

朝霞水路のアンダーピニング

なが い ただし き むら いち ろう
永 井 正 * 木 村 一 郎 **
おか ただし ふく しま たつ や
岡 督 *** 福 島 達 也 ****

1. はじめに

朝霞水路は、東京都上・工水および隅田川の浄化を目的として、昭和38年11月20日「利根導水路建設に関する事業実施計画」が関係各省で認可され、昭和39年10月の東京オリンピック大会に間にあわせるよう、実施された導水路であるが、その後都市用水の需要増により、現在は東京都上・工水 $30.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、浄化用水 $23.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 、計 $54.01 \text{ m}^3/\text{s}$ を通水しているものである。その位置は埼玉県志木市にあり(図-1)、全長 1.8 km 鉄筋コンクリート2連ボックスでできている。今回アンダーピニングを施工した所は、荒川堤防右岸宗岡樋管の上流1ブロック ($L=16.75\text{m}$)、下流2ブロック ($L=20.00\text{m}$) の計 36.75m 区間である。

2. 水路の基礎工

水路は主として第1層、第2層の範囲内に築造されてお

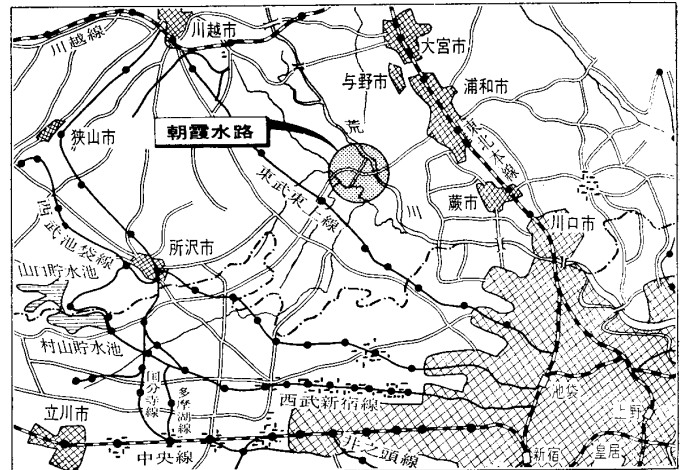


図-1 位置図

り、施工に伴う排土重量と水路完成後の置換荷重は、どちらも 1.5 t/m^2 程度なので、これによる沈下、セン断破壊の心配はなかった。したがって取水口、宗岡樋管、分水工

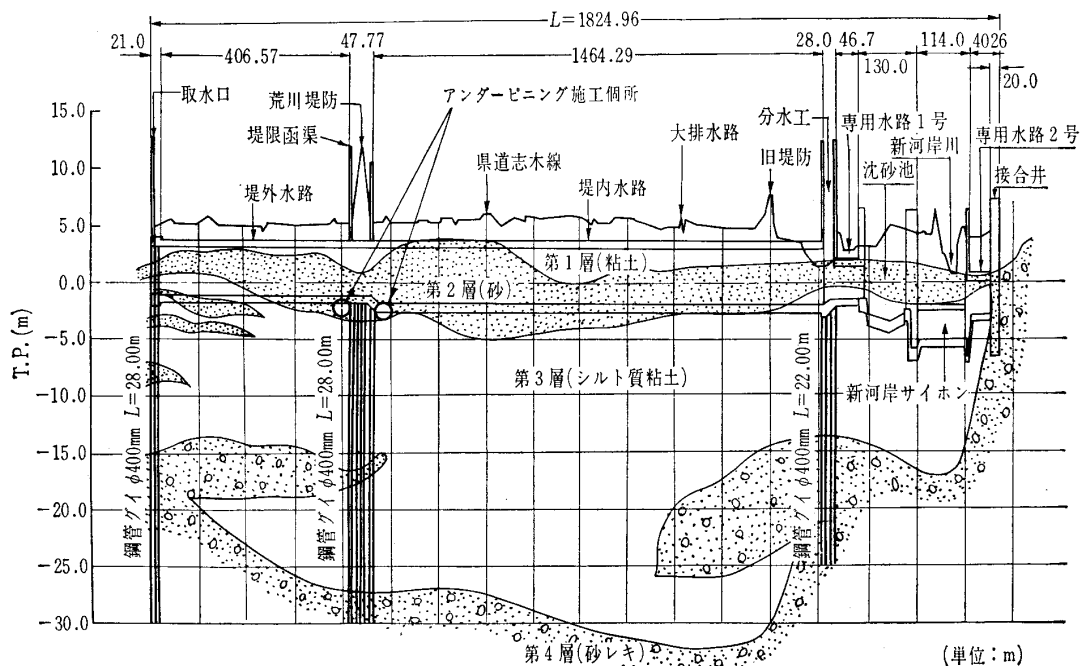


図-2 朝霞水路地質縦断面図

* 水資源開発公団利根導水路総合管理所 所長
** " " 秋ヶ瀬管理所 所長
*** 大成建設(株)東京支店 土木設計課長
**** " " 作業所長

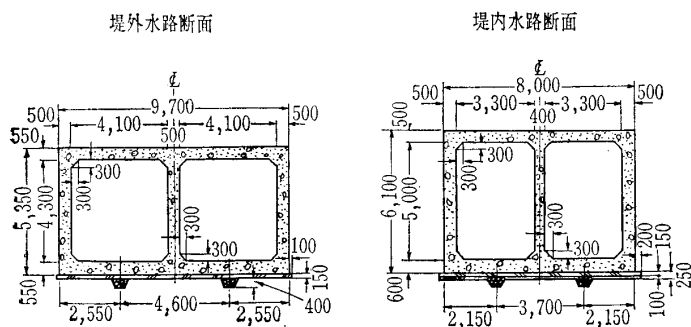
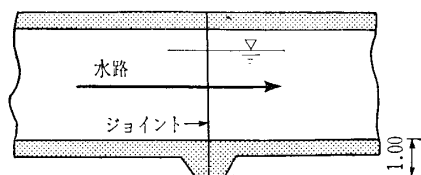


図-3 標準断面図



水路側面図

図-4

などのゲートをもつ構造物のみ洪積層まで基礎鋼管グイを打ち込み、その他の部分はすべて無基礎とした。しかしクイ基礎部と無基礎部との接合部分は、相互の沈下状況が異なるものと予想して、底版については厚さ 1.0m の継手を設けた(図-4)。

3. 地盤沈下

近年急激な水需要量の増大に地下水もまた大いに役立ってきたが、ダムなど水源の確保がおくれているため、最も手っ取り早い水源として地下水の利用が行なわれていた。このために本朝霞水路も昭和39年竣工後6年目の、昭和45年になってついに年間 5 cm, 昭和46年には 10 cm の地盤沈下地域に巻き込まれた。以後毎年1回測定をしているが、昭和50年2月はクイ基礎部で 17 cm~30 cm, 無基礎部で 35 cm~124 cm を測定(累計)した。また無基礎部分は全体としてたれ下がり状態の沈下を示している。今後の沈下量は1人1日あたり消費水量, 人口の増加傾向, 水源の完成見通し, 過去10年間の沈下量測定値から計算で求めた結果は、今までと大体同じくらいの 0.70m~1.00m 程度と思われる。

4. 補修工事の必要性

アンダーピニング工事に着手した昭和48年の宗岡樋管上下流ブロックの状況は樋管と樋管上流2ブロック(約30m)で 31 cm, 下流3ブロック(約35m)で 22 cm の差があった。宗岡樋管は荒川右岸堤防の一部であり、沈下のため水路ブロックとの間にすき間を生じ、そのため築堤土の吸出しや漏水が起こったり、水路ブロックにクラックが生じており、今後なお沈下が進むので耐久性が低下するなどの心配から補修工事の必要が起こった。

5. アンダーピニング工法の選定

補修工事上の制約。

- ① 東京都約 400 万人分の水源であるため、断水ができないので通水しながらできる工法であること。
 - ② 地盤沈下を促進するようなウエルポイントなどは好ましくないこと。
 - ③ したがって止水用グラウトが必要となるが、注入材料が通水中である水路内に入らないこと。
 - ④ 付近の水田に地下水を利用している個所があるので、無害であること。
 - ⑤ 河川工事であるので、非出水期内に完了すること。
- などであった。幸い事前調査の結果では、付近の井戸で飲料水に使用している家はなかった。この案を検討したが③アンダーピニングを最も確実ということで採用した。その準備工事として、施工中水路内からの漏水を防ぐため、ジョイントの内側から片側通水でヤーン(麻), ボンド, 合成ゴム板などを使用して目地およびクラック, アンダードレイン立上がりパイプのてん充, 閉そくと止水および地盤改良用グラウト効果の試験もあわせて実施した。結果はてん充, 閉そくは完全に成功したが、グラウト効果については若干の不安があったが、そのつど適切な処置をとることとし、思い切って本工事に着手した。

6. アンダーピニングの設計

設計方針としてはアンダーピニング施工中水路かん(函)体に悪影響を及ぼす心配が大きいため、各施工段階で条件(荷重, タワミなど)の変化に応じて、水路の検討を行なうものとした。既設水路は、直接地盤上の等分布荷重で設計されていたが、本工事により横ゲタをそう入すると点支承に置き替わることから、水路底版と横ゲタとの間の「なじみ」については、その対策に苦心をさせられた。

- ① 図-5 (A), 2点支持から, (B), (C)と順次検討を進め、水路かん体応力を許容応力以内となるような支持条件を見出す。
- ② ①で求めた支承条件により、かん体の応力度が許容値以内にあることを確かめた上で、その支承条件の反力を算定する。
- ③ ②で求めた反力を用い、水路支承体となる横ゲタの応

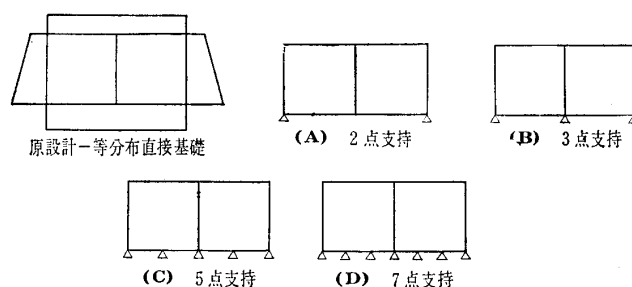


図-5

表-1 工 法 比 較 案

種別	概 要 図	工 事 概 要	問 題 点	備 考
① 水路高上げ		沈下に従って5年ごとにつき足し 1. 底版は沈下高だけ無筋コンクリートを打つ 2. 頂版はあらかじめ上げこして新たにつくり直し、延長は通水断面を確保するため5.0m程度 3. 片側通水で施工	1. ラーメン構造としては仕上がり断面は同じであるが鉄筋がつかないため強度がおちる。 2. 約5年で30～50cmの沈下なのでそのつど何回も施工が必要	1. 工事費は最も安い 2. 施工容易 3. 工期は最も短い 4. 通水量制限短期間
② C.C.P などクイ打ち		現水路底版から場所打ちクイを打つ 1. 水路両側しゃ水用C.C.P.2列 2. 水路下小口部 " " (ジョイント横断方向) 3. 底版下に止水用グラウト 4. 底版クイ打ち部分の穴明け 5. H鋼入り場所打ちクイ 6. 底版復旧 7. クラック処理(側壁など) 8. 片側通水で施工	1. クイと床版との一体化に信頼性が不足 2. クイと考える場合の支持力 3. シルト混じり砂質土にはグラウトがなかなか入らない。	1. 施工可能 2. 工期が長い 3. 通水量制限長期間
③ アンダーピニング		H形鋼で各ジョイントごと(1ブロックごと)に支える 1. リバースクイφ1,000mmを両側に打つ 2. 水路底下約2.00m掘り下げ 3. 止水用グラウト(水路底下の土砂が流出すると水路が落下するのを防ぐ) 4. 縦断方向に幅2.8mを限度として埋穴掘削 5. H形主ケタをさし込む 6. 同上ジャッキダウンをかけ主ケタにタワミをつける(下側に向けて)	1. 水路底下掘削の可能性 2. グラウトの効果、信頼性 3. 掘削深さが深い(10m)ので湧水の心配 4. 水路底の地耐力が施工中も大丈夫か 5. 水路よりの漏水 6. ジャッキと水路底とのなじみ材料の硬化時間(もりかえ可能時間)	1. 工事費が高い 2. 施工最も困難、1ブロック約1,500t重量 3. 工期が長い 4. 通水量制限なし
④ 連続壁		水路の両側に連続壁をつくり頂版でこれをつなぎボルトで函体とぬい地する 1. 連続壁を洪積層まで打つ 2. 天端を鉄筋コンクリートで結ぶ 3. ボルトでぬい地 4. 片側通水で施工	1. 連続壁がうまく打てるかどうか 2. つなぎボルトの強度 3. 函体自体の強度が耐え得るか	1. 工事費が高い 2. 耐久性に信頼がおけない。 3. 通水量制限短期間
⑤ つり(その1)		連続壁のかわりにクイ打ち、頂版上にH鋼と鉄筋コンクリートの合成バリをつくりボルトでぬい地 1. 支持クイを洪積層まで打つ 2. 天端を合成バリで結ぶ 3. ボルトでぬい地 4. 片側通水で施工	1. 支持クイがうまく打てるかどうか 2. 函体自体の強度が耐え得るか 3. クイは騒音問題より場所打ちクイとなる。	1. 耐久性に問題が残る 2. 通水量制限短期間
⑥ つり(その2)		両側にH形クイを打ち地上5.0mでHバリでこれをつなぎワイヤーなどで函体をつる 1. H鋼クイを洪積層まで打つ 2. 天端をHケタでつなぐ 3. 函体の底をワイヤーでつる	1. ワイヤーの耐久性 2. 函体下部の角の保護 3. 全体として安定性が心配 特に縦断方向の安定率 3. 水路上にある管理用道路の交通が不能となる。 4. 騒音対策	1. 施工困難 2. 通水量制限なし
⑦ シートパイル併用		両側にシートパイルを打ち内側グラウト 1. シートパイル打込み 2. 中央下部グラウト	1. シートパイルがうまく打てるかどうか 2. グラウトがなかなか入らない。 3. 騒音対策	1. 不経済 2. 施工困難 3. 通水量制限なし

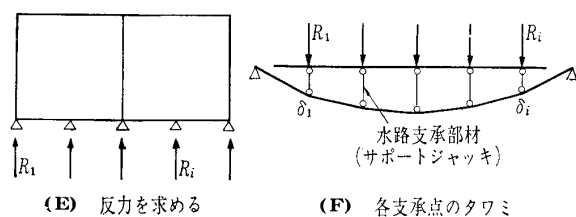


図-6

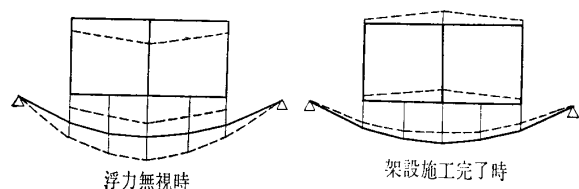


図-7

力および水路支承点のタワミを求める。

- ④ ①で求めた支承位置に③の横ゲタのタワミを調整するような支承部材を施し、横ゲタと連結する。すなわち①で求めた水路の支承条件を確保する。

以上でアンダーピニング完成時、かん体は設計当初の応力状態以内におさえることができる。この条件を満足させるためには、横ゲタの上フランジにまず油圧ジャッキを設置し、ジャッキダウン（かん体の許容タワミは計算上約1 mm であるので、逆に横ゲタを強制変形させなければならない）により横ゲタを強制変形させて設計で求めたタワミを横ゲタに確保し、サポートジャッキを支承位置に導入した後、油圧ジャッキを撤去し置換えを完了する（図-6）。しかしこの場合完成時の荷重は、まだ全部は載荷されていない。施工が進むにつれて水路支承反力、横ゲタの変形も変化する。つまり設計荷重以上（以下）の荷重が作用すれば、横ゲタはさらにたわむ（浮き上がる）ことになり、水路支承部も各々相対変化を生じる。これらについて完成時浮力無視時、架設施工完了時の応力を検討した（図-7）。この結果は、堤外および堤内5 mブロックについては7点支承、堤内15 mブロックについては5点支承となった。

設計手順としては、つぎのとおりである（図-8）。

- ① 設計荷重を用い当初設計の応力状態に近似的に等しいような支承位置を決定する。
- ② 上記の設計反力を用い、横ゲタの応力を検討した上で、各点のタワミを求める。
- ③ ①②を合成したものが、完成時の構造体となる。

つぎに完成時浮力無視時について検討を行なう。すなわち前記完成時構造系を基準に考え、各々荷重が変化した分の応力状態を重ね合わせの原理を用い、完成時の応力状態と合成して求める。

図-9 (A') 構造系を無応力状態とみなし、この構造系に完成時に対しての荷重の変化分を載荷させ（浮力のみ）これを解く。(A)+(B)が浮力無視時の応力状態である。

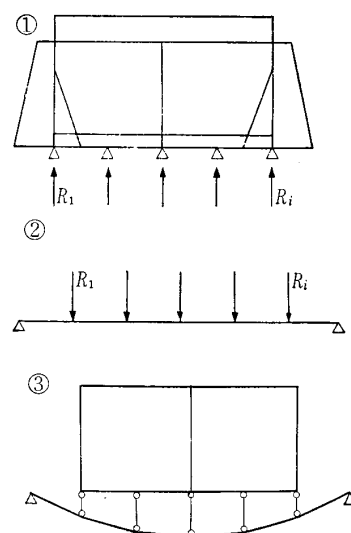


図-8

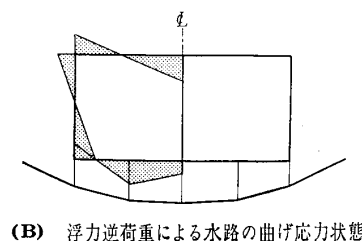
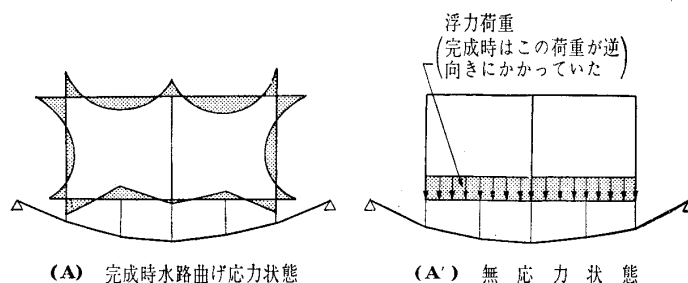


図-9

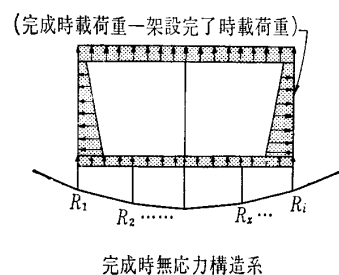


図-10

つぎに架設完了時の応力について検討する。

- ① 完成時の荷重、応力状態すなわち図-9 (A) を基準に考える。
- ② 架設完了時の荷重と完成時の荷重の差を、図-9 (A') に載荷する。
- ③ ②で求めた応力状態に、重ね合わせの原理を用い、完

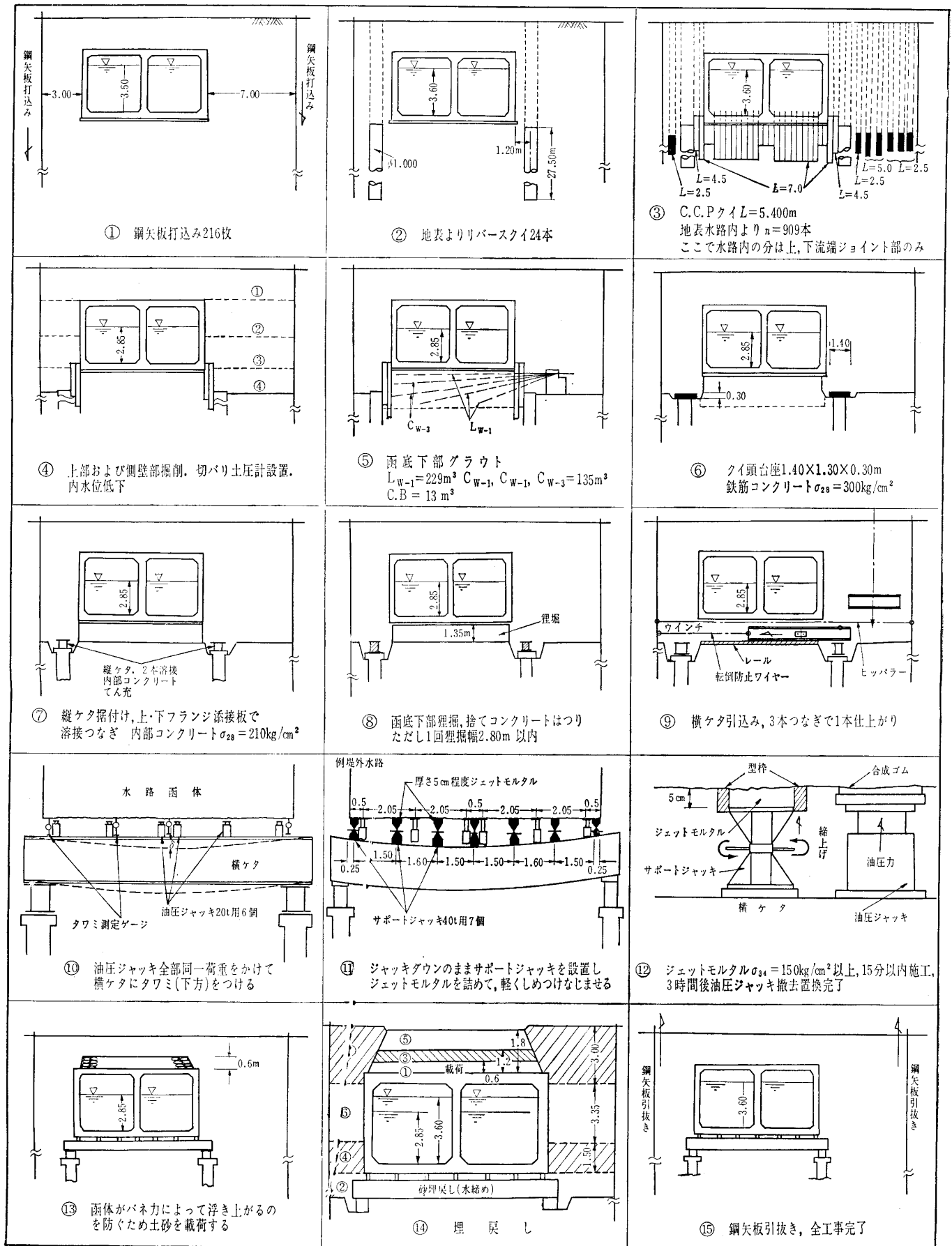


図-11 施工順序

表-2 主要工事数量

種 別	規 格	数 量
1. リバースグイ	$\phi 1,000 \text{ mm}$ $L=27.5 \text{ m}$ 許容支持力 250 t/本	24本
2. C. C. P. I.	$\phi 600 \text{ mm}$ $L=5,100 \text{ m}$ $\phi 450 \text{ mm}$ $L=300 \text{ m}$	延 5,400m
3. 鋼 材		計 211.3 t
①縦 ゲ タ	$H 588 \times 300 \times 12 \times 20$ SM50A 40本/2=20本 計 21.3 t	
②横 ゲ タ	$H 912 \times 302 \times 18 \times 34$ SM50A 141本/3=47本 計163.2 t	
③そ の 他	添接板など 26.8 t	
4. ジャッキ		
油圧ジャッキ	揚量 20 t以上, 機高 250 mm 以下, 集中コントロール同一圧力方式	6組
サポートジャッキ	支持力 40 t以上 SS41	291個
5. 合成ゴム板	クロロプレン系合成ゴム	134枚
6. ジェットモルタル	$\sigma_3 H=150 \text{ kg/cm}^2$ 以上, ジェットセメント使用, モルタル練上後15分以内施工	1 m ³
7. グラウト	セメント, ベントナイト, 水ガラス系 (LW ₁ , CW ₁ , CW ₃)	376m ³

成時の応力状態を合成して架設完了時の水路の応力状態とする。

④ ③で支点反力に負の引張応力を生じた場合, その支承体 R_x は浮き上がることになり, ②の構造系でその部材を撤去し, その引張応力を解放してやり, 同様の計算を繰り返して③で合成する。これで水路かんの施工時と完成時に対する応力検討は完了する (図-10)。

7. アンダーピニングの施工

施工順序は図-11参照

図-11中, 特に⑭では埋戻し土および浮力による荷重の変化が大きく, 横ゲタのタワミが変化するため, それらに対する水路応力の検討を行ない, 水路への悪影響を及ぼさないよう, 図-11に示す順序に従って慎重に施工を行なった。

横ゲタのジャッキダウン実績は表-3に示す。

8. 計器測定

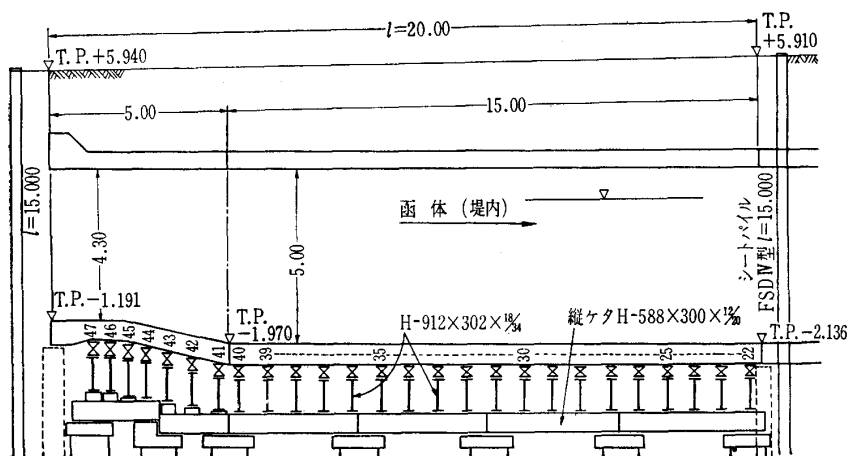


図-13 堤内水路側面図

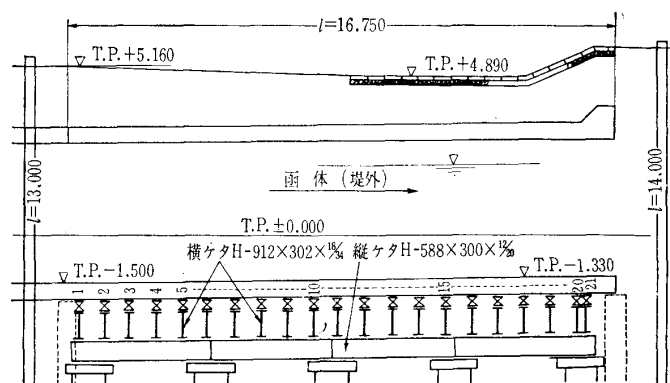


図-12 堤外水路側面図

施工中の各種測定は, つぎのようなことについて行なった。

- ① 切バリ反力計; 200 t 用 4 個使用し, 70 t を許容反力とした (最高 68 t を記録)。
- ② シートパイルの変位測定; (最高 21 mm を記録)
- ③ 水路の沈下, 浮上がり測定; 計 8 箇所レベルチェック
- ④ 傾斜計; ゲート巻揚台頂版 2 箇所設置したが特に異常はなかった。
- ⑤ ヒービング測定; 4 箇所に沈下計を設置
- ⑥ 水路基礎地耐力測定; 油圧ジャッキによる平板載荷試験を行なった

9. おわりに

工事を終わって見て, 留意しなければならないことをまとめて見ると

- ① 図-14で○印箇所は水路との間が 0.5m~1.5mのすき間を生じ, 漏水約 1 週間ごとのため度々工事不能となった。
- ② 図-15で○印箇所は弱いので切バリ

表-3 横ゲタのタワミ (中央部) ジャッキ欄 () 内は実績

ゲタ番号	油圧ジャッキ (t)	設計タワミ (cm)	実績タワミ (cm)
1	5 (5)	0.881	0.865
2	5 (5.5)	"	0.845
3	10 (10.5)	1.762	1.700
4	10 (10)	"	1.670
5	10 (10)	"	1.691
6	10 (10)	"	1.669
7	9 (9.5)	1.594	1.450
8	9 (9.5)	"	1.421
9	9 (9.5)	"	1.495
10	9 (9.5)	"	1.402
11	9 (9.5)	"	1.473
12	9 (9.5)	1.594	1.348
13	9 (9.5)	"	1.573
14	9 (9.5)	"	1.342
15	9 (9.5)	"	1.415
16	9 (9.5)	"	1.435
17	11 (11.5)	1.931	1.855
18	"	"	1.823
19	"	"	1.834
20	"	"	1.802
21	"	"	1.800
22	9 (7.5)	0.96	0.990
23	9 (9)	"	1.107
24	"	"	1.187
25	"	"	1.125
26	"	"	0.981
27	"	"	0.935
28	"	"	0.967
29	9 (9.5)	"	0.951
30	"	"	0.962
31	9 (9)	"	0.945
32	10 (10)	1.062	1.098
33	"	"	1.050
34	"	"	1.079
35	"	"	1.091
36	9 (9)	0.960	1.095
37	"	"	0.942
38	"	"	0.983
39	"	"	1.052
40	"	"	1.003
41	3 (3)	0.405	0.502
42	5 (5)	0.708	0.698
43	8 (8)	1.224	1.270
44	10 (10)	1.603	1.895
45	12 (12)	1.912	2.106
46	15 (15)	2.141	2.445
47	17 (17)	2.475	2.735

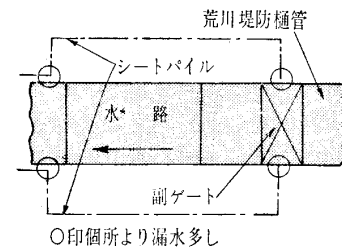


図-14 堤内平面図

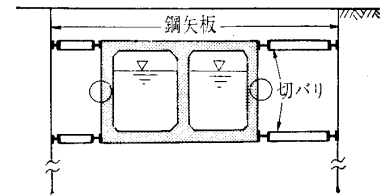


図-15 断面図

反力を伝達しないようにする。

- ③ 止水グラウトは LW₋₁, CW₋₁ だけでは止水困難で、CW₋₃ を全体の 1/3 ぐらい必要とした。
- ④ リバースグイ (地表より施工, 8 m 下がクイ天端) は許容偏心量を 20 cm 見込んでいたが, 本工事では地中障害物などの影響により, 最大 67 cm となってしまう。この設計変更のため約 2 週間工程が遅れた。
- ⑤ 横ゲタは細幅系の H 鋼であるため, 引込みの際転倒防止装置の配慮が必要である。
- ⑥ ケタ引込み用ウインチは特殊な低速ウインチが良い。
- ⑦ 狸掘時水路底版捨コンクリートをはつときは, 底版との密着度合いが, 部分的に強い所と弱い所があるので, 特に安全性を考えながら慎重な施工を行なうことが大切である。
- ⑧ 土留め支保工は反力体を当該水路にとっているが, 施工中の水路の変動 (沈下および水平移動) による支保工への悪影響を生じる恐れがあるので, 各種計器類を十分にとりつけ施工管理をする必要がある。
- ⑨ 特にこのようなアンダーピニングの構造系の下では, 埋戻し時の荷重管理は細心の注意を要する。
- ⑩ 狸掘りは 1 回あたり掘削最大幅を絶対に守り, 夜間作業はできるだけ避けるよう工程を考える。安全上最も慎重を要する作業である。
- ⑪ サポートジャッキと水路底版とのなじみ材料は, 硬化時間, 施工の難易, 強度, 耐久性などについて検討し, ジェットモルタル (特殊な超早強セメントを使用) を使用したが, 良好な結果が得られた。

以上のような点がポイントと思われるが, 今まで経験した工事の中では安全面, 施工面において全工事期間を通じて, まったく気のぬけない緊張の連続を要求された難工事の一つであった。

(原稿受理, 1975. 3. 17.)