

水力発電所鋼構造物健全度診断技術の高度化

河 西 中 内 川 村 友 雅 秀 一*
章** 治***

概 要 中国電力㈱の水力発電所における鋼構造物の多くは設置から長期間が経過しており、今後老朽化がさらに進展していくことが予想される。これらの鋼構造物の健全度を正確に評価し、適切な更新・補修を計画的に実施していく必要があるが、このような健全度評価には鋼構造物の応力状態の把握が不可欠である。そこで、代表的な鋼構造物であるゲートの現在および将来の応力状態を把握するため、「維持管理用解析モデル」による3次元有限要素解析を実施し、実測値と比較することでその妥当性を検証した。この手法により、実際に24発電所のゲートの健全度診断を実施し、その結果をもとに長期的なゲート更新計画を策定した。

キーワード：ゲート、有限要素法、健全度診断

1. はじめに

中国電力は約100箇所の水力発電所を保有しているが、発電所のゲートや水圧鉄管などの鋼構造物の多くは設置から長期間が経過しており、一部には腐食により老朽化しているものがある。今後、老朽化がさらに進展していくことが予想されるため、これらの鋼構造物の適切な更新・補修を実施していく必要がある。

中国電力の洪水吐ゲートの設置時期および60年以上経過するゲートの割合の変化を図-1に示す。この図に示すように、既存ゲートの設置時期が一時期に集中していたことから、今後の更新時期も集中する恐れがある。とくに大型ゲートの更新には多額の費用が必要であり、さらに官庁申請・設計・製作・据付に長期間を要することから、合理的な優先順位付けに基づく長期計画を策定し、更新工事を極力平準化する必要がある。

また、老朽化の著しいゲートについては、その応力状態をより正確に評価する必要があるが、使用中のゲートの実応力測定には制約があることが多い。

現状では、6年に1回の定期診断時の板厚計測結果をもとに、主桁などの主要部材を梁と仮定した手計算によりそ

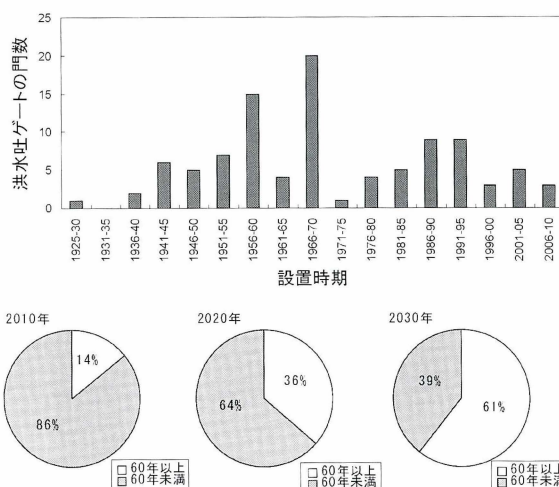


図-1 洪水吐ゲートの設置時期の分布(上)と設置後60年を経過するゲートの割合の変化(下)

の状態を評価しているが、より実態に即した健全度評価のためには、局所的な腐食の進行や、スキンプレートと主桁の協働効果などを考慮できる手法が不可欠である。

そこで、ゲートの現状および将来の健全度を評価するために、3次元有限要素解析によりゲートの状態を把握することとした。

まず、多数のゲートを効率よく診断するために、「維持管理用解析モデル」として標準的な解析用モデルを設定した。つぎに、ラジアルゲートの数値解析結果と実測値と比較し、解析の妥当性を検証した。この手法により、24発電所における54門のゲートの健全度診断を実施し、その結果から今後30年間の長期的なゲート更新計画を策定した。



河内 友一

西川 雅章

中村 秀治

*中国電力株式会社 エネルギー総合研究所 土木担当 会員 260113@pnet.energia.co.jp
 **中国電力株式会社 流通事業本部 土木保守担当 453098@pnet.energia.co.jp
 ***広島大学名誉教授(現 東電設計株式会社 顧問) 会員 h.nakamura@tepsco.co.jp

2. 解析手法と維持管理用解析モデルについて

ゲートの応力状態を評価するための数値解析手法として、3次元の有限要素法を用いることとした。通常ゲートに生じる応力値は弾性域であることがほとんどであることから、解析は線形弾性解析とした。この解析には市販ソフトウェアである DIANA (Ver. 9.3)を用いた。解析モデルには、4角形、3角形の曲面シェル要素および梁要素を組み合わせた3次元モデルを用いた。

解析に市販ソフトウェアを用いて線形弾性解析を行う場合、パソコンでもその解析時間はわずかであり、問題になることはない。鋼構造物の診断に数値解析を利用する上では、モデル作成が最も時間を要する作業になる。多数のゲートの健全度診断を実施し、合理的な優先順位付けに基づく長期計画を策定するには、ゲートの解析モデルの省力化が必要である。また、定期診断における板厚結果の反映や部分補修などを実施した場合などの変更条件下の解析が容易にできることが望ましい。

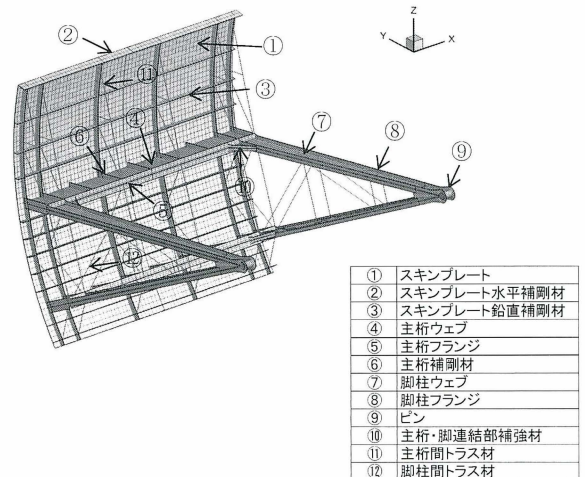
そこで、以下の特長を有する「維持管理用解析モデル」を設定し、そのモデル作成用ソフトウェアの開発を行った。

- ① 有限要素解析モデルであるため詳細な形状の再現まで可能であるが、ゲート形状に忠実なモデル化に過度にこだわらず、主要諸元の入力によりコンピュータプログラムで解析用データを自動作成する。これにより3次元CAD等による解析モデル作成と比較して作成時間と費用が大幅に改善される。
- ② 格子密度や再現性の違いによる解析結果の差異を極力小さくするために、再現する部材および主要部材の要素分割数を統一する。とくに、格子を過度に細分化せず、最低限応力分布を再現できる程度の格子密度とする。
- ③ モデル自動作成プログラムを構造物毎に一度作成しておけば、構造物の生涯を通じて利用でき、定期診断や部分補修時など経年劣化に対応した適切な耐力評価と将来予測が可能になる。また、各種ゲートは形状に類似性があり、一地点のモデル自動作成プログラムは他地点にも大部分が共通利用できる。

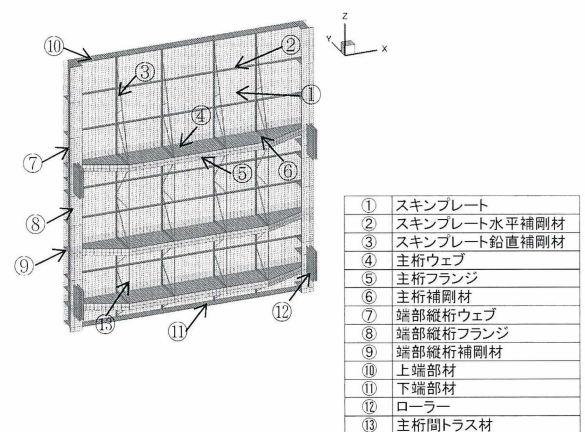
洪水吐ラジアルゲート、ローラーゲートの維持管理用解析モデルをそれぞれ図一2、図一3に示す。それぞれの図に示すとおりラジアルゲートは12部材、ローラーゲートは13部材から構成されるものとして標準化した。

また、ラジアルゲートの維持管理用解析モデルの主要部材の格子分割を図一4に示す。主桁ウェブは10分割、主桁フランジは6分割というように主要部材の格子分割数を統一した。ローラーゲート主桁もラジアルゲート主桁と同様な分割数とした。

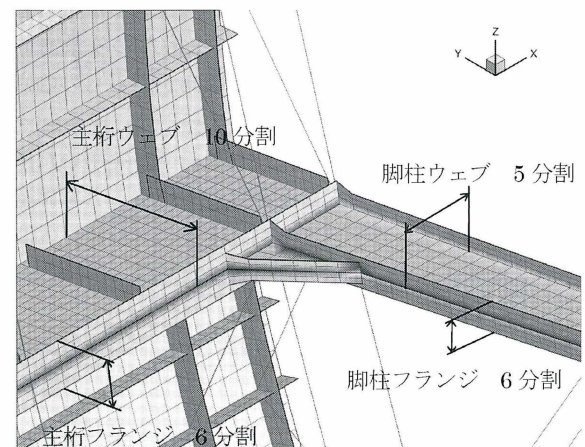
このようにモデル構成・格子分割数を統一することで、ゲートの部材寸法等の諸元の入力のみで解析用モデルの作成が可能になり、モデル作成作業を大幅に省力化することができた。



図一2 洪水吐ラジアルゲートの維持管理用解析モデル



図一3 洪水吐ローラーゲートの維持管理用解析モデル

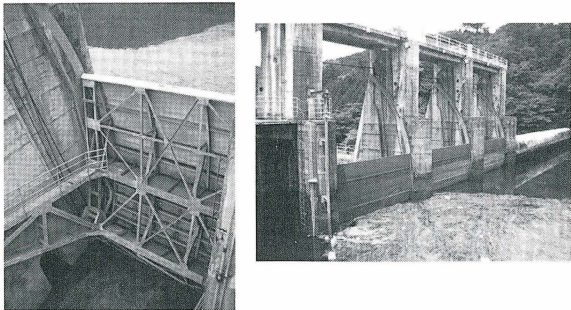


図一4 維持管理用解析モデルの主要部材の格子分割

3. 解析の妥当性検証

以上の維持管理用解析モデルを用いた有限要素解析の妥当性を検証するために、ラジアルゲート(図一5)の実測値と解析結果の比較を実施した。妥当性検証の対象としたラジアルゲートの諸元を表一1に示す。

このラジアルゲートの前面水位を0.0 m(ダム Crest)～7.5 m(ゲート天端)まで段階的に変化させ、そのときに



図—5 妥当性検証の対象としたラジアルゲート

表—1 妥当性検証の対象としたラジアルゲート諸元

項 目	諸 元
型 式	鋼製ラジアルゲート
門 数	3 門
純 径 間	7.4m
扉 高	7.5m
扉体半径	9.5m
製 作	1954 年

計測した主桁・脚の応力と主桁のたわみ量を妥当性の検証に用いた。解析は、ゲート前面の水位を3ケース変化した条件で実施した。解析は、前面静水圧および自重を考慮した。垂直応力は主要部材である上下主桁・脚のフランジ部の値を、たわみ量は下主桁における値を比較した。

図—6 に解析結果と実測値との比較を示す。

垂直応力の解析結果はやや実測値を上回る傾向があるが、ほぼ近い値を示している。また、いずれの水位においても実測値を概ね再現できている。主桁たわみ量も同様に、解析結果は実測値をやや上回る傾向があるものの、概ね一致している。

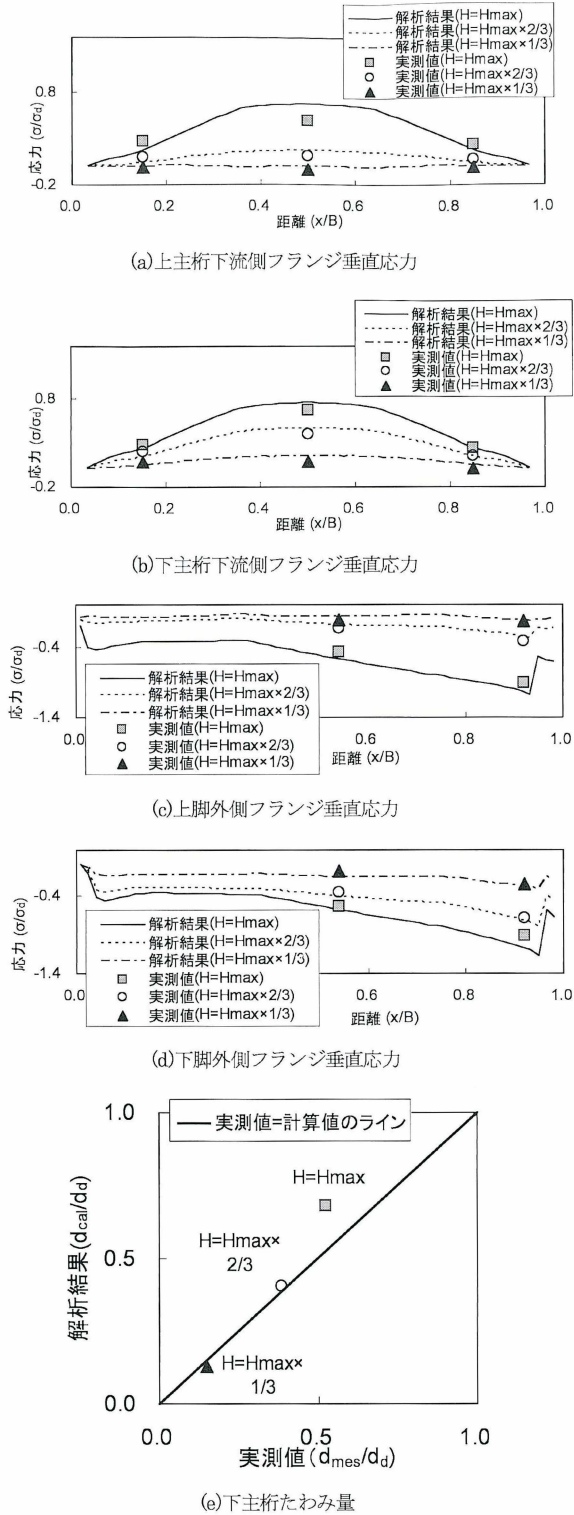
以上の比較により、今回の維持管理モデルを用いた解析手法は健全度診断に必要な精度を有していることを確認した。

4. 板厚設定作業の省力化

つぎに、健全度診断を実施する際のゲートの板厚の設定作業の省力化を行った。

実構造物では図—7 に示すように主桁の下流側フランジの中央部などに、複数の重ね板による補強が施されている場合がある。このように場所ごとに小刻みに変化する板厚条件を手作業で設定するのは非常に煩雑である。また、6年に1回の定期診断時にゲートの主要部材やスキンプレートの板厚を計測するが、その板厚を用いた健全度の評価においても効率的に板厚を設定できることが望ましい。

そこで、2. で述べたモデル自動作成プログラムの入力条件として、板厚値とその範囲(XYZ 座標)を加え、作成した格子ごとに自動的に板厚条件を付与できるようにした。これにより、場所ごとに小刻みに変化する板厚条件の設定作業および将来の定期診断時における板厚条件の変更



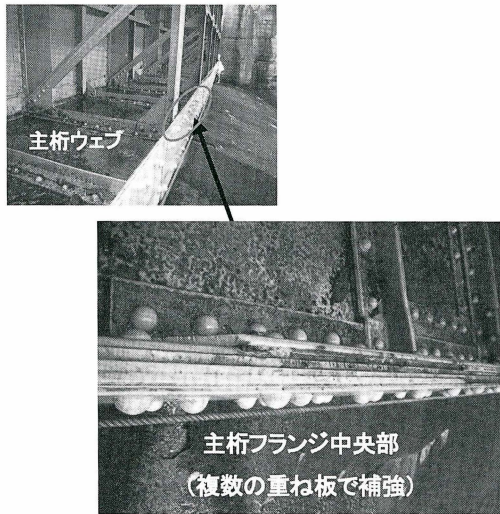
図—6 ラジアルゲートの解析結果と実測値との比較

作業を省力化できた。

5. 健全度診断と長期更新計画の策定

以上の解析手法により、表—2 に示す24発電所54門のゲートの現状および将来の健全度診断を行い、今後30年間の長期的なゲート更新計画を策定した。

健全度診断に用いる板厚は、現状把握には直近で計測した板厚を、将来予測にはこれまでの板厚の計測実績から得られた腐食速度を勘案した将来の想定板厚を用いて評価



図一7 主桁フランジ中央部の板厚

表一2 解析対象としたゲート

ゲート型式	用途	発電所数	門数
ラジアルゲート	洪水吐	7	25
ローラーゲート ^{*1}	洪水吐	8	20
	取水口	9	9
小計		24	54

^{*1}: ストリーナー、キャタピラ含む

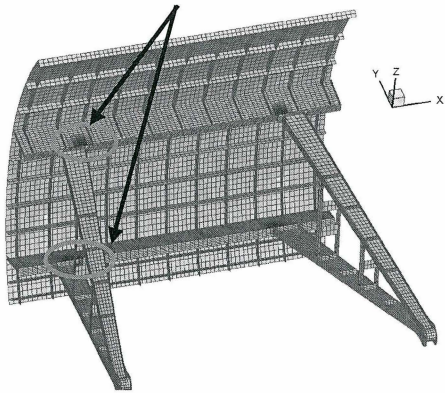
した。

図一8にラジアルゲートの将来の健全度診断の例を示す。このラジアルゲートは板厚の計測実績から想定すると主桁ウェブの腐食の進行が早く、20年後に主桁ウェブの脚柱連結部付近において局所的な座屈が懸念される状態になると判断された。このため、今後20年以内に更新する計画とした。

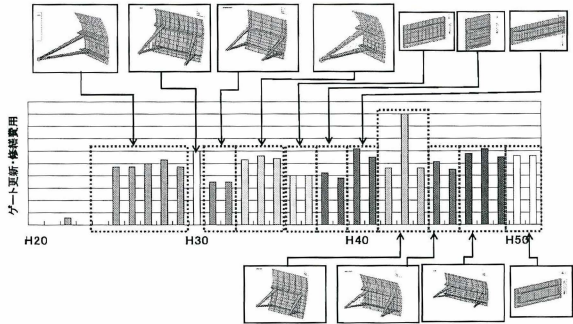
以上のような現状及び将来の健全度診断結果から、更新の優先順位付けを行い、極力更新工事を平準化させた今後30年間のゲートの更新計画を策定した。図一9に策定した更新計画を示す。

今後、6年に1回の定期診断による板厚計測が実施され

20年後に局所座屈の懸念があると予想される箇所



図一8 ラジアルゲートの健全度の将来予測例



図一9 今後30年間のゲート更新長期計画

るごとに今回作成したモデルにより板厚条件を変更した再評価を実施し、長期計画を随時見直ししていく予定である。また、解析結果から得られた応力状態の予測をもとに、重点監視および重点保守部を定め、設備状況の確実な把握と延命化を実施していくこととしている。

6. おわりに

今回実施した3次元有限要素解析および維持管理用解析モデルの採用により、健全度診断技術の高度化を行うことができた。また、この手法により更新時期を平準化した長期的なゲートの更新計画を策定できた。今後は、同手法の動的解析への適用や解析の高精度化などを検討したい。