

日光川河口水閘門の床版について

神 田 精 夫
村 上 巳 代 治

1. ま え が き

日光川河口水閘門は、その規模の大きさ・施工期間の長さなどにおいて、設計および施工上の問題が多かった。その設計施工にあたっては、現地地質による沈下問題とあいまって、各部の構造が大型となり、従来の鉄筋コンクリートの概念のほかに、マスコンクリートとしての考慮を払う必要があった。そこで、水閘門工事のうち、主として床版について、施工および施工後における、温度変化による版の伸縮の問題を検討するため、各所に温度計・継目計・鉄筋計を設置し、施工途中から完成までの約2カ年間の観測を続け、施工時の参考資料とし、現在に至っている。なお、日光川河口締切工事の概要については、すでに、報告^{1),2)}があるので、それを参照していただきたい。

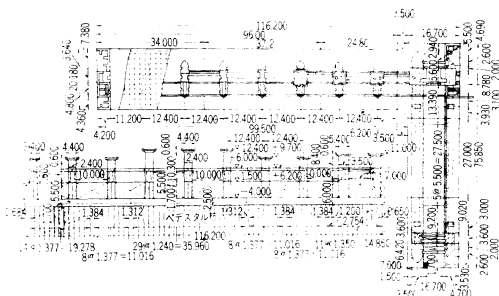
2. 水閘門床版の設計施工概要

(1) 水閘門の構造

水閘門の構造は、図-1 のようである。基礎はベドスタルくい打ちとし、その上に鉄筋コンクリートの床版を設ける。水門部有効幅は、10 m 8連と、閘門部有効幅7.0 m 1連をカギ型に併設する。

(2) 床版の構造

図-1 日光川水閘門平面図および側面図



カット写真：水閘門の全景（本誌 口絵写真 参照）

床版の広さは、図-2 のように、水門部は幅 20.18×99.5 m、閘門部は 16.7×75.85 m である。また、厚さは一般にスパンの 1/5~1/7 とされるようであるが、ここでは 1.7 m とした。この床版の構造の決定にあたり、特に考慮したことはつぎの点である。

① 一枚の連続した版として設計施工することは不可能である。5800 m³ という大量コンクリートの連続打設が困難かつ不経済であるうえ、技術的に、温度変化・乾燥収縮・基礎の不等沈下などの悪影響をうけ、コンクリートにクラックを生ずる危険がある。

② 一方、床版を細かく分割することは、いたずらに伸縮継手の数を増やし、構造上の弱点となり、ろう水の原因をまねくだけでなく継手延長が増え不経済となる。

③ なお、床版をセルラー構造とすることは、全般的な死荷重を軽減し、かつ温度による悪影響を除去するためには有利であるが、施工が複雑困難となり、工期の少ない工事にあってはきわめて不利となるうえ、工費はかえって増大するので、これを採用しなかった。

以上の諸点を考慮して、床版の構造は図-2 のように6枚の版に分割した。さらに水門部は施工上から1スパン 12.4 m ごとに施工継手を設け、それぞれ 2~3 分割した。したがって、コンクリートは 11 回にわけて打設することにした。伸縮継手は図-3 のような構造とし、止水板・セロタイトおよびセロシールなどを用い水密性を考慮したうえ、スリップバー、補強鉄筋などによって左右の版の不等沈下をも防ぎ得るものとした。施工継手は図-4 のようにし、左右の版が一体となるように留意した。また、6枚の版は、弾性床土上の平版として応力計算を行ない、必要な配筋をした。その詳細については、すでに報告³⁾ がある。

(3) 床版コンクリートの配合

床版コンクリートの設計強度は、 $\sigma_{28} = 180 \text{ kg/cm}^2$ であったが、

① 日光川は、現在すでに相当の汚染をされているう

図-2 計器埋設位置図

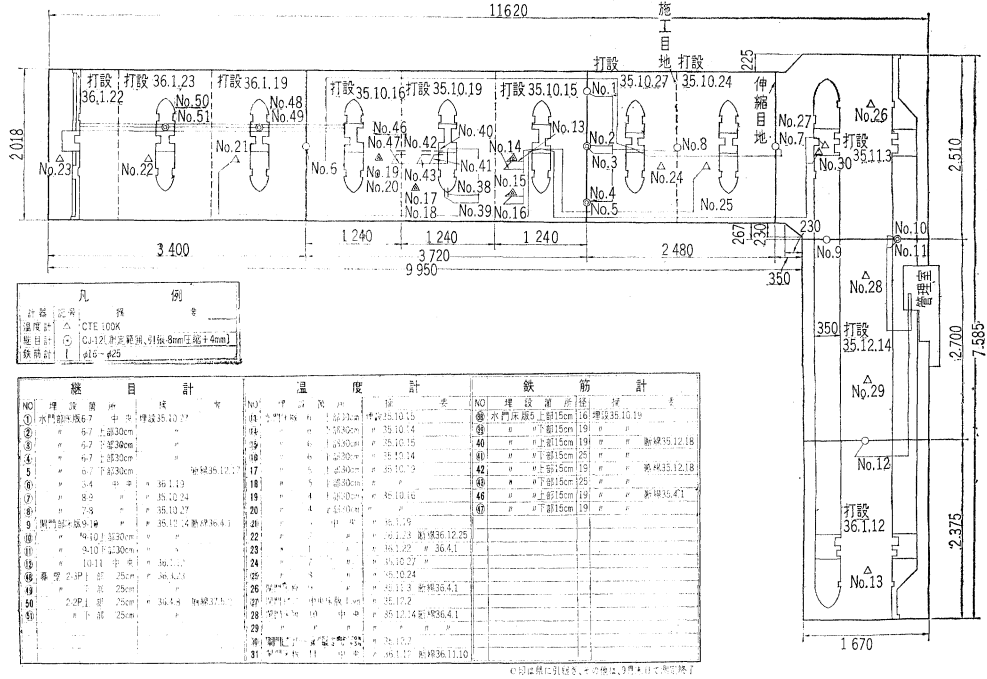


図-3 床版の伸縮目地

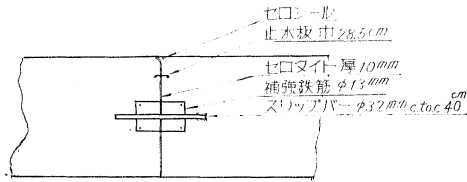
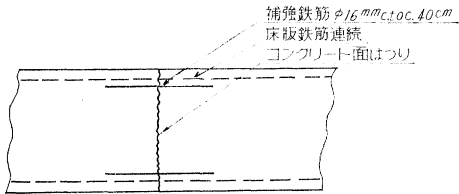


図-4 床版の施工目地



え、今後ますますその割合が高まることが予想されること

② 海水に浸る鉄筋コンクリートであることなどの点を考慮して、かなり富配合(表-1)とした。なお、施工したコンクリートは、表-2.のようであって、かなり優秀な管理状態であったものと思う。

表-1 床版コンクリート配合表

設 計 条 件					示 方 配 合											
設計強度 σ_{28} (kg/cm ²)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラブの 範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	単位セメ ント量 c (kg)	単位水量 w (kg)	水セメン ト比 w/c	絶対細骨 材率 S/A	表 乾 の 骨 材						A E 剤 ポゾリス No. 8 (kg)		
								骨 材 A (kg)	砂		砂 利		G		大	小
									S	粗	細	G				
180	50	8±1	3±1	330	135	41	30	1957	577	404	173	1380	690	690	0.825	

表-2 床版コンクリートの管理係数

平均強度 \bar{x} (kg/cm ²)	移動範囲 R'	試験誤差 の変動 v' (%)	変動係数 v (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	資料の数
315.5	11.5	5.7	4.4	7~10.6	2.0~3.7	3×32

(4) 床版コンクリートの打設

コンクリート プラントは、28 切 2 基、全自動バッチャー プラントとし、これを現場にすえつけ 1 回の連続打設量は、水門部約 450 m³、閘門部約 860 m³ で、施工に対する所要時間は、連続 24 時間~40 時間であった。

3. 計器の埋設

埋設する計器はカールソン型とし、構造物の温度測定のため温度計 19 個を、床版の伸縮継手部分における床版の伸縮長を測定するために継目計 16 個を、さらに床版に対して働く各種の荷重(温度による伸縮のほか、上部構造物の自重、水圧、床版の沈下による影響などもある)にもとづく鉄筋の応力を測定するために鉄筋計 8 個をそれぞれ図-2のように埋設した。水門塔の立上りにつれてリードコードをその中に埋込みつつ、管理橋地覆に引き出し、ここで観測をつづけた。

表-3 温度計の記録一覧表

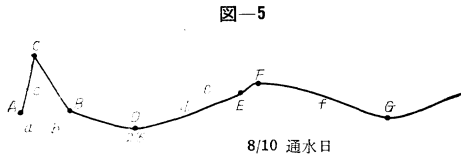
No.	A	B	C	c			a+b	a	b	D	E	F	G	d	e	f
				上	中	下										
13	18.5		45.5	27.0	—	—	△20	2	18	4.6	△25.9	28.3	9.2	21.3	2.4	19.1
14	18.5		△51.5	—	—	△33.0	50	3	47	6.0	23.1	29.5	2.5	17.1	6.4	△27.0
15	18.5	A	47.6	△29.1	—	—	23	2	21	▲3.0	26.9	29.2	4.0	△23.9	2.3	25.2
16	18.5		49.9	—	—	31.4	44	4	40	5.0	24.4	▲24.7	4.5	19.4	▲0.3	20.2
17	17.5		38.9	21.4	—	—	21	3	18	3.5	▲20.4	▲29.8	4.4	16.9	▲9.4	25.4
18	17.5	同	45.4	—	—	▲27.9	▲58	4	54	8.5	23.4	24.9	5.9	14.9	1.5	19.0
19	18.5		▲38.3	▲19.8	—	—	23	3	20	3.3	24.8	28.2	▲2.5	21.5	4.2	25.7
20	18.5		50.3	—	—	31.8	48	3	45	▲9.5	23.2	24.2	▲10.2	▲13.7	1.0	▲14.0
21	5.0		50.8	—	▲45.8	—	33	3	30	7.1	24.0	26.6	7.9	16.9	2.6	18.7
22	5.0		45.3	—	40.3	—	36	3	33	4.7	24.5	—	—	19.8	—	—
23	5.0		44.1	—	39.1	—	25	3	22	—	—	—	—	—	—	—
24	16.5		46.9	—	30.4	—	32	3	29	6.0	24.0	27.4	7.4	18.0	3.4	20.0
25	16.5		44.7	—	▲28.2	—	36	2	34	6.2	23.6	26.9	4.9	17.4	3.3	22.0
26	15.2		45.1	—	29.9	—	35	2	33	5.2	—	—	—	—	—	—
28	6.0		44.6	—	38.6	—	52	4	48	7.7	—	—	—	—	—	—
29	6.0		47.5	—	41.5	—	48	3	45	7.5	—	—	—	—	—	—
31	5.0		40.1	—	35.1	—	25	3	22	—	—	—	—	—	—	—
平均	—		45.7	32.4			35.8	3	32.8	—	—	—	—	—	—	—

備考 ▲: max C: 硬化熱のピーク b: C から B に至る日数 F: 通水後の最高温度 e = F - E
 ▲: min c = C - A D: 通水前の最低温度 G: 通水後の最低温度 f = G - F
 A: 打設時の平均気温 a: A から C に至る日数 E: 通水前の最高温度 d = E - D

4. 観測の成果

(1) 温度計

床版に埋設した温度計の観測結果を表-3に示す。これを一般的に図解すると、床版コンクリートの温度は打設後その硬化熱のため急昇して、約3日後にピークC点(図-5参照)に達し、その後約32日を経て元の温度B点に下降する。その後はDEFG点を経る。ここにD点は冬期における低温の影響であり、D-F点間の上昇は夏期高温に向っての影響であり、F-G点の下降は、36年8月10日水閘門通水による冷却および冬期寒冷に向う影響である。これらのことから、つぎの諸点がわかる。



① 初期硬化熱について：温度の最高は 51.5°C であり、50°C を越えるものがほかに2カ所あったが、ともに床版の下側 30cm または中央部に設置したものであった。また、最低値は 38.3°C であるが、これは床版の上側 30cm に設置したものである。平均値は 45.7°C であり、温度上昇幅の平均値は 32.4° である。

② 床版の上側と下側の温度差について：今、床版 No. 2 に埋設した8個の記録をみるに、厚さ 1.7m の上側 30cm の位置に取付けた No. 13, 15, 17, 19 と、下側 30cm の No. 14, 16, 18, 20 値とは明らかに異なった傾向がみられたので、特にそれぞれの平均値を 図-7

に太線で示した。すなわち、初期熱の値は下側が常に高く、ピーク(C点)において 5°C、下降時には 10°C も開いた。これは熱発散の速度が表面が速いことを意味する。その後は、冬期は下側が高く、夏期は上側が高い。この差は 4°C である。名古屋気象台の日最低最高の月平均値を図示すれば、気温と床版温度との相関がわかる。すなわち、平均気温の冬夏の差は 24.5°C であるが、床版の温度差は 20.5°C である。また、通水前は気温と床版温度の最低は同時(36年2月)であるが、通水後は気温より 1~2 カ月遅れて床版の最高・最低がくる。これは水温による影響をうけるものであろう。

(2) 継目計

床版の継手に埋設した継目計の読みを 図-8 ならびに表-4 に示す。これによると、コンクリート打設直後はやや不規則な動きをするが、その変動量は少なく、やがてかんまんに上昇(目地が開き床版が縮む)し、3月30日頃のB点(図-6参照)を最大値として、下向(目地が縮み床版が伸びる)に転じ、やや急速にC点に達し、8月10日の通水後小さなピークD点を形づくるが、9月から再び上昇し始め、2月末に再びピークF点を生ずる。これらのことから、つぎのことがわかる。

① 施工継手に設けた No. 8 の読みは、わずかに 0 から -0.15mm の範囲を変化するにすぎず、観測の誤差の範囲とみられ、目地の伸縮は皆無と考えてよい。こ

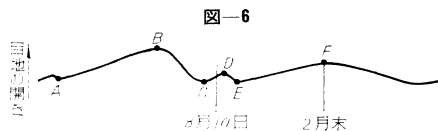


図-7 温度計記録図

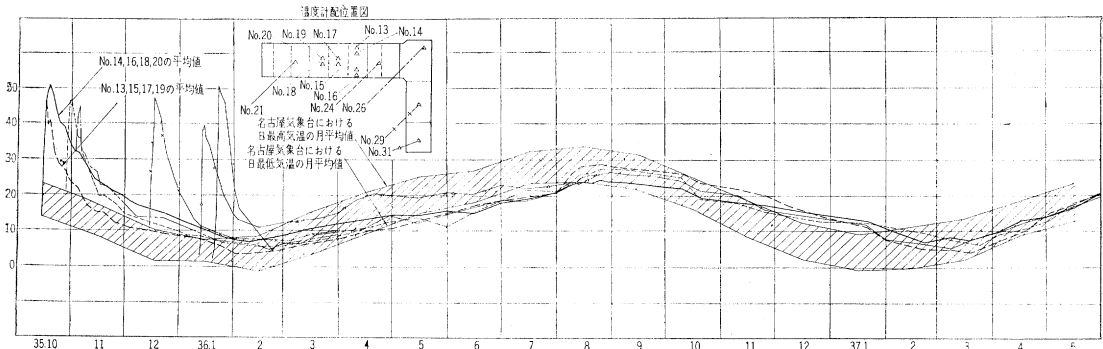


図-8 継目計記録図

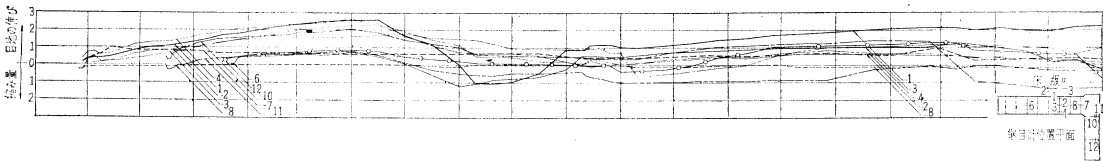


図-9 継目計記録図

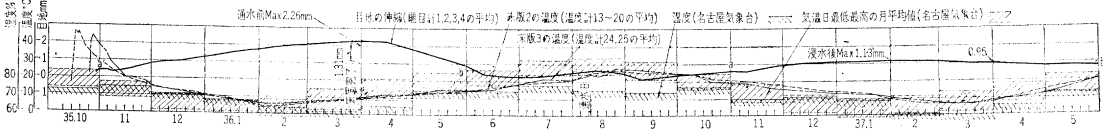


図-10 鉄筋計記録図

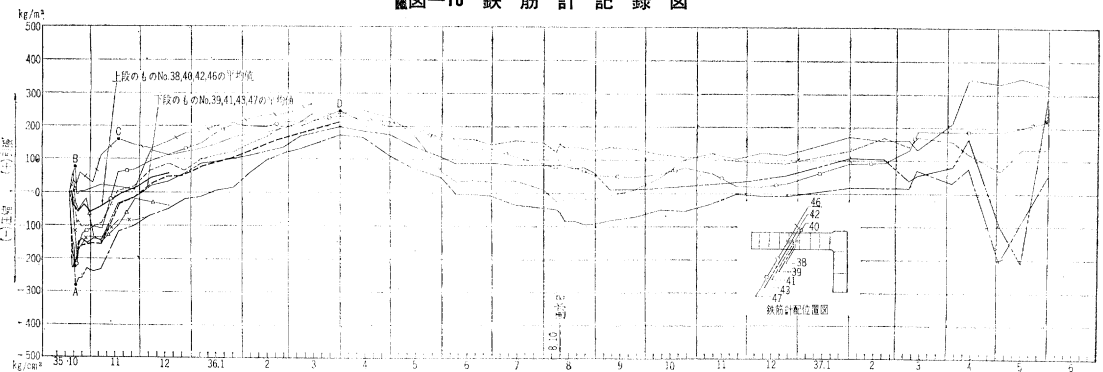


表-4 継目計の記録一覧表

No.	A	B	C	D	E	F	伸縮幅	版の スパン	伸縮率
1	0.5	2.5	-1.0	1.2	1.0	△2.1	△3.5	31 m	△1.06 × 10 ⁻⁴
2	0.2	2.3	0.1	0.3	0.1	0.6	2.2		0.71
3	0.2	1.6	0.9	0.9	-0.7	1.2	2.3		0.74
4	0.7	△2.7	0	0.4	0.1	0.8	2.7		0.88
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0	0.7	-1.3	0.5	0.5	1.2	2.5	35.6	0.70
7	-0.3	0.6	0.5	0.5	0.4	0.9	1.2	22.5	0.54
8	-0.15	0	0	0	-0.15	-0.1	0.1	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	0.3	2.0	0.4	0.4	0.4	1.4	1.7	26.0	0.65
11	-0.3	0.8	-0.6	-0.4	-1.0	-0.1	1.8	26.0	0.69
12	0	0.9	0	0	-0.4	1.3	1.7	25.4	0.67

備考 △: 最大値
A: 初期
B: 3月30日付近の最大値
C: 通水前の最小値
D: 通水直後の最大値
E: 通水直後の最小値
F: 通水後の最小値

これは、施工継手はその目的を果たし、完全に一体となっていることを意味する。

② 伸縮継目の開きの最大値は通水前 +2.7 mm, 通水後 +2.1 mm, 縮みの最大値は通水前に -1.3 mm, 通水後は -1.0 mm である。版の長さに対する伸縮値の比率の最大は、 1.06×10^{-4} , 最小は 0.54×10^{-4} となる。

(3) 床版コンクリートの伸縮について

ここで床版コンクリートの伸縮状況を明らかにするため、床版 No. 2 と No. 3 の間の伸縮目地について、継目計 No. 1, 2, 3, 4 の平均値と、床版 No. 2 および No. 3

の平均温度、さらに名古屋気象台の気温と湿度を 図-9 に併記してみる。

この 図-9 から、伸縮状況をつぎのごとく説明することができる。

① まず最初に特筆すべきことは、初期熱にともなう目地の伸縮はほとんどないことである。

② その後温度降下にともない、目地の開きが増えるが、2月5日の床版の最低温度を過ぎてもおお増加をつづけ、3月30日でピークとなっている。これは明らかに乾燥収縮による現象であろう。湿度は3月が最低で風も強く、乾燥による床版の収縮量が温度上昇による膨張量を上まわり全体として目地が開くものと考えられる。

③ つぎに4月から急速に曲線は下降(目地の開きが減少、すなわち床版がのびる)に向い、6月中頃大体打設時の姿にもどっている。これは3月末に水閘門本体、および前後の床土工が概成し、現場内排水を減らしたため、地下水水位が高まって床版自体が浸水に近い状態となったこと、および外気の湿度も増し、温度上昇とあいまって湿潤膨張をしたと推定される。これは36年8月10日における水閘門の通水による影響がわずかなピークを示したのみであったことからわかることである。

④ さらに8月10日から9月10日まで下降線(目地の開きの減少)を示したのは、通水後における湿潤膨張の影響がつづき、ここで床版が完全に浸水状態となったことを意味する。

⑤ その後は主として気温したがって水温の上昇、下降の影響のみをうけて、伸縮をつづけているものと思われる。

(4) 床版の伸縮抵抗について

さて床版の伸縮の原因は、温度と湿度によるものであることが判明したが、その伸縮量は、通水前の最大値2.26mm、通水後は1.13mmである。しかしながら、床版の構造を考えると、ベダスタルくいの頭部鉄筋は床版にアンカーされており、また基礎面の摩擦抵抗もあり、自由に伸縮するものではない。いま、通水後温度のみによる伸縮量(Δl)をコンクリートの膨張係数($\alpha = \frac{10}{1\,000\,000}$)から算出すると、通水後の温度差($t = 20.5$ °C)、スパン長($l =$ 床版 No. 2 と No. 3 の半分 $= \frac{l_2}{2} + \frac{l_3}{2} = \frac{37.2 + 24.8}{2} = 31$ m)より、

$$\Delta l = l \cdot t \cdot \alpha = 31 \times \frac{10 \times 20.5}{1\,000\,000} = 0.006(\text{m}) = 6(\text{mm})$$

すなわち、6mmとなる。もちろんここにはクリープなどもあり、この値は幾分小さくなるにしても、実際の目地は1.13mm-0.15mm=0.98mmしか伸縮していない。この差が床版の伸縮をはばんだ分で、これに相当す

る応力が鉄筋コンクリート床版の中に内部応力として貯えられたことになる。また、この応力に堪えられないときは、コンクリートにクラックを生ずるわけである。

(5) 鉄筋計

鉄筋コンクリート床版の中において鉄筋に作用する応力を調べるため、床版 No. 2 に埋設した鉄筋計の読みを 図-10 に示す。これからつぎの点がわかる。

① 鉄筋計の読みについては、塔その他の死荷重の影響を計算しなければ正確なことはいえないわけである。通水前の状態では、上部荷重に対しては、上下段で正負となるべきものが、実際には上下段の鉄筋とも全く同一の傾向を示し、初期には温度のピーク時を頂点に圧縮応力を示し、その後ともに引張側に転じて、3月30日の最も目地の開いたときに応力が最大となり、その値もほぼ200kg/cm²を示した。このことは、上部荷重による応力は僅小で、床版の伸縮にともない、その自由を阻止するための内部応力が、より大きく鉄筋に生じていることを意味するものと思う。

② 鉄筋計を上段のもの、下段のものにわけて、それぞれその平均値を求めてみると、図-10のごとくなり、初期発熱時の圧縮応力はともに圧縮側であるが、下側の鉄筋が大きく、発熱の終了とともに上下とも0に近づいている。これは上段、下段の温度差による床版の“そり”を意味するものであろう。

③ また 図-10 より、初期硬化時の鉄筋計の圧縮側の最大値A点では、鉄筋の応力は-280kg/cm²を示し引張側の極大値B点では、+75kg/cm²を示し、さらにC点では、+160kg/cm²を示している。3月30日の+250kg/cm²は、引張力の最大値(D点)となっている。

(6) 床版の内部応力

マッシブな床版コンクリートは、引張力に対し、最も危険性があるが、(5)の鉄筋計の記録でみる限り、コンクリートはクラックを生ぜず、引張力に鉄筋とともに抵抗していると考えられる。

その理由は、もしコンクリートがクラックを生じたとすれば、引張力のすべてを鉄筋で受持つことになり、鉄筋の応力はずっと大きくなるはずである。実際にも、床版について眼に見えるクラックは生じなかったことを確認している。そこで、コンクリートが鉄筋とともに引張力に抵抗しているものとして、次式により、鉄筋の応力からコンクリートの引張応力を、図-10のA,B,C,D各点について求めてみる。今、 σ_s : 鉄筋計の応力、 σ_c : コンクリートの応力、 E_c : コンクリートのヤング係数(圧縮強度の1000倍)⁹⁾、 E_s' : 鉄筋のヤング係数(210000kg/cm²)、 σ : 床版コンクリートの強度(σ_{28} は表-2から315kg/cm²)であり、これから $\sigma_3 = -120$ kg/cm²または

+15 kg/cm², $\sigma_{28}=+24$ kg/cm², $\sigma_{180}=-375$ kg/cm² または+28 kg/cm² 5), f : 安全率とすれば,

$$\sigma_c = \frac{E_c}{E_s} \times \sigma_s, \quad f = \frac{\sigma}{\sigma_c} \dots\dots\dots(1)$$

式(1)を用いて計算すると、各点の応力および安全率はつぎようになる。

	A 点	B 点	C 点	D 点	摘 要
σ_s (kg/cm ²)	-280	+75	+160	+250	+ は引張
σ_c (σ)	-16	+4.3	+24	+44.5	- は圧縮
σ	-120	+15	+24	+28	
f	7.5	3.5	1.0	0.63	

上記の値から、A,B 点すなわち初期においては、十分安全であるが、D 点においては 1 以下となり、すでにヘヤー クラックを生じたものとみなされるが、これにはコンクリートのクリープを考慮しなければならないので断言できない。ここでもし無筋コンクリートならば有害な眼に見えるクラックを生じたかも知れない。

(7) 床版の伸び能力

コンクリートの伸び能力について、「コンクリート マニュアル」に、無筋コンクリートの供試体による伸び率が報告されているが⁶⁾、今平均値を $\frac{100}{1\,000\,000}$ として、この値を床版 No. 2 と No. 3 の目地の開きに換算すれば、3.1 mm と

$$\left(31 \times \frac{100}{1\,000\,000} = 0.0031 \text{ m} = 3.1 \text{ mm}\right)$$

なる。もちろん床版は鉄筋コンクリートであり、伸び率はもっと大きいと思われる。

5. 床版の設計施工上の留意すべき二、三の問題

以上で観測成果を取りまとめたのであるが、ここに改めて、日光川水閘門の床版の設計施工をかえりみると、この種大型の床版を伸縮継手と施工継手により分割し、施工を容易確実に進め得たこと、および各継手は一応その目的を達し、床版には現在までならぬ有害なクラックを生じなかったことは幸いであった。しかしながら、観測成果をつぶさにみると、工期を急ぐあまりにたとえば乾燥収縮などに対する十分な対策ができなかったことは、今後大いに反省すべきものと思う。以下に、こうした厚い大型の床版の設計施工上の二、三の問題について述べてみる。

(1) 床版の温度変化とその対策

a) 温度変化 厚いコンクリート床版の温度変化は、その原因により、① 気温によるもの、② 初期硬化熱によるもの、に大別される。

さらに、このそれぞれについて、温度変化の性質により、①' 時期的変化、②' 位置的变化、にわかれる。

① の気温によるもののうち、昼夜の温度変化による床版の影響は、表面のみで 30 cm 下では認められな

った。これに対し、四季を通じての床版の温度変化は、気温変化幅の 85% に達した。また、冬夏には床版の上下において 4°C の差を生じた。これは、通水後では時間的にわける傾向を生じたが、値には大差なかった。

② の硬化熱によるものは、本例では打設後 3 日で、32°C の上昇をみせ、35 日で常温にもどった。この間温度下降時に床版の上、下段で 10°C の差を生じた。

b) 床版の温度変化のコンクリートにおよぼす影響 上記の温度変化が起きた場合、コンクリートは熱膨張作用を起こし、床版は伸縮または「そり」を生ずる。しかしながら、このとき床版にその自由な変形をはばむ力が作用するので、床版の見掛けの伸縮、または「そり」は小さくなり、したがって床版に内部応力が生ずる。特に床版の収縮をはばむ力はコンクリートに引張応力を生じ、クラックを発生し、床版を損傷する原因となる。

初期硬化熱によるコンクリート応力は、一般には圧縮力であり、弾性係数の小さいことと、クリープなどの作用もあって、十分安全である。しかし、温度低下時には表面を急冷するとコンクリート表面に引張応力を生じ、表層クラックの原因となるので注意すべきである。

c) 温度変化を少なくする方法 温度変化のうち、① の気温そのものを制限する方法はないが、② の硬化熱に対しては、つぎの方法により発熱を軽減できる。

① コンクリート材料のクーリング：多額の工費を要すること、この種床版ではダムほど熱の累積がなく、約 1 カ月で常温に復すので、この場合はその必要がない。

② セメント量の減少：鉄筋コンクリート構造であり耐久性の点からあまり減少できない。

③ 低熱性セメントの使用：夏期施工の場合にはぜひ使用したい。

④ AE 剤等に低熱性のものを使用（例えばポゾリス No. 8 等）：比較的費用を要せず、他の目的（施工軟度・強度等）ともあいまって、有効な方法である。

⑤ 養生：温度そのものをいかに下げても養生をおこなったときは、表面の乾燥収縮を生じクラックの原因となる。特に初期硬化熱の表面の急冷は一番注意する必要がある。養生期間はこの程度のマス コンクリートでは少なくとも約 1 カ月間実施しなければならない。

(2) 床版の乾燥収縮とその対策

a) 乾燥収縮 床版の乾燥収縮はもちろん工事施工上の問題であり、通水後は一定になる。厚さ 1.7 m の床版ともなると簡単には、乾燥しないように考えがちであるが、本例では 2~3 月の乾燥期には、温度上昇をはるかに上まわった乾燥収縮を示した。

b) 乾燥収縮の影響 床版コンクリートが乾燥し、水分の減少を生じた場合は、温度変化と異なって、コンクリート中の「セメント・ゲル」そのものが収縮し、床版

は縮もうとする。このとき、これをばむために内部に引張応力が生じ、クラックを生ずる原因となる。また、表面のみの乾燥は表面きれつの原因となる。

c) 乾燥収縮を防ぐ方法 温度は人工的調節がむずかしいが、乾燥収縮の場合は施工中のみの問題であり、かつ注意すればかなり減少できる。

乾燥収縮を防ぐには、施工中を通じての長期の養生が必要である。養生の方法としてはつぎの方法がある。

- ① ぬれむしろ
- ② 湿砂でおおう
- ③ ビニール吹付け被幕養生
- ④ 溝水

①と②は初期の養生には適するが、他の工事との関係で、躯体作業などが始まると困難となる。

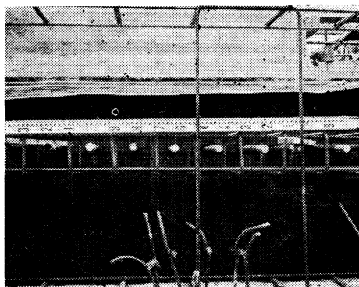
③は床版の表面の養生には最適であり、コンクリート打設直後と、その後むしろなどをとったとき、乾燥期前と数回くり返し行なえば完璧である。床版の側面は型わく取りはずし、後ビニール吹付けを1回施工し、その後土砂のできる限り早く埋めもどすのがよい。④の方法は床版の最終的な姿であり、できる限り早くこの状態にした方がよい。最初から④の方法がとられれば理想的である。

なお、コンクリートの配合の際使用水量を減ずることが乾燥収縮の少ないコンクリートを得るに大切である。

(3) 床版の設計施工上の問題

床版の伸縮の主たる原因は温度・湿度の影響によるものであり、これを人為的に制限することが、伸縮量そのものを少なくし、これにともなう悪影響を除く方法であることは言をまたぬところである。しかしながらこれには限界があり、床版そのものの構造と施工方法とによってその悪影響をできるだけ除くことが大切であり、つぎの方法が考えられる。

写真-1 床版の伸縮継手



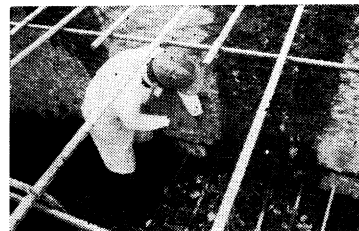
- a) 伸縮継手を適当に設ける。
- b) 鉄筋を補強する。
- c) 施工時期を選ぶ。

a) 伸縮継手

床版が長大なる場合は適当距離に伸縮継手を設ける。伸縮継手の位置の決定に当たっては、つぎの点に留意する。

① 床版の伸縮量については、前述のほかに、床版

写真-2 床版の施工継手



の基礎の状況により異なる。本例のようにベDESTALクイ頭鉄筋を床版にアンカーした場合には、長さ 10m につき 1mm の伸縮幅を考慮すればよい。

② 1板の版の幅対長さの比は、コンクリート舗装版と同様に 1~2 程度とした方がよい。

③ コンクリート打設速度については改めて述べる。

なお、伸縮継手の構造については、水密性と不等沈下に対処できることが肝要である。水密性については最近塩化ビニール系の止水板ができ、昔のような苦勞の必要がなくなった。不等沈下を起こしては水密性もなくなり構造物自体不都合を生ずるので、スリッパーを設ける必要がある。本例では、床版死荷重の 1/2 を支持できるよう $\phi 32$ mm を 20 cm ピッチに用いた (図-3 参照)。

b) 鉄筋の補強 床版は普通鉄筋コンクリートであるが、コンクリート断面にくらべ鉄筋比はわずかとならざるをえない (本例では $P = \frac{\text{鉄筋体積}}{\text{コンクリート体積}} = 0.3\%$)。しかしながらクラックの集中的な発生または表面きれつの防止には有効である。また、床版が複鉄筋の場合はよいが、単鉄筋の場合には反対側に補強鉄筋をそう入したほうがよい。

c) 施工時期 この種の厚い大型の床版は、もし打設時期を選ぶことができれば、一般には冬期に施工するのが、一番安全かつ経済的である。その理由はつぎのようである。

- ① 冬期から春にかけて温度上昇と乾燥収縮が相反するので伸縮量を小さくできる。
- ② 初期硬化熱の最高温度を低減することができる。
- ③ 打設後の気温が打設時よりも常に高く、したがってコンクリートには常に圧縮力が働き、きれつの心配がない。
- ④ 冬期はコンクリートの凝結開始までの時間が長くしたがって打設作業が容易となる。

(4) 厚い大型の床版コンクリート打設上の問題点

床版はコンクリートを一体として施工しなければならない。特に厚く広い床版コンクリートの打設計画は、あらかじめ十分検討を加え、施工を進めることが肝要であり、つぎの点に留意する必要がある。

a) 打設順序 図-11のごとく打ち進むものとする。

b) 打設速度 この場合下段のコンクリートが固まらないうちに、上段のコンクリートを打設する。打設速度

図-11 側面図

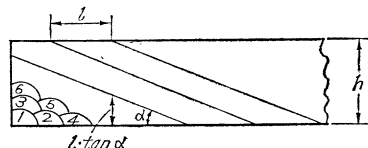
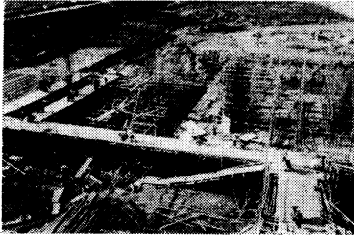


写真-3 床版のコンクリート打設



の条件式は、 V ：1時間当り打設量 (m^3/h)、 b ：床版の幅 (m)、 h ：床版の厚さ (m)、 α ：コンクリートの打設勾配、 T ：コンクリートの打設から凝結始めまでの時間 (h)、 l ：1時間当り打設長 (m/h)= $Vb \cdot h$ とすれば式(2)が得られる。

$$l \cdot \tan \alpha = \frac{h}{T} \quad \text{よって} \quad V = \frac{b \cdot h^2}{T \cdot \tan \alpha} (\text{m}^3/\text{h}) \quad \dots(2)$$

c) 打設作業の経済性 式(2)により、時間当り打設量が決定できるので、これにマッチしたプラント能力、運搬能力、打設順序と足場などを計画しなければならない。逆に打設作業を経済的に計画するためには、 V を小さくすることが肝要であり、このためには式(2)から、つぎのことがいえる。

① b を小さくする。すなわち、床版の縦横の小さい方を打設線 b とする。

② α は大きいほど有利となる。したがって、かた練りコンクリートほど有利となる。本例では、スランプ 8 cm の場合 $\tan \alpha = 1/2.5$ 程度であった。

③ T を大きくすること。コンクリートの凝結開始時間をおそくすることが大切である。

この意味で、㊸ 冬期施工、㊹ 粉末度の低い低熱性セメントが望ましい。

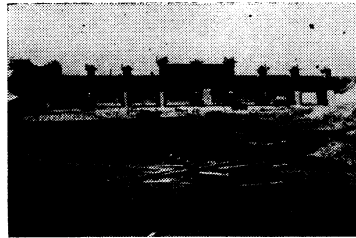
また、生コンクリートを使用する場合は、プラントより現場までの運搬時間を T から差引かねばならない。したがって、現場プラントの場合より V が大きくなることに注意すべきである。トラック ミキサ を床版に直接つけることは不可能に近く、十分大掛りなベルトコンベヤなどの小運搬計画をたてる必要がある。夏期の生コンクリートによる床版打設は、以上の意味から望ましくない。

d) 連続打設時間 昔の水閘門床版のコンクリート打設は、1週間も連続したと聞いているが、今日では工事の監督、施工の確実、機械の故障、天候の急変などを考え、適当に伸縮継手・施工継手を設け、24時間以内にどめた方がよい。

e) 施工継手 施工継手はタイバーにて補強し、コンクリート面は2~3日後全面的な“はつり”を行なう必要がある。そして、その効果は十分なものがあつた。

f) 日光川水閘門床版における1時間当り打設量の実

写真-4 完成した水閘門(通水前)

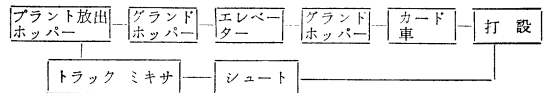


例 水閘門部床版の場合

$$b = 12.4 \text{ m}, h = 1.7 \text{ m}, T = 3 \text{ h}, \tan \alpha = \frac{1}{2.5} \quad \text{として}$$

$$V = \frac{12.4 \times (1.7)^2}{3 \times 1/2.5} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

したがって、プラント能力は28切2基(公称 $35 \text{ m}^3/\text{h}$)を現地に設置した。運搬はつぎのように行なつた。



しかし、閘門部床版 No. 4 においては、 $b = 25 \text{ m}$ であつたため V が大きくなり、打設能力の不足を来した。打設前線が凝結を始めた箇所がしばしばみられた。

また、閘門部床版 No. 5, 6 においては、 $V = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ とし、冬期に行なつたため $T = 4$ 時間となり、この場合は $b = 17.5 \text{ m}$ でも良かった。

6. 結 言

以上、日光川水閘門工事における床版施工に当り、埋設した温度計・継目計・鉄筋計の現在までの観測成果について、これを取りまとめ、あわせてこのような厚い大型の床版の設計施工に関する二、三の問題について検討を加えた。

はたして、貴重な資料に対する十分な検討ができたかについては疑問であるが、この種大型床版の設計施工上のなんらかの参考になれば幸いである。

なお、観測は愛知県に引きつぎの上続行してもらふこととしている。

参 考 文 献

- 1) 神田・村上：日光川河口締切工事について、土木学会誌 第46巻9号、昭和36年9月
- 2) 神田・金井：日光川河口締切工事の施工(その1、その2)、土木施工、昭和37年2月、3月
- 3) 神田・田村：日光川水閘門における床版の応力計算について、土木学会誌 第46巻10号、昭和36年10月
- 4) 土木学会編：土木工学ハンドブック、p. 489
- 5) 土木学会編：土木工学ハンドブック pp. 488~489、図-37、42
- 6) コンクリート マニュアル 第2版 pp. 21~22

(1962. 8. 15・受付)

筆者：神田 正員 建設省河川局海岸課長
(前愛知工事事務所長)
村上 正員 建設省中部地建愛知工事事務所
飛鳥海岸(日光川)出張所長