

土 木 研 究 所 資 料

第1119号

火山岩地帯のダム基礎の浸透流（1）

昭和 51 年 3 月

建設省土木研究所

巻 頭 言

「これは岩ではない。泥ではないか。こんな所にダムが出来るものか。」と老人は顔を真赤にし、手をふるわせて大声で裁判長他多勢の人達に向って訴えていた。その意気まことに仕なるものがあり、その眼前には横杭から排出されたどろどろのずりが河岸にまき出されていた。蜂の巣城裁判の現場検証の日、下笠ダムサイト左岸での出来事であり、その老人こそ私にとって忘れ得ぬ人「大学さま」——故室原知幸さんであった。

「話せば判ってもらえる——謙虚に自然と語ろう、技術者の心情とダム建設の知恵と意欲を赤裸々に吐露して話し合えば、必ず判ってもらえるとの信念のもとに、あらゆる機会にあらゆる手段をつくして、それこそ若き技術者の精魂を傾けて、老人の心の扉を叩いたが、ついにあがずの扉の前で法の適用を決心した日以来の大学さまとの葛藤の数々が重苦しく脳裡を駆けめぐりながらも、私は断然たる自信を持って、「決して良い地質ではない。きわめて難しい岩盤であるが、ダム技術者の英知をあつめて検討した上で、基礎処理に創意をこらせば高いダムの建設は可能であるとの結論に達した。実施設計のための調査坑であるから、このずりを見ても驚かない、十分自信を持って対処しているのであるから、私共の技術力を信頼して欲しい」と言い切った。下笠ダム岩盤研究会での重力ダムかアーチダムかをめぐっての激しい熱心な議論の応酬の中から得た「アーチダムが造れる」と私の心証は、一徹な老人の切々たる訴え、これに同情する裁判長他の思わくが醸し出す疑惑の嵐にも似た激しい批判の集中にも、微動だにも動かなかつた。マスコミのカメラの放列の中で騒ぎは続いたが、真実一路に冷静に説明する技術者のひたむきな姿勢に、老人のたかぶりや裁判長他のきつい眼差しも次第に和らぎ、下笠の峡谷に静けさが戻り、津江川の清流だけが快い音をたてて久遠の流れをたどり、すいすいと泳ぐ川魚に私はしばし見とれてその使命の重さに襟を正したものである。

その時から幾星霜、水没予定者との話し合い、法廷での証言、本省、本局との打ち合わせなど東奔西走のあわただしい日を送ったが、いつも心の底にあったことは下笠ダムの岩盤処理、設計の問題であった。調査の進行に伴なって、アーチダム建設の道はあるときは遠く、あるときは近くと、かなり迂余曲折し、我ながらハラハラすることがあったが、土木研究所の人々の英知と現地の意欲・使命感——何よりも下笠の現地の自然にとけこんだ技術者魂がおりなす技術者の創造は本省その他の完全なご理解とご指導と相まって私に絶大の自信を与えてくれ、これを軸に私は強い信念をもって外に内に全ての問題の打開に勇往邁進し得たのである。私は昭和40年初め、現地を離れたが、事務所の人達は本省、土木研究所の方々のご指導のもとに下笠ダム建設に没頭し、

幾多の障害を乗り越えられて、立派に松原ダム、下笠ダムの建設を成しとげられた。その努力に心から敬意と謝意を表わしながら、私は貯水の日を待っていた。自信はゆるがなかったが、自然のもつ偉大さを思うとき、人知の限界はさけられず、無事貯水してほしいと悲願に似た思いで、まるで入学試験の発表を待つ受験生そのものの心境であった。

工事も完成し、慎重な湛水計画が立てられて、湛水が開始された。下笠ダムの岩盤が堤体の挙動、両ダムの止水効果が主たる課題で、これらの測定については土木研究所の指導のもとで綿密な施設をもって計画されており、その成果は今後のダム技術の進展に欠くべからざるものとして注目されていた。湛水につれて両ダムの漏水が大きいことが観測され、また下笠ダムの挙動について、よく説明のつかないデータが出てきた。その解析と検討によりダムの安全性については殆んど心配はないものと判断されたが、漏水の問題について量が多いため、そのメカニクをつきとめ、本質的で、かつ的確な対策を講じなければならず、その工法、費用等で特別な配慮が望まれ、関係者のきびしい事実の認識にもとづく真剣な研究、検討を必要とした。当時、私は土木研究所ダム部長の職にあり、思い出の松原、下笠ダム——難産の上に難産を重ねて誕生したこの両ダムを正常な軌道にのせるための役割を与えることになり、誠に感無量なものがあり、ダム技術者としてある意味では幸せ者と感謝した。九州地建の要請にもとづき、本省の指導のもとに両ダム検討委員会が編成され、建設省の名にかけて、関係者が相よって、現象の解明に努力し、対策の確立に研究、検討をつづけ、適宜対策工法を実施していった。現地の管理事務所の動きも良く、これらの方向に順応されて生むは易く、育てるは難しいとのたとえもある位で、きびしい条件のもとでこのむづかしい仕事に対処して、乏しい陣容ながら本当に良くやってくれたものと敬意を表する次第である。

その後の報告によれば、まだ多少の漏水は残っているが、ダムの安全性については心配ないということで、この両ダムも一本立ち出来るようになったとのことで安心しているが、もともと諸々の技術上の問題について開拓者的精神で取組んだダムであることを忘れずに、いつも初心にかえて細心で愛情に溢れたきめ細かいダム管理を実施してもらいたく——このことが、日本のダム技術史上、かなり基本的なデータを与えてくれることを信じて管理所の人達が誇りをもって見守って頂くように祈って止まない。

このたび、事実をありのままに伝えるべく、この間の資料がまとめられて、とりあえず松原ダムについての報告書が発刊され、続いてすぐ下笠ダムについての報告書がまとめられる予定であるが、関係者の努力に敬意を表するとともに、この報告書が世界のダム技術者に多くの有益な情報を与えるものと確信して心から喜びにたえない。当時の建設省開発課の藤城専門官ほか担当者

の方々、九州地建岡島河川部長、田原河川工事課長、秋沢事務所長、三浦氏ほかの九州地建関係者の人達、土木研究所の芥川、今西、岡本など地質関係の方々並びに土木研究所ダム部の飯田、花籠、柴田氏など、さらに阪西大先輩など思い返せば本当に多くの人達が同じ認識のもとに、夫々の持場で積極的にご協力、ご尽力を頂いたことについて感謝の気持ちがいっぱいである。この両ダムと7年間つきあい、まさに壮年期の大半を両ダムとともに生きていた私にとって、完成後の両ダムの測定記録が如実にまとめられ、刊行されることは、私の子供の成長の記録を見る思いで言葉に表わせない程に、感慨ひと渺なるものを覚え、心からダム技術者としての有難味を感じるものである。願わくば、多くのダム技術者の人達に見て頂き、ダム技術発展のために、格好の座右の書として愛用されて頂ければ幸せこれに過ぎるものはない。真実は唯一つ、技術者は謙虚に真実を見つめ、大きな人類愛に支えられて永遠の生命を燃やし続けなければならないことを自らに言いさせながら、今後この種の事実の記録がどんどん公開されることを望んでやまないものである。本当に、この編集に携られた方々の努力に、心から感謝しながら感無量の気持の一端を述べて、巻頭の言葉とさせて頂く。

昭和51年 3 月

沖縄県技監 野 島 虎 治

火山岩地帯のダム基礎の浸透流 (1)

目 次

巻 頭 言

1. ダムの概要.....	1
2. 漏水と応急処置.....	3
3. 既設グラウトカーテン.....	5
4. 追加工事のための調査.....	6
5. ダムサイトの地質.....	7
6. 追加グラウチング.....	9
(1) 工事費と工期.....	9
(2) 追加グラウチングの主な示様.....	9
(3) 大山水路からのファンングラウチング.....	11
(4) 左岸側の補強.....	11
(5) 右岸側の補強.....	12
(6) 追加コンソリデーショングラウチング.....	13
7. 地下水位.....	14
8. 浸透流速.....	15
9. 浸透流解析.....	17
10. 法 覆 工.....	18
11. 特殊研究 — 孔内微流速.....	20

火山岩地帯のダム基礎の浸透流 (1)

土木研究所 柴田 功

九州地方建設局 三浦 三郎

平川 次男

1. ダムの概要

ダムおよび貯水池の諸元は次のとおりである。

河川名	筑後川 (大山川)
位 置	右岸：大分県日田郡天瀬町 左岸： " " 大山町
ダ ム	
型 式	重 力 式
堤 高	8 3.0 0 m
堤頂長	1 9 2.0 0 m
堤体積	(本体) 2 9 4,0 0 0 m ³
基礎岩盤高	E L 1 9 2.0 0 m
貯水池	
流域面積	4 9 1 km ²
湛水面積	1.9 km ²
総貯水容量	5 4,6 0 0,0 0 0 m ³
有効貯水容量	4 7,1 0 0,0 0 0 m ³
堆砂量	7,5 0 0,0 0 0 m ³
計画高水量	2,7 7 0 m ³ /sec
調節流量	1,6 7 0 m ³ /sec
調節後流量	1,1 0 0 m ³ /sec
梅雨期洪水調節容量	4 5,8 0 0,0 0 0 m ³
台風期洪水調節容量	7,6 0 0,0 0 0 m ³
発電容量	4 7,1 0 0,0 0 0 m ³
天端高	E L 2 7 5.0 0 m
設計水位	E L 2 7 3.0 0 m
クレスト面標高	E L 2 6 1.9 0 m
台風期制限水位 (7月21日～9月30日)	E L 2 6 9.0 0 m
梅雨期制限水位 (6月11日～7月20日)	E L 2 3 8.0 0 m

堆砂位 (1) 貯水池の堆砂位置 E L 2 3 6.0 0 m

コンジット中心高 E L 2 2 4.0 0 m

岩 質 安 山 岩

ダム付近の平面図は図 1.のとおりで右岸は上流が開いてダム直上流の地形が逃げており、さらに約 2 2 0 m 離れた E L. 2 1 2 m に旧発電用無圧トンネルの大山水路がある。また、左岸ではダムのすぐ下流が深くきりこんだ沢状地形を呈している。

2. 漏水と応急処置

昭和45年12月10日にダムの完成に伴って湛水を開始した。水深が約10m(ダム底の標高はEL.192m)で、大山水路漏水が始まり水位がEL.230mになったとき、 $6.8\text{ m}^3/\text{min}$ に達した。そのため貯水位をEL.224mまで下げ、応急処置として、浸透流経路長を大きくして水頭損失を生じさせ、漏水量を減らすことを目的とし、昭和46年1月～6月にかけて大山水路の既施工プラグの下流に37mのライニングを行なった。この工事は、古いライニングを取除くには、時間がかかるし、湧水処理がむづかしいと判断し、高い水圧に耐えられる補強ライニングを内側につけ加えるようにした。

また、右岸EL.250.5mおよび左岸EL.250mにグラウトカーテン補強工事用のトンネルを設けることとし、昭和46年末に概成した。既施工プラグの下流37mの第1期ライニングが完成したが、なお不安が残ると判断し、昭和46年7月からさらに40mの第2期ライニングに着手した。引続いて昭和46年7月に貯水位を発電最低水位のEL.238mまで上昇せしめたところ、大山水路の漏水は $10\text{ m}^3/\text{min}$ に達した。その状況は写真1に示すとおりである。この写真にも見られるように、大山水路の古いライニングの裏側に行なった填充グラウトがよくゆきわたっておらないため、すいていることが認められ裏込コンソリデーショングラウティングが8月10日から着手された。そして8月24日にライニング補強工事のための集水管のバルブを閉じたところ漏水量は $7.5\text{ m}^3/\text{min}$ に減った。しかし、まだ漏水量が多いのでさらに60mライニングを延長することとし、昭和46年10月～12月に施工した。この間に次章で述べるようにダムサイトの広い区域にわたる調査のためのパイロット孔の施工を終えた。次いでライニング工事に必要だった集水管のすべてを昭和46年12月26日に閉塞したところ、大山水路からの漏水は $3.95\text{ m}^3/\text{min}$ に減少した。そして諸般の事情から貯水池を利用せざるを得なくなり、昭和47年1月9日から満水位(EL.273m)までの湛水を開始した。湛水を再開するにあたって、上述のように大山水路のライニングを十分にしておき、右岸地山の排水効果を低減せしめたので、第4章でのべるグラウトカーテン追加工事も相当な量の施工をしたが貯水位が高くなると右岸地山表面からの漏水を生じるのではないかと考え監視を続けたところ1月18日になって滲透水が見出され、水位上昇とともに増加を続け満水時には $5\text{ m}^3/\text{min}$ に達した。その状況は、写真2に見られるとおりダムの下流に集中していた。

湛水開始以来現在までの時間、貯水位、漏水量、の関係を示した浸透流の履歴を図2に、貯水位と漏水量の関係を図3に示す。なお、流量は銅板でつくった四角堰によって測定している。

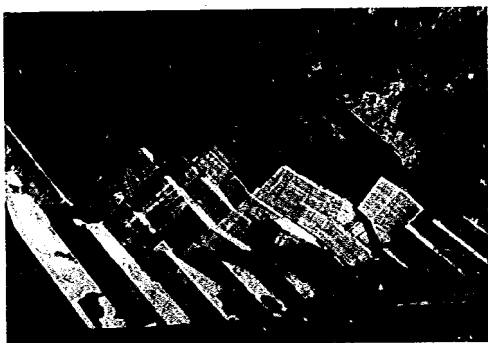
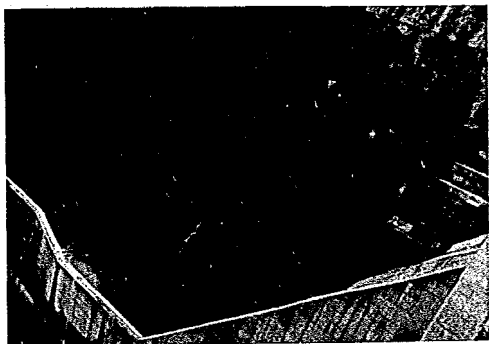
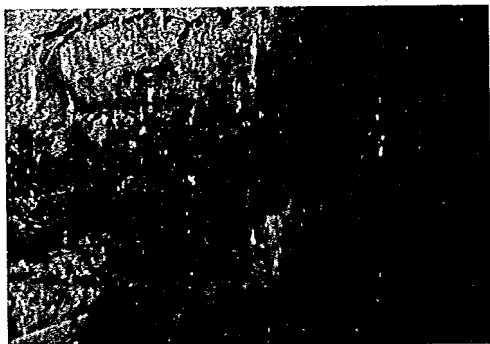
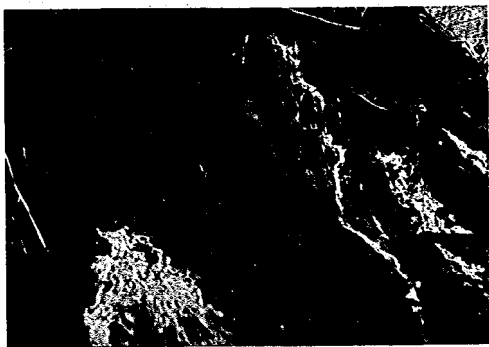
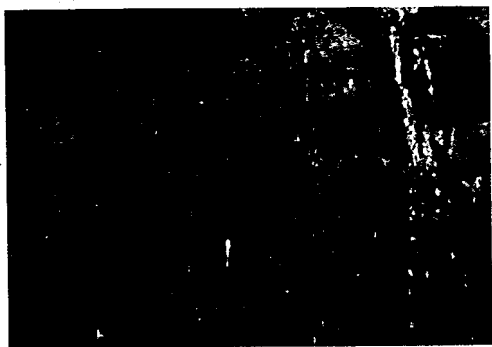


写真1 大山水路内の漏水状況
(昭 45. 12)

写真2 右岸下流の漏水状況
(上, 中 昭 47.1 の状況
下 昭 48. 法覆工施工後の状況)

3. 既設グラウトカーテン

本工事施工時のルジオン値を図4、単位セメント量を図5、本工事の進捗に伴うルジオンマップの変化の状況を図6に示す。

これらの図をよくみると、左岸側ではルジオン値の大きい部分はそんなに多くはないが、右岸側では領域が広がり、特にグラウトカーテンの縁端部に多いのが目立つ。

4. 追加工事のための調査

昭和45年12月からの初めての湛水開始によって漏水が生じたので、既設グラウトカーテンの施工記録の再検討を行なった結果、その施工範囲は不十分であると考え、すでにのべたとおり左岸では深くきれこみ沢があること、右岸ではダムから220m離れた大山水路に漏水を生じたことなどを考慮に入れて追加工事用トンネルを掘り、これから原則として2.0~4.0mピッチでルジオンテストとセメント注入を行なった。その成果は図7に示すとおりである。また注入圧力 p と透水量 q の関係を示す $p \sim q$ 曲線の例を図8にあげる。図7によると全体としてルジオン値の大きい区域があるが、こまかくみると左岸では、ダム軸の延長線上で崖錐積物があり、さらにアバットメント近くの地層が比較的不透水であることが認められる。

5. ダムサイトの地質

筑後川上流域一帯には、第三紀から第四紀にかけての激しい火山活動によって生成された各種の火山岩類が複雑に重畳して広く分布している。本ダムサイトは、この火山岩地帯の中にあり第三紀末～第四紀初期の生成と見られる安山岩質の溶岩や凝灰角礫岩等の火山砕屑岩類で構成されている。

地質構造は複雑な火山岩類の分布により必ずしも明確ではないが、左岸地山深部と河床部とに見られた特色のある凝灰岩層（肌色粘土質凝灰角礫岩）を key bed として追跡した結果、概略 NE・50°S の走向傾斜を示している。左岸では、これを不整合に覆って逆傾斜で黒色凝灰角礫岩および安山岩（溶岩）が分布している。

断層等で顕著なものとしては、右岸アバット直上流に露頭し、R-3 グラウトトンネル内で確認された巾 0.5～1.0 m 破砕帯を伴った断層が存在している。また河床部では、数本のシーム状の断層が確認されている。これらはいずれも、走向 NE～ENE で 70°～90°S の傾斜を示している。

写真 3 に右岸のボーリングコアの例を示す。

次に岩質別の特徴をのべておく。

自破砕状溶岩 (Autobrecciated Lava : Ab と略記)

凝灰角礫岩と類似し、緻密堅硬な安山岩状の角礫部分と角礫と同種の凝灰質な基質部分からなる。

河床部では、角礫は通常 30～40 cm の大きさであるが局部的には 1 m 以上もあり、基質は暗灰色ないしは赤褐色を呈しやや軟質である。右岸側では、基質にやや軟質な部分もあるが全体的に集塊岩状となっている。左岸側では、角礫が部分的に多孔質となっており、その部分では赤褐色ないしは黄褐色に変質し、軟質になっている。全体を通じて、本岩には割れ目が余り発達していない。

安山岩溶岩 (Andesite Lava : An と略記)

緻密堅硬な岩質の割れ目の発達した岩盤である。

右岸側には（図-9）に示されるように 2 層に分布している。下位にある層は、多孔質ではあるが緻密堅硬な岩質をしており、10～40 cm 間隔の割れ目を有しているが殆んど密着して

いる。上位層は、厚さ60cmもあり岩質は緻密堅硬で、割れ目は、5~10cm間隔の水平な板状節理と、それに直交する30~70cm間隔の鉛直な節理からなっている。このうち鉛直な割れ目は露頭でかなり開口している。なお、地表面EL.250m付近には1~2m厚さの赤褐色に変質した粘土質の軟質帯がほぼ水平に分布している。左岸側では3つの区域に分かれている。何れも岩質は緻密堅硬で、板状節理が発達している。

黒色砂質凝灰角礫岩 (Black Sandy Tuffbreccia : BTb と略記)

左岸地山に分布し、図9地質図にみられる山側に傾斜する2層の他、沢沿いに崖錐とAbに挟まれて存在している。

図9地質図にみられるBTbは2層とも黒色で多孔質な安山岩礫を含んでいる点は共通しているが、上位のものは、基質に粗粒の火山灰(砂)を多含し砂質であるのに対し、下位のものはやや粘土質である。

肥色粘土質凝灰角礫岩 (Pale Orange Clayey Tuffbreccia : Sc と略記)

ダムサイト周辺の地質構造を把握するうえでのkey bedとなるもので、走向は河川にほぼ平行に、傾斜は右岸側に50~60°であり約10mの厚さを有している。

角礫部は一般に1~5cm径の安山岩礫よりなり、基質部は灰白色ないし淡褐色の粘土質火山灰よりなり、全体的に軟質であり、割れ目は殆んどない。ただ、層の上部が部分的に熔結凝灰岩状を呈しているところがある。

崖錐 (Talus : Ta と略記)

崖錐は、広範囲に分布しているが、特に重要なのは、左岸の沢沿いにみられる(図-7)厚さ20cmの崖錐である。これはシルトないし粘土質ロームと安山岩の角礫ないしは亜円礫の混在したもので未固結である。

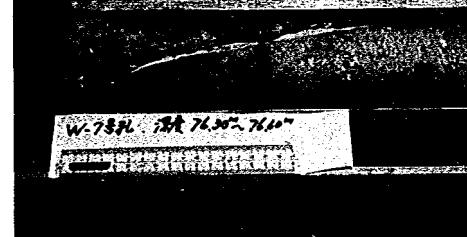
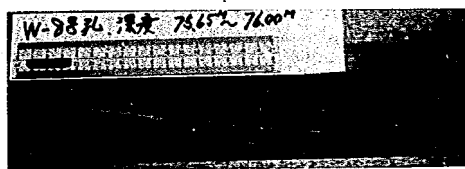
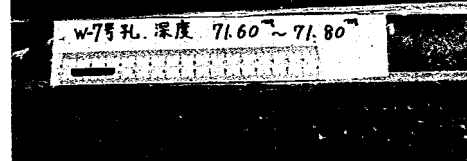
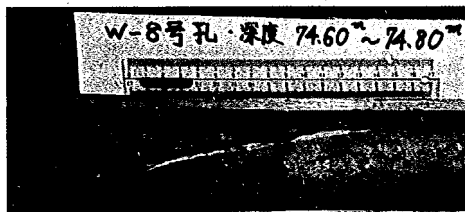
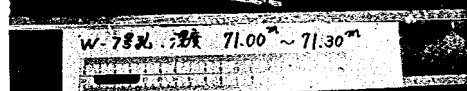
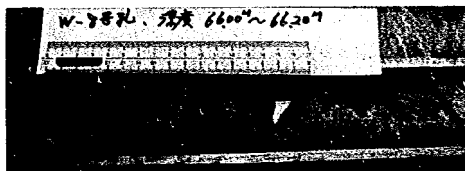
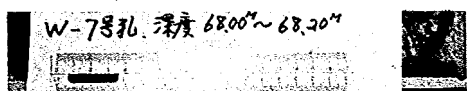
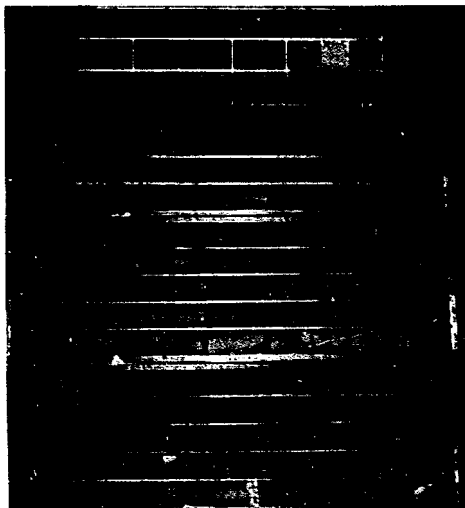
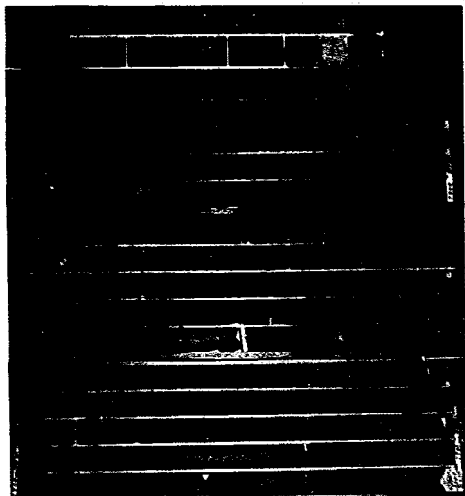


写真3 右岸ボーリングコアの例

6. 追加グラウチング

(1) 工事費と工期

昭和46年5月から約半年の間に追加グラウチングのための調査が行われ、その工事に追いつけるようにダム近傍からグラウトカーテンの補強を行なった。その施工箇所工事量および工期の概要は、表-1のとおりでこれまでに675孔総延長約23,000mのボーリングがなされた。

(2) 追加グラウチングの主な施工示様(昭和46年~昭和49年度)

- $\phi 45\text{mm}$ のコアボーリングとする
- リボーリングは注入完了後8時間経過後に行なう。
- 透水試験

ポンプ: 吐出量は $150\text{ℓ}/\text{min}$ 以上

ブルドン管圧力計: $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 用および kg/cm 用

流量計: 積算型の最小目盛は 1ℓ

二重管式ゴムパッカー使用

予定グラウト: $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下のとき $3-6-10-6-3\text{kg}/\text{cm}^2$

$20\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上のとき $5-10-15-10-5\text{kg}/\text{cm}^2$

水頭補正をする。

表-1 調査および追加グラウチング一覧表

施 工 箇 所	孔 数	ボーリング長 m	セメント量 kg	単位セメント量 kg/m	工 期
全 坑 の 調 査	28	3,067	452,530	148	S46. 5~46.11
大 山 水 路 調 査	7	260	117,200	451	S46. 7~46.11
大 山 水 路 カ ー テ ン	24	517	49,400	96	"
大 山 水 路 ラ イ ニ ン グ 周 辺	14	345	28,364	82	"
新 設 作 業 孔 周 辺	256	768	114,470	149	S46.12~47. 3
L 4 カ ー テ ン	19	1,730	193,570	112	S46. 7~47. 3
L 2 カ ー テ ン	20	1,631	173,160	106	"
L 1 カ ー テ ン	18	867	60,750	70	"
仮排水路カーテン	3	150	60,450	403	S46. 7~46.11
R 1 カ ー テ ン	27	1,673	282,230	169	"
R 2 下向カーテン	35	3,261	484,140	148	S46. 7~47. 3
R 2 上向カーテン	14	280	38,340	137	S46.12~47. 3
R 3 カ ー テ ン	52	3,502	677,760	194	S46. 7~47. 3
R 2 下向カーテン	28	891	74,280	83	S47. 4~47. 7
R 2 上向カーテン	10	190	38,125	201	"
右岸下流コンソリA-1	76	1,680	431,640	257	S47. 4~47. 8
R 2 下向カーテン	20	1,715	249,200	145	S50. 6~50. 9
R 2 上向カーテン	24	498	102,400	206	"
計	675	23,025	3,628,009	158	

○ グ라우チングポンプ：油圧式可変容量型

単路式配管：

単位注入量：30 Lu 未満 10 ℓ/min/5 m

30 Lu ~ 80 Lu 20 ℓ/min/5 m

80 Lu 以上 30 ℓ/min/5 m

グラウト濃度：第1回 1 : 8

第2回 1 : 6

第3回 1 : 4

配合の切替 1 : 8 1 : 6 1 : 4 1 : 2 1 : 1

40 min 40 60 60 —

600 ℓ 600 1000 1000 —

ただし、10分間に 4 kg/cm^2 の圧力上昇または2分間の単位注入量が切替2分前の
の半分以下になるときは戻す。また $10\ell/\text{min}/5\text{ m}$ 以下のときは切替えない。

中 断 $p 10\text{ kg/cm}^2$ 以下 3,000ℓ

11~19 6,000ℓ

20以上 10,000ℓ

中断後再開は12時間経過後

。中央混合プラント セメント量：高炉C種

5%のベントナイト(300#以上)

0.25%のボゾリス Ⅷ8

(3) 大山水路からのファン状グラウチング

洪水の初期に大山水路のプラグのすぐ下流から大きな漏水が発生したので、この大山水路のR
3トンネルの下で地山の透水性を調べるためのファン状のテストグラウチングを行なった。その
結果は、図10のとおりで、大きなルジオン値とセメント吸収を示した。なお、Ⅷ3-1~3で
は、透水試験のみを先行し、その後孔奥からパッカーグラウチングをした。他は、ステージグラ
ウチングによった。

(4) 左岸側の補強

追加工事のための調査の結果によると、左岸ではアバットメント付近でルジオン値が比較的小
さく、水を透しにくいと考えられたが、すぐ裏側に深く入り込んだ沢があるので、水位上昇に伴
なって漏水が発生する可能性もあると判断され、念のため追加工事を行なうことにした。そこで
既設のL1(EL215.5m)、L2(EL250m)、L3(EL275m)坑から本工事で施工したグラ
ウトカーテンの範囲の外側に追加するとともに、上流側に向けて掘ったL4坑からも追加したカ
ーテンを形成させることにした。この工事は、表に示すとおり昭和46年度に施工したが、その
孔配置を図12、施工の成果を図13に示すとおりで特に問題となる記録はない。そのうちL1
およびL2からの既設グラウトカーテンの内側の部分は、1864mで平均単位セメント量は、
 71 kg/m であった。

なお、左岸側の調査の結果では、ダムから離れた深部で著しく大きいルジオン値を示している
区域が広いが、地質構造上ダムに影響を及ぼすとは考えられないので、補強のための追加カー
テンの対象から除外することにした。

(5) 右岸側の補強

右岸側では、第5章でのべたキーベットの上部の安山岩類になり、この安山岩類の広い範囲の透水度がきわめて大きい。そこで既設のグラウトトンネルR1(EL215.5m)、R2(EL250m)からのカーテンの範囲の追加を行なうと共に、R2坑を190m、27.5°下流に曲げて延長し、延長分のうち約65mをR2の工区、残り約125mをR3として追加工事を行なった。その孔配置は前掲の図12、施工の成果は図13に示したとおりである。注入実績は表のとおりであるが、右岸側では、ダムから遠く離れた大山水路に大きな漏水を生じているので、所要区間の決め方がむづかしく、一応広い範囲に行なうこととし、表にみられるようにダム近傍および大山水路付近を先行し、年度を追うごとに補間することにした。なお既設カーテンの内側部分は2342mで平均単位セメント量は102kg/mであった。昭和50年5月に施工仕様を変更した。これは単位入量の制限を除くことにしたもので、施工単価は、約30%減少し、同一工費では、工事費をその分だけ増せると判断したためである。昭和46年度の施工仕様からの主な変更分は次のとおりである。

○ グラウチング

ポンプ：定吐出型(40kg/cm²で50ℓ/min以上)

循環式配管：

単位注入量：10Lu未満40ℓ/min/5m

10Lu以上50ℓ/min/5m

配合の切替：20ℓ/min/5m以下では切替ない。

中 断 p10kg/cm²以下 5,000ℓ

11~19 8,000ℓ

20以上 10,000ℓ

○ グラウトセメント：高炉B種

ポゾリス灰8

前述の表1にみられるとおり、この変更した仕様で施工した結果は、単位セメント量が145kg/mおよび206kg/mであつて、以前の仕様で施工したものと差がなく、このダムサイトのよりに大きな透水性を示す岩盤では単位注入量を制御する工法は得策ではないことを示している。次に昭和50年度に行なつたチェック孔のp~8曲線は、図14のとおりである。これによると上向き孔の状況は、きわめてよくないが、実際にルジオン値が大きいのか、作業時のエアノックによるものかは明らかではない。

(6) 追加コンソリデーショングラウチング

すでにのべたように昭和47年1月からの本湛水によって右岸下流側の広い区域に漏水が発生したので、ただちに追加コンソリデーショングラウチングをファン状になるものを主体に9列施工した。その施工結果は、図15に示すとおりで、表にみられるように1320mの延長に対し平均の単位セメント量は257kg/mとなってセメント吸収が大きいが、単位セメント量は大部分のものが180kg/mでかなり大きいのが、EL245m~250m付近で特に多量に吸収される部分があって、平均値を大きくした。

7. 地 下 水 位

昭和45年末に大山水路に大きな漏水を生じたので、前述のような対策工事が行なわれたが、同時に地下水位を測定するための観測井のボーリングが行なわれ、昭和47年1月の本格的な湛水から貯水位と地下水位の関連が測定されている。

いくつかの例を図16に示すが、観測井W2, W3は、第9章にのべる浸透流解析の結果、グラウトカーテン直下流の水位を測ることが重要であることが指摘され昭和50年度に追加したものである。

この例にみられるように、大きな漏水を示している右岸の地下水位は、グラウトカーテンの上下流で落差があり、下流では、緩い勾配を示していること、さらに下流側の地形にほぼ平行な等高線を示していることが特徴となっている。

8. 浸 透 流 速

昭和46年12月から昭和47年5月にかけて、右岸の浸透流速を測定するため、R3坑の追加カーテングラウト孔および追加コンソリデーショングラウト孔にウラニンを投入して下部への到達時間を測定した。その結果は表2のとおりでグラウトカーテンに投入したものでは1~10 cm/min (1~3 cm/minが多い) 程度の流速を示した。また、昭和49年度にグラウトカーテンのかなり上流のボーリング孔から投入して、流速を測定した結果は表3のとおりであるが、0.1~3 cm/min (1.5 cm/min以下が多い) の値を示した。後で行なった実測からグラウトカーテンを通り抜けることによってかなり流速が小さくなるが、投入孔の多くについて下流でウラニンの検出がなされたことは、グラウトカーテンにまだ間隙があることを示している。

なおこの実測の位置関係は図17に示すとおりである。

表-2 浸透流速実測一覧 (昭和46~47年度)

投入孔	貯水位 EL(m)	地下水位 EL (m)	投入位置 EL (m)	検出位置 EL (m)	水平距離 (m)	到達時間		流 速	
						初期 (min)	ピーク (min)	初期 (cm/min)	ピーク (cm/min)
209-1	272.9	253	240~235	243	53	480	1680	11.0	3.2
209-2	272.5	255	220~215	243	53	1530	1740	3.5	3.0
224-1	272.5	250	240~235	243	74	2490	3210	3.0	2.3
224-2	259.5	249.8	220~215	242	74	1050	1200	7.0	6.2
239	272.0	260	220~215	243	101	1035	1125	9.8	9.0
201	266.5	260	260~255	243	53	2190	2940	2.4	1.8
404	256.0	255	243~238	243	33	検出なし			

表-3 浸透流速実測一覧 (昭和49年度)

投入孔	貯水位 EL(m)	投入位置 EL (m)	検出位置 EL (m)	水平距離 EL (m)	到着時間		流速	
					初期 (min)	ピーク (min)	初期 (cm/min)	ピーク (cm/min)
T-2	247.35		№40	45	5460	6460	0.8	0.7
T-4	249.45		CDI10-6	66	20320	32920	0.3	0.2
"	"		R2-209	38	—	37230	—	0.1
"	"		R2-210	38	—	36200	—	0.1
"	"		R2-224	69	56000	57440	0.1	0.1
"	"		№29	110	20356	34350	0.5	0.3
"	"		№38	57	21410	33380	0.3	0.2
"	"		CF1	80	20090	45950	0.4	0.2
"	"		CF2	54	20090	20340	0.3	0.3
T-1	267.55		R2-210	34	1040	1300	3.2	2.6
T-3	"		R2-209	35	1430	6700	2.5	0.5
T-5	"		R2-24	53	5400	15350	1.0	0.4
"	"		R2-224	56	5400	19660	1.0	0.3
"	"		CF1	115	6800	15330	1.7	0.8
"	"		CF2	88	2520	13890	3.5	0.6
T-4	272.8		MD12-2	17	20040	22920	0.1	0.1
"	"		CDI10-4	56	12890	15760	0.4	0.4
"	"		CDI10-5	60	8550	15780	0.7	0.4
"	"		CDI10-6	66	11450	17190	0.6	0.4
"	"		CP12-3	39	8520	17170	0.5	0.2
"	"		CF1	80	5650	11550	1.4	0.7
"	"		CF2	54	4220	14430	1.3	0.4
"	"		MDU11-3	28	12890	15760	0.2	0.2
"	"		T-22	24	21480	24360	0.1	0.1
T-3								

9. 浸 透 流 解 析

三次元的な拡がりをもつ浸透流を解くことはむづかしいので種々の二次元的な流線を仮定し、岩盤およびグラウトカーテンの透水係数の種々な値の組合せを用いてDarcyの法則による浸透流解析を行なった。グラウトカーテンの厚さを3 mとして計算した地下水位の測定値と比較すると、透水係数がグラウトカーテンで 5×10^{-5} cm/sec、岩盤で 5×10^{-4} のとき次のような相関となり最も近い値となる。

表-4 解析と実測の水位比較

貯水池水位	カーテン直下流水位		浸 出 標 高	
	計 算	実 測	計 算	実 測
269 m	257.4 m	253 m	230 m	243 m
252	241.7	241	220	231
238	231.0	227	220	223

この関係から岩盤の透水係数を 5×10^{-4} cm/sec、体積空隙率を1%とすれば、計算例を示した図18によれば計算上のみかけの流速が、 $1.5 \sim 5 \times 10^{-4}$ cm/sec となっているので、実流速1~3 cm/minとなり、浸透流速の実測値の1~5 cm/minとよく合う。しかし、流量については、実測値とまったく相関がない。

10. 法 覆 工

(1) 右岸下流フェーシング工

昭和47年1月からの本格的な湛水に伴って右岸のエプロンガイドウォールの上で写真2に示したようになりに広い範囲にわたって漏水が発生した。この付近は岩盤が露頭しているが表面は風化によるゆるみがあり、こまかい岩の流出が認められたので湧水の顕著な部分にコンクリートの押え壁を張って安定をはかることにした。

その施工範囲は写真2および図19に示すとおりで、 $\phi 100\text{mm}$ のネトロンパイプを敷設して裏側の排水をするようにした。

(2) 右岸上流フェーシング工

右岸直上流の沢（アバットより20m）には、トレスル基礎や道路擁壁の基礎の施工時に観察された岩盤の状況から破砕帯の存在が推定されていた。これが浸透水の経路となっている可能性が考えられたので、表土掘削を行って岩盤を直接観察することとなり、昭和49年の梅雨期制限水位期間（6月11日から7月20日まで水位を最低であるEL238mにキープする）にこの個所のEL245m以上の面積2,400 m^2 について9,900 m^3 の表土の掘削除去を行なった。

この結果、沢の中心部に沿って巾0.5m～1.0mの破砕帯の存在が確認された。

この破砕帯の岩質は半固結状で比較のコンパクトであり、（1軸強度10～50 kg/cm^2 は期待出来る）周辺部も含めて特に透水性が大きいようには認められなかった。

破砕帯部分のみについては、風化防止等の見地から、掘削後ただちに平均巾3.5m、厚さ1.0mのコンクリート覆工を行なった。他はそのまま放置し、水位上昇による影響を調べたが、右岸全体の浸透水量に対する顕著な変化は認められなかった。

昭和50年7月に上記の掘削ヶ所に対して止水と法面保護を目的としてコンクリート吹付によるフェーシング工を施工した。止水と法面保護との両者を満足させるため、種々の検討を行ない以下のような仕様で施工した。（図 参照）

- 溶接金網（ $\phi 5\text{mm}$ 、10mmメッシュ）を狭んで厚さ15cmのコンクリートを吹付ける。
- 水位下降時の地山側からの水圧を考慮して4 m^2 に1本の割合でロックボルトアンカー（ $\phi 22\text{mm}$ 、 $l=20\text{m}$ ）を設け、水抜き孔には逆流防止バルブを設置する。
- 伸縮継目は上下方向に15mピッチで間隔1.0cmを取り、合成樹脂の止水剤で目づめを行なう。

○ 吹付コンクリートの配合は、

設計強度 160 kg/cm^2 ，セメント量 330 kg/m^3 ，水セメント比 $45 \sim 50\%$ ，

粗骨材量 700 kg/m^3 ，細骨材量 1240 kg/cm^3 ，粗骨材の最大寸法 20 mm ，

とする。なお施工後の抜き取りコアー強度試験の結果は $\sigma_{28} = 175 \text{ kg/cm}^2$ 以上となっている。

1.1. 特殊研究 — 右岸地質構造の詳細調査

昭和50年度に、右岸部R3坑からカーテングラウチング(42本2,200m)を行ない、これと併行して右岸アバット直上流面の地山にコンクリート吹付によるフェーシング工を実施した。

貯水位の上昇に伴う漏水量に変化がなく、その効果はあまり認められなかった。

このため右岸浸透流の動態をさらに明確にする必要が認められ、以下のような調査を現在実施中である。

- 既存資料の整理解析
- ボーリング(3ヶ所 220m)
- ボーリング孔内各種測定
 - ・湧水圧測定
 - ・電気検層
 - ・温度検層
 - ・孔内微流速測定
- 地下水追跡

(1) 地質構造

既存資料の再検討と新規のボーリング調査から右岸部の安山岩類をち密で板状節理の発達したもの(An1)多孔質なもの(Ap)とに区分(この境界に自破碎状溶岩(Ab)を含む)することにより、図7に示すようにカーテン面では右岸アバットより約40m~100mの間に局部的な境界層の凹みが存在し、これが下流側にU字形の谷地形を形成しているものと推定される。(図20参照)

(2) 微流速測定

フランスSOCOSOR社製の孔内微流速測定装置(Micromoulinet)を使用して右岸一帯のBoring孔内の微流速測定を行った。図21に示すようにその結果は、上記An、Ap2の境界面附近からの湧出が顕著に認められている。

(3) 地下水追跡

本地点では過去数回にわたり、地下水追跡を行っており概略の地下水流速は把握しているが、さらに、上述の境界層と流速の関係、トレーサー検出地点での濃度波形を捕えることによる定量的な検討などを目標として調査を行っている。

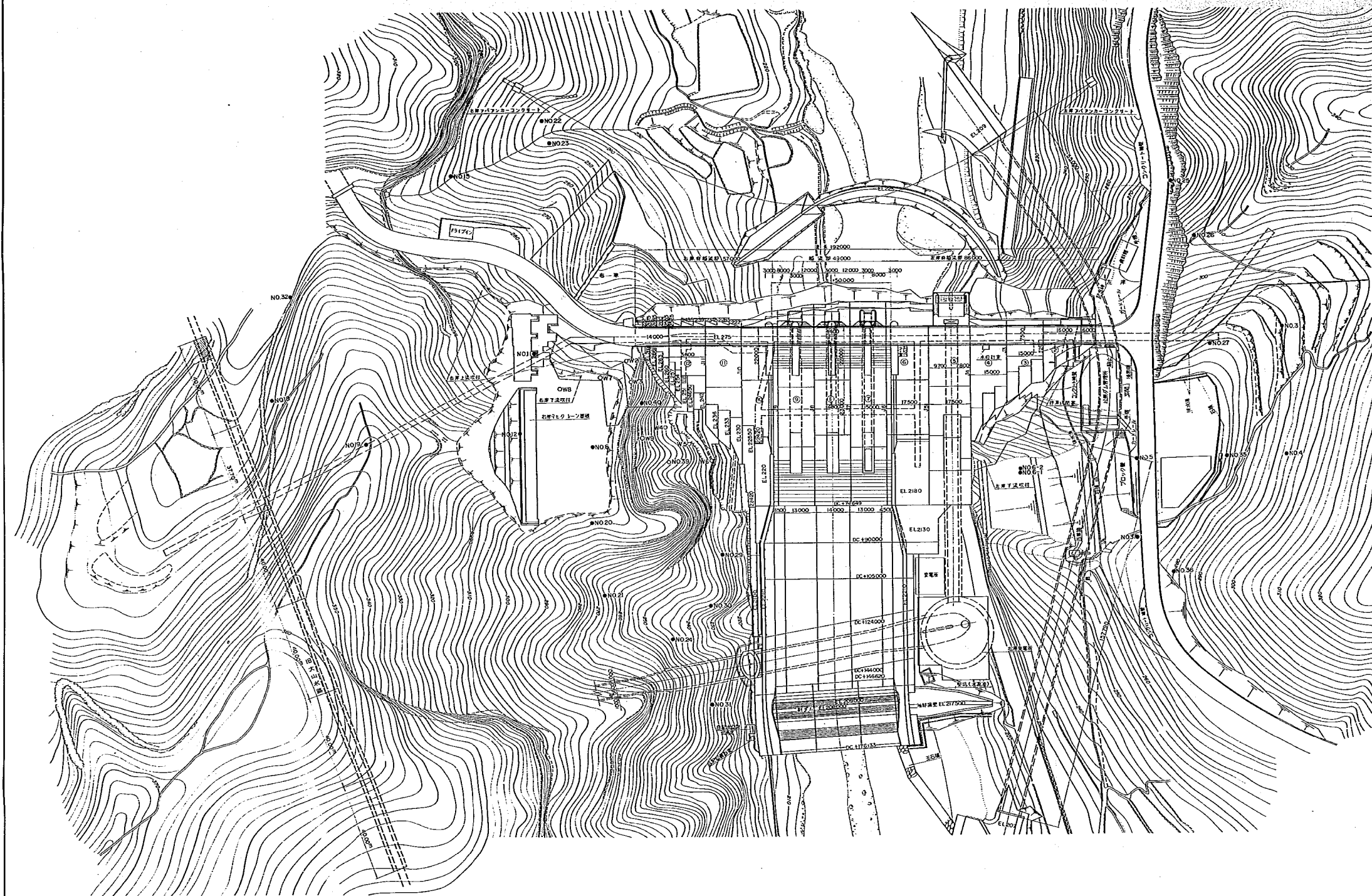
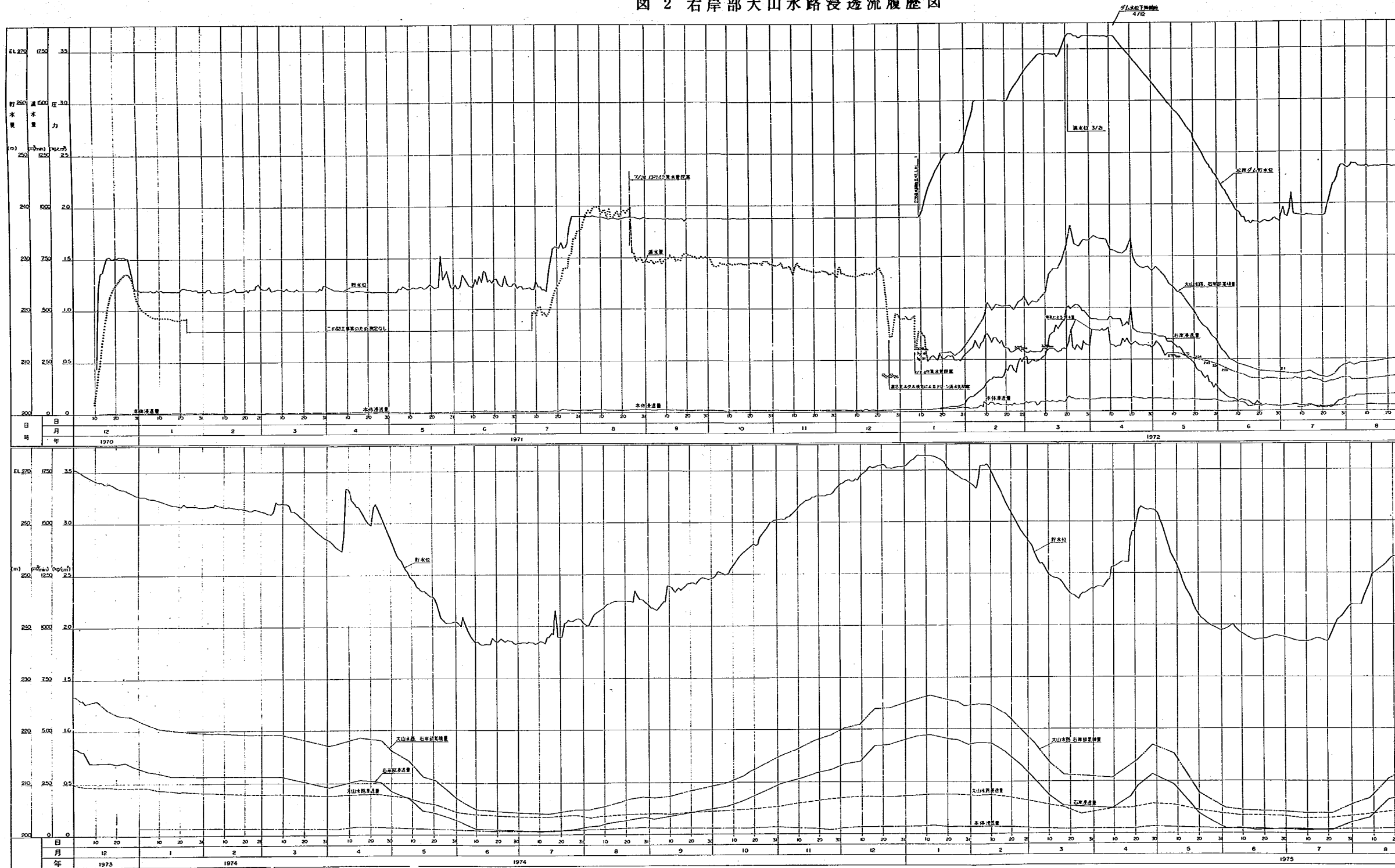


図 2 右岸部大山水路浸透流履歴図



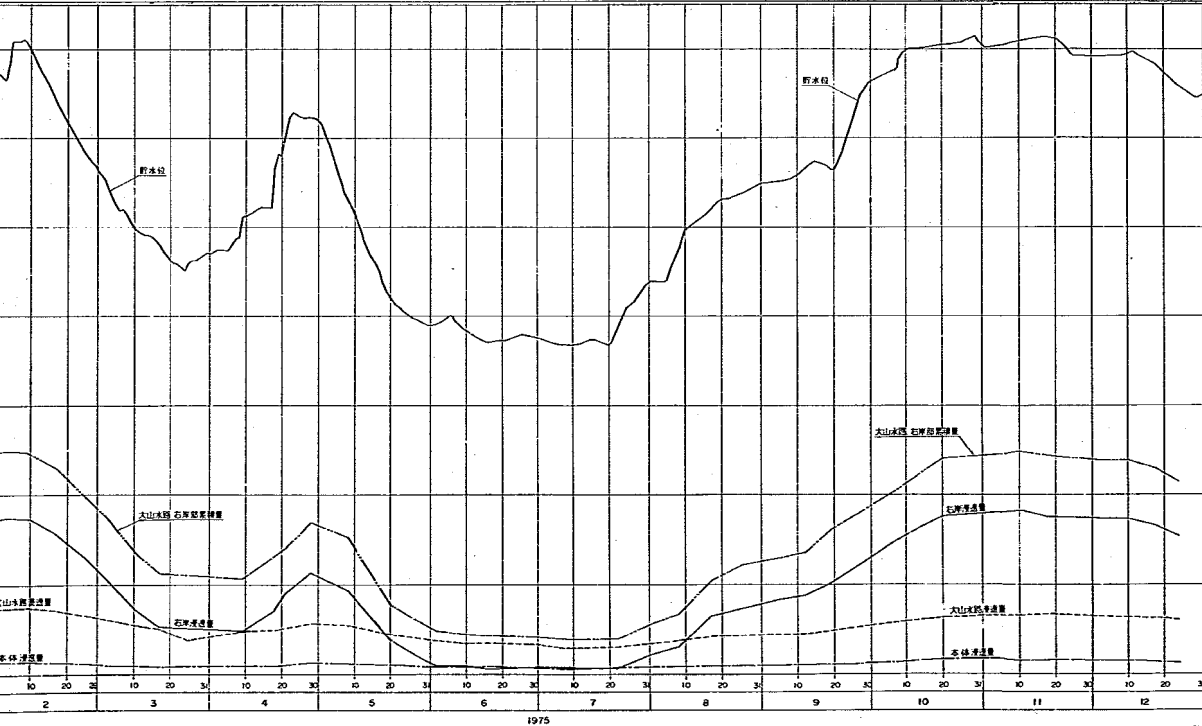
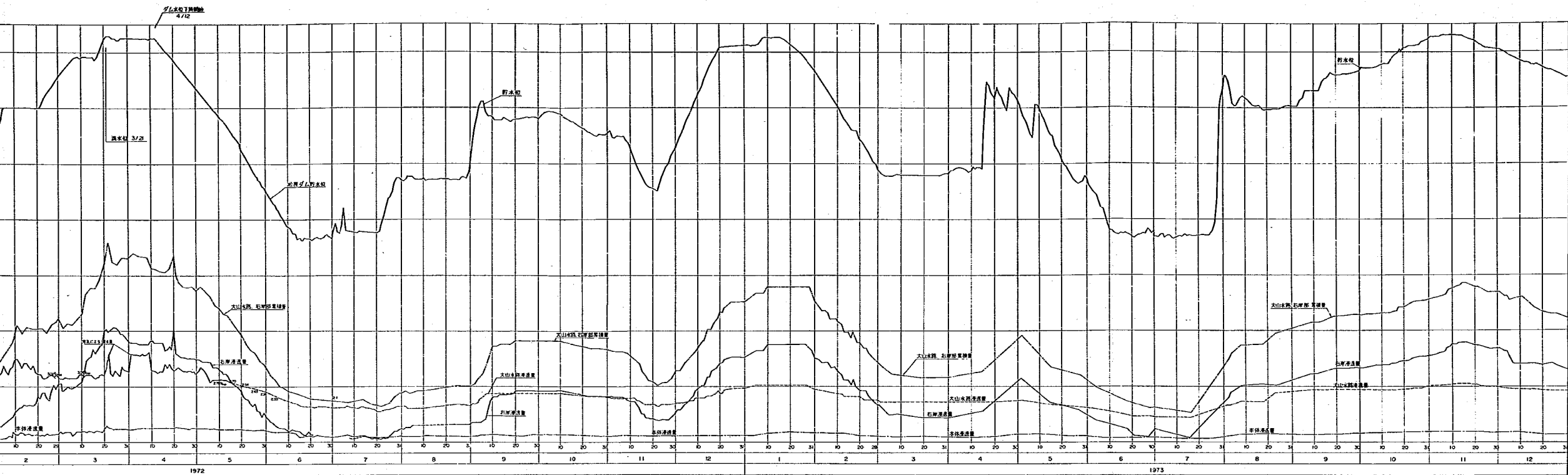


圖 3-1 大山水路浸透流 $H \sim Q$ 曲線

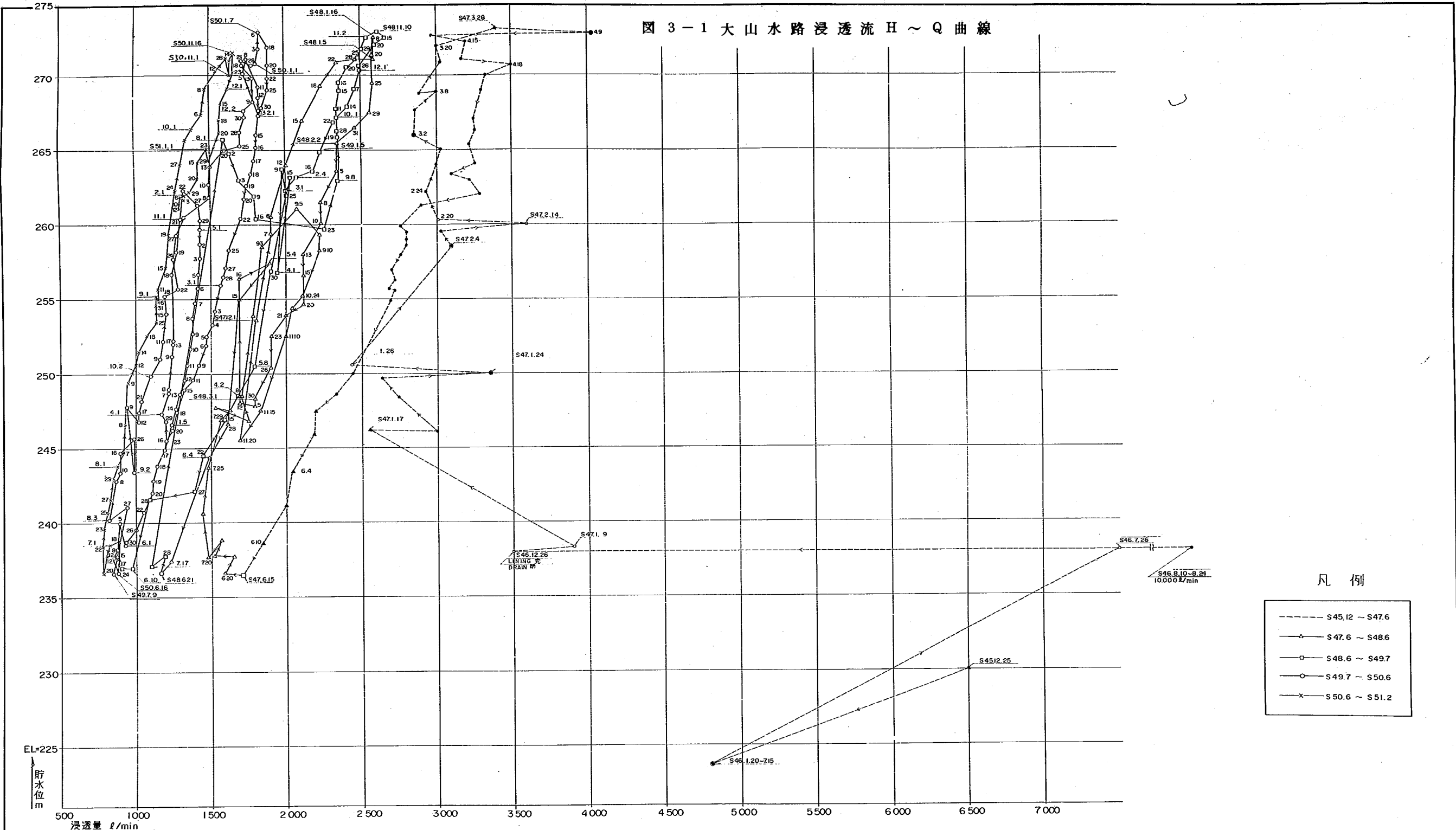


圖 3-2 右岸浸透流 $H \sim Q$ 曲線

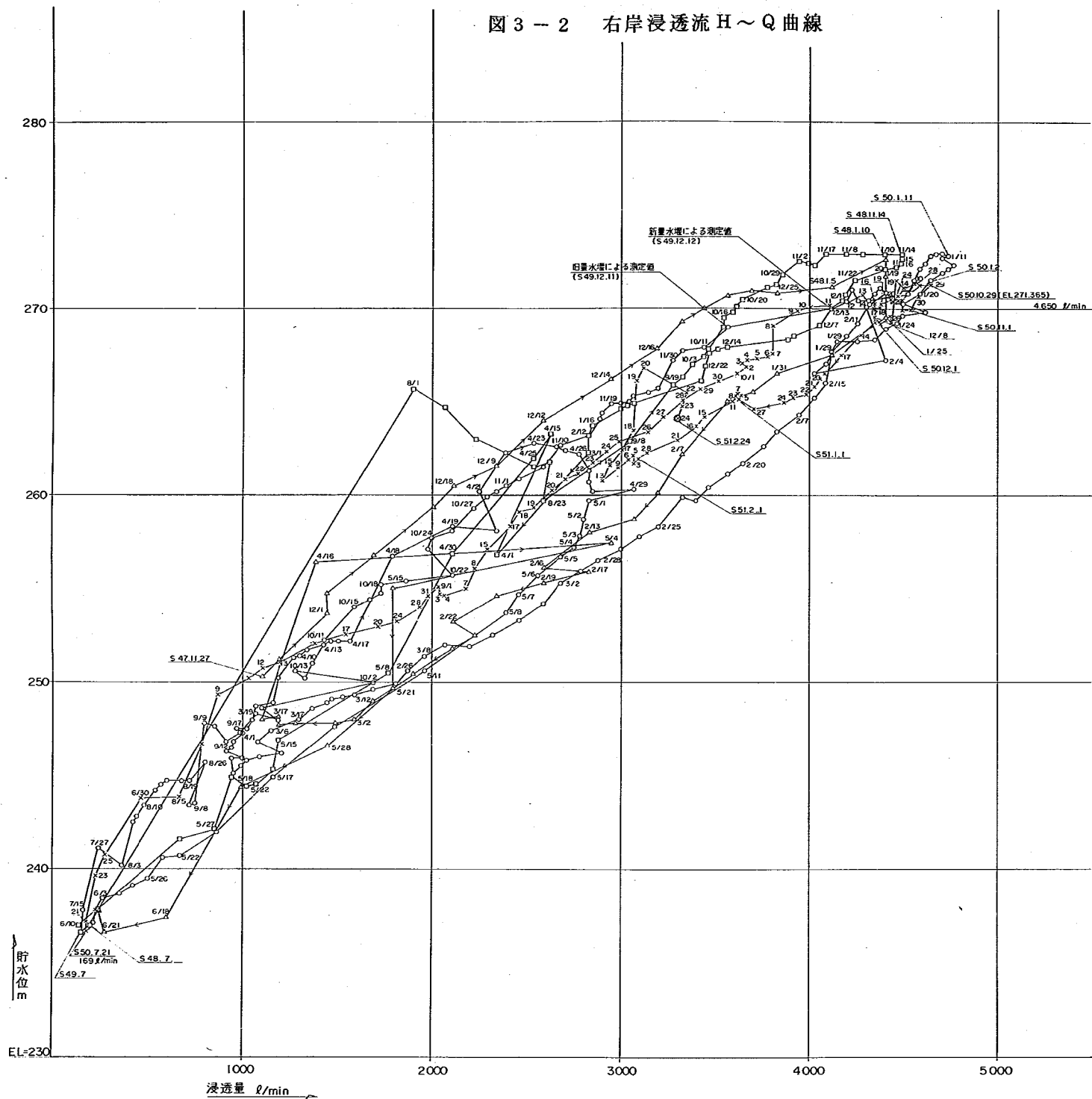


図 4 本工事 施工時のルジオン値

EL.280

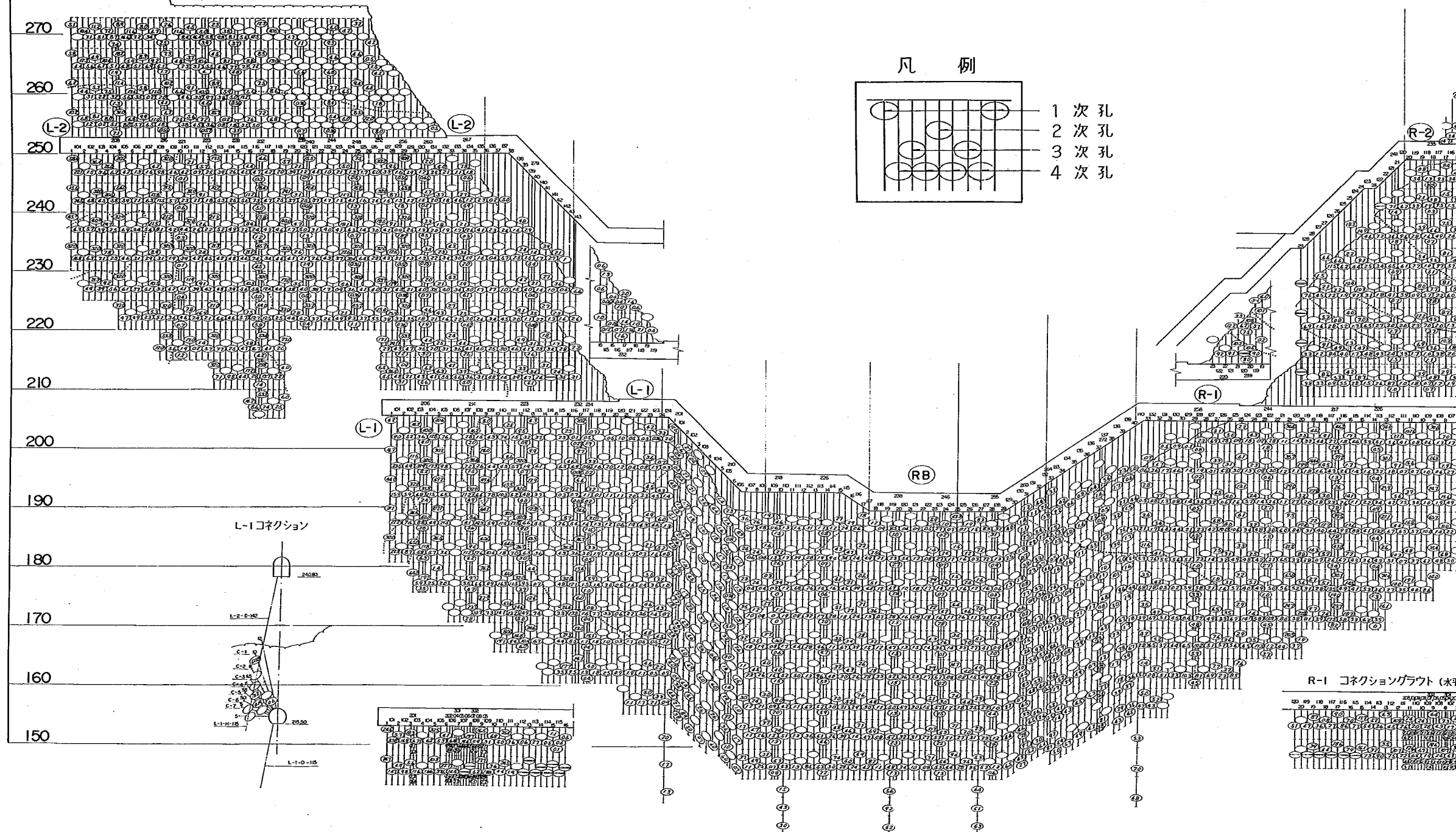
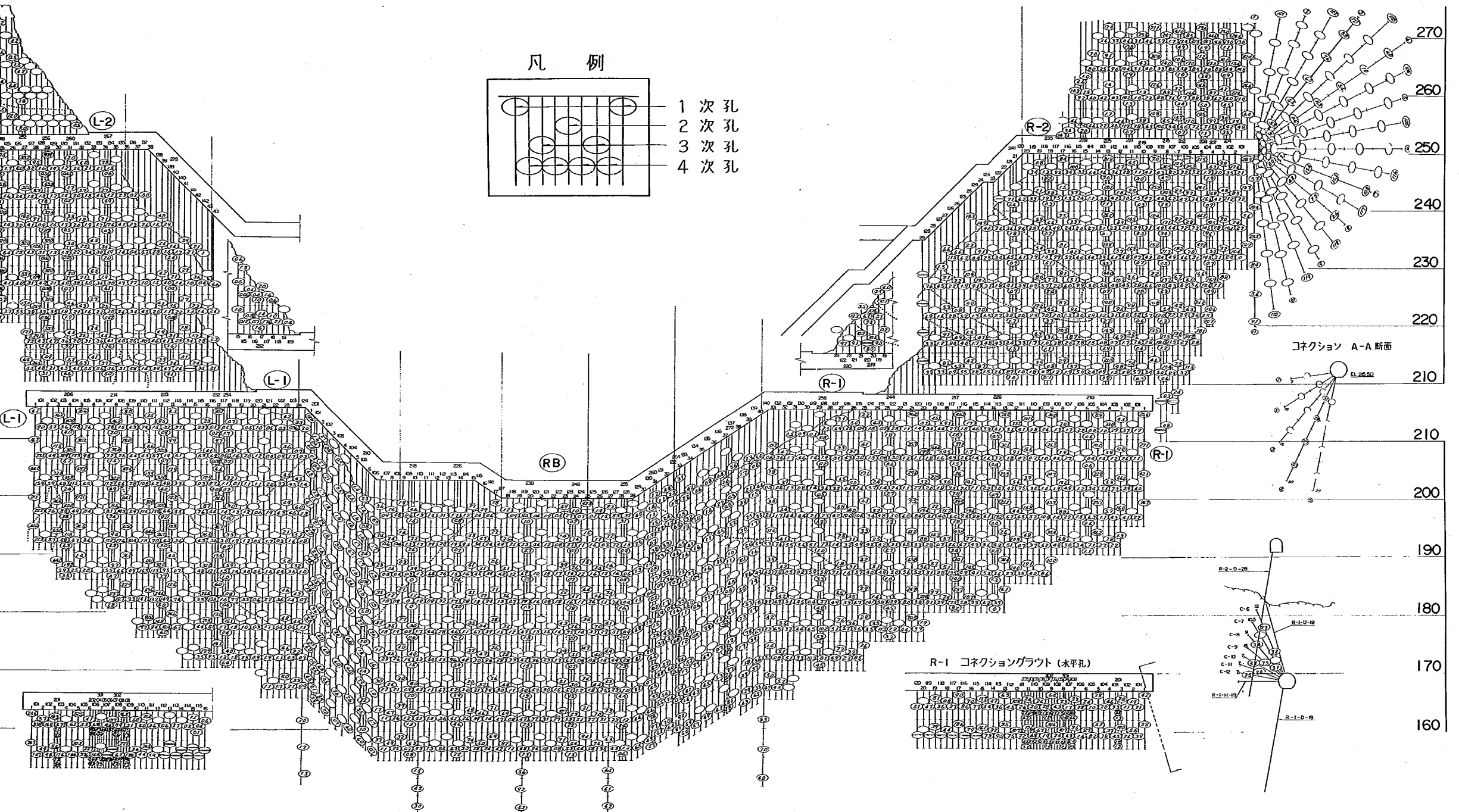


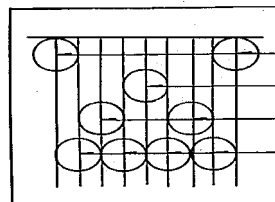
図 4 本工事 施工時のルジオン値



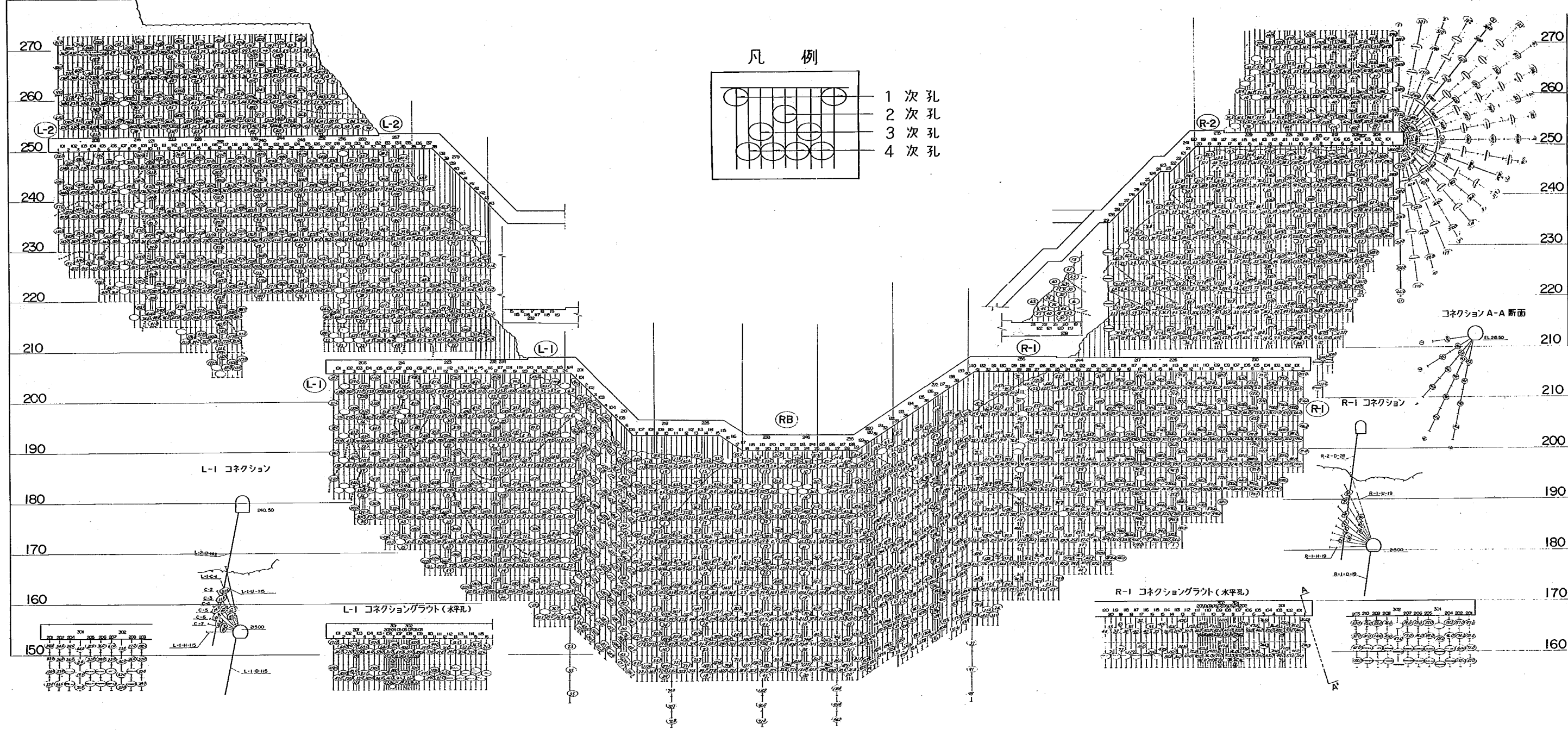
EL.280

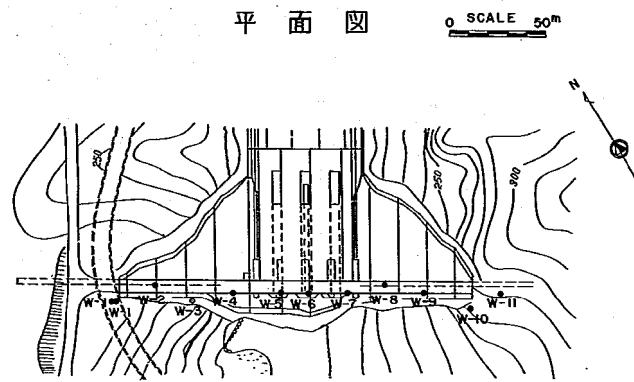
図 5 本工事 施工時の注入量 (kg/m)

凡 例

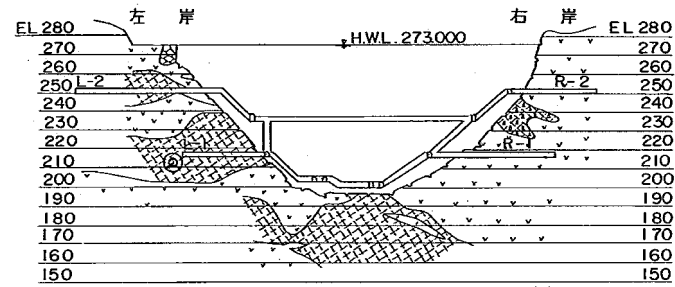


- 1 次孔
- 2 次孔
- 3 次孔
- 4 次孔



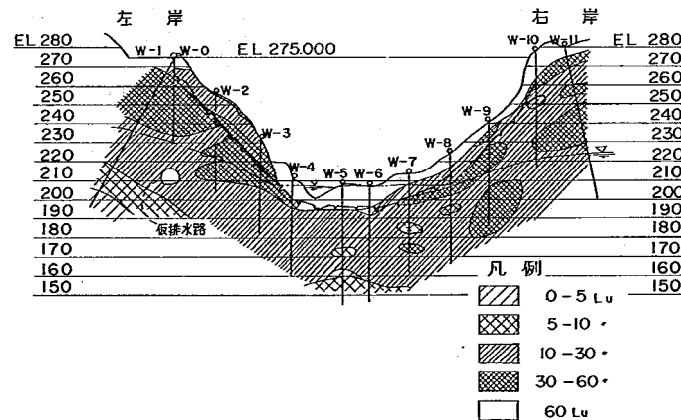


地質断面図 (カーテントソネル沿)

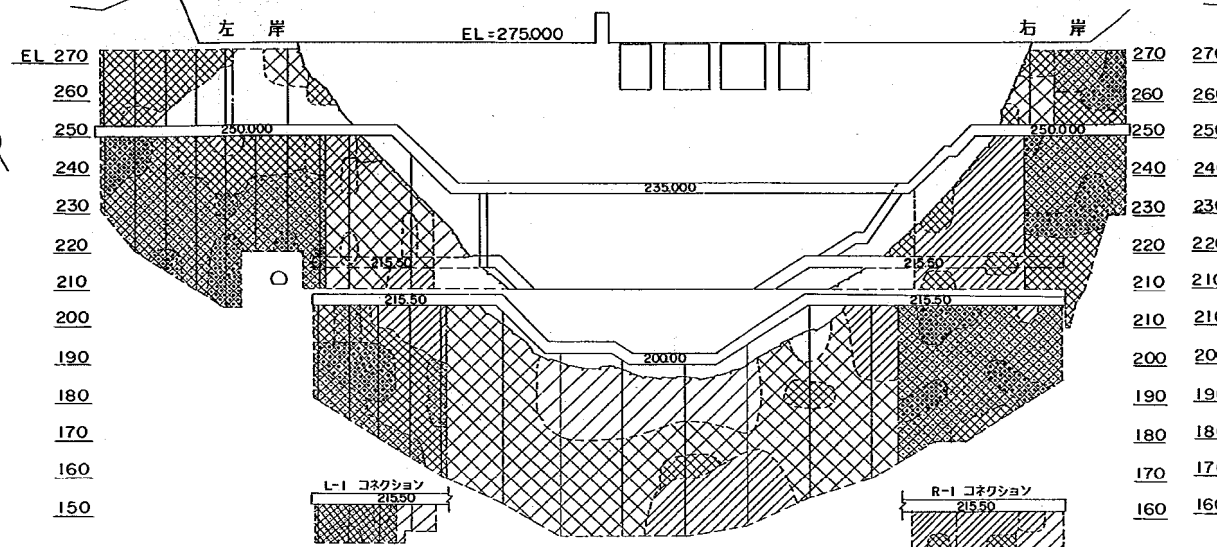


- 凡 例
- 安 山 岩
 - 凝 灰 角 礫 岩
 - 凝 灰 質 凝 灰 角 礫 岩
 - 崖 麓
 - 割 目
 - 破 砕 帯

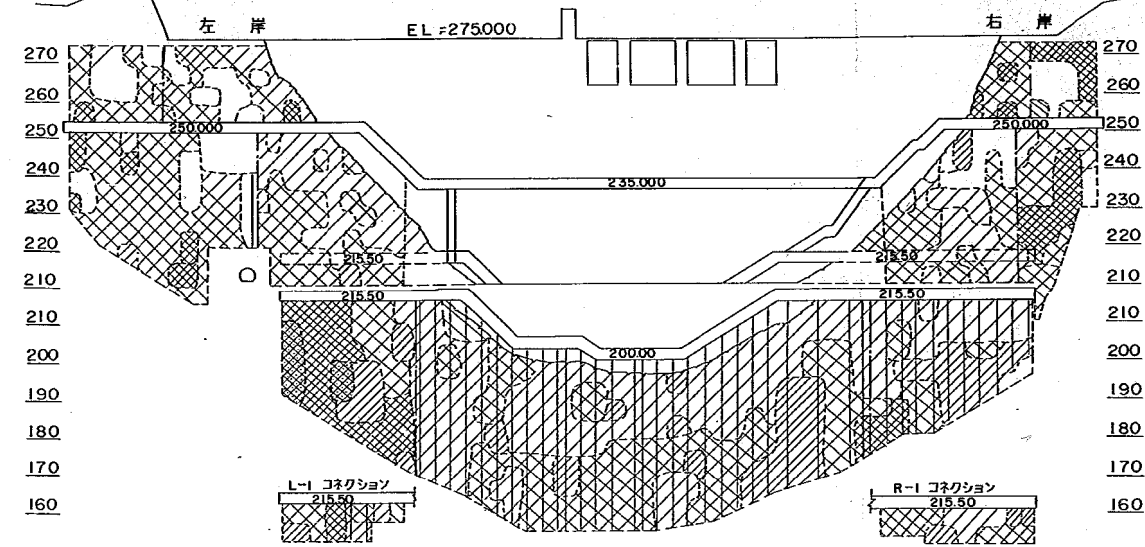
ルジオンマップ (施工前)



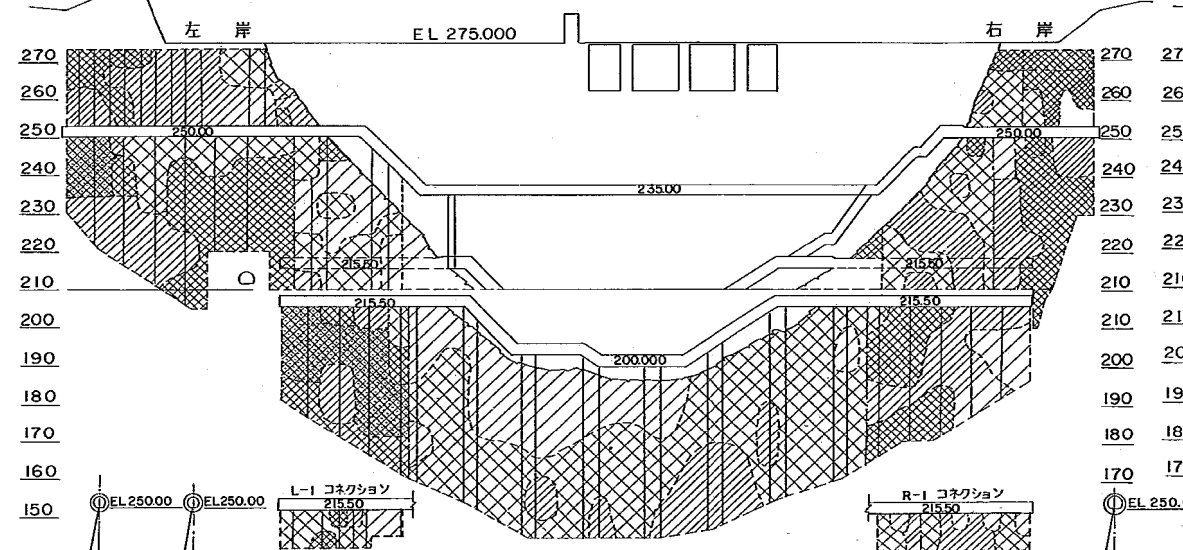
1次孔によるルジオンマップ



4次孔によるルジオンマップ



3次孔によるルジオンマップ



チェックホールによるルジオンマップ

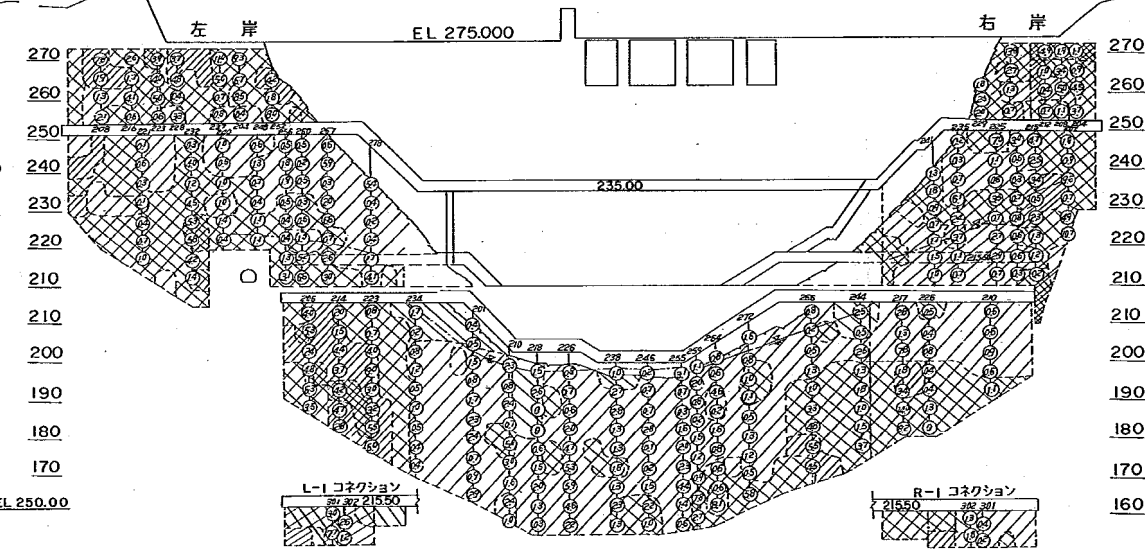
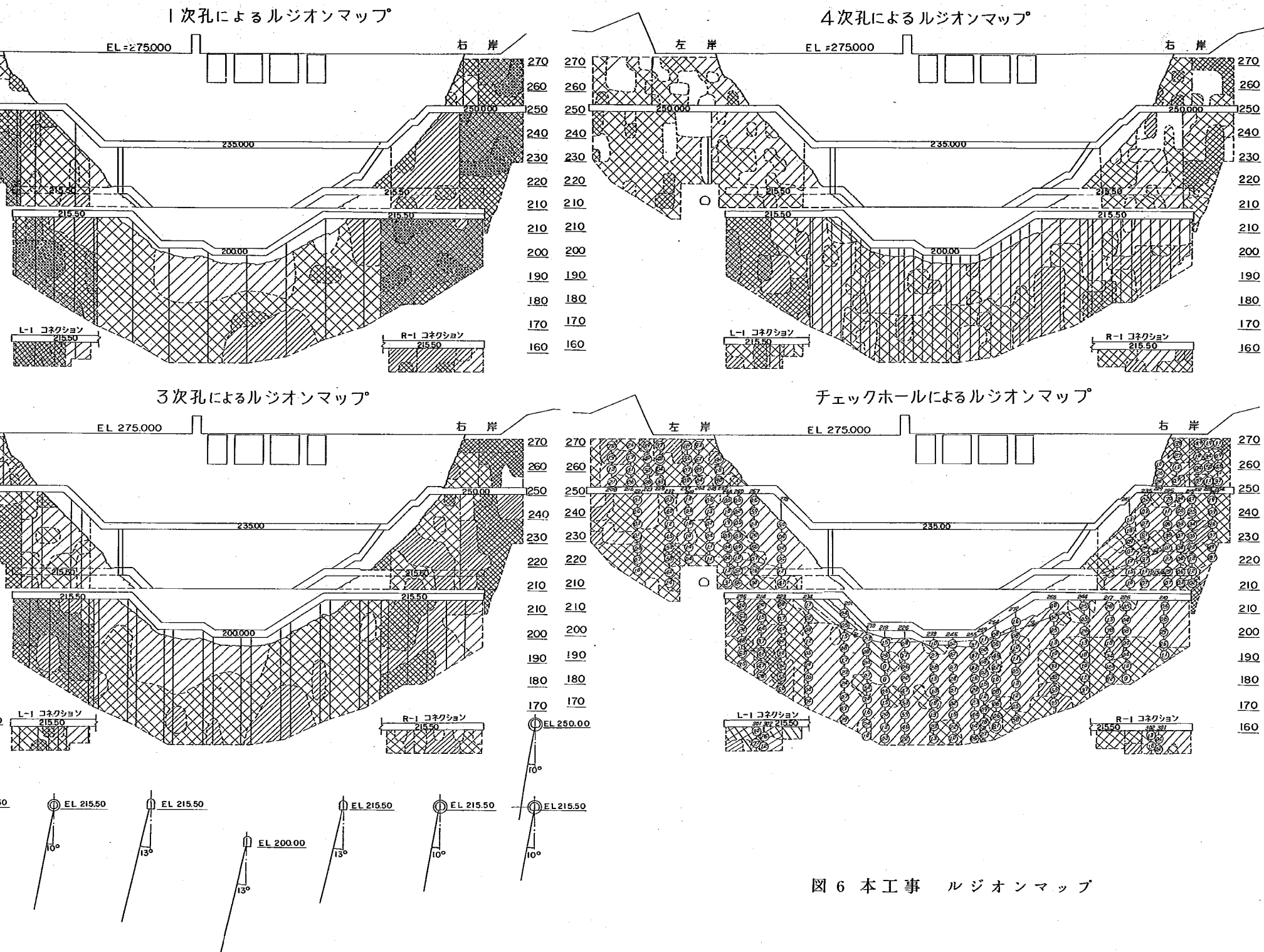


図 6 本工事 ルジオンマップ

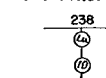


凡 例

(1) ルジオン区分

- 1 未満
- 1 以上～3 未満
- 3 以上～6 未満
- 6 以上～10 未満
- 10 以上～20 未満
- 20 以上～40 未満
- 40 以上

(2) 4次孔チェックホールの L_v 値



(3) 図中1点破線は、地山部とダム近傍部の境界を示す。

0 SCALE 50m

図 6 本工事 ルジオンマップ

図7 追加工事の調査成果

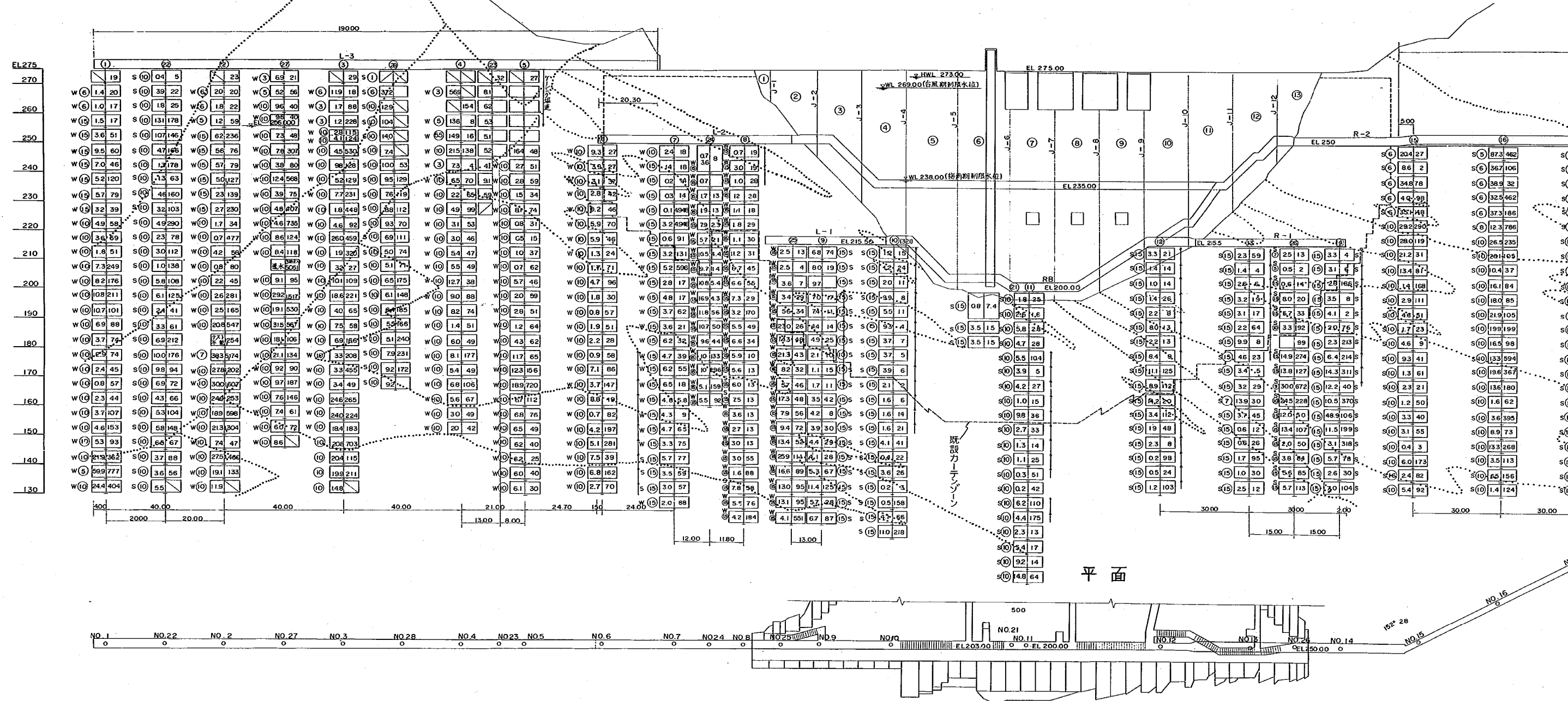


図7 追加工事の調査成果

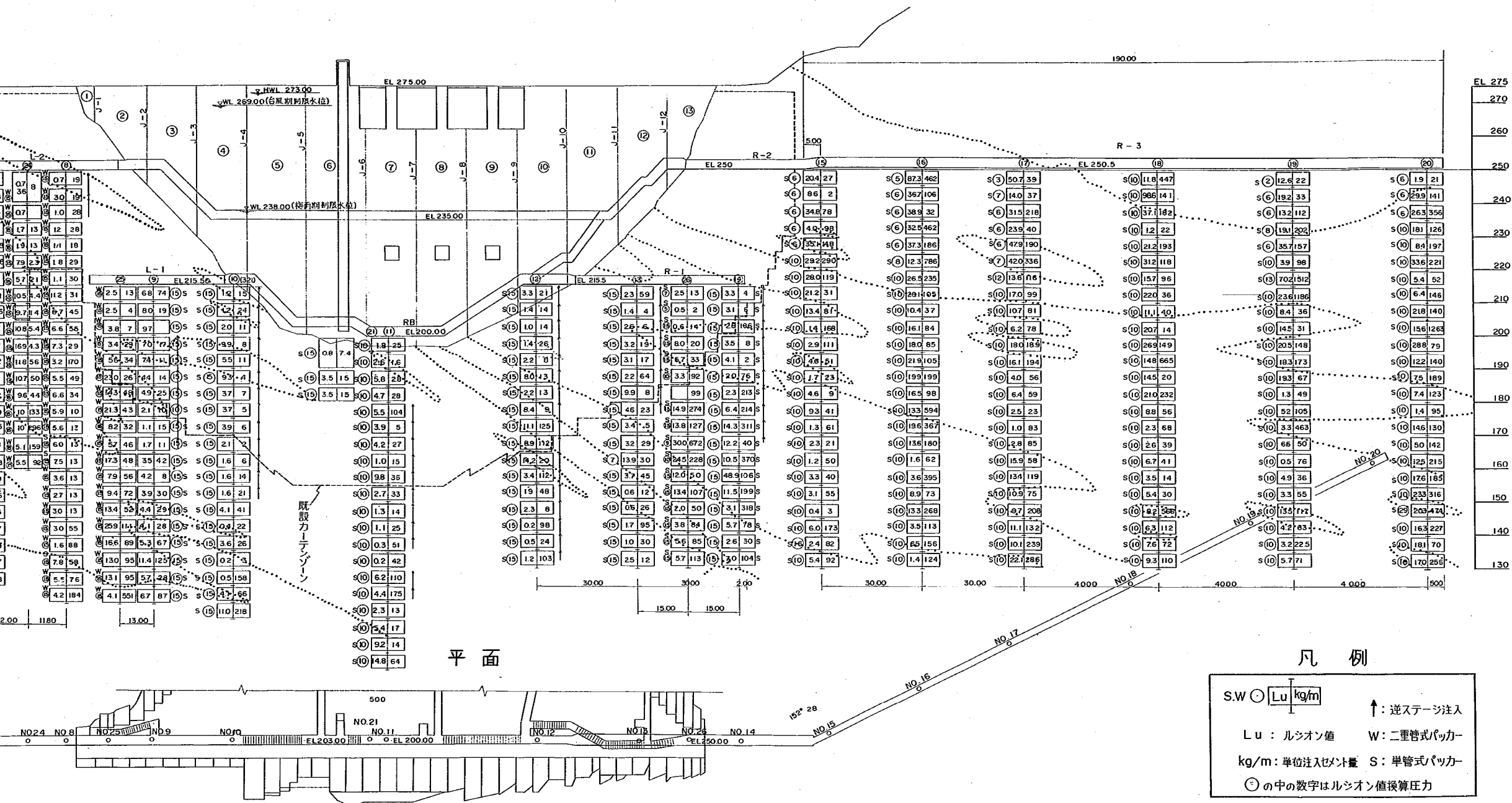
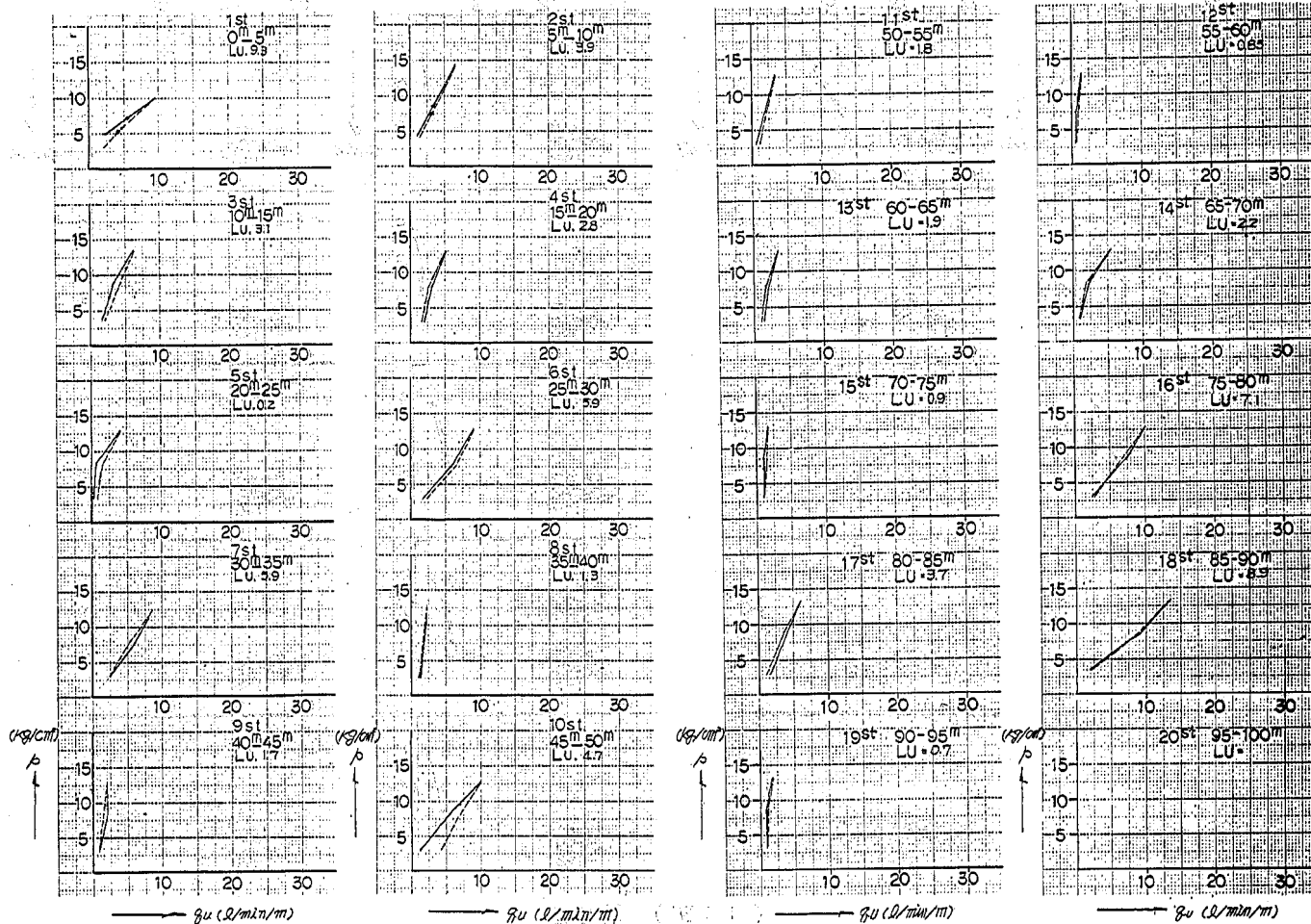
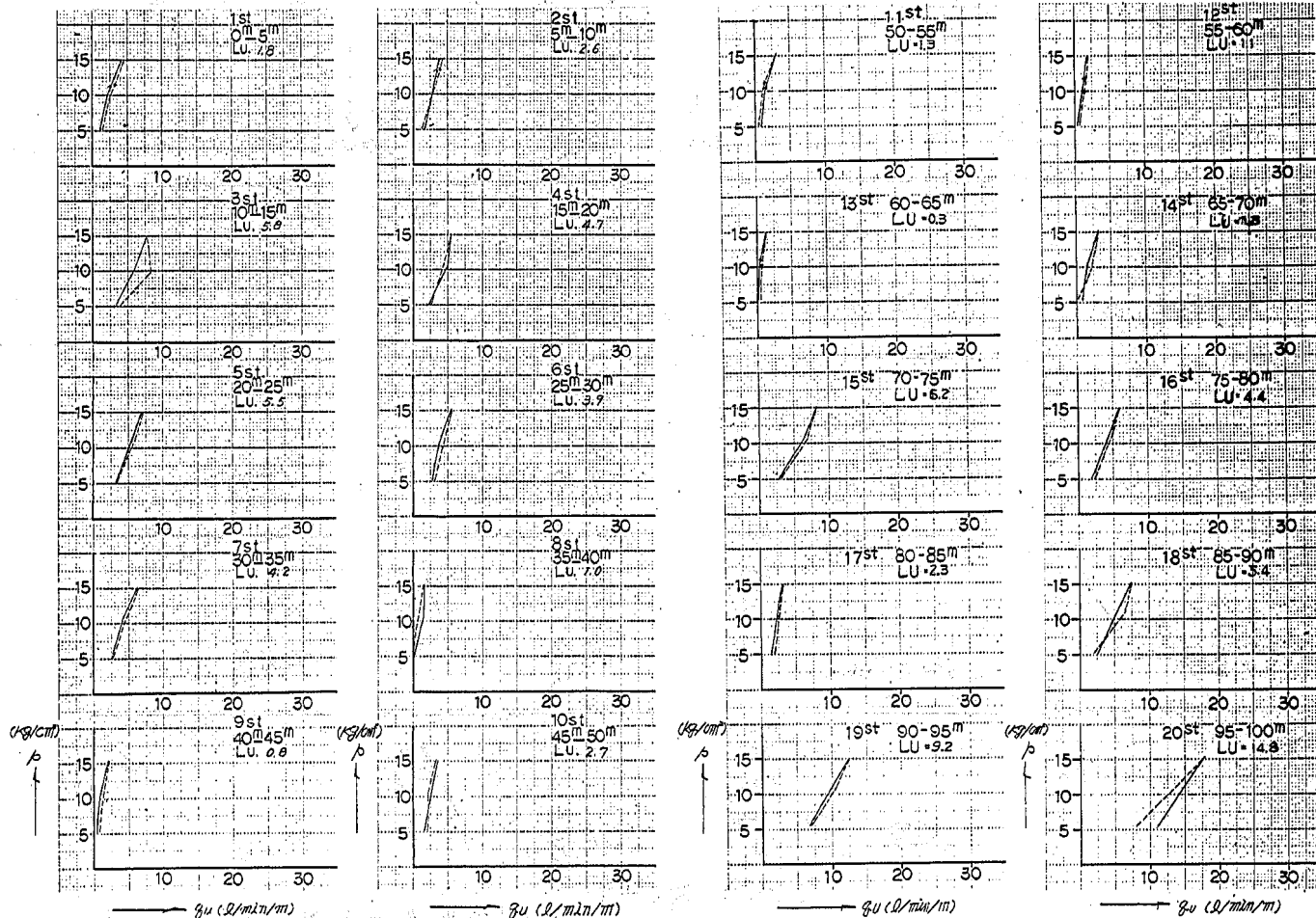


圖 8 透水試驗 $p - q$ 曲線圖

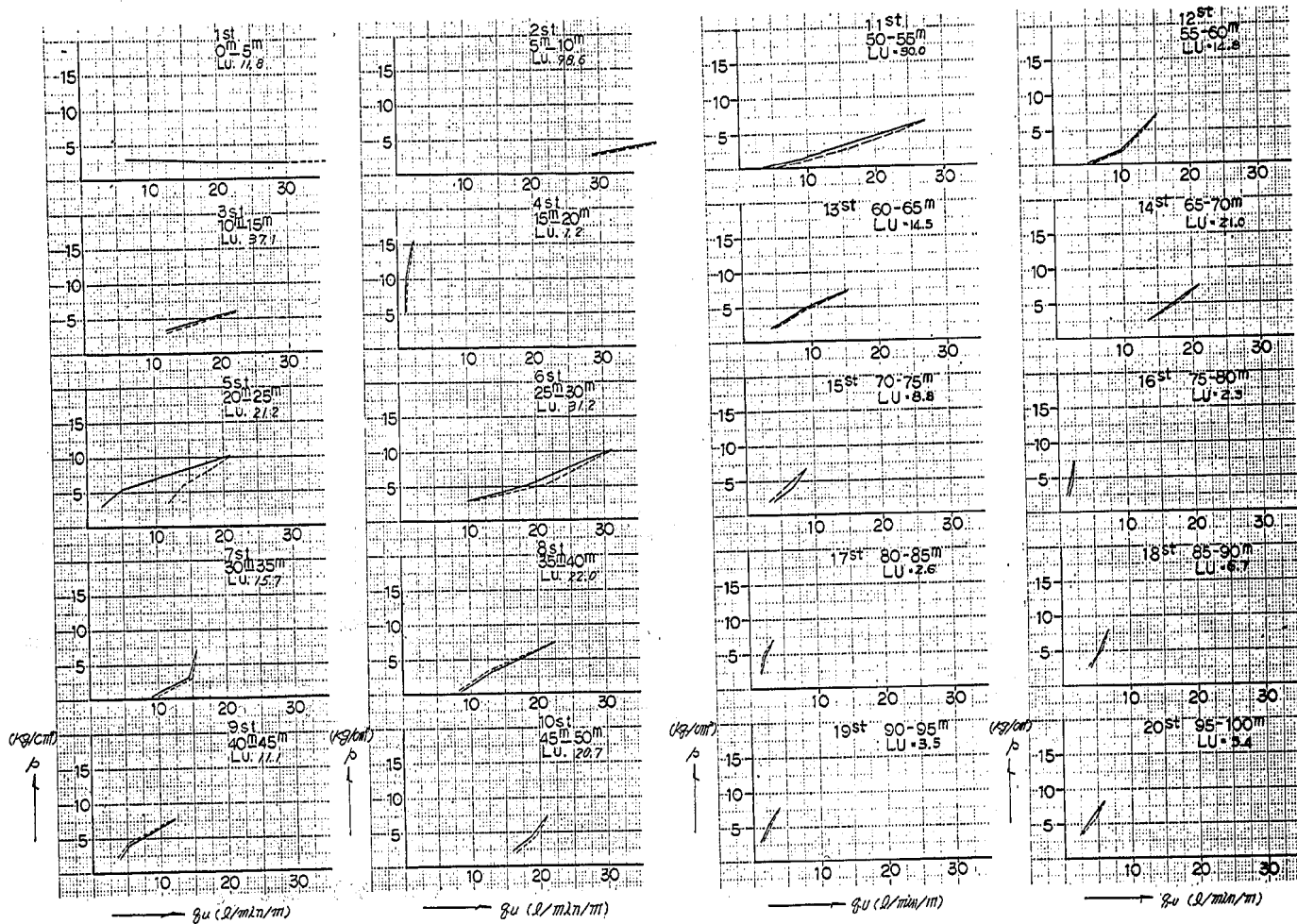
L-2 坑 (No. 6)



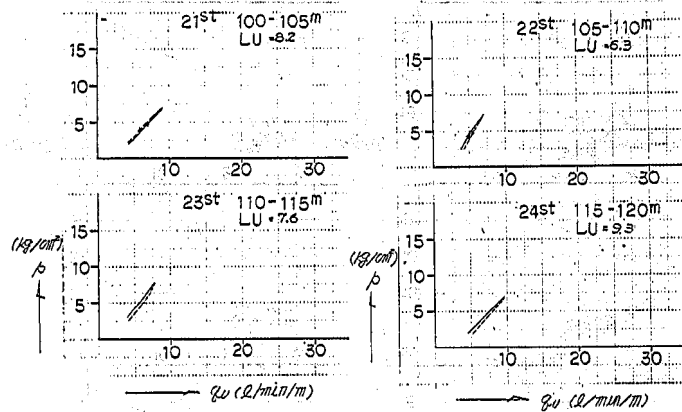
RB坑 (№11)



R-3坑 (№18)



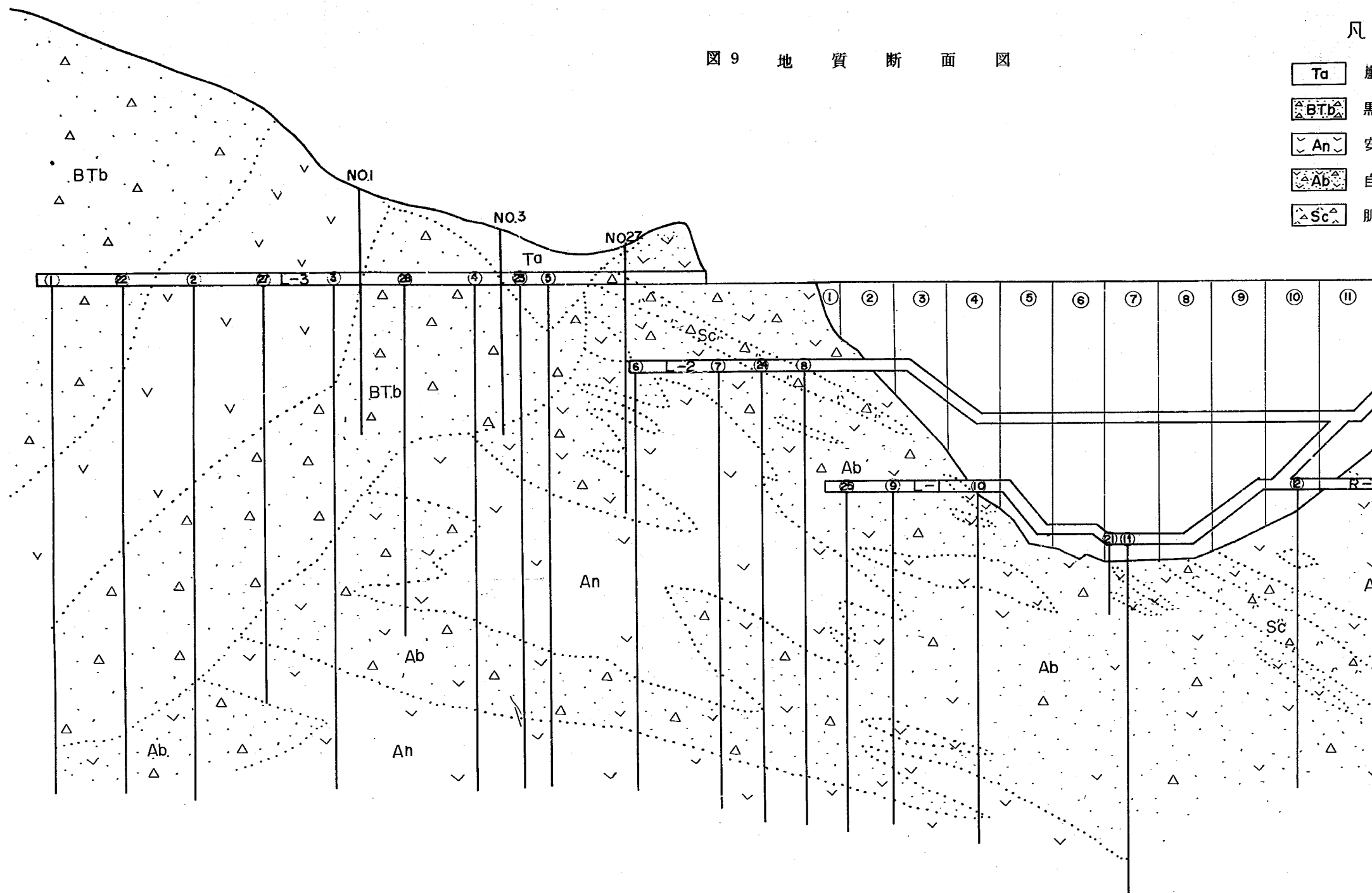
R-3坑 (No. 18)



EL 350
340
330
320
310
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90

图 9 地 质 断 面 图

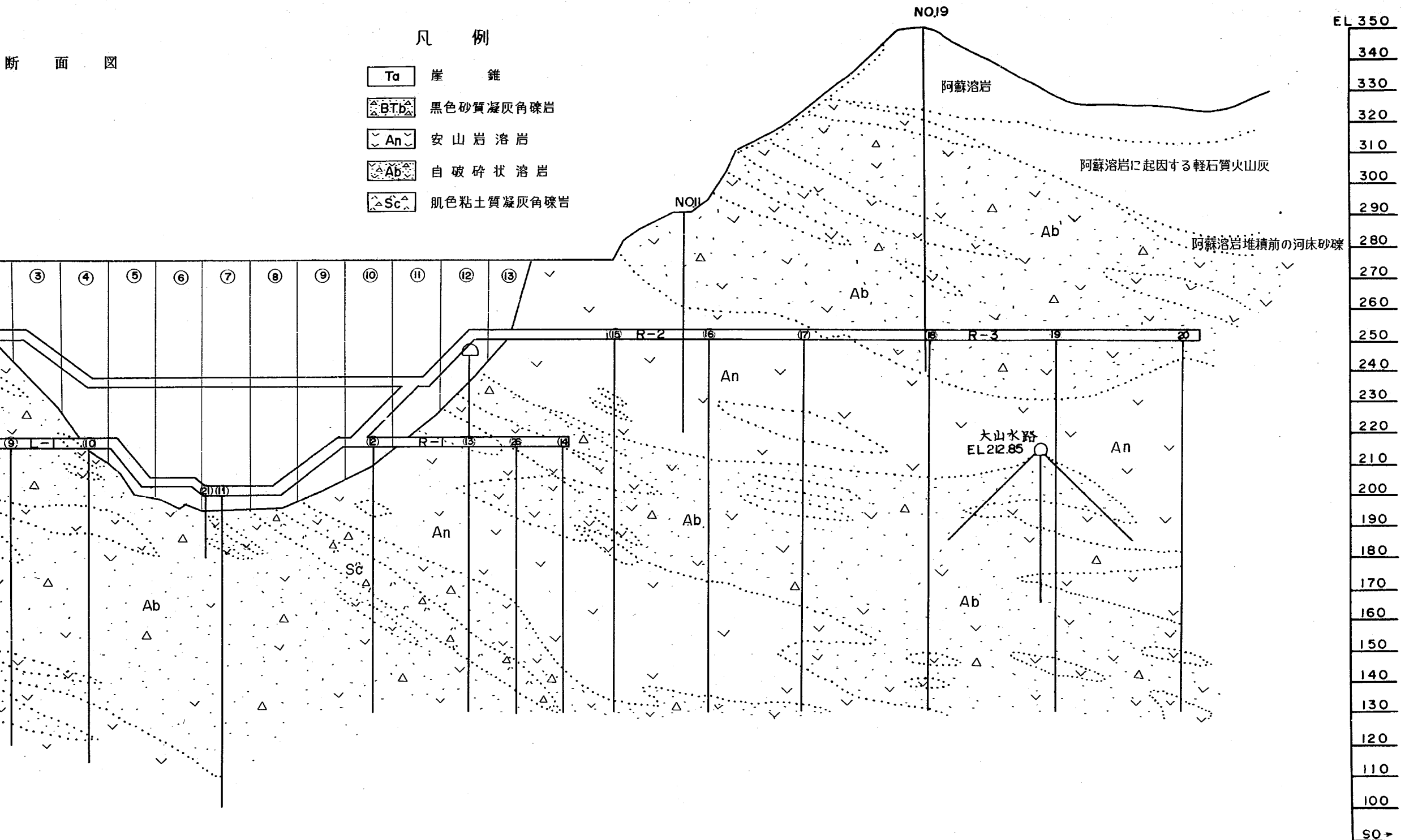
凡
Ta
BTb
An
Ab
Sc



断面図

凡 例

- Ta 崖 錐
- BTb 黑色砂質凝灰角礫岩
- An 安山岩 溶岩
- Ab 自 破 砕 状 溶 岩
- Sc 肌色粘土質凝灰角礫岩



大山水路ピエゾメータ設備詳細図

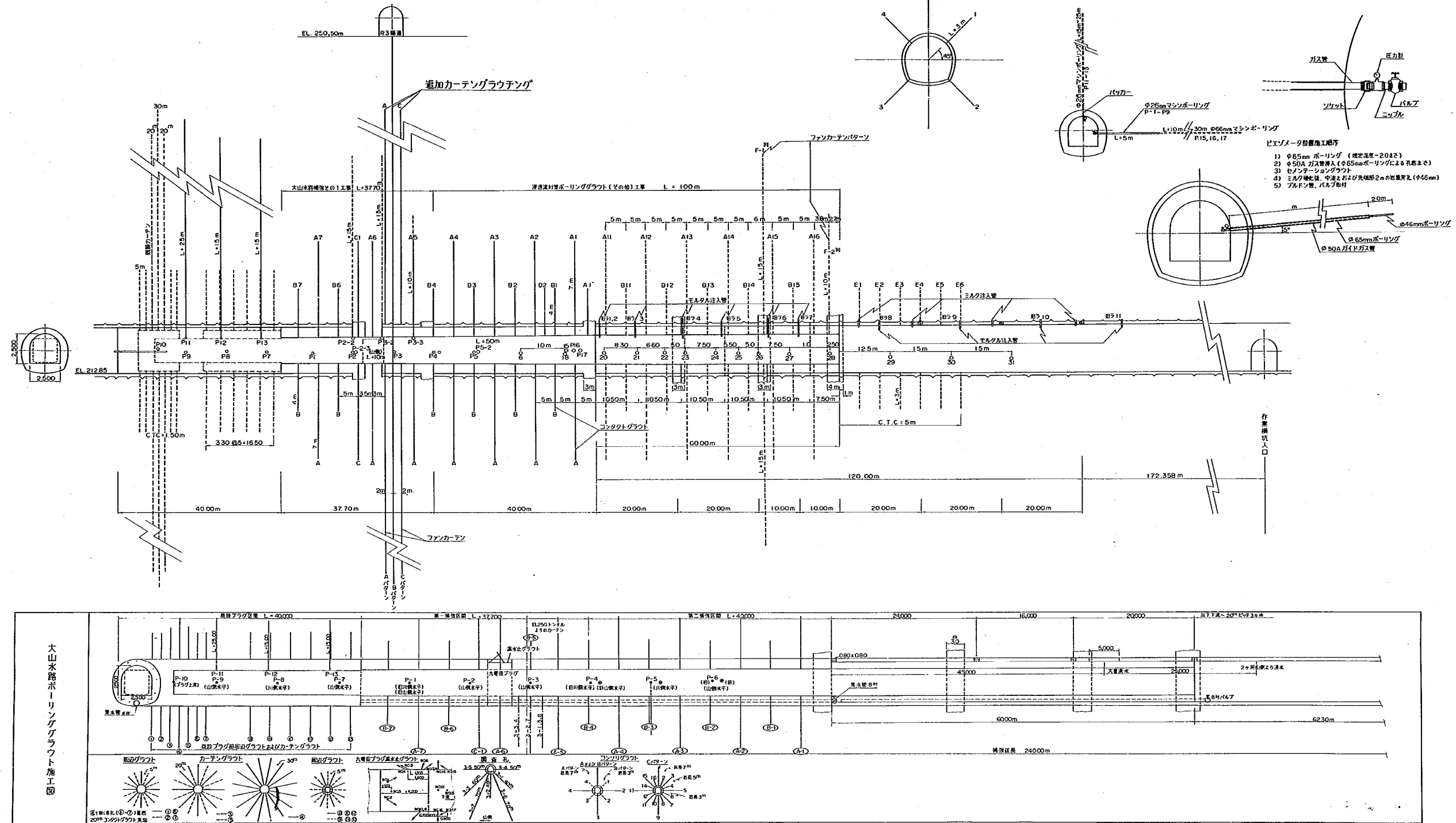
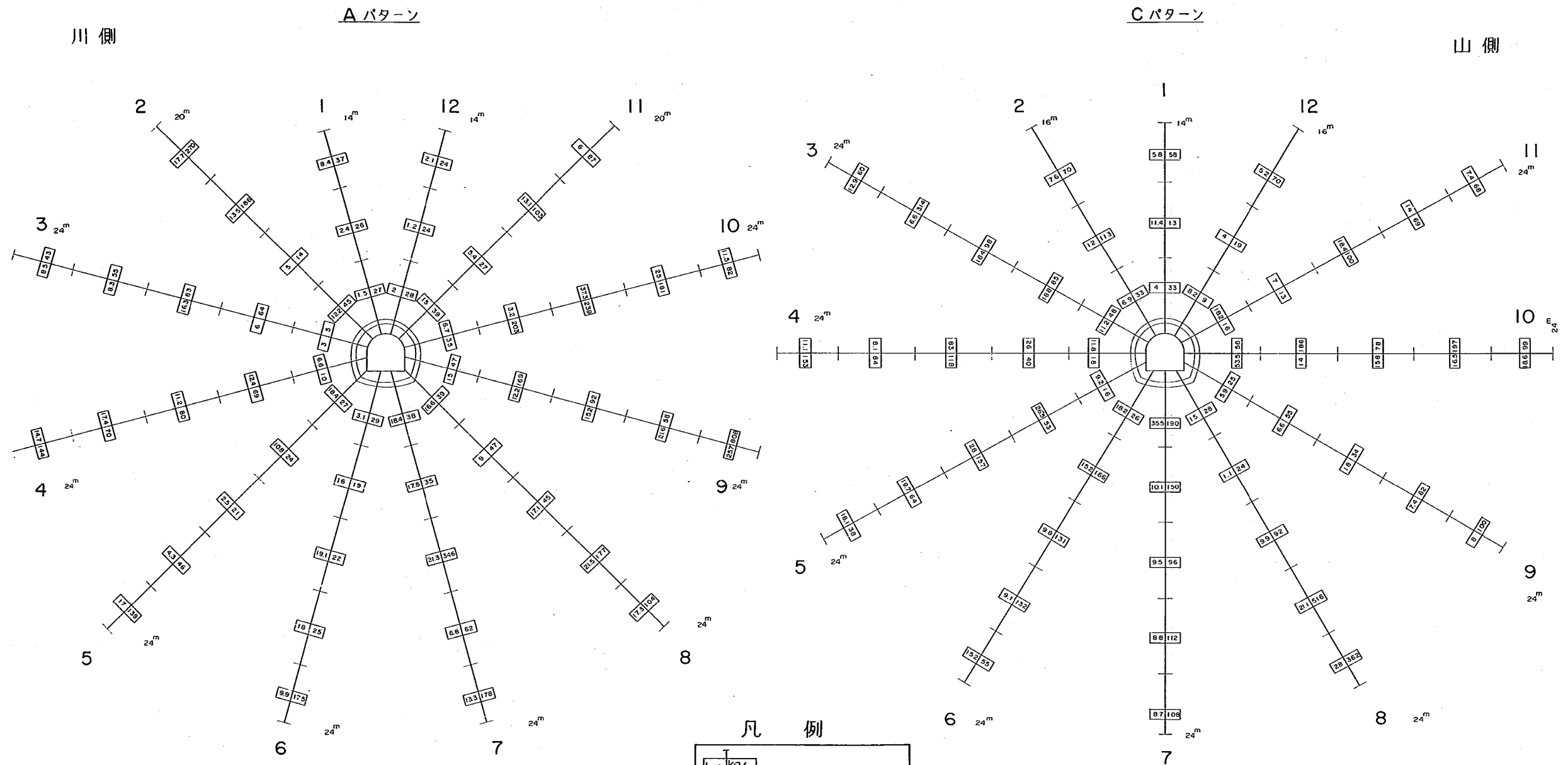


図 11-2 追加カーテングラウチング（大山水路）成果



注) Bパターン(Ｂ孔)はR-3グラウチングトンネルより施工

図 12 追加グラウト孔配置図

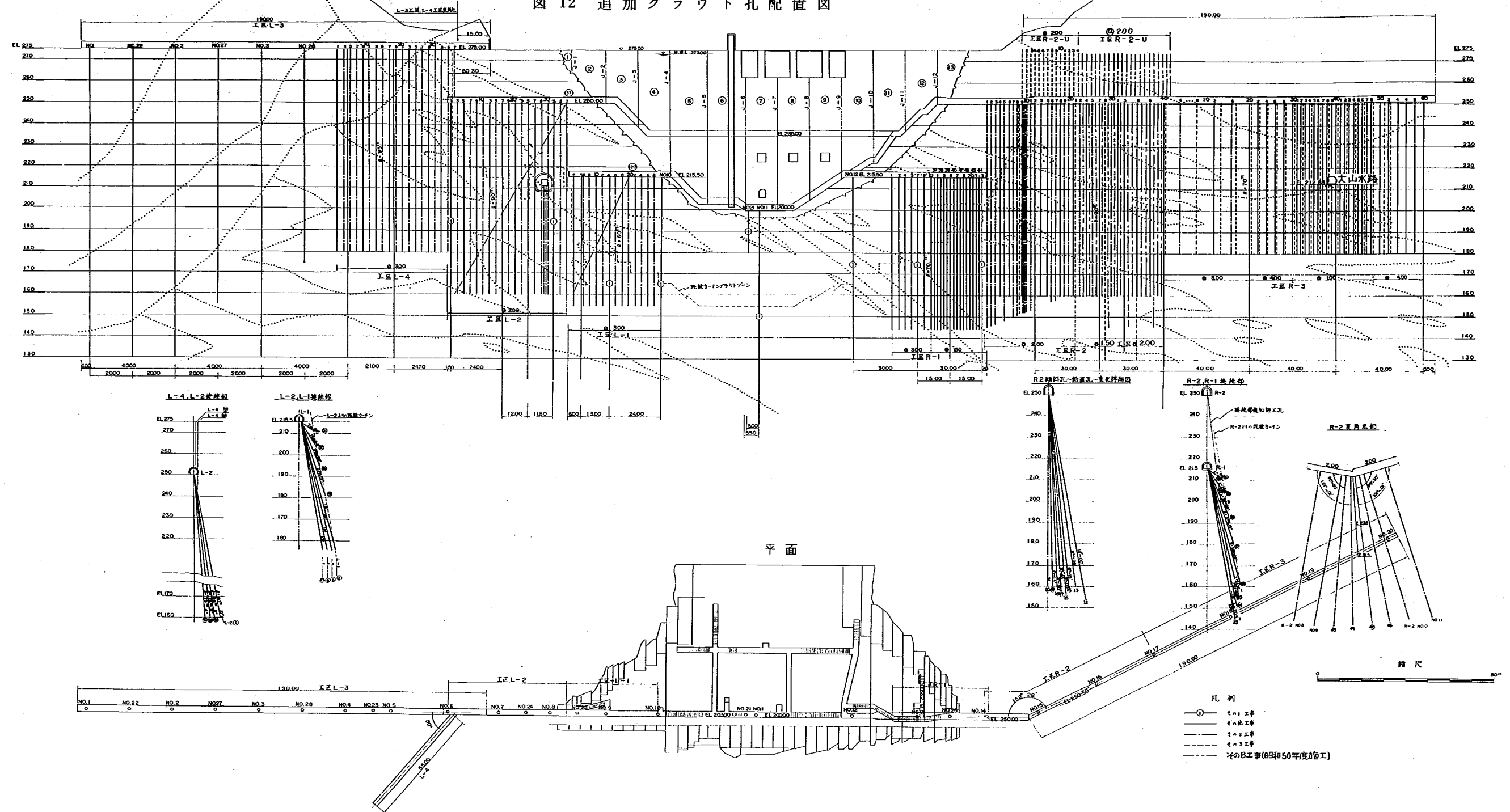


図13 追加グラウチング成果

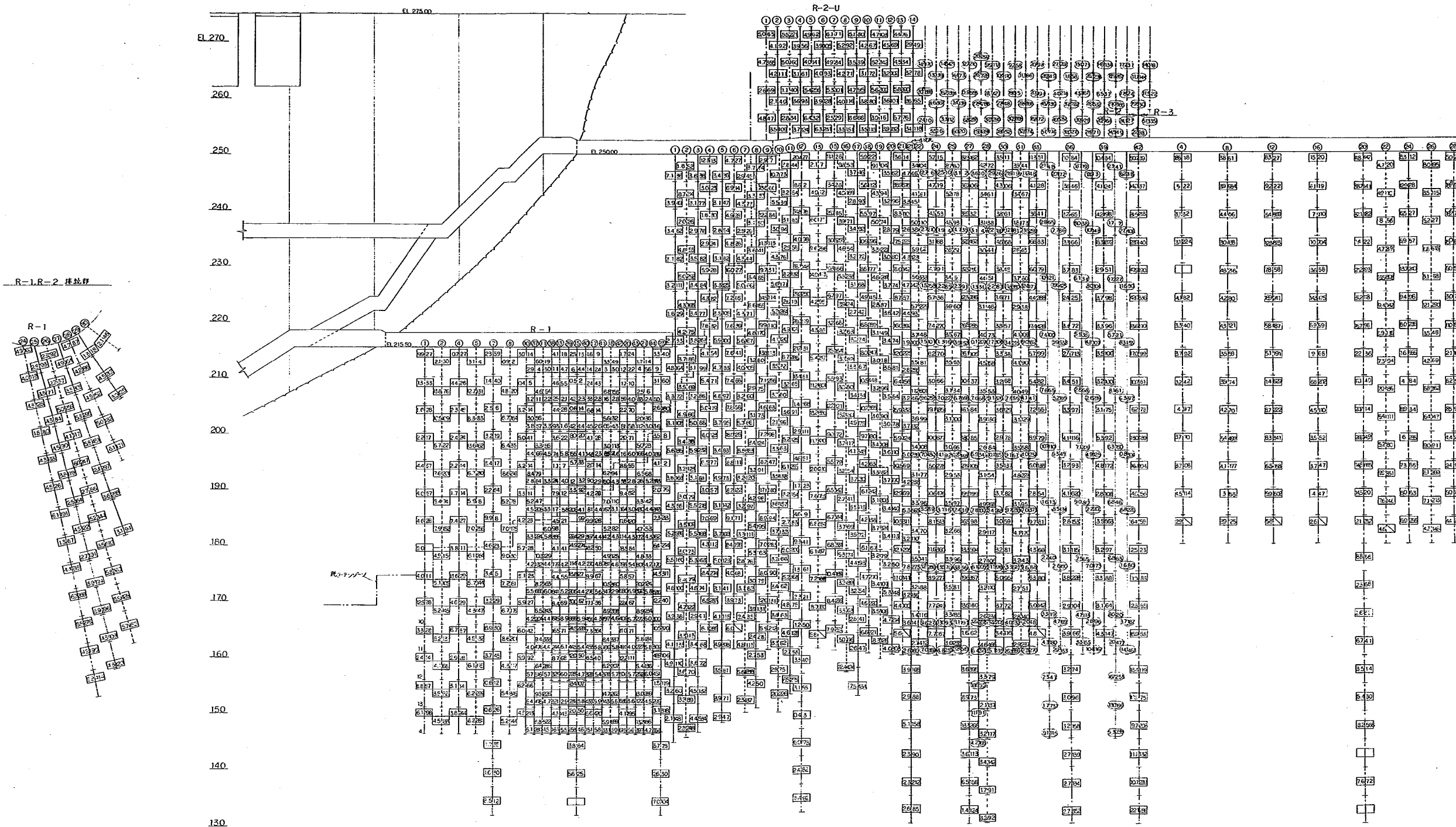
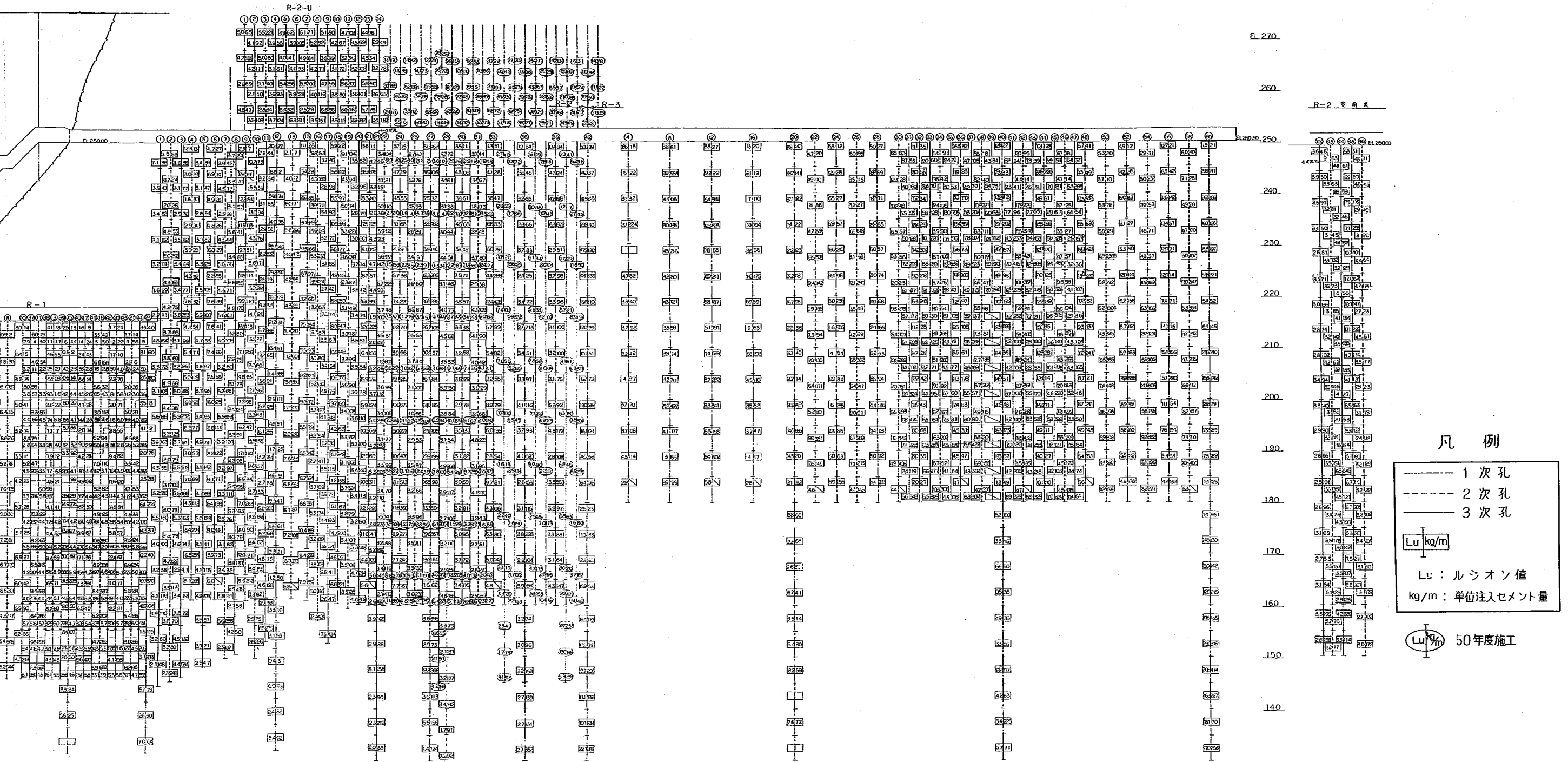


図 13 追加グラウチング成果



凡 例

- 1 次 孔
- 2 次 孔
- 3 次 孔

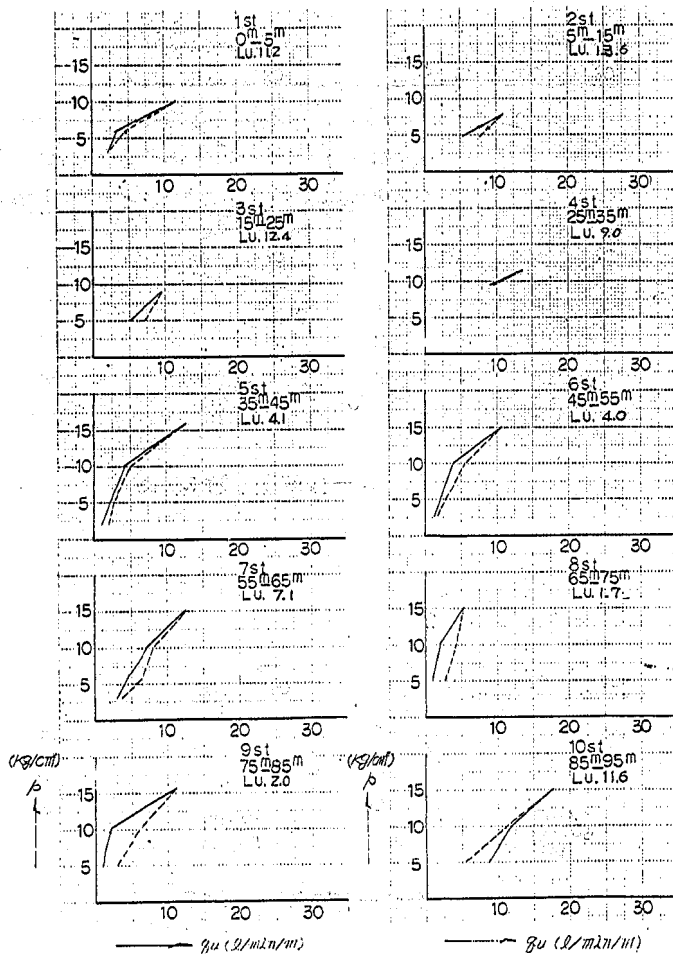
Lu kg/m

Lu: ルジオン値
kg/m: 単位注入セメント量

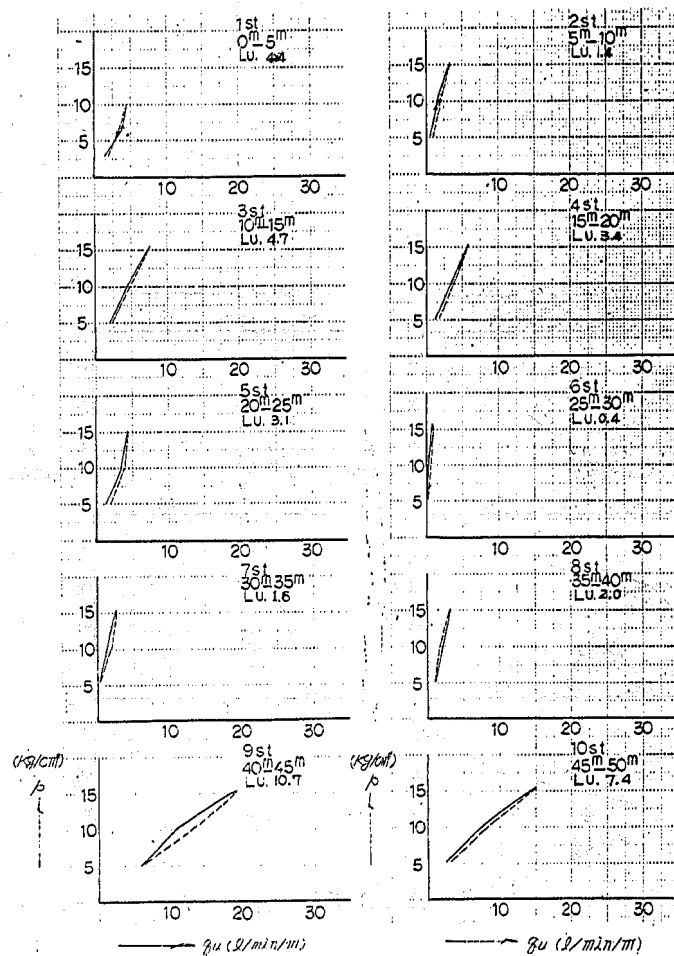
Lu kg/m 50年度施工

圖 14 透水試驗 $p-q$ 曲線圖

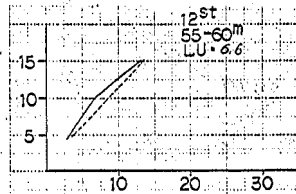
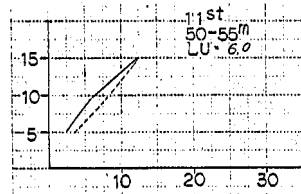
R-2 坑 (No 108)



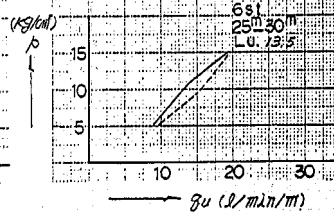
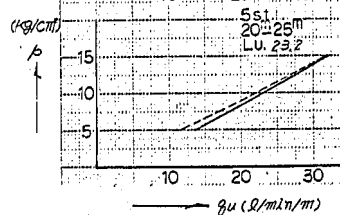
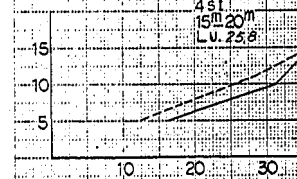
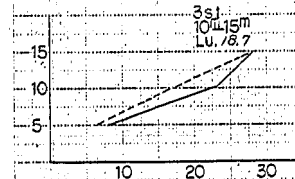
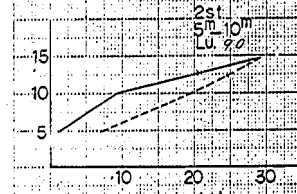
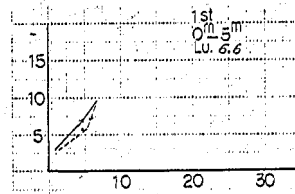
R-2 坑 (No CH-5)



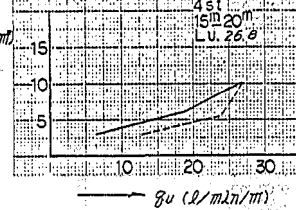
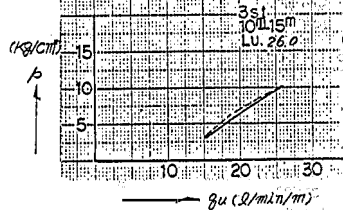
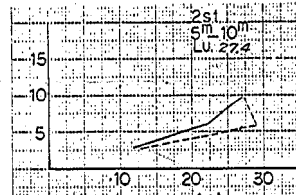
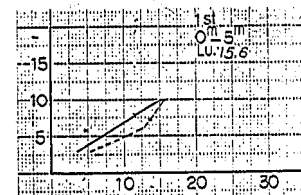
R-2 坑 (No. CH-5)

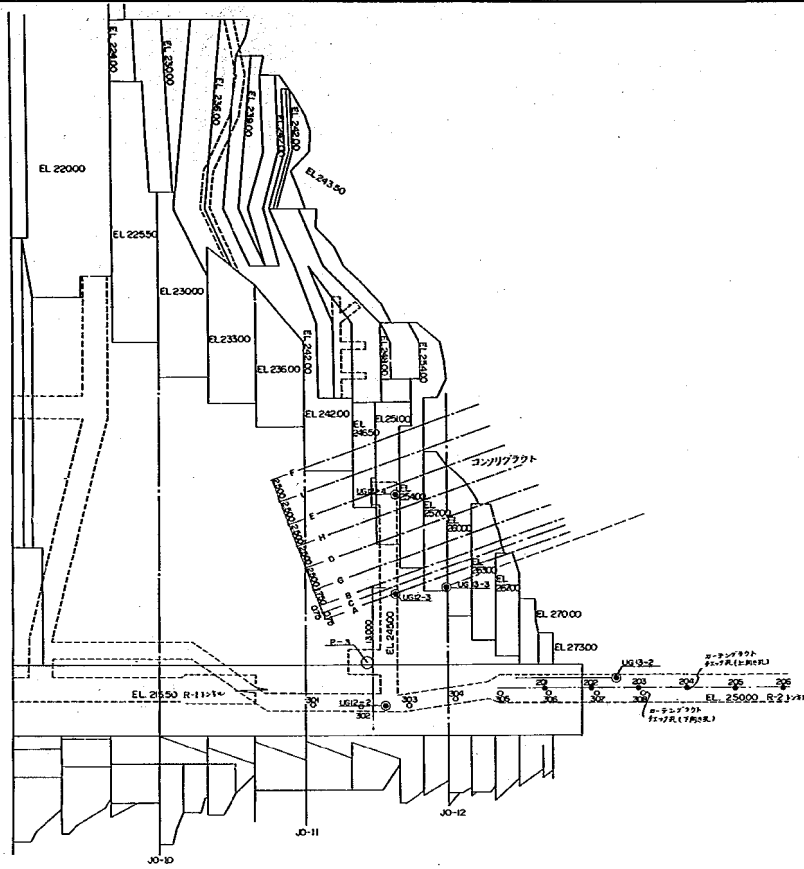


R-2 坑 (No. CHU-3)



R-2 坑 (No. U-20)

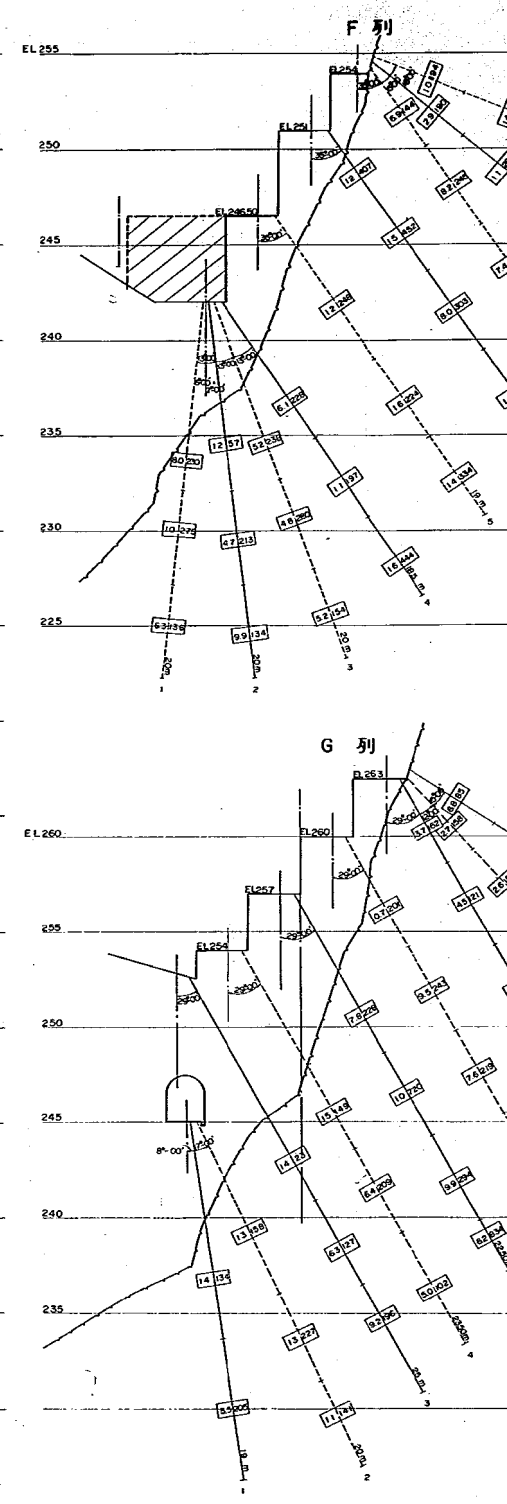
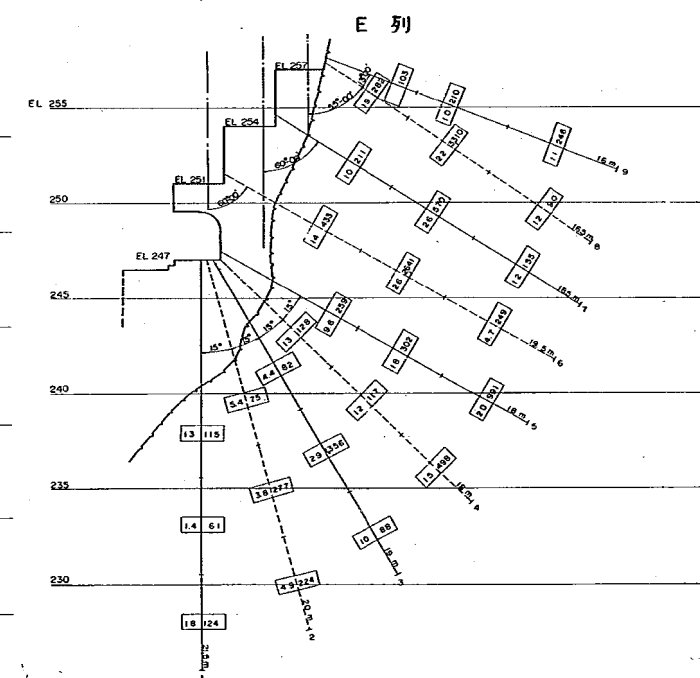
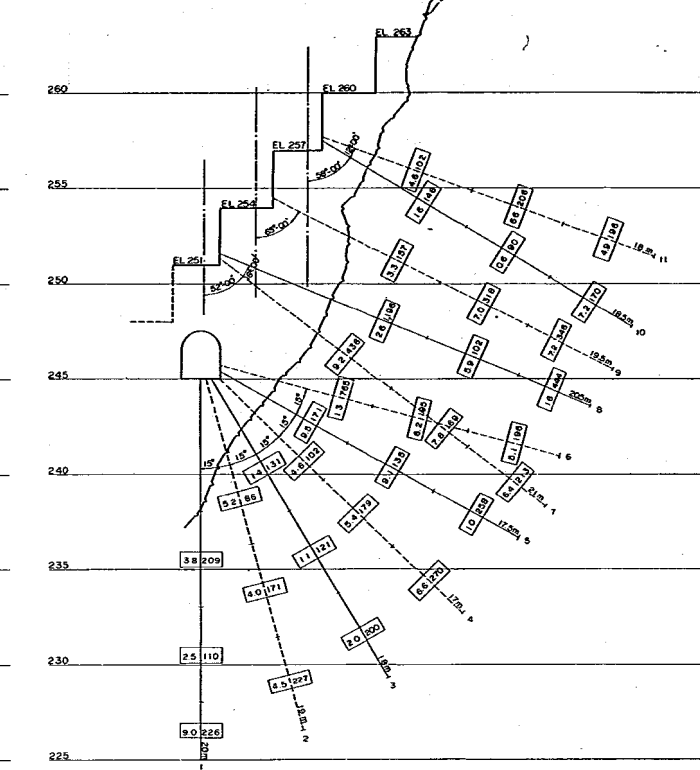
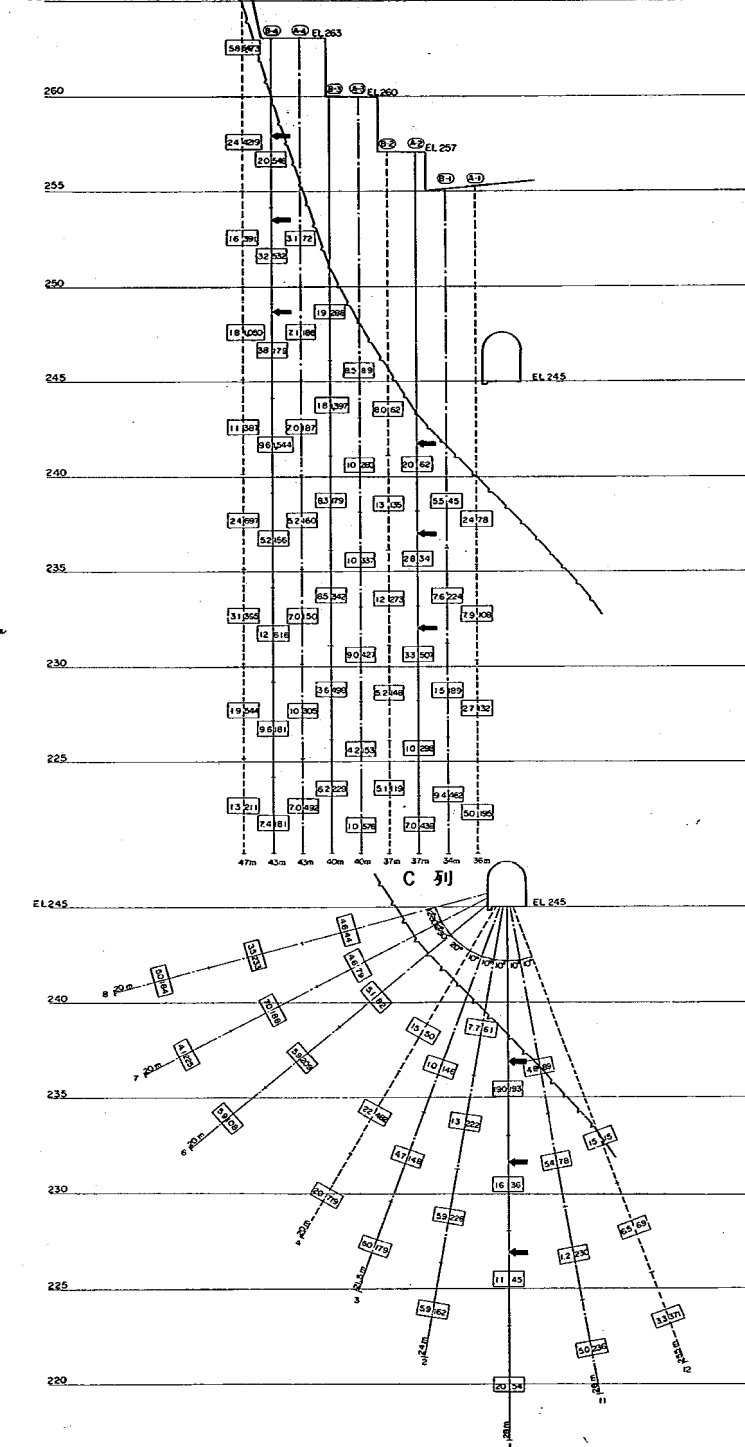




凡 例

- 1 次 孔
- - - 2 次 孔
- - - 3 次 孔
- ← 限界圧テスト位置
- $\frac{Lu}{kg/m}$
- Lu: ルジオン値
- kg/m: 単位注入セメント量

図 15 追加コンソリデーションラウチング成果 D 列



コンソリデーショングラウチング成果 D 列

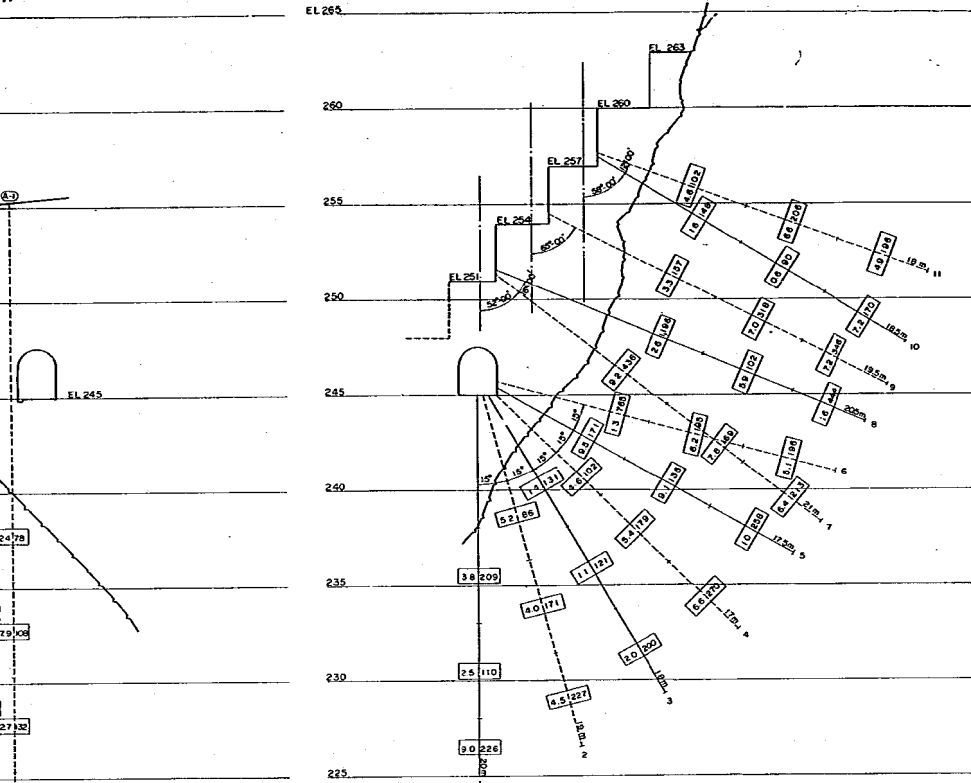
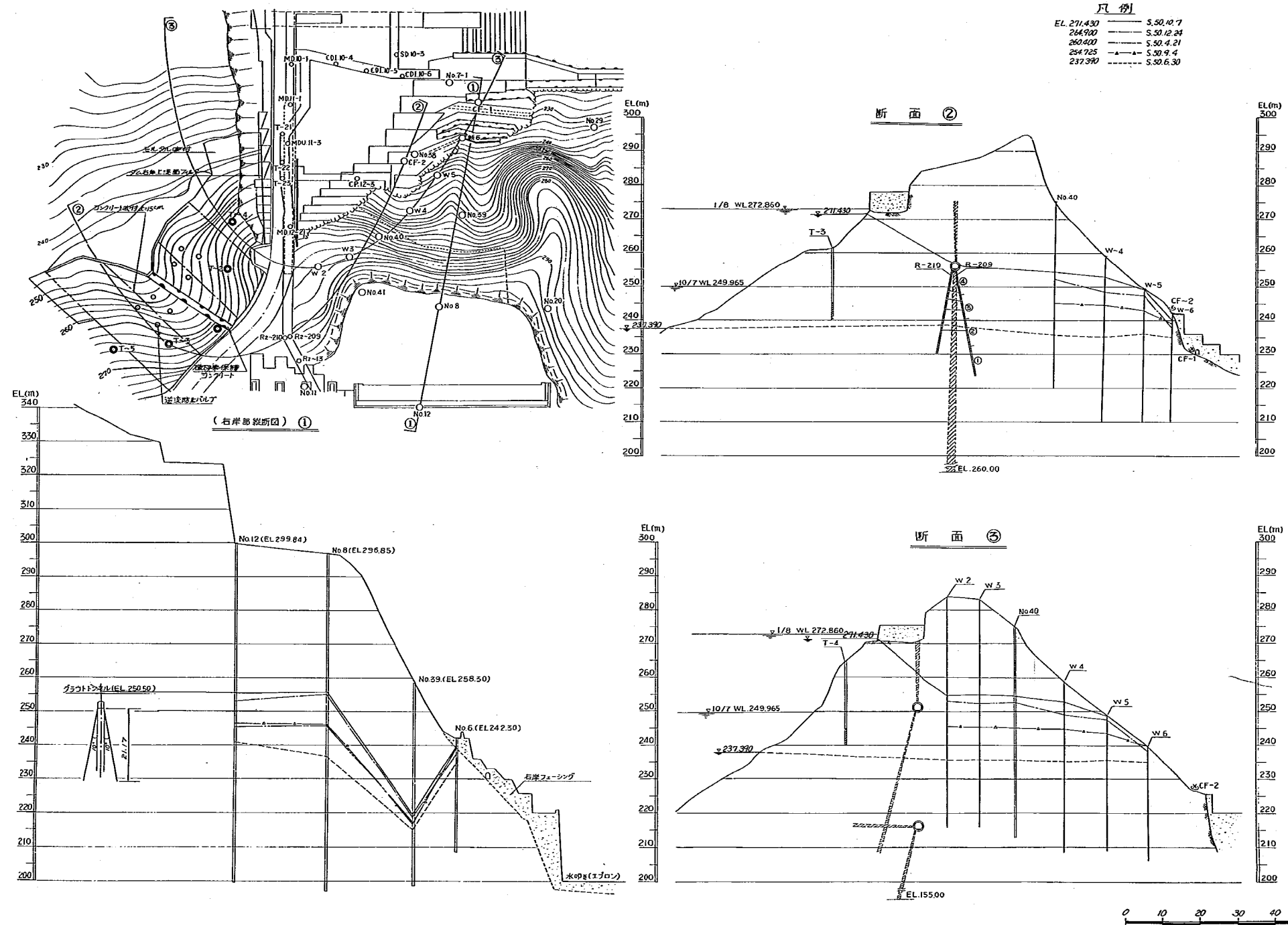


図16 地下水位断面図 (縮尺1:500)



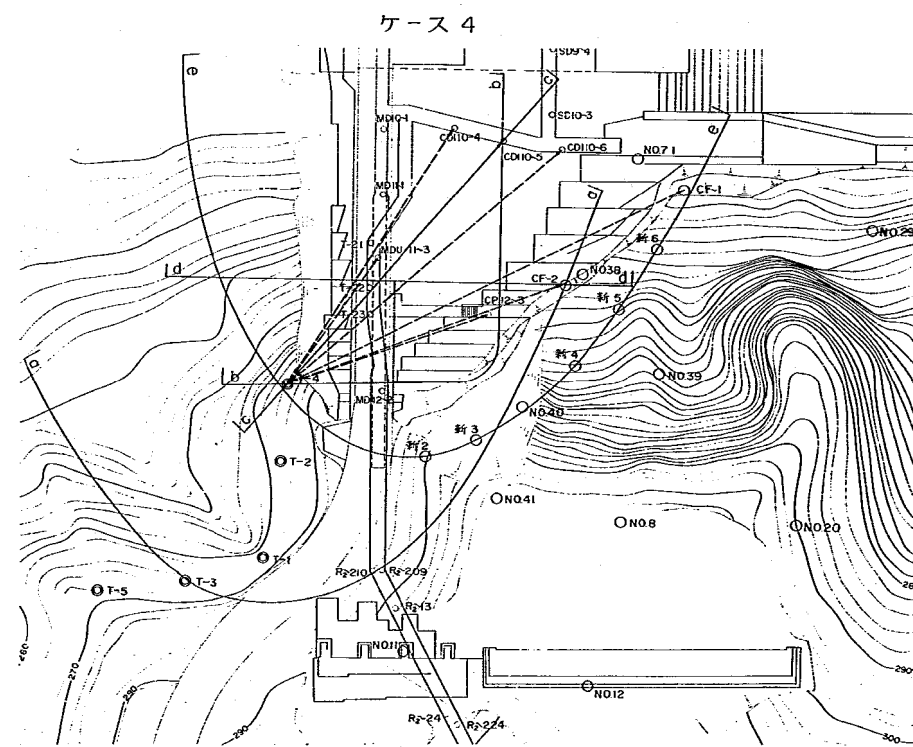
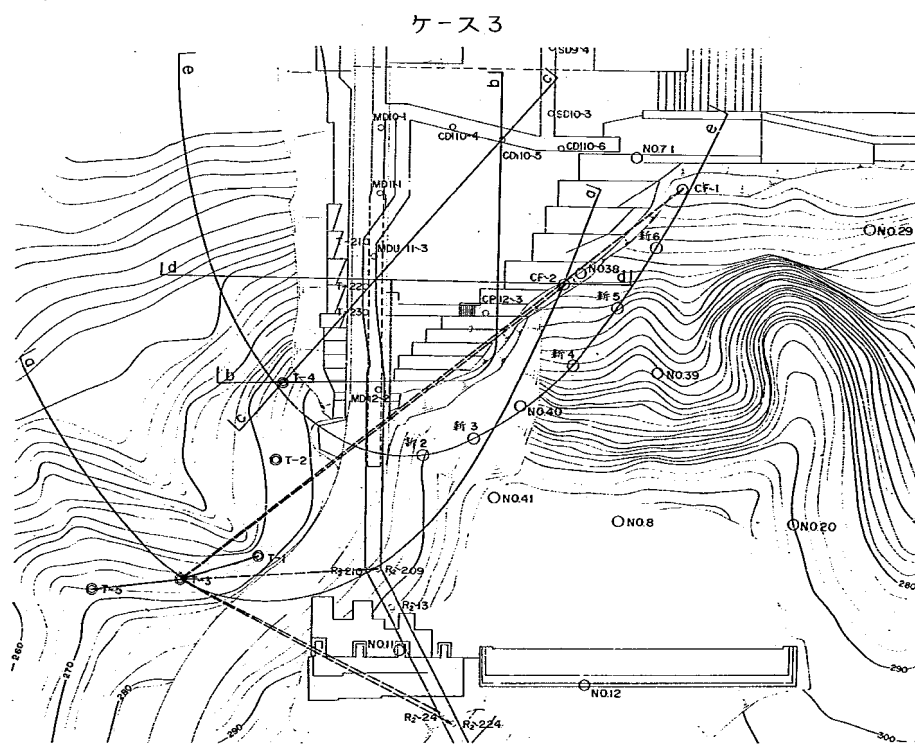
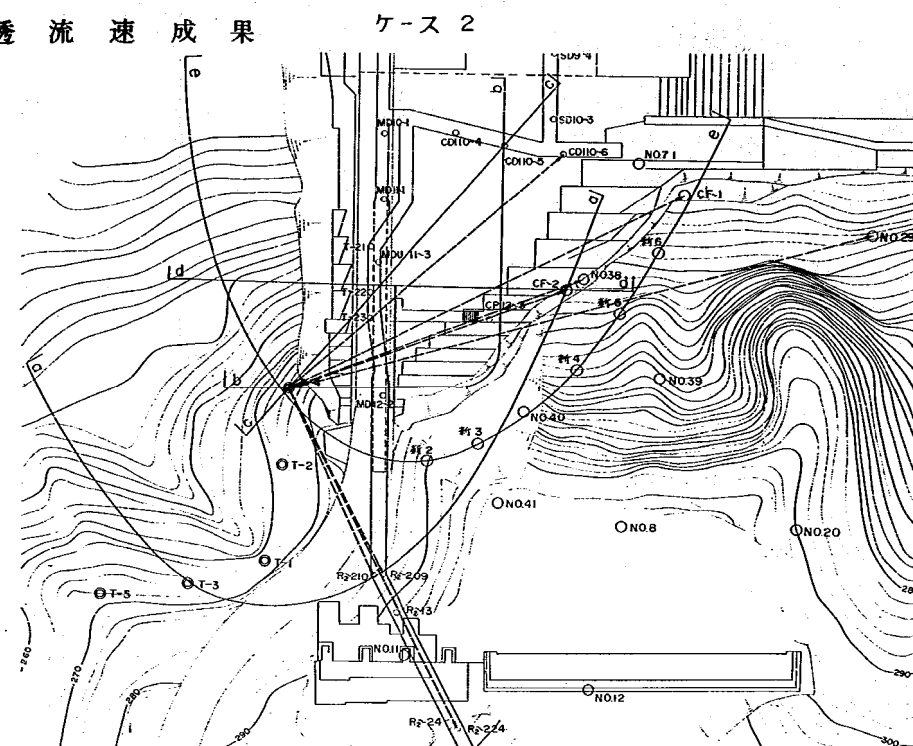
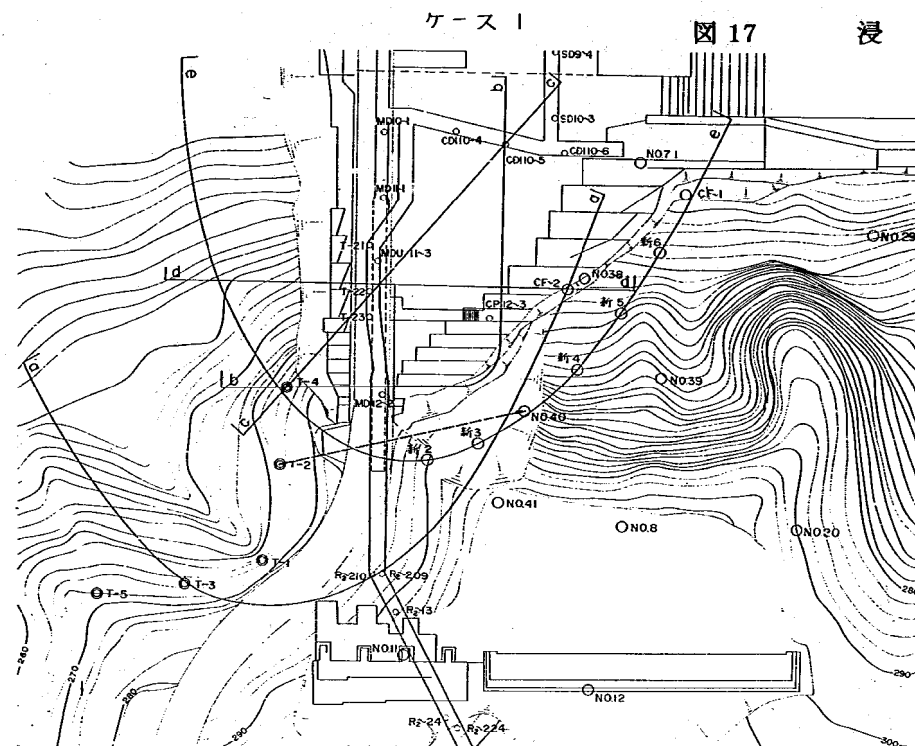
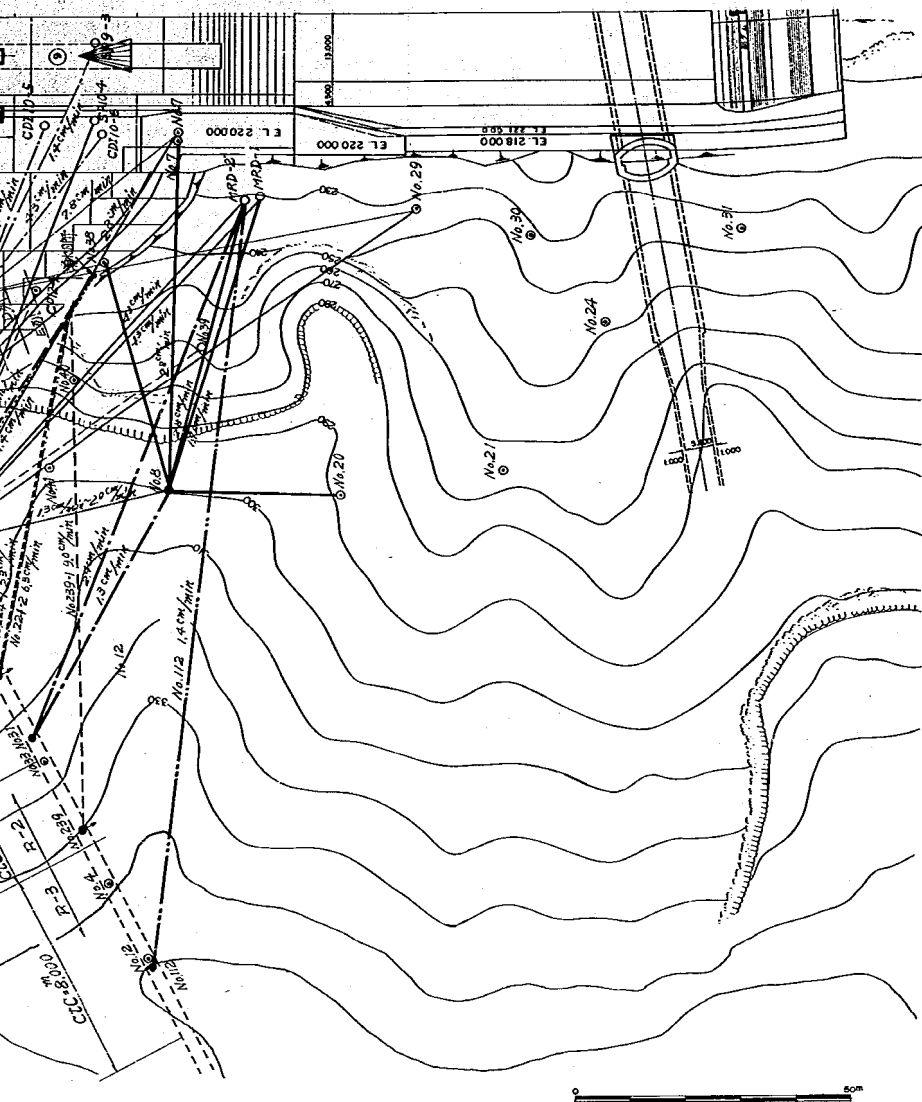


図-18 浸透流計算

MODEL 3 CASE 3-2-1

(B) 269.00m

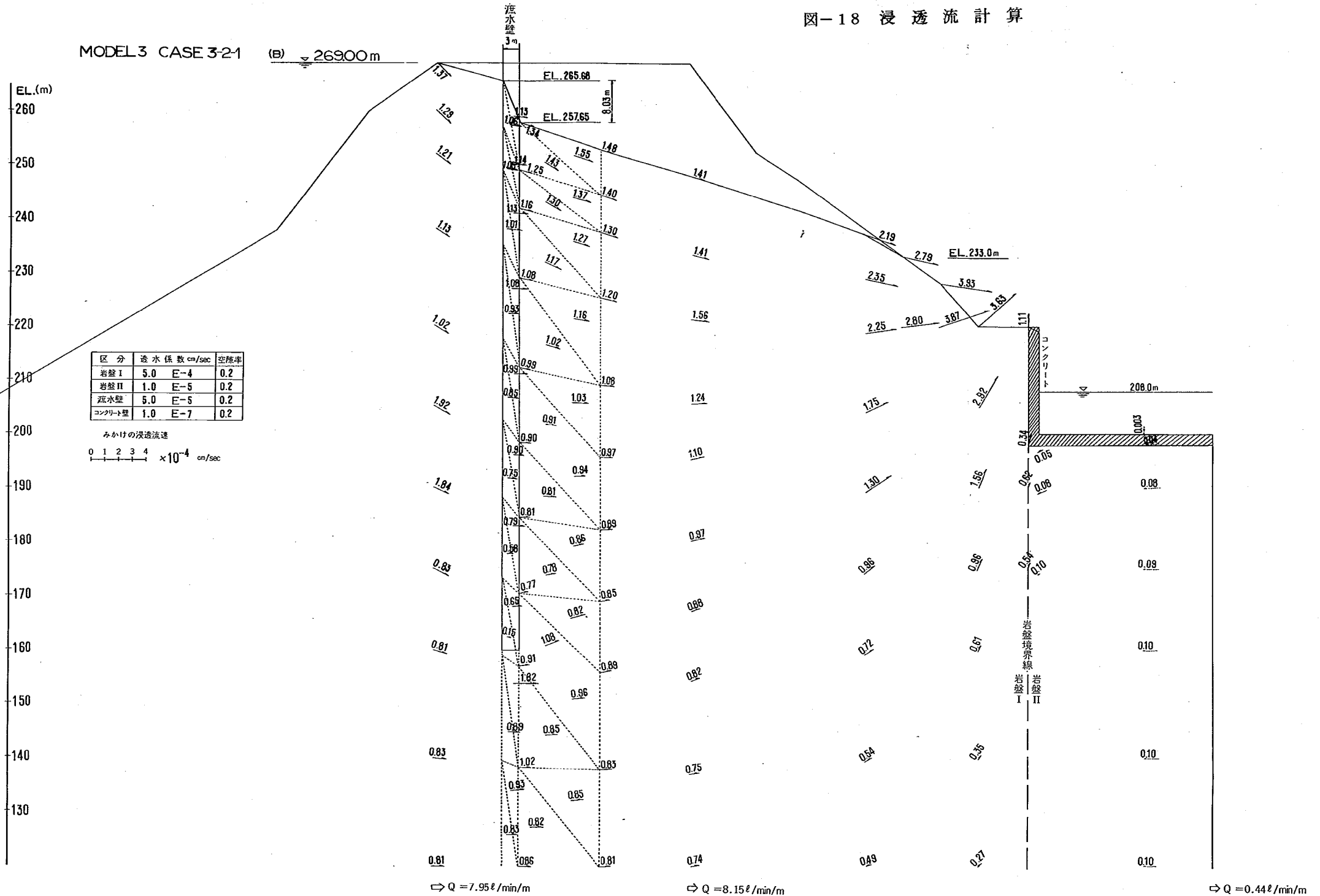


図 19 右岸下流擁壁排水管理設図 (縮尺 1 : 100)

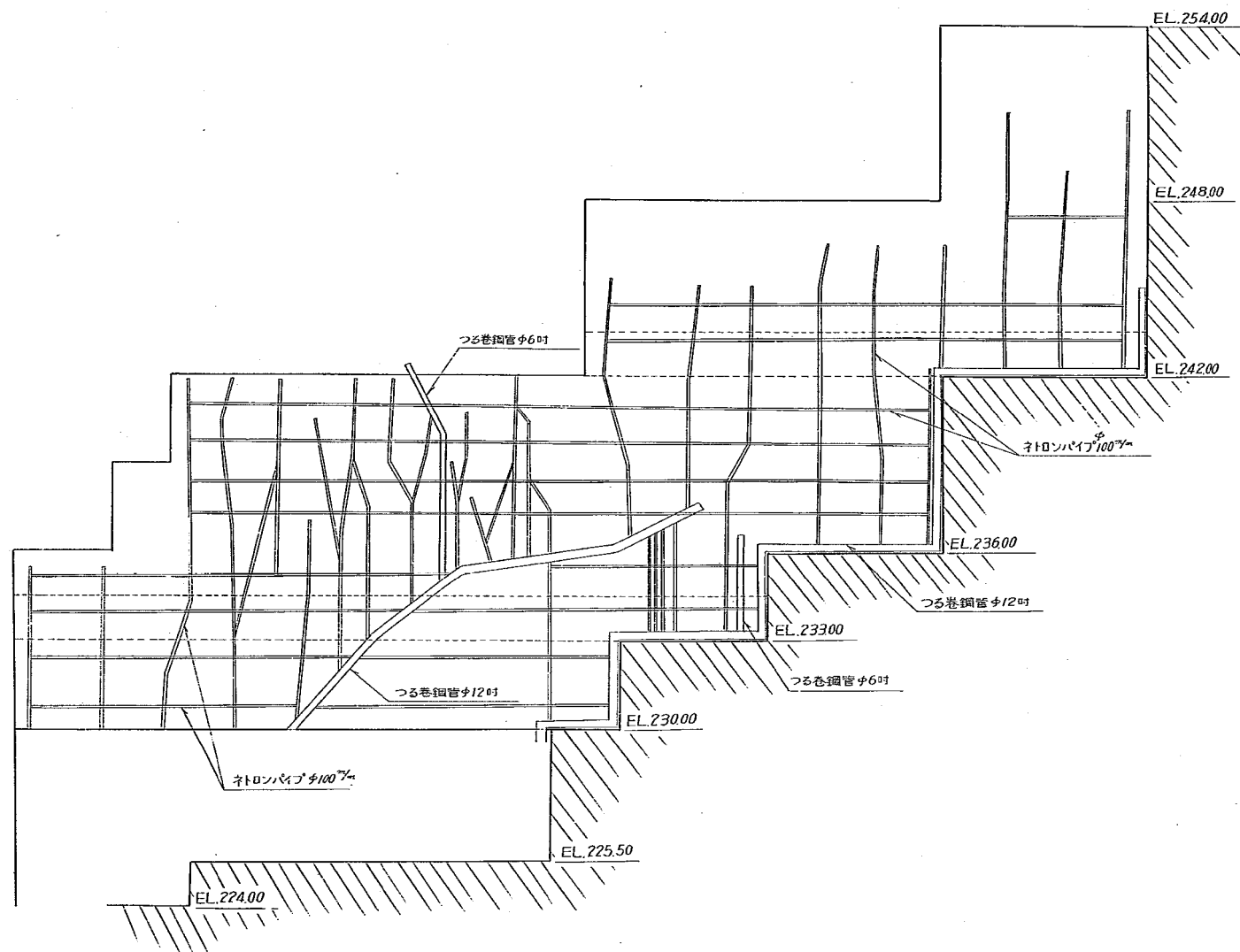


図20 地質断面図（右岸）

190.000

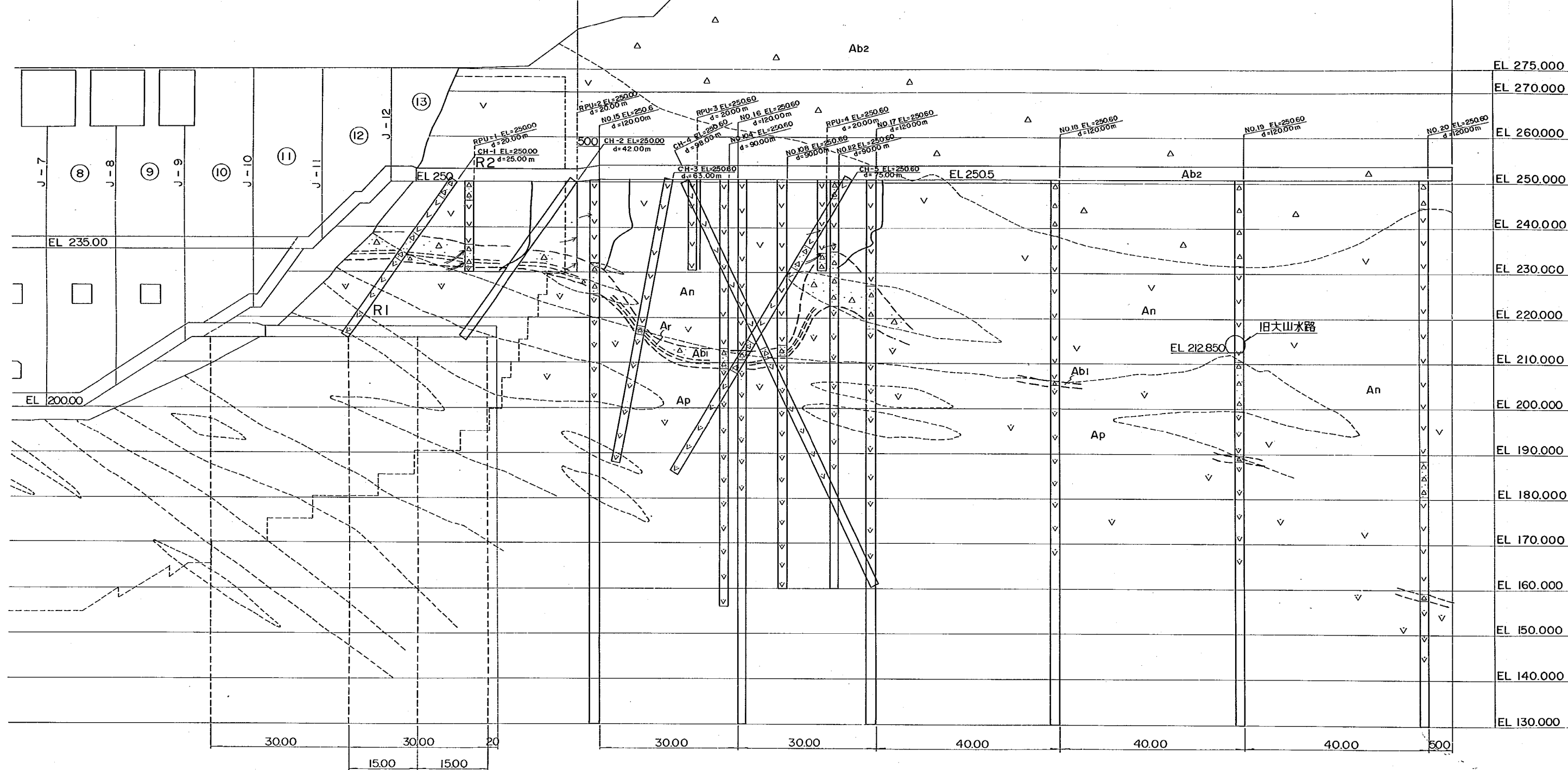
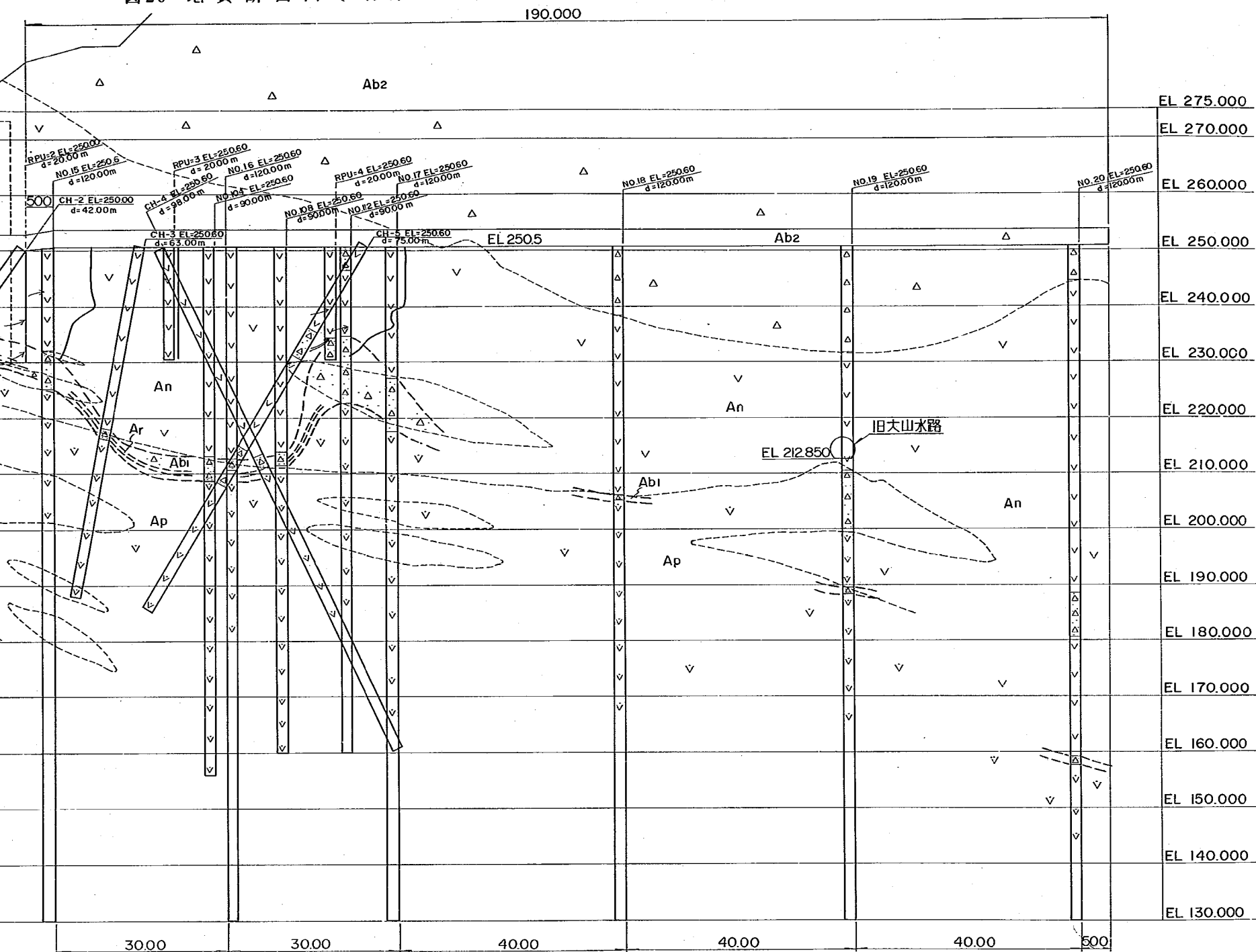


図20 地質断面図（右岸）

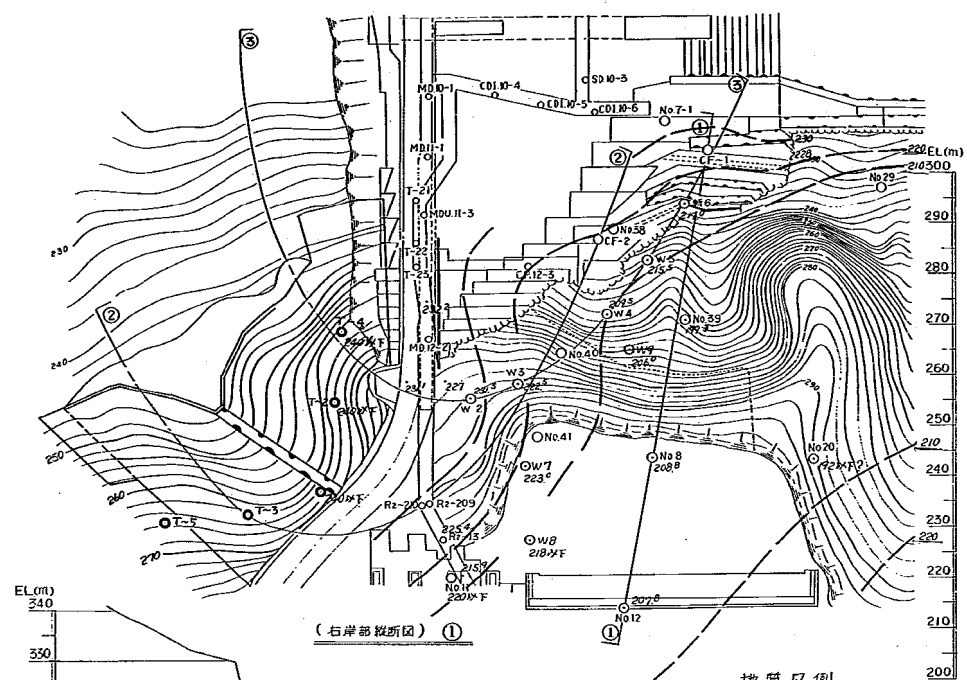


地質凡例

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| Δ Ab ₂ Δ | 自破砕状熔岩 |
| ∇ An ∇ | 安山岩(黄灰色 緻密堅硬) |
| Δ Abi Δ | 自破砕状熔岩 |
| Ar | 自破砕状熔岩(赤褐色部) |
| ∇ Ap ∇ | 多孔質安山岩及自破砕状熔岩 |

AmApの境界面等高線(自破砕状熔岩最下部面)

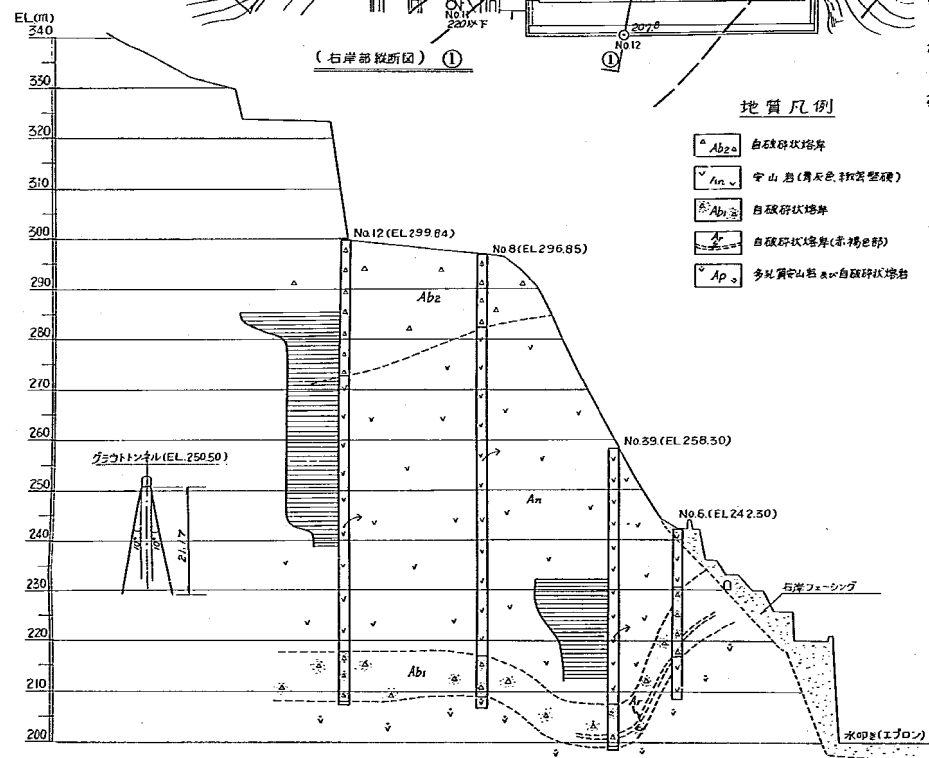
図 20 昭和 50 年度の調査 S=1:500



(右岸部横断面) ①

地質凡例

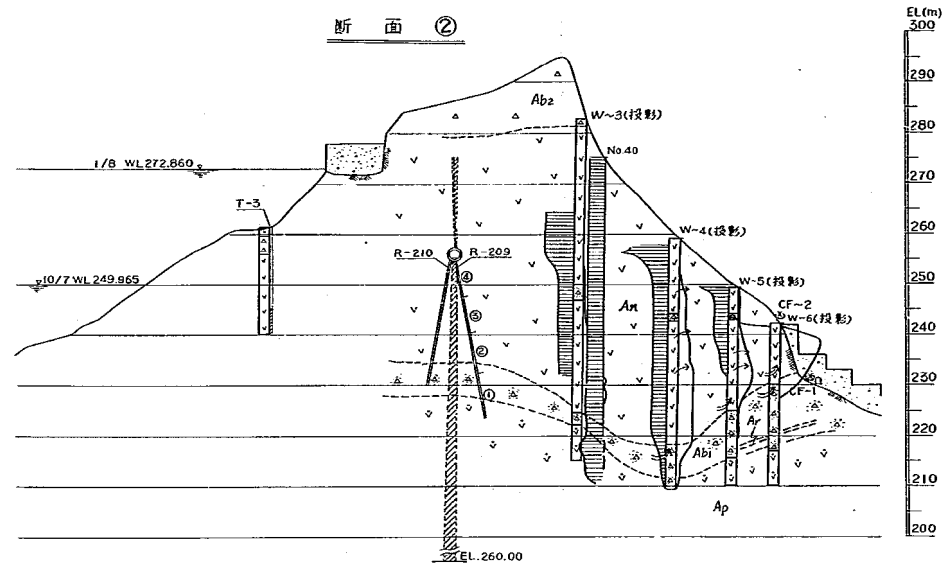
- Ab₂ 自破砕状熔岩
- Am 火山岩(角閃岩、輝石岩)
- Ab₁ 自破砕状熔岩
- Ar 自破砕状熔岩(赤褐色部)
- Ap 多角質火山岩と自破砕状熔岩



グロウトンネル (EL. 250.50)

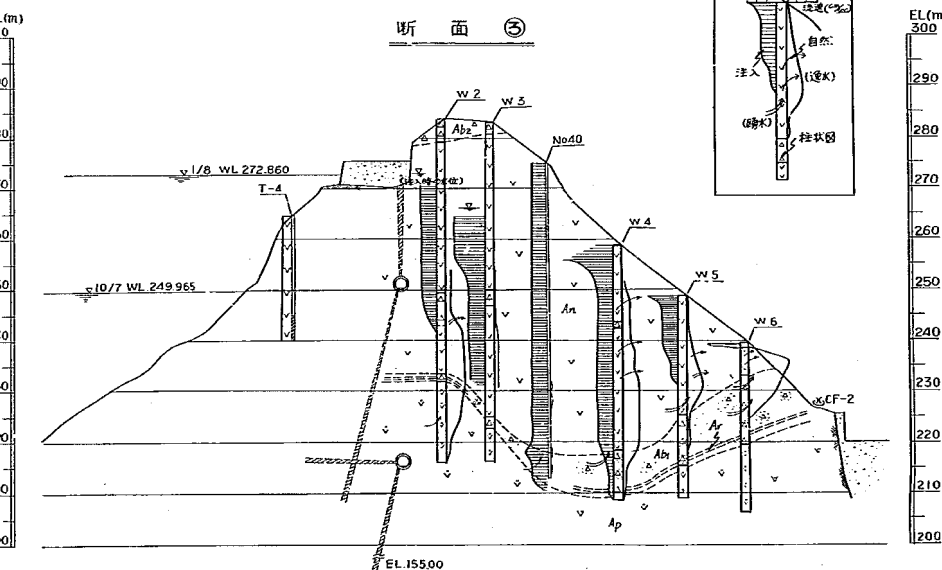
右岸フェーシング

水田(エブロン)

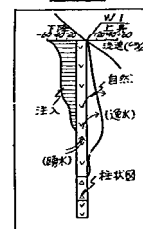


断面 ②

断面 ③



凡例



0 10 20 30 40 50