

## 技術ノート

# 注入コンクリート工法をトンネルの 漏水どめに用いた施工例について

正員 清水 修 吉\*

### 1. ま え が き

従来トンネルからの漏水は、覆工に先だつて型枠内に排水パイプをはめ込み排水しつつコンクリートの打設を行い、硬化をまつてパイプを閉鎖するか、あるいはセメント注入によつて、漏水どめを行つてきた。

今回の漏水は、多量に1ヶ所より噴出しており、しかも地下水と水脈が連絡し高水圧を受けていた。ことに復旧に当つて漏水をトンネル内に抜き取つておくわけにいかず、どうしても漏水を完全に止めて、地下水位を原状に回復させねばならない点が従来の方法だけでは十分でなかつたのである。本施工は昨年3月竣功した、四国電力KK伊尾木川発電所放水池に採用して成功を収めたもので、今後の工事の参考にとつてその工法を紹介することにした。当時の状況は放水池の切払作業中に、岩盤の割目から約13mの水圧を受けた地下水が噴出し、漏水量は $0.25 \text{ m}^3/\text{sec}$ に及び、このため地下水位は従来より1.50m低下し、150m離れた部落の井戸水が、5ヶ所涸渇するに至つた。

本工事はわづか3.0m間の覆工に過ぎないが、これに要した日数は約120日、使用セメント180t、延人員約5000人に達した。

### 2. 事故発生前の状況

発電所付近は試錐によつて地質調査を行つた結果、旧河川敷で深度14~16mでようやく着岩し、それまでは玉石混りの砂利層である。岩質は頁岩で表面はかなり風化作用が進み、コアの採取率は約20%にすぎなかつた。発電所基礎工事は砂利層を約16mほど掘下げるため相当難工事であつたが、揚水ポンプ口径12"2台を運転してドライワークで施工が進められた。発電所吸出管と放水路トンネルを連結することは、排水ポンプに万一故障があつた場合トンネル内に溢水することを恐れ放水池の導坑を一部残した。発電所外壁工事の進捗とともに順次埋戻しを行い、8月15日には排水ポンプの撤去を行つたので、地下水位は再び原状に回復した。よつて放水池付近は13mの地下水圧を受けることとなつた。放水路トンネルは、5月10日導坑が貫通して以来切詰め並びに覆工作業を続け、事故発生前にはすでに放水池内約3.0m間の覆

工を除き完了した。

### 3. 放水池の施工

放水池の切掘りは岩盤の地べりが約3.0mに過ぎず湧水を考慮して、まず導坑掘削には小断面( $2 \times 1.5 \text{ m}$ )で掘進し、中割、第一、最後に切掘りをなし、ただちに覆工に着手する予定であつた。8月17日導坑貫通し、切掘りもほとんど終了し、覆工に着手する準備中のところ、9月24日四国地方を襲つた台風13号の影響を受け地下水位の上昇とともに、川側拱部より少量の漏水を見るに至つた。

その後漏水は、日ごとに増大し、さらに10月8日には丸型付近の岩石約 $2.0 \text{ m}^3$ が脱落したため急激に増大 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ の水量が噴出する状態となつた(写真1参照)。

写真1 漏水状況



応急対策としてさらに支保工で補強、トンネル内の排水には口径12"渦巻ポンプ2台で昼夜運転を行つた。

### 4. 復旧工事

復旧工事の計画に当つて考慮された事項は、

地下水位の原状回復、地質不良で崩壊の危険性

のあること、トンネルの横坑が斜坑のため万一ポンプの故障による不安感、場所が狭少で作業能率が悪い、発電所の竣工期が切迫しており、しかも、路線変更、圧気工法、凍結法、その他種々検討を行つた結果、結局次の工法を実施することとなつた。

(1) 堅坑の施工：地上より堅坑を掘削して、地下水位の低下を計り、さらに堅坑底部より漏水箇所へセメント注入を行い、トンネル内の作業を容易にする。

(2) 試錐・並びにセメント注入の施工：地上より漏水箇所へ向つて試錐を行い、これからセメント注入を施工して砂利層、並びに岩盤を凝結せしめる。

\* 四国電力株式会社

(3) 注入コンクリートの施工：トンネルの漏水箇所を上下流側に止水壁をもつて仕切り、その内部に注入コンクリート工法を実施し完全に漏水どめを行つた上で、そのコンクリートを規定の断面に削り取り覆工を行うものである。

5. 堅坑の施工

堅坑の掘削箇所は砂利層深く、地下水のため井筒沈下工法によつた(図-1,2 参照)。

上部 8.0 m までは土留工により開削し、その掘削

図-1 平面図 (S=1:100)

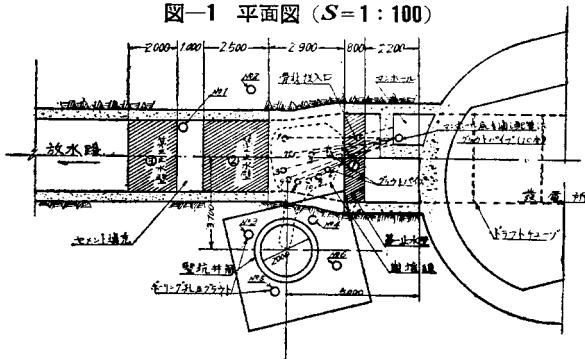
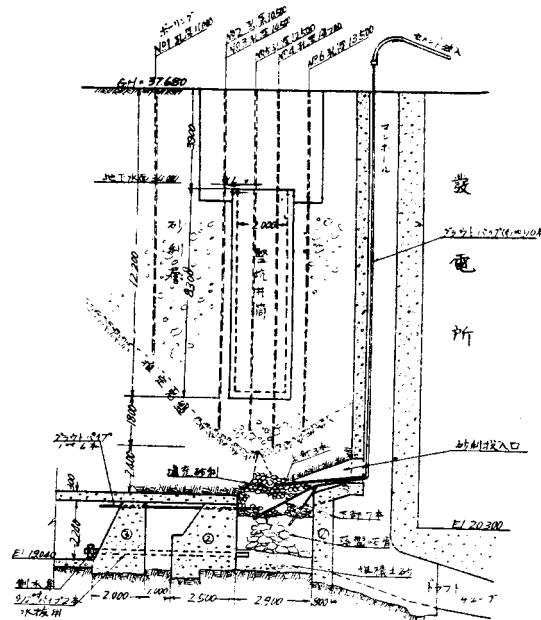


図-2 縦断面図 (S=1:100)



面に内径 2.0 m の井筒を据え岩盤まで沈下せしめる予定であつたが、施工中に載荷重のため下部シュエに亀裂を生じ危険状態となつたので、地上より 12.5 m の沈下で打切つた。次に井筒底部をコンクリートで張り試錐を 10 本行つてこれからセメント約 200 袋を注入した。井筒の沈下には潜水夫を使用し 1 日平均 20 cm の沈下であつた。なお最大荷重 100 t に及びこれ

に要した日数は 60 日であつた。この堅坑は復旧工事完了後はトンネルと連結して、洪水時トンネルにかかる水圧上昇を軽減する目的で調圧水室として利用するものである。

6. 試錐・並びにセメント注入の施工

試錐孔によるセメント注入の有効範囲を 1.5 m と仮定して、注入試錐は地上より 6ヶ所実施した(図-2 参照)。

注入孔の深さは岩盤と砂利層との境界面を凝固せしめる目的で 14 m 前後とした。砂利層の試錐にはドライブパイプを打込み穿孔して、セメント注入の終るまでそのまま存置した。

砂利層内のセメント注入は注入圧力を、どの程度にするかが問題であるが、水圧約 10 m あるため注入圧を 1 kg/cm<sup>2</sup> とした。注入パイプ No. 3, 5, 6 は注入圧 1 kg/cm<sup>2</sup> ではほとんど変化なく、セメントが有効範囲外に流出するものと推定されたので、セメント 80 袋前後の注入で中止した。なおパイプ No. 2, 4 は試錐孔が岩盤に達しその上セメント注入により孔口へ流出したため注入圧最大 10 kg/cm<sup>2</sup> に達した(表-1 参照)。試錐、並びにセメント注入は約 20 日間で施工を終つた。

表-1 セメント注入表

孔番	孔長(m)	セメント注入量(袋)	注入圧力(kg/cm <sup>2</sup> )	摘要
1	11.00	0	0	パイプ閉塞のため注入不能
2	10.50	20	10	配合 3:1
3	14.50	73	2	"
4	14.70	87	10	"
5	12.50	85	1	砂利層のため圧力上らず
6	13.50	60	1	"

7. 注入コンクリートの施工

(1) 止水壁の施工：トンネル内は漏水のため水深 0.5 m に及び、止水壁第一、第二のコンクリート施工に当つて 160 m 下流の斜坑よりコンクリートを舟で運搬する等かなり苦心が払われた。ことに止水壁は水密性を必要としたので、水抜用の 12" パイプ 2 本で漏水を排水しつつコンクリートの施工を行い、さらに地山との取り付け部分にセメント注入を行つた(図-1, 2 参照)。注入コンクリートの施工に先だつて、止水壁間を試験的にラルサン型コンクリートプレーサーを使つてコンクリートを圧入することを計画し、2 回にわたつて実施したが、いずれも注入圧 6 kg/cm<sup>2</sup> で止水壁より漏水を生じ、その上水中でコンクリートを吹付ける状態となつて骨材が分離する等、とおいで満足なコンクリートの施工ができないことが判明したので中止した。

(2) 漏水箇所の状況：事故発生以来すでに 2ヶ月を

経過し、その間落盤もあり、またコンクリートブリーダーによる分離したコンクリートの堆積率等調査する必要があつたので、発電所外壁のマンホールを利用して漏水箇所空洞部へ連絡口を掘削した。漏水箇所は落盤のため支保工坑材が倒れ、トンネルの下部半分は岩ズリ、並びにコンクリートの分離した骨材が堆積し、上部は落盤によつて高さ約 1.70 m の空洞となつている。なお漏水量は従来と変化がなかつた。

(3) 骨材の投入：トンネルの下部は前述のとおり、落盤による岩石、砂利、坑材等不均一に堆積していたが、下部は注入後削り取る部分であり、水蜜性を必要としないのでトンネル上部に重点をおいた。空洞部分約 16 m<sup>3</sup> に対し径 10 mm 以上の砂利をもつて填充した。空隙率は約 35% と推定した。この砂利中に注入用パイプ (径 1" のもの) を上下 2 段に 10 本配管しマンホールをへて地上に導き、またトンネル内部よりは、6 本をアーチ部分に挿入して準備を終つた。

(4) モルタル注入：排水用に設けられた 12" パイプを閉鎖し空洞部に充水し、止水壁よりの漏水状況を調査して異状のないことを確かめた後、セメント注入作業に着手した。

最初上段のパイプ 3 本 (No. 8, 9, 10) を注入ポンプ 3 台をもつて同時に注入を開始、圧力 1 kg/cm<sup>2</sup> から次第に増加し 10 kg/cm<sup>2</sup> で停止した。注入後 2 日目に止水壁下部より少量セメント液が流出するのが認められたので注入を止め、続いてパイプ No. 1 より No. 7 まで順次注入を行った。パイプがセメント液で閉塞しないように適宜水を注入して閉塞防止に努めた。しかるに No. 2, 3, 4 は注入がわづかに可能であ

ゾランを重量比に対し 20% 混入した。使用の成果は施工後の注入コンクリートを掘り取り調べた結果、水中コンクリートとしてかなり良好なものであつた。

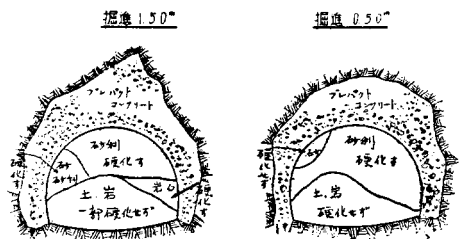
(5) 注入コンクリートの掘削：セメント注入後 5 日目に第三止水壁を撤去し、続いて第二止水壁より深さ 2.50 m のもの 4 本穿孔して、漏水の有無を調査したがほとんど漏水が認められなかつたので、ただちに第二止水壁の撤去に着手した。

注入後 8 日目に注入コンクリートの掘削に着手したが、硬化状態は軟岩程度でほとんどピックハンマーで掘削が可能であつた。掘削には特に慎重を期し、1 m 掘進すればただちに覆工を行うようにして 3.0 m 間を無事規定の断面に完了したが、心配された漏水もほとんどなく、漏水箇所直下でやつと雨滴程度にすぎなかつた。セメントの硬化熱による温度は、坑内で気温 19°C (坑外 7.5°C)、水温 19°C、50 cm 掘進した切端で気温 32°C 水温 29°C、コンクリート地肌温度 78°C に達した。

セメント液の注入分布状態は (図-3)、砂層内はセメント液の浸透がきわめて悪かつたが、砂利層、岩ズリ間は完全に圧入されていたことが実証された。

注入管をトンネルの上半分に入れたため下半分は

図-3 注入コンクリート硬化状況



浸透が悪かつたが上部は完全に注入が行届き止水の目的を達した。

### 8. 結 論

本施工は約 4 ヶ月にわたつて漏水と闘い、不眠不休で作業を強行し、ここに注入コンクリート工法によつて成功を収めることができた。

大量のトンネルの漏水どめに、このような工法が用いられたことはきわめてまれな事例であつて、今後この種施工が、大いに採用されんことを期待する。

終りにこの工法を施工するのに当り東大丸安教授の指導を仰いだこと、並びに本工事に終始努力された大成建設 K K 技術員各位の労苦に、深く感謝の意を表する次第である。

表-2 セメント注入表

番号	順位	圧力 kg/cm <sup>2</sup>	時 間 時 分	セメント 数 (袋)	フライアッシュ 数 (袋)	備 考
1	3	0	0.00	0	0	注入不能
2	2	1~10	1.00	10	0	配合 3:1
3	2	1~10	25.00	332	55	"
4	2	1~8	2.10	17	0	"
5	3	0	0	0	0	注入不能
6	3	1~8	2.40	11	0	配合 3:1
7	3	0	0	0	0	注入不能
8	1	1~10	17.10	187	40	配合 3:1
9	1	1~10	18.10	236	50	"
10	1	1~10	47.30	655	135	"

つたが、No. 1, 5, 6 はほとんど閉塞し注入不能であつた。注入状況は、トンネルに内部よりアーチ部分に挿入したパイプを通して観察した結果、セメント液が上部より下部に向つて流れる状況がパイプからの流出により確認することができた (表-2 参照)。

セメントの混和剤として、また拡剤として宇部が