

監査廊の打設初期および盛立中の挙動について



浅野 勇[†]
(Isamu ASANO)

長 束 勇[†]
(Isamu NATSUKA)

中 島 賢二郎^{††}
(Kenjiroh NAKAJIMA)

毛利 栄 征[†]
(Yoshiyuki MOHRI)

略 歴

1963年 東京に生まれる
1988年 東京農工大学農工学科卒業
農林水産省入省

現在 農業工学研究所造構部
土木材料研究室研究員

I. はじめに

フィルダム監査廊は、その挙動についての合理的な計測方法が確立されたのが比較的新しい構造物であるため、その打設初期から盛立、湛水後にわたる継続した計測データの蓄積が少ないのが現状である。

打設初期の挙動に関しては、温度分布の解析と実測値の比較¹⁾、温度応力の解析的検討^{2),3)}、温度ひびわれの解析と実測の対比による検討⁴⁾等がなされてきた。また、長期挙動に関しては、個々のダムに対する報告はあるが、まとまった検討例⁵⁾は少ないのが現状である。

本報では、このような背景を踏まえ、比較的良好な基礎岩盤上に設置された荒砥沢ダム監査廊を対象として、打設初期から盛立中まで、鉄筋計、コンクリートひずみ計および継ぎ目計等による詳細な計測結果をもとに、監査廊の挙動について考察を行った。

II. 対象監査廊について

1. ダムサイトの地質

ダムサイトの地質は、新第三紀に堆積した頁岩および凝灰岩を主体とする堆積岩と、これらに貫入したと考えられる安山岩、石英安山岩により構成されている。監査廊の縦断面図を 図-1 に岩級区分と併

せて示す。監査廊路線における岩級は、CM級からCH級であり、比較的良好な岩盤といえる。設計時に採用した岩盤の弾性係数は、CM級で5,000 kg/cm²、CH級で15,000 kg/cm²、ポアソン比は0.3である。

2. 監査廊の概要

荒砥沢ダム監査廊河床部の横断面図を 図-2 に示す。また、監査廊打設コンクリートの標準配合を表-1 に示す。使用したセメントは高炉セメントB種である。

3. 監査廊の施工状況

河床部監査廊の打設は、1986年9月開始され、インバートが先行打設された後、およそ20~30日後にアーチ部の打設が行われた。アーチ部においては、外型枠を使用せず、人力整形した掘削壁を外型枠とみなしコンクリートの打設が行われた。また、アーチ部打設後、約3日間パイプクリーニングが行われた。セントルの脱型は打設約5日後に行われた。また、打設後の養生は、マットおよび散水により行われた。

III. 監査廊打設初期の挙動

荒砥沢ダム河床部33~36ブロック(BL)においては打設初期の監査廊の挙動を把握するために他のブロックより多くの計測器を設置し、自動計測を行っ

On the Behavior of the Inspection Gallery of the Fill Dam During Placement of Concrete and Embankment.

[†] 農業工学研究所造構部 ^{††} 水資源開発公団中部支社

フィルダム、監査廊、挙動観測、マスコンクリート、温度応力、内部拘束、外部拘束

表-1 標準配合

最大骨材寸法	スランプ	空気量	単位水量 W	単位セメント量 C	水セメント比 W/C	細骨材料 s/a	細骨材 s	粗骨材 G	混和剤
(mm)	(cm)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
40	8	4.5	150	274	55	42.4	785	1,130	3.28

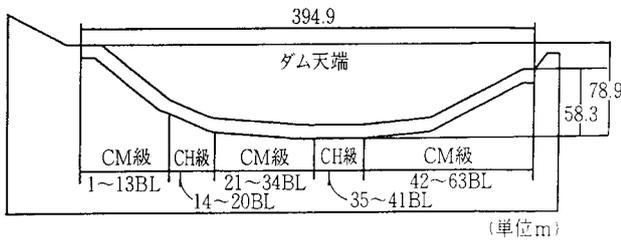


図-1 監査廊の縦断面図

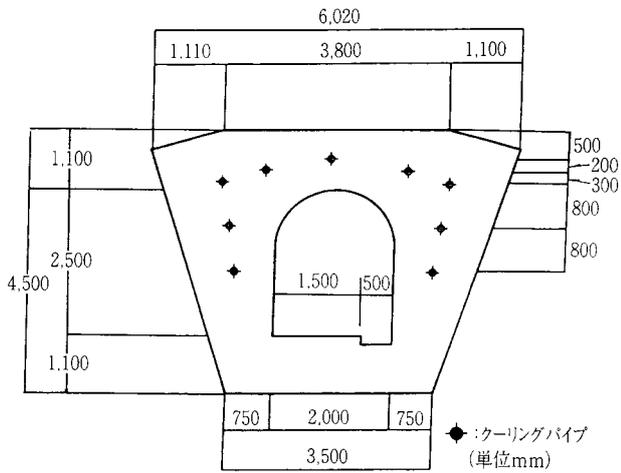


図-2 監査廊の横断面図

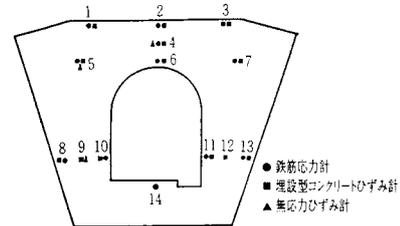


図-3 監査廊の計器配置図

では、約2日後であった。表面温度と内部温度のピーク温度発生時における温度差は、天端部で約20℃であった。

2. コンクリートのひずみ分布

(1) コンクリートのひずみ コンクリートの全ひずみ $\{\epsilon\}$ は、弾性ひずみ $\{\epsilon_e\}$ 、熱ひずみ $\{\epsilon_t\}$ 、クリープひずみ $\{\epsilon_c\}$ 、乾燥ひずみ $\{\epsilon_d\}$ の和として、(1)式のように表される。ただし、 $\{\}$ はベクトルを表すものとする。

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon_e\} + \{\epsilon_t\} + \{\epsilon_c\} + \{\epsilon_d\} \dots\dots(1)$$

ここに、全ひずみ $\{\epsilon\}$ はコンクリートの全変形量を、弾性ひずみ $\{\epsilon_e\}$ は外力による回復可能な変形量を、クリープひずみ $\{\epsilon_c\}$ は外力に基づく、乾燥ひずみ $\{\epsilon_d\}$ は乾燥に基づく経時的な変形量を意味する。

埋設型コンクリートひずみ計がコンクリートと一体となり挙動するとすれば、その計測値はコンクリートの全ひずみを表すものと考えられる⁶⁾。

(2) 打設初期のコンクリートの全ひずみ分布 監査廊36BL天端部におけるコンクリート温度の変化に伴う全ひずみ分布の変化について調べた。コンクリートの温度上昇降下速度の大きさに着目し、温度変化を温度上昇期、温度下降期、温度安定期の3つの時期に分けて考え(図-4(a))、各々の期間における全ひずみ変化を調べた。

天端断面および天端外側表面部における全ひずみ変化を 図-4(b)~(c)に示す。図における膨張ひずみ、収縮ひずみは、ひずみ計の初期の長さに対する伸び量、縮み量を示す。なお、ひずみ計の初期値設定時期は、コンクリート打設6時間後である⁷⁾。

まず、温度上昇下降期における全ひずみの経時的

た。とくに36BLにおいては、監査廊断面の温度、コンクリートの全ひずみ、鉄筋応力分布が明らかになるように監査廊断面内にバランスよく計測器を設置している。そこで、今回は河床部36BLに着目し、打設初期の監査廊の挙動について考察した。

1. 温度の実測値

図-3に、36BLの計測器の配置を示す。各計測器とも温度計測が可能である。

36BLは1986年10月8日に打設され、打設2日後の10月10日から約3日間のパイプクーリングが行われた。打設時の外気温は12~16℃、コンクリート温度は19℃であった。また、クーリングパイプへの流入水の平均水温は13℃、流出水の平均水温は17℃であり、通水量は毎分15ℓであった。図-4(a)に、天端部の温度の経時変化を示す。

コンクリートのピーク温度発生時間は、天端外側表面において打設1.5日後、監査廊く体内部におい

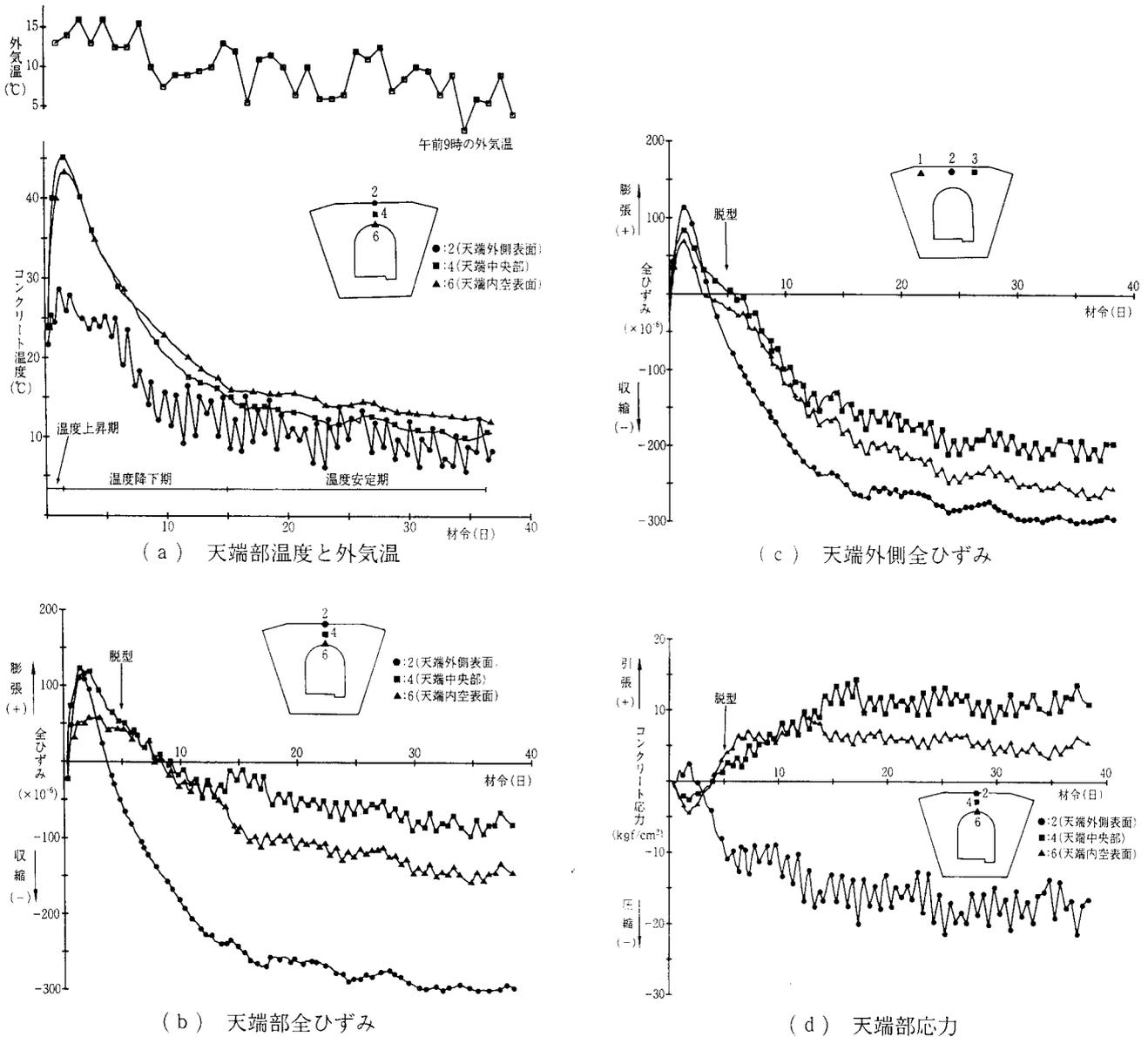


図-4 天端部の温度、全ひずみ、応力変化

変化を調べる。天端断面 (図-4 (b)) においては、温度上昇時に天端外側表面 (測点 2) および天端中央部 (測点 4) においては、天端内空表面 (測点 6) に比べ大きな膨張ひずみが生じている。また、その後温度降下に伴い全ひずみは反転し、天端外側表面部に近いほど大きな収縮ひずみを生じるようになる。一方、天端外側表面部 (図-4 (c)) においても温度上昇時に肩部の測点 (測点 1, 3) に比べ中央部 (測点 2) に大きな膨張ひずみが生じている。また、温度降下時には、肩部に比べ中央部に大きな収縮ひずみが生じている。すなわち、監査廊天端部においては、コンクリートの温度上昇時には天端外側表面が中央部を中心に膨張し凸型に変形し、温度

降下時には逆にピーク温度時に比べ、天端外側表面が中央部を中心に収縮し、凹型になるような変形が生じていると推定される。

つぎに、天端部の温度がほぼ安定する打設 15 日以降における全ひずみ変化を考える。天端部の温度は外気温の変化と共に、緩やかに低下している。天端断面内および天端外側表面の全ひずみについては、収縮ひずみがほぼ等しく増加している。全体を通じて温度変化が小さいこの期間においても、比較的大きな収縮ひずみの増加が生じていることは、コンクリートに温度以外に起因する乾燥収縮、クリープ等の体積変化が生じている可能性を示す。

(3) コンクリートの応力の推定 コンクリートの

弾性係数 E が積算温度 M の関数であり、ひずみ計を設置した位置の応力・ひずみ状態が一軸状態にあると仮定するならば、ある時間増分に対するコンクリートの応力—弾性ひずみ関係は次式で表される。

$$\Delta\sigma = \bar{E}(M) \cdot \Delta\epsilon_e \dots\dots\dots(2)$$

$$M = \int_0^t (\theta + 10) dt \dots\dots\dots(3)$$

また、全ひずみ増分 $\Delta\epsilon$ については、次式で表される。

$$\begin{aligned} \Delta\epsilon &= \Delta\epsilon_e + \Delta\epsilon_t + \Delta\epsilon_c + \Delta\epsilon_d \\ \therefore \Delta\epsilon_e &= \Delta\epsilon - \{ \Delta\epsilon_t + \Delta\epsilon_c + \Delta\epsilon_d \} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

ここに、 $\Delta\sigma$: コンクリートの応力増分

$\bar{E}(M)$: 各増分におけるコンクリートの弾性係数

M : 積算温度 (時間 °C)

θ : コンクリートの養生温度

$\Delta\epsilon$: コンクリートの全ひずみ増分

$\Delta\epsilon_e$: コンクリートの弾性ひずみ増分

$\Delta\epsilon_t$: コンクリートの温度ひずみ増分

$\Delta\epsilon_c$: コンクリートのクリープひずみ増分

$\Delta\epsilon_d$: コンクリートの乾燥ひずみ増分

さらに、各時間増分に対してクリープひずみ増分と乾燥ひずみ増分の和 ($\Delta\epsilon_c + \Delta\epsilon_d$) の、弾性ひずみ増分 $\Delta\epsilon_e$ に対する比を ϕ とし、有効ひずみ増分 $\Delta\epsilon_{eff}$ を次のように定義する。

$$\bar{\phi} = (\Delta\epsilon_c + \Delta\epsilon_d) / \Delta\epsilon_e \dots\dots\dots(5)$$

$$\begin{aligned} \Delta\epsilon_{eff} &= \Delta\epsilon - \Delta\epsilon_t \\ &= \Delta\epsilon_e + \Delta\epsilon_c + \Delta\epsilon_d \\ &= (1 + \bar{\phi}) \Delta\epsilon_e \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

(2), (5), (6) 式からコンクリートの有効ひずみ増分 $\Delta\epsilon_{eff}$ に対する応力増分 $\Delta\sigma$ は、(7)式のように表される。

$$\Delta\sigma = \frac{\bar{E}(M)}{1 + \bar{\phi}} \Delta\epsilon_{eff} \dots\dots\dots(7)$$

(7)式に基づき、時間ステップ i ごとのコンクリート応力 σ_i を次式のように算定する。

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} + \frac{1}{1 + \phi_i} \left(\frac{E_i + E_{i-1}}{2} \right) (\epsilon_{effi} - \epsilon_{effi-1}) \dots\dots\dots(8)$$

応力算定の概念を 図-5 に示す。

今回の計算では、弾性係数 E に本研究室の実験値に基づく以下の式を用いた。

$$\begin{aligned} E(M) &= 0.1014 \times 10^5 \\ &\times (191.0 \times \log M - 507.0)^{0.49} \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

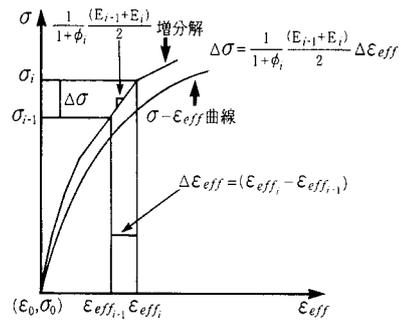


図-5 温度応力算定の概念図

また、 ϕ_i については既応の研究⁸⁾を参考に、 $\phi_i = 0.6$ とした。有効ひずみ増分 $\Delta\epsilon_{eff}$ の算定には全ひずみ実測値を用い、その際の温度ひずみ増分 $\Delta\epsilon_t$ はコンクリートの熱膨張係数を 1.0×10^{-5} として算定した。

このようにしてひずみ計から求めた天端部のコンクリート応力を 図-4 (d) に示す。天端断面内の温度応力の経時変化をみると、温度上昇時には天端外側表面に引張、内空表面および中央部に圧縮応力が発生する。温度降下時には応力は反転し、外側表面が圧縮側に、内空表面および中央部が引張側に変化する。温度降下速度が緩やかになる打設7日以降においては、中央部および内空表面部には明確な増減は認められない。しかしながら、隣接する 34 BL では、中央部および内空表面部において引張応力の増加がみられた。したがって、その挙動については複雑に変化しているものと思われる。

3. 鉄筋計の実測値

図-6 に 36 BL 天端部における鉄筋応力の経時変化を示す。応力変化の傾向はほぼコンクリートの応力変化と等しく、天端外側表面においては、温度上

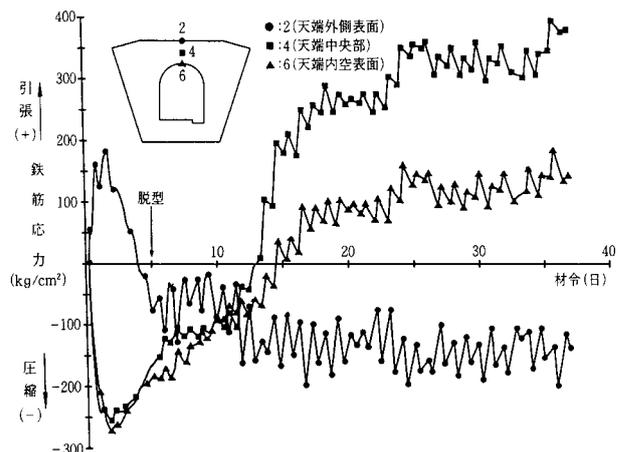


図-6 鉄筋応力の経時的変化

昇時に引張応力が生じ、温度降下に伴い圧縮応力に反転する。また、天端中央部、内空表面においては、温度上昇時に圧縮応力が生じ、温度降下に伴い、引張応力に反転する。また、温度安定期においても、内空表面および中央部には引張応力の増加が見られる。これは、乾燥収縮等のコンクリートの体積変化により鉄筋に引張応力が導入されたものと推定される。

IV. 盛立中の監査廊の挙動について

フィルダム盛立中の監査廊に生じる挙動は、①監査廊の温度変化、乾燥収縮、クリープ等による体積変化、②盛立による盛土荷重の変化、③グラウト圧、等の時間的に変化する荷重条件および境界条件の影響を受ける。また、縦断方向には基盤特性および勾配変化等の境界条件の影響を受ける。このように、盛立中の監査廊に生じる挙動は、温度、荷重条件、基盤条件等の影響を受け複雑に変化する。そこで、今回は、監査廊全体の変形の指標になると考えられる継ぎ目の挙動について、ほぼ基盤条件が等しく、同程度の温度、盛土荷重の履歴を有すると考えられる河床部（33 BL～38 BL）について考察した。また、鉄筋応力の盛土中の変化について打設初期と同じく河床部 36 BL を対象に考察した。

1. 温度

監査廊の打設初期から盛土施工中における4年間のく体温度変化を調べた。代表例として図-8に36 BLの天端部中央部（図-3 測点4）の温度変化を示す。初期盛土が実施される4月までの期間は、監査廊は外気温の影響を受け監査廊のく体温度は5℃以下に低下する場合もある。しかしながら、ある程度盛土が進行するにつれてく体温度は安定する。く体温度の年変化は2～3℃であり、最低温度は13℃程度で3～4月に、最高温度は15～16℃で9～10月に生ずる。また、く体の温度勾配は小さく、監査廊は、縦断的にも横断的にも同じように温度変化を示す。

2. 継ぎ目計

継ぎ目計は、監査廊の構造変化部および河床部に配置され、継ぎ目計の総計は65個、合計17カ所のブロックに設置されている。また、その設置位置は図-7に示すように、監査廊内空断面内に配置され

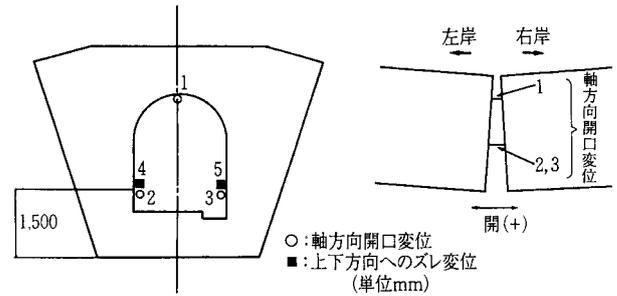


図-7 継ぎ目計設置図

ている。河床部継ぎ目計は1986年12月20日に設置された。これは、各ブロックの打設から、ほぼ2～3カ月後に相当する。計測器は、ダム軸方向の開口変位および剪断変位が計測可能である。ここでの軸方向開口変位とは、継ぎ目計設置時の初期変位量からの変化量を示す。以下、河床部監査廊の軸方向開口変位に対する盛土荷重および監査廊く体温度の影響を調べた。

河床部 33～38 BL における監査廊頂部に配置された継ぎ目計 1 の軸方向開口変位の経時変化を図-8に示す。

打設後の冬期において、コンクリートの温度の低下に伴い継ぎ目は開く傾向にある。その後、最初の盛立期（1987年4月～10月）に、すべての測点は、1.0～1.5 mm 閉じる傾向にあり、それ以降は、監査廊く体の温度変化に伴い、緩やかに0.5 mm 程度の年変化を繰り返す。温度変化により、監査廊は膨張・収縮し、それに従って継ぎ目変位は4～5月に最も開き、8～10月に閉じるものと考えられる。

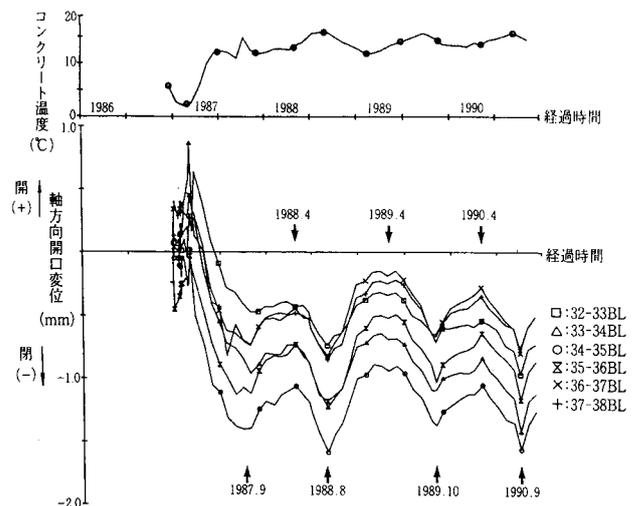


図-8 軸方向開口変位の経時変化

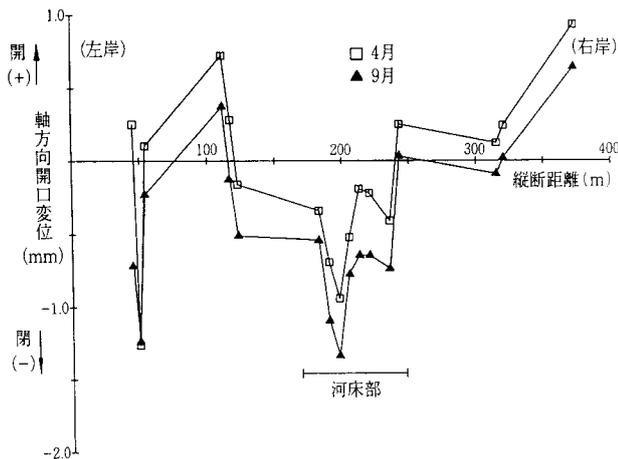


図-9 ダム軸方向への開口変位の変化

図-9に継ぎ目計1によるダム軸方向の開口変位の変化を示す。実測値は盛立開始3年目の1989年4月および9月の計測値である。監査廊の温度はダム軸方向にはほぼ一様であることから、継ぎ目変位の縦断方向への変化は、主に基盤条件、盛土荷重および監査廊勾配の変化によると思われる。

すべての測点において監査廊温度が最高となる8～10月に継ぎ目は閉じる傾向に、また最低となる4～5月に開く傾向にある。継ぎ目変位は、河床部においては、アバット部に比べ閉じる傾向にある。河床部以外の継ぎ目計の実測値においてもその変位量は最大1.5mm程度と非常に小さく、ねじれ等の異常な変形も生じていない。このことは、監査廊の設置された基盤が良好であることを反映していると思われる。

V. まとめ

荒砥沢ダムの打設初期および盛立期における監査廊の応力・変形挙動について調べた。その結果、次のようなことが判明した。

① 打設初期における監査廊天端部に生ずる全ひずみ・応力変化は、コンクリートの温度変化と密接に関係する。監査廊天端部においては、温度上昇時に天端外側が凸型に、温度降下時に凹型に変形する。また、応力については、温度上昇時に天端外側に引張、内側に圧縮、温度降下時に天端外側に圧縮、内側に引張応力が生じる。

② 盛土中における継ぎ目変位は、監査廊く体の年温度変化の影響を強く受け、温度変化に伴い周期

的に開閉を繰り返す。

監査廊の挙動は、監査廊の構造、岩盤の物性、コンクリートの物性、監査廊に作用する土圧分布および岩盤拘束の状態等と密接に関係する。今後は、クリープおよび乾燥の影響を考慮した解析を進めるとともに、軟岩を基盤岩盤とするような他のフィルダムについてもデータを蓄積し、監査廊の構造、荷重条件および境界条件が、監査廊の挙動にどのような影響を与えるかについて、より詳細に考察を進めていく予定である。

(謝 辞)

本研究は東北農政局からの依頼研究の成果を踏まえ取りまとめたものである。現場計測および調査を実施するに当りお世話になりました迫川上流農業水利事業所の皆様に感謝いたします。また、現場の計測に際しましてご協力頂きました鹿島・大林・西松JVの皆様に感謝いたします。なお、本計測データについては、本研究室研究員でありました野村栄作技官(現那須野原開拓事業所)が整理されたものを使わせて頂きました。深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 青山成康・白滝山二：監査廊コンクリート打設時温度分布の境界要素解析，農土論集 116，pp. 67～77 (1985)
- 2) 中島賢二郎・野村栄作・橋口幸正：フィルダム底設監査廊の構造解析について，水と土 69，pp. 55～61 (1987)
- 3) 鈴木重憲：フィルダム監査廊の設計・施工に関する一考察，水と土 58，pp. 32～38 (1984)
- 4) Tsuguhiro NONAKA：A DISCUSSION ON THE EFFECT OF MODERATE PRESTRESSING AS PROTECTION METHOD AGAINST THERMAL CRACKING WITHIN A MASSCONCRETE STRUCTURE，農土論集 136，pp. 91～98 (1988)
- 5) 財団法人日本農業土木総合研究所：昭和59年フィルダム監査廊調査業務報告書，(1985)
- 6) 石川雅美・前田強司・西岡 哲：コンクリート埋設型ひずみ計の改良について，第43回土木学会年次学術講演概要集 5，pp. 466～467 (1988)
- 7) 竹下治之・浅沼 潔・横田季彦：マスコンクリート中の計器特性について，第2回マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，pp. 1～8 (1984)
- 8) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針，pp. 67～69

[1991. 5. 24. 受稿]