

# 落差の変換装置による潮汐発電の研究

福井工大 正会員 和田 久 範  
同 竺 文 彦

## 1. はじめに

海洋エネルギーは無償で得られる貴重なエネルギー資源ではあるが、これを有効に利用する技術には、なお未解決の問題が存在する。筆者らは落差を利用する揚水装置を研究し、<sup>2)</sup> さきにこれを有明海の潮汐発電に適用することを提案したが、今回はこの装置を簡易化して、大量の流量を処理し得る方法により、その有効性を検討する。

本間琢也氏によると、<sup>3), 4)</sup> 地球上の潮汐エネルギーの総量は、約  $3 \times 10^9$  kW という膨大な量であるが、利用できる分はわずかに 1% ぐらいに過ぎないと言われる。これは潮汐発電に必要な適地が少ないことが原因であるが、恵まれた立地条件を有する国にとっては、極めて重要なエネルギー源になり得るものである。特にアメリカ・カナダ国境のファンデー湾、アルゼンチンのサンホセなどでは、その開発が待たれていると報告された。また、アジアでは、中国・朝鮮などにも有望な地点が存在するので、わが国にとっても身近な問題である。

さて潮汐の周期は、約 12 時間 25 分で、1 日にほぼ 2 回生ずるので、このエネルギーを位置エネルギーに変換してダムに貯水する。次にこれを発電に利用すると、ダムの水位と海面との落差は、水量の放出とともに小さくなり、発電量は減少または停止するので、その変動性の大きいことが欠点になっている。もちろん各種の貯水方式や、揚水併用方式なども考えられているが、その他に上記の欠点を補うべき発電技術を確立しなければ、エネルギーの質の面で、一般水力のような評価は得られないと思う。筆者らの研究は、小規模のものではあるが、この問題について、1 つの提案をする。

## 2. 落差変換の方法

落差の変換には揚水装置を用いる。基本構造については前回報告したが、<sup>1)</sup> その概要は低落差のエネルギーを空気エネルギーに変換する作動水室と、揚水室を段状に配列した階段状水室により構成される。空気エネルギーは気圧回路でコントロールして、作動水室から階段状水室に供給されるので、下方水室から上方水室へ順次揚水することができる。図一(1)に示すものは実験用に製作した A 型である。作動水室は A(+) 圧、B(-) 圧の 2 箇で、夫々ドックの中に固定してある。階段状水室は 5 段で揚水回路により連結される。この両者を落差地点に設置し、先ずドック内の水面を水門の開閉により上下運動させ、かつこれに連動して空気弁をコントロールすれば、水室 A には(+)圧、B には(-)圧を発生させることができる。階段状水室は相隣の 2 箇を以て 1 ユニットとするとときは、上方水室には(-)圧、下方水室には(+)圧を作用させることにより、吸上げポンプと押し上げポンプを同時に適用したことになる。

最上段に達した水は(+)圧によって揚水池に送水し、同時に最下段の水室は(-)圧によって H.W.L. より取水する。作動水室のエネルギーを有効水頭で表わすと、初落差  $H_1$  から終落差  $H$  までとなり、下限  $H$  は揚程  $H'$  との関係から決める。

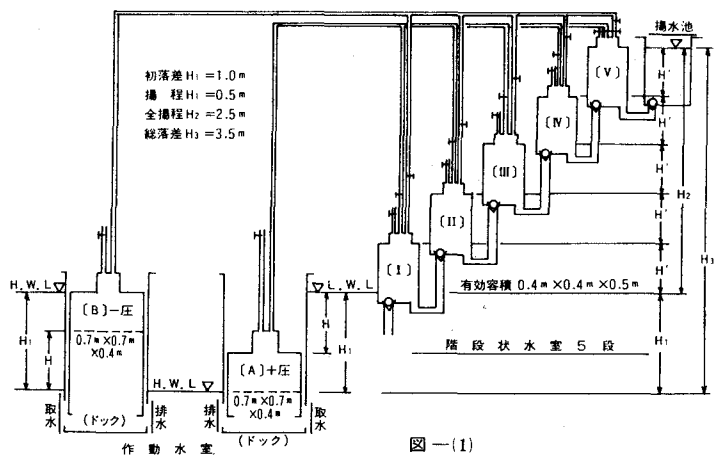
揚水装置の形態は、目的によりいろいろ変えることができるので、A, B, C, D の 4 種を考えたが、A, B は高所にエネルギーを貯蔵する場合に適用される。これに対し、C, D は小揚程の場合に大量の流量を処理することができるので、潮汐発電に適用される。

### (1) C 型

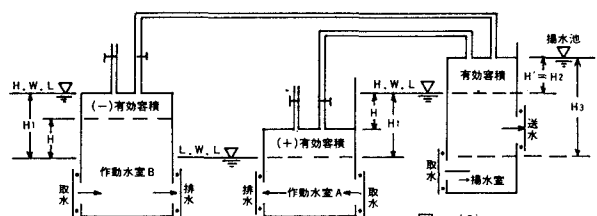
この装置は図一(2)に示すように、基本型である A 型の階段状水室を 1 段とし、その下に揚水室をつけたものである。(第 1 行程) 作動水室 B(-) 圧は、最初取水水門を開き、満水にして水門を閉じる。次に排水水門を開いて L.W.L. に排水すると(-)圧が生ずる。

揚水室は、最初取水水門を開き満水にし、次に作動水室から(-)圧を作用させると、水位が上昇して揚程  $H'$  の高さにある階段状水室が満水する。

(第 2 行程) 作動水室 A(+) 圧は、最初は空虚な状態にしておき、次に取水水門を開くと(+)圧が生ずる。



図一(1)



図一(2)

階段状水室は、最初その下部にある揚水室の水門を閉じて作動水室から(+)圧を作用させ、次に送水水門を開いて、H.W.L.よりH'高い揚水室へ送水する。

### (2) D 型

この装置はC型よりさらにシステムを単純化することにより、大量の流量を処理するものである。図-3)に示すように作動水室は(+)圧のみであり、階段状水室は無く、H.W.L.下に設置された揚水室から直接揚水池に送水する。

(行程) 作動水室A(+)圧は、取水水門を開いて自然流入させることにより(+)が生ずる。

揚水室は、H.W.L.の高さまで満水にして取水水門を閉じる。次に作動水室から(+)圧を作用させ、同時に送水水門を開くと、H.W.L.よりH'だけ高い水位の揚水池に送水することができる。

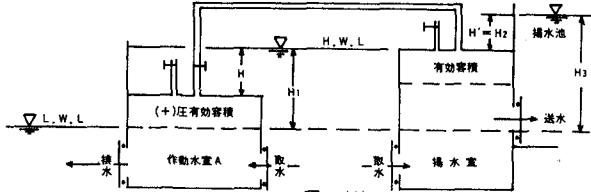


図-3)

### (3) 各型式の精能

A型と同じ作動水室を用いる場合のC型とD型の精能を示すと表-1)のようになる。これにより両者を比較すると、単位時間揚水量と揚程はC型の方が若干よい。しかしD型は効率がよく、また使用水量も少いので、装置の規模が小さくなることが有利である。

| 型式 | 作動水室                                               | 階段状水室                   | 有効水頭                                                          | 揚程                                                      | 作動水室<br>使用水量         | 全行程<br>揚水量           | 所要時間   | 単位時間<br>揚水量           | 効 率    |
|----|----------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| A  | A(+)圧<br>0.7m×0.7m×0.4m<br>B(-)圧<br>0.7m×0.7m×0.4m | 5 段<br>0.4m×0.4m×0.5m   | H <sub>1</sub> =±1.0m<br>第1.2行程<br>H=±0.6m<br>第3行程<br>H=±0.8m | H'=0.5m<br>H <sub>2</sub> =2.5m<br>H <sub>3</sub> =3.5m | 0.90 m <sup>3</sup>  | 0.08 m <sup>3</sup>  | 70.3 秒 | 0.00113m <sup>3</sup> | 22.2 % |
| C  | 同 上                                                | 1 段<br>0.58m×0.58m×0.5m | H <sub>1</sub> =±1.0m<br>H=±0.6m                              | H'=0.5m<br>H <sub>2</sub> =0.5m<br>H <sub>3</sub> =1.5m | 0.392 m <sup>3</sup> | 0.168 m <sup>3</sup> | 16 秒   | 0.0105 m <sup>3</sup> | 21.4 % |
| D  | 同 上                                                | な し                     | H <sub>1</sub> =±1.0m<br>H=±0.7m                              | H'=0.3m<br>H <sub>2</sub> =0.3m<br>H <sub>3</sub> =1.3m | 0.135 m <sup>3</sup> | 0.115 m <sup>3</sup> | 14 秒   | 0.008 m <sup>3</sup>  | 25.6 % |

表-1

### 3. 潮汐発電への適用

わが国で潮汐発電の有望な地点は有明海であり、その概念設計は新発電方式総合調査委員会により昭和47年に報告された。これによると多比良-長洲間は図-4)のように締

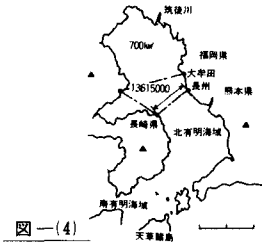


図-4)

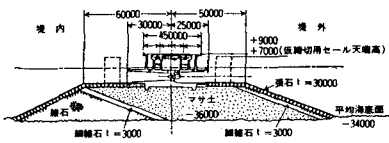


図-5)

切られ、貯水面積 700 km<sup>2</sup>、有効貯水量 14 億 m<sup>3</sup> が得られる。最大潮差 4.56 m、平均 3.18 m で、一池一方向方式による場合、満水位より 2 m 下りまで (4.5 m ~ 2.5 m の落差) が発電に利用され、残りはデッドウォーターになる。水車はチューブラ型、ランナー径 5 m のもの 100 台案と 200 台案が示され、基準有効落差 4.5 m で 5,000 kW である。この計画は大規模なものであるため、筆者らの装置をそのまま適用することはむづかしいので、先ず実験プラントとして、発電容量を 500 kW に縮小した D 型装置について提案したいと思う。

### (1) 揚水装置の設計

概念設計に示された提体は、図-5)のようにマウンド上の天端幅が 110 m あるので、その上に D 型装置を設定するものとして次の寸法にする。

- (作動水室) A(+)圧の有効容積 50m×50m×1m=2,500m<sup>3</sup>、取水水門、排水水門各 2、15m×1.25m、流量係数 0.7
- (揚水室) 揚水室の有効容積 40m×40m×1m=1,600m<sup>3</sup>、取水水門、排水水門各 2、10m×1.25m、流量係数 0.7
- (発電水車) チューブラ水車、定格 500 kW、使用水量 15 m<sup>3</sup>/S
- (運転システム) 1 行程：揚水室→揚水池 (準備：揚水室への自然流入と弁の操作)
- (諸 値) 落差の変化に対応する諸値は表-2)のようになる。

表に示した値は、装置の設置位置が、夫々の条件に対応するものとした値であるが、実際には貯水池の水面と海面が変化するので、固定された装置では余分の空間が生ずることになる。例えば揚水室の上辺が(a)の条件に合うように固定すれば、(b)と(c)では有効容積の位置が変化するため、上部に余分の空間を生

| 落差の変換                                              | 有効水頭                           | 揚程                                                      | 作動水室<br>使用水量         | 1 行程<br>揚水量          | 所要時間 | 単位時間<br>揚水量       | 効 率    | 発 電 出 力                        |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------|-------------------|--------|--------------------------------|
| (a) 3.5 m の落差を<br>4.5 m に変換<br>(4.5 m ~ 3.5 m に適用) | H <sub>1</sub> =3.5m<br>H=2.5m | H'=1.0m<br>H <sub>2</sub> =1.0m<br>H <sub>3</sub> =4.5m | 2,180 m <sup>3</sup> | 1,600 m <sup>3</sup> | 52 秒 | 15 m <sup>3</sup> | 21 %   | P=9.87QH<br>≈529 kW<br>(η=80%) |
| (b) 3.0 m の落差を<br>3.8 m に変換<br>(3.5 m ~ 3.0 m に適用) | H <sub>1</sub> =3.0m<br>H=2.0m | H'=0.8m<br>H <sub>2</sub> =0.8m<br>H <sub>3</sub> =3.8m | 2,100 m <sup>3</sup> | 1,600 m <sup>3</sup> | 51 秒 | 15 m <sup>3</sup> | 20.3 % | P=418 kW<br>(η=75%)            |
| (c) 2.5 m の落差を<br>3.1 m に変換<br>(3.0 m ~ 2.5 m に適用) | H <sub>1</sub> =2.5m<br>H=1.5m | H'=0.6m<br>H <sub>2</sub> =0.6m<br>H <sub>3</sub> =3.1m | 2,060 m <sup>3</sup> | 1,600 m <sup>3</sup> | 51 秒 | 15 m <sup>3</sup> | 18.6 % | P=310 kW<br>(η=68%)            |

表-2

ずる。また作動水室では、上辺が(c)の条件に合うように固定すれば、(a)と(b)では有効容積の位置が変化するため、

上部に余分の空間を生ずる。この空間のために余分のエネルギーを消耗するので、その対策として、行程開始前に、隣接するセットの行程終了後の余剰エネルギーを導いて予圧した状態にする方法が考えられる。また運転システムについても、作動水室と揚水室を1:1の対応ではなく、複数箇の対応とし、作動水室前半の行程と揚水室後半を対応させ、作動水室後半の行程と揚水室前半を対応させる方法などにより、上記による損失を補うようにする。なおこのようなシステム及び気圧回路の設計などについては、別の機会に報告するつもりである。

## (2) 揚水装置適用による効果

揚水装置を適用した場合の発電量を概算する。先ず有明海の調査資料による発電可能な時間帯は表一(3)―(a)に示される。これによって定格500kWの発電量を計算すると表一(b)のようになる。次に同じ時間帯に揚水装置を設定した場合の発電量を計算すると表一(c)のようになる。

| 潮 差     | 年間持続時間(hr) | 回 数 | 平均持続時間(hr) | 潮 差   | 発 電 出力(kW) | 平 均 出力(kW) | 運 転 時間(h) | 年間発電量(kWh)          | 落 差   | 発 電 出力(kW) | 平 均 出力(kW) | 運 転 時間(h) | 年間発電量(kWh)          |
|---------|------------|-----|------------|-------|------------|------------|-----------|---------------------|-------|------------|------------|-----------|---------------------|
| 2.5 m以上 | 2,000      | 520 | 3.85       | 2.5 m | 220        | 260        | 700       | 182                 | 3.1 m | 310        | 365        | 700       | 255                 |
| 3.0 m以上 | 1,300      | 430 | 3.0        | 3.0 m | 300        | 330        | 600       | 198                 | 3.8 m | 420        | 460        | 600       | 276                 |
| 3.5 m以上 | 700        | 330 | 2.1        | 3.5 m | 360        | 395        | 400       | 158                 | 4.5 m | 500        | 500        | 400       | 200                 |
| 4.0 m以上 | 300        | 180 | 1.7        | 4.0 m | 430        | 465        | 300       | 139                 | 4.5 m | 500        | 500        | 300       | 150                 |
|         |            |     |            | 4.5 m | 500        |            | 計         | 677×10 <sup>3</sup> | 4.5 m | 500        |            | 計         | 881×10 <sup>3</sup> |

表一 3

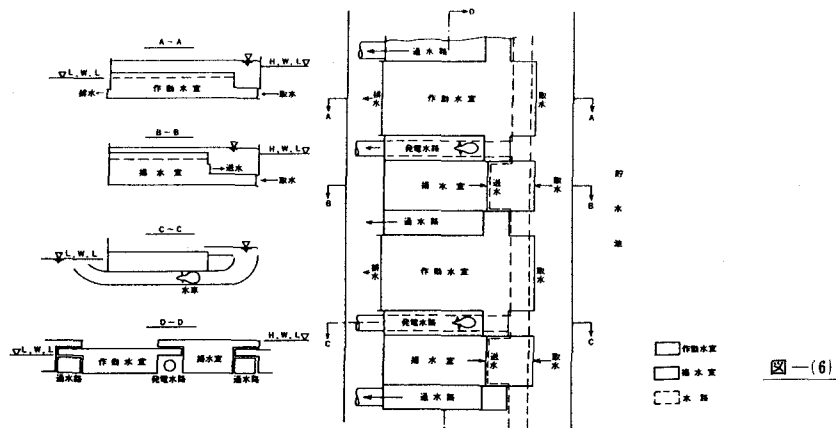
これによると揚水装置を適用することによって約30%の発電量の増加になるが、そのうち装置のコントロールなどに消費する分を約5%と見込み、実質約25%の増加になると考えている。

## (3) 揚水装置の設定

以上の設計による装置をケーソンの中に設定するものとすれば、図一(6)のようになる。この場合、ケーソンの設計に合わせなければならないので、装置の形態は適宜分割したものにす。水門は空気の混入を防止するため深所に設置するが、その構造などについては今後の研究としたい。

## 4. ま と め

本稿では潮汐による落差を高めるために、揚水装置D型を用いる提案をしたが、結果として約25%の発電量の増加が可能になる。しかし本装置の構造が偏平で広い面積を要することから経費面で不利になるので、その対策として、提体を構成する



るケーソンを利用することにしたのである。この工法が可能になれば、揚水装置の主経費は大幅に軽減され、あとは水門と気圧回路の経費になるので、具体化の可能性が高いと考えている。

本装置の規模は、ケーソンの大きさに制約されるため、出力は小型化するのは止むを得ないので、出力500kWのプラントとしたのであるが、この設計で水門操作の時間を速くする実験に成功すれば、発電量が増加することになり、また水門を大きくすることができれば出力の増加になるので、実用化をすすめる上で水門の研究は重要である。

潮汐発電の経済性については、米・加両国のファンディ湾における詳細な調査研究があり、実現の段階に達していると言われる。またソ連では実験用として、キスラヤ・グーバ発電所の出力400kWの研究成果が注目されている。特に建設の主経費となる土木工事には、浮遊工法が大きな成果を得たと言われるので、これらの技術が適用できるとすれば、筆者らの研究もさらに前進すると思う。

さて61年に通産省がまとめた“21世紀のエネルギービジョン”によると、石油資源は有限であり、90年代にはまた価格上昇の可能性が高いと報告しており、次に今何をすべきかが問われているが、この研究もその1つの礎石になることを期待する。

## 5. 謝 辞

本研究は福井工業大学教授岩井重久先生(京大名誉教授)の特別の御教示と、御指導によって実施されたものであることを記し、ここに深甚の謝意を表する次第である。

- (参考文献) 1)和田・吉田: 低落差を高落差に変換する揚水装置と波力発電: 第40回年次学術講演会第6部  
 2)和田・竺: 落差を利用する揚水装置による発電の研究: 海洋開発論文集 VOL.2.1986  
 3)本間 琢也: 世界における海洋エネルギー利用の動向: 海洋エネルギーシンポジウム: ECOR 日本委員会 1985.10  
 4)本間 琢也: 海洋エネルギー読本 P37, P81, P144, P150, オーム社  
 5)鈴木 晴之: 潮汐発電: オーシャンエージ, 1977, 潮汐発電: エネルギー科学大事典: 講談社, 潮汐発電: 海洋工学ハンドブック: コロナ社