

水位変動の急激なフィルタイプダム における間げき圧の測定

野田和郎*

近時大容量火力との組合せにおいて大規模な揚水発電所の建設が計画されているが、その揚水を貯溜する上部調整池は、純揚水式の場合、地形上利用水深の変動が激しい場合が多く、本文におけるフィルタイプの本沢ダムも、相模川総合開発事業の一環として計画された日調整純揚水式の城山発電所（出力 25 万 kW）の上部調整池のダムとして築造されたものであるが、その水位変動は約 5 時間に 28 m と、従来に例のない急激なものである。したがって本沢ダムにおいては、この急激な水位低下に対してのり面の安定を保つため上流面を特に緩勾配とし、かつ上流側ゾーンの材料の排水を良好にして間げき圧の減少を速める等の考慮が払われているわけであるが、本文においては、この間げき圧の残留測定のため堤体内に設置された間げき水圧計、その他の計器によるたん水試験中の間げき圧変動の観測結果を示すとともに急激な水位低下に対するフィルタイプダムの上流面の安定について検討した結果を述べようとするものである（相模川総合開発事業については「発電水力」No. 69,79,81 の各号に連載）。

1. 概 説

(1) 本沢ダムの概要

図-1、写真-1、表-1 のとおりである。

(2) フィルタイプダムの採用について

急激な水位低下という問題点に対して、あえてフィルタイプを採用した理由は、調整池内の広範囲にわたって分布する土質材料が、土質しゃ水壁材料として最適であるのはもちろんのこと、さらに 25 万 kW の揚水発電に対して調整池容量がぎりぎりであって、調整池内から堤

図-1 本沢ダム標準断面図

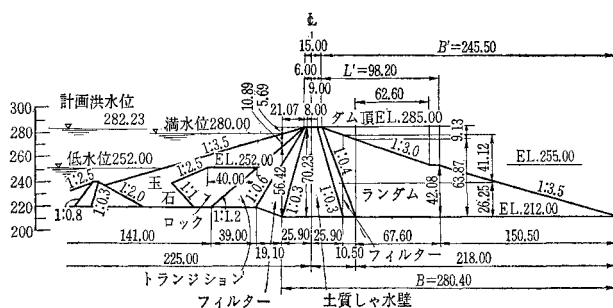
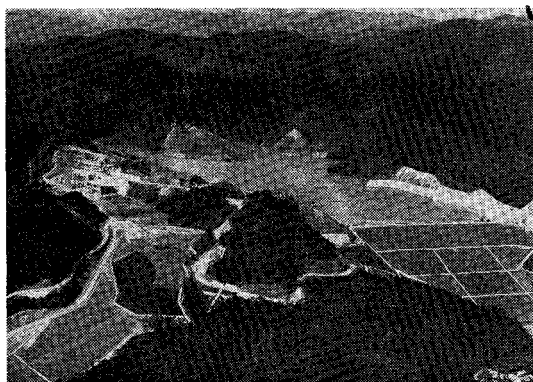


写真-1 ほぼたん水の本沢ダム



体材料を採取することによって調整池の有効容量を増加

表-1 本沢ダム概要

本 沢 調 整 池	河川名	境川水系境川	
	流域面積	580 000 m ²	
	たん水面積	200 000 m ²	
	総貯水量	4 000 000 m ³	
	有効貯水量	3 825 000 m ³	
	利用水深	28.00 m	
本 沢 ダ ム	常時満水位	EL. 280.00 m	
	形式	土質中央しゃ水型 フィルタイプダム	
	堤高	73.00 m	
	堤長	234.00 m	
	堤頂標高	285.00 m	
	のり面勾配	上流面	1 : 3.5
	下流面	1 : 3.5 ~ 3.0	
	堤体積	1 852 000 m ³	

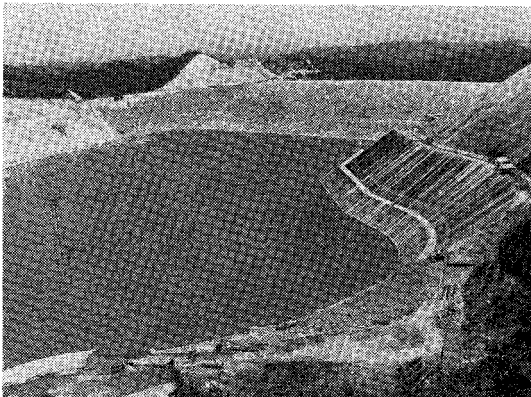
* 正会員 工博 前神奈川県総合開発局長兼相模川総合開発事務所長 現電源開発KK調査役

し得ること、かつ最低水位時に取水に支障をきたす取水口前面の山も堤体材料として有効に除去し得ることなど幾多の経済的利点を有していたからである。またフィルタイプダム形式については、しゃ壁水部の基礎処理の関係、その他から中央しゃ水壁型が採用されている。

(3) フィルタイプダムにおける問題点

本沢ダム設計における最大の問題点は、本沢調整池の使用方法が、たん水面積のきわめて小さい純揚水式の調整池として深夜7~8時間の揚水によって満水とし、昼間のピーク時の約5時間にこれを使用してほとんどその底までを空虚にしてしまう計画であることであった。したがって、約5時間に28mという急激な調整池水位の低下を生ずるため、この点に対して特に慎重な設計を考慮することとし、ダム上流面の勾配は、特に1:3.5という緩勾配とし、また上流側ゾーンの排水を良好にして間げき圧の減少を速める等の考慮が払われることが必要であった。上流面の安定計算を行なうに当たって、この

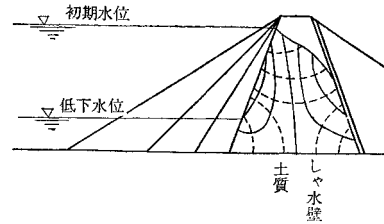
写真一 上流側(取水口付近)よりみた本沢ダム



上流側ゾーンの間げき圧の残留に対し、現状では実験による結論も出ていないようであるので、専門家をお願いした委員会のご意見等により、つぎに述べる一つの仮定を設けて計算を行なったのであるが、この仮定の妥当性を調べるため、上流側ゾーンならびにダムの各所に多数の間げき水圧計を設置し、たん水試運転の過程において急激な水位低下を行なって、その結果を測定して解析を行なってみたわけである。

さて過去におけるフィルタイプダムで、いわゆる水位低下時における、間げき圧の計算に使用される pattern を示すと、図-2 のようになる。透水性部分(土質しゃ水壁より上流側)においては、間げき圧は水面の低下とともに消滅して不透水性部分のみに図-2 のような間げき圧の存在が仮定されているが、これらの場合の水位低下の速さは、ダムの運用面から考えていずれも本沢ダムの場合よりはるかに小さく、したがって、本沢ダムにお

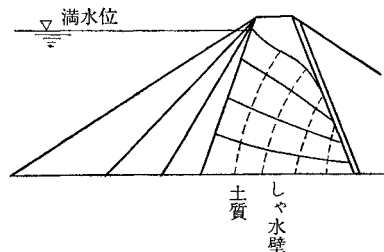
図-2 水位低下時の Flow net pattern



いて水位低下時に残留する間げき圧の分布には、これらと異なる pattern を考えることが必要であった。

まず、土質しゃ水壁部の間げき圧の大きさについては、満水位においてその流れが定常状態を示しているときの間げき圧の pattern (図-3) を採用することとしたが、こ

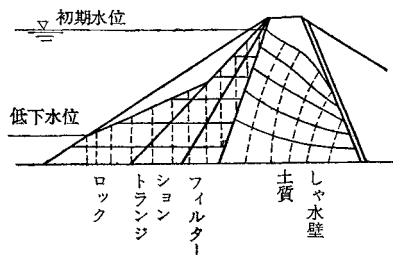
図-3 満水時の Flow net pattern



れは水面が急速に低下した場合の直後においては、土質しゃ水壁内の間げき圧の状態は、満水位におけるとおおむね同一状態を保っていると考えられるからである。

つぎに、土質しゃ水壁より上流側の透水性材料の部分については、この急速な水位低下に対して間げき圧のどの程度が減少するかは非常に問題のある所であり、水位低下の速度、築堤材料の透水性等に関連して一概に決定できないものであるが、種々検討の結果図-4に示すように、ゾーン別の間げき圧の大きさを仮定することとした(図-4において、ロックゾーンでは最低水位と中間水位を結んでいる)。

図-4 計算に使用する Flow net pattern



以上の仮定により、水位低下時ならびに満水時における安定と経済性の問題を検討して決定されたのが図-1に示すような断面である。

(4) 築堤材料

築堤材料の構成ならびに数量については、くわしい説

明を省略することとするが、調整池内に存在する土質材料は、大型転圧機の使用により良好なしゃ水壁材料となった。図-1のフィルターおよびトランジション材料は砂岩質系を使用しているが、一般に風化が進んでいる関係から、シルト以下の粒子部分が過剰となる可能性が大きかった。上流側ゾーンに使用するロックについては、もちろん風化の進んでいない砂岩部分を使用することが必要であるが、ロックの全材料を調整池周辺から採取することは困難で、特にロックゾーンの排水を良好にするという観点から、その過半数は数キロをへだてた相模川から玉石を採取して運搬した。

なお、上流側ゾーンに使用することの不適当な材料でローム、有機質以外のものは、ランダムゾーンとして下流側ゾーンに使用して、フィルタイプダムの特質を生かすこととした。

2. 埋設計器による観測結果

(1) ダムに埋設した測定計器

本沢ダムにおける一番の問題点は、前述のように急激な水位低下時における残留間げき圧の問題であり、この測定を主目的として堤体内につきに述べる各種の埋設計器を設置した。その配置を示すと図-5のようになる。各種計器とも河床中央部にある本断面に埋設されていて、リード線によってダム左岸の観測室で測定することが可能である。

a) 間げき水圧計

カールソンタイプのものを使用し、図示するように土質しゃ水壁部のみならず、堤体の各ゾーンにわたって44点を埋設したが、現在測定可能のものは38点である。

b) その他の計器

図-5に示すように、カールソンタイプの土圧計10点、加速度計7点、その他層別沈下計が設置されており、またダム上流面13点、下流面の12点に設置した表面沈下計により沈下量測定が行なわるとともに、ダム天端の2側線により上下流方向のたわみの測定も実施されている。

(2) 間げき圧の測定結果

a) ダムの施工中における測定結果

ダムの盛立中からたん水に至るまでの間げき圧の変化の一例を示すと図-6~8のようになる。図-6は土質しゃ水壁部のNo.155(EL.231.00

m)における間げき圧の経年変化、図-7は盛立終了直後の昭和40年2月、図-8は昭和40年8月たん水直前における間げき圧の断面分布を示している。

図-6~8に見られるように、土質しゃ水壁部においては、昭和38年5月の盛立開始以来間げき圧は徐々に増加し、39年12月盛立完了後も若干の増加を続けて40年1月にその最高を示し、その全断面における最大値は基礎岩盤上20mのEL.230.00m付近においてほぼ2kg/cm²となっている。これを最大値として以後各点とも減少を示している。その間げき圧最大値の土柱重量に対する比は15%程度で、一般に目安とされている限界値25%に対して小さいといえることができる。図-7,8による

図-5 埋設計器配置図

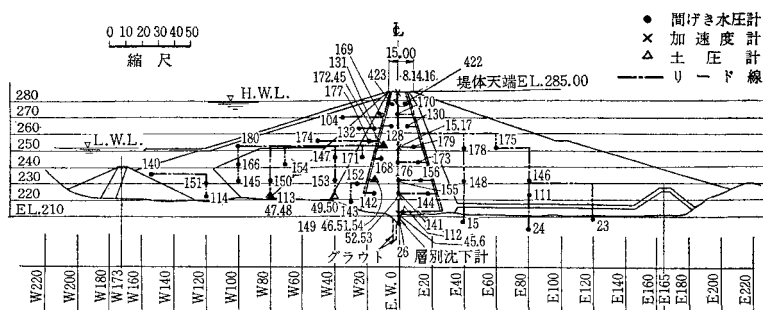


図-6 間げき圧経年変化(土質しゃ水壁部)

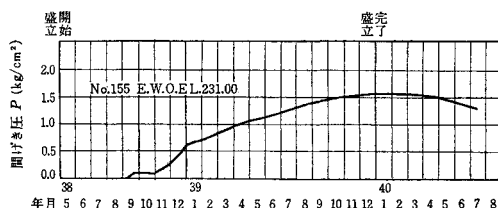


図-7 等間げき圧線(昭和40年2月築堤完了直後)

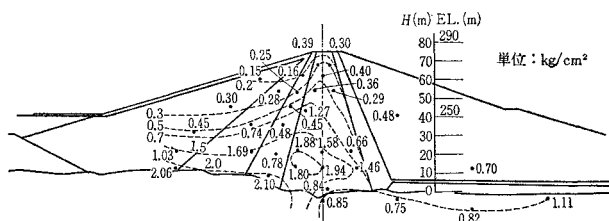


図-8 等間げき圧線(昭和40年8月たん水直前)

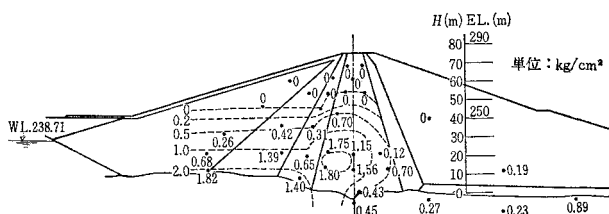
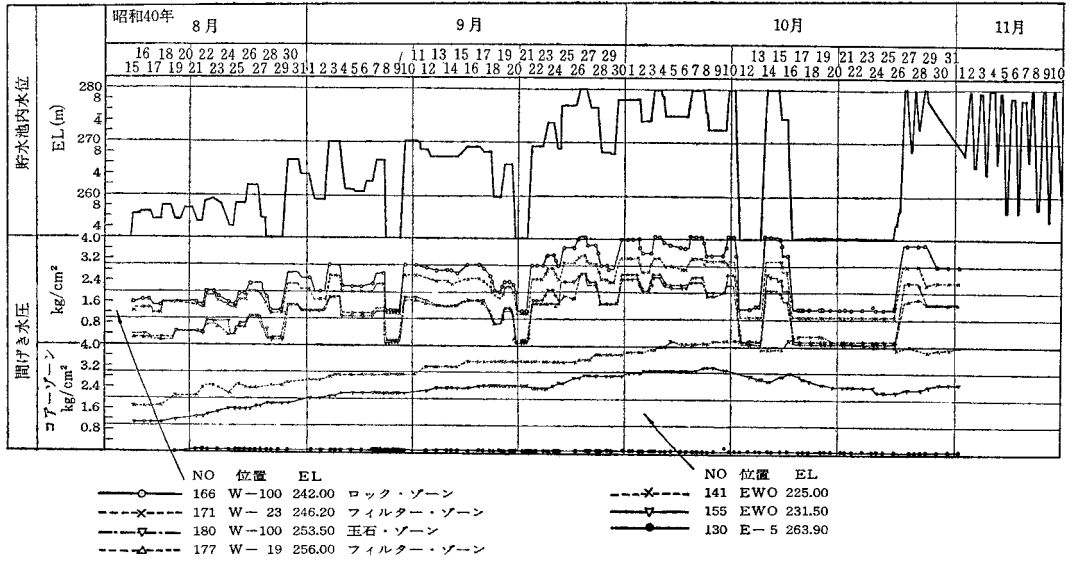


図-9 たん水による間げき圧の変化 (昭和40年8月15日~10月31日)



と、たん水直前においては、低水位 EL. 252 m 以上における間げき圧はほとんど消滅しており、いずれもしゃ水壁下部の中心に核を生ずるような傾向が認められ、残留間げき圧の最大値としては 1.8 kg/cm² 程度となっている。

b) たん水にとまう間げき圧の変化

城山発電所は、昭和 40 年 8 月 15 日 本沢ダムのたん水を開始して試運転を始めたのであるが、発電所が 24 時間を 1 サイクルとして夜間に揚水して昼間のピーク時に発電する純揚水式のため、本沢調整池水位は 図-9 に示すように、揚水-発電と変動しつつ徐々に上昇し、9 月 26 日に初めて満水となり、11 月 1 日から正式の営業運転が開始されていたわけである。この間における間げき圧の測定結果は 図-9 に示すとおりで、土質しゃ水壁部における間げき圧は、たん水開始による水位上昇に応じてきわめて徐々に増加を示しているが、水位の急激な変動に対してはほとんど変化を示していない。これに対し、上流側ゾーンの玉石、ロック、フィルターの各測点ともダムの水位変動に対して鋭敏な変化を示しており、9 月 8 日、20 日の急激な水位低下 (2 台運転により約 15 m を低下) における 1 時間ごとの観測に際しても、各ゾーンとも調整池水位の低下、上昇のいずれに対しても予想外に鋭敏な変動を示していることが認められる。このことは上流側ゾーン材料の排水が非常に良好であることを示すもので、したがって、残留間げき圧による上流面の安定についてわれわれが心配している点に対して十分安全の確信が得られているわけである。さらに試運転の最終段階として、10 月 11 日 4 台の全出力運転により満水位から最低水位まで 28 m の水位低下を行なって、水位変動に対する間げき圧の微妙な影響を調べるため、代表点として土質しゃ水壁部 (No. 170, 155)、フィルター (No.

171)、ロック (No. 154)、玉石 (No. 180) の計 5 点を選び、3 分間隔による自動測定記録を行なったが、その結果の一部を 図-10, 11 に示す。図-10 は、水位低下

図-10 調整池水位と間げき圧の関係 (急激な水位低下時)

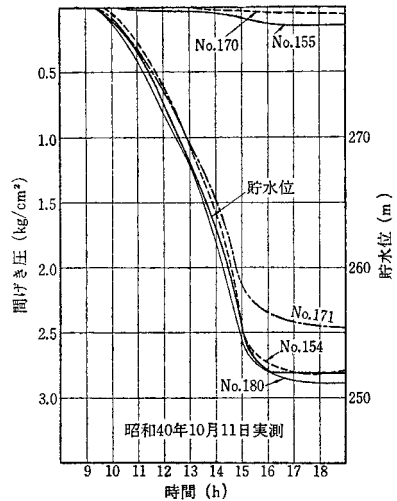
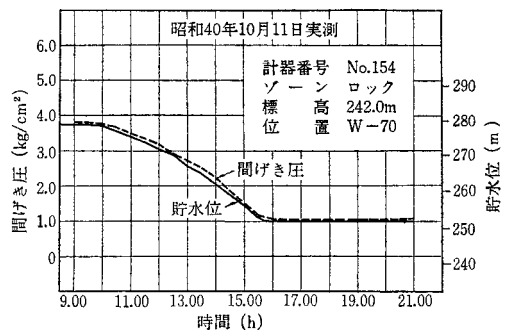
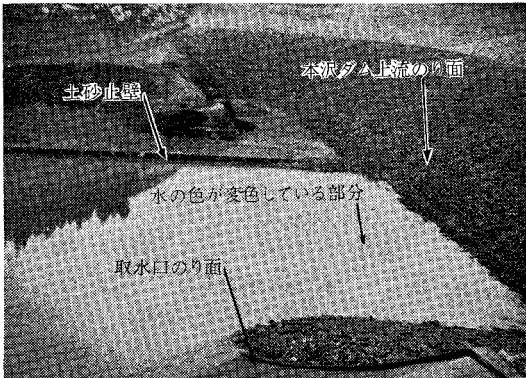


図-11 調整池水位と間げき圧の関係 (急激な水位低下時)



にとりなり各点間げき圧の変化の差を示しているが、玉石、ロック、フィルターのいずれのゾーンにおける間げき圧も、急激な水位低下に対しほとんど time lag なしに変動していることが明瞭である。図-11 は、一例として特にロック ゾーン (No. 154) につきその間げき圧の絶対値の変化を示したものである。図-12 はこれらの観測値より同日の最低水位低下時の 16 時 53 分現在にお

写真-3 最低水位の本沢ダム (堤体内からの排水により、上流面付近の水面の変色が認められる)



ける間げき圧実測値の分布を図示したもので、本沢ダム設計当初に仮定した水位低下時における残留間げき圧の分布(図-4)に比して十分安全側であることが想定されるわけである。

3. 急激な水位低下時における上流面の安定について

本沢ダムの安定計算で一番問題となる急激な水位低下時における上流面の安定について、10月20日の最低水位時における残留間げき圧実測値を用いて円形すべり面法 (Slip Circle Method) によって安定計算を行なったので、その結果を掲げることとする。

(1) 計算に用いる諸数値

計算の方法は一般に周知のものと考えられるので説明を省略することとするが、計算に用いる条件としては、つぎのものがある。

- ① 間げき圧は実測値を基とした 図-12 の分布図による。
- ② 地震力は水平震度 $k=0.15$ とする。
- ③ 堤体材料の諸数値は、実験その他から決定された表-2による。

(2) 臨界すべり面および安全率

図-13 に示すように、最小安全率のすべり円

図-12 急激な水位低下時における実測間げき圧の分布図

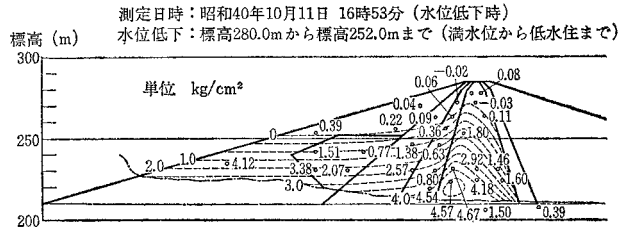


表-2 堤体材料の設計値

名称	δ_d (t/m ³)	δ_p (t/m ³)	δ_s (t/m ³)	δ_b (t/m ³)	$\tan \phi$	C (t/m ²)
玉石	1.88	1.90	2.17	1.17	1.0	0
ロック・トランジション・フィルター	2.08	2.12	2.32	1.32	0.7	*
コア	2.03	2.23	2.27	1.27	0.5	*
ランダム	1.90	2.00	2.18	1.18	0.7	*

ここに δ_d : 堤体材料の乾燥時の単位容積重量
 δ_p : " 施工時の "
 δ_s : " の水で飽和したときの単位容積重量
 δ_b : " の水中での単位容積重量 (水中重量)
 $\tan \phi$: " の内部摩擦係数
C : " の粘着力

(図において $x=-75m$, $y=23m$, $r=90m$) において計算された安全率は、常時 (地震を考慮しない場合) 2.07, 地震時 1.16 である (計算数表は省略する)。

地震力を考慮しない場合の安全率 2.07 は、U.S. Bureau of Reclamation, U.S. Corps of Engineers において必要としている安全率 1.5 を上まわっており、水位低下に地震力を考慮する過酷な条件の場合は、当然

図-13 Slip Circle Method による上流面安定計算図解例

[注] (計算条件)

1. 標高280.0m (満水位) より標高252.0m (低水位) まで急激な水位低下時
2. 間げき圧は実測値使用 (実測; 40-10-11, 16時53分)
3. 本例は最小安全率がえられた滑り円である
4. 滑り円 $x=-75m$, $y=23m$, $r=90m$
5. 実測間げき圧をそのまま滑り円に働かせ Saturation Line 以下の材料の単位容積重量として飽和重量を用いる

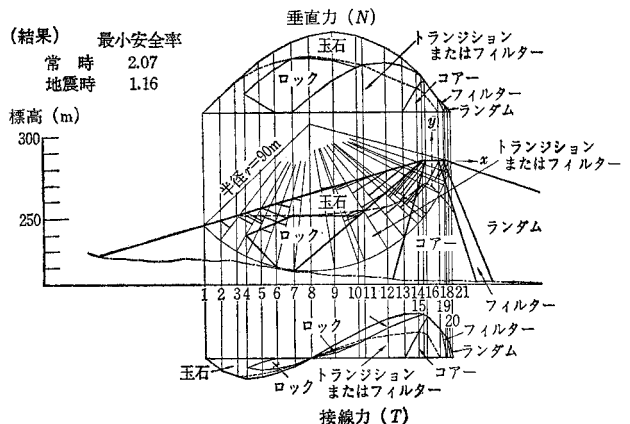


表-3 既設ダムの安全率

ダム名	条件	地震力を考慮しない場合の	地震力を考慮した場合	
		最小安全率	最小安全率	地震係数(水平)
本 沢	満水時	2.89 (当初設計)	1.30 (当初設計)	0.15
	水位低下時	2.07	1.16	0.15
御 母 衣	満水時	2.728	1.555	0.12
	水位低下時	1.731	1.152	0.12
魚 梁 瀬	満水時	1.45	1.05	0.12
	水位低下時	1.69	1.37	0.06
Falcon	満水時	—	1.6	0.10
	水位低下時	—	1.8	0.10
Upper Yarre	満水時	2.00	—	—
	水位低下時	1.25	—	—
Cherry Valley	満水時	1.50	1.10	0.05
	水位低下時	1.25	—	—

上述の値より小さな安全率でよく, Los Angeles Department of Water and Power 等では 1.0 以上の安全率があれば十分であるとしている。参考までに, 上記と同じ Sliding Circle Method によって計算した既設ダムの安全率*を示すと, 表-3 のようになる。

4. 結 び

以上, 埋設計器の観測結果を用いて調整池水位の変動にともなう間げき圧の変化, ならびに急激な水位低下によるダム上流面の安定の問題を論じたのであるが, 現在本沢ダムは, その他土圧計, 沈下計等の観測値からもたん水による特別な異常を認めていない。ただ, 最後に付記して置きたいことは, 埋設計器によるデータの信頼度に関しては, なお多少の疑点が残っており, 今後計器の埋設個数の合理的な決定方法, また新しい計器の開発等, 種々技術的問題に検討の要があると思われることである。
(1966. 3. 31・受付)

* 発電水力, No. 59, p.13

朝倉土木工学講座 全22巻

大学・短大・工専の土木工学科学生, 官公庁・会社の土木・建築技術者のために, 発展いちじるしい土木工学の基礎から応用までにあたり, 第一線に活躍する研究者・技術者26氏が協力, 理論的に体系だてて解説した待望の新講座。(全22巻・いよいよ刊行開始)

〈1回配本〉第5巻「土質力学」赤井浩一著 価1200円 (最新刊発売中)

〈2回配本〉第17巻「河川工学」吉川秀夫著 (6月刊)

〈3回配本〉第15巻「交通計画」小川浩三著 (8月刊)

水資源ハンドブック

資源科学研究 安芸 皎一 東大名誉教授 多田文男監修 [最新刊] 所理事長・工博 理学博士 発売中

水需給に関する合理的計画、設計が強く要望されている今日、本書は各専門分野に活躍する第一線の研究者37氏が協力、水の存在、水の調査、取水、水の利用と災害などにわたって、正確な全般的知識をすぐ役立つ実際のデータを駆使し、わかりやすく解説した最新のハンドブック。★A5判 680頁 価3800円

コンクリート工学ハンドブック

近藤泰夫・坂 静雄 監修 価5800円

プレストレストコンクリート

坂・岡田・六車 編 価2300円

セメント工業材料規格便覧

日本材料学会編(1965年版) 価1800円

基礎工学ハンドブック

村山朔郎・大崎順彦 編 価4000円

ラーメンの実用的解法

ギヤー著/金多 潔・金田由紀子 訳 価2400円

地下水学

酒井軍治郎 著 価2300円

河川工学

山本三郎 編 価2000円

図書目録
内容見本
進呈

朝倉書店

東京都新宿区東五軒町5-5
振替 東京8673 電 (260) 0141