

愛知工業大学 土木工学科 正 大根義男
愛知工業大学 土木工学科 正 成田 国朝

§1. はじめに

1976年6月に起ったティートンダム(アメリカ内務省開拓局)の決壊は、フィルダムの設計・施工に携わる技術者や研究者にとって非常に大きな打撃を与えた。決壊の原因については事故発生直後に2つの調査委員会(内務省調査委員会および政府の独立調査委員会)が組織され調査・研究が進められた。このうち政府の独立委員会は1976年12月に最終報告を提出し、崩壊原因として右岸基礎に設けられたキートレンチの梁部におけるコア材料の内部浸食(パイピング)を結論している¹⁾。

筆者らは、決壊の主たる原因はコア材料とアバットメントの形状にあるのではないかと考え、この趣旨で縦断面内におけるきれつ発生やハイドロリック・フラクチャー(以後H.F.と書く)の可能性を数値解析に基づいて検討してきた²⁾。本文では主として後者の検討結果を報告するものである。

§2. ダム概況

ティートンダムの縦断面図と図-1に示す。堤高は河床から93m(+31mカットオフ)であり、兩岸のアバットメントは1/1.5割勾配の斜面で形成されている。標高El. 5100ftより上部の地質は兩岸とも節理や亀裂が発達して非常に悪く、このためこの部分に対しては図のA-A断面図に見られるような

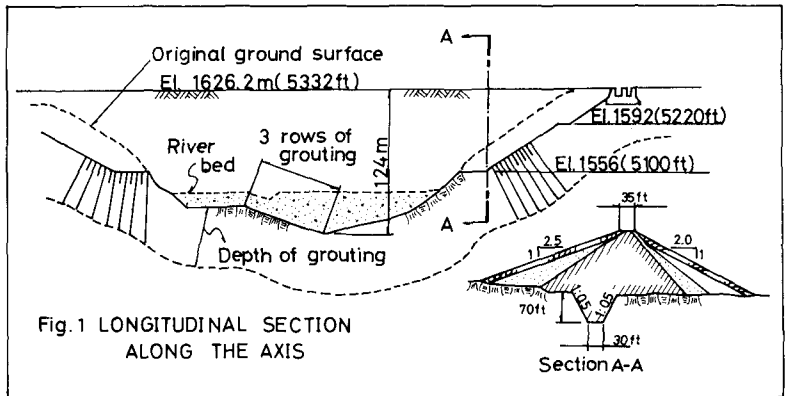


Fig. 1 LONGITUDINAL SECTION
ALONG THE AXIS

コアトレンチが設けられた。コアトレンチの掘削により右岸のアバットメントには図に見られるような2つのステップ部が残された。下段のステップは約28m幅、堤頂から約70m深、上段ステップは約18m幅、約34m深である。そしてステップ間には勾配1:1.5、下段の下は勾配1:1.0の急斜面になっている。

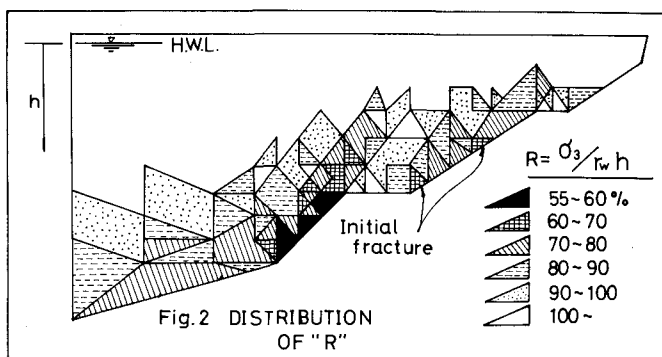
このような急傾斜の斜面や突角部あるいは勾配の急変点の付近では応力やヒズミの集中が激しいため、不挙沈下およびそれに伴うきれつの発生や最小主応力の減少が考えられる。また深く狭いコアトレンチ内ではアーチ作用による鉛直土被り圧の低下が予想される。さらに浸食され易いコア材料をきれつの発達した岩盤に直接着させ、しかも下流側には土粒子の流失を防止するフィルターなどが配置されていない。これらの状況から本ダムの崩壊はH.F.による可能性が極めて高いことが考えられ、以下この点に関し三三検討してみた。

§3. H.F.の検討

堤体が不均沈下により変形すると最小主応力 σ_3 が減少する。もし σ_3 が0または負(引張)の値をとれば、最大主応力 σ_1 が土の一軸圧縮強度より小さい部分で鉛直のきれつが発生し貯水の浸入と土粒子の流動が起こる。時間の経過とともにこの現象が発展すれば集中的な漏水(パイピング)が起こり堤体を破壊に至らしめる。これがH.F.である。実際問題としてH.F.は堤体内のある面に作用する σ_3 (全応力)が、その点に作用する水圧と比較して小さい場合に発生すると思われるが、これは必要条件であって十分条件ではない。すなわち、土粒子の流失を防止するフィルターやドレーンが配置されている場合や最大主応力が一軸圧縮強度に比べて極めて大き

い場合は、たとえ上記の条件が満たされても浸食破壊は生じにくいものと思われる。

図-2はコア材料の三軸試験結果³⁾に基づいて図-1の右半断面を有限要素解析した結果である。段階載荷解析によって得られた盛土完了時の応力分布から各要素の σ_3 とその点の貯水圧(橋水位から) $\gamma_w h$ との比 R を計算し、図に定めた記号を用いて R の分布を描いて H.F. の可能性を調べたものである。



これによると R の分布は下段ステップ付近において最小となり、 $R = 50 \sim 70\%$ の領域が広範囲に見られる。また上段において下段より幾分大きい R の集中領域が見られる。ただし下段より上部ではV型トレンチ掘削の影響を受けアーチ作用が生じていると考えるべきである。アーチ作用については今回の計算で特別に考慮しなかったが、上記の計算結果と既述の研究成果を考慮合わせると、H.F. については次のように説明することができると。

H.F. の発生条件は応力状態だけに着目すれば実用的に次式で表わすことができる。

$$\bar{\sigma}_3 \leq P_w, \quad \bar{\sigma}_1 = \frac{1}{K_0} \bar{\sigma}_3 \leq P_w \quad (1)$$

ここに P_w は貯水圧、 K_0 は静止土圧係数である。上記の $\bar{\sigma}_1$, $\bar{\sigma}_3$ はアーチング効果を含んだ主応力であり、これらと本計算(二次元解)で得られる主応力 σ_1 , σ_3 の間には、 α , β をアーチング効果に関する係数として、

$$\bar{\sigma}_3 = \alpha \sigma_3, \quad \bar{\sigma}_1 = \beta \sigma_1 = \frac{\beta}{K_0} \sigma_3 \quad (2)$$

なる関係がある。種々のダムに対して行った計算や埋設管に於く土圧の計算結果⁴⁾を吟味すると、ティートンダムのコアトレンチではアーチ作用による土被り圧の低減が30~50%と考えられる。すなわち $\beta = 0.5 \sim 0.7$ となる。したがって下段(EI. 5100ft)より上部のV型コアトレンチに対して(1)式のオ2項は、

$$\sigma_3 / P_w \leq \frac{1}{\beta} K_0 = (1.5 \sim 2.0) K_0 \quad (3)$$

となる。ここでコア材料の試験結果によると $\phi' = 35^\circ$ であるから $K_0 = 1 - \sin \phi' = 0.43$ となり、(3)式は、

$$\sigma_3 / P_w \leq 60 \sim 80\% \quad (4)$$

一方、EI. 5100ftより下部では基礎が比較的平坦なためアーチ作用の影響も小さく、同様の資料より土被り圧の低下は15~20%と推定される。したがって発生条件は

$$\sigma_3 / P_w \leq 50\% \quad (5)$$

前に述べたように σ_3 が(1)式のオ1項を満たしたからといって必ずしもH.F.が起こるとは限らない。しかし、 σ_3 が(4)式あるいは(5)式も同時に満たすことになれば、H.F.に対する危険性はかなり高いものとなる。例えど、(4), (5)式はもとより最大主応力が静水圧に抵抗できない条件から導かれたものである。したがって、これらの条件と図-2の R 値の分布を対比することによってH.F.の過程が明らかになる。すなわち本ダムの場合は最初の浸食が両ステップの間の斜面右側において発生し、これが上向きには下方に発達し破局的な崩壊につながったと考えられる。そしてこのことはSta. 14+00とSta. 15+00の間の下流側斜面(EI. 5200ft)で最初の漏水が発見されたという現場の観察記録とも一致している。

参考文献

- 1) Independent Panel to Review Cause of Teton Dam Failure (1976): "Failure of Teton Dam", December.
- 2) 成田国朝(1976): "フィルダムのき裂発生機構に関する研究", 東京工業大学学位請求論文
- 3) U.S.B.R. (1970): "Memorandums of Laboratory Test Results", Denver Laboratory, May 27.
- 4) 成田国朝(1975): "地中埋設管に関する有限要素解析", 埋設管に関するシンポジウム論文集, 工機工学会