

フィルダムにおける堤体の挙動とその解析 (その2)

——佐仲ダムの貯水時における観測結果と間隙水圧の解析法について——

齋 藤 二 郎 平 間 邦 興
木 村 薫 丸 山 誠

Embankment Movement at Fill-Type Dam and Analysis Thereof (Part 2)

——Observation Results of Sanaka Dam During Water Impoundment
and Analysis Method of Pore Water Pressure——

Jiro Saito Kunioki Hirama
Kaoru Kimura Makoto Maruyama

Abstract

Sanaka Dam in Hyogo Prefecture is a multipurpose irrigation dam of center-core fill type with a height of 39.8 m, length of 144.0 m and volume of 280,000 m³. Its foundation consists of various kinds of rock strata indicating complex alternations with development of faults and fissures having been subjected to the effects of severe crustal movements. In design and construction of the dam, in order to study the safety of the dam body and the method of construction, various instruments were embedded for examination of pore water pressure and other factors, and the behaviors are being measured. In the previous paper, the results of analyses of records from various observation instruments were summarized with regard to the behaviors of the dam body and the foundation rock during banking. In this report, the analysis results of data from various observation instruments are summarized concerning the behaviors of the dam body and the foundation rock during water impoundment. A few examinations are also made of theoretical pore water pressures in consideration of dissipation, which is the greatest problem in various analyses.

概 要

兵庫県佐仲ダムは灌漑用の多目的ダムで、堤高 39.8 m、堤長 144.0 m、堤体積 28万 m³ の中心コア型フィルダムである。その基礎岩盤は複雑な岩層区分から成り、数多くの断層や劈開の発達した互層状態を示し、激しい地殻変動を受けた岩盤である。当該ダムの設計施工においては、堤体の安定性や施工方法などを検討するために、間隙水圧計をはじめとして各種の観測計器をダム堤体および基礎地盤に埋設し、動態観測を実施した。既報では、堤体盛土完了までの観測結果についてその解析結果の概要を示した。この報文では、主に貯水時の堤体や基礎地盤の挙動について解析した結果について示すとともに、今まで実施した諸解析の中で最も問題となった消散を考慮した間隙水圧解析法について 2、3 の検討結果を示す。

1. まえがき

兵庫県佐仲ダムは篠山川灌漑排水計画の一環として建設されたフィルダムで、昭和50年4月着工、昭和52年12月に堤体の盛立て工事を完了、昭和53年3月より貯水が開始された。当該ダムの基礎岩盤はいわゆる丹波層群に属する多種多様な岩層から構成され、しかも多くの断層や劈開の発達した複雑な地層状況を示している。また、河川敷には平均 8 m 厚で河床堆積層が分布し、随所にレ

キ混り粘土層を挟在している。したがって、築堤過程あるいは貯水過程のダム堤体挙動を把握し、堤体の安定性を検討するために、各種の観測計器を堤体内および基礎岩盤内に埋設した。

既報告¹⁾では、築堤過程における堤体挙動について解析した結果を示した。この報告では、築堤完了後から貯水過程に至るダム堤体の動きについての解析結果の概略をまとめたものである。ついで、既報で実施した解析結果のうち、特に残留間隙水圧の解析法の問題点について

2, 3の検討結果を示す。

なお、埋設した観測計器の種類や仕様などの詳細については、既報(その1)¹⁾を参照されたい。

2. 貯水時の堤体挙動について

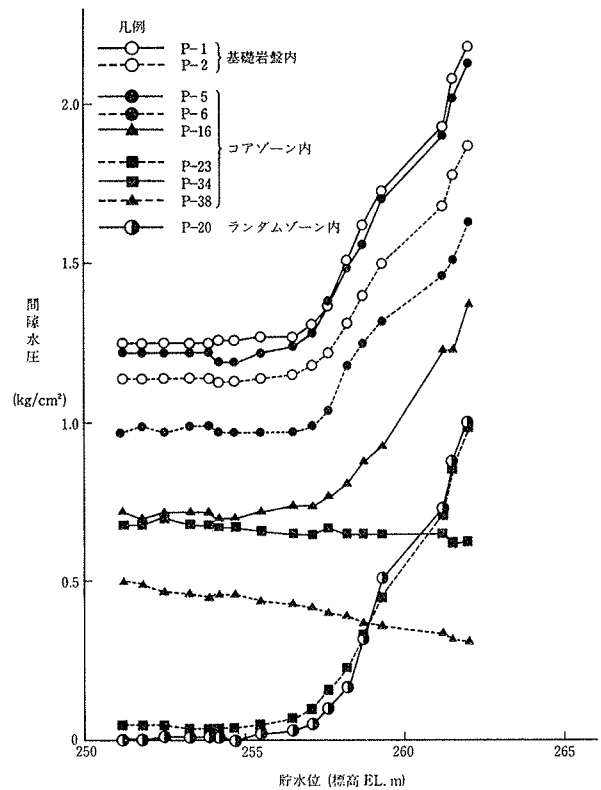
埋設計器の貯水開始時における観測結果を貯水位との関係について検討した結果の概要を以下に示す。なお、貯水位に関しては詳細な経日変化がないため、部分的に中間値を補間した結果を採用した。

2.1. 間隙水圧の動き

貯水時による間隙水圧の変化を代表的計器についてまとめて示したのが図一1である。図中では、基礎岩盤内、コアゾーン内およびランダムゾーン内に分けて示してある。一部の計器を除くと、貯水位が増加するにつれて、間隙水圧の大幅な上昇が認められ、特に堤体敷下の基礎岩盤や堤体コアゾーンなどにおける傾向が顕著である。いずれも築堤完了後にはほぼ一定値を示していたが、貯水時には約2倍以上の間隙水圧が得られている場合も認められる。しかし、これらの間隙水圧も盛土荷重の20～30%に過ぎず、際立って大きい値ではない。ところで貯水位の上昇に対して、間隙水圧の減少する傾向が堤体コアゾーンの頂上部の計器に認めることができる。これは、盛土荷重が比較的小さいことと、堤体内への浸水による不飽和土のサクシオン作用などによるもので、過渡的な現象と推定される。

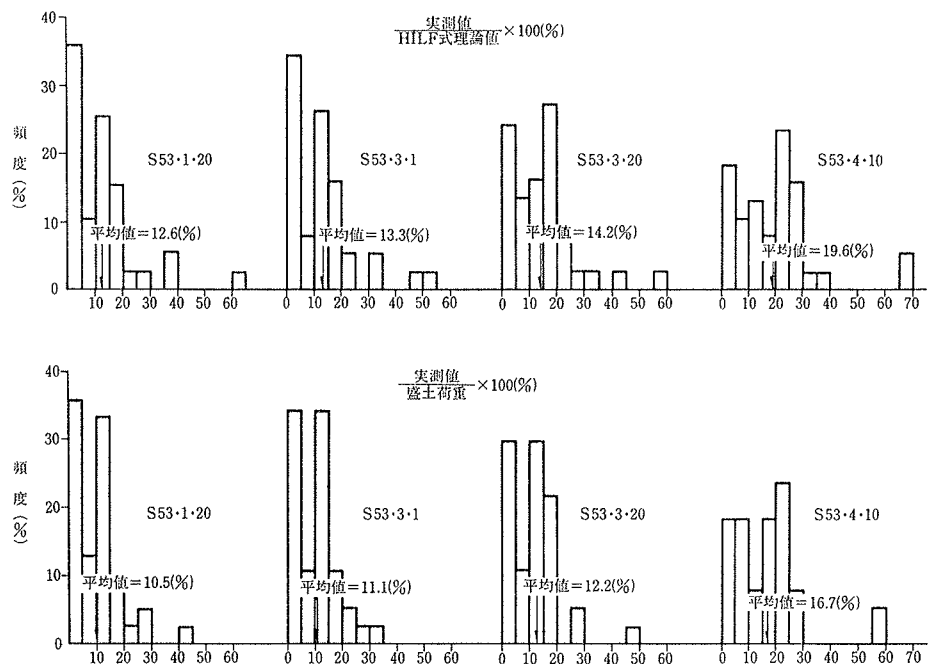
築堤完了から貯水開始に至るまでの実測値と Hilf の理論値あるいは盛土荷重との割合を、すべての間隙水圧計についての頻度分布を示したのが図一2である。図中の平均値とは単純相加平均で示している。貯水開始によって、実測値との割合が徐々に増加し、しかも全般的に平均化されていく傾向が認められ貯水に伴って一定した割合で実測値に落ちつくものと予想できる。築堤完了から貯水開始までは平均的に10～20%の実測値を示すに過ぎないが、一部の計器を除くと、このダムでは最終的に盛土荷重あるいは Hilf の理論値の最大30%程度まで上昇するものと考えるのが妥当のようである。

ついで、間隙水圧の横断分布の推移を示したのが図一3である。観測結果はダム盛立



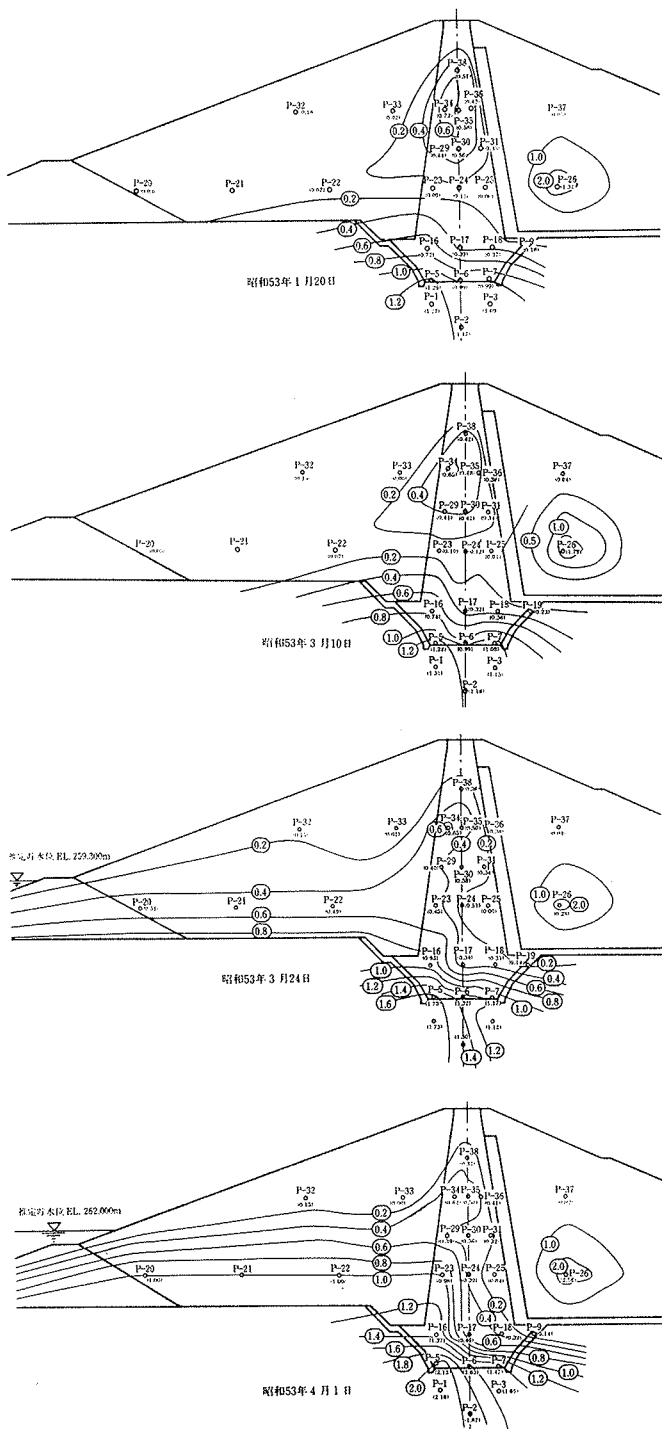
図一1 間隙水圧の貯水による変動

て後の①昭和53年1月20日と、貯水開始後の②昭和53年3月10日、③昭和53年3月24日、④昭和53年4月10日に記録したものである。貯水位の上昇とともに間隙水圧分布の異なってくる状況が把握され、特に上流側の水圧分布に著しい変化が認められる。ダム盛立て終了後、堤体



図一2 実測間隙水圧の頻度分布

コアゾーンの等水圧分布は通常のだ円型より多少変形した水圧分布であった。その後の貯水開始とともに、上流ランダムおよびコアゾーンを網羅するような大きな水圧分布を示す傾向にあり、しだいに定常的な浸透流に変化していくものと推定できる。したがって、貯水開始までの間隙水圧の発生状況から、堤体コアゾーンや上流側ランダムゾーンの効果、あるいは下流側インターセプターの役割が明確に表われていると判断できる。



図—3 間隙水圧分布の推移

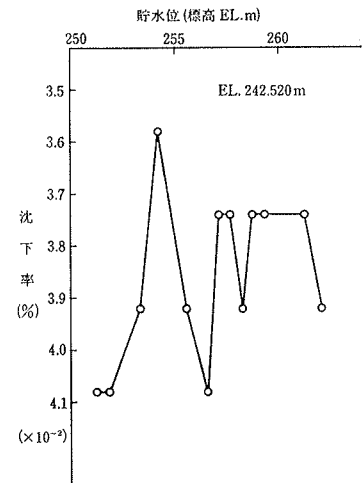
2.2. その他の観測結果

その他の観測結果では、貯水開始によって微妙な動きが認められる。まず、岩盤沈下傾向を示したのが図—4で、埋設深さ(5m)に対する沈下率で表わしてみた。ダム盛立て後には、ほぼ一定値を記録していたが、貯水位の上昇にともなってわずかに変動している様子を伺い知ることができる。得られた応力—ひずみ関係から基礎岩盤の弾性係数: E_0 を試みに求めると $E_0 = 4 \times 10^4 \sim 2 \times$

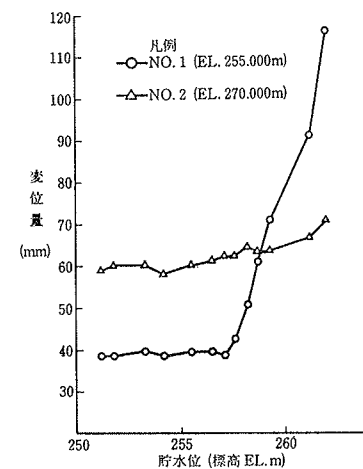
10^5 (kg/cm²) の

範囲にあるものと思われる。

左岸アバットメント(岩盤)と堤体とのずれ変位の変化を示したのが図—5である。境界面すべり変位のうちで変位量の傾向のみを調べたが、設置標高の異なる二地点の観測結果におのずと違いが表われている。すなわち貯水位の上昇にともないNo. 1 計器のずれ変位が急激に起こり、最大12 cm のずれ変位量を記録している。したがって、ダム中心軸方向の水平変位



図—4 岩盤沈下



図—5 境界面ずれ変位

量が大きく、貯水による影響が境界面付近に顕著に表われていることから、貯水開始初期にはダム堤体自身のずれが発生することを示している。一方、No. 2 計器では設置標高が高いために貯水位の上昇による影響はほとんど受けていないと考えられ、ダム盛立て終了後のずれ変位が徐々に発生しているに過ぎないと推定できる。また、堤体中央部の層別沈下量に対する境界部付近での垂直方向変位との割合をみると、標高によって異なるが大略 $1/4 \sim 1/10$ の範囲にある。境界部での垂直方向変位の比較的大きいことがわかる。

それぞれ設置方向の異なる三つの土圧の変化を示したのが図-6である。ダム盛立て中は各土圧計とも盛土荷重(堤高)に対してほぼ直線的に移り、築堤完了時には盛土荷重の50~60%の土圧を示した。その後の貯水開始とともにわずかながら増

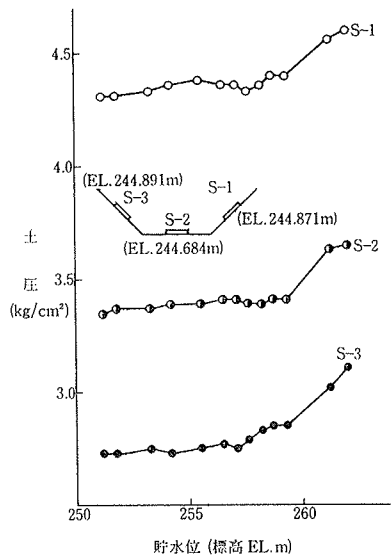


図-6 土圧の変化傾向

加している様子が見える。貯水位の上昇に伴う圧力の伝播が緩慢で、比較的土圧の変動が少ないと判断できる。

以上のように、貯水開始時におけるダム堤体の挙動について、代表的な観測結果をもとに解析検討結果を示した。

3. 残留間隙水圧の解析上の問題点

既報告¹⁾では、ダム盛立て中の消散を考慮した残留間隙水圧を推定するために、実用的な評価方法を用いて各計器ごとに解析を試みた。この推定方法とは、施工中の消散量を推定するために、既存の実測結果をダム型式ごとに分類した間隙水圧消散率 U と時間係数 T の関数を用いる方法である。間隙水圧消散率 U および時間係数 T とは次式で定義される。

$$U = (U_H - U) / U_H \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T = C_v \cdot \Delta t / H^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 U_H : Hilf の理論値、 U : 実測値、 C_v : 圧密係数、 Δt : 施工期間、 H : 排水距離である。

この消散を考慮した間隙水圧理論値と実測値とを比較した結果、ダム盛立て途中までは比較的一致するものもあるが、計器によっては採用する消散曲線によって傾向が異なるなど、まったくその傾向が一定しないことが判明した。その原因としては、間隙水圧計の埋設方法の他に解析上の問題点が残るとして、つぎの点について種々の検討を実施した。

- (1) 間隙水圧消散曲線 (U -log T 関係) の適用性
- (2) 排水層までの距離 H の設定方法
- (3) 施工期間 Δt の設定

以下に順次解析・検討結果を示す。

3.1. 間隙水圧消散曲線の適用性

間隙水圧消散率 U と時間係数 T の関係では、主たる四つのダム型式 ((1)中心コア型, (2)傾斜コア型, (3)均一型, (4)上下排水型) ごとにまとめられており、使用する消散曲線とはそれらの平均曲線で表わされている。同時に(5) Terzaghi の理論曲線も併記してある。ここでは、間隙水圧消散曲線の適用範囲などについて検討した。まずダム盛立て中の実測値と Hilf の理論値より(1)式で間隙水圧消散率 U を求め、時間係数 T ($C_v = 1.41 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $\Delta t = 9$ カ月) との関係を図示したのが図-7である。

コアゾーン内の一部計器について同じ標高の計器ごとにまとめてみた。いずれの計器ともほぼ曲線的な傾向を示していると判断できるが、その曲線分布にはかなりのバラツキがあり、広い範囲に分布している状況が認められる。実際の解析では、中心コア型の平均曲線を採用したが、(1)曲線付近に分布するものもあれば、かなり離れた部分に分布するものもある。比較的核心床部の計器は(1)曲線に分布し、一方コア頂上部の計器は曲線勾配が立ち

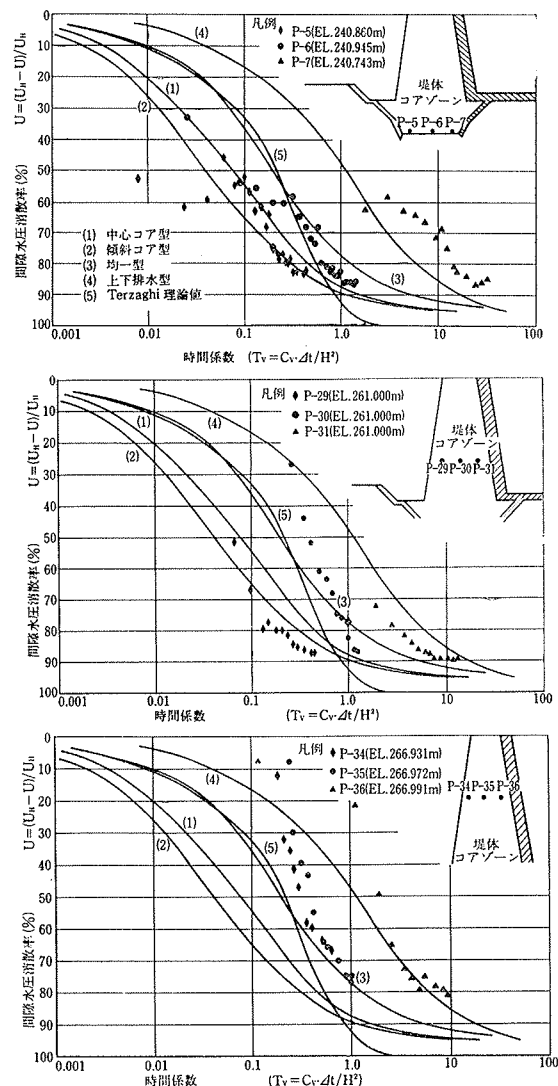


図-7 間隙水圧消散曲線の適用性

上がる傾向があり、Terzaghi 曲線(5)の近傍に分布してくるようである。したがって、実用的に求めた消散曲線では、盛土過程や間隙水圧計の埋設位置などによって適用上の限界があると考えられ、一様にダム型式だけで説明のつきにくい場合がある。場合によっては、ダムの盛立て中の間隙水圧はむしろ Terzaghi 曲線を使用したほうが合致し、しかも安全側の結果の得られることがある。

3.2. 排水距離 H の設定方法

実際の解析における排水距離 H とは、ダム盛立て中で最も近いと推定される排水層までの距離を示している。したがって、盛立て過程や各計器の位置によって排水距離は異なってくる。ここでは、排水距離 H の取り方について検討してみた。まずダム盛立て中の実測値を(1)式に代入して間隙水圧消散率 U を算出し、中心コア型の平均曲線(1)を用いて時間係数 T を求めた。この時間係数から逆算して実測値から求めた排水距離 H_a を計算し、実際に最も近い排水層までの距離 H_c と比較した。

コアゾーン内における計器の一部について比較したのが図-8で、実測値としては、築堤完了までの平均値を採用した。これによると、実際の排水距離と実測値から求めた排水距離とはほとんど一致しておらず、比較的排水層に近い場合については実測値から逆算すると4~6倍も長い排水距離におよぶ結果が得られる。排水層付近の埋設計器の場合には実際の排水層よりもかなり長くなる結果が得られ、解析上注意を要する。

3.3. 施工期間 Δt の設定

築堤完了後の実測値と消散を考慮した推定間隙水圧を比較したのが図-9である。残留間隙水圧を推定するための施工期間 Δt を、(1) $\Delta t = 24$ カ月、(2) $\Delta t = 9$ カ月の場合として検討してみた。堤体内の代表的計器について、

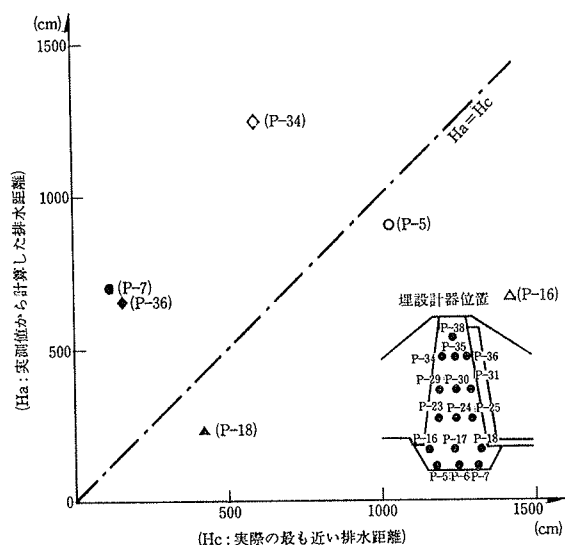


図-8 排水距離 H の設定方法

施工期間のみを変化させ、その他の解析条件はほとんど同じとして求めた。実用的な方法によると、全体の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ の解析結果が実測値とほぼ一致している。

以上のように消散を考慮した残留間隙水圧の推定方法についての若干の問題点を示した。しかし間隙水圧の発生機構も未だ解明されない点が多い中で、いままでの実測結果にもとづいた

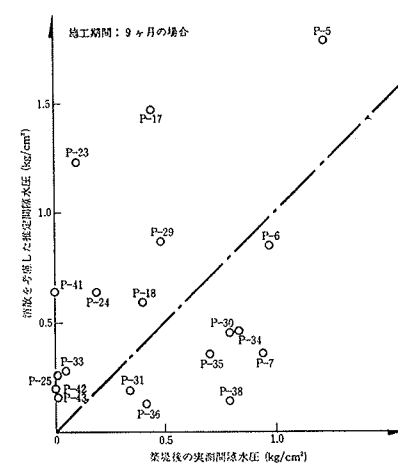
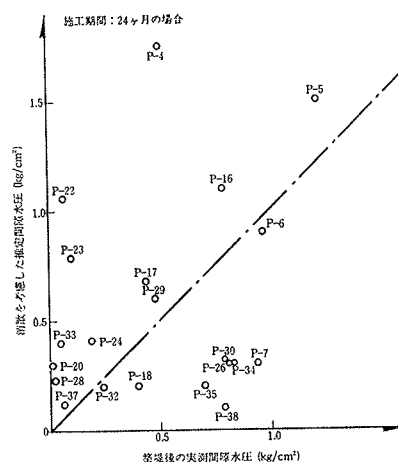


図-9 施工期間 Δt の設定

実用的な方法の妥当性は十分評価できると考えている。

4. あとがき

兵庫県佐仲ダムにおける埋設計器の測定結果について貯水時の堤体挙動を中心に、その解析結果の一部を報告した。あわせて、築堤過程の消散を考慮した間隙水圧推定方法について、2, 3の検討結果から一応の見解を示した。このダムは貯水開始後すでに2年を経過しており、ダムの機能を十分保持している。また、今後の測定も継続実施するとともに、特に長期間の貯水時における堤体挙動などについても検討する必要があると痛感している。

なお、この報文作成にあたり、兵庫県篠山川農業水利建設事務所から多大なる御理解を得た。また、当社神戸支店荻野雅彦職員および日産基礎工業(株)長田尚氏の御助力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 斎藤, 他: フィルダムにおける堤体の挙動とその解析(その1), 大林組技術研究所報, No. 18, (1979)