

フィルダム監査廊の乾燥収縮について

野 中 資 博*

A Study on Drying Shrinkage within Fill-Dam Gallery

Tsuguhiro NONAKA

Compressive stress increment of vertical reinforcement steel near aisle was observed within some fill-dam galleries during periods not to bank. Drying shrinkage and creep analysis, therefore, were carried out to identify the causes, respectively. Consequently, the main cause must be drying shrinkage and the subsidiary is creep. Avoiding shrinkage cracking at arch crown, natural ventilation should be limited as little as possible.

1. はじめに

近年、堤高が30 m以上のフィルダムには、監査廊なる鉄筋コンクリート構造物が大体設置されている。フィルダムに監査廊を設置する主な目的は、堤体および基礎の保守管理、すなわちダム建設中より基礎を通る漏水、基礎の変形等のダム基礎における異常の監視、早期発見を容易にすることと、築堤後の管理・点検・補修面でダム安全性に対するチェックを容易にすること等である。この監査廊には、型式によりカルバート型とトンネル型とがあるが、種々の理由により前述のマッシュな鉄筋コンクリート構造物であるカルバート型が多い。マスコンクリート構造物であるがための、施工後初期のセメントの水和熱による温度応力、ならびに温度ひびわれに対する研究は進んでおり、現実合った解析もなされるようになってきた。しかし、フィルダム監査廊について考慮せねばならない問題は、まだ数多く残されている。その問題を列挙すると以下のようである。

i) 冬期の盛土休止期間中にもかかわらず、いくつかのフィルダム監査廊の側壁内鉛直方向鉄筋において、圧縮応力増分が見られ、フィルダム監査廊の挙動に疑問点がある。

ii) フィルダム監査廊の縦断方向において、堤体荷重による基礎面沈下や、熱変形の岩盤による外部拘束に起因する引張応力により、縦断方向に直交する、いわゆる

輪ぎりのひびわれの危険性がある。

iii) 岩盤の成層状態による地層の相違箇所、または断層破砕帯近傍では、不同沈下による影響も加わって、曲げモーメントに起因する応力集中、過大な引張・圧縮応力の発生が縦断方向で懸念される。

ここで列挙した問題は解析を通じて早急に検討されなければならないが、本報告ではi)の問題について、ある一つのフィルダム監査廊を例にとり、その問題の主な原因を検証することを試みたものである。

2. 盛土休止期間中の鉄筋計の挙動

Nダム監査廊においては、6ブロックにおいて、基本的に鉄筋計がアーチクラウン上下部と左右側壁内鉛直方向に設置してある。その内、側壁内鉛直方向鉄筋に最初の盛土休止期間六ヶ月に平均すると50 kg/cm²の圧縮応力増分が見られた。しかし次年度の圧縮応力増分はゼロであった。このような傾向はその継続時間の違いはあるにしても、他のOダム、Sダムの監査廊でも観察されている挙動である。仮に、監査廊を弾性体と仮定すると、荷重増加の無いこのような期間中の応力変動はありえない。コンクリートは弾性体でなく、クリープ変形をするのでクリープの効果とも考えられるが、コンクリートは既に十分硬化しておりこれほど大きい応力増分が生じるとは考えにくい。そこでこの現象の主要原因として、コンクリートの乾燥収縮が取り上げられるが、土中構造物である監査廊にはたして大きな乾燥収縮が生じるのか、

* 農村工学講座

疑問点も残されていないわけではない。これらを次節で検討するつもりであるが、まず表1と図1にNダム監査廊の盛土休止期間中の鉄筋応力増分とその鉄筋計の位置を示しておく。

3. モデル解析

盛土休止期間中の側壁内鉛直方向鉄筋の圧縮応力増分を検証するためにモデル解析を行った。考えられる原因としては前述のように、コンクリートの乾燥収縮とクリープであるので、次のような仮定を設けた。すなわち、監査廊内空側からある範囲のコンクリートが乾燥収縮を受ける。また、盛土休止期間中は既設盛土荷重により、コンクリートはクリープ変形をする。これらの解析を別々に行い、各々の鉄筋圧縮応力増分を加え合わせて、実測結果の平均値と比較するものである。

i) 以前解析した余水吐びアの乾燥収縮は、約 20μ /

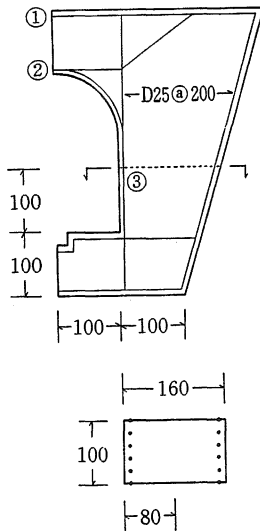


図1 解析した鉄筋計③の位置 (cm)

2) 月で表面部分に限定されていたことから、盛土休止期間は約半年であるので、監査廊の内空部表面での乾燥収縮量を 100μ と仮定し、監査廊の内空側だけが空気に触れているという理由から、乾燥収縮は内空側から監査廊厚さの半分まで進行しているとみて、比例配分して乾燥収縮量を与えた。解析は簡単のため2次元平面ひずみの温度応力解析のプログラムを利用したが、この時、鉄筋要素は乾燥収縮しないため、代わりに熱膨張係数をゼロとおいた。図2に解析モデルを、さらに図3に要素分割図を示す。また、表2と図4に乾燥収縮解析に用いた物性値と乾燥収縮を比例配分して与えた範囲を掲げておく。

表1 盛土休止期間中の鉄筋圧縮応力増分 (kg/cm^2)

ブロック	R-1	R-2	R-4	R-9	R-10	L-2
休止期間						
S.56.11	70	50	35	45	50	45
S.57.5						

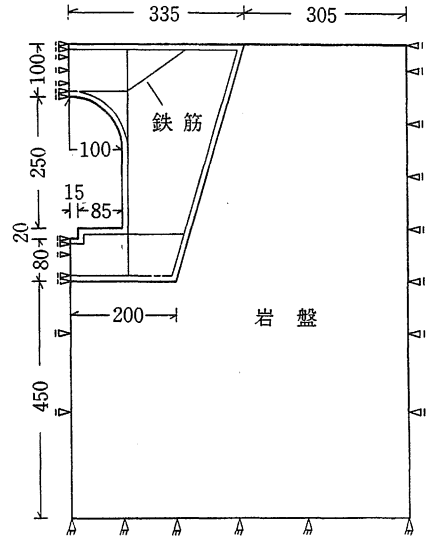


図2 乾燥収縮解析モデル (cm)

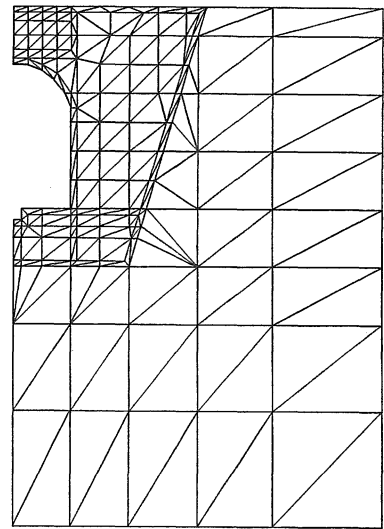


図3 要素分割図

Nダム監査廊の主要配筋は図1に示すとおりであるが、解析した鉄筋の位置は図中のものである。

ii) 盛土休止期間中での側壁内鉛直方向鉄筋の圧縮応力増分には、コンクリートのクリープ変形による寄与が

表2 乾燥収縮解析に用いた物性値

材 料	コンクリート	岩盤	鉄筋
弾性係数(kg/cm ²)	210000	15000	2100000
ポアソン比	0.17	0.25	—
密度(kg/cm ³)	0.0024	0.0025	—
熱膨張係数(1/°C)	0.00001	0.00001	0.0
鉄筋量(cm ² /m)	—	—	25.35

表3 クリープ解析に用いた物性値

材 料	コンクリート	岩盤	鉄筋
弾性係数(kg/cm ²)	210000	15000	2100000
ポアソン比	0.17	0.25	—
密度(kg/cm ³)	0.0024	0.0025	—
鉄筋量(cm ² /m)	—	—	25.35
クリープ・コンプライアンス (×10 ⁻⁶)	$J_f=1.81 \times \log t$ $J_a=0.0$	$J_f=0.0$ $J_a=0.0$	$J_f=0.0$ $J_a=0.0$
堤体荷重(kg/cm ²)	7.0		

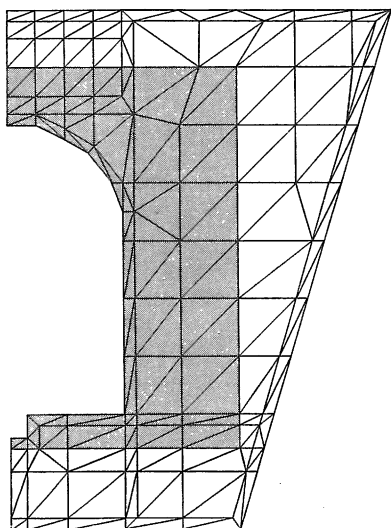


図4 仮定した乾燥収縮部分(影付)

考えられる。そこで、盛土休止期に入るまでに盛土高が、約30mになっており、これに相当する等分布荷重を7kg/cm²とする。そして、この荷重を監査廊上面および岩盤表面に与えてクリープ解析を行った。なお、クリープ解析期間は360日としたが、これは、盛り立て期間を180日、盛土休止期間を180日としているからである。使用したプログラムは前述のプログラムにクリープのサブルーチンを加味したものである。クリープの定式化には流速法を使用した³⁾が、この時、解析すべきフィールド監査廊は完成してからかなりの時間が経過しており、よって、回復性クリープは終了し、非回復性クリープもかなり減少していると考えた。また、温度による非回復性クリープへの影響も無視した。クリープ解析モデルと要素分割は図2、図3と同じものである。このクリープ解析に用いた物性値を表3に示す。ここで、鉄筋と岩盤は共にクリープをしないと仮定した。また、コンクリートのクリープ成分の仮定は前記の理由による。

4. 実挙動と解析結果からの考察

実測の平均値と解析結果を整理したものを表4に示す。内側鉄筋の結果は実測50kg/cm²に対し、解析48kg/cm²と良く一致している。なお、外側鉄筋に関しては実測値はないが9kg/cm²の解析値が得られた。ここで、解析結果を見ると、その大部分が乾燥収縮であり、クリープの影響は小さいことが判る。表にはコンクリートについての結果は示していないが、内側、外側鉄筋の周辺部のコンクリートには、同じ3kg/cm²の引張応力が発生していた。これらの鉄筋とコンクリートの応力関係は、コンクリートの乾燥収縮の理論から、鉄筋には圧縮応力、コンクリートには引張応力が発生するという現象に一致しており、信頼できる挙動である。また、監査廊の乾燥収縮量は内空側から外側に向かって小さくなるため、鉄筋に発生する圧縮応力は外側ほど小さくなる。この事も結果は満足している。クリープ解析に関しては、盛り立ては徐々に行為されており、盛り立て解析を加

表4 解析結果(kg/cm²)

	内側鉄筋	外側鉄筋
乾燥収縮	42	8
クリープ	6	1
合計	48	9
実測値	50	—

味して行う方が現実的であるが、盛土高が30mと低いので、今回のように一度に荷重をかけて解析をしても、結果にはそう影響は無いと思われる。図5に盛土休止期間中のクリープによる鉄筋の応力変動を示すが、これは監査廊の自重による鉄筋応力増分が含まれている。こ

の様に、Nダム監査廊については検証はほぼ完了した。クリープの影響もあるが側壁内鉛直方向鉄筋の圧縮応力増分は、乾燥収縮が主原因である。次年度の盛土休止期間中の応力増分がゼロであったのは、推測するしかないが、乾燥収縮が終了したか、通廊内が湿潤に保たれていたかどちらかであろう。通廊内の自然通風が妨げられていたとしたら、その可能性は十分である。最後に、ひびわれの発生しやすい肩部とクラウン下部について、乾燥収縮によるひびわれの危険性を検討しておく。表5に前述の乾燥収縮解析によって得られたコンクリートの引張

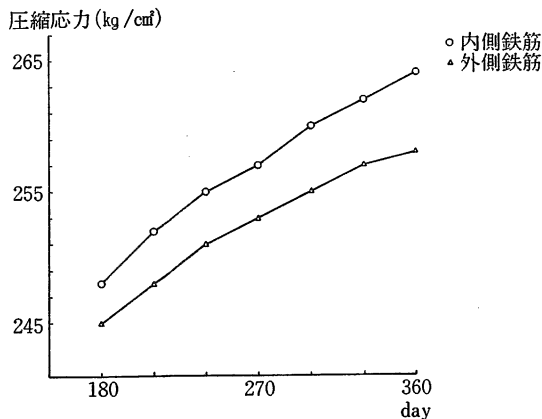


図5 盛土休止期間中のクリープによる鉄筋の応力増加応力を示しているが、乾燥収縮によっては肩部は問題がないが、クラウン下部についてはもし500 μ 程度の最終乾燥収縮量が起きるとすればひびわれの危険性は高い。初期の温度応力による温度ひびわれ発生を免れても、乾燥収縮が最終値まで進行すれば、やはりひびわれが発生することになる。その意味で、通廊内の通風は極力少なく抑えるべきである。

5. おわりに

Nダム監査廊の鉄筋計の挙動の検証に関しては、かなりの程度解明できたと思える。しかし、先に紹介したようにOダム、Sダムでは盛土休止期間中の鉄筋計の応力

表5 乾燥収縮解析によるコンクリートの引張応力 (kg/cm²)

検討位置	引張応力
クラウン下部	6.8
肩部	0.9

増分が3年間続いている。また、Oダムでは外側鉄筋の圧縮応力増分はほとんどゼロである。さらに、Sダムでは応力増分の値そのものがかなり大きい。コンクリートの乾燥収縮は環境条件の影響を強く受けるので、現場毎に挙動が異なるのは当然であろう。一例の解析でもって多くを語るには語るに落ちるという気もしないでもないが、乾燥収縮が主原因であるということはおそらく間違いない。とすれば、前節で述べたようにアーチクラウン下部のひびわれ発生が懸念される。温度応力の残留もあり危険性はかなり大である。水密構造物のひびわれには十分注意を払って欲しいものである。温度ひびわれを避け得たとしても、注意を怠れば乾燥収縮ひびわれが待ちかまえている。一難去ってまた一難とはこのことであるが、両者に通用する対策を早急に実現してもらいたい。膨張セメントによるケミカルプレストレス、またはモデレートプレストレス、さらには繊維補強コンクリートということになるのだが、ぜひ何れかの現場で採用してもらいたいものである。はじめにでも述べたが、監査廊には他に残された多くの問題があり、それらを根気よく一つずつ解決していかなければならない。

最後になったが、この研究で解析を一部担当していただいた宮廻哲男氏に謝意を表したい。

引用文献

1. 例えば、野中他：農業土木学会誌，56(12)：5-10，1988。
2. 野中：農業土木学会論文集，97：54-59，1982。
3. 野中：島大農研報，22：121-125，1988。