ダム門柱における3次元ソリッドモデルによる非線形解析手法の適用性の検討(その2)

水資源機構正会員佐藤信光冨田尚樹オリエンタルコンサルタンツ正会員〇久木留貴裕正会員大竹省吾

1. はじめに

ダムの耐震性能照査では、ダム本体だけでなくゲートやこれを支持する門 柱も耐震性を確認する必要がある.ダム門柱は水圧が作用するゲートを支え る関係で幅の広い大きな構造であるが、それと比較して鉄筋が少ない特徴と なっている.このため、RC構造であるがひび割れ耐力よりも曲げ降伏耐力 が小さくなる低鉄筋構造となることが多い.ダム門柱の耐震照査は一般に骨 組みモデルで行われているが、ダム門柱の地震時被害の実態¹⁾を踏まえると、 最近は詳細な3次元ソリッドモデルによる耐震照査も求められている.本稿 は検討(その1)²⁾に引き続き、実ダム門柱形状に対する3次元ソリッドモ デルによる非線形解析手法の適用性の検討を報告するものである.

2. 照査対象のダム門柱

照査に用いる地震動を図-1 に示す. 照査対象とするダム門柱は, 高さ 15m, 幅 3m の構造で, ダム堤体と門柱を一体として解析モデルを作成した (図-2). 門柱の構造は鉄筋比が 0.03~0.09%の低鉄筋 RC 構造とした (表-1). 解析モ デルの堤体底面に地震動を直接入力して動的解析した.

3.3次元ソリッド非線形解析モデル

検討には、コンクリートのひび割れ前後の引張抵抗を適切に評価がで きる3次元ソリッドモデルによる非線形解析手法³⁾を適用した.解析に 用いるパラメータは、**表-1**を基に求めた検討(その1)²⁾の値を設定し た.堤体の側面の境界条件は水平ローラーとし、門柱の堤体に天端橋梁 を考慮した(図-2).付加質量として、ゲートや巻き上げ機の質量と、 動水圧の影響を考慮した.また、天端橋梁はダム軸方向(橋軸方向)の 可動・固定の支承条件をモデル化した.

比較のために 1 本柱の骨組みモデルにより門柱基部までをモデル化 した.基部の M-φ 特性は図-3 に示すとおりであり、ひび割れ強度が鉄 筋の降伏強度を上回る.

4. プッシュオーバー解析による破壊形態の推定

最大荷重後の耐力低下までを推定するため,変位制御のプッシュオ ーバー解析を行った.ここで,変位分布は,予め荷重制御の線形動的 解析により引張応力度最大時の変位分布(図-4)を把握して全点の値 を設定した(図-5①).この結果,骨組みモデルに比べ初降伏時の耐 力が1.3倍と算定された(図-6①).これは、コンクリートのひび割 れ前と後の引張抵抗を適切に考慮できたためと考えられる.ただし、 骨組みモデルと異なり、コンクリートのひび割れ後の耐力の低下挙動 が見られなかった(図-6①).



キーワード ダム門柱,耐震,非線形解析,3次元ソリッドFEM,動的解析 連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1 (株)オリエンタルコンサルタンツ TEL03-6311-7860

-484

(n

(kN

2

Ш

この原因を分析するため,変位載荷位置をパラメータとし た解析を実施した.この結果、載荷位置を高さの異なる3 ラインに限定し、その間の変形を自由にしても(図-52)全 点に載荷したものと応答は異ならない(図-62)が、天端に 同一変位を作用させる(図-5③)と、コンクリートのひび割 れ後の耐力の低下挙動が見られるようになった(図-6③). また,損傷の進展を確認したところ,天端に同一変位を与え たケース(図-53)は、天端変位 15mm で断面全体に渡り ひび割れが連続し、天端変位 38mm で鉄筋が断面内で連続 的に降伏した (図-7③). 全点で変位を与えるケース (図-5 ①)では、天端変位 20mm で断面全体にひび割れが連続し、 天端変位 45mm で鉄筋が断面内で連続的に降伏しており(図 -7①)、断面内の損傷時期が分散している.これよりダム門 柱では,門柱基部の最上部より下方に向けて段階的にひび割 れと鉄筋降伏が発生することでピークが平滑化されるもの と考えられる (図-6①). なお, 図-6③の耐力が小さいのは, 中間部の変形を自由にしているためと考えられる.

5. 非線形動的解析

ダム門柱の非線形動的解析を、3次元ソリッドモデルと、 骨組みモデルにより実施した.この結果、3次元ソリッドモ デルの門柱天端の最大応答変位は、骨組みモデルの5割程度 に低下した.また、曲げについては、3次元ソリッドモデル では、鉄筋のひずみが骨組みモデルの5割程度となり、降伏 ひずみの3.7倍程度に留まった.なお、せん断については、 3次元ソリッドモデルのプッシュオーバー解析において地 震時の最大応答を超える変位が作用してもせん断破壊の際 の急激な耐力低下は生じないことを確認している.

6. おわりに

3次元ソリッドモデルによる非線形解析を,下流側に越流 形状した実ダム門柱の構造に適用し,門柱の破壊形態を確認 した結果,門柱のコンクリートのひび割れや鉄筋の降伏は, 基部の上端から下方に向けて段階的に進むため,低鉄筋 RC 構造物特有のひび割れ後の耐力の低下は見られないことが 確認された.動的解析により耐震性能の照査を実施したとこ ろ,3次元ソリッドモデルの方が骨組みモデルよりも耐震性 能を高く評価することが確認された.今後は,構造の異なる ダム門柱への適用性を検討する.

参考文献 1)島本和仁,佐藤信光,大町達夫,川崎秀明,岩井真治:2008 年岩手・宮城内陸地震によるダムの被害調査報告,ダム工学, Vol.18, No.2, 2008.3. 2)佐藤信光,冨田尚樹,福間雅俊,久木留貴裕,大竹省吾:ダム門柱における3次元ソリッドモデルによる非線形解析手法の適用性の検討(その1),土木学会第71回年次学術講演概要集,2016.9(投稿中).3)佐藤裕一,長沼一洋:分散ひび割れ型 FEM によるひび割れ幅の予測(その3:3次元解析),日本建築学会学術講演梗概集(関東), pp.667-668, 2006.9.



 $\begin{array}{c} 220\\218\\216\\0\\0.002\ 0.004\ 0.006\end{array}$

曲^{率(1/m)} (2)骨組み 図-9 曲げの照査