

# 発 電 水 力 (IV)

## 発電水力の将来と経済性

三 村 誠 三\*

### 1. 概 説

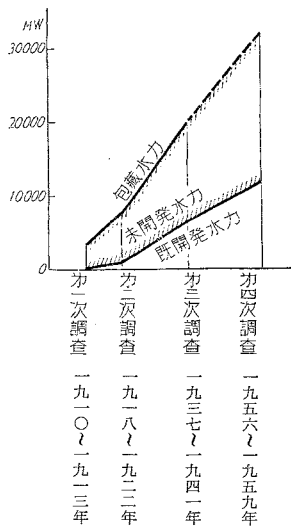
1. 筆者に与えられた課題は、純粋な土木技術の分野を離れて、将来の電力需要の伸び方、日負荷の変動、火力発電、さらに原子力発電の開発の見通しとも連なり、きわめて解析の困難な問題で、筆者の能力の限界を越えるものであるが、一応の問題点を並べて読者の御判断を乞いたいと思う。

明治の初期、わが国最初の電力の供給が始まってからすでに 90 余年、産業の発展と、国民文化の向上とともに、電力の需要は止まるところを知らず、昭和 32 年度において、全国供給力（設備最大）は、水力 1030 万 kW、火力 660 万 kW、合計 1690 万 kW に達し、さらに昭和 37 年度には、水力 1440 万 kW、火力 1070 万 kW、合計 2510 万 kW におよぶ計画である。

2. わが国は雨量多く、かつ地形急峻であるので、水力資源に恵まれていると称せられてきた。また昭和の始めより数次にわたって、図-1 発電水力調査による政府の国内水力資源の調査が行われ、そのつど、

技術の進歩、視野の拡大によつて、飛躍的に水力資源は増加を見ている（図-1 参照）。昭和 34 年度完了を予定している政府の第 4 次水力調査の中間資料によれば、国内の未開発水力資源は、なお 2000 万 kW を越えることが予想される。

3. わが国の電力の構成は、水力を主体とし、火力はその不足を補う従属的なものとして、いわゆる水主火従方式が採られてきた（もちろん地域的例外はあつた）。しかしながら、在来の観念における有利な水力地点は、おおむね開



\* 正員 東京電力KK 建設部土木課

発されつくした感があり、第 4 次水力調査の未開発水力資源も、今日現在、あるいは近い将来に、経済に乗ったペースで開発可能な地点となると、きわめて限定されてくるのである。

さらに、近年の需要の急増に対しては、水力の開発を主体としたものでは、とおい、その需要を賄うことはできない。また近年、火力発電所の効率の飛躍的増大が可能となつてきた。

これらの原因が重なつて、全国的に大容量新鋭火力発電所の建設が進められ、水火の比重または役割は逆転の傾向にある。ここに、水主火従から火主水従への移行が始まるのである。

水力を主体とし、水力の性格上の不足を補うような火力の建設並びに運用から、大容量新鋭火力を主体とし、その性格上の不足を補うような性格を持つた火力の建設が望まれるようになってきた。

これに適合するものが、大容量尖頭負荷水力発電所である。このため大規模開発、あるいは既設設備改造による設備の近代化、揚水式発電等の開発型式の採用が望まれることとなる。すなわち、水力には kWh よりも kW に重点を置く開発が、今後行われることであろう。

この傾向は、原子力発電が導入されれば、さらに顕著となる模様である。

一方、ガスタービン等新規の発電型式が、経済的な尖頭負荷発電所として研究されつつある現状から、尖頭負荷水力発電所も、さらに技術の向上によつて、建設費の減少に一段と努力を払わなければならないと思われる。

4. また水を対称とするものは、電力だけでなく、かんがい、水道、工業用水、洪水調節などの分野があり、時と場所によつて、利害相反し、また相通ずる。今後開発を希望される規模並びに型式の水力地点には、これらの分野に関連性を持つものが数多くあるが、国土総合開発の見地に立つた最経済開発の確立が望ましいことである。これらの分野の協調によつて、見すてられていた水力資源の開拓が可能となるであろう。

5. ひるがえつて、国家資源的にエネルギーを見るとすれば、火力の開発は捨てられている国内資源の有効利用であるが、火力の建設は、限られた国内の稀少資源消費であり、国外よりのエネルギーの購入である。電力会社の火力用燃料の使用実績、並びに計画は表-1のごと

表-1

	単 位	年		
		32 年 (実績)	33 年	37 年
火力発電電力量	(1 000 000 kWh)	18 921	24 087	41 660
石 炭	(1 000 t)	9 727	12 815(55)	17 626(5)
重 油	(1 000 kl)	1 234	1 217	1 672
計 (石炭換算)	(1 000 t)	11 938	15 095	20 679
石炭換算消費率	(kg/kWh)	0.63	0.63	0.50

カッコ内数字は天然ガス (10<sup>3</sup>km<sup>3</sup>) で概算

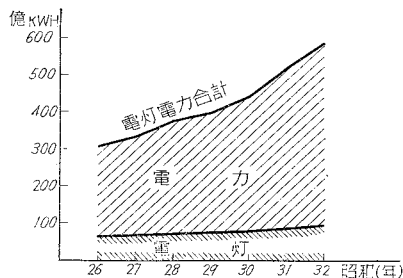
く莫大なものであつて、国内資源の枯渇、並びに巨額の  
外貨の流出をとまなうことは、火を見るよりも明らかで  
ある。この観点から、水力の開発と、火力の建設に対す  
るなんらかの差別待遇がなされて、しかるべきではない  
かと考えるものである。

以下各章にわたつて、もう少し具体的に説明する。

## 2. 電力需給の推移

わが国の電気事業は、明治の初期にその 第一歩を印  
し、以来、経済界の好不況によつて、需要の変動は多少  
あつたが、平均して毎年 9~10% 程度の伸びを示して  
おり、電灯と電力の需要構成率は、最近において、大  
体 15 : 85 となつている。しかし近年の需要増加状況は 図  
—2 のとおりであつて、一般に、電灯および業務用電力  
需要の増加は比較的低率で、おおむね一定である。一  
方産業用需要の増加は、量および増加率の点から見て、  
この倍すが、将来の電力需用を左右することにならう。

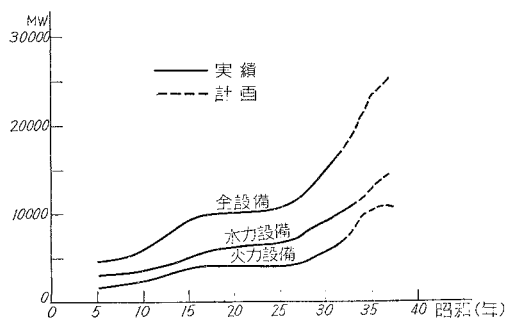
図—2 電灯電力需要(電力量)の推移 (9電力会社分)



産業用需用の中でも、大口電力の増加はきわめて大き  
く、また特定の大口工場の伸びが、その大半を占める状  
態で、生産増強の影響はもちろんであるが、最近特に、  
産業合理化にとまなう設備更新の機運が高まり、需要増  
加に拍車をかける結果となつていることは見逃せない現  
象である。

他方、供給力は、戦後はなほだしく不足したが、各電  
力会社が積極的に開発を実施した結果、図—3 のとおり、  
いちじるしく増強された。最近においては、予想外  
の需用増と、渇水の影響とがなければ、おおむね需給の

図—3 発電設備の傾向



均衡が得られるようになった。

次に将来の需給状態を、最近の電力会社の長期計画に  
よつて概観すれば、昭和 32 年度需用実績は、需用端で  
589.7 億 kWh、12 月最大電力は、送電端で 11 337 000  
kW であつたが、昭和 37 年度需用は、それぞれ 899.6  
億 kWh、17 623 000 kW と想定されている。これは 32  
年度実績に比し、電力量は 309.0 億 kWh の増加で、  
年平均複利増加率は 8.8% である。また、12 月最大電  
力は、6 286 000 kW の増加で、年平均約 1 257 000 kW  
の増加である。

このような想定に対し、32~37 年度間の運転開始予定  
の発電所は、水力 4 746 000 kW、火力 5 891 000 kW で  
電力融通を強化することにより、34 年度はわずかな供給  
不足を生ずるが、35 年度以降は、需給が均衡を得て、  
37 年度においては、全国で 6.5% の供給余力を保有す  
る計画である。

## 3. 今後開発を期待される水力

今後開発を期待される水力については、概説に大略を  
述べたが、以下その理由と経済性について述べることに  
する。

### 1. 需給・変動と水火力の組合せ

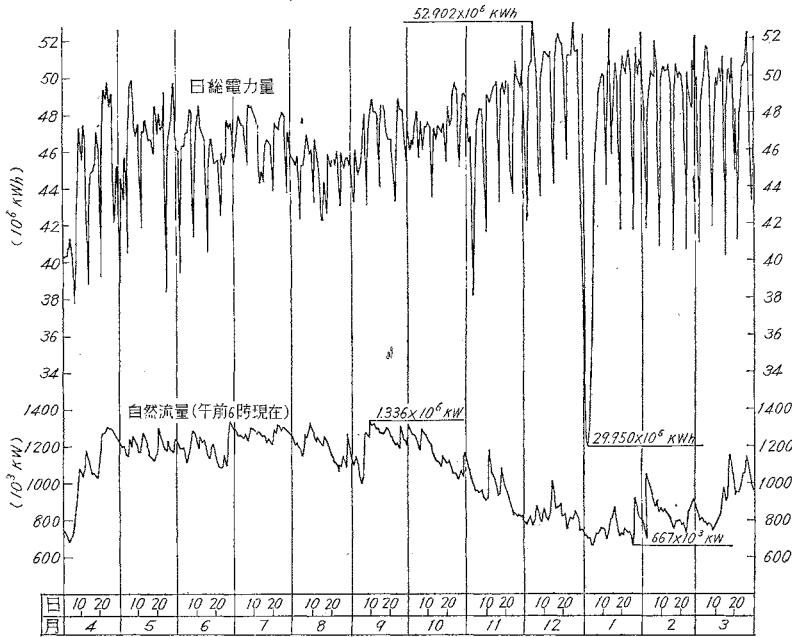
戦後の電力の需用は、敗戦直後の混乱が治まるととも  
に伸び始め、特に電力再編成(昭和 26 年)後は、前述  
のごとく、おおむね 10 年に 2 倍になるようないちじ  
るしい伸びを示している。

電気はいらまでもなく、生産即消費という、貯蔵がな  
し得ない特殊な生産過程を示すので、常に需用に応ずる  
供給設備を持つていなければならない。ところが、この  
需用の姿を見ると、年間における変動は 図—4 上段に示  
すごとく、冬多く夏少ない状況を示し(ノコギリ形に低下  
しているのは日曜および休日のためである)、かつ 1 日  
の間でも、図—5 のごとく夕方の点灯時に最大の山(ピー  
ク)を示し、深夜には最低(オフピーク)となつてい  
る。

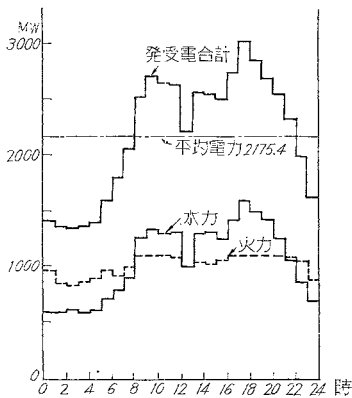
このような需用に対応する供給設備は、季節的、時間  
的のこの変動に対応しうるものでなければならない。

この供給設備、すなわち発電設備は主として水力、火  
力の 2 種類をもつて構成されている。従来はいわゆる水  
主火従の発電方式が採られたことはすでに述べたところ  
である。すなわち供給力の主体は水力であるが、水力は  
図—4 下段に示すごとく季節的にはなほだしく変動する  
ので、水力の低下した時期には、火力をもつて補う方式  
である。しかるに、前記のごとく、急激な需用増加に対  
する供給設備としては、従来の水主火従方式ではまかな  
いきれず、限られた開発資金の面より、資金効率のよ  
い、すなわち建設単価が水力の約半分ですむ火力発電所  
が建設される機運となつた。この火力は近年の火力発電

図一4 東京電力管内、昭和 32 年度実績曲線図



図一5 昭.32.12.18. 東京電力管内、第三水曜日負荷曲線 (負荷率 72.2%)



技術の進歩にともない、熱効率が旧火力の2倍くらいまでも上昇して、発電原価がいちじるしく低下した新鋭高効率大容量火力発電所である。

加えて火力は、水力に比し、工期が短かく、補償問題も少なく、豊満水の影響なく安定した供給が行える上、老朽火力との代替も可能である。

もちろん、この新鋭火力は後述のごとく、連続運転することにより経済的となり、これに反し、変動する需用に応ずるように運転すると、固定費の率が大きくなり、熱効率が低下して、きわめて不経済なこととなる。そこで、この火力をもつてベースロードに、また大規模水力をもつてピークロードに対応せしめることが、水火の最も合理的な組み合わせとなる。最近いわれている水主

火従方式とは、このような運用方式のものをいうのである。

この場合、ベースロードに対応するものとして、新鋭火力のほか、当然将来の原子力が考えられ、ピークロードに対応するものとして、水力のほかにガスタービンや、火力、原子力と組合わせた揚水式発電が考えられる。

以下、これらの供給設備並びに水火併用について説明する。

## 2. 新鋭火力発電所

ここ数年来、火力技術の進歩に応じて、高温高压の蒸気を使用し、さらに再熱サイクルを採用した高熱効率の、いわゆる大容量新鋭火力発電所が全国各地に建設されている。この新鋭火力の蒸気圧および蒸気温度は、

従来使用されていた、45 気圧、450°C 級よりいちじるしく大となり、60 気圧、480°C 以上となり、さらに最近には千葉火力発電所の 127 気圧、538°C と高められている。また熱効率も、従来の全国平均 20% 未満、最高でも 24~25% のものが、最近では 30% 以上 40% 程度におよぶものも建設されている。また、1 基の容量もいちじるしく大となり、従来数万 kW 程度のものが、最近では 20 数万 kW のものも建設中である。

かくのごとき新鋭火力発電所が、その高効率を発揮するためには、高負荷率で運転されなければならない。変動する負荷に応じて低負荷運転をすることは、熱効率を低下する。また機械的な理由からも、最低負荷の制限と、起動停止に対する制限を加えなければならない。新鋭火力発電所はこれらの欠点を有するので、これを補うために、負荷調整の可能な水火設備が必要となる。

## 3. 原子力発電所

1. に述べたごとく、従来の電力供給源である水力、石炭、石油等の資源は、開発の困難性が急速に増大する傾向にあり、将来の需用増加に対する供給源として楽観を許されない状態にある。この点で、新しいエネルギー源として、原子力に多大の期待が寄せられるのである。しかし、原子力発電は、世界的にも試験段階にあり、一部の国でようやく最初の発電所が運転に入ったばかりで、なお経済性、その他の面で問題があり、今ただちに実用化されることは望めないが、近い将来経済性に乗つて、実用化されるものと考えらるべきであろう。原子力発電所としては、核燃料、減速材、冷却方法その他多くの

問題点があり、特に、わが国では炉の耐震性が論議されているが、ここでは直接の関係がないから省略することとし、発電面での特性についてのみ考えることとする。

この面からのみ見れば、原子力発電所も一種の火力発電所と見ることができる。ただ異なる点は、火力よりも建設費が高く、燃料費が安いことが予想されることである。この点から、新鋭火力発電所がベースロード用に適する以上にベースロード用に適したものであるといえる。なぜならば、負荷率を悪く運転すれば、設備費の率が大となり、原価高となるからである。なお燃料費が安いので、後述の揚水式発電所との組合わせで有利な発電が行われることは後述する。

#### 4. ガスタービン

前記新鋭火力、および原子力の両発電所は、ともにベースロード用としての特性を有するので、変動する負荷に応ずるためには、これらと組合わされるべきものが必要となる。このピークロード用としてガスタービンの実用化が期待され、研究されている。その理由とする主なものは、起動停止が短時間に容易に行いうる上に熱効率も高いことで、このため変動するロードに応じやすいからである。

#### 5. 揚水式発電所

揚水式発電所には、次の2種の型式がある。

a) 河川流量の変動に応じ、季節的調整を目的とするもの(図-6参照)。

b) 日または週間程度の負荷の変動に対応するもの(図-7参照)。

もちろん、両者を兼ねるものも考えられる。

前者は、河川流量が年間に豊

水期、渇水期で示されるように、大きな変動があるため、水力発電所の出力は、既述のごとく大きい変動を生ずることとなり、需用に対応し得ないこととなる。そこで豊水期に余剰電力によつて貯水池に水を揚水(ポンプアップ)貯溜し、渇水期にこれを放流して、年間の流量の平均化を行い、安定した出力を出そうとするものである。

これに対し、後者はすでに述べたごとく、負荷は1日

図-6 季節調整揚水方式

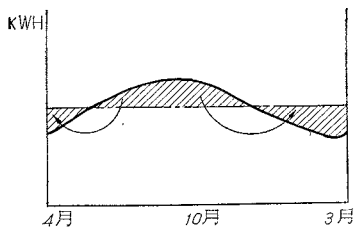
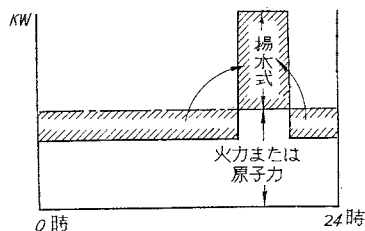


図-7 日調整揚水方式



の間でも、夕方と深夜に大きな差があり、1週間の間でも週日と休日に大きな差があるので、このような短期間の需用の変動に応ずるために計画されたものである。

これを図によつて説明する。図-8のごとく、需用の形をE F C D G H, 最大需用を $P_0$ とする(簡単のため、送電その他の損失をないものとする)。これに応ずる供給設備として、全部を火力でまかなうことにすれば、 $P_0$ の火力設備が必要となる。ところが、これを火力と揚水の両設備でまかなうとすれば、需用の形に応じて、それぞれ $P_1, P_2$ の設備が必要となる。この場合、需用 kWh( $E_0$ )と、発電 kWh( $E_0'$ )の間には、次のごとき関係がある。

$$P_0 = P_1 + P_2$$

$$E_0 = E_0' - E_1 + E_2$$

$$E_2 = \eta \cdot E_1$$

ここに、 $E_1$ : 揚水発電所の発電電力量

$E_2$ : 揚水に使用した電力量

$\eta$ : 揚水効率で、揚水のために消費した kWh と、その揚水によつて生じた kWh との比

このように「 $P_0$ の火力」と「 $P_1$ の火力と $P_2$ の揚水発電の組合せ」の二者を比較して、後者の経費が安ければ揚水が成立することになるわけである。

前者の場合には、負荷率が小さいため、熱効率が悪く、さらに起動停止をとまなうが、それに近い変動をせねばならないため、ロスを生じ、燃料費が高くつく。一方後者の場合は、火力( $P_1$ )の負荷率が大のため、熱効率がよく、燃料費が割安となる。ここで、揚水設備費に見合うものは、 $P_2$ 分相当の火力固定費と、両者の燃料費の差(通常正の値)との和である。すなわち、揚水発電の経済性は、これで一応の目安がつくわけである。

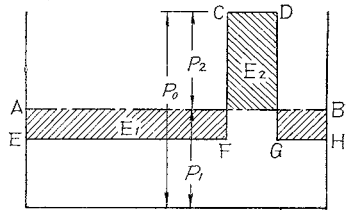
現在、揚水発電所として注目されているのは、この日間負荷、あるいは週間負荷程度の変動に応ずべく計画されているもので、これは上下の調整池容量さえ許すならば、相当大容量のものが建設可能である。またこの形式は、単に河川、湖沼のみならず、海水を利用することも考えられている。

#### 6. 将来の水力

以上で従来普通いわれていた水力以外の発電方式について、個別の説明をしたが、以下これらの総合について述べる。

まず水力発電所の建設の歴史を、水火併用の見地から

図-8



概観してみると、明治末期に始めて水力発電所が建設された当時は、いわゆるローカルロード（地域的に限定された地区内の負荷）に対応せしめるのを目的としていたので、その使用水量は渇水量（355日水量）を標準とした常時発電所であった。その後送電技術の進歩により、数100km程度の長距離の電力輸送が可能となるとともに、本州中央部にある各地の水力地点が開発されるようになり、それにともなつて送電網が形成されるようになった。

この頃でも発電所の使用水量は、低水量（275日水量）あるいは平水量（185日水量）を標準として設計され、一般に、冬夏の渇水期にのみ火力発電を併用して水力の不足を補給し、豊水期には水力のみをもつて供給する方式が採られていた。

使用水量が増加するとともに、需用の変化に應ずるために、調整池を有する発電所が漸時建設されるようになり、水火の併用により使用水量を大にとることが、むしろ経済的であることが研究の結果判明し、平水量標準より、さらに豊水量を標準とするようになった。このため、ますます渇水期に対する補給火力を必要とすることとなった。

これが戦前における水力発電所の開発経緯である。これがすなわち、従来の火主水従方式であり、この方式によつて、豊水期間を主とする電解化学あるいは電気炉工業に対する供給も含めて、水力の利用率はいちじるしく向上し、現在では95%程度の水力総合利用率となつている。

さて、水火併用による経済運転について考える前に、水力と火力の経済性におよぼす要素について比較してみると、表-2のごとくである。

表-2

水 火 力 の 比 較	水 力	火 力
1kW 当り建設費	高 い	安 い
可変費（燃料費を含む運転維持費）	きわめて安 い	高 い
固定費（建設費にもとづく金利、償却、税金等）	高 い	安 い
増分1kW 当り建設費	安くなる	変らない
負荷の変動に対する適応性	0~100%に対し対応しうる	（相当の時間がかかる）低下に限度がある（30%以上と いわれる）
負荷変動が原価におよぼす影響	ほとんどない	燃料費に影響があるため大きい

これらの特性をうまく組合わせて、その間の費用を最小にしようとするのが水火併用の問題になるのである。

すでに述べたごとく、従来に比し、火力の占める率は増大する傾向があり、火主水従論でいわれる「火力はベースに水力はピークに」という運用方式に向つている。

いうまでもなく、ある需要に対して電力を供給する場合、その有する供給設備を最も合理的に運用して、その間に要するすべての経費、すなわち建設資金に対する金

利と償却、燃料費、人件費等を含む運転維持費、固定資産税等の諸税金、その他一切の経費を最小ならしめるのが、企業としての経済性を確立するもとであることはもちろん、公益事業としての責務というべきである。

従つて、増大する需用に対応して、新しい電源を開発する場合も、全く同様のことがいえるわけで、「火力はベースに水力はピークに」という、いわゆる火主水従方式が、前記の経費を最小ならしめようという命題とマッチするわけである。

なぜなら、火力をベースに入れることは、火力を高負荷率で運転することとなり、kWh 当りに割りふられる固定費（または資本費）の率が小となるとともに、高い熱効率の所で運転することが可能なために、全体としての kWh 当りの発電原価を最小ならしめることができるからである。

また水力をピークに用いることは、負荷の変動に対する即応性をも利用でき、特に調整能力を有する場合には、無効放流等による損失がほとんどなく（流込式のときは無効放流を生ずる）、しかも発電のための経費は変わらないので、kWh 当りの発電原価はほとんど変わらない。従つて、このベース火力とピーク水力の両者を総合した場合には、その経費を最小にすることができるのである。実際のこの水火の入り具合は図-5を見てもほぼその状況がわかる。

もちろん「ベース火力、ピーク水力」の理論の根底には、無限の循環資源である水力資源にも、電力経済上おのずから開発限度があり、長い将来のエネルギー需要の伸長を考えれば、水力をベースにまで用いることは、その有する特性、すなわち、負荷の変動に対する即応性をおのずから殺すことにもなるので、この点を勘案して、水力はピークという考えが出てきていると考えてさしつかえない。

ここに、河水を高度に利用し、下流の既設水力発電所までも有効化せんとする大容量貯水池式水力の必要性が生まれるのはもちろん、既設水力（自流式が多く、河川の利用率が低く、調整能力にとぼしいものが多い）の改造と近代化によつて、貴重な水力資源をさらに高度に有効化せんとする考えが出てくるわけである。しかしこのような大容量貯水池地点は無限にあるわけでない。当然、調整池を持つた水力はもちろん、流込式水力も、特殊需用を考慮に入れて、常時火力との比較において検討すべきであると思われる。

また貯水池式水力地点はもちろんのこと、他の形式の水力地点も必ずしも数多くなく、かつ国土狭隘なわが国では、補償その他の困難な問題も多く、建設の困難性がますます増大するので、進歩した土木技術を駆使して、経済的な開発をすることこそ、土木技術者に課せられた使命というべきである。

#### 4. 水力の開発と土木技術

3.に述べたごとく、水力発電は設備産業と称されているほど、生産原価のうち設備の減価償却費の占める割合が大きいため、発電原価切下げの努力は、主として設備投資の合理化に向けられてきている。

設備投資切下げの方法には

- a) 設計の合理化による工事量の減少
- b) 材料の節約と工法の改善による工事単価の低減
- c) 工期の短縮による諸経費および建設中利子の節約等が考えられる。

水力工作物は一度築造されると、大改造はきわめて困難であるので、その建設規模や、構造物の決定には、相当長期間の見とおしを立てて、慎重に行わなければならない。

最近数十年間、水力発電部門で行われた設計施工の合理化は、めざましいものがあり、2.で述べた包蔵水力資源の激増も、戦後始められた大規模地点開発の進展も、これに起因するところ大である。

その著明なものに、各型式のダム打設技術の進歩、コンクリート混和剤、高張力鋼等の新材料の導入、長大トンネルの全断面掘削、工事の機械化、地下発電所型式の採用等がある。今後もこれらの新技術の研究、導入によって、経済的な水力開発の可能性を高めることに、たゆまざる努力が払われなければならない。

水力建設工事のうち、工事費の大半を占めるものは、ダム式発電におけるダム工事費と、水路式発電における水路（トンネル）工事費である。以下、最近の水力技術の進歩のあとを、これらの点を中心として簡単にふれ、今後の進歩に対する期待を深めてみることにする。

1. ダムには、使用材料、形態等によって種々の型式のものがあり、その設計施工についてかなりの進歩が行われた。わが国でコンクリートダムといえば、すぐに三角形断面を持つた重力式を考えるほど、重力ダムは常識的となつてきているが、この型式では、重力作用が主として利用され、ダムの堤体積の中の一部に応力が集中し、材料の強さについては、全く不経済にしか利用されていないことが従来より気づかれていた。

そのために、材料に、より有効に応力を集中させて、コンクリート容積を減少させる型式のダム、例えば、アーチ重力ダム、アーチダム、マルチプルアーチダム、バットレスダム、中空重力ダム等が考えられるようになった。

アーチダム、アーチ重力ダムおよび重力ダムは、水平エレメント（アーチまたはビーム）と、鉛直エレメント（片持バリ）とで外力を分担すると考えた場合、両者の負担割合によって型式を分類できる。イタリアでは、これを次式の  $P$  で表わしている。

$$P = \frac{H^2}{B \cdot r}$$

重力ダム： $P < 0.5$

アーチ重力ダム： $0.5 < P < 8$

アーチダム： $8 < P$

ただし、 $H$ ：ダムの高さ、 $B$ ：ダムの底厚

$r$ ：平均曲率半径

コンクリートは引張応力を受たぬとして、コンクリート構造物がある谷をせき止め、水圧荷重を受つた場合、構造物が最小容積となるためには、コンクリート材料の各所が、比較的ユニホームに、大きい応力を受たねばならない。このためにはアーチ形が最も有利で、厚さが薄いほどいちじるしい。

ダム堤体材料の応力利用度が高いほど、経済的には有利となるが、この利用度を平均応力  $\left( \sigma_{\text{mean}} = \frac{\Sigma v \cdot \sigma}{V} \right)$

で表現すると、初期のアーチダムでは、20 kg/cm<sup>2</sup>程度であつたものが、最近のスレンダーなアーチダムでは100 kg/cm<sup>2</sup>前後にもなつている（わが国のアーチ式のダムには上椎葉、殿山、鳴子、黒部第四等がある）。

2. このような有効な形の大ダムの最近の発達は、構造物の物理状態の測定方法の進歩に負うところが大きい。ダムの設計は、荷重条件と、これを受ける構造物の力学的条件を仮定して行われるものである。多くの仮定の中のいくつか、またはその組み合わせられた状況は、実際の条件を必ずしも代表していない。従つて竣工後の構造物の物理状態は、設計時に期待したものとは、かなりへだたりがある部分もあつた。

最近、構造物の内部応力、ヒズミ、温度、その他の測定が可能になるや、上記両者の関係が明らかとなり、計算方法や仮定の再検討が可能となつた。

また計測の進歩は、構造物の模型実験にも応用され、竣工後の状態を、模型上に現出させてこれを測定し、設計計算の困難な部分の解明を行うことができるようになった。このようにして、設計計算、模型実験、竣工後の計測の三者の総合検討により、設計の合理化が急速に進展することとなつた。

3. わが国においては、諸外国に比較して、古来、地震による災害がきわめて大きかつたため、アーチダム等の薄い、一見脆弱に見える構造物を築造して、洪水の災害を加重する可能性の危険を恐れたこと、ダムサイトの横断面形、基礎岩盤の地質等で、最適条件の地点が少なかつたこと等に起因して、アーチダムを採用してコンクリート材料を有効に利用し、建設費の節約を計るのが、他国にくらべておくれたものと思われる。

しかし、近年、わが国で地震に対する研究が急速に進みつつある。この面から構造物の設計がさらに合理的になるものと考えられる。

また、基礎地盤については、グラウトその他による地盤改造方法が進歩し、基礎地盤の性質が、ダムその他工作物の築造も不可能とするケースが漸次減少しつつある。

ダム サイトとして、流量および地形的に優れた地点でも、ダム サイトの岩盤が脆弱であるとか、深い砂利層があるとかのため、建設が経済的に成立しない地点も、この地盤改造技術の進歩によつて脚光をあびることとなる。

4. コンクリート重力ダムのうち、1900年頃より、イタリアで中空式重力ダムが築造され始めた。本型式では、断面を中空とし、一般の重力ダムとくらべて、揚圧力および間げき水圧を減じて断面形の縮小を計り、かつ浸透水によるコンクリートの劣化を防止できるとされている。

また構造物の応力状態について不明確さをなくし、セメント硬化熱の放散を容易にし、かつコンクリート量を節約することができる。

一方、型ワク面積の増加、コンクリート打込み作業面積の減少、単位セメント使用量の増加（重力ダムよりも応力が増加する）、等の不利な点もあるが、イタリアでは、利益は不利益を相殺してあまりがあると称している（わが国の井川、大森川の両ダムはこの型式である）。

5. コンクリート ダム 設計の合理化は、堤体体積の節減のみでなく、セメント材料の発達や節約となつても現われている。

各国で、マス コンクリートに適するように、中庸熱セメントや低熱セメントの製造が行われている。また最近において AE 剤の使用が普遍化し、コンクリートのウォーカビリティーや耐久性の改善、単位セメント量の節約が行われるようになった。

同様に、フライ アッシュ、ポゾラン、スラグ セメント等の使用によつて、マス コンクリートのウォーカビリティーの改善、硬化熱の減少、セメント材料の節約等が行われている（わが国の須田貝、佐久間、奥只見、田子倉等のダムはすべてフライ アッシュを使用している）。

6. ロックフィル ダムからアース ダムまで、使用材料の広い範囲を持つた、フィル タイプとも総称すべき型式のダムは、最近の施工用重機械のいちじるしい発達と、土質力学の進歩により急激に発展した。この種類のダムの施工工程の大部分は、堤体材料の採取、運搬、および締固めであり、重機械類は驚くほどの速度で大量の施工を遂行できるようになった。また遮水方法の設計、遮水材料の研究も進み、今では高さ100 mを越えるこの型式のダムの建設も容易な状態となった。この型式のダムの発達は、今まで地質、地形的に建設困難として見ずられていた地点をクローズ アップするであろう（わが国の石淵、野反、御母衣、牧尾橋はロックフィルダ

ムである）。

7. 基礎地盤の変形量の大きい所に建設されるものに、最近イタリアで建設されているブロック ダムがある。このダムは、幅 4 m くらいの貧配合のコンクリートブロックを積んでつくつた壁の間の10~20 cmの横縫目に小砂利をつめ、上流面は金属遮水壁でカバーしたもので、基礎の不等沈下に対して可撓性があり、セメントの節約も可能であると称されている。

8. ある地点でダム型式の経済性を比較する場合、おのおの場合の基礎掘削量、基礎処理の程度、堤体体積仮設備、施工期間等の物理量はもちろんのこと、国情によつて材料費と労力費の高低を勘案した総工事費が問題となるのは明らかである。例えば コンクリート ダムでは、アメリカではフランスやイタリアに比し労力費が高いため、直線重力式ダムの方が、堤体積が大であるにもかかわらず、他型式のダムより割安の場合が多かつたと論じている者もある。

最近100カ年間に世界中で建計された、高さ100 ft以上のダムを型式別に数えて見ると、重力ダム 754、中空またはバットレス ダム 39、アーチ ダム 192、マルチプル アーチ ダム 38、ロックフィル ダム 77、アースダム 358 である。

9. ダム式発電所の建設の進展にともない、トンネルの内径は大となり、サージ タンク、水圧鉄管等水路工作物に対する要求は苛酷になつてきたので、水路経過地、発電所地点等の選定が次第に困難となつてきた。このため放水路をともなつた半地下式、また完全地下式発電所の発達となつた。

地下発電所は、多くの場合、ダム直下の岩盤中に設けられるので、地上の地形にわずらわされることなく、最短長の水圧管路計画が可能であり、圧力トンネルの代りの放水路は無圧トンネルとなり、建設費を節約することができる（わが国の須田貝、御母衣、奥只見、黒部第四等の発電所はすべて完全地下式発電所である）。

10. 従来より低落差発電所に利用されていたカプラン水車は、キャピテーション等の研究の進展とともに、漸時、高落差へとその適用範囲を拡げつつあるが、電力需用の増大と、未開発水力資源の現状から、今まで見ずられていた超低落差の利用が要求されるようになってきた。従来の立軸カプラン水車は、ケーシング入口からドラフト出口までの流路が長く、屈曲多く、高効率の運転が望めなかつた。しかし、チューブラー タービンの出現におよんで 2 m 程度までの超低落差の利用も可能となつてきた（本誌 43 巻 12 号、p. 62 参照）。

12. ダムや発電所と同様に、工法がいちじるしく進歩したものにトンネルと鋼工作物がある。

トンネル工法は、鉄道、道路、鉱山等水力以外の部門でも研究が進められ、掘削機械、ズリ出し機械、移動型

ワク、コンクリートポンプ、プレーサー等の発達により、急速施工が可能となった。すなわち従来は掘削進行1日当り数m程度が常識であつたものが、現今では20m前後の記録は珍らしくない状況となつた。従つて工期の関係で採用されなかつたような長大トンネルが計画実施され、従来の作業坑を求めて山腹をう回する必要が少なくなり、トンネルの総延長を縮少するとともに、水頭損失の減少も計られるようになった。

水圧鉄管、ゲート、バルブ等の鋼工作物も、高張力鋼

等の新材料の採用、溶接工法、設計の進歩と相まつて、高圧、高落差、大容量のものが、従来よりも容易に実現されるようになった(本誌43巻11号, p.31参照)。

以上、水力発電の建設に関連する土木技術の進歩について、ごく簡単にふれたが、この技術の今後の飛躍的進歩こそ、発電水力の将来を左右する大きな要件であることを考えれば、この進歩に寄せられる期待ははなはだ大であるといわねばならない。【本講座完結】

土木学会誌 43 巻 12 号 小河内ダム工事報告正誤表

ページ	行	誤	正
1	左下から 8	約 7 年	約 4 年
3	右上から 17	コンクリートの許容最大圧縮応力	許容を削除
3	右下から 14	0.87	0.78
4	左下から 2	も他の設計部門より、	削除
4	右上から 13	“開拓局で建設している。	“開拓局で建設している直線重力式のダムはすべて試し荷重法によつて設計されている。
8	図-10	単位 40 mm	単位 40 m
8	左上から 1	方向	走向
8	左上から 8	砂質粘岩層	砂質粘板岩層
9	左上から 13	上流付近	上流端付近
9	左下から 13	上流上に	上流側に
9	左下から 1	注入量決定をする。	注入量を決定する。
10	図-12 と 13		図面入替え
11	左上から 24	スネーク ホール式開法	スネーク ホール式開削法
11	左下から 11	450 kg	450 g
11	右下から 22	故障	故障
11	右下から 21	考慮し系統とした。	考慮し 2 系統とした。
13	表-9	粉末度 3.16	粉末度 3.160
14	右上から 6	最初	最後
15	表-13	電源 200 t	電源 200 V
16	表-15	単位体積重量 kg/cm <sup>3</sup>	単位体積重量 kg/m <sup>3</sup>
18	図-22	打込み温度 6.5 °C	打込み温度 8.5 °C
19	右下から 14	最終点のうち	最終点検のうち
21	右上から 12	学術講演会*	* を削除
21	右下 脚註		削除
21	右上から 19	測定	測点
22	右下から 4	8.7 円	81.0 円
23	左下から 9	昭和年頃	昭和 16 年頃
23	左下から 2	一時中心	一時中止

土木工学論文抄録 第3集 A4判 230頁 頒価: 500円 会員特価: 250円 (〒70円)  
 同 第4集 A4判 273頁 頒価: 450円 会員特価: 225円 (〒70円)  
 同 第5集 A4判 378頁 頒価: 1200円 会員特価: 800円 (〒80円)

土木学会誌 “合本用ファイル” 頒布

体裁: B5判 学会誌12冊綴用、薄グリーン・クロース装、金文字入り  
 頒価: 1部 140円 (〒30円) 申込方法: 入金次第発送します