

腐食した水門扉の残存耐力特性に関する検討

広島大学大学院 学生会員 ○岡本 章太
広島大学大学院 正会員 藤井 堅

広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治
広島大学大学院 学生会員 木下 一孝
中国電力（株） 正会員 西川 雅章

1. 背景・目的

近年、供用年数 50 年を超える土木構造物が増加しており、これらの構造物の適切な維持管理が求められている。しかし、経年劣化の状態は構造物ごとに様々であり、残存耐力等を正確に把握することは困難なため、維持管理計画は構造物毎に立て方が変わると考えられる。そこで、本研究では、主な作用荷重が静水圧で、その値が明確な水門扉を取り上げ、実際の計測データと、FEM 解析による結果から、水門扉の腐食形態と残存耐力特性を明らかにし、適切な維持管理計画を立てるための一資料を提示する。

2. 解析条件

解析コードは ABAQUS を使用した。Fig.1 に解析モデルを示す。本解析モデルは補助部材には要素を使用し、上段・下段主桁やスキンプレートに対しては 4 節点シェル要素を使用している。鋼材は SS400 とし、材料物性は、降伏応力=300MPa、ヤング率=206GPa、ポアソン比=0.3 とした。降伏は Mises の降伏条件により判定している。境界条件は左右対称性を考慮し、水圧を受けるスキンプレート中央の X 方向、下部のダムクレスト接触位置の Z 方向、両端ローラー部の Y 方向を固定とした。荷重は静水圧のみとし、設計水位の静水圧が作用するものとする。

腐食による経年劣化状態を設定するため、本研究では FEM 解析モデルの板厚を減少させた。Table.1 に示すように板厚減少パターンは各ケースごとに異なっている。Case1 から Case3 は、設計板厚に対して、板厚が一律に減少した場合であり、Case4 から Case6 は、計測された現在の平均板厚から更に部分的に減肉させた場合である。

また、実現象を捉えるために、Case7 から Case9 では、計測した平均板厚を供用期間で割ることで腐食速度を部位毎に算出し（Table.2）、30 年後、100 年後、200 年後の解析を行った。

3. 解析結果

解析結果として Fig. 2 に、Case9 の場合の相当応力のコンター図（変形倍率 25 倍）を示す。また、各解析 Case の結果を Fig.3 に示す。この図は、下段主桁フランジの中央部における引張応力と荷重作用方向のたわみ、また、下段主桁ウェブの端部におけるせん断応力を示している。

Fig.3 には、本解析結果に加え、比較のため、腐食のない健全な水門の FEM 解析の結果と、設計計算による結果を同時に示している。ここで、Case1～Case6 の結果

Table.1 解析ケース毎の腐食減肉量

case	解析条件			備考
	主桁		スキンプレート	
	フランジ	ウェブ		
1	10%減肉	10%減肉	10%減肉	設計モデルより
2	20%減肉	20%減肉	20%減肉	設計モデルより
3	30%減肉	30%減肉	30%減肉	設計モデルより
4	10%減肉	現在の板厚	現在の板厚	現状のモデルより
5	現在の板厚	10%減肉	現在の板厚	現状のモデルより
6	現在の板厚	現在の板厚	10%減肉	現状のモデルより
7	腐食速度考慮(現在より30年後)			現状のモデルより
8	腐食速度考慮(現在より100年後)			現状のモデルより
9	腐食速度考慮(現在より200年後)			現状のモデルより

Table.2 部位毎の腐食速度

腐食速度	mm/year	30年後	100年後	200年後
スキンプレート	0.03	0.99	3.00	6.00
ウェブ	0.04	1.19	4.00	8.00
フランジ	0.01	0.29	1.00	2.00

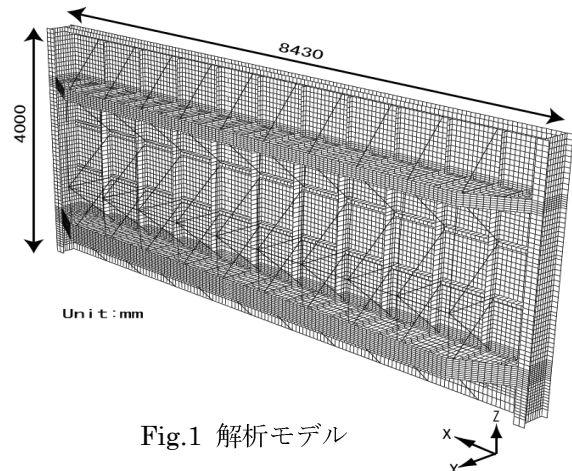


Fig.1 解析モデル

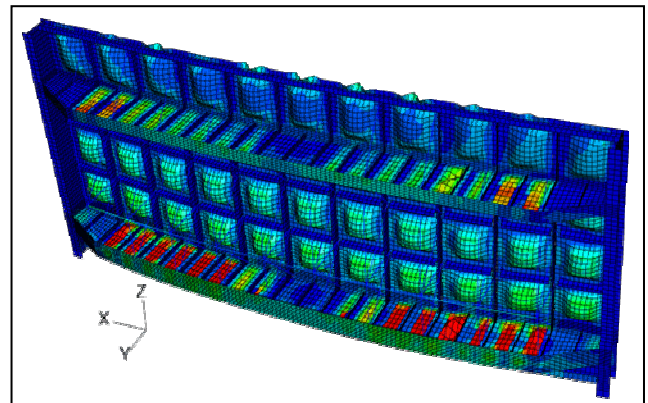


Fig.2 Case9 解析結果（相当応力，変形倍率 25 倍）

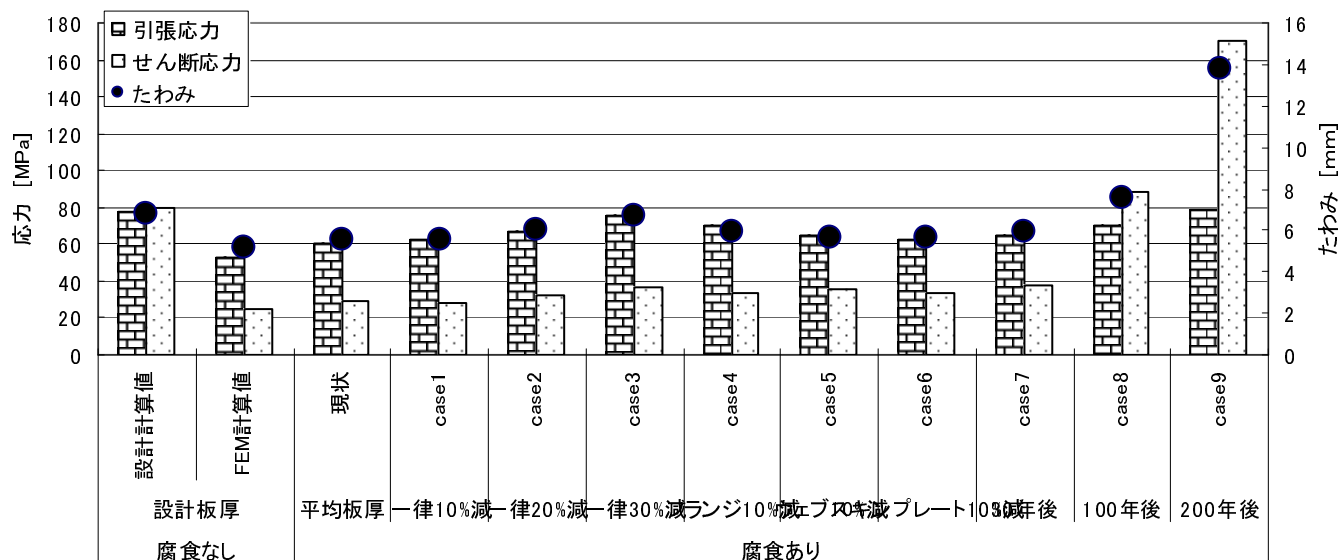


Fig.3 FEM 解析結果の比較

より、一律に30%の腐食までであれば、応力、ひずみ共、比例的に増加する傾向が見られる範囲内にあり、破壊に結びつく非線形的な増加傾向は、まだ見られない。さらにフランジの腐食と全体の強度の相関が強いことが応力とたわみの関係から考えられる。また、Case7～Case9においては各部材（スキンプレート、主桁フランジ、主桁ウェブ）の現在の計測された平均板厚と供用年数より腐食速度を算出し、板厚に反映させているが、ウェブの腐食速度が他の部位に比べ速いこともあり、明らかに、100年後あたりからは、ウェブの減肉が扉体全体の強度を支配するようになり、従って、解析上、ウェブのせん断座屈により終局限界状態に達するものと考えられる。使用限界状態は、それよりかなり以前と考えられる。実際は、解析に乗らない継ぎ手の問題などが、まず生じるものと考えられる。

4. ローラーゲートの特性と維持管理上の留意点

ローラーゲートは、2本の上下段主桁で静水圧の作用するスキンプレートを支える構造になっており、静水圧による曲げに大きく抵抗する構造になっている。そのため、フランジ、特に静水圧の大きな下段主桁のフランジの板厚は厚くなっている。また、フランジは鉛直に設置されているため、水分も溜まりにくく、他の部材と比べて明らかに腐食しにくい。一方、ウェブはフランジ間隔を保持すると共に、静水圧により生じる端部のせん断力に抵抗するが、水平に近い配置がなされるので、水や土砂、塵芥類が溜まり易く、腐食も進行しやすい。このタイプのゲートでは、ウェブのせん断座屈で崩壊した事例もあり、維持管理上の配慮は必要である。これはTable2の各部材毎の平均板厚（計測値）より求めた腐食速度を見て

も明らかである。

FEM 解析結果からは、現在の腐食速度で腐食が進行すれば、主桁端部のウェブの座屈崩壊が終局限界状態となる可能性がある。

FEM 解析結果から、ローラーゲートの維持管理上の留意点を指摘するとすれば、次の通りである。

- (1) Fig. 3 からわかる通り、静水圧を作用させた時、設計計算値よりも実応力は小さく、降伏応力300Mpaに対しては十分な余裕をもっている。耐力としては十分に余裕を有していると思われるので、安易に溶接補強することは、局所的な欠陥を作る可能性があるので、避けるべきであろう。
- (2) 垂直に配置されたフランジよりも、水平に配置されたウェブの腐食速度が大きいのは必然であり、最終的にはウェブの座屈強度が支配要因となって限界状態に達する可能性が高い。
- (3) 設計計算に比べ、FEM解析の結果は実現象に近いが、継ぎ手部の性能はFEM解析で考慮されていないことを念頭に置く必要がある。
- (4) 構造物の腐食形態は、構造形式、設置環境などにより変化するため、実際のデータに基づき、経年劣化に伴う耐力低下を考慮することが、維持管理においては重要である。

5. まとめ

実在するローラーゲートを対象に、実際に計測された腐食状況などを考慮して耐荷力解析を行ない、腐食形態の影響や、維持管理上の留意点をいくつか挙げた。実際の維持管理は多くの劣化要因が複合するため容易ではないが、FEM解析を一つの手段として用いることにより信頼性の高い将来予測が可能になるものと考えられる。