

III-377

地震観測記録から求めた硬質岩盤の地震波伝播速度について

中部電力 電力技術研究所 正会員 ○佐藤 正俊・上田 稔

奥田 宏明

名古屋工業大学

正会員 長谷部 宣男

1. まえがき

ダム等岩盤上に立地される重要構造物の地震時挙動を把握するために、構造物と岩盤の連成応答解析が実施されている。この際構造物の挙動を正確にとらえるためには、岩盤の波動伝播速度を的確に評価する必要がある。岩盤の波動伝播速度を求める試験として弾性波探査試験やPS検層がある。また岩盤の剛性を評価するために、平板載荷試験や孔内載荷試験が実施される。これらの試験はそれぞれに、岩盤中の割れ目の影響を受けた結果が得られていると考えられるが、試験結果に対して地震応答解析に用いるべき波動伝播速度をいかに設定すべきかは、必ずしも明らかになっていない。そこで本研究は、硬質岩盤を対象に地震観測を行い、その記録から地震波伝播速度を算出するとともに、原位置試験結果との比較を行い考察したものである。

2. 地震波伝播速度の算出

対象とするサイト(I, Jの2地点)は、いずれもアーチダムが建設された堅硬な岩盤である。図-1にI地点の岩盤内の地震計設置位置(A, Bの2ヶ所)を示す(J地点も同様である)。サイトに対して地震波がほぼ鉛直上方に伝播していると考えられる、震源距離が長い地震を対象にした。現在記録されて利用できる地震波は、いずれも最大加速度が1~3galの弱震である。

以下のようにして波動伝播速度を求めた。観測した水平動の主要動の立ち上がりのゼロクロスする時刻の時間差 ΔT と観測点間の鉛直距離 ΔH より、S波速度を $V_s = \Delta H / \Delta T$ で算出した(図-1)。主要動の立ち上がりのゼロクロス位置としたのは、ダムの固有振動の影響が小さいと考えられるからである。さらにA, B2点の水平動の記録をフーリエ変換し、パワーの卓越する周波数(ダムの固有周波数に近いものを除く)に対して、2点間の位相差から求めた値は上記 V_s と概ね一致した。一方、鉛直動に対して水平動と同様に2点間の位相差から求めた値をP波速度 V_p とした。上述した算出方法で、土質地盤を対象に鉛直アレー観測が行われている地点の地震波伝播速度を求めると、その値はPS検層による値と一致する。

3. 算出結果と考察

V_s と V_p の算出結果を図-2に示す。図-2には、それぞれのサイトで実施された弾性波探査試験結果(I地点のみ)や平板載荷試験の結果(接線弾性係数)から求めた値も示す。いずれの試験もダムサイト全域を対象に実施されたものである。岩盤中の不規則な割れ目が波動伝播速度に及ぼす影響は、S波とP波で異なると考えられる。そこでP波の速度である弾性波探査試験結果はP波の欄に示す。平板載荷試験はいわゆるヤング係数に相当する値が得られているので、同様にP波の欄に示している。

地震記録より求めた V_s と V_p の比は、I, J地点共に $V_p/V_s = 1.5 \sim 1.8$ であり、概ね弾性波動論より得られる比程度である。次に弾性波探査試験結果は、地震記録より求めた V_p に比べ1.5~2倍程度で、かなり大きめの値である。これより地震応答解析に弾性波探査試験から得られた値を用いるべきでないと考えられる。弾性波探査試験が大きめの値を与える理由が明確にされることが望まれるが、地震波がサイト全域を伝播しているのに対し、弾性波探査試験は発振源が点であり、岩盤内の割れ目等により波動伝播経路が異なっていることが考えられる。

一般的に、平板載荷試験結果のばらつきはかなり大きい。しかし平板載荷試験による値は、最大のものでも地震記録による値より小さい。この理由は、両者の対象とする荷重レベルが異なるためと考えられる。図-3に、I地点の平板載荷試験の荷重-変形曲線の例を示す。一般に荷重-変形曲線は、処女載荷(図-3のb~c)、くり返し載荷(e~f, e'~f')いずれに対しても、荷重レベルが上がるにつれ徐々に傾きが大き

くなる。これは岩盤の変形が主に割れ目部のせん断変形により生じており、荷重の増加とともに割れ目部のかみ合いの程度が増して、せん断剛性が增大するためと考えられる。接線弾性係数は、くり返し載荷部の最大荷重に近い直線部の傾き（図-3のg~h）である。一方、硬質岩盤では、図-3に示すように、処女載荷、くり返し載荷の低荷重レベルで、上述の範囲（b~c, e~f, e'~f'）よりも傾きの大きい部分（a~b, d~e, d'~e'）があるのがよく認められる。著者らの知る限りでは、弾性係数が大きい岩盤程、図-3のb, e, e'点の応力レベルは高い傾向があり、数kgf/cm²程度である。また、この荷重レベルは、くり返し回数にかかわらずほぼ一定である。

今回対象とした地震波は、いずれも最大加速度が1~3gal程度の弱震である。この程度の地震波により、岩盤に発生する応力の目安として、無限弾性体中を伝播する平面正弦波（P波）によって発生する最大応力を算出すると、加速度1galに対して0.005~0.2kgf/cm²程度（周波数0.5~20Hz、V_pはI地点における地震記録より求めた値の平均値2,500m/s）である。これより、対象とした地震波伝播時の応力レベルが小さいことがわかる。従って、対象とした地震波の伝播速度は、平板載荷試験の荷重-変形曲線において、図-3のab部分の範囲の剛性に相当していると考えられる。さらに、上記の応力概算値からかなりの強震レベルの地震波に対しても、図-3のab部分の応力範囲にあると推察される。なお、平板載荷試験は横坑内で実施されるが、横坑掘削により応力解放され、割れ目が横坑掘削前より開口していることが考えられる。この影響により平板載荷試験では、ab部分の剛性が実際の岩盤に対して小さめに評価されると考えられる。

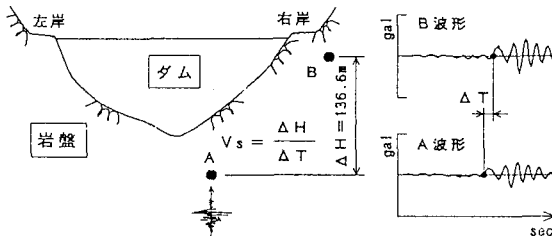


図-1 I地点の地震計設置位置と観測地震波からのV_sの算定法

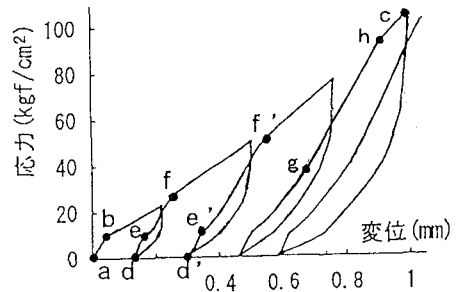


図-3 平板載荷試験の荷重-変形曲線の例（I地点）

地点	波	伝 播 速 度 (m/s)					備 考
		1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	
I	S波	観測地震波*1					*1 観測地震4波の結果
	P波	平板載荷*2	観測地震波*1	弾性波探査*3			*2 ダムサイト調査横坑で実施した34ヶ所の結果 *3 ダムサイト調査横坑（11本）間で実施した結果
J	S波	観測地震波*4					*4 観測地震2波の結果
	P波	平板載荷*5	観測地震波*4				*5 ダムサイト調査横坑で実施した32ヶ所の結果

図-2 観測地震波から算定した地震波伝播速度と平板載荷試験結果との比較