

地震関連情報

(国際大ダム会議地震委員会資料)

2011年4月26日

(社) 日本大ダム会議事務局

「東北地方太平洋沖地震によるダムの状況については、藤沼池を除き重大な被害を受けたとの情報はありますが、福島第一原子力発電所事故もあり、ダムを含めて重要構造物の安全性の論議が活発化すると考えられます。

国際大ダム会議・地震委員会(委員長: Martin Wieland)では、2010年5月26日のハノイの年次例会で、「ダムの安全と地震」についてポジションペーパーを採択しています。国際大ダム会議の本問題に関する認識を知る上で、また、ダムの安全と地震についての論点整理を行う際に、参考になると考えられますので、以下に紹介します。

「ダムの安全と地震」

ポジションペーパー 国際大ダム会議 地震委員会 (委員長: Martin Wieland)

2010年5月26日 ハノイの年次例会で採択

はじめに

現在までのところ地震で貯水用のダムが壊れ、人が死亡したことはない。地震はダムの設計と安全にとって重要な要素であった。

高さが15m以上の貯水用のダムは、コンクリートあるいはフィル(土や岩石)の堤体と、基礎の浸透水を減らすためのグラウトカーテンあるいは止水壁、洪水を安全に流す洪水吐き、非常時に水位をさげる底部放流管、用水を放流するための取水放流設備からなりたっている。貯水池の目的により、その他、発電用の取水設備、発電所、環境用水の放流設備、魚道などが設置される。

2008年5月12日の汶川地震(リヒターマグニチュード8.0)では、1803のダム(コンクリートあるいはフィル)と403の発電所が被害を受けた。2010年2月27日のチリのマウレ地震(リヒターマグニチュード8.8)では、数個のダムが被害を受けた。しかし、この二つの非常に大きな地震でも大きなダムは壊れなかった。

ダムはどのような地震の作用に耐えねばならないか?

強い地震を受けたとき、ダムの貯水池から制御されない急激な溢水を起こさせないためには、ダムは極端に大きな地震、すなわち安全評価地震(Dam Safety Evaluation

Earthquake) あるいは可能最大地震(Maximum Credible Earthquake)と呼ばれる強い地震動に耐えることができなければならない。ダムは通常、10,000年に1回、すなわち、100年間に起こる確率が1%である地震に対して安全であるように建設することになっている。このような大きな地震がダムに影響を与えた事例は少ないことから、稀な地震時にどのような事が生ずるかを予想することは難しい。したがって、大地震時の事例を参照することは重要である。汶川地震とマウレ地震の二つの大きな地震から、既設のダムと今後建設するダムの安全に関わる教訓が得られている。

一方、ダムと建物・橋梁では荷重の作用に違いがある。通常は、建物・橋梁は自分の重みである鉛直方向の荷重が主であり副次的に活荷重が作用する。ダムの場合はおもな荷重は水圧であり、コンクリートダムの場合には、鉛直な上流面に直角にすなわち水平方向に作用する。フィルダムの場合、水圧は遮水コアあるいは上流の遮水壁に直角に作用する。コンクリートダムあるいはフィルダムは建物・橋梁よりも水平の荷重を担うのにずっと適している。ダムは通常10,000年に1回の地震に抵抗できるのに対して、建物や橋梁は475年に1回の地震に対して設計される。通常の建物の基準では、対象の地震は、50年間に起こる確率が10%である。建物と橋梁の基準では重要度に応じて地震のランクを上げるがそれでもダムが対象とする地震よりも小さい。

さらに既設の古い建物・橋梁は、現代的な耐震設計がなされていないが、ダムでは1930年代以降は耐震設計が導入された。1990年代以前と以降で耐震設計の手法が変わっているが、1990年代以前の古い設計法によるダムも注意して設計されたものは、現在の手法で評価しても安全が確認できる。世界の多くの地域で既設ダムの安全性は、国際大ダム会議のガイドラインを使って再評価されている。

地震の危険因子は一つでなくいくつかの危険因子がある

貯水用のダムの地震対応を考えると次のような複数の危険因子がある。

- ・地盤の揺れが、ダム、付属構造物、機器、基礎に振動を起し、構造的なゆがみを起こす
- ・近くの大きな断層が動いたとき、ダム基礎の断層がつられて動き、構造的なゆがみを起こす
- ・貯水池のなかの断層が動くと、波が起こり、溢水する
- ・落石や地滑りがゲート、洪水吐き、擁壁、発電所、電気・機械設備、発電用管路、変電設備に被害を与える
- ・上流河川で地滑りが生じせき止め湖ができ、これが決壊したとき、流れ込み式発電所に被害を与える
- ・地盤の変形や液状化で土やロックフィルにゆがみが生ずる
- ・両岸の変形で、堤体にゆがみが生ずる

以上のうち貯水池の波は軽微な影響である。通常、設計基準における主な対象は、地盤

の揺れで、応力、変形、亀裂、すべり、転倒などを起こし得るが、その他の危険因子も基準類で書かれていなくても重要である。したがって、ダムの耐震設計に当たっては、個々の貯水用ダムの現地条件に応じて、危険因子を考慮すべきである。

強い地震では何が起きるか？

ダムの地震時挙動の経験は限られている。汶川地震では、堤高 100m 以上のダムでは、2 個のコンクリートダム、2 個の土質コアロックフィルダム、1 個の表面遮水壁型ダムが被害を受けた。他の地域では、100m 以上のコンクリートダムでは 5 個のダムが強い地震で被害を受けている。コンクリートの被害は、主として亀裂であるが、継ぎ目が大きく開いたときも貯水の溢水につながる可能性がある。現代的なフィルダムでは、被害の形態は変形であり、天端の亀裂がパイピングにつながる可能性もある。

しかし、我々はそれぞれの個別のダム毎にサイトの特性があることに留意しなければならない。したがって、他ダムの地震被害の経験が別のダムに当てはまるかどうかは、不明な点がある。現時点では、大きな現代的なダムが強い地震を受けた事例が少なく、これから更に経験が必要である。汶川地震では、落石が生じて、堤体と付属構造物に被害を与えた。汶川地震の震央付近では、峡谷にある地表の発電所は、落石に傷つきやすかった。

地震が予知できたとして水位を下げられるか？

もし地震が予知できるとしたら、地震前に貯水位を下げようとするだろう。このような考え方には二つの問題点がある。第一にこの 40 年間の地震予知の研究があるにも関わらず、いまだに大きな地震の起きる時間、場所、大きさを信頼度高く予知するに至っていない。小さな地震は予知できるかもしれないが、大きな地震は予知できてない。予知は例えば、30 年間にマグニチュード 7 の地震が 50% の確率で起きるといいう言い方がされる。このような予知では、貯水を下げるわけにはいかない。

大きな地震が予知できたとしても、大きな貯水池の水位を下げる十分な時間はないだろう。水位低下には低い位置の放流管（底部放流管）あるいは低い位置にある発電用取水管による。低い位置の放流管はすべてのダムに設置されている訳ではない。したがって、50% の貯水を下げるには、数週間あるいは数ヶ月かかり、場合によっては不可能である。

結論としては、地震予知はゆっくり進歩している科学であるが、ダムの安全を確保するための手だてではない。唯一の方法は、強い地震動に耐えるようにすることであり、これが、現在のダム設計の実際である。

ダムの最大の危険因子は貯水池である。したがって、耐震設計では、満水時の条件でダムの安全性を確保しなければならない。アーチダムの場合、地震動に対して貯水池が空虚のとき、被害を受けやすくなるが、そのときはダムが壊れたとしてもダムの被害という経済的損失は大きいにしても、下流に住む人に対しては、危険度は低い。

貯水ダムで地震は誘発されるか？

貯水池により地震が誘発された事例は多くある。誘発地震（RTS=reservoir induced seismicity）が起きる条件は、(i) 貯水池に活断層があること、(ii) 断層に大きな地殻応力が働いており、破壊に近い状態にあることである。地震活動の活発な地域の貯水池に湛水すると、将来起こる地震を単に早めることになるかもしれない。誘発地震は主として100mを越える貯水池で生じている。マグニチュード5.7を越える地震が7事例あるとされ、最大のマグニチュードは6.3である。中国の Hsinfengkiang バットレスダム、インドの Koyna 重力式ダムで堤体に被害が生じている。ダム建設以前の地震活動が不明であり、これらの地震が本当に貯水で誘発されたものかどうかの疑問が依然としてある。

大きなダムが現在の手法で設計されていれば、すなわち最大級の地震に抵抗できる性能を持つように設計されていれば、どんな貯水池誘発地震にも耐えうる。しかし、貯水池の周辺にダムよりもずっと地震に対して抵抗の小さい建物や構造物があれば、貯水池誘発地震は問題となりうる。貯水池誘発地震の大部分がマグニチュードは小さく、構造物への懸念はない。

貯水池誘発地震は、常に大きなダムとの関連で議論されてきた。紫平鋪ダムが活動した龍門山断層の近くにあったから汶川地震との関連を言う人もいた。しかし、湛水や貯水の操作が地震を誘発したという結論付ける証拠はない。

貯水用ダムで地震時の安全に関する主な懸念はなにか？

主な懸念は既設の地震に対する設計がなされていないダム、これらは多くの場合、古くて小さいダム、そして今日からすると適切さを欠く基準や解析で設計されたダムである。したがって、これらのダムは現在の耐震安全基準を満たしているかどうか不明である。これらのダムは、例えば国際大ダム会議の彙報120号に示すガイドラインによって地震危険度評価をすべきである。評価に応じた対応をとることによって、強い地震時にも良好な挙動を示すであろう。これらのガイドラインにしたがうことは、高級な解析を実施するよりもより重要である。高級な解析は、ダムの挙動を理解するのに適切な手法である。

国際大ダム会議の役割

米国のフーバーダムは1930年代に建設され、初めて堤体と貯水の地震による影響を考慮した。フィルダムは1920年代に日本で始めて、安定評価に地震力を導入した。

国際大ダム会議は、数回の大会と年次例会で地震のダムへの影響を議論した。1955年、フランスのパリで第5回大会が開かれ、「材料あるいは基礎の圧縮性と地震の影響によるフィルダムの沈下」という課題が議論された。

1968年6月には国際大ダム会議に「地震委員会」が設立された。現在、5大陸から31カ国の代表がこの委員会に参加している。当委員会からは次の彙報が出版されている。

- ・彙報第62号（1988年、2008年改定）：地震後のダムの点検

- ・彙報第 72 号 (1989 年、2010 年改定) : 大ダムの地震のパラメーター
- ・彙報第 112 号 (1998 年) : 第四紀の地質構造とダム
- ・彙報第 113 号 (1999 年) : ダムの地震観測
- ・彙報第 120 号 (2001 年) : 地震動に有効に抵抗するダムの設計上の特徴
- ・彙報第 137 号 (2010 年) : 貯水池と地震活動 ; 現在の知識

結論

強い地震動に安全に耐えるようダムと付属構造物を建設する技術はできている。

静的な荷重に適切に抵抗するよう設計された貯水用のダムは本質的に地震の作用に強くできている。多くの小さなダム (堤高 15m 以下) は地震で被害を受けているが大きなダムは地震動で壊れたことはない。

非常に強い地震動に対してのダムの挙動については、まだ不確定な部分があり、地震時におけるダムの挙動の収集、解析、現場観測結果の解釈等の努力を続けるべきである。

以上

(原文のポジションペーパーには、マンジル地震、汶川地震における被害の写真がある)