

動的非線形解析によるダム洪水吐ピアの地震時確率論的損傷評価

東電設計(株) 正会員 ○松本 陽介, 栗田 哲史, 安中 正
東京電力ホールディングス(株) 正会員 恒川 明伸, 岡田 和明, 高尾 誠

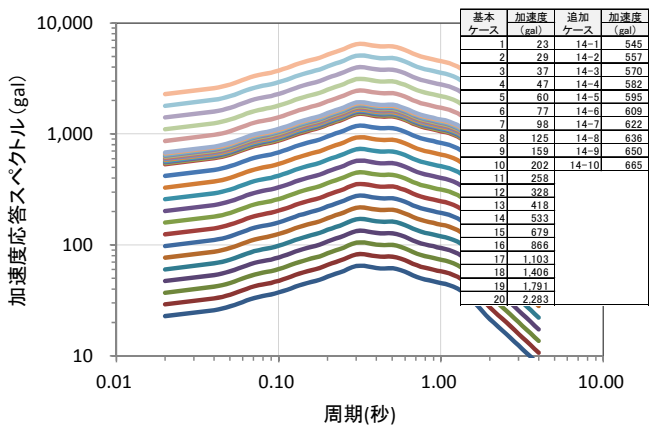
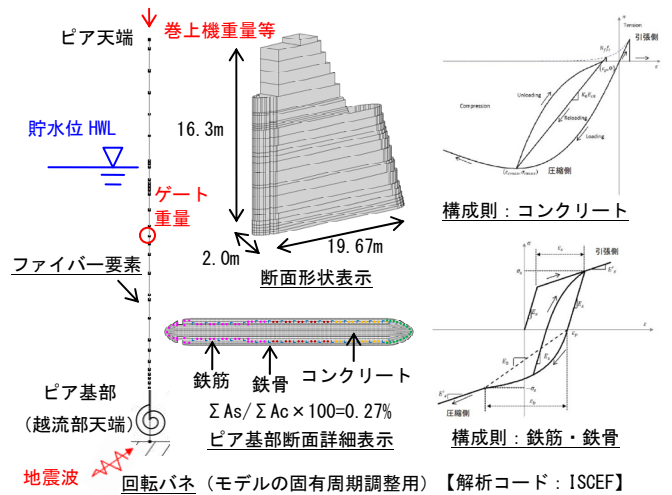
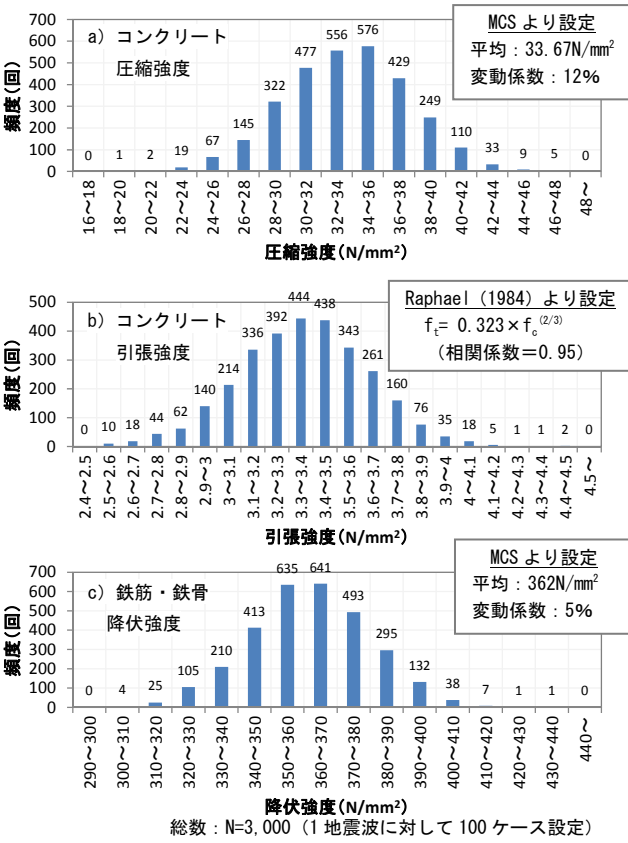
1. はじめに

本研究では、モンテカルロシミュレーション (MCS) を用いた動的非線形解析より、ピアの地震時確率論的損傷評価を試みた。モデル地点は、ラジアルゲート式の洪水吐ピアを有する重力式ダムである。

2. 動的非線形解析

ピアの解析モデルを図-1に示す。モデル地点のピアは、巻上機橋梁等により地震時変位を抑制できる構造では無いことから、ピアを単柱としてモデル化することとした。ピアの天端から基部（越流部天端）までをファイバー要素でモデル化し、コンクリート、鉄筋、鉄骨の材料非線形を考慮した。解析は自重や静水圧による初期応力解析を行った後、地震波を入力した動的解析（水平2方向同時加震、 $\Delta t=0.001$ 秒）を行った。減衰条件は、解の収束性向上を目的として、瞬間剛性比例型減衰により 20Hz で 2%となる小さな減衰を設定した。

各材料の強度は MCS によりばらつきを考慮して図-2のように設定した。コンクリートの平均圧縮強度はピアの調査結果より設定し、変動係数は文献¹⁾の調査データより設定した。引張強度は Raphael (1984) の関係式より、圧縮強度から設定した。なお、相関係数は式の前になったデータを読み取り設定した。鉄筋の降伏強度は、文献²⁾より SD295 の平均強度と変動係数を設定した。その他の物性値はコンクリートの弾



キーワード 地震リスク, ダム, ピア, 動的非線形解析, MCS, フラジリティ曲線

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計(株) TEL 03-6372-5111

表－１ モデルピアの損傷度判定基準

損傷度	判定基準・説明
0:無損傷	判定:鉄筋の引張りひずみ<鉄筋降伏ひずみ(σ_y/E_s) 【ピアの鉄筋降伏】…ピアの修復が必要
1:小破	判定:鉄筋の引張りひずみ>鉄筋降伏ひずみ(σ_y/E_s) ※当該ピアは低鉄筋構造であり、コンクリートのひび割れ発生≒鉄筋の降伏となることから、鉄筋の降伏を小破と定義した。
2:中破	【ピアとゲートの接触】…ピアとゲートの修復が必要 判定:ゲート天端位置のピアの変形>ゲートの可動範囲(30mm) ※当該ピアのゲートとのクリアランスは片側15mmである。ピアの変位が両側のクリアランス30mm以上生じる場合、ゲートの修復が必要となる損傷が生じると考え、中破と定義した。
3:大破	【ピアの曲げ破壊】…ピアとゲートの取り替えが必要 判定1:コンクリートの圧縮ひずみ>2,000 μ (コンクリートの圧壊) 判定2:鉄筋の引張りひずみ>30,000 μ (鉄筋の破断) ※ピアが曲げ破壊する場合を大破と定義した。なお、鉄筋の破断ひずみは、解析精度の観点からShawky.A & Maekawa.K(1996)を参考に30,000 μ とした。※曲げ破壊=判定1 or 判定2

性係数を除いて一般的な値を設定した。コンクリートの弾性係数は圧縮強度との相関を考慮して設定した。

解析モデルに入力した地震波の加速度応答スペクトルを図－3に示す。断層モデルより設定したレベル2地震動を、最大加速度が両対数軸上で等間隔になるよう全周期帯を係数倍して20ケース設定した。また、 fragility 曲線の作成に不足するデータを補うために、更に10ケース追加した。なお、モデル地点は堤敷からピア基部までの高さが10m以下と低いことから、ダム本体での地震動の増幅は無視できるものとした。

3. 地震時確率論的損傷評価

モデル地点のピアは、低鉄筋部材であり曲げ損傷が懸念されること、ならびにピアとゲートの間隔が狭く両者の接触が懸念されること等から、ピアの損傷度(小破・中破・大破)を表－1のように設定した。

動的非線形解析の結果と損傷度判定の対応を図－4に、この結果より作成したピアの fragility 曲線(対数正規分布)を図－5に示す。100gal 前後の地震により、ピアの鉄筋が降伏し小破と判定される。なお、履歴減衰に期待ができない無損傷領域の減衰も2%となるため、小破は非常に安全側判定となっている。310gal 前後の地震により、ピアとゲートが接触し中破と判定される。580gal 前後の地震により、ピアは曲げ破壊に至り大破と判定される。

ピアの fragility 曲線の特徴として、大破(曲げ破壊)を判定する曲線が急勾配(対数標準偏差 0.0427)であることが挙げられる。ピアが大破する確率は、材料強度のばらつき以上に、入力加速度の大きさに敏感であることが分かる。これは、モデル地点のピアが低鉄筋構造であることや、単柱構造であるためと考えられる。

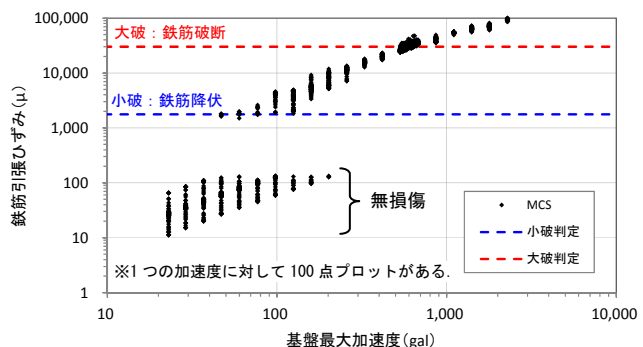
4. まとめ

本研究では、MCS を用いた動的非線形解析により、ピアの地震時確率論的損傷評価を試みた。 fragility 曲線を作成することで、加速度の大きさに応じたピアの地震時損傷確率を定量的に評価することが可能となる。なお、本研究結果を用いて、恒川・他(2018)³⁾ではピアの確率論的地震リスク評価が試行されている。

参考文献：1) 受託試験におけるコンクリートの圧縮強度及び骨材の品質試験に関する調査，GBRC，昭和56年度～昭和61年度。

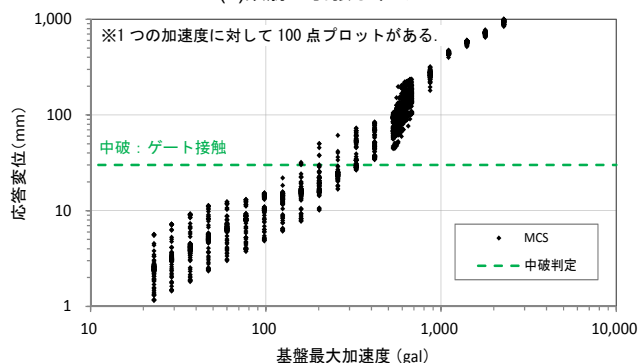
2) 受託試験における鉄筋コンクリート用異形棒鋼の引張及び曲げ試験に関する調査，GBRC，昭和57年度～昭和61年度。

3) 恒川・他(2018)：重力式ダム洪水吐ピアの確率論的地震リスク評価，平成30年土木学会全国大会，(投稿中)。



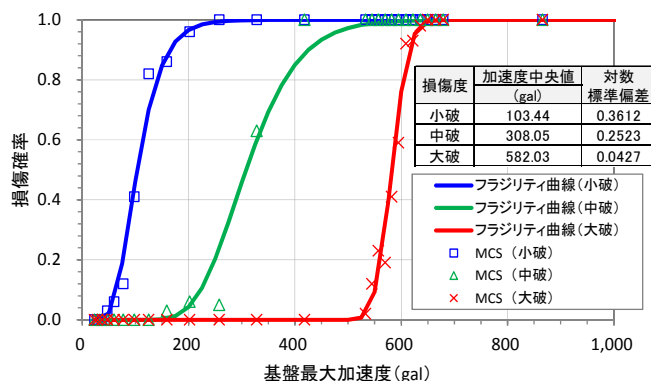
※図に示す小破判定は平均降伏強度より求めた降伏ひずみ(1,757 μ)を代表として記載
※大破の判定は図に示す鉄筋のひずみ30,000 μ 以外に、コンクリートのひずみ2,000 μ でも行っている。

(a)鉄筋の引張りひずみ



(b)ゲート天端位置のダム軸方向応答変位

図－4 動的非線形解析結果と損傷度判定の対応



※ピアに非線形挙動が生じることを前提として減衰定数を2%に設定していることから、線形解析(一般に減衰定数5%)による評価と比較して小破は安全側に評価されている。

図－5 モデルピアの fragility 曲線