千本ダム堤体耐震化工事に関わるドボク模型

（株）藤井基礎設計事務所　藤井俊逸

1　はじめに

松江市の千本ダムでは、堤体の耐震化工事が行われている。千本ダムは国の登録有形文化財であり（写真-1）、景観への影響の少ない工法としてアンカー工法が採用されている。堤体を花崗岩の基礎地盤に、鉛直方向のアンカーで押し付けるという、日本で初めての工法である。そのため試験アンカーでの計測や本工事での計測が重要となる。当社は本工事の調査・計測に関わっている。

業務の中で、ドボク模型をいくつか作成したが、ここでは、千本ダム耐震補強アンカー工法について、一般の人に理解してもらうための模型を紹介する。

2　耐震化のためのアンカー工法説明模型

耐震工事なので、水平方向の慣性力に対して、ダム堤体が安定となる必要がある。ダム堤体を水平方向に押すことで、無対策の場合と、対策を行った場合を比較して、工法を説明する。

①　無対策の場合

a)　写真-2は、説明模型の装置である。
基礎地盤は、縦横 10 cm角で厚さ 2 cmのゴム板である。
その上に、ゴム板を加工して、堤体模型を作成している。
実際の堤体は、コンクリート構造である。
模型中に堤体の実寸法を記載した（堤体高さ約 13.5m、堤体幅約 11m）。
直壁側が、ダム湛水側で、傾斜側がダム下流側である。
傾斜側に輪ゴムを設置している。

b)　写真-3は、ダムに作用する荷重を記載したものである。
通常、水圧と揚圧力が作用している。これらはダム側の水位により変化する。
地震時には動水圧と堤体に慣性力が作用する。
模型では地震時の水平力のみを作用させ、対策工の有無による変化を説明する。
水平力は 30 cm定規を、輪ゴムに引っ掛けて、水平方向に押した。
ゴムの伸びが水平力となる。
水平力が作用していない初期値は 5 cmである。

c)　写真-4は、ダムに水平力が作用した場合である。
輪ゴムは、当初 5 cmだったが、6 cmになったときに、ダムが浮き上がった。
輪ゴムが 1 cm伸びる力で、転倒に対して不安定となった。

②　対策を行った場合

a)　写真-5は、アンカー工事を実施した場合の模型である。
ダムの頂部と、その直下の地盤内にピンを設け、ピンの間に輪ゴムを設置した。
当初約 5 cmの輪ゴムが 16 cmに伸び、堤体を地盤に押し付ける力が働いている。

b)　写真-6は、水平力を与えたときの様子である。
輪ゴムは、当初 5 cmだったが、10 cmになり、5 cm伸びている。
ダムに浮き上がりは見られない。

c)　写真-7は、水平力を更に大きくしたときの様子である。
輪ゴムは、当初 5 cmだったが、17 cmになり、12 cm伸びている。
ダムに浮き上がりは見られない。

③　模型実験からわかること

a)　堤体をアンカー工で鉛直に締め付けることで、転倒に対しての効果が大きい。

b)　滑動に対しても、鉛直力が増えるので、有効である。
千本ダムは転倒が一番不安定な状態であったので、模型では滑動は動かないようにゴム同士が接するようにしている。
滑動の方が不安定であれば、接触面にすべりやすい紙を挟むなどの配慮が必要となる。

c)　アンカーで締め付けることで、堤体底面の地盤反力が大きくなる。
地盤の支持力が不足する場合は、基礎地盤を補強することになる。
本地は花崗岩の CM 級の岩盤であった。
ただし部分的に CL 級となる部分がある。
CL 級の地盤であっても、支持力に関しては問題なかった。

3　実際のアンカー構造

①　図−1は、アンカー工のダム軸方向の配置図である。

a)　アンカーの計算は、越流部と非越流部に分けて実施されている。
堤体の形状と地形条件が異なるためである。

b)　アンカー長さが異なるのは、アンカー間隔と、定着地盤の状態による違いである。

②　図−2は、越流部の標準断面図である。

③　図−3は、非越流部の標準断面図である。

④　図−4は、アンカーの構造図である。

a)　アンカー位置によって、構造は若干変化する。
図面からは分かりにくいが、自由長にシースがない。
定着部を緊張後、自由長もグラウトして、堤体とアンカーを固定する方法が採用されている。
フルボンド工法と呼ばれているが、堤体頂部の支圧板反力を、極力小さくするための配慮で、支圧板のみではなく、ダム堤体全体が支圧板の代わりになるという考え方である。

4　長期的な安定に関する課題

①　アンカー張力の減少

a)　アンカーの緊張力で、鋼材のクリープ変形、地盤のクリープ的な変形で、アンカー張力が減少することが予想される。

b)　試験アンカーで、その低下量を確認している。期間は短いが 10%程度の低下が予想された。

c)　また本アンカーでも計測用の鋼より線を別途設置し、張力低下量を測定するようにしている。

d)　計測には、長期間耐えることができる振動弦型の計測器が採用されている。

②　アンカーによる堤体への影響

a)　アンカー削孔時の振動により堤体コンクリートにクラックが発生したり、アンカー緊張力により、周辺のコンクリートに大きな圧縮力が作用する。

b)　試験アンカーでは、アンカー周辺に計測孔を設け、軸歪計によりコンクリート内に作用する応力を測定した。ほとんど影響がないレベルであった。

c)　また、本アンカーでもアンカーの側方に、別孔で計測孔を設けて、軸歪計を設置した。

d)　計測には、長期間耐えることができる振動弦型の計測器が採用されている。

e)　また、振動計測も実施し、振動を低く抑えることも行っている。

5　おわりに

千本ダムは、土木遺産登録もされており、今回、日本初のアンカーによる耐震化工法となるので、メディアでも着目されている。忌部浄水場と合わせて、一般の人にダムや水道を知ってもらう良い機会になると思う。一般の人に分かり易く伝えることで、より興味を持ってもらえるようできると嬉しい。

写真-1
千本ダムドローン写真

無対策の場合の実験

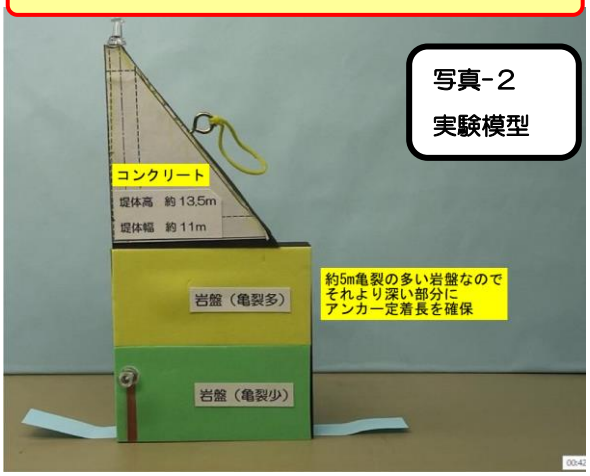

写真-2
実験模型

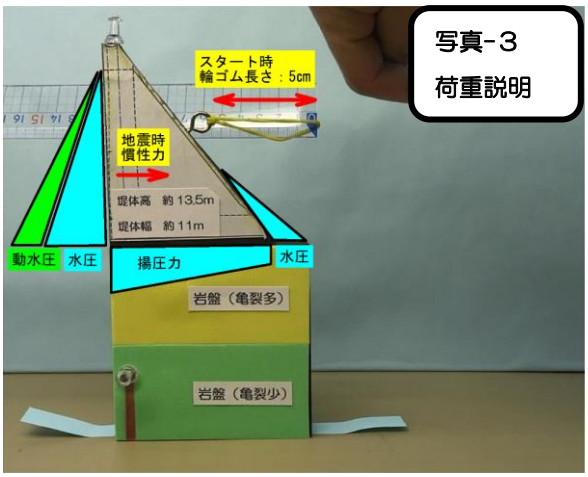

写真-3
荷重説明

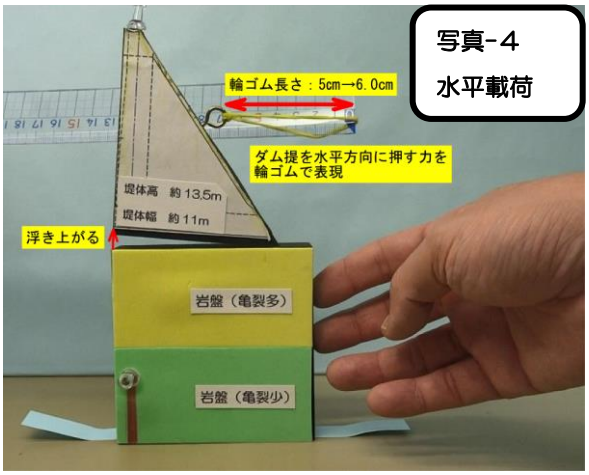

写真-4
水平載荷

対策を行った場合の実験

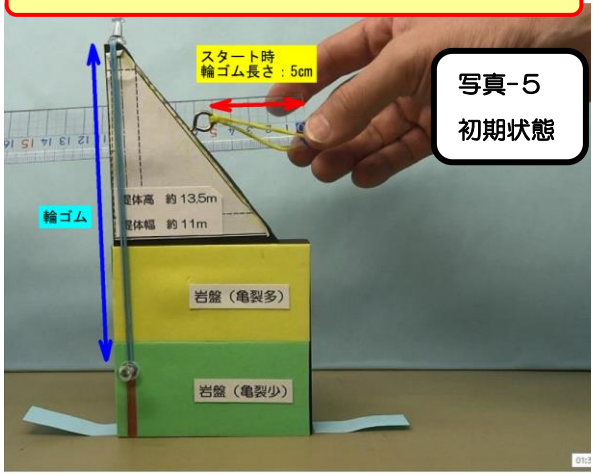

写真-5
初期状態

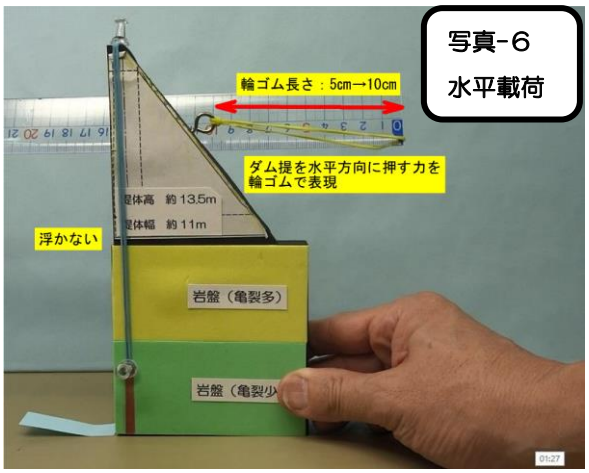

写真-6
水平載荷

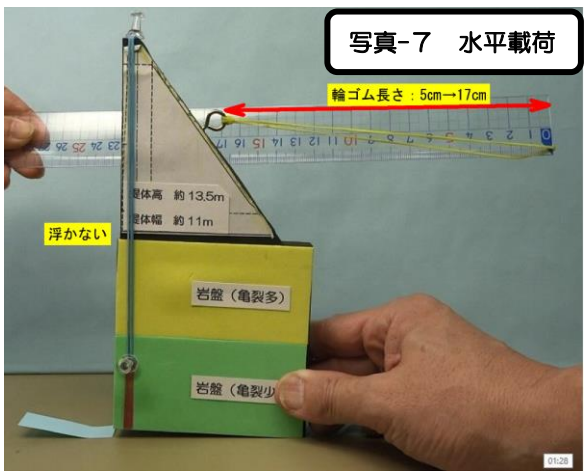

写真-7　水平載荷

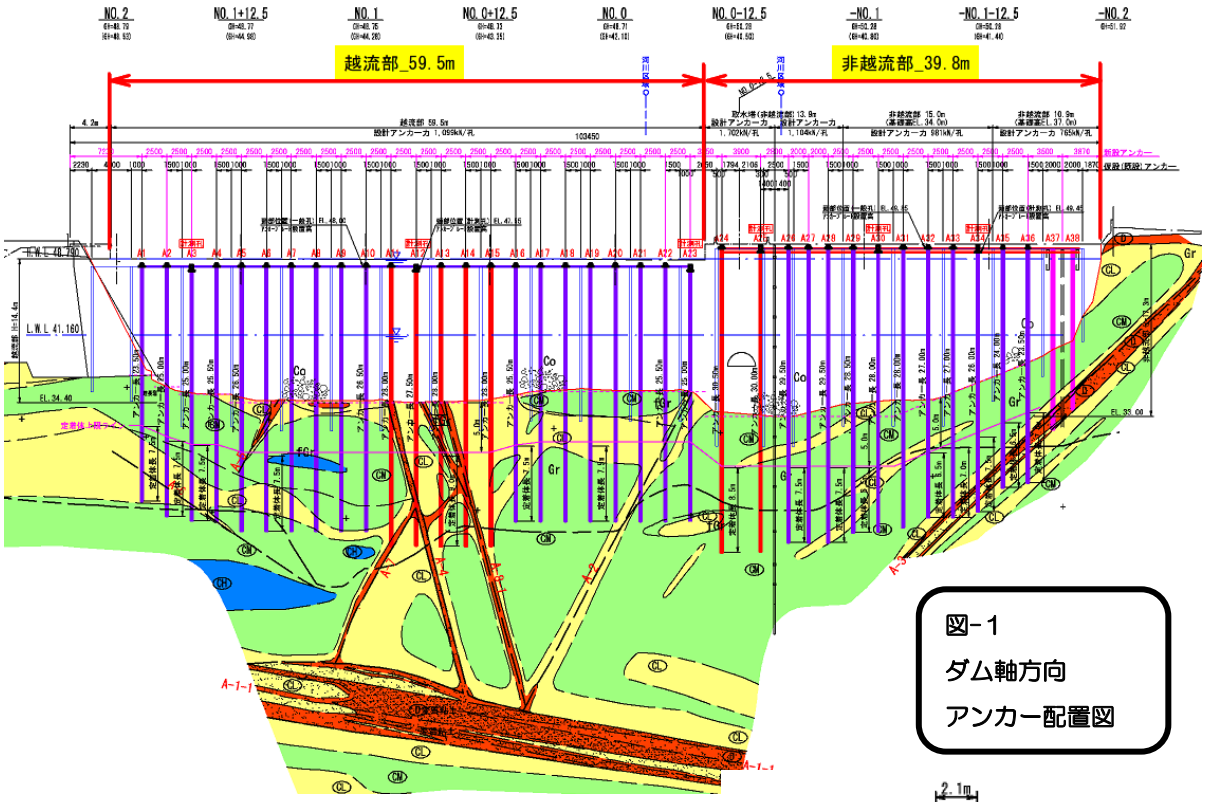

図-1
ダム軸方向
アンカー配置図

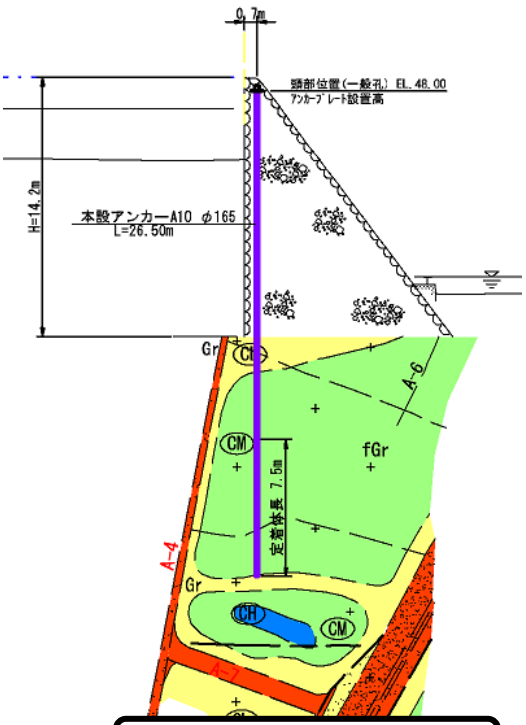

図-2　越流部標準断面図

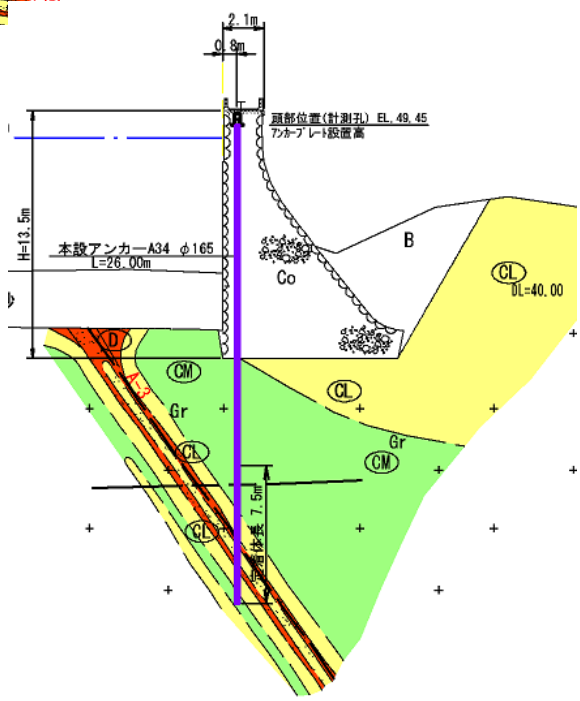

図-3　非越流部標準断面図

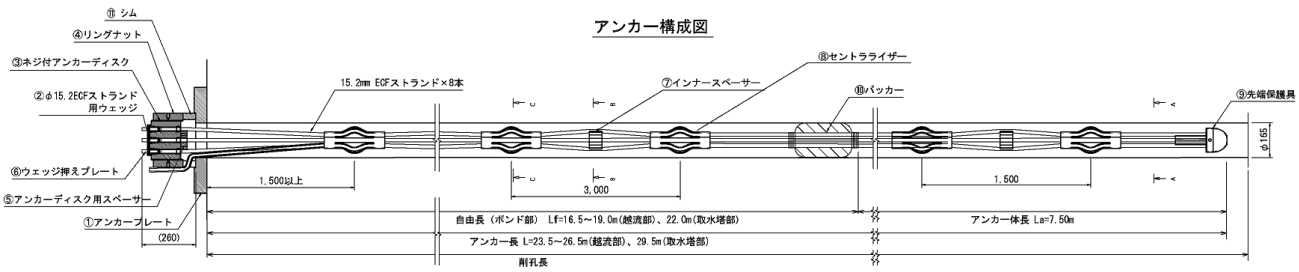

図-4　アンカー構造図