

フィルダム表面の動的歪分布の実験的検討

Experimental Study on the Stress Distribution on the Surface of the Fill-type Dam

田村重四郎*・岡本 舜三**・森地 重暉*・加藤 勝行*

Choshiro TAMURA, Shunzo OKAMOTO, Shigeaki MORICH and Katsuyuki KATO

1. 概 説

上流面の歪分布が表面遮水型式のフィルダムにおいては重要な課題であり、特に地震時のそれはダムの安定性から見て大きな問題である。本邦のごとき地形ではダムは兩岸からの拘束によって複雑な3次元の挙動をするため、振動的性状について数値的解析を試みられてはいるが、十分な精度を与えるまでに至っておらず、まして歪の分布を求めることについては容易ではない。著者はさきに寒天を用いてアースダムの振動実験を行ない、その固有振動数、振数モードを調べたが¹⁾、この方法では正確な歪を変位より求めるには精度の点で困難があった。

そこで、ゼラチンを用いてダムの3次元模型を製作し、表面に石膏と珪藻土の混合物を塗布したのち振動させ、発生した表面の亀裂の分布を定性的ではあるが調査したので報告する。

2. 模 型

研究対象としたダム地点は厚さおよそ50mに及ぶローム混り火山角礫層が覆っていて、ダムの動的挙動がこれによって大きな影響を受けることが予想され、かつダムが高さに比して堤長が大きいこともあって、基盤を含めた模型を製作し実験したわけである。

ダムは表面遮水型式のロックフィルダムで、その形状は図1に示すように、堤高30m、堤長380mであって、模型の縮尺は1/500、材料としてはゼラチンを用いている。現地の調査によれば、堤体と基盤の弾性係数の比はほぼ1:3となっていて、模型においてもゼラチンの濃度をそれぞれ6.5%および11.2%としてこれに合わせている。ゼラチンのこれ等の配合における比重はほとんど変らず

1.02とみてよい。

石膏(吉野石膏(株)、歯科用)にこれにほぼ等量の珪藻土を混ぜ、水を加えて練り、ダム表面に塗布した。珪藻土は引張強度を感じ、石膏の硬化による強度の時間的変化を緩和する。本実験では塗布してから10~20分後に振動実験をした。

3. 実 験

模型は機械式振動台上に据えられ、振幅を一定として振動数を徐々に変えて水平に加振されたが、加振波形は正弦波形である。

加振方向は堤軸方向およびこれと直交方向であるが、表面材料の強度の時間的変化も考慮して、堤軸方向でまず振動させ、ついで堤軸直交方向に加振したりあるいはこの順序を逆にするなどして表面材料に発生する亀裂の進行状況を調べた。

この模型の基本振動数は堤軸直交方向と堤軸方向でそれぞれ8.48Hz、9.18Hzである。

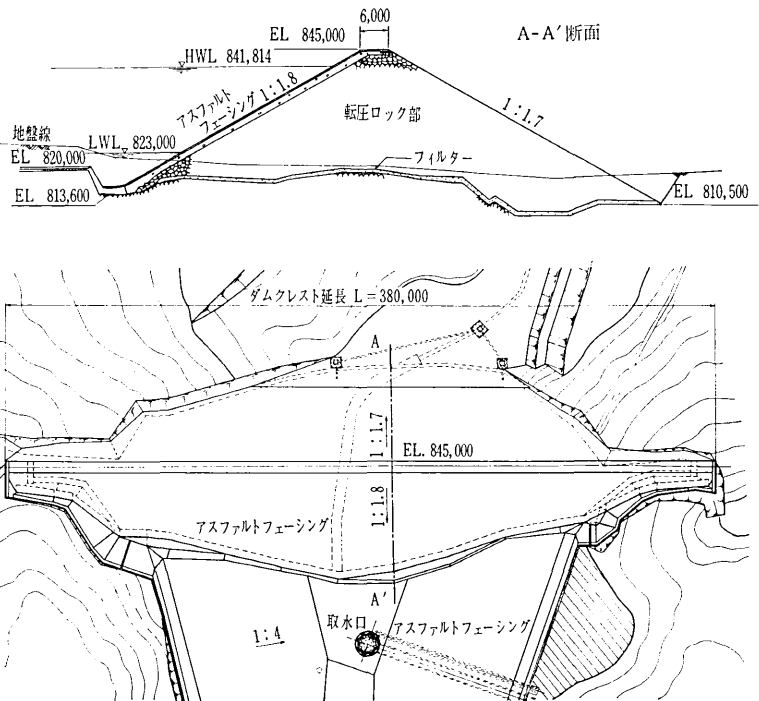


図 1

* 東京大学生産技術研究所 第1部

** 東京大学名誉教授

4. 実 験 結 果

実験の結果、表面の亀裂の発生は表面材料の剛度に関係があること、加振方向にかかわらず類似した亀裂の分布となりいずれも堤軸直交方向にも亀裂が発生すること等が観察された。

亀裂の発生状況は写真1～7に示す通りであっていずれも複雑な3次元的振動の結果とみられる亀裂の分布を示している。これについて順次説明する。

i) 写真1は堤軸方向に一次の共振動数で振動された場合の亀裂を示し、比較的厚い膜が表面を覆う場合

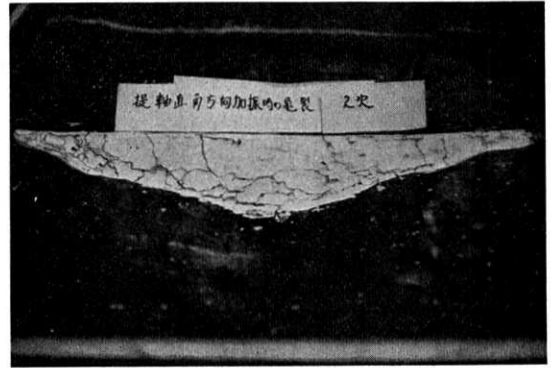


写真 4

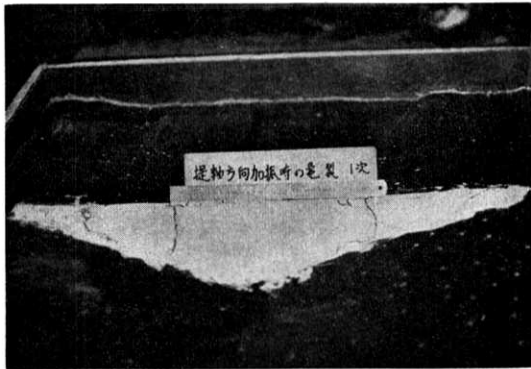


写真 1

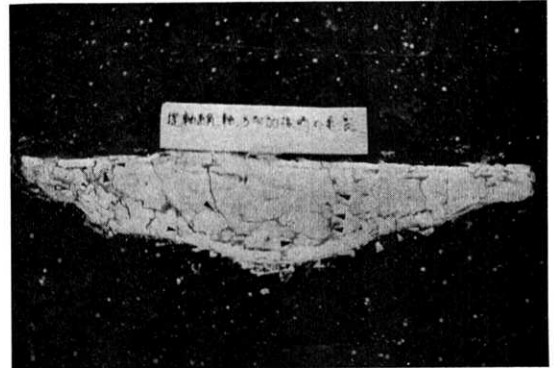


写真 5



写真 2

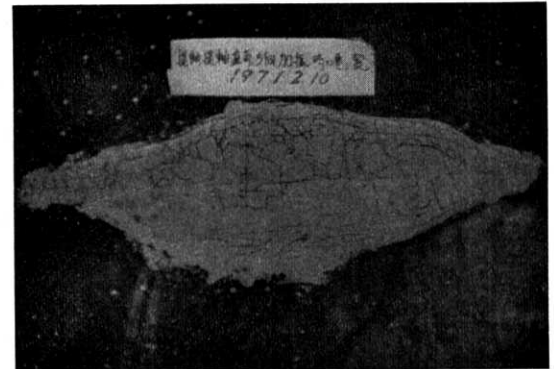


写真 6



写真 3

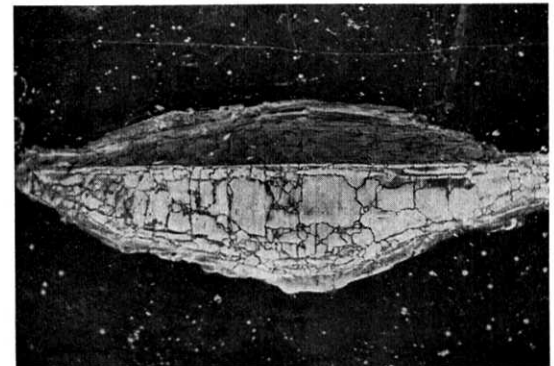


写真 7

で、膜が薄い場合に比べて発生する亀裂の数は少ない。堤長のほぼ 3 等分点に堤軸に直交方向に亀裂が発生している。振動実験ではこの部分には大きな歪の発生が予想されない所である事に注意すべきで、歪の積分が問題となっているものと推測される。両岸近傍には多くの亀裂の発生が認められる。

写真 2 は、さらに振動数を増していった場合で、△印が新たに発生した亀裂を示す。振動台の振幅は一定であるため、加速度としては増している訳であるが、新しい亀裂はほんのわずかしかない。その理由としてこのような入力にもかかわらず堤体にそう大きな歪が発生しないことと写真 1 で示されている亀裂が一種の緩衝材となって新しい亀裂の発生に有効に作用していることが考えられる。

ii) 写真 3, 4 はそれぞれ堤軸直交方向に一次の共振状態で発生した亀裂およびさらに振動数を上げた場合の亀裂の状態を示す。表面の膜は i) の場合に比べて薄くしてある。

写真 3 において注目すべき事は、堤軸直交方向にも亀裂の発生することである。2 次元的に考えた場合、このことは予想されない亀裂であり、また振動モードからも予想しにくいものである。次に、上流面の趾にそった部分の亀裂についてであるが、趾線に必ずしも平行して走っていないことが注目される。これは亀裂が趾線の形状にかなり影響されていることを示している。下流側では趾線は堤軸とほぼ平行であるため、この亀裂もだいたいこれに平行している。(写真 6 参照)

次に写真 4 に示すように振動数を上げた場合、新たに発生した亀裂は極く少ない。ここでは i) にのべたような理由によって新しい亀裂が発生しにくいものと考えられる。ただ左岸岩着部並びに右岸側 1/3 点で集中的に新亀裂が発生している。

iii) 写真 5 は、ii) の場合にさらに堤軸方向に加振した場合である。▲印に示したものが新しく発生した亀裂である。発生位置がほぼ堤長の 3 等分点および左岸岩着部であることが注目される。i) の場合を想起すると、新しく発生した亀裂の位置が、i) の場合の亀裂とだいたい一致している。これは方向が一致した既存の亀裂の存在によって新しい亀裂の発生が妨げられることを示しているものと考えられる。

iv) 写真 6 はまず堤軸方向に振動させたのち、堤軸直交方向に振動させたもので、順序が iii) の逆の場合である。

この場合、表層の石膏膜は非常にうすいためわずかな歪によっても亀裂が発生する。

堤軸の方向の振動によって、ダム上流側趾にそった部分の堤軸直交方向の亀裂のうち、大部分が発生した。ついで堤軸直角方向の振動によって軸直交方向の極く一部と、上流趾に沿った部分の一部特に斜め亀裂が発生した。

堤軸直交方向の亀裂について、写真 2 に示されている亀裂部分には高い密度で分布しており、中央部分では亀裂の密度が少なくなっているのが認められる。また、軸上では軸直交方向に亀裂が入っているがそれより少し標高の下った点で軸線にほぼ 45° の方向の亀裂がさらに入っていることが注意される。両岸端部の亀裂はこの堤軸方向の振動でほとんど発生した。

次に趾に沿った亀裂は趾線より堤高の 1/3~1/2 の間に多く分布し、趾線の近傍に特に多いようである。また、亀裂の一部で圧縮によって薄膜が挫屈状態になっているものも見られた。

v) 写真 7 は堤軸直交方向のみに加振した場合の亀裂で表面の膜は極めて薄い。

ii) にのべたようにまず堤軸直交方向の振動にもかかわらず、軸直角方向に多くの亀裂が発生していることが分かる。その分布は左岸側が右岸側よりも密で、中央部分で比較的疎になっている。両岸端部の亀裂は、堤軸方向に加振の場合に比べて、分布が相対的に疎になっている。しかし、中央部の趾部では非常に密な分布が認められる。

全体的な分布の粗密の傾向は写真 4 に示されているものと一致しているが、iv) にくらべると iv) が亀裂の密度が比較的等分布的なのに比して、分布の粗密の程度の差がかなりあることがわかる。また、堤頂近傍で堤軸にそって亀裂が発生している状態は v) の方が著しい。さらに堤体の上半分には亀裂が矩形状に入っているのも特徴である。

5. ま と め

以上の実験はフィルダムの地震時の挙動を知るために行なった実験の 1 つであるが、これにより堤体表面の歪の分布は、従来行なわれているダムの断面についての 2 次元的な取り扱いのみならず堤体の 3 次元的な挙動を考慮して求められねばならないことが判明した。さらに定量的な検討も進めて行く予定である。

なおこの研究に当って東京電力(株)の協力を得たことを記して謝辞にかえます。(1971 年 10 月 16 日受理)

文 献

- 1) Dynamic Behavior of Earth Dam during Earthquakes, 東京大学生産技術研究所報告 Vol. 16, No. 4 (1966)