

Ⅲ-4 ダム挙動の安定性評価手法の検討

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 11～平 15

担当チーム：ダム構造物チーム

研究担当者：山口嘉一、佐々木隆、
富田尚樹、小堀俊秀

【要旨】

コンクリートダムでは安全管理のために漏水、揚圧力、変形等の計測が行われている。しかし、限られた人員と予算で年々増加する完成ダムを管理するためには、ダムの挙動の安定性を見極め、安全性評価に必要な計測項目の絞り込み・更新などの合理化を図る必要がある。また、ダムコンクリートの表面劣化についても堤体の安定性に及ぼす影響を評価する必要がある。

既設コンクリートダムの挙動計測の簡素化・合理化を図るため、漏水、揚圧力、変形等の計測値及びその経時変化、計測機器の耐久性・信頼性などを考慮し、将来の状態を含めダムの安定性を総合的に評価するために、安全管理のための計測項目全般について検討し、そのうえで合理化では効果が最も高いと考えられる揚圧力計測に着目して各種条件下におけるダム挙動の安定性評価を行い、揚圧力計測設備の機能回復の必要性の判断方法を示した。また、効率的な点検が要求されているコンクリートダム堤体表面に対し、近年利用事例が増加している赤外線カメラを使用した、健全度診断手法の提案を行った。

キーワード：安全管理、揚圧力、浸透流解析、劣化診断、赤外線カメラ、表面温度

1. はじめに

コンクリートダムでは安全管理のために漏水、変形、揚圧力等の計測が行われている。しかし、管理段階のダムが年々増加する中、限られた人員と予算で多くのダムを管理しなければならず、ダムの挙動の安定性を見極め、安全性評価に必要な計測項目の絞り込み、計測機器、計測設備の効率的な更新などの合理化を図る必要がある。

また、ダムの長期にわたる安全性の維持や局所的劣化によるコンクリート片の剥離落下の危険性を考慮した場合、コンクリート表面の変状部の早期発見が極めて重要である。コンクリート表面の劣化状況の調査は、従来はキャットウォークなどの点検通路から打音検査により調査を行ってきたが、既設通路からの調査では調査範囲が限定され、仮に足場などにより通路を確保した場合でも、調査すべき面積が広い場合危険を伴う高所での作業が多くなる。したがって、地表からの遠方調査で、可能な限り将来補修などの対策が必要になる可能性のある変状部を絞り込むことが、効率的な調査を実施するために必要になる。

本検討では、安全管理のための計測項目全般について検討したうえで、揚圧力計測に着目してダム挙

動の安定性評価に関する検討を行った。揚圧力の低減を目的に設置された基礎排水孔および基礎岩盤が目詰まりした場合の揚圧力分布の変化、および基礎排水孔を閉塞して行う揚圧力測定時の圧力分布と実際に堤体に作用する揚圧力分布の関係について検討し、それらが堤体の安定性に与える影響を検討したうえで揚圧力計測設備の機能回復の必要性の判断方法を示した。

また、効率的な点検が要求されているコンクリートダム堤体表面に対し、鉄筋コンクリート構造物の老朽化診断や橋梁のコンクリート剥離箇所調査などで近年利用事例が増加している赤外線カメラを使用した、健全度診断手法の提案を行った。

2. コンクリートダムの安全管理のための計測の合理化

2.1 安全管理のための計測項目の検討

管理中のコンクリートダムでは、堤体および基礎岩盤の安全管理を目的として、漏水量、変形、揚圧力などの計測が行われている。

管理の期間は、ダムの完成後の年数に応じて以下に示す3期間に区分される。

①第1期：湛水開始から試験湛水終了後所要の期

間（概ね2ヶ月）を経過するまで

②第2期：第1期経過以後ダムが挙動が安定状態に達するまで（試験湛水終了後概ね5年まで）

③第3期：ダムおよび基礎岩盤の挙動が安定状態に達した以降

漏水量、変形、揚圧力の計測については、管理段階が進んで挙動が安定するにしたがい、その頻度を低下させるのが一般的であり、また揚圧力測定用の圧力計の故障、基礎排水孔の目詰まりによる揚圧力や排水量計測の中止により測定点数も減少する。

しかし、地震などの突発的事象の発生を想定すると、極端に計測頻度や点数を減らすことは安全管理上、問題が発生する可能性があると考えられる。実際、地震時に揚圧力や排水量、漏水量等が変化している事例¹⁾が報告されている。一方で、地震被害調査では計測頻度が粗になっているため、直前のデータの確認が出来ず、その結果、測定値の異常の判断が困難となった事例もある。

以上のことから、漏水量、変形量、揚圧力などの基本的な計測項目については、常時のみならず、地震時も想定して、計測機器、設備の点検、清掃を行い、常に良好な状態に保つとともに、堤体が安定状態に達した第3期以降も必要最小限の計測点数、計測頻度により上記に計測を継続する必要があると考えられる。

特に、堤体内通廊に設けた基礎排水孔は、堤体底面に作用する揚圧力を低減し、堤体の安全性を確保、向上させる機能をもつとともに揚圧力測定にも用いられる。また、基礎排水孔はダム軸に平行なライン上にほぼ全域に配置されるため、これで測定される揚圧力、基礎排水量の変化傾向から堤体周辺の基礎岩盤の状況を推定することができる。そのうえ、揚圧力は堤体の安定性検討上重要な設計荷重である。そこで重力式コンクリートダムの揚圧力に着目し、基礎排水孔の状態と揚圧力値および堤体安定性に及ぼす影響について検討した。

2.2 解析モデル

基礎排水孔や横継目の効果も考慮して揚圧力分布を検討するために三次元浸透流解析を用いる。解析モデルを図-2.1に示す。

モデルダムは、堤高100m、堤敷長77mの上流面鉛直の重力式コンクリートダムで、堤体幅（解析領域の奥行）は通常の1ブロック幅の15mとした。堤体上

流端から17.5m地点にカーテングラウチングを75m深まで施工し、その改良幅は1mとした。また、コンソリデーショングラウチングの施工深は5mとし、堤敷全面とカーテングラウチング施工位置（以下カーテンラインと呼ぶ。）より上流範囲のみに施工した場合の2種類を設定した。基礎排水孔は上流端から18.5m（カーテンライン中心から1m下流）の位置に、 $\phi 0.06\text{m}$ に相当するように $0.06\text{m} \times 0.06\text{m}$ の断面積で、鉛直方向に5m、ダム軸方向で横継目から2.5mの地点および中心部に5m間隔で3孔設置した。

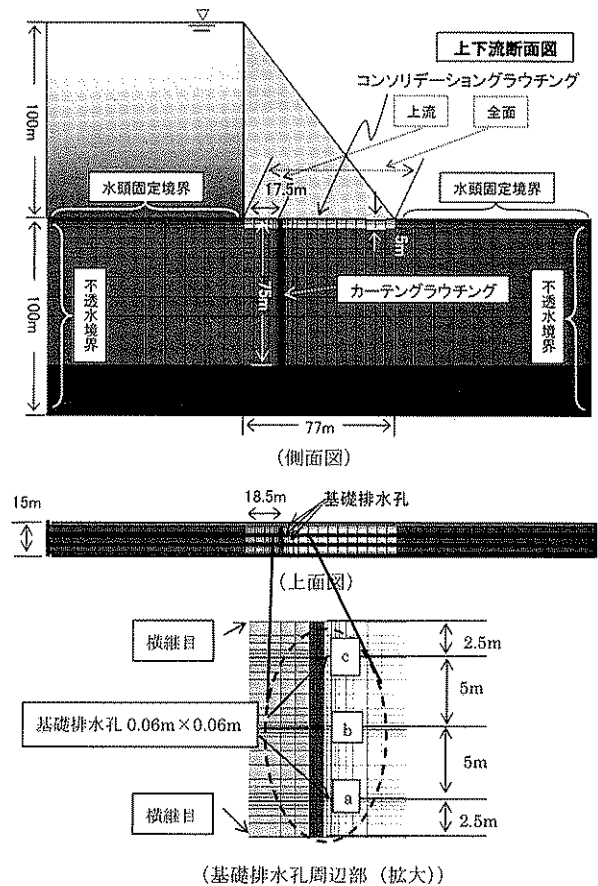


図-2.1 解析モデル

横継目構造は以下の3タイプを設定した。

タイプ①：横継目の排水効果を考慮しないもの。

タイプ②：横継目部で岩盤からの浸透水が浸出し圧力水頭 0m（水頭の基準面は地表面（＝下流側水位））のまま速やかに排出されるもの。

タイプ③：より現実に近い形として、横継目部への岩盤からの浸透水が堤体下流部へ排出される際に横継目部で水位を持つことを表現できるように、横継目をモデル化した

もの。

このうち、タイプ③については、横継目の幅を1cmとし上下流方向にはダム堤体と同形状で解析メッシュを作成してモデル化した。また、カーテンライン上流部での横継目部への浸透流の周り込みを防ぐために、横継目部直下の基礎岩盤部では、便宜的に難透水性の要素を設定した。

境界条件は岩盤底部と側面、及びダム堤体底部の基礎排水孔部を除いた範囲は不透水境界とし、岩盤上面のダム堤体上流部と下流部は水頭固定境界とし、各々基準面を地表面として100mと0mの水頭を設定した。

各部の透水係数を表-2.1に示す。ここでは、基礎岩盤の透水係数は $1Lu$ を $1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ と等価として設定している。

表-2.1 各部の透水係数

領域名	ルジオン値 (Lu)	透水係数 (cm/sec)
未処理岩盤部	75m 以浅:50 75m 以深:1	5.0×10^{-4} 1.0×10^{-5}
コンソリデーショングラウチング部	5	5.0×10^{-5}
カーテングラウチング部	1	1.0×10^{-5}
基礎排水孔部	開放時: 10^5 閉塞時:別途設定	1.0×10^0 -
横継目部	別途設定	

2.3 解析条件

2.3.1 横継目排水・孔口高さの影響検討

(1)横継目排水の有無の影響

横継目排水の影響を主に確認するために、横継目がないタイプ①モデルと横継目で揚圧力水頭が0mとなるタイプ②モデルで、基礎排水孔とグラウチングの条件を種々に変化させて解析を行った。表-2.2に基礎排水孔とグラウチングの条件の組み合わせを示す。

表-2.2 解析ケース

ケース	条件	ケース	条件
CASE-0	未処理		
CASE-1	コンソリ(上流)	CASE-6	コンソリ(上流)+ 基礎排水孔
CASE-2	コンソリ(全面)	CASE-7	コンソリ(全面)+ 基礎排水孔
CASE-3	カーテン	CASE-8	カーテン+ 基礎排水孔
CASE-4	コンソリ(上流)+ カーテン	CASE-9	コンソリ(上流)+ カーテン+ 基礎排水孔
CASE-5	コンソリ(全面)+ カーテン	CASE-10	コンソリ(全面)+ カーテン+ 基礎排水孔
		CASE-11	基礎排水孔

(2)横継目の透水状況の影響

タイプ③モデルの横継目に相当する要素に透水係数を与え、横継目の透水状況が揚圧力分布に与える影響を調べた。解析ケースは表-2.2から、代表的なグラウチングパターンであるCASE-10を選択した。

横継目に与える透水係数は $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10 \text{cm/sec}$ の範囲で1オーダー刻みとした。ここで、幅1cmの横継目モデルに上記の透水係数を与えた場合と等しい浸透能力を持つ平行平板の幅をヘルシヨウ流れ²⁾に基づいて求めた結果、0.001~0.1cm幅に相当することがわかった。この幅は滑らかな平行平板を想定した場合のものであり、実際の横継目に存在する粗度を考慮した場合には幅が大きいものに相当することに留意されたい。

(3)基礎排水孔の孔口高さの影響

基礎排水孔は、堤体内通廊に設置されるが、基礎排水孔の孔口高さは各ダムで異なる。既設ダムの標準断面での基礎排水孔の孔口高さの調査の結果、平均が約10m、最小が約3m、最大が約24mであった。

今回のモデルは基礎岩盤部分のみをモデル化しているため、基礎排水孔の孔口高さを再現するために、孔口に、孔口高さに相当する圧力水頭を0~30mの範囲で10m刻みで与えた。解析に用いたモデルは、横継目で揚圧力水頭が0mとなるタイプ②モデルで、解析ケースは表-2.2から、代表的なグラウチングパターンであるCASE9、CASE-10を選択した。

2.3.2 基礎排水孔および基礎岩盤の目詰まりの影響検討

基礎排水孔あるいは基礎岩盤の目詰まりによる影響を検討した。タイプ③のモデルを用いて横継目に 10cm/sec の透水係数を与え、孔口高さを0mとして解析ケースは表-2.2から、代表的なグラウチングパターンであるCASE-10を選択した。

(1)基礎排水孔およびその周辺の基礎岩盤の目詰まりの影響

基礎排水孔、および基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まりした場合について検討した結果、同様な傾向が得られたため、ここでは基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まりした場合について示す。

基礎排水孔周辺の基礎岩盤の目詰まりした条件を考慮するために、図-2.2の基礎排水孔周辺部拡大断面における基礎排水孔周辺1.0m×1.0m四方の地表より深度5m部(「周辺側部」と呼ぶ。)および基礎排水孔直下1.0m×1.0m四方の基礎排水孔底部より

深度 5m（「周辺下部」と呼ぶ。）の範囲について、透水係数を、基礎「目詰まりなし」として「周辺側部」で 5Lu、「周辺下部」で 50Lu とした。続いて、目詰まりした条件として、「周辺側部」と「周辺下部」のルジオン値を同じ値で、5Lu、1Lu、0.1Lu、0.01Lu として与えた。ここではかなり小さいルジオン値を与えているが、これは局所的な狭い範囲で目詰まりすることを想定して設定したものである。

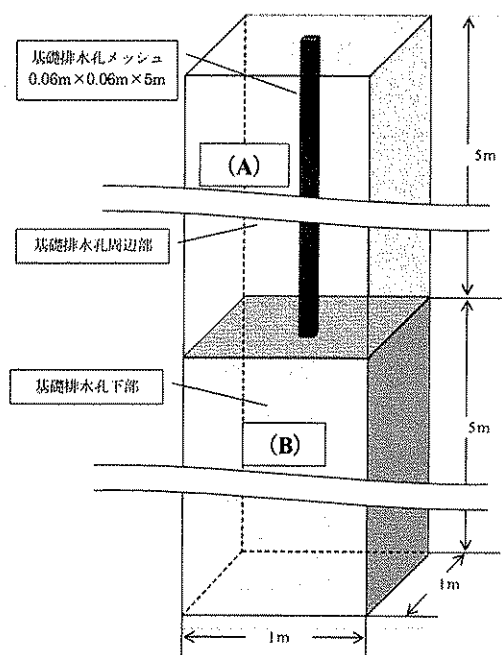


図-2.2 基礎排水孔周辺部拡大図

(2) カーテングラウチングより上流側基礎岩盤の目詰まりの影響

カーテングラウチングより上流側の堤敷範囲で岩盤上面から 75m までの範囲が経年変化により目詰まりしたことを想定し、透水係数は経年変化で目詰まり範囲が基礎岩盤の透水係数の約 1/2 の 20Lu まで低下した場合、またコンソリデーショングラウチング程度の 5Lu まで低下した場合を想定した。

2.3.3 揚圧力の計測方法と揚圧力分布の検討

揚圧力測定時の分布と実際に堤体に作用する揚圧力分布の関係を把握するために、図-2.1 中のブロック中央の基礎排水孔 b を閉塞して揚圧力を測定するブロッカー孔閉塞、および基礎排水孔 a、b、c を全て閉塞して揚圧力を測定する全孔閉塞で検討した。

解析に用いたモデルは、タイプ③モデルの横継目に 10cm/sec の透水係数を与え、孔口高さを 0m とし

て解析ケースは表-2.2 から、代表的なグラウチングパターンである CASE-9、CASE-10 を選択した。また、基礎排水孔周辺の基礎岩盤の目詰まりの有無も考慮した。

2.4 横継目・孔口高さの影響検討結果

2.4.1 横継目排水の有無の影響

図-2.3 に、横継目排水の影響を考慮しない場合のタイプ①モデルについて三次元で得られた解析結果を、ダム軸方向に平均して整理した、上下流方向の揚圧力分布を示す²⁾。以下、上下流方向の揚圧力分布はすべてダム軸方向平均値として表す。図-2.4 に、横継目揚圧力が 0 となる場合のタイプ②モデル、つまり横継目での完全排水の上下流方向の揚圧力分布を示す²⁾。これらの図では、圧力水頭の基準線を地表に一致させている。

横継目の排水効果の比較の前に、まず、同一の横継目条件の揚圧力分布状況について整理する。横継目なしの場合、CASE-6、CASE-7、CASE-8、CASE-9、CASE-10、CASE-11 のように基礎排水孔を設ければ、基礎排水孔部で揚圧力が急激に低下することがわかる。また、CASE-3、CASE-4、CASE-5、CASE-8、CASE-9、CASE-10 のようにカーテングラウチングがあるケースではカーテンラインより上流部でカーテングラウチングがない場合に比べて揚圧力が増加するものの、下流では揚圧力が急減し、全体として揚圧力を低減させていることがわかる。コンソリデーショングラウチングはダム堤敷全面で施工（以下、「全面施工」とする。）及び未施工（同、「未施工」と、カーテンライン上流部のみ施工（同、「上流のみ」）を比較すると、CASE-3、CASE-8 の「未施工」と、CASE-4、CASE-6、CASE-9 の「上流のみ」の条件で揚圧力の低減効果が高い。横継目で揚圧力を 0 とした完全排水の条件でも、同様な傾向が得られている。

横継目の排水効果がない場合と、揚圧力 0 となる完全排水とした場合を比較すると、後者の条件において全ケースで横継目による揚圧力減圧効果が確認できる。図-2.5 に図-2.3、図-2.4 の上下流方向の揚圧力分布から堤体底面に作用する合力を求めた結果を各ケースで比較したものを示す。この図によれば、コンソリデーショングラウチング「全面施工」の場合（CASE-2、CASE-5、CASE-7、CASE-10）、横継目による揚圧力低減効果が低いことがわかる。

図-2.6、図-2.7 に、基礎排水孔位置でのダム軸方

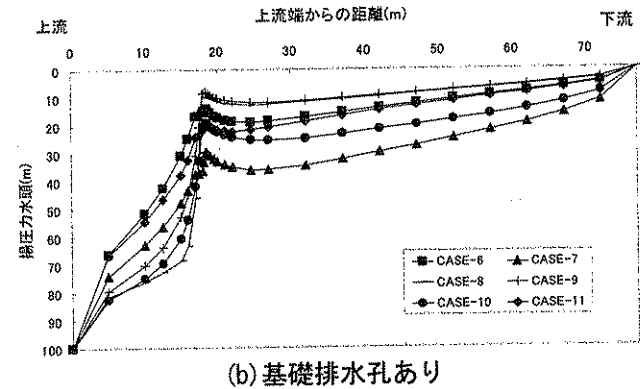
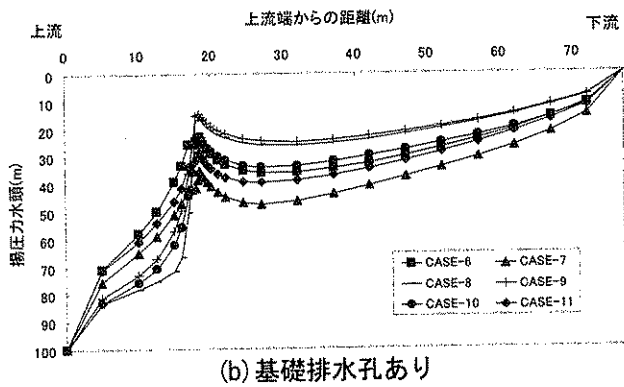
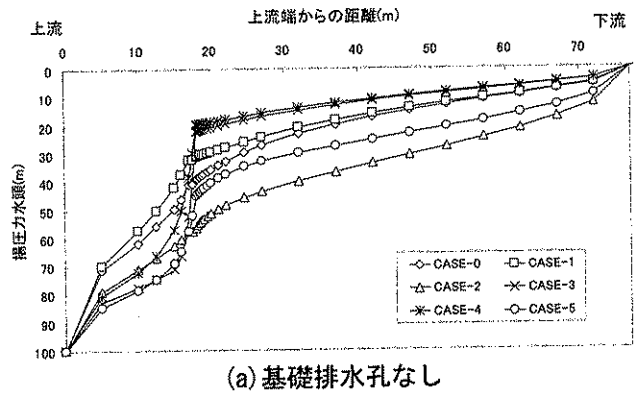
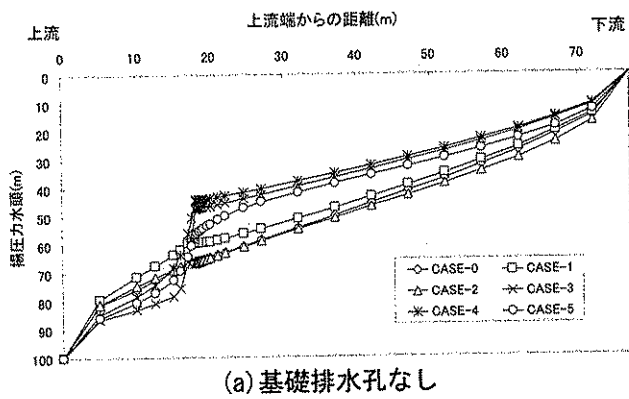
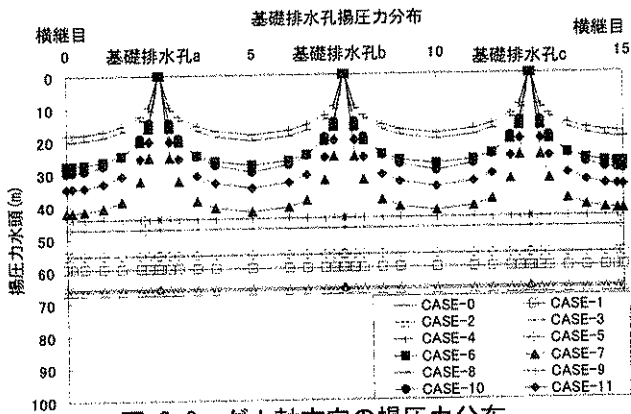
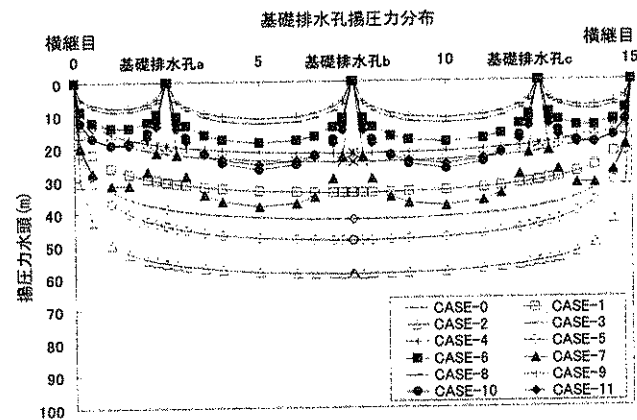
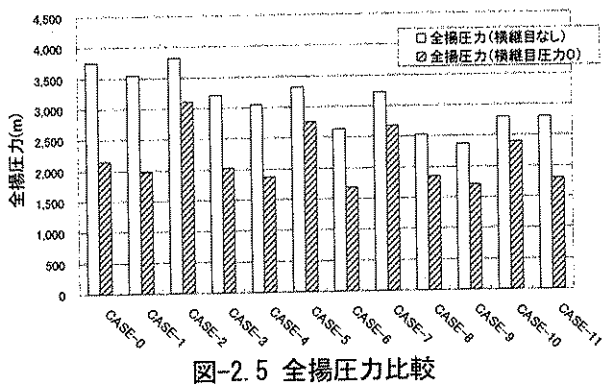


図-2.3 上下流方向の平均揚圧力分布
(タイプ①: 横継目なし)

図-2.4 上下流方向の平均揚圧力分布
(タイプ②: 横継目での圧力=0)



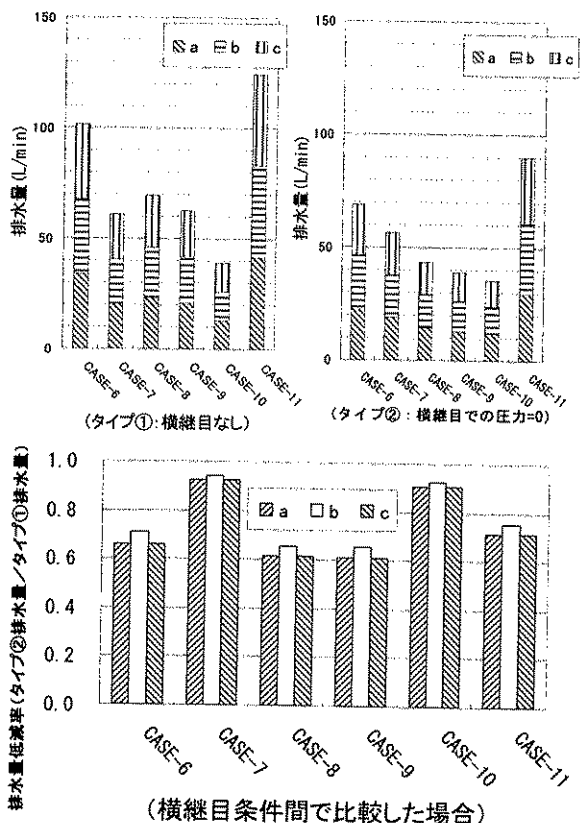


図-2.8 基礎排水孔からの排水量

向上の揚圧力分布を示す。以下、ダム軸方向の揚圧力分布はすべて基礎排水孔位置での値を表す。これらの図より、基礎排水孔や横継目を浸出境界として設定した場合、その周辺で滑らかな曲線を描きながら揚圧力が低下していることが分かる。また、異なる横継目条件間で比較した場合、コンソリデーショングラウチングが「未施工」のCASE-8、CASE-11、及び「上流のみ」のCASE6、CASE9では、横継目の排水影響を見込んだ場合、堤敷中心部まで揚圧力の低減効果が及んでいることが分かる。

図-2.8に基礎排水孔からの排水量を整理した。異なる横継目条件タイプ①とタイプ②で比較した場合、コンソリデーショングラウチングが「未施工」のCASE-8、と「上流のみ」のCASE6、CASE9の場合及び基礎排水孔のみのCASE-11の場合に、タイプ②の横継目揚圧力水頭を0と完全排水した場合の排水量が大きく低下している。これにより、横継目条件が基礎排水孔での排水量にも大きな影響があることがわかる。

2. 4. 2 横継目の透水状況の影響

図-2.9に、タイプ③モデルのCASE-10において、

横継目に相当する要素の透水係数を 1×10^{-5} ～ 1×10 cm/secまで変動させた場合の上下流方向の揚圧力分布の変化を示した³⁾。また、タイプ①モデル、タイプ②モデルの分布も併記した。図-2.9から、タイプ③モデルの横継目に相当する要素の透水係数が 1×10^{-5} ～ 1×10^{-2} cm/secの範囲であれば、タイプ①モデルと概ね同じ分布となっており、タイプ②はタイプ③の横継目に相当する要素の透水係数が 1×10 cm/secのそれより小さい分布となっている。また、横継目の透水係数の増加に伴い揚圧力が低下することに加えて、カーテンラインより下流部では揚圧力分布が直線的な分布へ移行しているのがわかる。図-2.10に、タイプ③モデルのCASE-10において、横継目の透水係数を変動させた場合の、ダム軸方向の揚圧力分布の変化を示した。また、タイプ①モデル、タイプ②モデルの上下流方向分布も併記した。

図-2.10 から、ダム軸方向の揚圧力分布についても上下流方向分布と同様の傾向が読みとれる。なお、横継目付近に揚圧力低減効果が限定され堤敷中央まで達しない。

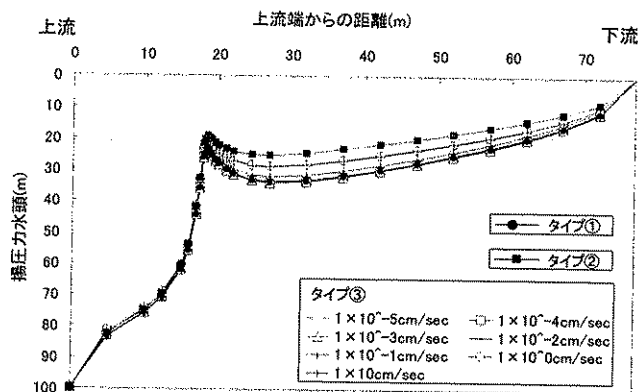


図-2.9 上下流方向の平均揚圧力分布 (CASE-10)

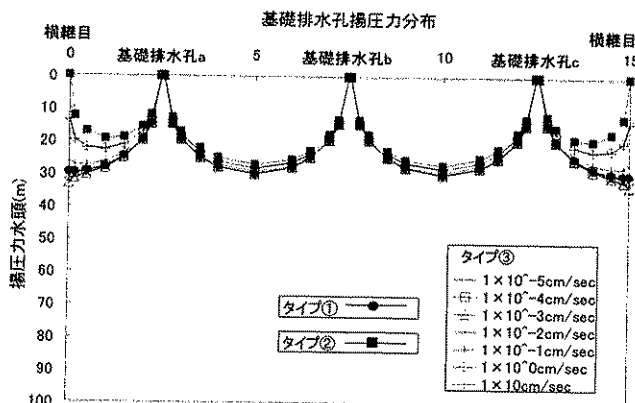


図-2.10 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE-10)

図-2.11 に、基礎排水孔からの排水量を示す。これより横継目の透水係数の増加割合と比較して排水量がさほど変化しないことが分かる。

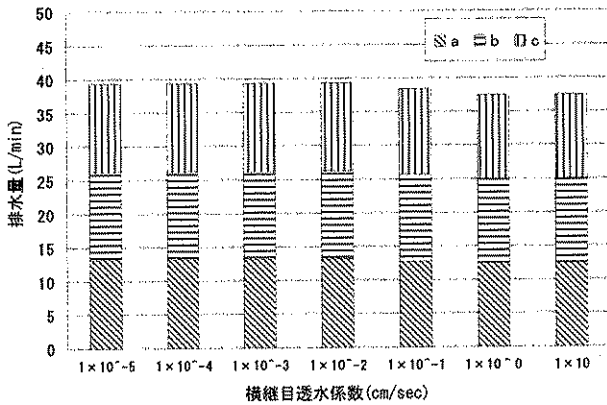


図-2.11 基礎排水孔排水量 (CASE-10)

2. 4. 3 基礎排水孔の孔口高さの影響

基礎排水孔の孔口高さを変動させた場合の揚圧力分布について、タイプ②モデルの CASE-9、CASE-10 について検討した結果、同様な傾向得られたため、ここでは、CASE-10 について基礎排水孔の孔口高さごとに、上下流方向の平均揚圧力分布を図-2.12 に、ダム軸方向の揚圧力分布を図-2.13 に示す。

基礎排水孔の孔口高さが高くなるにつれ、上下流方向の平均揚圧力分布、ダム軸方向の揚圧力分布は増加する。しかし、カーテングラウチングが施工されている場合には基礎排水孔の有無による揚圧力の変化量が小さいこともあり、孔口高さが上下流方向の揚圧力分布に与える影響は基礎排水孔から下流に概ね 10~20m 程度までの範囲に限られている。

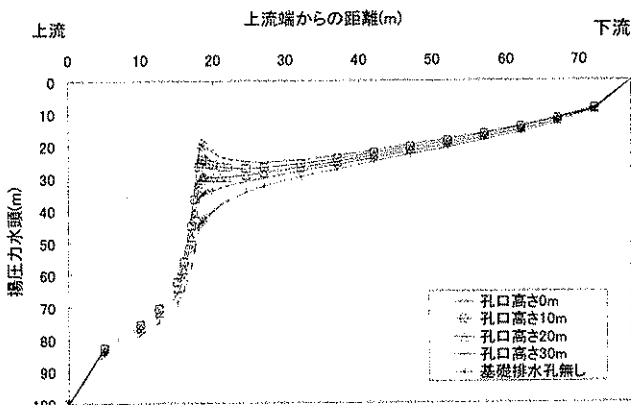


図-2.12 上下流方向の平均揚圧力分布 (CASE-10)

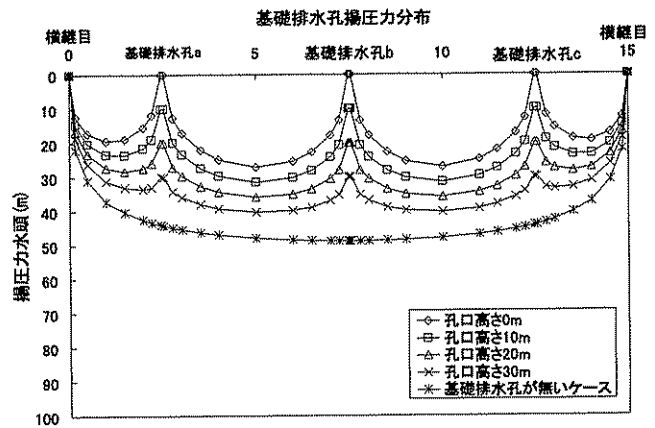


図-2.13 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE-10)

2. 5 基礎排水孔および基礎岩盤の目詰まりの影響 検討結果

2. 5. 1 基礎排水孔周辺の基礎岩盤の目詰まりの影響

基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まりした際の揚圧力分布を CASE-9、CASE-10 について、上下流方向の平均で揚圧力分布を図-2.14、2.15 に、ダム軸方向の揚圧力分布を図-2.16、2.17 に示す。また、目詰まり岩盤の透水係数とダム軸方向に平均した上下流方向の全揚圧力、および基礎排水孔の排水量との関係を整理したものを図-2.18 に示す。

基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まりが進行し透水係数が小さくなると、ダム軸方向、上下流方向の揚圧力分布はともに増加傾向を示すが、その影響範囲は基礎排水孔から下流に 10~20m 程度である。

また、基礎排水孔周辺の基礎岩盤の目詰まりが進行し透水係数が小さくなると、基礎排水孔の排水量は急激な減少傾向を示す。一方、全揚圧力は増加傾向を示すが、今回の解析条件下では 1 割程度の差でしかない。

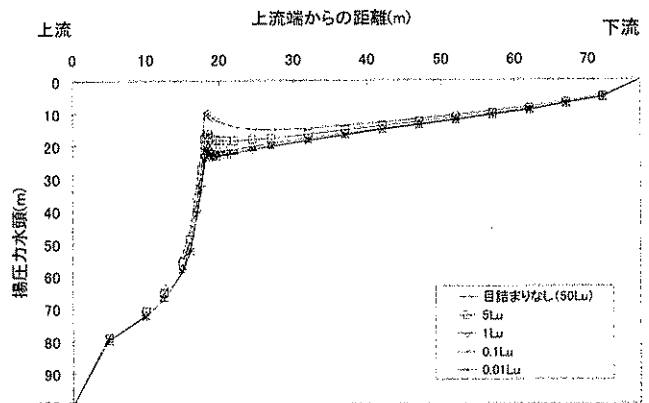


図-2.14 上下流方向の平均揚圧力分布 (CASE-9)

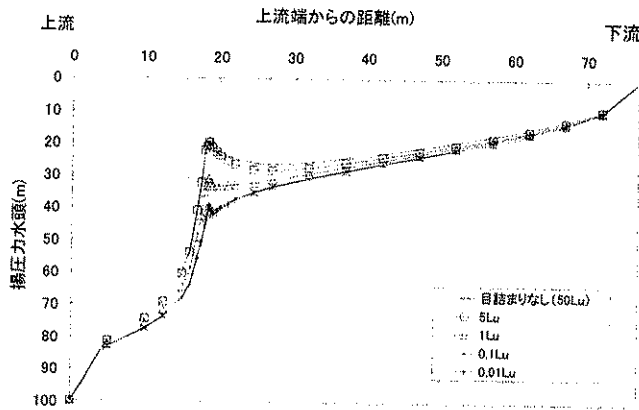


図-2.15 上下流方向の平均揚圧力分布 (CASE-10)

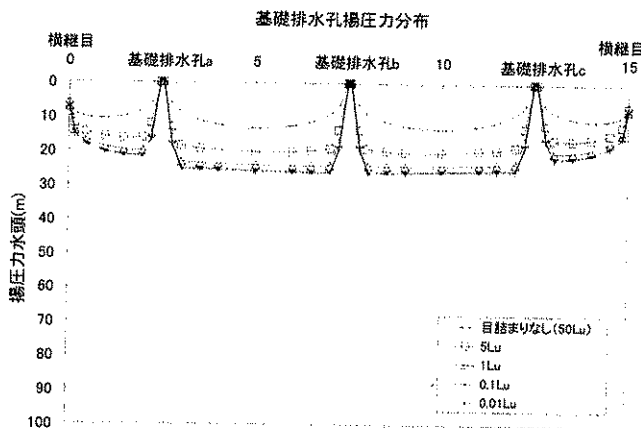


図-2.16 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE-9)

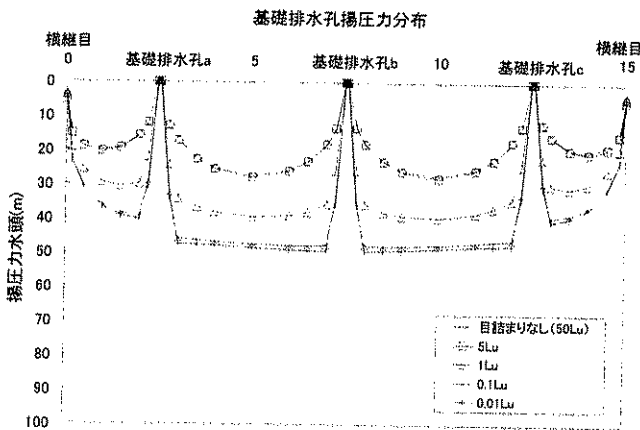


図-2.17 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE-10)

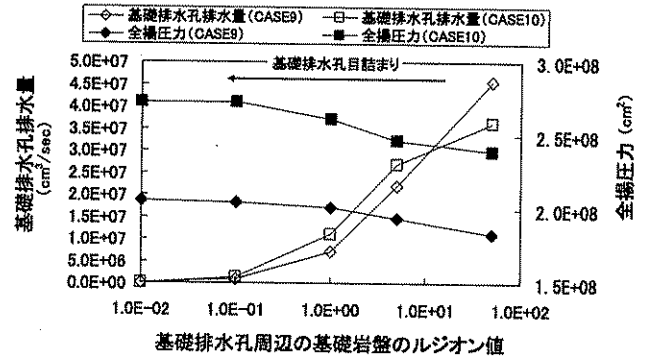


図-2.18 透水係数と上下流方向の全揚圧力および基礎排水孔の排水量との関係

2.5.2 カーテングラウチングより上流側岩盤の目詰まりの影響

カーテングラウチングより上流側基礎岩盤が20Lu、5Luまで目詰まりした際の揚圧力分布について、カーテングラウチングより上流側の堤敷範囲で岩盤上面から75mまでの範囲の基礎岩盤が目詰まりした場合のCASE-10についての、上下流方向の平均揚圧力分布を図-2.19、2.20、ダム軸方向の揚圧力分布を図-2.21、2.22、各ケースの基礎排水孔排水量を図-2.23に示す。

カーテングラウチングより上流側の基礎岩盤の目詰まりが進行した場合、透水係数が20Luの場合では、目詰まりの範囲によらず上下流方向の揚圧力分布は、カーテングラウチングより上流側では若干減少傾向にあるが、カーテングラウチングより下流側では変化はなく、ダム軸方向の揚圧力分布は若干ではあるが減少傾向にある。極端に透水係数が減少した5Luの場合では、上下流方向の揚圧力分布、ダム軸方向の揚圧力分布ともに揚圧力が大きく減少している。また、基礎排水孔の排水量については、目詰まりしていない場合と比較して減少している。また、20Lu程度までの目詰まりでも排水量は半分程度まで減少している。

以上から基礎排水孔およびその周辺の基礎岩盤が目詰まりが進行した場合は、基礎排水孔からの排水量が減少傾向を示し、上下流方向の平均揚圧力分布、およびダム軸方向の揚圧力分布は増加傾向を示す。

一方、カーテングラウチングより上流側の基礎岩盤が目詰まりが進行した場合は、その目詰まりによる程度の違いはあるが、基礎排水孔からの排水量、および上下流方向の平均揚圧力分布、ダム軸方向の揚圧力分布は減少傾向を示すという両者の違いが確認された。

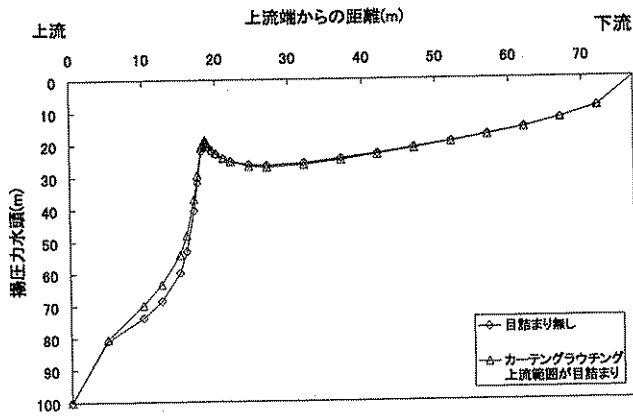


図-2.19 上下流方向の平均揚圧力分布
(目詰り範囲の透水係数 20Lu)

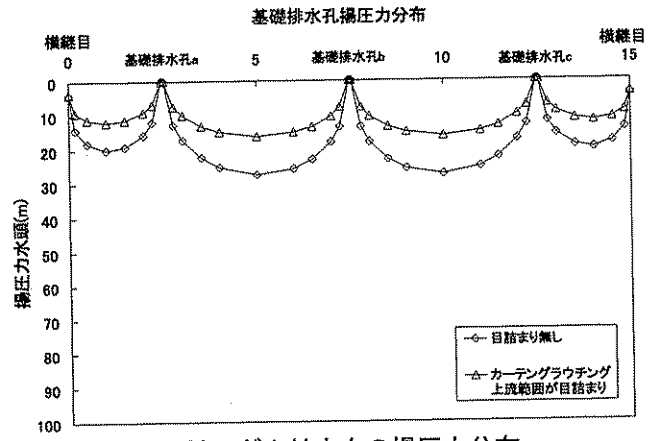


図-2.22 ダム軸方向の揚圧力分布
(目詰り範囲の透水係数 5Lu)

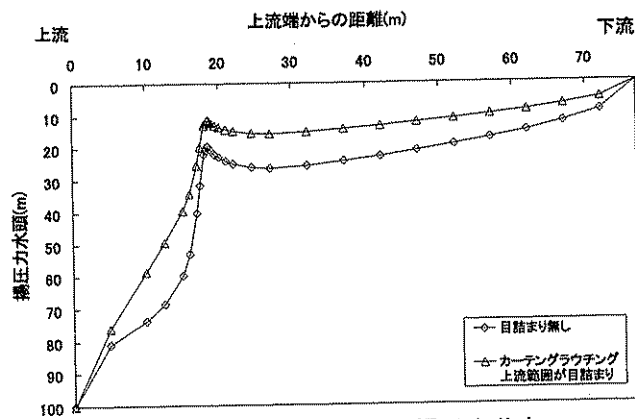


図-2.20 上下流方向の平均揚圧力分布
(目詰り範囲の透水係数 5Lu)

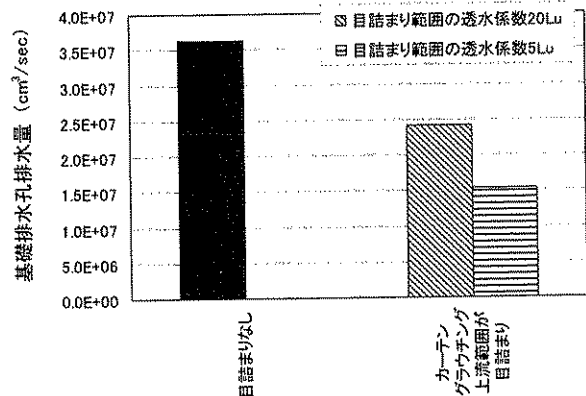


図-2.23 基礎排水孔の排水量

2.6 揚圧力の計測方法と揚圧力分布の検討結果

揚圧力測定方法ごとに、ダム軸方向の揚圧力分布を整理したものを、図-2.24~2.27 に示す。ここの揚圧力は、定常状態での値であり、揚圧力計測のために基礎排水孔を閉めてから十分に時間が経った場合を想定したものである。よって目詰り部の透水係数が低くなると、実際の計測時間では定常状態に達していない場合がある。なお、カーテングラウチングより上流側の基礎岩盤の目詰りが進行すると、揚圧力が減少して安定上有利に作用することが確認されたため、ここでは、比較対照として揚圧力が増加する基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰りしたケースも、目詰りしていないケースとともに検討した。なお、基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰りをしたケースでの条件は、基礎排水孔周辺の基礎岩盤の目詰りが進行した透水係数条件として 0.1Lu を採用した。

孔を閉塞しない場合の揚圧力の最大値、およびダム軸方向の平均揚圧力を、ブロッカー孔閉塞、全孔閉塞と比較したものを表-2.3 に示す。

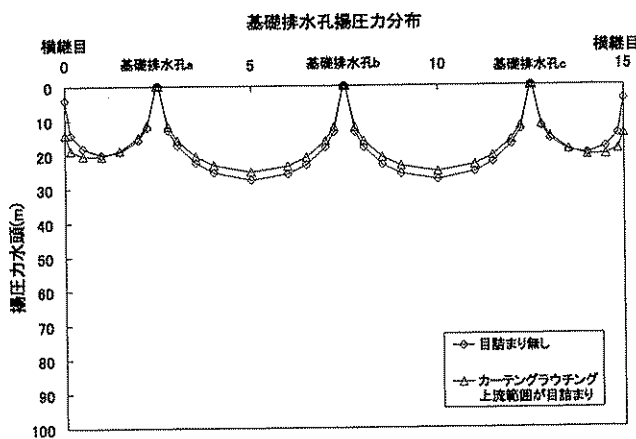


図-2.21 ダム軸方向の揚圧力分布
(目詰り範囲の透水係数 20Lu)

ブロッカー孔閉塞ないしは全孔閉塞により測定された揚圧力は通常のダム運用状況、つまり基礎排水孔を閉塞していない場合と比較してかなり大きい値となっているが、孔周辺の目詰まりにより両者の差が、特にブロッカー孔閉塞の場合、かなり小さくなるのがわかる。

また、実際の計測において、孔を閉塞後、孔口の揚圧力水頭が時間の経過とともにどのように変化するか、CASE-10の基礎排水孔周辺の基礎岩盤が0.01Luまで目詰まりしたケースについて、基礎岩盤として硬岩盤を想定し、比貯留係数を、 $3 \times 10^{-7} (1/m)^4$ に設定し、孔口の圧力水頭と孔口閉塞後の経過時間の関係を整理したものを図-2.28に示す。この図から、閉塞後に孔口部の水頭は徐々に増加するもののその速度は遅く、閉塞後12時間を経過しても定常状態には達していない。別途、同様な条件で実施した基礎排水孔の目詰まりがないケースでの解析では概ね2時間程度で定常状態に達していることとの大きな違いが確認された。揚圧力測定は、孔を閉塞後、基礎排水孔周辺の揚圧力が定常状態に達することを想定して数時間後に測定しているが、基礎排水孔もしくはその周辺が目詰まりしている場合は、数時間では定常状態に達していないと考えられる。既設ダムで揚圧力測定の際に、孔を閉塞しても揚圧力が測定できないが、基礎排水孔を再削孔したり、基礎排水孔間に新たな観測孔を設けるなどして揚圧力を確認すると、揚圧力が測定される事例があるが、これは基礎排水孔周辺が目詰まりを起こしており、揚圧力測定の際にはまだ定常状態に達しておらず、そのため孔口の揚圧力値が低く測定できないためと考えられる。

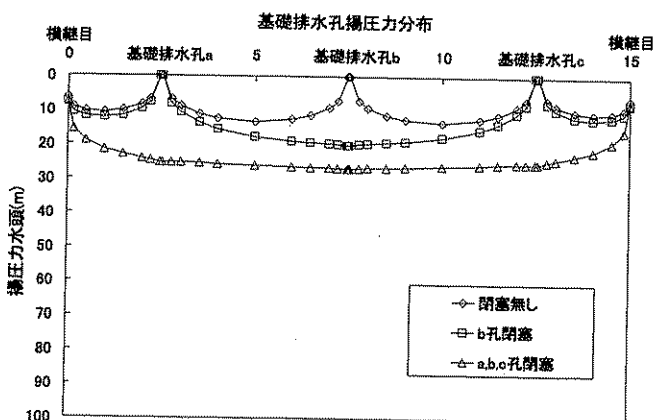


図-2.24 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE9)

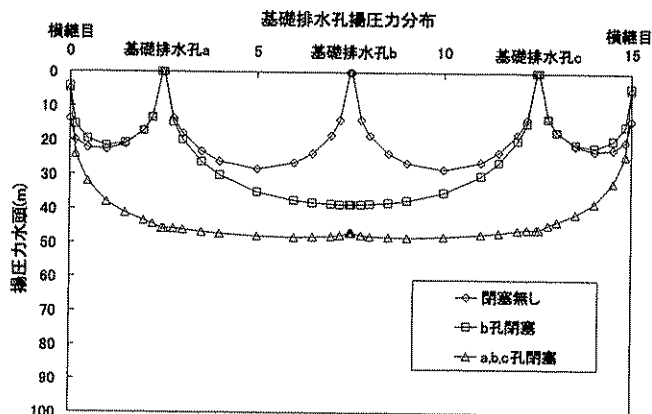


図-2.25 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE10)

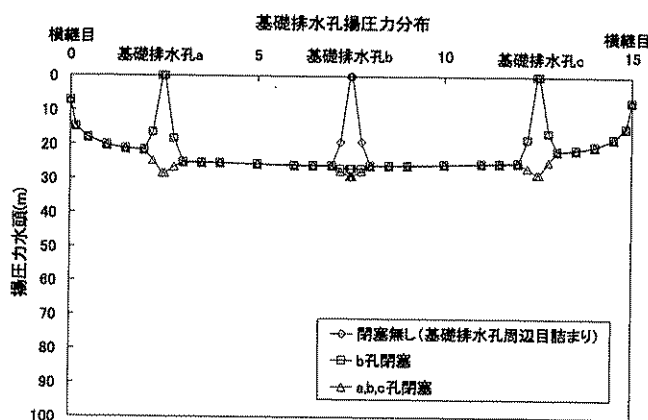


図-2.26 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE9)
(基礎排水孔周辺の基礎岩盤目詰まり：透水係数 0.1Lu)

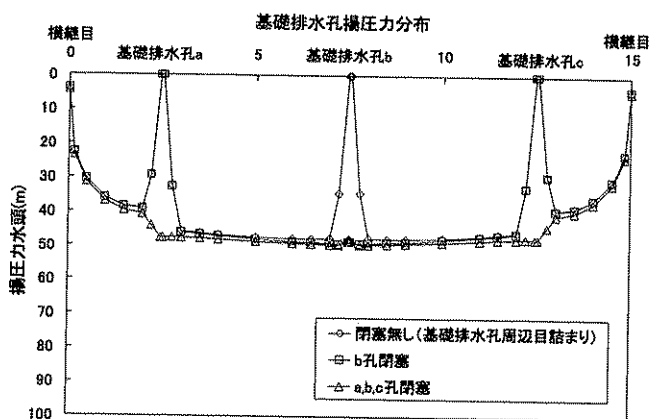


図-2.27 ダム軸方向の揚圧力分布 (CASE10)
(基礎排水孔周辺の基礎岩盤目詰まり：透水係数 0.1Lu)

表-2.3 揚圧力測定値とダム軸方向揚圧力の比較

ケース	ブロッカー孔閉塞		全孔閉塞	
	最大値	ダム軸方向の平均揚圧力	最大値	ダム軸方向の平均揚圧力
CASE-9	0.66	0.71	0.49	0.41
CASE-10	0.73	0.79	0.59	0.48
CASE-9 (基礎排水孔周辺目詰まり)	0.96	0.97	0.89	0.90
CASE-10 (基礎排水孔周辺目詰まり)	0.97	0.97	0.97	0.89

※表の値は、各測定方法による測定値に対するダム軸方向揚圧力分布の比率を示したものである。

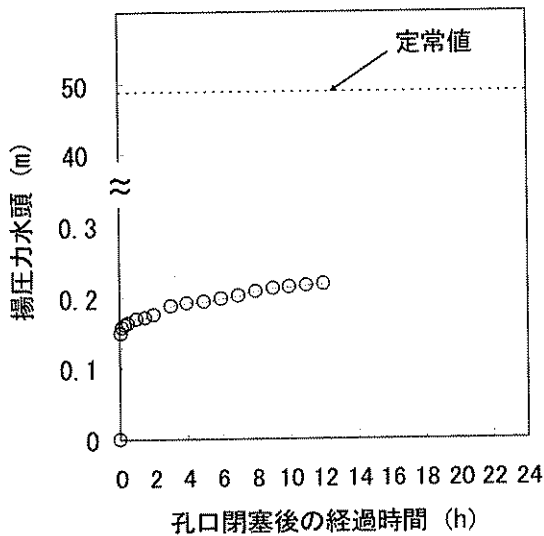


図-2.28 孔を閉じた場合の基礎排水孔の揚圧力の変化 (CASE10)

(基礎排水孔周辺の基礎岩盤目詰まり：透水係数 0.01Lu)

2.7 堤体安定性の検討

2.5、2.6 で得られた揚圧力に影響を及ぼす因子、基礎排水孔および基礎岩盤が目詰まりした場合の揚圧力分布をもとに堤体に及ぼす安定性について検討した。検討ケースは、代表的なグラウチングパターンを想定して CASE-9、CASE-10 を基本ケースとし、以下の①、②の条件について、せん断安全率を算出し、表-2.4 のようにまとめた。なお、せん断安全率を算出する際の、揚圧力分布は、基本ケース、条件②はタイプ③モデルの計算結果、条件①はタイプ②モデルの計算結果を用いた。また、基礎岩盤のせん断強度および内部摩擦角は、河川管理施設等構造令（以下、構造令）の設計揚圧力を用いた場合にせん断安全率が4となるように決定した。なお、参考までに基本ケースで、ブロッカー孔閉塞による揚圧力

測定値を基礎排水孔位置での揚圧力係数とし、上流側 100%、下流側 0%の 2 直線分布で揚圧力を与えた場合の計算も行った。

- ①基礎排水孔の孔口高さを 10m、20m と変動させた場合
- ②基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まりした場合（基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まりが進行し概ね収束する時点でのケースが対象）

基本ケースにおいて、せん断安全率が 4.0 以下となっていることから、揚圧力分布は構造令で与えられている分布より若干大きいものになっていることがわかる。また、基本ケースをベースとして、孔口高さや基礎排水孔周辺の岩盤の目詰まりが進行した場合のせん断安全率を見てもその減少は小さい。参考ケースとしてブロッカー孔閉塞による揚圧力測定値を基礎排水孔位置での揚圧力係数とし、上流側 100%、下流側 0%の 2 直線分布で揚圧力を与えた場合については基本ケース、孔口高さや基礎排水孔周辺の岩盤の目詰まりが進行した場合のケースと比較してその差は小さい。

表-2.4 せん断安全率

		条件	せん断安全率	揚圧力を算出した解析モデル
基本ケース	CASE-9	基礎排水孔の孔口高さ0m	3.97	タイプ③
	CASE-10	基礎排水孔の孔口高さ0m	3.87	タイプ③
①	CASE-9	基礎排水孔の孔口高さ10m	3.98	タイプ②
		基礎排水孔の孔口高さ20m	3.97	タイプ②
	CASE-10	基礎排水孔の孔口高さ10m	3.86	タイプ②
		基礎排水孔の孔口高さ20m	3.85	タイプ②
②	CASE-9	基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まり	3.93	タイプ③
	CASE-10	基礎排水孔周辺の基礎岩盤が目詰まり	3.81	タイプ③
参考(揚圧力はブロッカー孔閉塞の測定値をもとに2直線分布を仮定)	CASE-9	基礎排水孔の孔口高さ0m	4.00	タイプ③
	CASE-10	基礎排水孔の孔口高さ0m	3.87	タイプ③

3. コンクリートダム堤体の変状診断手法

3.1 調査の目的

管理中のコンクリートダムで発生する変状は、その要因により、構造的変状と経年変化により発生する変状に分類できる。構造的変状には、過度の変形、漏水、振動などがある。経年変化で発生する変状には、ひび割れ・浮き・剥落、錆汁、エフロエッセンス、汚れ(変色)がある。

構造的変状の調査としては、ダム管理者により定期的に揚圧力や変形量などについての計測・点検が行われ、その安全性および機能の維持が図られている。

一方、経年変化の調査としては、目視調査や打音調査が行われている。経年変化について、変状はその表面付近から進行すると考えられることから、その変状を知るには、まずコンクリート表面の劣化状況を調査する必要がある。劣化規模が微小でダムの安全性を損なうものでなくても、ダムの長期にわたる安全性の維持や局所劣化によるコンクリート片の剥離落下の危険性などを考慮した場合、コンクリート表面の変状部の早期発見は極めて重要である⁵⁾。

しかし、従来の打音検査では、変状部に接触する必要があるため、既設のキャットウォークなど点検通路からの調査では調査範囲が限定される。また、仮に足場などにより通路を確保した場合でも、調査すべき面積が広い場合危険を伴う高所での作業が多くなる。したがって、地表からの遠方調査で、可能な限り将来補修などの対策が必要になる可能性のある変状部を絞り込むことが、効率的な調査を実現するために必要となる。

本調査は、効率的な点検が要求されているコンクリートダム堤体表面に対し、鉄筋コンクリート構造物の老朽化診断や橋梁のコンクリート剥離箇所調査などで適用されている赤外線カメラのコンクリートダム表面の劣化診断への適用性を検討し、コンクリートダムの健全度診断手法を提案するものである。

3.2 既設ダムでの調査

3.2.1 ダムコンクリート表面における熱移動と変状の関係

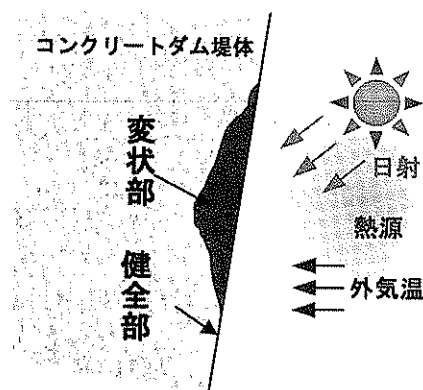
コンクリート表面における熱移動を面的に計測・記録する機器として、赤外線カメラがある。赤外線カメラを利用したコンクリートの変状の検出方法は、建築物の外壁タイルの剥落、建築物の漏水、モルタル吹付のり面の背後にある空洞を検出する方法とし

て発展し、その後、トンネルや橋梁の剥離の検出方法としても適用されはじめている。

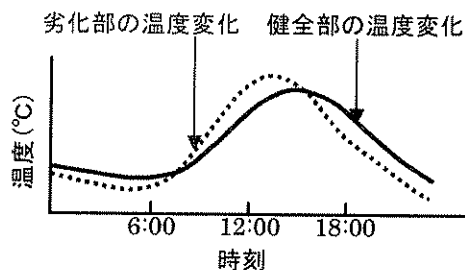
マスコンクリートであるダムコンクリートにおける変状検出の概念を図-3.1に示す。ダムコンクリート表面から熱量が供給されると、熱量はコンクリートの奥行き方向に移動する。しかし、剥離面や空洞など断熱材として機能する変状部がコンクリート内に存在する場合、剥離面や空洞の裏側に熱が伝わらない。この現象により剥離面や空洞より表側のコンクリート中に熱が蓄積される。その結果、図-3.1(b)健全部と変状部の表面温度変化モデルに示されるようにコンクリート表面では剥離・空洞箇所の表面温度が変化し、コンクリート前面における表面温度に相対的な温度差が発生する。

仮に、コンクリートの温度が低く、与えられる熱量がプラスの場合、剥離・空洞部が存在する範囲では、表面温度が周囲よりも高くなる。

なお、コンクリートダムの場合、橋梁等と異なり、断面が厚いため着目している面とは反対側(裏側)からの熱の影響が及ばないため、熱の供給はダム前面の日射及外気温のみとなることに特徴がある。



(a) ダムコンクリート表面への熱の供給



(b) 健全部と劣化部の表面温度変化モデル

図-3.1 ダムコンクリートにおける変状検出の概念

3. 2. 2 観測方法の検討

赤外線カメラを用いたコンクリートダムにおける観測は、概査適用性調査、精査適用性調査の2段階で実施した⁶⁾。

概査適用性調査は、赤外線カメラによりダム全体を効率的に調査して問題点を絞り込むという適用性を明らかにする事を目的とした。

精査適用性調査は、赤外線カメラにより比較的小規模な範囲を詳細に調査するという適用性を明らかにすることを目的とした。

使用した赤外線カメラの性能を表-3.1 に示す。カメラは、測定波長が太陽光の影響を受けにくい長波長帯(8~14 μ m)、温度分解能が0.08 $^{\circ}$ C(30 $^{\circ}$ C撮影時)、熱画像画素は 使用が容易な検出器部が非冷却センサのものを選定した。

レンズは用途に応じて、標準レンズ・2倍望遠レンズ・10倍望遠レンズを使い分けた。

表-3.1 赤外線カメラの性能

製品名	サーモレーサ TH7102WX
製造元	NEC 三栄株式会社
最小検知温度差	0.08 $^{\circ}$ C (at 30 $^{\circ}$ C)
測定精度	$\pm 0.2\%$
測定波長	8~14 μ m
検出器	2次元非冷却センサ
視野角	水平 29 $^{\circ}$ × 垂直 22 $^{\circ}$
熱画像画素数	320 (H) × 240 (V)

3. 2. 3 現地調査方法

いくつかのダムにおいて赤外線カメラを使用した観測を行ったが、本報告では、建設後40年弱経過しているアーチダムであるYダムにおける観測結果を示す。なお、Yダム表面にはポップアウトなどの軽微な変状が確認されている。

概査適用性調査は、撮影対象までの距離100mの位置から標準レンズ・2倍望遠レンズ・10倍望遠レンズを用いて(写真-3.1)、また精査適用性調査は、撮影対象までの距離5mの位置から標準レンズを用いて実施した(写真-3.2)。

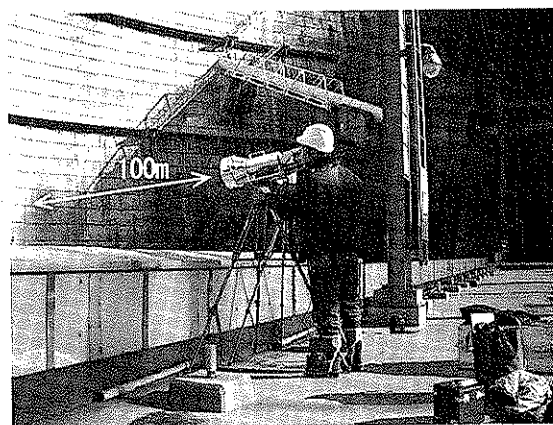


写真-3.1 概査適用性調査状況

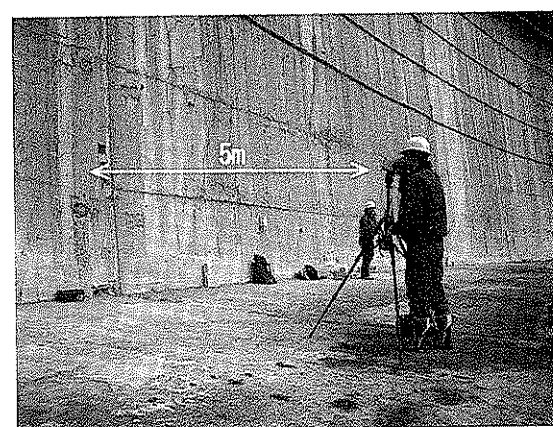


写真-3.2 精査適用性調査状況

3. 2. 4 調査結果

1) 概査適用性調査

・標準レンズを使用した調査

撮影対象までの距離100mの位置から標準レンズを用いて撮影した結果を示す。写真-3.3は撮影対象の可視画像、図-3.2は撮影対象の赤外線観測結果である。しかし、その判別は必ずしも容易ではない。

図-3.2中○印は、目視調査やデジタルカメラ画像から総合的に判断し、変状(剥離)によって表面温度が高いと判断した箇所である。

標準レンズを使用した場合、1回の観測における測定範囲は広いが、小さな剥離を見落とす可能性がある。また、広い範囲を観測するため、画像内における温度分布範囲が大きく、1つの温度表示設定では剥離を熱画像から発見できない可能性がある。



写真-3.3 標準レンズを使用した観測(可視画像)

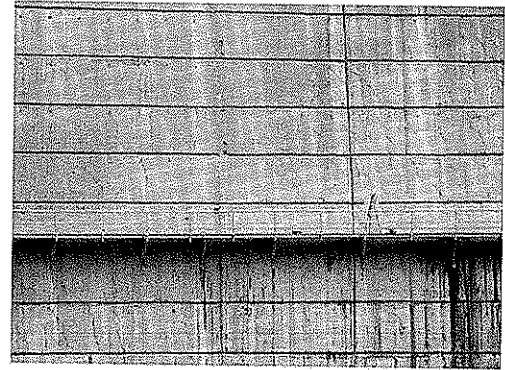


写真-3.4 2倍望遠レンズを使用した観測(可視画像)

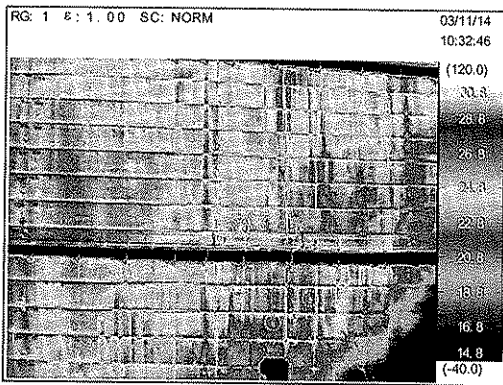


図-3.2 標準レンズを使用した観測(熱画像)

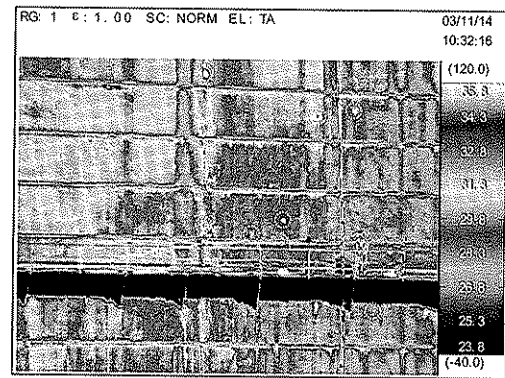


図-3.3 2倍望遠レンズを使用した観測(熱画像)

・2倍望遠レンズを使用した調査

標準レンズで撮影した地点を、2倍望遠レンズで撮影した結果を示す。写真-3.4は撮影対象の可視画像(撮影範囲は写真-3.3を参照)、図-3.3は撮影対象の赤外線観測結果である。

2倍望遠レンズでは、標準レンズよりも剥離の発見が容易であるが、まだ比較的大きなものでないと発見できない。

・10倍望遠レンズを使用した調査

標準レンズで撮影した地点を10倍望遠レンズで撮影した結果を示す。写真-3.5は撮影対象の可視画像(撮影範囲は写真-3.3を参照)、図-3.4は撮影対象の赤外線観測結果である。

10倍望遠レンズでは、熱画像の観測範囲がキャットウォークから標準レンズを使用して観測した大きさとほぼ等しくなり、剥離の発見は容易である。ただし、1回に観測できる範囲が狭いことから、調査効率が低下することに加えて、観測位置を特定する際には注意する必要がある。

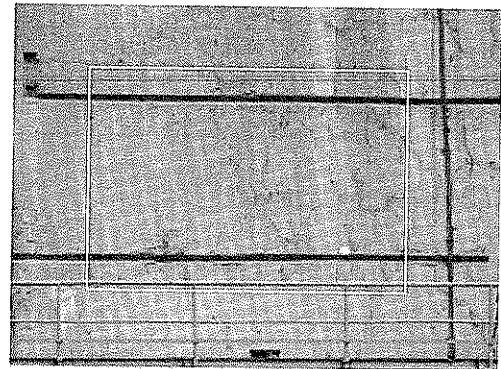


写真-3.5 10倍望遠レンズを使用した観測(可視画像)

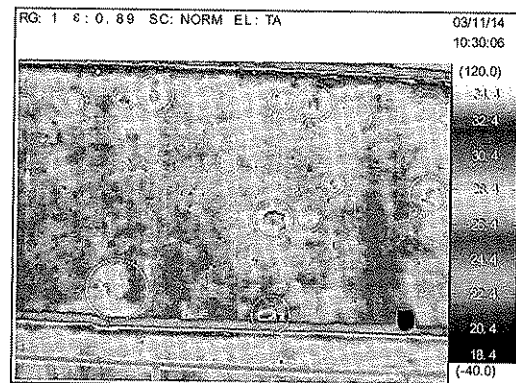


図-3.4 10倍望遠レンズを使用した観測(熱画像)

以上概査適用性調査結果より、事前に、コンクリートの各変状の表面温度分布を把握した上で、測定距離と望遠レンズの倍率を適切に組み合わせる事で、概査として各変状を抽出できる可能性がある。

2) 精査適用性調査

撮影対象までの距離 5m の位置から標準レンズを用いて撮影した結果を示す。写真-3.6 は撮影対象の可視画像、図-3.5 は低温時の午前 8 時 22 分に観測した撮影対象の熱画像、図-3.6 は高温時の午前 11 時に観測した撮影対象の熱画像である。また、温度差画像を図-3.7 に示す。

写真-3.6 より、可視画像では同じように見える変状(ポップアウト)であるが、低温・高温時の熱画像より差画像を作成することで、写真-3.6 中左のポップアウトの浮きが激しいと推測できる画像を作ることができる。現地調査時、コンクリート検査ハンマーで叩いた結果においても写真-3.6 内、左側の変状が浮いている事が確認できた。

以上のように温度差画像を作成することで、剥離をより鮮明に検出することができる事が確認できた。簡易的に調査する場合には、温度上昇時における 1 時刻の調査で対応する。詳細に調査する場合には、高温時と低温時の 2 時刻において調査を行い、温度上昇時の画像と、温度差画像の両方から剥離を検出することにより、変状部を鮮明に抽出できる可能性がある。



写真-3.6 可視画像

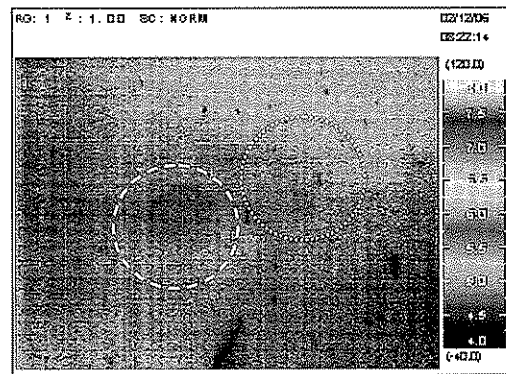


図-3.5 熱画像(午前 8:22 撮影: 低温時)

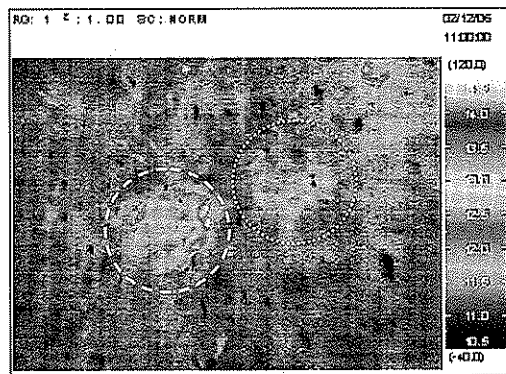


図-3.6 熱画像(午前 11:00 時撮影: 高温時)

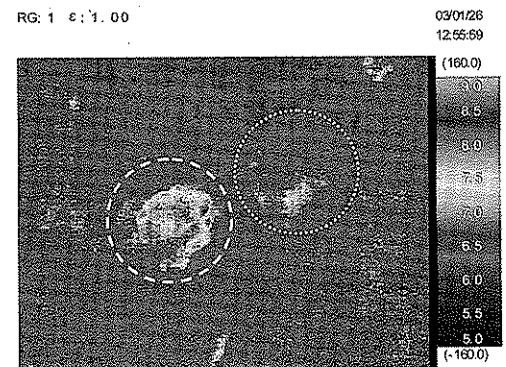


図-3.7 温度差画像(【11:00】 - 【8:22】)

3) ダムで発生する変状の種類と熱画像

ダムコンクリートにおける赤外線調査で対象とする変状は、調査事例より主に、「ひび割れ」「剥離」及び「エフロレッセンス(漏水の痕跡の可能性)」である。

そのため、調査は、これらの変状を重点的に調査することを目的とするが、その他変状についても、測定条件によっては、発見できる可能性も念頭におき調査すべきである。

・ひび割れ

ダムコンクリートにおけるひび割れの発生要因として、乾燥収縮、温度応力、凍結融解作用などがある。ひび割れの発生を助長する要因としては、特異な形状、施工不良などが挙げられ、これら要因が単独または複合的に組み合わさることによりひび割れが発生する。

ひび割れを撮影した可視画像を写真-3.7 に、赤外線画像を図-3.8 に示す。図-3.8 のように、ひび割れの両側の表面温度が同じひび割れと、ひび割れを境界に表面温度の異なるひび割れが認められた。この違いは、図-3.9 に示すように、ひび割れの奥行き進展方向の違いによって起こると考えられる。即ち、ひび割れ両側の表面温度が同じひび割れは、奥行き方向にほぼ垂直に進展しているないしは浅いひび割れ(対象ダムでは周辺状況から後者の可能性が高いと判断される)と考えられ、ひび割れを境界に表面温度が異なるひび割れは、表面付近で温度の高い側に進展しているひび割れであると考えられる。

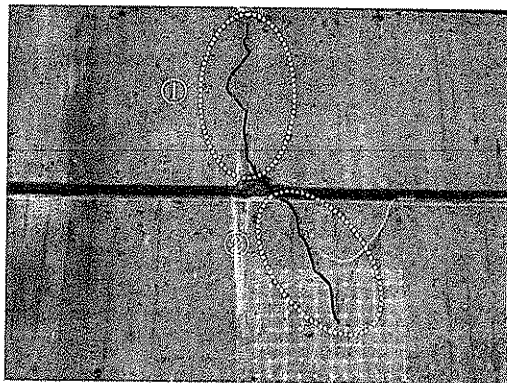


写真-3.7 ひび割れの可視画像

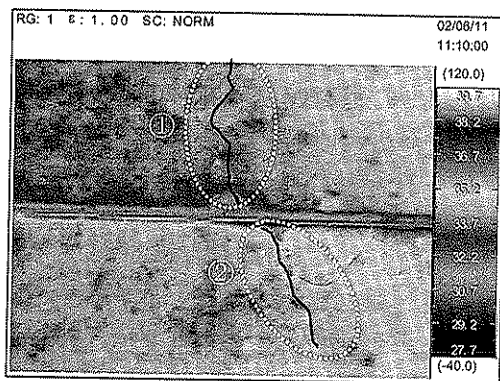
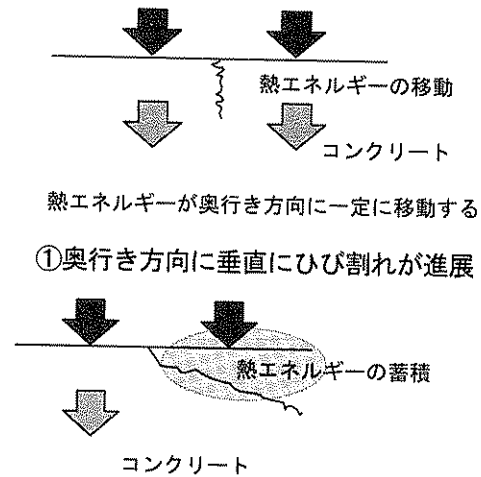


図-3.8 ひび割れの熱画像



ひび割れより奥行き方向に熱エネルギーが移動できず、表面温度が上昇する。熱エネルギーが奥行き方向に一定に移動する。

②表面付近にひび割れが進展
図-3.9 ひび割れ周辺の表面温度概念

・剥離

施工上の問題による剥離は横継目及び縦継目付近に発生しやすい。写真-3.8 に示されるように、継目付近の剥離の恐れがある箇所は目視では確認することが難しい場合があるが、図-3.10 に示されるように熱画像を撮影することにより、剥離危険箇所を検出することができる。

剥離はコンクリート表層部の部分的な破損であり、構造上の問題ではない。そのため、美観、コンクリート片などの落下の危険性などを考慮して、補修の必要性を検討する事が重要となる。



写真-3.8 剥離部の可視画像

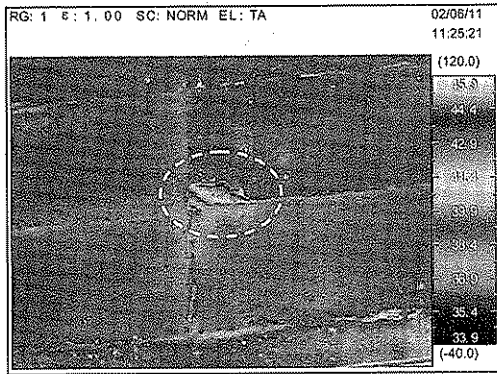


図-3.10 剥離部の熱画像

・エフロッセンス

コンクリートダムにおけるエフロッセンスは、縦継目・横継目やクラックから析出されることが多い。

エフロッセンスは目視でも比較的容易に確認できる変状である。

しかし、赤外線カメラにより撮影し画像により、エフロッセンス内に低温部が認められた場合、目視により確認できない漏水を見つけることも可能になる。

3.3 赤外線カメラを用いたコンクリートダム堤体健全度診断手法の提案

現地観測により得られた知見を基に赤外線カメラを用いたコンクリートダム堤体健全度診断手法を提案する。本提案は、コンクリートダム堤体のほか、ダムに付随するコンクリート構造物の維持管理のうち、初期点検、日常点検、定期点検の簡略化を目的とする。

健全度診断フローを図-3.11 に示す。

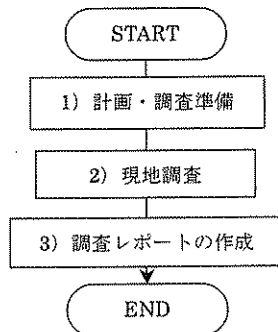


図-3.11 堤体健全度診断のフロー

以下にそれぞれの項目について、詳細を述べる。

1) 計画・調査準備

計画・調査準備は表-3.2 に示した内容を行う。

コンクリートダムの点検における赤外線調査はダムのロケーションや、調査時の気象条件に大きく左右されるため、入念な計画・調査準備が必要である。

表-3.2 計画・調査準備内容

計画 ・ 調査 準備	関係資料の収集
	測定時期の検討
	測定時間の検討
	撮影位置の選定
	調査ルート・調査地点の選定
	調査カルテの作成

・関係資料の収集

関係資料の収集では、変状の原因をある程度まで推定できるように、ダム周辺の気象情報、コンクリートの配合、使用材料などの基本的な情報を収集する。赤外線カメラ調査場所を検討するために必要なダムやダム周辺の平面図及びダムの正面図を中心とした各種構造資料や、対象ダムでこれまで変状調査を実施してきた場合はその資料などを収集する。

・測定時期の検討

赤外線カメラで変状を確認するのに最も適した時期(季節)の条件として、以下のことがあげられる。

- ① 広範な範囲及び、長時間日射があたること
- ② 日中の温度差が大きいこと

従って、点検を実施するダムで、気象情報や周辺の状況を分析し堤体下流面に日射が長時間得られる時期を選定するのが望ましい。ただし、ダム堤体下流面が北向きであるなどの理由で、年を通して日射による温度差をとることが期待できない場合には、別途日中の温度差が大きく得られる時期を選定し候補にあげる。

これまでの観測の経験から、地方によって異なるが、温度差が得られる時期は春から初夏及び秋である。これまでのコンクリートダム堤体現地調査によると、真夏や冬は日中の温度差が無く観測に不向きである。

・測定時間の検討

赤外線カメラで変状を確認するのに最も適した時間帯は、日射があたる時間帯及び 9:00~12:00 などの気温が上昇する時間帯である。そのため、調査時期における日照時間や太陽行路を予め把握し、対象ダムにおいて、最も正確な調査が可能な時間帯と対

象地点を把握する。

また、それ以外の時間帯でも、雲の切れ間の日射により想像以上の温度差が得られ、良好なデータを得られることがある。

・撮影位置の選定

使用予定のカメラ及びレンズで最も正確な調査が可能な距離を予め把握する。

遠距離からの10倍望遠レンズの使用は、熱画像の視野が狭くなるため、広大なコンクリートダム堤体の観測位置の特定に時間がかかる。現在では赤外線カメラの計測範囲の可視画像も同時に撮影する赤外線カメラがあり、観測位置の把握が容易なものもある。また、10倍望遠レンズに簡易スコープを装着して目視で観測位置を確認しながら観測をおこなうこともできる。事前に撮影位置の選定を行うとともに、調査時は時間がかかる作業ではあるが、変状位置を確実に押さえるために熱画像観測位置の把握を現場で行う事が望ましい。

・調査ルート・調査地点の選定

調査ルートは、目視調査、赤外線カメラでの撮影、デジタルカメラ撮影及び気象調査を実施する箇所への移動ルートをいう。資料に基づき安全かつ効率的な調査ルートを設定する。

・調査カルテの作成

調査後データの不均一性を排除するために基本情報についての調査カルテを事前に用意する。

調査カルテは変状の位置、観測基本データ、変状状況チェック表、調査メモから成っており、作成にあたっては以下の点に配慮する。

- ①変状の位置は赤外線観測結果と照合できるように識別番号を振る。
- ②観測基本データについては、観測日、観測時間、観測者・記録者の名前、堤体の向き、日射状況、外気温、対象変状までの距離を明記する。
- ③変状状況チェック表は、目視評価により、変状の種類(クラック・浮き・エフロッセンス&漏水)を分類し、調査状況を記入する。
- ④調査メモにおいては、チェック表等で網羅しきれない事柄について書き込む。
- ⑤調査カルテには、事前の資料調査で予め変状箇所の可能性の高い箇所が把握できれば、それをカルテに盛り込み、脱漏を防ぐものとする。

2) 現地調査

現地調査は表-3.3 に示した内容を行う。

表-3.3 現地調査内容

現地 調査	作業員構成
	現地調査下見
	目視調査
	赤外線法調査
	可視画像の作成

・作業員構成

調査時は撮影者、記録者、指示者等、調査班の役割分担を明確にし、それぞれを同一技術者が撮影するなどして、データの均一性と安定性が得られるよう努める。

・現地調査下見

下見では調査ルートの妥当性、特に危険性については入念に把握し、問題がある場合はルート変更の検討を行う。

・目視調査

事前調査によって得られた変状状況を踏まえ、赤外線カメラによる観測を行う際に、観測対象の状況などを目視により調査する。

目視評価の方法は基本的にはコンクリート表面にできるだけ近接して入念に目視で観察する。ただし、現地条件から近接して目視できない場合は、双眼鏡等により観測を行う。

・赤外線カメラによる調査

赤外線カメラによる調査は必要に応じて広角レンズ、望遠レンズを使用し、対象面を撮影する。目視調査によって、重点的に撮影を行うべきであると判断された箇所や、局所的に温度変化が激しい箇所等は、三脚等にカメラを固定し撮影する。

赤外線カメラによる観測では、健全部でも一様でない表面温度分布が撮影される場合がある。日射の当たり方や構造物のコンクリート面の向いている方向により、同時刻でも健全部で表面の温度は異なる。このような温度分布は剥離の検出の妨げとなる事がある。熱画像を現場で観測する際には、以下の点に注意しながら観測を行うと解析時の熱画像評価が比較的容易となる。

- ・熱画像の温度表示設定をこまめに変更し、剥離抽出に最適な温度表示設定を見つける。
- ・現場で観測されている熱画像が、なぜこのような表面温度分布をしているか日射の状態など目視に基づいて検討する。
- ・必ず観測箇所の可視画像を撮影し、比較検討用資料とする。

ないことが想定される。よって揚圧力が経年的に低下してきた場合には、それが基礎岩盤全体の性状変化を表すものか、あるいは局所的な性状変化かについて排水量の変化とあわせて判断することが重要と考えられる。揚圧力、基礎排水量の変化傾向から判断しにくい場合は、①基礎排水孔内を清掃して、揚圧力計測値に変化がないかを見る、②基礎排水孔の水面位置を計測し、揚圧力が低下しているか、あるいは孔そのものが目詰まりしているかを調べる、③対象の基礎排水孔を閉塞し、数日間の圧力変化を観測し定常状態の揚圧力を把握する、あるいは④既存の基礎排水孔の間に新たな観測孔を設けて、基礎排水孔以外の場所での揚圧力の大きさを調査するとともに、既存基礎排水孔の開閉が観測孔における揚圧力に与える影響を評価することが対策として考えられる。

効率的な点検が要求されるコンクリートダム堤体表面について赤外線カメラを使用した健全度診断手法の提案を行った。

赤外線法調査の一般的な特徴として、①非接触で広い範囲の調査を短時間で実施できる、②簡便な機材で調査が可能である、③調査結果が表面温度の分布の2次元画像として記録できる等が考えられる。

現地調査の結果、コンクリートの各変状の表面温度分布を把握した上で、測定距離と望遠レンズの倍率を適切に組み合わせる事により、ひび割れ、剥離、エフロッセンス、が赤外線法調査で判別できるダムコンクリートの変状であることがわかった。

使用する赤外線カメラの手軽さ、赤外線法調査で判別できる変状形態を考えると、コンクリートダムの管理において、赤外線法調査は、主に初期点検や日常点検・定期点検に適用できる調査の一手法として考える事ができる。

それらの検討結果を踏まえ、「赤外線カメラを用いたコンクリートダム堤体健全度診断手法」について提案を行った。

今後、ダム堤体健全度診断手法を実ダムで運用しながら改善するにあたり、以下の課題を含め検討する必要がある。

(1) 剥離検出精度の検討

現在の日射量、外気温に依存した観測手法では、変状があることは確認できるが、変状を定量的に評価する事はできない。現地調査あるいは模擬実験等により、大きさが既知である変状を多種多様な条件

の下、観測し、精度比較を定量的に行っていく事が必要である。

(2) 赤外線カメラ性能向上の考慮

今後、赤外線カメラの性能の向上や付加機能により、現在できない計測が今後可能となる可能性がある。

参考文献

- 1) 川崎秀明、山口嘉一他：ダムの被害状況、平成15年5月26日宮城県沖地震に係わる現地調査報告書、pp.24-25、2003.9
- 2) 市原裕之、山口嘉一、佐々木隆：重力式コンクリートダムの横継目の揚圧力低減効果に関する解析的検討、第57回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.517-518、2002.9
- 3) 市原裕之、山口嘉一、佐々木隆、小堀俊秀：重力式コンクリートダムの横継目の揚圧力低減効果に関する解析的検討（その2）、第58回土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、2003.9
- 4) 地下水ハンドブック編集委員会：地下水ハンドブック、p.76、1989.1
- 5) 市原裕之、小堀俊秀：赤外線法を用いたダムコンクリート表面部の劣化診断、土木技術資料、Vol.44 No.12、p.4、2002.12
- 6) 小堀俊秀、富田尚樹、佐々木隆、山口嘉一：赤外線カメラを用いたコンクリートダム堤体の健全度診断、第31回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、CD-ROM V-61、2004.3