼管のき裂は水圧鉄管の安全性に直接関係する重大な損傷となるにもかかわらず、従来ではこのような評価手法は示されていない。

表-1 主な検査結果

検査項目	A断面	B断面
外観調査	局所的な塗膜の剥離、発錆 変形、漏水等はない	
板厚減少率	0.025 mm/y	0.028 mm/y
静的応力	997 kgf/cm ²	965 kgf/cm ²
定格運転時 変動応力	14 kgf/cm ² 187 Hz	9 kgf/cm ² 187 Hz

3. 信頼性理論による劣化評価手法

水圧鉄管の劣化評価は、荷重や材料特性のばらつき、そして腐食、磨耗や疲労といった複数の損傷および破壊形態を考慮して行なう必要がある。ここでは、マルコフ連鎖モデルを用いて定式化した。解析手法の詳細は参考文献²⁾に譲り、今回行なった手法の改良である板厚減少と防食効果の組み込みについて以下に説明する。

腐食、磨耗の影響は単位時間当たりの衰耗率が一定の板厚減少としてモデル化し、板厚の減少に伴う疲労寿命の減少および破壊確率の増加を考慮した。従来の手法では遷移確率マトリクス P が一定である定常のマルコフ連鎖モデルを用いていた。しかし、寿命の減少を考慮すると状態の分割数および状態遷移の割合が変化するため、各ステップにおいて遷移確率マトリクスを再計算する非定常のマルコフ連鎖モデルとなる。これに伴い状態ベクトルも遷移マトリクスとマトリクス幅が一致するように再分配を行なう。したがって、 n ステップにおいて遷移確率マトリクス $P(n)$ 、状態ベクトル $u(n)$ について、 $P(n) \rightarrow P'(n)$ 、 $u(n) \rightarrow u'(n)$ と再計算すると、 $(n+1)$ ステップにおける状態ベクトル $u(n+1)$ は次式に従って求められる。

$$u(n+1) = u'(n) \cdot P'(n) \quad (1)$$

また、水圧鉄管は一般的に各種の防食処理がなされているが、防食効果が劣化すると腐食環境下となり疲労強度が著しく低下する。そこで、有効な防食下では疲労特性を大気中と同じとして状態遷移確率マトリクス P を求め、防食性能が低下した場合は水中の疲労特性を用いて P_c とする。防食効果の継続時間から N_c ステップまで

は防食が有効であるとすると、任意の n ステップにおける状態ベクトルは次のようになる。

$$u(N) = u(0) \cdot \prod_{n=1}^N P(n) \quad (N < N_c) \quad (2)$$

$$u(N) = u(0) \cdot \prod_{n=1}^{N_c-1} P(n) \cdot \prod_{n=N_c}^N P_c(n) \quad (N \geq N_c)$$

4. 水圧鉄管の経年劣化

a) 経年劣化の比較：応力の測定を行なった2断面について、設計書および検査結果から劣化評価に必要な諸元、荷重条件を求め、結果を表-2に示す。そして、水圧鉄管が欠陥を有さない初期状態から運転を開始したとして、供用期間に伴う破壊確率の経時変化を求めた。図-1に両断面の結果を比較して示す。A断面の破壊確率はB断面における結果と比較してかなり大きく、運転開始後60年程度で0.1を越える。2つの断面の応力条件は定常運転時の変動応力を除いてほぼ等しく、変動応力の応力範囲の値が構造物の劣化に大きく影響していることが分かる。

b) 板厚減少の影響：腐食、摩耗による板厚減少の衰耗率の大きさは、対象水圧鉄管および測定箇所によりばらつきが大きい。そこで、衰耗率をパラメータとして与え、板厚減少が劣化に及ぼす影響について検討を行なう。年間の衰耗率の値を0, 0.02, 0.04mm/yearとして、破壊確率の経時変化を比較した結果を図-2に示す。供用期間が短いときは衰耗率の値にともない破壊確率に差が見られる。しかし破壊確率が大きくなるとその差はあまり有意ではなく、対象構造物の劣化に及ぼす板厚減少の影響は小さい。

c) 防食効果の影響：防食効果の継続時間を10, 20, 40年として破壊確率の経時変化を求め、有効な防食により腐食環境下にはならない場合と比較した。結果を図-3に示す。防食効果がなくなると破壊確率は著しく大きくなり、鋼管の劣化は進む。この結果から、防食の効果は鋼管の腐食の進展に影響するだけではなく、疲労特性にも影響を及ぼし鋼管の劣化を左右することが分かる。したがって、検査において防食の状態の調査を詳細に行なうことは、水圧鉄管の維持管理の上で非常に重要となる。

5. おわりに

本研究では水圧鉄管に関して、維持・保全計画の立案を目的として、検査結果を基にして劣化の評価を行なう寿命評価システムの構築し、実構造物への適用を行なった。そして、内部水圧の変動により生じる鋼管の変動応力や防食効果の劣化が、鋼管の寿命に大きく影響を及ぼすことを示した。

参考文献 1) 氏家ら：経年劣化を考慮した水圧鉄管の信頼性評価, 土木学会年次講演会, p.1210, 1993. 2) 氏家ら：信頼性理論に基づく棧橋鋼管杭の疲労・腐食評価, 海岸工学論文集, Vol.39, p.1071, 1992.

表-2 断面の評価条件

評価断面	A断面	B断面
管 径	1300 mm	1300 mm
板 厚	12.0 mm	12.0 mm
静 水 頭	148.8 mm	149.5 mm
水撃圧水頭	34.7 mm	35.0 mm

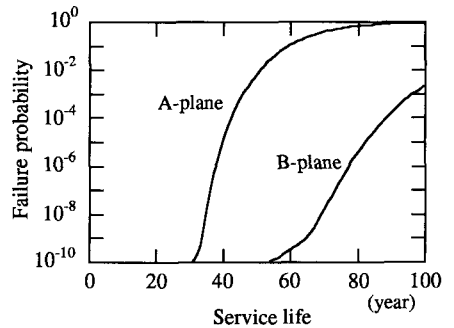


図-1 破壊確率の比較

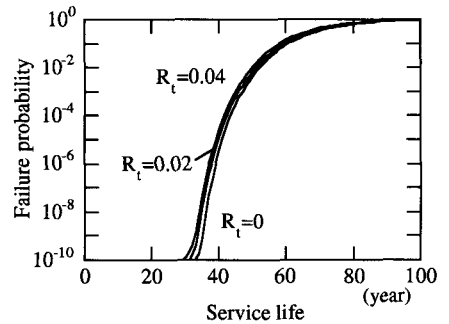


図-2 板厚減少の影響

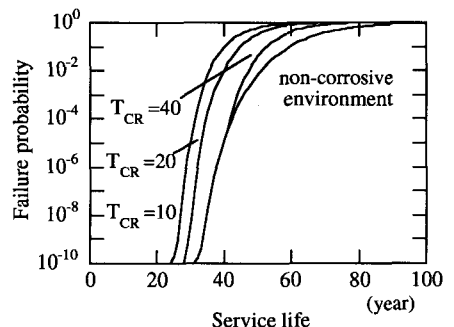


図-3 防食効果の影響