

目すべき返答も行われた。

また、あるフランス人は、凍結融解によつてコンクリートが損傷を受ける機構から説き始め、講義調で長時間にわたつてましくたて、得意になつていたが、うんざりしたのはどの人も同じとみえて、この講義に対する論議は全く行われなかつた。

(2) 今後における研究題目について

この委員会の今後における研究題目については全員が深い関心を持ち、毎年の集会ごとに、各国それぞれ、自国の立場から最も重要と思われる題目を主張してきていた。1954年の集会では、この題目として14の題目が提案されていたのであつて、これらのうちから一、二の題目を選ぶことになつた。

この審議に入つたときには、すでに相当の時間が経過し、会議を終了すべき時刻が迫つていた。それで、委員長は「時間がないから」と前置きして、14の題目の中から2題目を選び、これに2題目を追加して、次の4題目を候補題目として選び、これに対する意見を徴した。

- (i) 混和剤 (AE 剤, Plasticisers 等) の使用方法
- (ii) 水平打継目の施工方法
- (iii) ポゾランの試験方法および使用方法
- (iv) 気象作用に対する、コンクリート耐久性 (継続)

¹⁷⁾ circular letter は 10 月に到着した。国際大ダム会議日本国内委員会では、審議の結果「混和材料 (AE 剤, Plasticiser, ポゾラン等) の使用方法の研究」を希望する旨回答している。

この審議は紛糾するのが当然であり、「時間切れ」に導いた委員長は、なかなか老巧なものと思われた。上記4題目に対して、支持する者、反対する者、また、「コンクリートの熱的性質の研究」、「細骨材の粒度、特に微粒分の管理方法の研究」、等を新たに提案する者、があつてまともになかつた。そこで委員長は、「circular letter を各国に送り¹⁷⁾ 回答を求めたのち、研究題目を決定する」と結び、閉会したのである。(iv) の題目は(1)に述べたように、継続の題目であつて、これに関する各国のその後の研究成果は1956年の集会で報告することになつている。

なお、今回の集会は1956年6月22~23日にウィーンで開くことに決定された。その席上で第6回大ダム会議(1958年にアメリカで開くことに決定している)におけるコンクリート関係の論題が審議される予定である。その論題について、「なるべく広範囲のものを希望する」との強い発言が、今回の集会で、すでに行われていた。

3. 結 び

この委員会の今回の会議は、短時間のものではあつたが、各国一流のコンクリート研究者が一堂に会し、活潑な論議をかかず会合であつたので、諸国における最新の研究動向を察知することができ、きわめて有益であつた。今後、わが国からも会議ごとに代表を送り、委員会の各委員との連繫を密にし、コンクリート技術の向上をはかり、あわせて国際親善に寄与したいと念願する次第である。

ヨーロッパのダムの設計施工について

正 員 工学博士 畑 野 正*

DESIGN AND EXECUTION OF DAM IN EUROPE

(JSCE Jan. 1956)

Dr. Eng., Tadashi Hatano, C.E. Member

Synopsis The present author attended the 5th Congress of the International Commission on Large Dams held in Paris, France from May 31st to June 4th, 1955.

This paper is a report on the characteristic features of the design and execution of new dams in various European countries such as France, Italy, Switzerland and Germany where the author went on an inspection trip following the congress meeting.

1. 緒 言

第5回国際大ダム会議におけるフランス国内のダムの見学旅行に参加し、これに引続いてイタリー、スイ

ス、ドイツの各国の新しいダムを見学することができたので、限られた小数の例であり、きわめて短時間の視察ではあつたが、その設計施工上の特長のあると思われるものを抜き出して紹介し、わが国における状況とくらべて感想を述べてみたい。

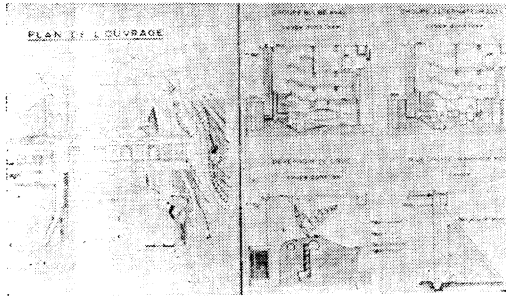
* 電力中央研究所土木部

2. フランスのダム

フランスではその包蔵水力の約 2/3がすでに開発されており、下流河川の低落差大容量の発電形式が現在及び将来に残された問題のように見受けられ、上流部の高いダムはすべて既設のもので、すでに文献その他で紹介されているものを見学することができたのであつた。

低落差大容量の発電のダムは Rhone 本流に既設、工事中、計画中の大規模なものを見学することができたが、設計上興味のあるのは Dordogne 下流の Argentaat 地点(図-1)であろう。低い越流ダムと、ピア-

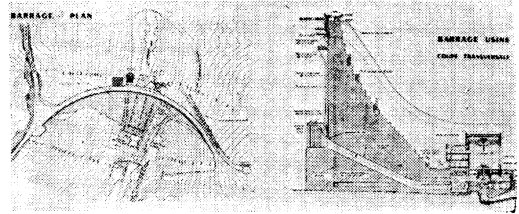
図-1



の中に設けられた発電所を、河幅一杯に並列した形式の低落差発電所で現在施工中である。最大落差 16.5 m、平均有効落差 12 m、水車 3 台の使用最大 320 m³/sec である。Neyrpic で研究された潮力発電所用の水車発電機を 2 種類、おのおののピア-中の発電所に据え、第三のピア-にはこの 2 種類の実績を比較調査の上、いずれかそのよい方を使用する計画であると云う。ともに水車発電機が水平軸で連結され、一方は発電機も水密ケーシング中に収められて水中で運転されるようになっており、他方には発電機が空中にあつて、水車を出た水が発電機の両側を流れる形式になっている。このダムは河床上約 10 m の高さにコンクリートブロックで締切ダムを造り、約 20 m の深さの堆積土砂を岩盤まで掘り下げて施工されている。コンクリートは最大粒径 100 mm 砂を加えて、4 種に分類された骨材とスラグセメントを使用して作られている。スラグセメントはスラグ 80% 使用の工場生産のもので、後述 Bort ダムにおいて用いられた湿式現場粉砕のスラグセメントとともに、フランスにおけるダム用セメントの新しい傾向を示している。

Dordogne 河の上流に築造された Bort ダム(図-2)は、すでにくわしい文献上の報告があるが、設計施工上フランスのダムの一つの大きな特長をなすものであるので簡単にふれてみよう。Dordogne 河における Bort, Mareges, L'Aigle, Chastang の一連のダムは、

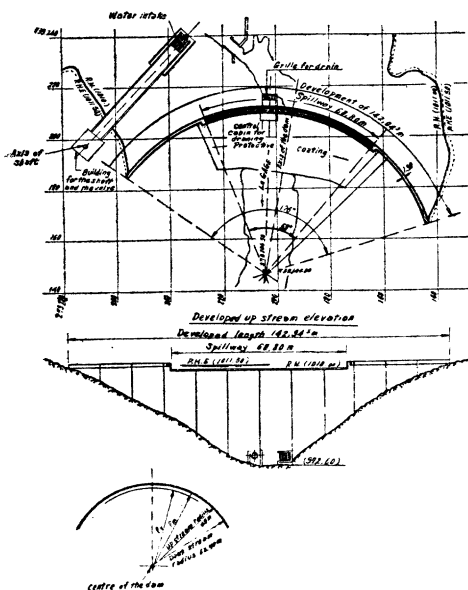
図-2



ともに Gravity-arch 型で約 25 年前の築造になる Mareges から、最近完成の Bort に到るまで、堤体コンクリートに対する応力限度を次第に増大させている以外は、上流面鉛直で比較的厚い断面をもつ Gravity-arch 型、いわゆる傾斜アーチ法による計算、ダム直下に発電所をおき、その屋根の上に沿つて洪水を吐くスキージャンプ式余水吐等、同じ形式に作られている。Bort ダムは高さ 120 m、堤頂長 390 m、コンクリート容積 700 000 m³ の規模で、スキージャンプ洪水吐の容量は 1 200 m³/sec である。このダムのコンクリートはセメント使用量 225 kg/m³、骨材最大粒径 250 mm の gap grading が採用された。これに対し、骨材の分離が大きく、ウオーカビリティーが粒度のわづかの変化で敏感に影響され、また骨材として無駄な部分が多く出るとの批判がなされたが、現場技術者は強力なバイブレーターでウオーカビリティーは改善できるし、ピットから出た骨材の組成から云つて gap grading を採用した方が経済的であつたと主張している。セメントはスラグ 68.5%、ポルトランドセメント 30%、塩化ナトリウム 1.5% のスラグセメントで、スラグを現場で湿式微粉砕する形式を採用した。コンクリート打設の速度が早いため、1日 400~500 m² の型ワクを要し、普通の工法では多数の熟練工を必要とするので、現場であらかじめコンクリートブロックを作り、型ワク代用とした。このため傾斜面は避けて下流面を鉛直階段状とした。ブロックは幅 2.15 m、深さ 1.50 m で裏面に 2 本の足をもつ 1.3 m³ の容積のもので、350 kg/m³ のポルトランドセメントを用いて w/c=0.43 のカタ練りで鉄製ワクの中に入れ振動をかけ、1日空中養生して現場に持ちこんだ。ポルトランドセメントを使用したのは、1日という養生期間のために硬化の早いものを必要としたのと、湿式粉砕によるスラグ及びワク砂中の水分によつて w/c の小さなコンクリートを作ることが困難であつたからという。

フランスのアーチダムの発達を知る意味から、小さなダムではあるが、Loire 河の上流に作られた Gage ダム(図-3)は興味のあるものである。この地点は、岩盤も花崗岩の堅岩であり、アーチダムに適した地形でもあるので、普通のアーチダムをそのまま作ることに満

図-3



足しなかつた設計者は、いままでになかつた大きな設計応力をもつ薄いアーチダムを作ることを計画した。

いまから約 25 年前 Coyne によつて設計築造された Mareges では円壩公式によるアーチの平均応力を最大 25 kg/cm^2 におさえて設計した。この考え方が長い間フランスのアーチダムの一つの基準として使用されたが、20 年後においてこの数値は約 2 倍にまでとられるようになった。例えば 1953 年築造の Cap de Long では 46 kg/cm^2 、54 年築造の Mal passet では 48 kg/cm^2 である。Gage ダムではこれを一挙に 100 kg/cm^2 にあげて実物による試験的試みをしようとしたのである。ダムの高さは 38 m、堤頂長 143 m、65 m の定半径型で堤頂厚は 1.3 m、底部厚は 2.57 m である。荷重試算法を含めた各種の計算法で応力を求めたが、片持バりに 80 kg/cm^2 に及ぶ張力が生ずる結果になつた。これに対し古典理論によつてこの結果が出て、実物ダムはこれに耐えるかも知れないという議論と、それにしてもあまり大きすぎる値であるから、鉄筋を入れる必要があるという議論が出て、結局計算上 20 kg/cm^2 以上の張力を生ずる片持バりに鉄筋応力が 30 kg/mm^2 を超えないように鉄筋を配置した。すなわち 32 mm 筋を 35 t 上流側底部に、25 t 下流側中央部に鉛直方向に配置した。コンクリートはセメント 350 kg/m^3 使用で粉砕骨材 0~3 mm, 8~20 mm, 40~120 mm, の 3 種にし w/c は 47% で 90 日強度平均 356 kg/cm^2 を得た。湛水後のヒズミを測定した結果、コンクリートの弾性率を $125\,000 \text{ kg/cm}^2$

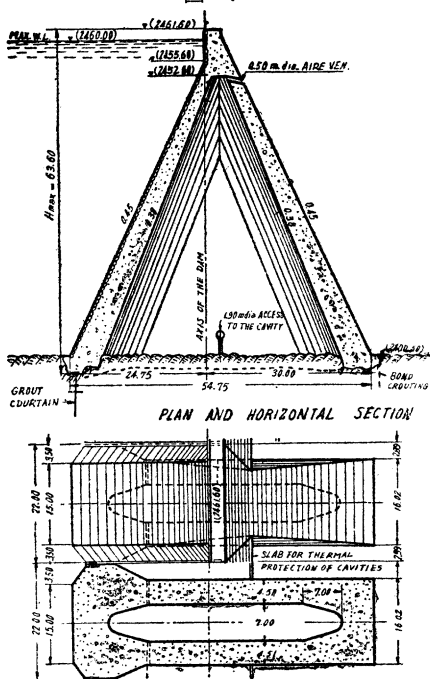
として、最大圧応力 85 kg/cm^2 が中央アーチ上流面に生じ、この高さの平均アーチ圧応力は 75 kg/cm^2 であることがわかつた。

3. イタリアのダム

イタリアはヨーロッパ第一のダム国で、1950 年末までの統計では 237 個のダムをもち、アメリカ、日本について世界第 3 位であると云う。フランス同様包蔵水力の約 2/3 をすでに開発しており、工事中のもので見学できたのは上流部の流域面積の小さなダム地点であり、ほかはすでに紹介されている既設ダムであつた。イタリアのダムの特長としては Marzello によつて最近さかんに建設されている中空重力ダムと、Semenza によつて建設された、perimeter joint をもつたアーチダムの 2 つであろう。

中空重力ダムの例として、イタリア西北部アルプス山中の Sabione 河の最上流部に、現在ほぼ完成を見た Sabione ダムを説明してみよう。貯水位 2460 m の高所で、流域面積の半分は氷河地帯である。このダムは高さ 64 m、堤頂長 279 m の Cellular gravity type とよばれ、図-4 のごとき断面をもつ。設計条件とし

図-4



て、各ブロックを一つの独立したモノリシックなものと考えて、二次元的な重力ダムと同様の取扱いをしている。揚圧力は、上流端で全水圧、内部の孔の周辺で 0 とし、またほかに水圧を、25 t/m 考えている。このような、中空型にすることによつて、コンクリート

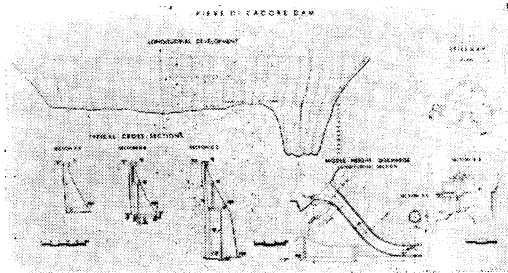
量は、重力ダムの約 30% 程度節約ができると云う。主応力は、満水時最大下流端で、 21.3 kg/cm^2 、上流端で 0.3 kg/cm^2 、空虚時最大下流端 8.9 kg/cm^2 、上流端 8.7 kg/cm^2 と計算されている。応力の増大は、重力ダムにくらべて特に大きくはなく、重力ダムの可能な場所には、どこでもこのタイプが可能であると云われている。洪水の処理はきわめて少量であるので、堤体に関係ないトンネルによつて行つている。薄く長い壁体コンクリートの打設は、上流側の凸部コンクリートよりも、上流面にほぼ平行にキーをもつた施工継手を作つて行われ、のちにグラウトされた。コンクリートは、セメント使用量 250 kg/m^3 、骨材は最大粒径 100 mm の碎石砕砂で 5 種に分類し、 w/c は 0.50 で 28 日強度、平均 300 kg/cm^2 を得た。使用セメントはフェロ ポゾラニック セメントと云つて、化学抵抗の大きい、低熱の、特殊なものを用いている。なおコンクリートは気象作用の非常にはげしい地点であるが、AE 剤は使用していない。

中空重力ダムは、このほかさかんに建設されており、ほとんど、重力ダムにとつて代つている。

perimeter joint をもつたアーチダムとしては、すでに多くの著名なダムが建設されているが、ダムの周辺全体をコンクリートをもつて、滑らかな対称形に近いものにし、その上にダム基礎をおくことにより、応力状態をよくし、またジョイント周辺の上流側の引張応力をなくするのを目的とすると云う。

この一例として、Pieve di Cadore ダム(図-5)を取り出してみよう。イタリア-東北部の Piave 河上流に築造された、Gravity-arch 型で、局部的な、河心の深い部分を含めると、最高 112 m 、一般アーチ部は 55 m の高さで、堤頂長 410 m 、半径 160 m である。イタリアのアーチダムは、狭い谷に薄いアーチをかけたものが多いが、このダムは長さ、高さの比が 7.5 と云う珍しい例である。このダムの形式については、河心の深い部分を短かいアーチダムとして、これに 55 m の高さの重力ダムを接続する案と、この案の重力ダムの代りに、中空重力ダムを用いる案、等が考

図-5

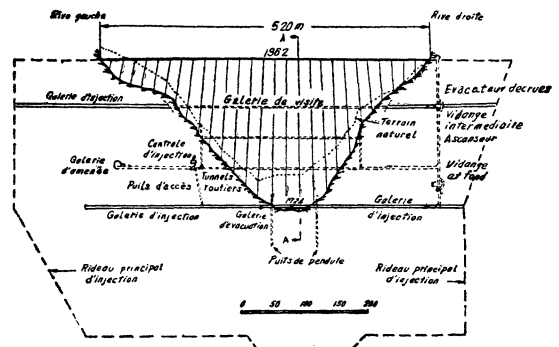


えられたが、これらは、その接合部に大きな引張力を生ずることから採用されず、図のような perimeter joint をもつ形の決定案がとられたと云う。設計計算は、深い部分を単なるシリンダーとして取扱ひ、光弾性実験によつて補足し、アーチ部は荷重試算や、テルケ法、その他によつて計算され、また模型実験を行つて補足した。その結果、アーチ部では最大圧応力 30 kg/cm^2 、引張応力 6.5 kg/cm^2 、片持バリ部では、最大圧応力 20 kg/cm^2 、引張応力 6 kg/cm^2 と推定された。洪水はダム本体に関係なく、地表岩盤上の門扉とトンネルを連続した余水吐で大部分が処理されている。基礎岩盤は、砂岩、石灰岩等の入りこんだ軟弱なもので、岩盤変形から測定された弾性率の値は、 $20\,000 \sim 30\,000 \text{ kg/cm}^2$ で、コンソリディーショングラウトにより、 $50\,000 \sim 60\,000 \text{ kg/cm}^2$ に改良されたと云う。コンクリートは、フェロ ポゾラニック セメントを、表面 250 kg/m^3 、内部に 200 kg/m^3 使用し、骨材は最大粒径 120 mm で 5 cm に分類した。 w/c は、0.50 及び 0.55 で、90 日強度平均で 470 kg/cm^2 、 450 kg/cm^2 を得た。半径方向の継目を 1 m あげて打設し、温度降下収縮ののちに、コンクリートを充填したスロット工法を採用し成功している。

4. スイスのダム

スイスでは、小国ながら現在世界最大の重力ダム Grand Dixence、アーチダム Mauvoisin を建設中である。Mauvoisin ダムは(図-6)、Rhône 河の支流の最上流部、貯水位 1960 m の高所に築造されつつある高さ 237 m 、堤頂長 520 m 、天端厚 14 m 、底部最大厚 53.5 m のアーチダムで、中央断面上部においてやや下流側に傾斜した形をもち、堤体積 $2\,100\,000 \text{ m}^3$ 、設計最大応力 90 kg/cm^2 となつている。基礎岩盤は、石灰岩質の光沢ある片麻岩で、三段に注入トンネルが全長 $1\,000 \text{ m}$ にわたつて掘られ、 $240\,000 \text{ m}^2$ の区間徹底的に注入が行われた。コンクリートは、氷

図-6



河の水でパイプ冷却し、18 m 巾のブロックを底部で上下流の2つに分けて打設している。骨材は 120 mm 最大粒径のものを5種類に分類し、ポルトランドセメントを、 160 kg/m^3 及び、 250 kg/m^3 使用している。90 日強度の平均は、それぞれ 284 kg/cm^2 、 390 kg/m^2 であつて、ダレックスや、スイス産の AE 剤を用いており、全くゼロスランプで打設している(図-7, 8)。

Grand Dixence ダムは、同じく Rhone の支流の最上流部、貯水面標高 2364 m の高所に築造されている。最終高さ 284 m、堤頂長約 700 m、堤体積 5800000 m^3 の巨大な重力ダムである。重力ダムの形

図-7

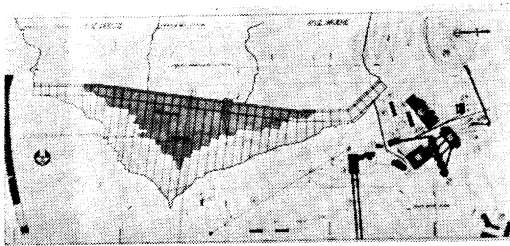
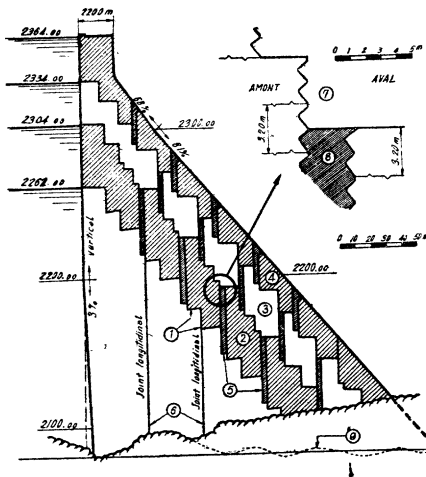


図-8



式を選定したのは、技術的理由によるものではないという。基礎岩盤は、緑泥石、角閃石を主体とした堅岩で、弾性率 $500000 \sim 600000 \text{ kg/cm}^2$ である。最終形態は、下流面勾配 81%、上流面鉛直で、堤頂より 160 m 以下の部分は 3% の逆傾斜をもつてオーバーハングして、重心を上流側にうつしている。設計最大主応力は 75 kg/cm^2 と計算され、ほかに特に重要なダムであると云う理由から、地震荷重を考慮して検討している。工事は第一期に 182 m を下流面を階段状に仕上げ、湛水後その上に間隙を残して柱状にうちあがり、収縮冷却後に間隙にコンクリートをつめ、グラウ

トをして嵩上する予定になっている。堤体コンクリートは柱状式にパイプ冷却を行いながら打設されており、グラウトにより一体化される。コンクリートは第一期の分は、普通ポルトランドセメントを上流面 250 kg/cm^3 使い、下流側 160 kg/m^3 使つて、骨材最大粒径 120 mm として4種に分類しており、ややスランプの大きなコンクリートが打たれている。90 日材令で、平均 300 kg/m^3 及び 200 kg/m^3 の強度を得ている。

5. ドイツのダム

ドイツの包蔵水力は、すでに 2/3 以上開発され、その総量も、フランス、イタリーの半分程度であつて、新しいダムとしてはあまり大規模なものはないが、工業用水、飲料水用のダムの特長ある建設中ダムを見ることができたので、これを説明しよう。

Oker ダムは、東西ドイツの境界近く、Niedersachsen 州の多目的ダムとして建設中で(図-9, 10)、設計施工面で独特な特長をもっている。最も経済的な型として、極端に薄いアーチダム型が採用され、各種の模型実験計算により検討された。高さ 76 m、半径 75 m、中心角 110° 、堤頂長 260 m で、厚さ 8 m、底部の一部を最大厚 19 m に増大している。半径を小にしてあるので、天端のアバットが兩岸につかず、このため堤頂より 13 m の部分を重力で保つような断面とし、アーチ作用が働かないようブロックごとに切り目を入れてある。計算実験の結果、最大応力 $80 \sim 90$

図-9

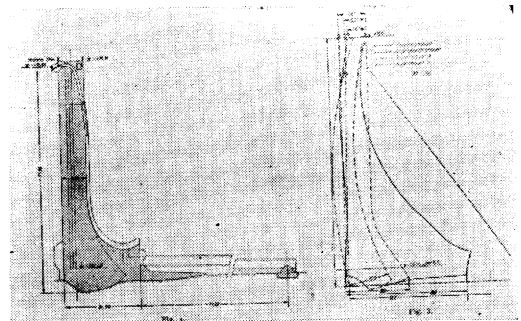
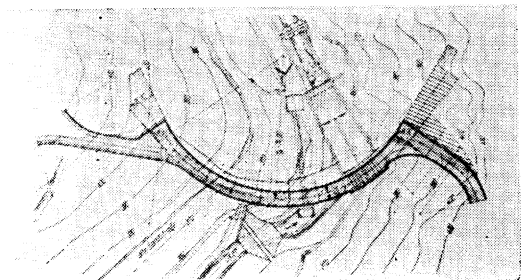


図-10



kg/cm² となつている。洪水量はわずか 154 m³/sec で、堤頂についたサイフォンで吐く形式をとつている。コンクリートは、120~400 mm の斑筋岩からなる堅い碎石を用いた巨石コンクリートで、30 mm 最大粒径のコンクリート中に入れ、バイブレーターによつて仕上げる方式をとつている。骨材は 0~1 mm, 1~3 mm, 3~7 mm の天然砂と、7~15 mm, 15~30 mm の碎石の 5 種を用い、フリオプラストまたは、ビソールレジンを加えて、高炉セメント、330 kg/m³、水 168 l/m³ 使用してコンクリートを練り、これをコンクリートポンプで輸送して 20 cm の層を作り、この上に前述碎石をおいて、20 kg の重量、9000 rpm の内部振動機を用いて締固め、40 cm の層にしあげる。できあがりコンクリートは、セメント 160kg/m³、w/c=0.51、30 mm 以下の骨材 900 kg/m³、巨石 1500 kg/m³ の組成で、単位容積重量 2.65 程度の密なコンクリートとしている。コンクリートの品質は、8 m の厚さを全部一様なものとし、表面内部の区別をしていない。高炉セメントは、60% のスラグを含んだものである。現場コンクリートの管理は、30 mm 最大粒径のコンクリートについて行われており、90 日強度で平均 427 kg/cm² を得ている。

Ruhr 河の上流部に、工業用水用に現在ほぼ完成を見たロックフィルダムに Henne ダムがある（図-11、12）。岩盤上最大高さ 60 m、最大底幅 250 m、天端幅 10 m、堤頂長 376 m、堤体積 1300000 m³ である。基礎は石灰岩質のコンクリートダムには適しない軟弱なもので、滲透圧力水により石灰分の溶出の懸念があるので、徹底的なグラウトが行われた。上流端に、コ

図-11

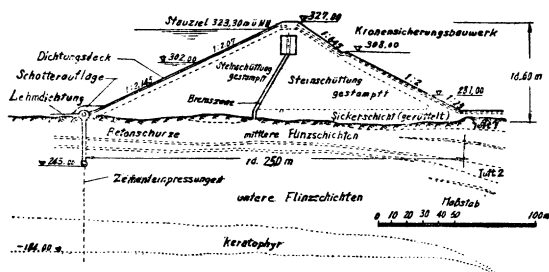
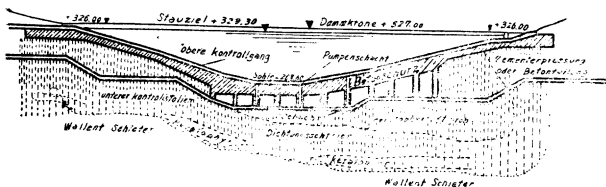


図-12



ンクリートの監査廊が作られ、その直下岩盤中に、これと平行してトンネルを掘り、トンネルと監査廊との間を、コンクリートのカーテンでおきかえ、トンネルの中から深さ 80 m に及ぶボーリングを行つて、セメントグラウトが入念に行われた。ダム本体は、80 cm の一リフトに最大 50 cm 程度の岩をしき、エキスカベータに 2.5 t の重量をつるして 2~3 m の高さから落下してタンプし、60 cm の層にしあげてつみあげた。でき上り堤体の空隙率は 18% と云う。本体の沈下は完成後もほとんど生じないものと考えている。1 日の作業量は約 8000 m³ であつた。上流面に瀝青コンクリートによる継手なしの遮水壁を作り、また堤体内部にも上流面よりに熱した瀝青砂の中に岩を圧入した不透水層を作つている。後者は爆撃によつて表面遮水壁が破壊されたときの予防的処置であると云う。

6. 結 言

以上ヨーロッパ各国の最近の特長あるダムを抜き出して説明したが、ダムに対する自然条件として、わが国といちじるしく異なると思われるものは、一般的に云つて洪水と地震であると云えるのではなからうか。

前述 Dordognes 河の一連のダムの場合、上流ダムにおいて約 1000 m³/sec、下流ダムにおいて、約 4000 m³/sec 程度の洪水吐能力をもつ以外は、高いダムに対する洪水量はすべてきわめて少量で、特に余水吐の選択上からダムの型式を左右すると思われるものは見られない。しかも一般に計画洪水量としては、1000 年洪水程度がとられており、その出水時期も頻度も、大体安定していると考えられる。わが国における大部分のダムが、洪水をいかに処理すべきかに苦心するのにくらべて、大きな違いであると云えよう。次に地震に関しては、一般に地震はないものとして全く考慮が払われていない。筆者の知つた範囲では、イタリアにおいてシシリ島火山に近く築造された Antipa 中空重力ダムが、0.1g の加速度を考慮して設計され、またスイスの Grand Dixence が特に重要なダムであるという理由から、同じく 0.1g の加速度をとつて安全側に設計された以外は、全く地震を考慮していない。設計における地震の取扱いは、従来わが国において行われている方法がとり入れられている。

ダムに対して、急激なかつ大量な洪水をどのような方法で安全経済的に処理するかという問題、及び地震に対する安定性の問題はわが国ダム技術者独自の立場から、大いに研究しなければならぬことであると思われる。

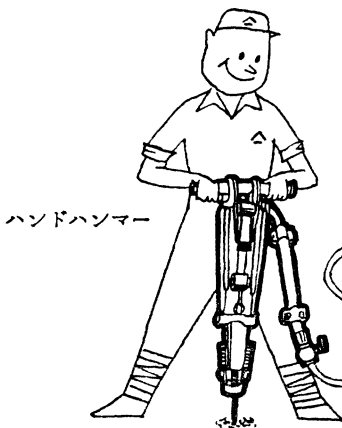
次に最も注目せねばならぬと思われることは、ヨーロッパ各国のダムが、おのおの独自の発達を示しており、設計の面でも施工の面でも、わが国におけるような、画一的なものではないということである。これはおのおの設計施工者の独創が強く表われている点と、その地点の特性を深く考察して、これを生かした結果と考えられ、わが国のダムが、現在もほとんど直線重力堤頂越流型の一本槍にかたよっている点は、深く反省されねばならないと思う。経済性、安定性の面から、また洪水、地震に対する点から、直線重力ダムが最もよいと云うことは必ずしもいい得ない。また十分の調査考察の結果、今日のような態勢になつている

ともいい得ないのではなからうか。

ヨーロッパのダムの発達の一つの大きな要因は、設計技術がきわめて重要視されている点にあると思われる。既設ダムに関する観測が詳細に行われて、ダムの実態をつかみ、次の建設への資料が提供され、改良進歩が行われている。また設計面が比重の小さな一小部門において、文献や教科書のいきうつしに終わらないで、主腦者自ら先頭に立つて自分自身のものを作り出しているのである。これは結局技術が尊重されているということ、そして確固たる自我をもっていることによるものであると筆者には強く感ぜられた。

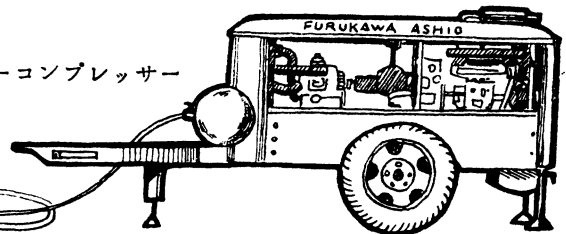
高効率!!

古河のエア・コンプレッサー ハンドハンマー



ハンドハンマー

ポータブル
エア・コンプレッサー



古河鋳業 足尾製作所

本社・東京営業所 東京丸の内 TEL (27) 1401~10
販売店 福岡・大阪・名古屋・仙台・札幌
工場 高崎・小山・足尾