

I-85 コンクリートダムの地震時波動伝搬速度について

中部電力(株)電力技術研究所 正員○佐藤 正俊・上田 稔・奥田 宏明・近藤 久雄

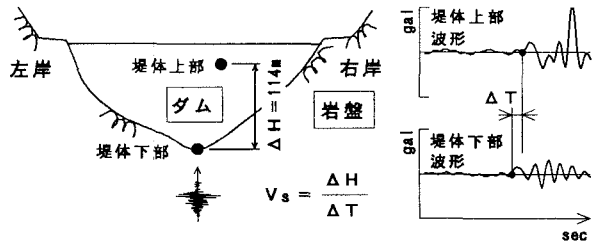
1. まえがき

アーチダムや重力式コンクリートダムの地震応答解析において、解析モデルの物性のうち、ダムコンクリートの波動伝播速度(V_s)は最も重要な値である。しかし、 V_s が載荷試験(圧縮、引張試験)、共振法や超音波法等、試験方法によって求められる値が異なり、地震時のダムの V_s として採用すべき値は明確になっていない。しかも、大型の供試体を必要とするため、上記の試験をダムコンクリートそのもので行なわれた例は少ない。また、地震時には様々なひずみレベルの地震波が伝播するが、コンクリートの弾性係数は、ひずみ速度に依存しひずみ速度が速い程大きくなることはよく知られている¹⁾。地震時には、ダムに圧縮応力だけでなく引張応力も発生する。これらのことから、本研究ではダムコンクリートそのものを対象とし、上記各種試験を行う。そして載荷試験については、ひずみ速度を変えた圧縮試験や直接引張試験²⁾を行う。さらに、各種試験に加え実ダムにおける観測地震波より V_s を求め、コンクリートダムの地震時波動伝播速度について明確にすることを目的とするものである。

2. V_s の算出方法

(1) 観測地震波による方法

図-1に観測地震波よりダム堤体の V_s を算出する方法を示す。 V_s は、地震波を2ヶ所で観測した際の、S波の立ち上がりのゼロクロス部分の時間差 ΔT と観測点間の鉛直距離 ΔH より、 $V_s = \Delta H / \Delta T$ で算出した。対象とする地震は、地震波がダム下方より一様に鉛直上方に伝播すると考えられる、震源距離の比較的に長い地震とした。本研究で用いたのは、建設後23年を経たAアーチダムでの観測記録で、マグニチュード5程度、堤体上部(図-1)の応答が約10galであった2波を対象とした。震源距離は約110kmと50kmである。なお、算出は、ダムの上下流方向成分の記録で行った。

図-1 観測地震波より V_s を算出する方法

震源距離の比較的に長い地震とした。本研究で用いたのは、建設後23年を経たAアーチダムでの観測記録で、マグニチュード5程度、堤体上部(図-1)の応答が約10galであった2波を対象とした。震源距離は約110kmと50kmである。なお、算出は、ダムの上下流方向成分の記録で行った。

(2) 載荷試験

V_s とひずみ速度の関係や圧縮側と引張側の違いを検討するため、ひずみ速度を変えた圧縮試験と引張試験を行った。この引張試験は、一般的に行われる割裂試験では弾性係数が求められないため、直接引張試験²⁾を行った。ひずみ速度は、地震時にダムに発生すると考えられる範囲の値として、約 $0.2\mu/\text{sec}$ の静的試験(荷重制御)と、2, 20, 200, 2000 μ/sec と変えた動的試験(変位制御)を行った。供試体は、配合がAダムとほとんど同じBダムコンクリートで、最大骨材寸法150mm、寸法は $\phi 30 \times 60 \text{cm}$ 、試験材令91日である。測定した応力-ひずみ曲線から得られる初期接線弾性係数 E より V_s を、 $V_s = \sqrt{E / \{2\rho(1+\nu)\}}$ で算出した。ポアソン比 ν 、密度 ρ も実測値を用いた。

(3) 共振法及び超音波法

共振法は、JIS A 1127に基づき行った。測定した1次固有振動数 f と供試体長さ L より、縦波速度 V_p は $V_p = 2Lf$ であり、 V_s を $V_s = \sqrt{(1-2\nu) / \{2(1+\nu)\}} V_p$ で算出した。超音波法では、50kHzの超音波パルスを用い、供試体長さ方向の伝播時間 ΔT を測定し、 $V_p = L / \Delta T$ で V_p を求め V_s を算出した。なお、本試験と上記載荷試験で用いた供試体は同一のものであり、本試験を行った後に載荷試験を行った。

3. 結果及び考察

図-2に各方法より算出した V_s を、Aダムコンクリートについては●印で、Bダムコンクリートについては値の範囲を四角で囲み平均値を縦の太線で記した。静的載荷試験の覧の●印は、Aダム建設当時材令360日で静的載荷試験を行った結果である。この静的試験による値と、Aダムの観測地震波より算出した値はほぼ同じである。実ダム

は材令20年以上を経ているが、一般に材令一年以上ではEの伸びはほとんどないことから、実ダムコンクリートを対象として載荷試験を行って求められるVsは、観測地震波より算出したVsと大体一致すると考えられる。

図-3に載荷試験で求めたEを、ひずみ速度ごとに直接引張と圧縮試験を区別して示す。静的試験(0.067kgf/cm²/sec)は、ひずみ速度に換算すると約0.2μ/secである。横軸の0.2μ/secの位置に静的試験結果を示す。概ね一般に知られている様に、Eは速度が速くなると大きくなる傾向が認められる。しかし、ひずみ速度による差は、高々1割程度である。また、引張と圧縮による差は明確ではない。図-2で静的試験によるVsが、Bダムコンクリートに比べAダムコンクリートが速いのは、材令がAダムコンクリートが360日に対しBダムコンクリートが91日であるためである。材令が等しければ、観測地震波より算出した値と、上記載荷試験結果による値は、大体一致すると考えられる。

図-2において、載荷試験、共振法、超音波法により求めたVsを比較すると、載荷試験より求めた値に比べ、共振法より算出した値はやや速く、超音波法より算出した値はかなり速い。また図中には、建設後30年を経た塚原ダムにおいて、コア抜きした供試体で行われた静的圧縮試験と超音波法の結果³⁾より算出したVsを、▲印で示してある。塚原ダムの試験結果も、本試験結果と同様に超音波法より算出したVsが、載荷試験による値に比べかなり速い。これらの結果は、Vsのひずみ速度依存性を示していると考えられる。共振法、超音波法ともに振幅は不明であるが、共振法は共振周波数が4kHz程度、超音波法は20~50kHzの高周波パルスを用いている。従って、ひずみ速度が載荷試験に比べ共振法はやや速く、超音波法はかなり速い試験となっているためと考えられる。

4. あとがき

ダムコンクリートのVsは、地震時のダムのひずみ速度の範囲ではひずみ速度依存性はそれ程大きくはない。よって、静的載荷試験の弾性係数より算出すればほぼ妥当な値が得られる。ただし、材令が一年以上のダムコンクリートそのものの供試体で試験する必要がある。なお、Aアーチダムの起振実験の3次元シミュレーション解析において、コンクリートのVsとして本研究で検討した値を用い、岩盤についてもコンクリートの場合と同様にして、2ヶ所の観測地震波より求めたVsを用いたところ、実測値と比較的良好な結果が得られた⁴⁾。対象とした地震波は2波であるが、観測地震波により算出したVsは、大体載荷試験による値と一致する結果が得られた。しかし、地震波が様々な周波数、振幅、位相差を持つ波の重ね合せと考えると、それぞれの観測点で波の重なり方が異なり、求められるVsに影響があると考えられる。この点については、今後得られる多くの観測地震波を用いて、検討を行ってゆきたい。最後に、動的載荷試験の実施に際しては、電力中央研究所材料研究室遠藤室長、石田氏のご協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの力学特性に関する調査研究報告、第7章、コンクリートライブラリー 69, 1991.
- 2) 佐藤正俊・上田稔・遠藤孝夫・長谷部宜男：コンクリートの大型供試体直接引張試験装置に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp. 549-554, 1992.
- 3) 田代信雄・是石俊文：塚原ダムコンクリートの材令30年試験、セメント・コンクリート No. 304, pp. 14-23, 1972.
- 4) 恒川和久・上田稔・奥田宏明・堀尻弘雄：アーチダムの三次元起振実験シミュレーション、本年度土木学会年次学術講演会, 1993.

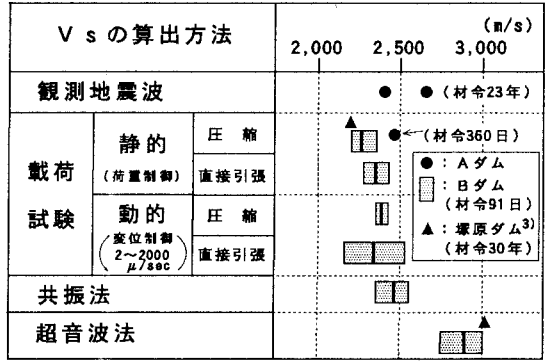


図-2 Vs算出結果一覧

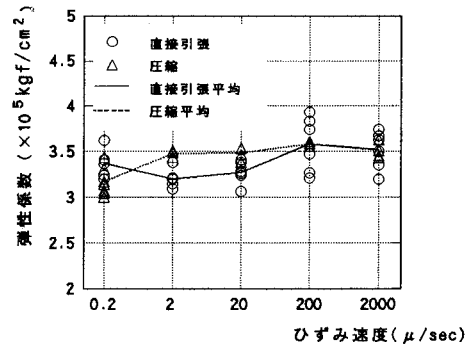


図-3 ひずみ速度が弾性係数に与える影響