

老朽堰堤の補修例

川島隆義*

1. 概 要

この堰堤は、堆砂によるかん止効果を目的とした地すべり対策のためのもので昭和53年に築造された。堰堤の規模は、堤高9.0 m、堤長29mのコンクリートダムである。

ダム上流部は既に堆砂が完了し、目的を達しているが、施工後まもなく堤体中央の水通し左側の堤頂部に亀裂が入り、これが徐々に開口して、堤頂から堤底までダムを左右に分離する形で6～8 cmのジグザグな亀裂に発達した。

悪いことに、左岸側の堤体が沈下するとともに下流側へ傾斜し、本体から分離して転倒する恐れが生じた。

ダム下流1 kmには集落があり、渋海川の右支流でもあるため、転倒した場合には堆砂が流出し、集落に被害を与えるとともに渋海川を埋ることが想定された。

ダムを管理する現地事業所では対応を検討したが、案として次のような方法があげられた。

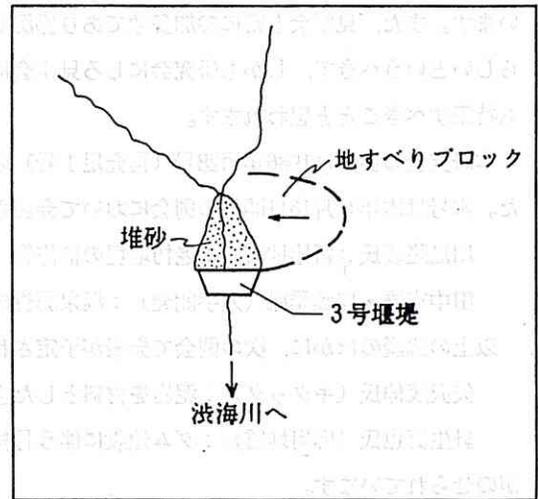


図-1 堰堤の配置



写真-1 第3号堰堤全景

* 新協地質

- ① 既設堰堤前面にコンクリートで前張りを行う。
- ② 下流側へもう一基ダムを新設する。
- ③ 堆砂を排土して補修する。

などである。しかし、前張りを行うにしても基礎部を掘削する必要があるため分離したダムは転倒の恐れがあること、ダム新設では既設堰堤を捨てることになり経済的にも問題があること、堆砂を排土することも、1万 m^3 に近い土砂の置き場やその工法に問題があるなど、具体的な対応には苦慮するところとなった。そこで調査を行って、亀裂発生の原因を明らかにし、基礎地盤状況を把握した上で別途対応策を検討することになった。



写真-2 堰堤前面の亀裂状況

2. 堤体の調査

調査は堤体と基礎地盤の2点について行った。

2-1 堤体の変状調査

堤体は左岸から14.10mに亀裂が有りその状況は図-2に示すようである。堤頂の変状は水準測量で調査した。この結果、水通し天端角を0とした場合、左岸端で-151%、亀裂部で+26%であった。つまり左岸では沈下、亀裂部では若干の浮上りが見られ、基礎部のどこかを支点として回転運動を伴って沈下し

ている。また堤頂を上下流方向で見ると、下流側が最大8%低くなっており亀裂発生箇所から左岸の堤体は下流へ傾いている。また、亀裂より右岸側でも同様に調査を行ったが、異常のないことが確認された。

亀裂は外観上極めて明瞭である。

堤頂部の亀裂は堤体を左右に分け、人のこぶしが入る程度で約7cm開口している。また下方へ亀裂は伸びてコンクリートを割りこんでいる。堤頂下3m付近ではコンクリートの打継ぎ目に沿い横に割れ、さらに下方へ達している。堤体中ほどで亀裂は30~40%、下方ではヘヤークラックとなっている。

堤頂下3m付近までは亀裂の開口が大きいため、川水は水通しを流れず、すべて亀裂から流出しダム背後の亀裂付近は土砂まで流出している。また、水通しを通らないため亀裂部から流出した水は滝状に落ちてダム下流の地盤を洗掘している。

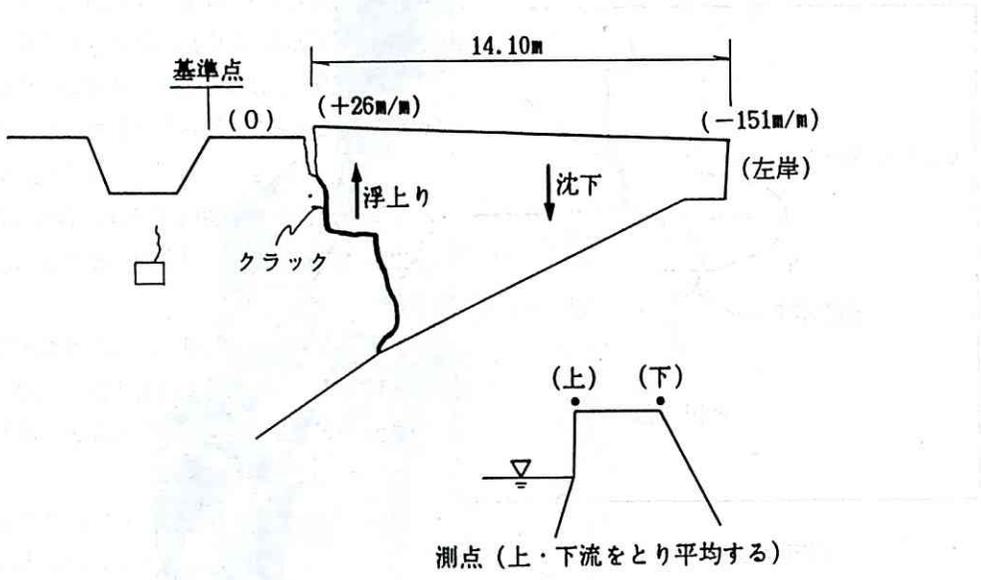


図-2 堤体の分離状況

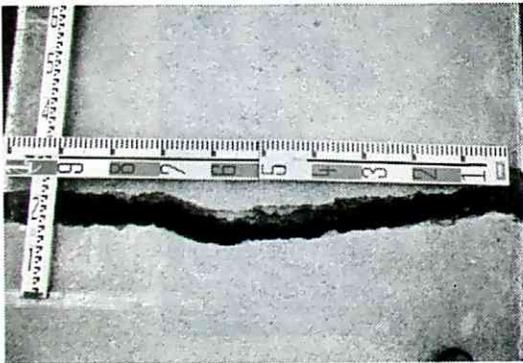


写真-3 堤頂の亀裂開口70%

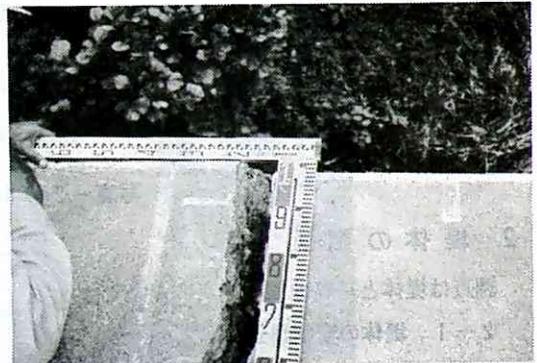


写真-4 堤体の傾斜
(左岸が下流へ20%傾く)

2-2 基礎地盤調査

堤体変状の原因を明らかにすること、今後の検討及び補修に必要な資料とするため堤頂から深さ11mのボーリング調査を3箇所実施した(付図-1)。この結果、次のことが明らかになった。

- ① 左岸部の基礎直下には厚さ1~3mに及ぶ地すべり崩土が認められ、堤底は着岩していない。
- ② 崩積土のN値は小さく特に左岸寄りでは0~4と極く軟弱である。N値20以上の風化泥岩までは堤底から2.5m、N値50以上の泥岩まで4mがある。
- ③ 左岸BV-1号孔では、堤底と崩積土との間に約25cmの間隙(空洞)があった。
- ④ 水通し部から右岸は概ね着岩して基礎が置かれている。
- ⑤ 亀裂下端付近の基礎地盤には地下水が毎分2.75ℓ/3m揚水された。また、透水係数は 1.19×10^{-3} cm/secが計算された。
- ⑥ BV-1号孔の削孔中基礎直下で漏水し、水たたき部に湧水した。

3. 堤体変状の原因

堤体は、水通し部から右岸の基礎は着岩していた。これに対し左岸は先に述べたように軟弱な地すべり崩土に置かれ一部に空洞が存在するなど、ほとんど地盤反力を得られない状態にあった。したがって堤体の分離は片持梁のような構造でセン断破壊に至ったものと考えられる。

堤体の亀裂から左半部の重量は、概算で320tがある。はたしてこの重量だけで亀裂が発生したかどうかは疑問であるが、さらに山側からの雪崩れの衝撃や雪荷重、あるいは崩れて来た土砂の重量が加えられた可能性もある。

堤頂の観察では、左岸分離堤は亀裂部で約20%下流にずれており、前傾した状態にある。これも基礎地盤に由来すると考えられるが、背面の堆砂土圧によって傾いた可能性もある。

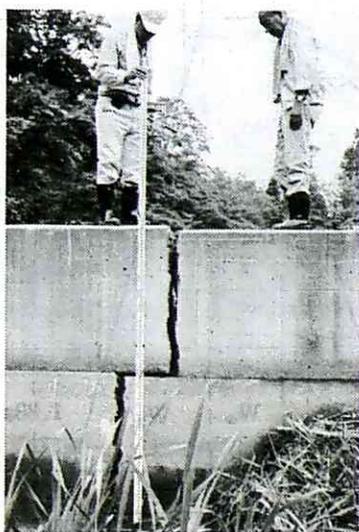


写真-5 上流側の亀裂



写真-6 亀裂からの漏水

4. 補修工法の選定

本堤は施工後10年を経過している。堤体の亀裂は施工後まもなく発見され、その後少しずつ亀裂は開口して行った。

調査の結果、亀裂は堤頂から堤底に達しており、左岸は完全に分離した状態にある。さらに基礎地盤は軟弱で空洞が出来、地下水も基礎下を流れている。このため本堤をそのまま放置した場合には、例えば台風などの洪水や地震などによって転倒する可能性も有った。仮に転倒した場合では下流に被害を及ぼすだけでなく、堆砂によって押えられている溪岸の地すべりを誘発し、その復旧に多大な経済的負担を負うことになる。このため現況に適応した工法を用いて早急に補修する必要がある。

補修の方法として一般的には現堤を取り壊すか現堤にかわる堤体を築造するかなどの方法があるが、これは先に述べたように問題があって出来ない。したがって現堤をそのままの形で補修する方法をとった。

補修工法としては次のようなもの考えた。

- ① 分離した堤体に鋼管杭を建込んで転倒及び沈下に対抗する。
- ② 基礎下にグラウトを行って地盤を改良し支持力を得ると共に土砂の流出を止め、堤底の空洞化を防ぐ。
- ③ 亀裂をコーキングして、亀裂内部をグラウトし左右堤体を密着させて水通しへの通水を復旧させる。
- ④ 亀裂水によって洗掘された堤底の地盤は、コンクリートで埋戻してグラウトの効果が得られるようにする。

などである。

5. 計 算

左岸側分離堤の安定性を検討して、必要な補強を行うこととした。

計算はクーロンの土圧式から、堰堤に作用する土圧、水平力、転倒モーメント及び転倒に対する安定性、滑動に対する安定性、さらに支持力に対する検討を行った。

検討の詳細は省略するが、このうち滑動に対する安定と支持力の2項が不足していることが明らかとなった。この不足分を鋼管杭のせん断抵抗力と鉛直支持力で補うこととした。

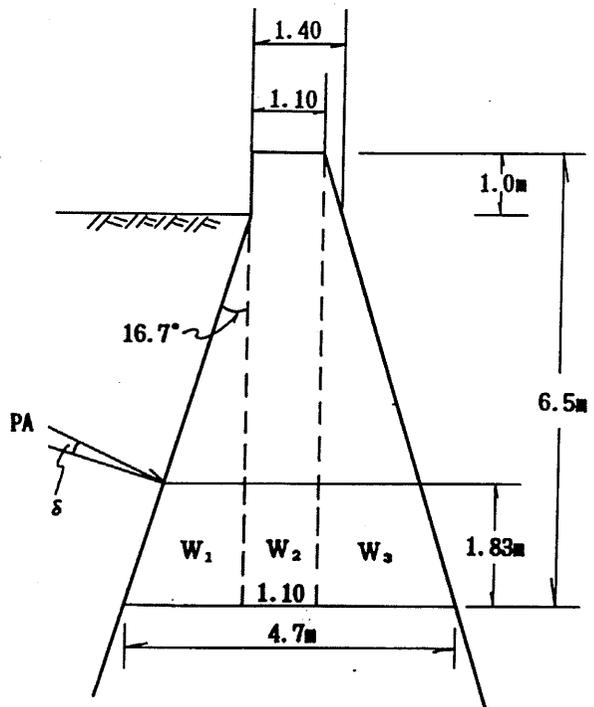


図-3 堤体の断面形状

6. 杭の施工

杭は施工性を考慮し一般的なものが良いと思われた。

滑動に対する補強は杭径 216.3 mm、厚さ 8.2 mm を使用した場合杭のせん断強度 900 kg/cm² として杭間隔は 5.0 m で良いことになった。

一方支持力はボーリング資料を基にして、堤体を貫通して下位の泥岩に荷重を伝達することとした。左岸分離堤の重量は 320 t である。ここで問題となるのは、堤体コンクリートと鋼管杭とが十分な摩擦力を発揮するための付着力を得るにはどうすれば良いかであった。このためアンカー工で用いられる異形鉄筋と同様、杭外周に節を付けた異形杭とした。ただし異形の鋼杭などは市販されていないから、杭外周に帯鋼又は鉄筋を巻いて溶接することにした。結果的には鉄筋の方が加工しやすく、これでコンクリートと鋼管杭の付着力は無加工杭より 2 倍となった。

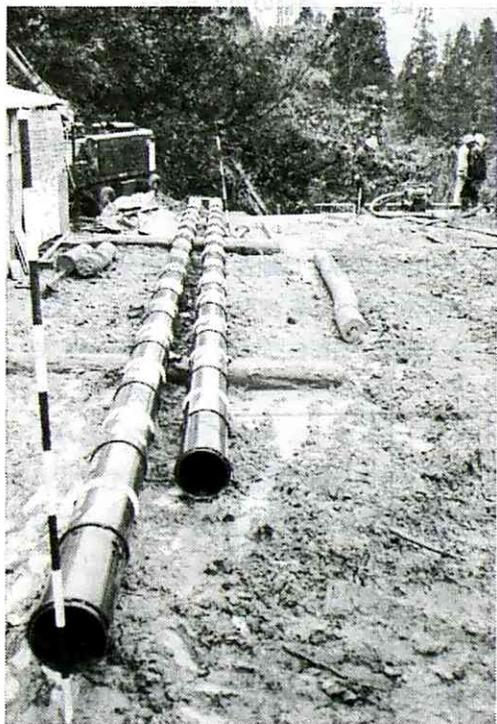


写真-7 建込用鋼管杭（節付）



写真-8 鋼管杭の建込作業

堤体及び基礎岩盤と杭外周にはモルタルグラウトを行ってそれぞれを十分付着させることにした。

杭の本数は堤体の重量を杭支持力で割って求めた。この結果杭は4本で良く、堤体荷重毎に杭の岩盤への根入長を調整し支持力を得た。したがって、滑動抵抗で求めた杭間隔より支持力から求めた杭間隔が小さくなった。

杭は外径267.4mm、鉄筋リング径19mmで合せて286.4mmの外径となった。このため削孔径は孔曲りがなければ300mmが良いことになった。

杭の施工は図-4にしめすようである。なお、杭の長さは最長で15.5m、そのうち岩盤への根入れ長は6.5mである。

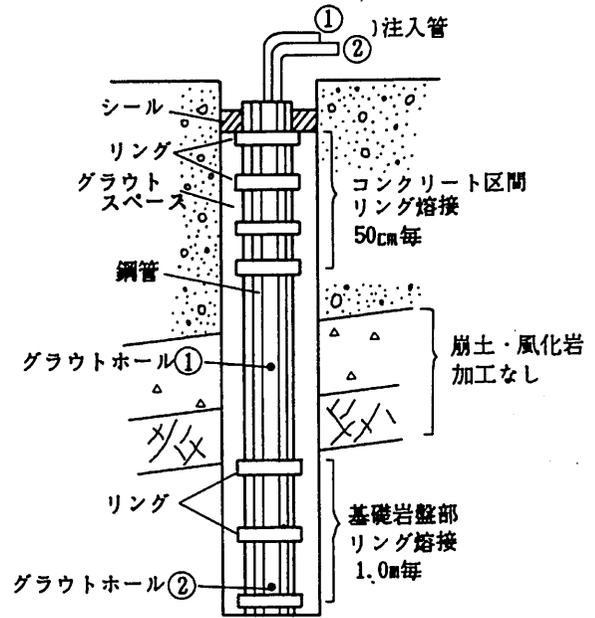


図-4 鋼管の加工と建込

7. 洗掘個所の補修

亀裂からの漏水によって前提下方の盛土が流出し、堤底が露出している。このためここを埋める必要があるが、土で埋戻した場合には後に行う基礎グラウトが流出し圧力がかからず効果が半減する。このため図-5にしめすように亀裂下端の堤底にコンクリートで前張を行った。

施工中は現地の状況から8mが必要であった。また、コンクリートの厚さは地表下0.5m、上部0.5mの計1.0m厚で行った。

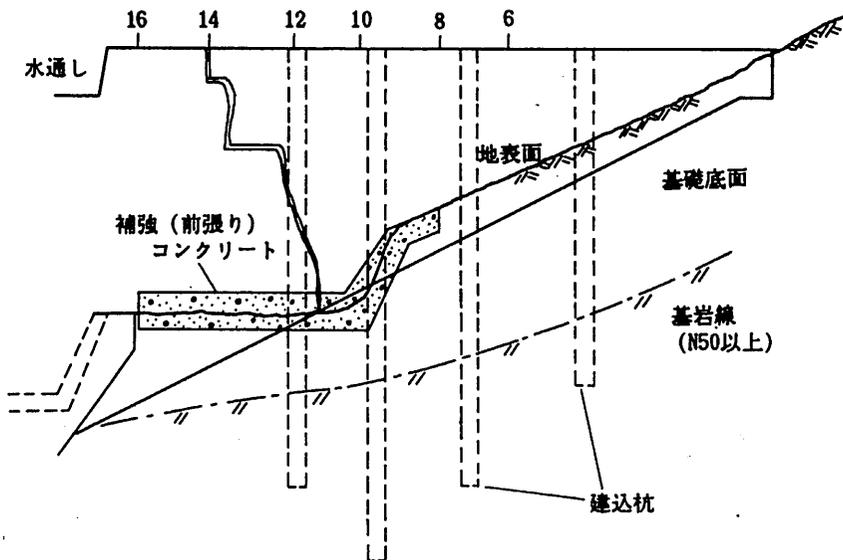


図-5 補強コンクリート

8. 基礎グラウト

堤体基礎に生じた空洞の充填と軟弱地盤の改良を行って、地盤反力の増加と背面水の流出及びこれに伴う土砂流出によって再び空洞が生じないようにグラウトを行った。

グラウトは下流堤体基礎部から斜めに径46mmで削孔し堤底まで貫通させセメントシルクW:C=1:1、圧力1.5kg/cm²（最大）で行った。グラウト材は背後の堆砂部へも圧入される恐れはあったが、それを管理する方法がなく、堤体基礎下に分布する崩土体積の15%を注入量とし、圧力とこの量で充填を管理した。

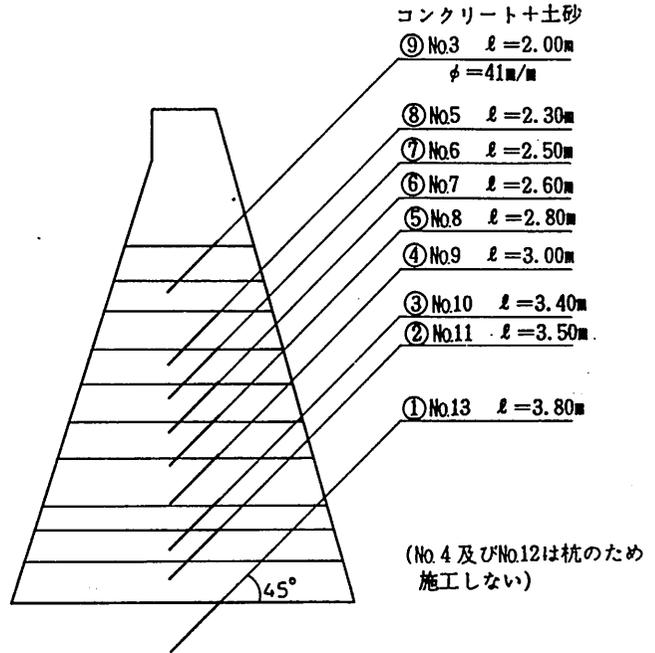


図-6 基礎グラウト孔配置断面図

9. 亀裂の補修

分離した堤体を付着させるとともに水通しへ排水を回復するため亀裂の補修（充填）を行った。

補修は、図-7にしめすようにコーキングを行って注入管で堤体内部へグラウトを行う計画であったが、実施は亀裂部をV字形にカットしてコーキングを行い、亀裂を貫通させた鋼管杭のグラウトによって堤体内にグラウト材が圧入された。したがって注入管やリーク対策で計画した鉄板などの取り付け作業は行っていない。

また、調査によって明らかになったことであるが、岩盤の位置が水通し部より左岸寄りになっていて、過去の地すべり等で流芯が右岸に押しやられ、旧河道は埋没しているようである。

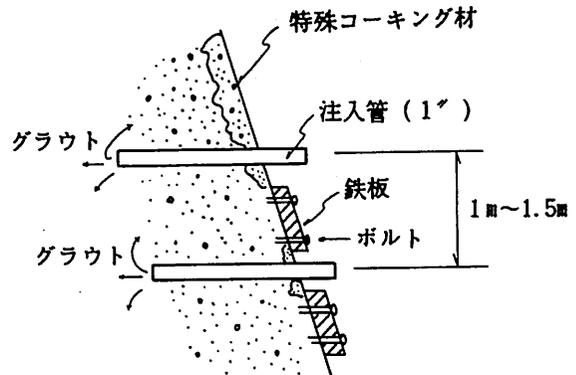


図-7 亀裂の補修法

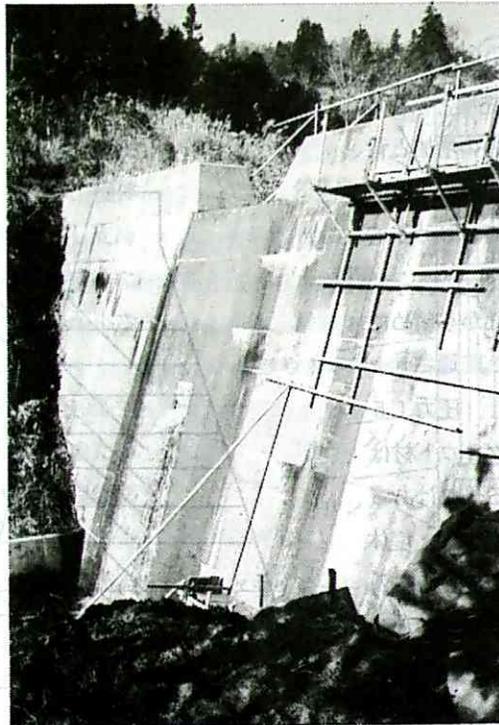


写真-9 復旧中の堰堤（水通しに流れる）

本堰堤破損の遠因は、基礎地盤の分布状態をあらかじめ十分把握出来なかったことによる。

基礎地盤が軟弱であってもダム規模が床止工のように小規模であれば、方角材や大型フトンカゴなどのフレキシブルな材料を用いて目的を果すことが出来る。しかし、堤高10m程度を必要とする場合には、耐久性、安定性の面からコンクリートとすることが多い。このため、基礎地盤の良否と分布状況を十分把握しておくことがダムの安定上及び施工上必要である。

調査法は、現地踏査を十分行うことは当然であるが、ボーリング調査あるいはスエーデン式サウンディングなどを活用されることが望まれる。

以上の補修工事は昭和63年11月に実施され、堤体は外観上は補修のあとがわからないまでに復旧された。

10. ま と め

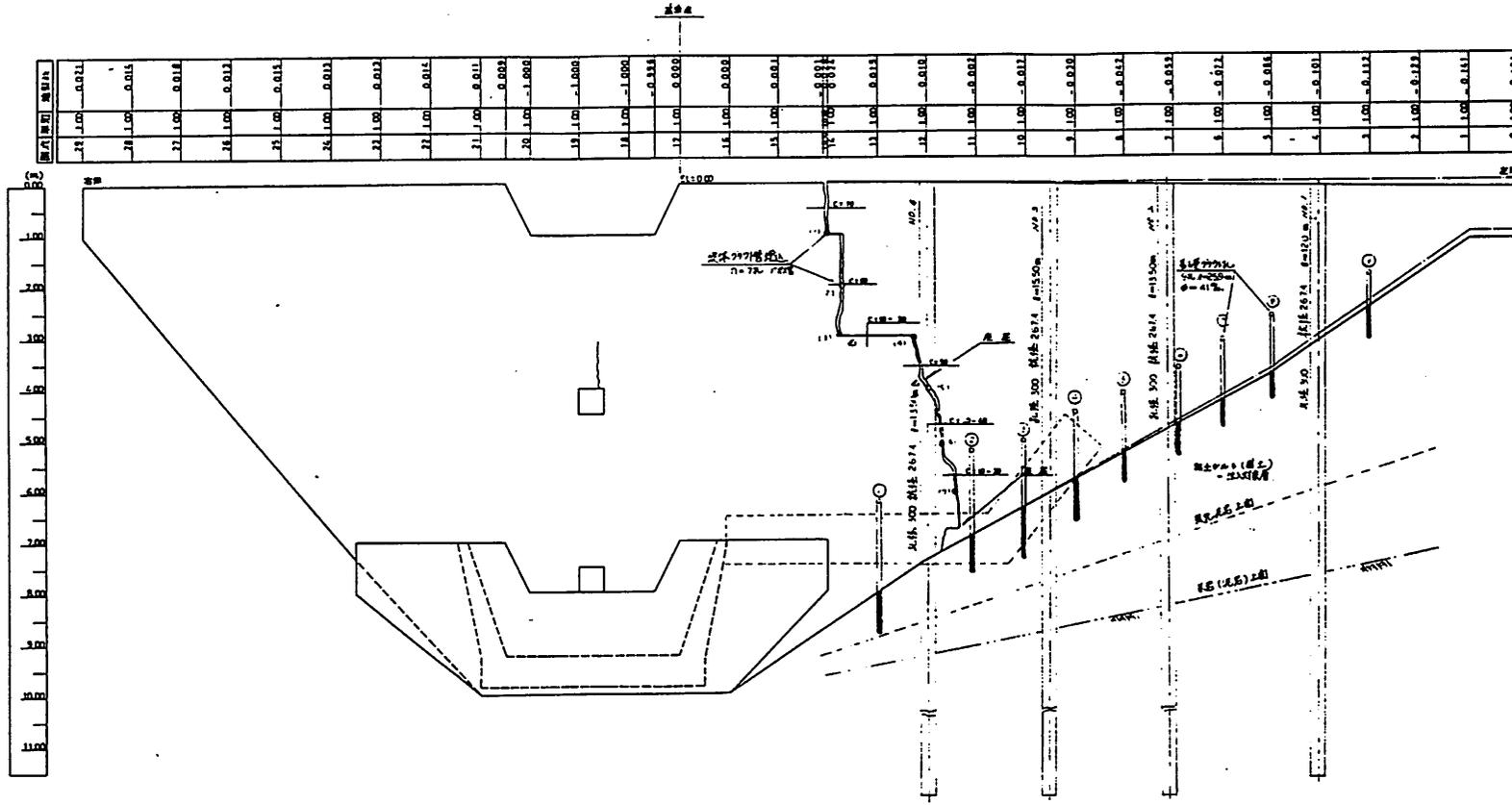
本堰堤の破損は基礎地盤の不均衡、特に左岸側地盤の不良によってもたらされたものである。一般にダム基礎は堅硬な岩盤に置くことになっているが、ここでは崩土がとり残されていた。これは地すべり地で良く見られることだが、ダム袖部を十分溪岸に貫入しようとしても掘削出来ないことがある。無理に掘削した場合には2次的な崩壊が発生し人的災害に至ることがあるからである。

ここでも軟弱地盤を取り除くためには左岸部へ掘削して行かねばならず、おそらく掘削は安全の限界に達したものである。堤体の構造を見ると水通しより左岸側で堤体は長く、右岸部の長さの倍の長さがあり、著しく左右非対称でこれを裏づけている。

付图-2 第3号砂防堰堤杭施工图

S=1:50

(昭和43年7月23日現在)



基礎フラウト施工位置図 S=1:50

