

アスファルト表面遮水壁式ロックフィルダム設計における地震と温度条件の組合せについて

電力中央研究所 岡本敏郎 西内達雄

1. はじめに

アスファルト表面遮水壁式ロックフィルダムの設計では、遮水壁の安定性を検討する際、アスファルト混合物は温度に依存する物性を持つため、低温時と高温時の検討が必要である。特に、低温になると、アスファルト混合物は脆性的になり、変形しにくくなる。また通常フィルダムの設計では地震時が最もクリティカルとなる。このため耐震設計においては、アスファルト混合物の低温時の物性を定めるため、温度条件を設定する必要がある。しかしながら、地震も温度も時間に依存するため、設計において地震力と温度条件の組み合わせをする際それらの関係を把握する必要がある。そこで、これらの関係を確率的な面から考察する。

2. 地震と温度条件に関する再現確率を考慮した関係

(1) 確率による組み合わせの基本的関係 (土木学会原子力土木委員会 (1996))

まず、地震の再現期間を T_e 年、ある温度以下となる再現期間を T_t 年とすると、これらの事象に対する年超過確率はそれぞれ $1/T_e$ 、 $1/T_t$ (1/サイト・年) となる。

地震と温度は互いに独立な事象であるので、1年間に両方の事象が発生する確率を P_1 とすると、

$$P_1 = 1/(T_e \Delta T_t) \quad (1/\text{サイト} \cdot \text{年}) \quad \dots \quad (1)$$

さらに地震とある温度以下になる継続時間をそれぞれ t_e 、 t_t 年とすると、1年間に地震と温度の両方が発生した条件下で、両事象が重なり合う確率 P_2 は、

$$P_2 = t_e + t_t \quad (1/\text{サイト} \cdot \text{年}) \quad \dots \quad (2)$$

したがって、地震と温度の両方が1年間に発生し、両事象が重なり合う確率 P は、

$$P = P_1 \times P_2 = (t_e + t_t)/(T_e \Delta T_t) \quad (1/\text{サイト} \cdot \text{年}) \quad \dots \quad (3)$$

(2) 発生確率 (電気協会 (1984))

通常、発生確率が 10^{-7} (1/サイト・年) 以下の外部事象は考慮する必要がないと判断されるので、上式は以下のようになる。

$$(t_e + t_t)/(T_e \Delta T_t) \geq 10^{-7} \quad (1/\text{サイト} \cdot \text{年}) \quad \dots \quad (4)$$

(3) 地震の継続時間 (電気協会 (1984))

電気協会で提案されている下記の式により評価が可能である。

ここに M : マグニチュード 本式によれば、 $M=6$ で $D=12$ 秒、 $M=7$ で $D=25$ 秒、 $M=8$ で $D=51$ 秒となる。

$$t_e = 10^{(0.31M - 0.774)} \quad (\text{秒}) \quad \dots \quad (5)$$

よって、 $t_t \geq 10^{-7} (T_e \Delta T_t) \Delta (365 \times 24 \times 60 \times 60) - 10^{(0.31M - 0.774)} \quad (\text{秒}) \quad \dots \quad (6)$

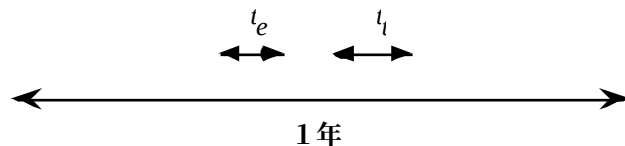


図1 各事象に対する年超過確率

3. 考慮すべき温度の再現期間と継続時間

以上から、地震のマグニチュード M と再現期間を指標として、温度の再現期間と継続時間の関係が導ける。そこで $M=8$ に対して計算した結果が図3である。 $M=6$ と 7 においてもほとんど同じ結果が得られており、地震の継続時間にほとんど依存しないためである。図によれば、地震の再現期間が決まれば、ある温度の再現期間に対し必要最小限の継続時間が求められる。このため、ある温度の継続時間をに対し必要最小限の温度の再現期間も定められる。しかしながら、アスファルト混合物の最低温度条件を定めるとき、継続時間が長くなれば最低温度は高くなってしまふ。また、温度計測では通

常測定間隔が1時間程度であると思われる。このため、最低温度を定めるには継続時間を先に設定し、必要な再現期間を求めるのが一般的であろう。

最近のレベル2地震動の検討によれば、設計上検討する強地震はおおよそ2,000年ほどに数回程度で、日本の地震の少ない地域でも最低1回は発生するであろう地震を対象とするようになってきている。以上のことから、おおよそ温度の再現期間 $T_e=1$ 年で継続時間 t_e 1時間という条件が適当と考えられる。

4.その他考慮すべき要因

設計において考慮すべき要因として考えなければならないものは以上の他に、対象とすべきアスファルト遮水壁の領域とダムの運用である。すなわち、最低温度が生じるのは湛水面以上であり、湛水面以下は水中にあるので零度以下にはならない。このため、最低温度を考慮するのは湛水面以上である。また積雪があれば、その下の遮水壁は気温より高いはずである。しかし、斜面上にある積雪を設計には取り入れ難く、設計上の余裕代程度であるとする。一方、ダムの運用としては季節や日時による運用の変化であり、湛水していないときは遮水壁全域が最低温度になるが、水がないため地震を受けてダムが損傷してもななら影響がない。揚水式にアスファルト表面遮水式を適用したときに水位が低い時が年間の1/3程度ある可能性がある。しかし設計にこのような運用を考慮することは難しいと考えられ、設計上の余裕代とするのが適切と思われる。以上のことから設計上の貯水位は低水位（L.W.L.）と高水位（H.W.L.）の間に設定することになるが、この場合地震による被害は天端近傍もしくはダム高さの約1/3に相当する上部と考えられるので、その部分では貯水はないことがあり、ダムの被害による機能損傷を考えると安全側となることに留意する必要がある。

5.結論

アスファルト表面遮水壁式ロックフィルダムの設計にあたり、アスファルト混合物の温度条件設定を地震との関係から確率的に考察した。実際には、温度の再現期間 $T_e=1$ 年を得るためには数年代程度のデータは必要である。すなわち、継続時間1時間以上のデータは年間 24×365 個得られるため超過確率を議論するには十分であると思われるが、データ数の他に観測年の気候に影響されるであろうため、気候の年変動を考慮する必要があり、少なくとも数年のデータが必要と考えられる。

参考文献；土木学会原子力土木委員会（1996）：原子力発電所の立地多様化技術、第4編人工島式立地技術、pp67-70）、電気協会（1984）：原子力発電所耐震設計技術基準

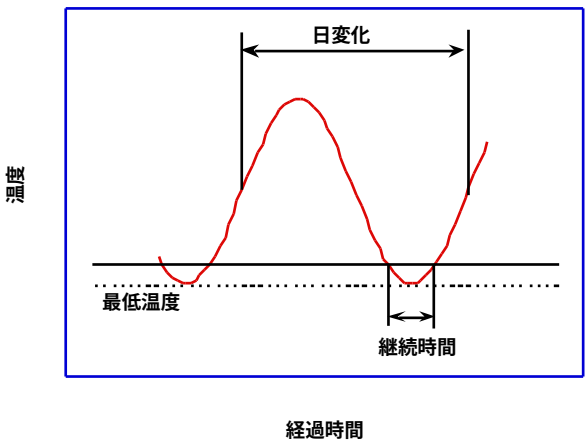


図2 アスファルト遮水壁の温度の日変化と継続時間の定義

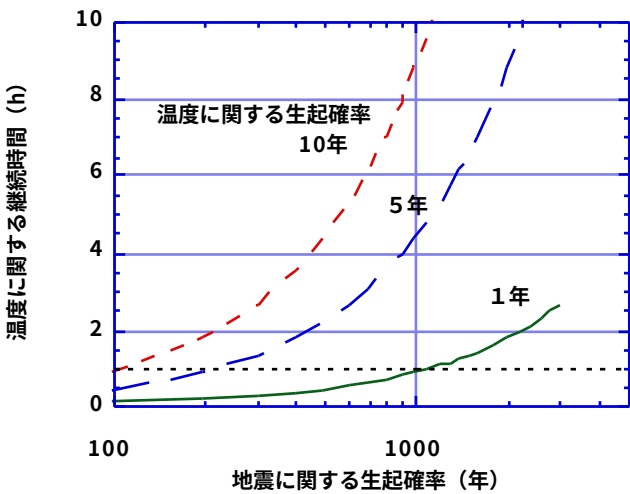


図3 温度に関する必要最小継続時間（ $M=8$ ）