

# フィルダムにおける堤体の挙動とその解析（その1）

——佐仲ダムの築堤時における観測結果——

齋藤二郎 平間邦興  
木村 薫 丸山 誠

## Embankment Movement at Fill-Type Dam and Analysis Thereof (Part 1)

——Observation Results of Sanaka Dam during Banking——

Jiro Saito Kunioki Hirama  
Kaoru Kimura Makoto Maruyama

### Abstract

Sanaka Dam in Hyogo Prefecture is a multipurpose irrigation dam and is a fill-type dam of center core type of height of 39.8 m, length of 144.0 m, and volume of 280,000 m<sup>3</sup>. Its foundation rock consists of various kinds of rock strata indicating alternations with development of faults and fissures subjected to the effects severe crustal movements to involve many problems in design and construction. At this dam, in order to consider 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 continuing to be measured.

In this report, with regard to the behaviors of the dam body and the foundation rock, the analysis results from various observation instruments are summarized. Regarding the analysis results, especially examinations were made of theoretical pore water pressures in consider of dissipation, water pressure distributions of dam body and foundation rock, and of subsidence of the foundation rock.

### 概 要

兵庫県佐仲ダムは灌漑用の多目的ダムで、堤高 39.8m、堤長 144.0m、堤体積 28万m<sup>3</sup>を有する中心コア型のフィルダムである。その基礎岩盤は複雑な岩層から成り、数多くの断層や劈開の発達した互層状態を示し、また激しい地殻変動を受けた岩盤でもあり、設計・施工上にも問題が多い。当該ダムにおいても、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、その動態観測を継続中である。

この報文では、このうち堤体盛土完了までのダム堤体および基礎岩盤の挙動について、各種観測計器の解析結果の概要をまとめたものである。解析結果のうち、特に消散を考慮に入れた理論間隙水圧や、堤体および基礎岩盤の水圧分布および基礎岩盤の沈下などについて検討した。

#### 1. まえがき

兵庫県佐仲ダムは篠山川周辺地区灌漑排水事業の一環として建設されたフィルダムである。標準断面図を図1に示すが、その概要は総貯水量 50.5 万 m<sup>3</sup>、堤長144.0 m、堤高 39.8 m、堤体積 28.0 万 m<sup>3</sup> の中心コア型のダムである。篠山川周辺の 1,975 km<sup>2</sup> の流域面積を有する灌漑用の多目的ダムで、昭和50年4月より工事を着手し、

昭和52年2月から12月にかけて堤体の盛立て工事がおこなわれ、昭和53年3月より貯水開始された。

当該ダム堤体の基礎岩盤は、いわゆる丹波層群に属し、主に頁岩、砂岩、チャート、輝緑凝灰岩および石英斑岩など、きわめて多種類の岩層から構成され、多くの断層や劈開の発達した複雑な互層状態を呈している。また、激しい地殻変動を受けた結果、層相変化が激しく、その層序や構造には明確な傾向は認められない。特に、左岸

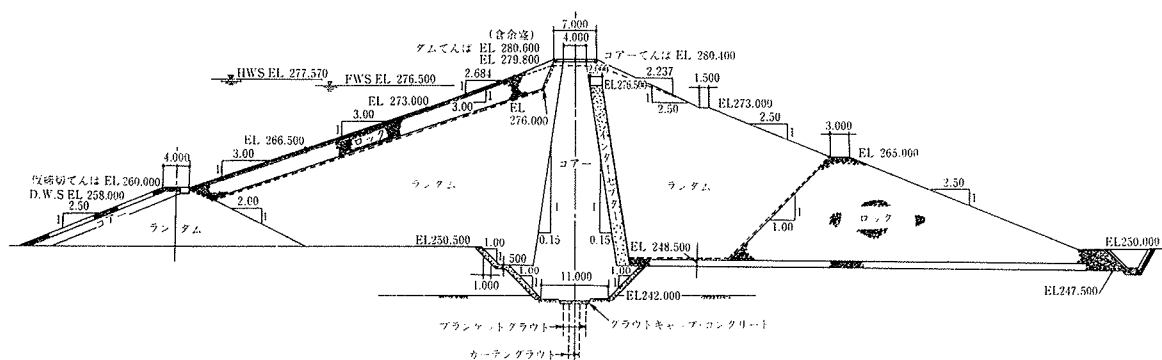


図-1 佐伸ダム標準断面図

に比べて右岸のほうに粘土化した頁岩が卓越し、断層破碎帯の分布も認められて、より複雑な地質構成を示す。また、河川敷には河床堆積層が平均 8 m の層厚で分布しており、随所にレキ混り粘土層を挟在している。したがって、基礎処理後のダム堤体挙動を十分に把握し、堤体の安定や施工方法を検討するために、各種の観測計器を堤体および基礎岩盤内に埋設した。

この報告では、当該ダムにおいて埋設した各種の観測計器の実測結果をもとに、築堤過程における堤体の挙動について解析した結果をまとめたものである。

## 2. 観測計器の埋設計画

当該ダムにおいて埋設した計器の一覧表を表-1に、また、埋設位置図を図-2に示す。

埋設計器はほとんどがひずみゲージ式の変換器で、その出力はすべて SM-60D の指示計で読みとることができる。以下に、埋設計器のうち、間隙水圧計、沈下計、変位計および土圧計について、その埋設目的や方法などの概略を示す。

### (1) 間隙水圧計

間隙水圧計は、築堤過程や貯水時における間隙水圧の挙動を調べるために、主に基礎岩盤内と堤体内に埋設した。基礎岩盤内の計器は、ほぼダム軸をはさんだ上・下流側の堤敷下 5~10 m の深度まで、ボーリング孔を掘削して設置し、砂およびモルタルで埋め戻した。また、堤体内の計器は上・下流側のランダムゾーンおよびコアゾーンの随所に周囲の盛土材で埋め戻した。

### (2) 沈下計

沈下計は、築堤過程や築堤完了後の堤体と基礎岩盤の沈下性状を把握する目的で、層別沈下計と岩盤沈下計

をそれぞれ埋設した。層別沈下計はクロスアーム式の土層別沈下量を測定するもので、ほぼ堤体ダム軸の中央(コアゾーン内)に、平均 3 m 間隔で合計13本のクロスアームを埋設した。岩盤沈下計は、ダム軸上の基礎岩盤の圧縮沈下量を測定するもので、埋設深度は 5 m で、その途中は鋼管パイプを介し、下端部はモルタルで固定した。

埋設計器の種類	数量	型式	容量	埋設位置		
間隙水圧計	43	BP-2KC	2kg/cm <sup>2</sup>	堤体内	上流側	
		BP-5KB	5kg/cm <sup>2</sup>		下流側	
		BP-5KC			ダム軸	
		BP-10KB			10kg/cm <sup>2</sup>	ダム軸
		BP-10KC				ダム軸
岩盤沈下計	1	BRD-50A-5	50m/m	右岸基礎岩盤上	ダム軸	
		層別沈下計	13	SVL-B	2.0m	堤体内(コアゾーン)
変位計	2	BJ-20A	20m/m	右岸基礎岩盤上	上流側	
				下流側		
境界面すべり変位計	2	—	1.5~30.0m/m	左岸	ダム軸	
	2	—	20'	アバウト		
土圧計	3	BE-10KE	10kg/cm <sup>2</sup>	右岸基礎岩盤上	ダム軸	

表-1 観測計器一覧表

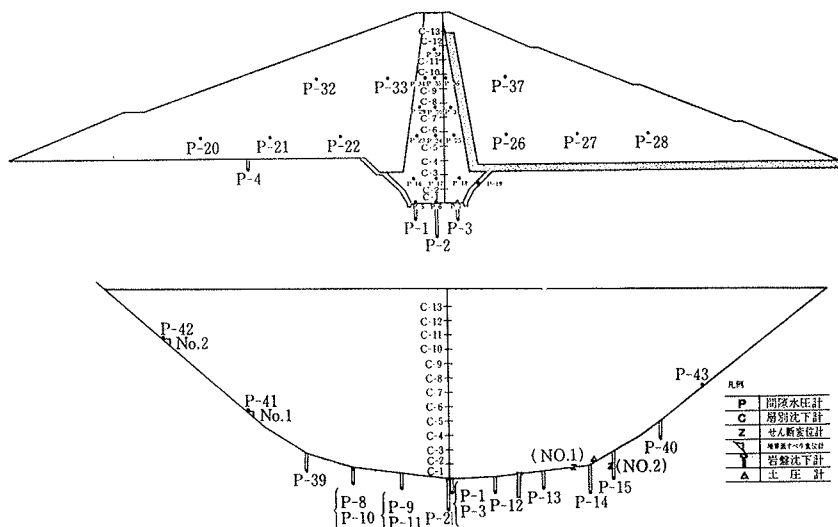


図-2 観測計器の埋設位置図

(3) 変位計

当該ダムにおいて埋設した変位計は、コンクリートで埋め戻し処理を施した断層部分と基礎岩盤との相対変位を調べる目的のせん断変位計と、更に堤体部とアバットメントとの境界部分のずれ変位を把握する目的で設置した境界面すべり変位計の2種類である。ここでせん断変位計は、特に右岸の断層地点2ヶ所に設置した。また、境界面すべり変位計は、左岸側アバットメント部の上下2ヶ所に設置し、変位量と角度をそれぞれ測定した。

(4) 土圧計

土圧計は、築堤過程の盛土荷重や主応力の方向などを求める目的で、ダム軸に沿った右岸の基礎岩盤上に3個設置した。これらの土圧計の受圧面は、鉛直方向およびダム軸方向に相対して45°ずつ傾斜しており、設置はモルタルとアンカーで固定した。

3. 間隙水圧に関する挙動について

3.1. 基礎岩盤内と堤体内の間隙水圧

築堤過程における実測値について、盛土荷重との比較を一部の計器の測定結果で示したのが図-3である。実測結果のうちで、河床部分の基礎岩盤では、大略盛土荷重の20~30%に対応する間隙水圧が発生しているが、築堤途中からはほぼ一定値を示すようになる。なお、右岸および左岸側アバットメントでは、築堤過程にはほんのわずかの間隙水圧しか発生していない。堤体内に埋設した

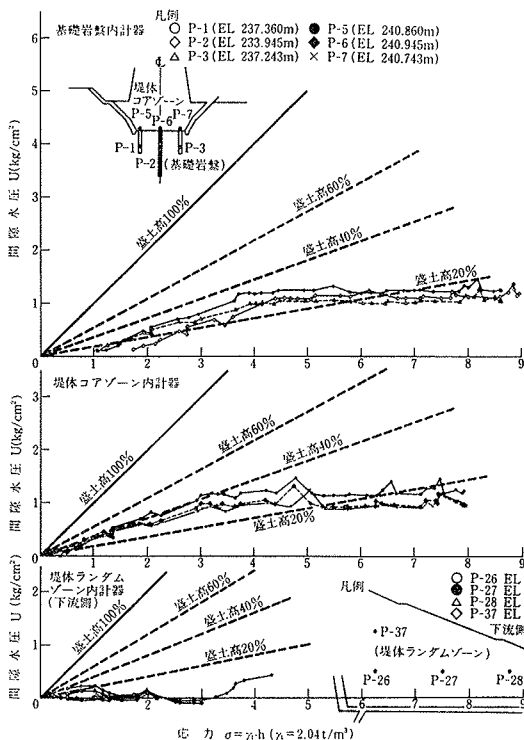


図-3 間隙水圧の変化

間隙水圧計のうち、コアゾーンにおいて、一時期には盛土荷重の40%を越える間隙水圧を示したが、その後はほぼ一定値に推移している。ランダムゾーンでは、築堤過程ではほとんどが過少な値で、問題となるような挙動は認められなかった。

3.2. 間隙水圧分布の推移

築堤過程と築堤完了直後および完了後2週間経過時の間隙水圧の横断分布を示したのが図-4である。

特に、異常値の発生している傾向は認められないが、一部計器に予想より低い実測値が得られているため、等水圧曲線に特異なパターンを示している。特に、コアゾーンでは、同一標高の埋設計器がともに低い間隙水圧を示していることより、この原因として、築堤材料や施工方法および計器の埋設方法などに起因する影響が大きいと考えられる。また、ランダムゾーンの一部には負圧を記録している計器があり、その発生状況も一定せず、不明な点が多い。

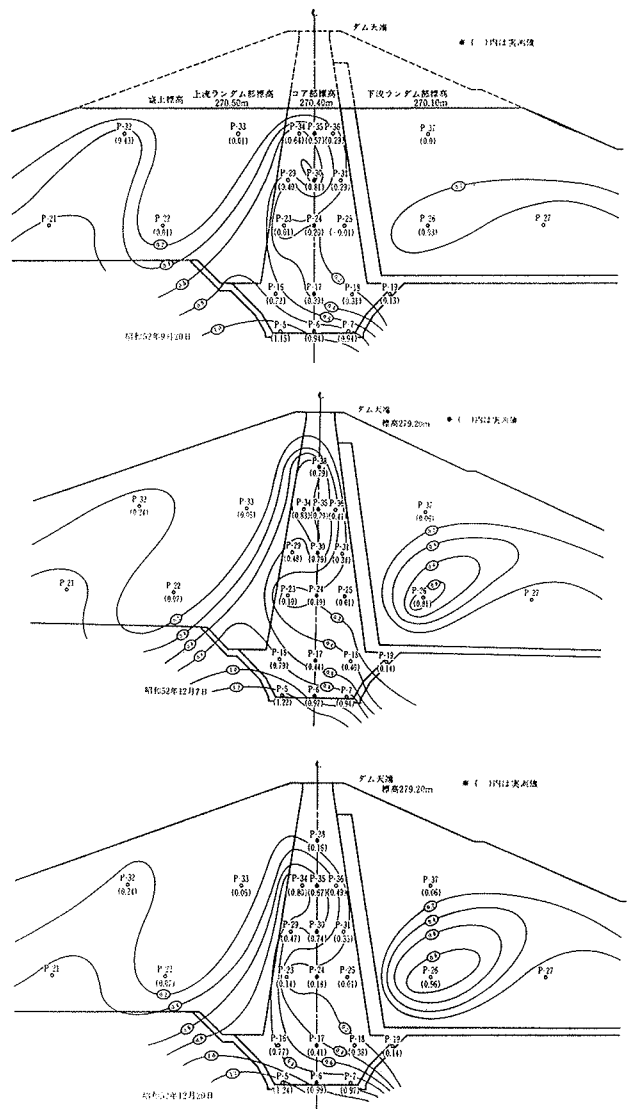


図-4 間隙水圧の横断分布

なお、基礎岩盤内計器の実測値から、河床部分における平面分布を調べた結果では、ダム中央部を境にして右岸側より左岸側のほうが全般的に高い間隙水圧を示している。

3.3. 残留間隙水圧の推定

発生する間隙水圧については、Hilf の理論値で求めることができる。ここで、Hilf の理論値とは次式であらわされる。 $\Delta u = P_0 \delta / (V_a + HeV_w - \delta)$  ここで  $V_a, V_w$  は間隙内の自由空気量と自由水分量、 $\delta$  は土の圧縮量、 $He$  は空気の溶解度、 $P_0$  は大気圧である。非排水下における飽和粘性土の場合の発生間隙水圧の推定に適用されるが、一般に理論値が実測値より過大になる傾向がある。

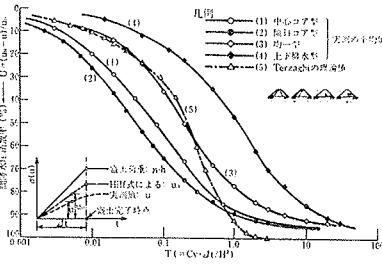


図-5 間隙水圧消散曲線

しかし、盛土高が漸増するような場合には、当然間隙水圧は増加するが、一方では発生した間隙水圧の一部が消散することになる。施工過程における間隙水圧の消散量を推定するために既存のダム型式毎の実測結果に基づいてまとめた実用的な評価方法で検討を試みた。ダム型式として、中心コア型、傾斜コア型、均一型および上下排水型に分類して平均曲線を図示したのが図-5である。ここで、間隙水圧消散率  $U$  とは、Hilf の理論値を  $u_H$ 、実測値を  $u$  として次式で定義される。 $U = (u_H - u) / u_H$  ま

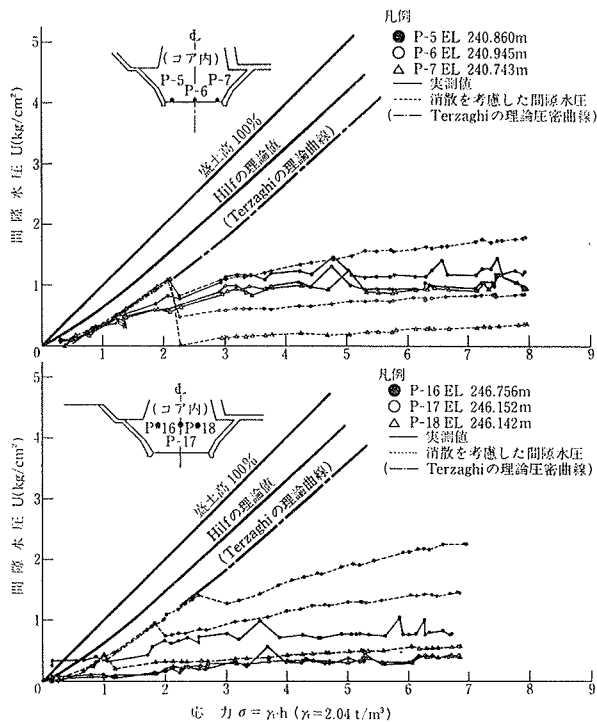


図-6 残留間隙水圧の推定

た、時間係数  $T$  は  $T = C_v \cdot At / H^2$  で示され、 $C_v$  は圧密係数、 $At$  は施工期間および  $H$  は排水層までの距離である。

平均圧密係数  $C_v = 1.41 \times 10^{-2}$  (cm<sup>2</sup>/sec),  $At = 9$  ヶ月として、消散を考慮した間隙水圧をコアゾーン内計器の実測値についてのみ図示したのが図-6である。実線が実測値で、破線が消散を考慮した残留間隙水圧である。堤体コアゾーン内の実測値では、消散を考慮した間隙水圧を上回ったものもあれば、下回ったものも認められる。しかし、築堤初期までは比較的一致している場合があり特に Terzaghi 曲線と比較的一致している。これらの傾向は、築堤過程に伴う排水距離の相違、あるいはダム型式による消散曲線の違いなどに起因すると考えられる。

4. 変形に関する挙動について

4.1. 堤体と岩盤の沈下

堤体の層別沈下量の経時変化を示したのが図-7である。各沈下計ともほぼ同じような沈下性状を示しているが、一部実測結果に浮き上がり現象が見受けられる。

ここで、岩盤沈下量を盛土荷重と実測土圧に対して図示したのが図-8である。築堤初期には急激な沈下を示すが、その後はほぼ一定値となっている。また、岩盤の応力-ひずみ関係を調べたのが図-9であり、これらの実測結果からも複雑な岩盤の様子を推定することができる。つまり、第一段階の築堤初期には自然堆積状

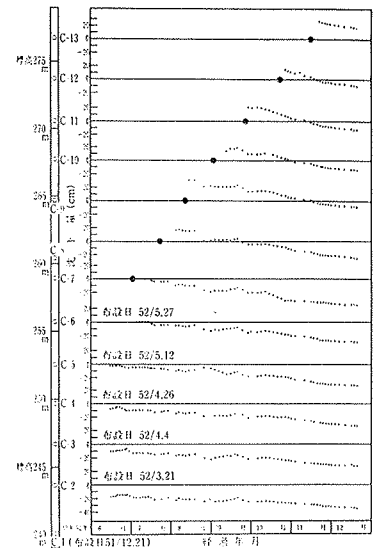


図-7 堤体沈下量の経時変化

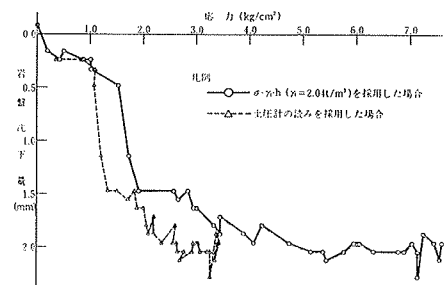


図-8 岩盤沈下量の変化

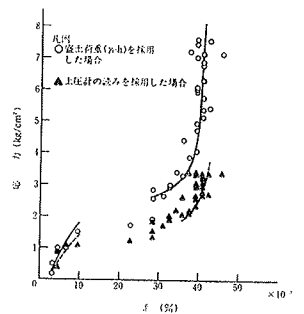


図-9 岩盤の応力-ひずみ関係

態での疑似的な関係が認められ、第2段階では、岩盤の間隙部分の圧縮が大部分と考えられ、ひずみが卓越している範囲である。その後の第3段階では岩盤自体の応力-ひずみ関係を示していると推定できる。

#### 4.2. 堤体・岩盤の変位

左岸アバットメントと堤体とのずれ変位、および基礎岩盤の断層部分のせん断変位を盛土荷重に対して図示したのが図-11と図-12である。

境界面すべり変位計は同一場所において変位量と変位角を測定しているため、垂直・水平変位が同時に判明する。アバットメント上段の変位計では、変位量と変位角が同じような傾向で変化しているのに対して、下段の変位計では、まったく異なった傾向を示しているが、築堤途中からはほぼ一定範囲で変動している。

断層部分の相対変位を調べるせん断変位計については築堤当初はほとんど変化が認められないが、築堤途中から突然大きな変位傾向を示している。右岸下流側地点では、相対変位も小さく、しかもほぼ一定値を示して問題はないが、上流側地点はコンクリートで埋めた断層部分の沈下が卓越し、更に急激に変位の生じている傾向がわかる。

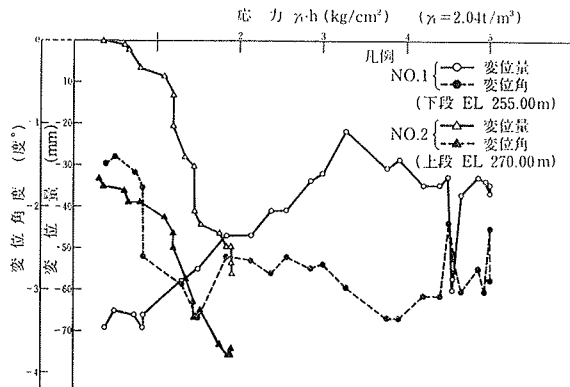


図-10 境界面すべり変位の変化

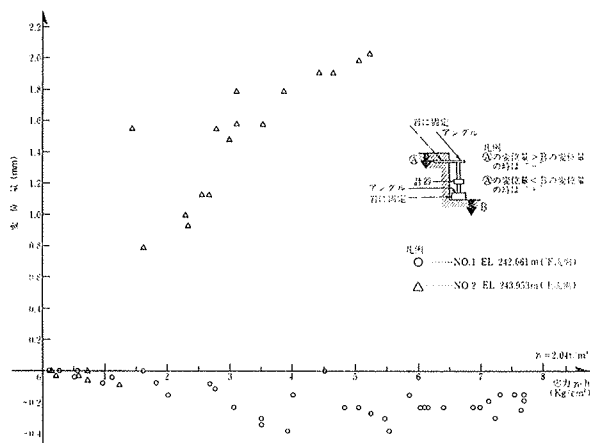


図-11 せん断変位の変化

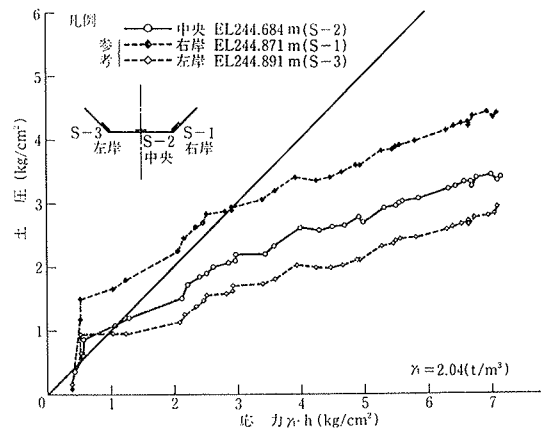


図-12 土圧の経時変化

#### 5. 応力に関する挙動について

##### 5.1. 土圧の経時変化

それぞれ方向を変えて設置した三つの土圧計の経時変化を盛土荷重に対して図示したのが図-13である。三つの土圧計ともほぼ同様の直線傾向で推移している。築堤初期にはいずれも盛土荷重の2~3倍の土圧を示していたが、その後は徐々に小さくなってきて、途中より盛土荷重を下回った実測値となっている。築堤完了時には、盛土荷重の50~65%の土圧を示すに過ぎず、堤体自身にも落ちつきが推定される。

なお、これら三つの土圧計の実測結果より、せん断応力と主応力および主応力の方向が算定できる。またそれぞれの土圧計の相互関係から、堤体内応力を算定し、これに変位計の実測結果を考慮することにより、堤体の滑動に対する安定性などの検討も可能となろう。

#### 6. あとがき

兵庫県佐仲ダムにおける観測計器の測定結果について、解析した一部をまとめて報告した。築堤完了までの測定結果については、間隙水圧計とせん断変位計の一部計器を除いて各計器とも順調に作動したと推定され、当初の目的は十分達成されたと思われる。また、実際工事においても基礎岩盤および堤体等にはなんら異常が認められていない。次報では、貯水時における諸実測結果についてまとめるとともに、今後は変位あるいは沈下問題については弾塑性解析などを試みることを予定している。

謝辞: この報文の作成にあたっては、兵庫県篠山川農業水利建設事務所から多大なる御理解と御指導を得た。また、測定結果をまとめるにあたり、当社、神戸支店西紀町工事事務所荻野職員の御助力を得た。ここに記して、深甚なる謝意を表します。