

経年劣化した水圧鉄管を対象とした補修対策の解析的評価に関する検討

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○佐藤 雄亮
東電設計(株) フェロー会員 中村 秀治

1. はじめに

近年、土木構造物の経年化が顕在化してきており、鋼構造物では腐食や疲労といった経年事象への対応が課題となっている。経年劣化した鋼構造物では、鋼板などによる断面補強や断面切断による応力解放、部材交換などが施されるケースがある。しかし、これらの補修・補強の対策効果を実験や解析などにより検討した事例は少なく、また、効果的な補強方法を事前検討することも難しいのが現状である。そこで、本検討では、経年劣化した鋼構造物の補修事例として、水力発電所に敷設されている水圧鉄管を対象に、断面切断による応力解放と鋼板当て板補修の事例を数値解析により再現し、その補修効果の解析的評価について検討した。なお、本検討では汎用有限要素法解析コード ABAQUS を用いて解析を実施した。

2. 解析対象

解析対象とした水圧鉄管の有限要素モデルを図1に示す。解析対象は、内直径が3.0m、板厚が24mm、両端が単純支持で長さが18mの水圧鉄管で、鉄管中央部がコンクリート台で支持されている。解析では、支台が隆起したことで鉄管に塑性変形が生じたと仮定し、支台の両側で鉄管を切断して応力を解放して、さらに切断面を当て板で補修することを想定している。当て板用鋼板の寸法は、板厚が30mm、幅が343mmである。鉄管とコンクリート支台、鋼板の有限要素モデルは、8節点ソリッド要素で構成されており、鉄管と当て板鋼板は板厚方向を3要素に分割している。要素の材料物性値は、ヤング係数を、鋼材では $2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、コンクリートでは $2.94 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とし、鉄管部のみで材料非線形を考慮し、降伏応力を 235N/mm^2 、2次剛性をヤング係数の100分の1としたバイリニアの応力-ひずみ関係を用いた。ポアソン比は共通で0.3とした。

次に、本解析では、鉄管切断後に鋼板要素を有効化することで鋼板当て板を解析上で再現する。鋼板要素を解析の途中で有効化する場合、既に鉄管モデルに変形が生じているため、鋼板要素を有効化すべき座標位置を確定できない。このため、要素発生位置のガイドのために、図1の右上図のように鋼板要素発生位置を示す

ためのはり要素を用いた。はり要素は鉄管や鋼板の変形を拘束しないように、他の要素との物性を考慮した。これにより、鉄管の変形に追従してはり要素も変形し、常に鉄管断面の法線方向を特定することが可能となる。

3. 解析条件

本解析では、支台の上昇や鉄管の切断、鋼板の当て板を再現するため、図2の手順で解析を実施した。鉄管の切断時は断面を9つに分割し、上面から徐々に要素を消滅させた。なお、解析の安定性を考慮して、鉄管の断面は下面の1箇所を残した状態としたため、鉄管断面の切断はstep3~10の8つのステップで段階的に実施した。境界条件は図3に示す通り

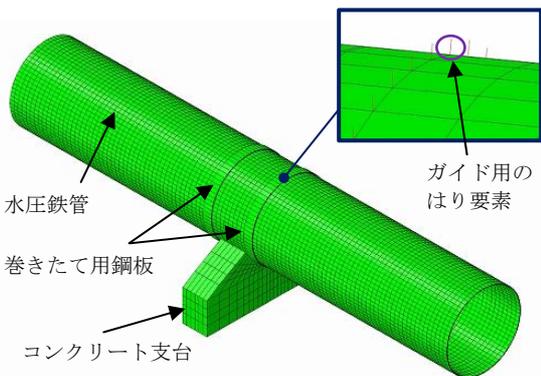


図1 解析対象有限要素モデル

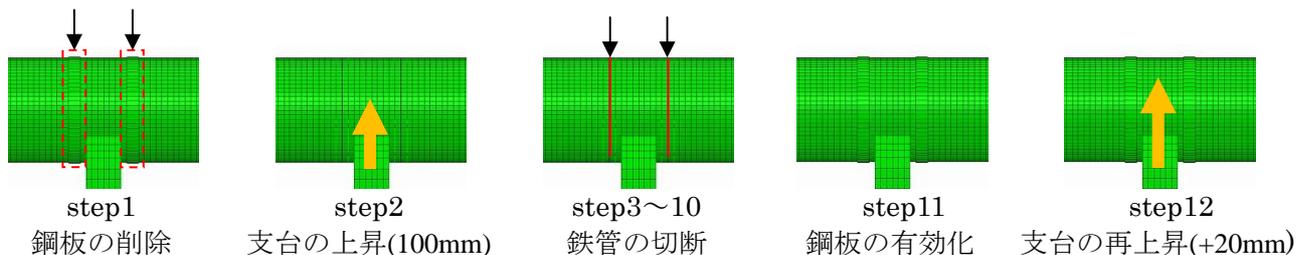
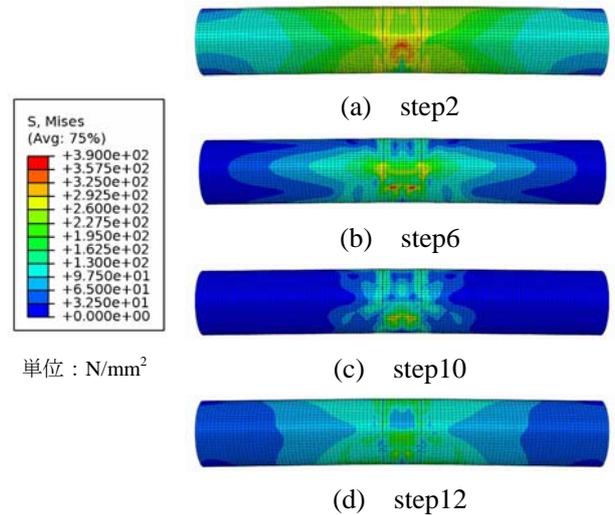
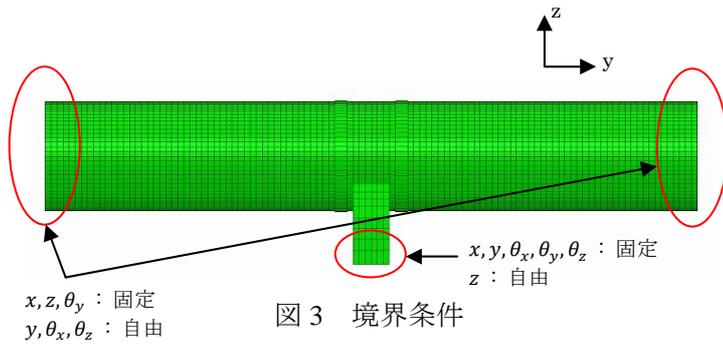


図2 解析ステップの概要

キーワード 経年鋼構造物, 水圧鉄管, 鋼板補修, 有限要素解析, メッシュ変更

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL: 04-7182-1181 E-mail: satoy@criepi.denken.or.jp



単位 : N/mm²

とした。

4. 解析結果

鉄管と当て板鋼板の各ステップにおける応力状態を図4と図5に示す。同図から、支台上昇後に鉄管中央部において非常に大きな応力が生じたが、支台両端部の鉄管を切断することで応力が解放されたことがわかる。また、(a)から(c)に至る鉄管切断中では、切断先端部付近で大きな応力が発生し、最終的には支台近傍で大きな応力が残ることがわかる。さらに、支台が再上昇後の結果から、再度、鉄管全体で応力分担できていることが確認できた。図5からは、当て板鋼板における応力分担状況が確認できる。

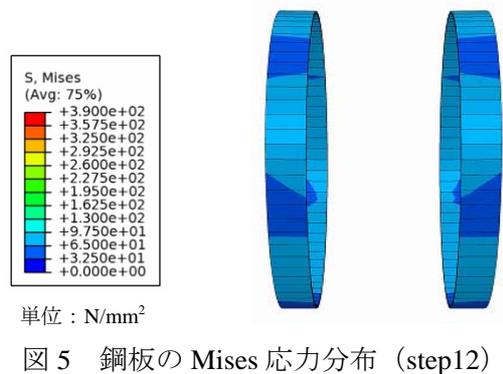
次に、鉄管の相当塑性ひずみ分布の履歴を図6に示す。同図から、支台上昇に伴い、鉄管の中央部上面と支台周辺部で塑性化したことがわかる。また、鉄管の切断に伴い、断面部分の要素が消滅していき、応力が集中する先端部において大きな塑性ひずみが生じることが確認できる。ただし、切断先端部の応力が集中するのは鉄管断面の上側を切断する時のみに限定されており、下側切断時には顕著な塑性ひずみの発生や進行は見られない。これに対して、鉄管中央部や切断面よりも鉄管端部側において、支台上昇後に塑性ひずみが発生した断面では塑性ひずみがほとんど増加せず、鉄管切断による影響は切断面近傍に限定されていることが確認できた。なお、支台再上昇時には塑性ひずみは進行しなかった。

5. まとめ

以上の解析結果から、経年劣化により変形が生じた水圧鉄管において、鉄管の切断による応力解放や、鋼板当て板補修の効果について、それぞれの段階で発生する応力やひずみを解析的に評価することが可能であることが確認できた。本解析と同様の検討を実施することで、効果的な対策規模を検討することが可能であると考えられる。引き続き、腐食に伴う板厚減少で生じる応力再分配なども含めた検討を実施し、建設時からの経年事象の経過や補修・補強までを再現し、それぞれのイベント発生に応じて、応力やひずみの分布状態を検討する。

謝辞

検討に協力していただいた土木学会鋼構造委員会・腐食した鋼構造物の性能回復技術検討小委員会のメンバーに謝意を表す。



単位 : N/mm²

図5 鋼板の Mises 応力分布 (step12)

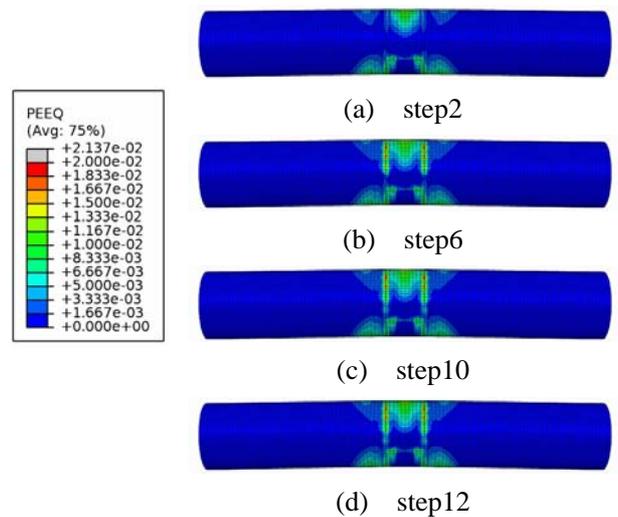


図6 鉄管の相当塑性ひずみ分布の変化