

II-86

津軽海峡における海流発電 および横断道路計画

函館工業高等専門学校 正員 番匠 勲

1. まえがき

第一次オイルショック以後、自然エネルギー利用の気運が高まり多くの研究が行われた。しかし、石油大量消費時代の終焉を目前に控え、代替エネルギーとしての原子力発電も放射能に対する不安が十分に解消されないために、世界的には後退の傾向にある。しかし、現状の自然エネルギーに関する研究は、化石燃料が価格、量とも安定して供給されるにしたがって下火になっているように見受けられる。

1990年12月に発表されたアメリカの環境研究機関、ワールド・ウオッチ研究所の小冊子「ワールド・ウオッチ100」では、「石油時代の終焉ー太陽熱経済の到来」として「今後40年間で世界の使用エネルギーの半分は化石燃料から太陽熱など他の自然エネルギーに転換される」との見通しも発表されている。

わが国の自然エネルギー利用に関する研究は、1947年からスタートしたサンシャイン計画を始めとして種々のエネルギー源に関する提案が行われたが、現在では、一部の研究者によって続けられているに過ぎない。しかも、地熱発電を除き、海洋温度差発電、風力発電、波力発電などいずれも実証実験の域を脱していないのが現状である。

これらの自然エネルギー利用研究に対し、海流あるいは潮流エネルギーの利用に関する研究は極めて少ないが、その原因としては、黒潮のように全体の包蔵エネルギー量は大きい、エネルギー密度が小さくしかも発電施設の設置が困難であること、エネルギーの変動性が大きく安定した電力が得られない等があげられる。津軽暖流の包蔵エネルギーの総量は黒潮より少ないが、単位面積当りでは黒潮の約4倍¹⁾であり、しかも海峡であるために発電施設の設置は太平洋の真中よりは容易である。さらに、海面付近では波力発電も可能であり、ついでに、これらの施設の上部を海峡横断道路として利用することも考えられる。

津軽海峡は国際海峡であり、船舶の通過通行を妨げられないなどのほか、最大水深が-250mであるため技術的に困難な点も多いが、計画案と幾つかの問題点について検討してみた。

2. 海洋エネルギー利用研究の現状

波力発電に関しては、海洋科学技術センターの「海明」による実験が良く知られているが、その他の主なものとしては次のような研究がある。

北海道では58年度の北海道港湾・海岸研究会海洋エネルギー利用小委員会で行なった調査研究「海洋エネルギー利用技術」²⁾をもとに、平成2～4年度にかけて、(社)寒地港湾技術研究センターの自主研究として、室蘭工業大学近藤教授を委員長とする産学官共同の研究組織「海洋エネルギー利用研究会」にエネルギー利用検討分科会、波浪環境分科会、機械分科会、防波堤分科会の4分科会を設置し、振子式システムによる波浪エネルギー利用の平成5年度からの実用化に関する研究が行われている³⁾。

63年に千葉県片貝海岸に御竹中工務店・御竹中土木が設置した定圧化タンク方式波力発電システムの実証試験プラントでは、水面下に開口部をもつ筒状の構造体の空気室の空気を波の上下運動で圧縮し、この変動性のある空気圧を定圧化タンクに入れ、安定した空気流とし、これをエアタービンに送って発電するもので、電力はヒラメ養殖場の海水循環用ポンプの動力源として利用している⁴⁾。

3年12月には、運輸省第一港湾建設局が酒田港第2北防波堤に波力発電ケーソンを設置し実験を開始し

津軽海峡における研究としては、平成4年度産業機械の海洋開発技術向上に関する調査研究補助事業として（財）テクノポリス函館技術振興会・佐藤工業技術センター長を委員長とする「潮汐による水産増殖施設へのエネルギー・海水供給システムの調査委員会」が（社）日本産業機械工業会によって設置され、調査が行われている。目的は、津軽海峡に面する戸井漁港の約2.5Km沖合に設置したダリウス形水車で漁港の種苗養殖センター近くにある小山の上のミニダムに海水を揚水して一時的に貯留し、その落差で安定した電力を発生させて養殖施設の動力源とし、発電後の海水は、陸上のウニ、アワビ、ヒラメ等の種苗養殖システムの飼育海水として再利用しようというものである⁷⁾。

流になっていると言う意見もあるが、これを立証することのできる観測データは見当たらない。

前述のように海流の四季による流勢の変化を知る目的で2週間以上の長期に渉る、同一期間の観測資料がないが、海流に関する1年間の定性的な消長については、一般に夏季の方が冬季より流速が早いこと、偏東風が吹き続くときには流速が遅くなり、逆に偏西風が吹くときには早くなっていることなどは判っている。しかし、定量的にどの程度影響するのか、また、風の影響は表面のみに止まるのか、あるいは、海流全体にまで及ぶのかなどの点については明確にされていない。

本校では毎年10月頃、戸井町釜谷港付近の海岸線から約1.5Km地点で4週間程度の潮流観測を行なっているが、この地点では、最大流速が1.4Kn程度である。現在「海水供給システム調査委員会」で調査中の戸井漁港沖2.5Km、水深35m地点に設置した流速計は潮満みの時でもダイバーが潜水して捜しだすことができない状況のために引き上げることが出来ず、必要なデータが得られていないが、このような状況であることは、流速の速い証拠であり、期待が持たれている。

海峡の波高に関しては、函館海洋気象台要報¹⁰⁾ほか多くの研究報告があるが、長期間に渉った観測の記録はないようである。また、海峡東口の海底地質については、西口の吉岡一龍飛間が青函トンネル掘削のため詳細に調査されたのに対し、ほとんど調査されていないようである。

4. 津軽海峡における海流・波力発電計画

(1) 発電装置の設置本体

海峡を全面的に締切ことは、国際海峡であるため不可能であり、また、一部であっても陸奥湾への影響があると考えられるので、海況に影響をおよぼさないなど環境への配慮が必要である。

(a) ケーソン式混成堤方式

ケーソンを適当な間隔に設置する方式は、上面を横断道路として利用することを考えると、ケーソン間の橋梁部分では船舶の航行に支障のないクリアランスが必要であり、さらに、設置地点の水深などを考慮すると、マウンドの高さと海流発電施設の設置深さにもよるが、ケーソンの高さは100～120mになる。南備讃瀬戸大橋南橋台の幅59m、長さ75m、高さ55m、また、明石海峡大橋主塔基礎の直径80m、高さ65mに比較すると倍程度の大きさになる。さらに、大水深地点の混成堤では、釜石港湾口防波堤の場合で最大設置水深は63m、マウンド厚は38mであり、本計画のように100m近い高さのマウンドの場合、捨石・捨ブロックの量は相当なものであり、しかも流れの速いことを考慮すると、投石方法、ダイバーに替わる潜水作業船の開発なども必要である。また、通常の防波堤とは異なり、特に不等沈下が上部構造に与える影響に関する検討も行わなければならない。

マウンド部は魚礁としての効果があると考えられることおよび海峡部を締切る形になることで海流の増速が図れるのではないかと期待したが、汐首岬一大間埼間を1/3程度締切った場合の潮流についての数値シミュレーションによれば、陸奥湾への流入量がかなり増加し、湾内全体の水位が上昇することと締切部の流速はむしろ減速する傾向がみられるという結果がでている。

このように、技術的に未解決な問題点の多いこの方式は横断道路橋の長大吊橋の橋台とする場合以外には不適当と考えられる。

(b) コンクリートプラットフォーム方式

海峡中央部の-150m以下の水深部分は津軽暖流の本流部であり、海流発電の最適地ではあるが、国際海峡であることを考慮し、船舶の通過通航権を確保するために、避けるとすれば、海流発電施設の設置水深が-150m以浅であること、流れに対する影響を小さくすること等の理由から、ジブラルタル海峡連絡計画の海中基礎形式でも検討されている北海油田での石油掘削の実績をもとにした鋼製あるいはコンクリート製のリグ形式のもの^{11)・12)}が適当と思われる。

ノルウェーのベルゲンとイギリス領シェトランド諸島の間あたりのブレント油田付近のCORMORANT油

田に1997年に据付けられた全重量35万トンのコンクリートプラットフォームは図-4に示すようなタイプで設計波高30m、設置水深154.5mである。下部のケーソン部が大きいのは内側の30個のシェルの総容積が貯油用となっているためである¹³⁾。

㈱大林組の海上空港都市「パシフィックエアポート21」構想では、建設地点を千葉県房総半島先端部の洲崎と野島崎の間にある布良沖9Km地点の水深約100mの海上とし、80m×80mのコンクリートプラットフォームを海底に並べ、その上のデッキ部分などは鋼構造とする。デッキ上にはターミナルビル、下部デッキには24時間タウンを建設する。滑走路部ではコンクリートプラットフォームの間にさらにフーチング（脚台）とコラム（脚部）を設置し、その上に鋼製デッキを乗せて舗装し、滑走路とするという国際空港の建設を提案しており、技術的には特に問題はないとしている。

したがって、津軽海峡でも、これらと同様なコンクリートプラットフォームを基本とし、脚柱の間に海流・波力発電装置を取付け、上部を横断道路として利用できる間隔で海峡を横断するように設置すれば、特に構造的な問題はないようである¹⁴⁾。

ただし、設計及び施工上からは次のような問題点が考えられる。

設計上の問題点

- ①設計地盤の地質が岩盤か砂質であること。
- ②発電施設に作用する海流の水平力
- ③地震時の全体の安定
- ④橋脚周辺の洗掘
- ⑤設置に伴う航行船舶の安全等に対する法規制

施工上の問題点

- ①流れの速い地点での構造物の設置
- ②設置海底面のレベル掘削、整形
- ③掘削時における埋戻り・洗掘
- ④作業基地

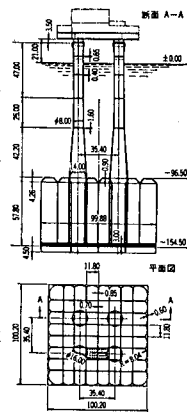


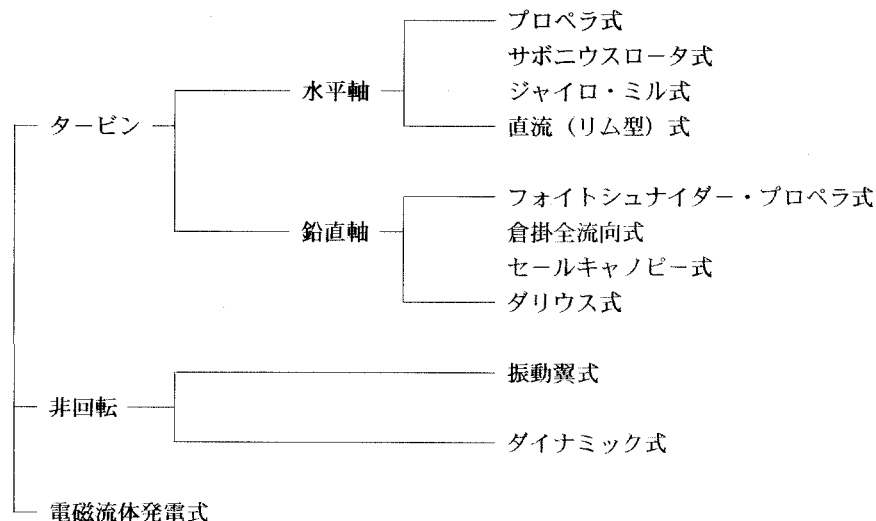
図-4 CORMORANT-A¹⁵⁾

もし、国際海峡であっても、船舶の通過通航権が中央部以外で保障されれば良いのであれば、最深部に発電システムを設置するのが望ましいのは当然である。この場合でも、最大水深は-250mであるから、構造形式を検討すれば、この方式で対応できると考えられる。

(2) 発電システム

(a) 海流発電システム

これまでに提案されている主要な海流発電システムを大別すると次のようになっている。¹⁶⁾



上記の水車のうち、サボニウスロータ式のように、モナコ海洋博物館でポンプの動力源として使用し、

約70m高さまで海水を揚げて水族館に給水していたことがあるなどの実証例もあるが⁽⁷⁾、いずれも理論最大効率を大幅に下回っており、改良の必要のあることが知られている。これらに対して、日本大学の実証実験によるとダリウス形水車は各流速に対して周速比（水車翼速度／潮流の流速）2.1付近で水車効率が

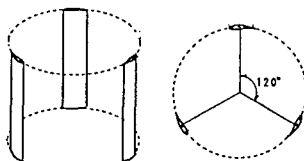


図-4 ダリウス水車

最大値を示し、最大水車効率は流速1.6m/sec（設置点の最大流速）のときで56%であった。この値は自然流から取り出せる理論最大水車効率59.3%に近い値で、他の水車に比べて効率の高い水車であることが立証されている⁽⁸⁾。

水車に作用する海流をベルマウスなどで増速出来れば更に効率が高くなるとも考えられるが、流向が変化する場合の影響なども考慮すると、適切かどうか疑問がある。

津軽暖流の流向はほとんど東流であるから、プロペラ式の使用も可能であるが、潮流の反転時の影響を避けるためには、流れの方向に関わりなく常に一定方向に回転するダリウス型水車の方が適当と考えられる。

(b) 波力発電システム

波力発電システムとしては、前記の海洋エネルギー利用研究会で実用化を検討している室蘭工業大学と日立造船が共同開発し、すでに室蘭港と増毛港で実証実験が行なわれている振子式が空気式に比べ発電効率が良く、現在、さらに効率を高めるよう検討中であり、適当なシステムである。なお、海峡では、沿岸設置の場合と異なり、中央に隔壁を有するケーソンの両側に発電システムを設置すれば、日本海、太平洋のいずれからの波向に対しても有効であり、発電量は2倍になるという有利さがある。

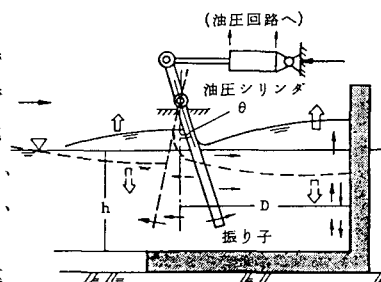


図-6 振子式波力発電概念図

5. 横断道路部

横断道路案としては橋梁の他に水中トンネル案もあるが、青函トンネルが鉄道専用であるから、こちらを自動車専用道路とすることにすれば、水中トンネルの場合は給排気の問題などがあり、むしろ、眺望の良い橋梁の方が観光資源としての付加価値がある。しかし、海峡中央部の5kmにおよぶ超長大橋の実績はなく、しかも、橋台、橋脚の設置地点の水深も-150m以下であり、流れも速い。さらに、橋梁自体にも耐風安定化、風荷重・死荷重の低減、材料の高強度化、耐震性等の点に関して、新たな発想と研究が要求されるが、紀淡海峡大橋のように中央径間2,500m、側径間750m、全長4,000mの計画もあり、海峡中央部の架橋は21世紀初めまでには可能になるものと思われる^(9, 20)。

6. 今後必要な調査内容

この計画の詳細について検討するとき、最も問題になるのは、海峡の海象に関するデータの少ないことである。従って、まず、海峡部の風、波高、波向、海流・潮流の流向・流速および水深による流速の変化の状況を長期間に渉って観測する必要がある。これらの観測の際に海流および波力発電の実証実験を同時に行なえば、この観測に必要な電源として利用でき、発電に関して必要なデータを得ることも出来る。

また、これらの調査機器の設置にはコンクリートプラットフォームを用い、流速の早い地点での曳航、沈設等の設置方法、海底地盤の掘削方法および碇着方法の検討なども、合わせて実施する必要がある。

瀬戸大橋などの長大橋の調査は20年以上の長期に渉って行われていることを考えれば、津軽海峡におけるこれらの調査は出来る限り早い時期に取り組み始める必要がある。

7. 結び

この計画を提案した第一の目標は、単位面積当りの包蔵エネルギー量の多い津軽暖流による海流および波力発電の実現を世界に先駆けて行いたいことにある。しかし、最近、東京湾口、伊勢湾口、紀淡海峡、豊予海峡、三県架橋の五海峡横断道路計画について、建設省が「海峡横断プロジェクト技術調査委員会」を発足させ、平成4年度末を目途に、技術的な課題の検討を始めている。すでに完成している東京から福岡間の国土軸の形成には100年の歳月を費やしているが、今回検討されている第二国土軸形成は、技術や材料の進歩もあり、それほど時間が掛からないものと考えられるので、他の5海峡の横断道路計画に乗り遅れないために、津軽海峡横断道路計画がこれらの技術調査に組み入れられることを期待して、自然エネルギー利用計画と合わせて提案した。

技術的には極めて多くの問題を含む提案であるが、今から、本格的な調査研究を積み重ねて、21世紀初頭には自然エネルギー利用の実用化と津軽海峡横断道路計画が具体化することを夢見ている。

最後に、種々ご指導とご助言を頂いた室蘭工業大学建設システム工学科近藤徹郎教授並びに大林組東京本社エンジニアリング本部海洋開発プロジェクト部小菅茂氏に対し、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 番匠 勲：津軽暖流の包蔵エネルギーについて 函館工業高等専門学校紀要第18号 P123 1984
- 2) 北海道港湾・海岸研究会：海洋エネルギー利用技術 P65 1983.10
- 3) (社)寒地港湾技術研究センター：海洋エネルギー利用研究会
平成2, 3年度検討結果報告書 1990, 1991
- 4) (株)竹中土木技術開発本部：波力発電システム 一定圧化タンク方式 1988
- 5) 高橋重雄・大根田秀明：防波堤による波エネルギー利用技術の開発 土木学会誌76巻4号 P10 1991
- 6) 木方靖二・塩野光弘：来島海峡におけるダリウス形水車による潮流発電
電気学会論文誌D112巻6号 P530 1992.6
- 7) 宮嶋克巳・渡部勇：自然エネルギー利用システムの研究
平成2年度北海道立工業技術センター研究成果発表会 1991.7
- 8) 海上保安庁：北海道沿岸水路誌 P49 1977.2
- 9) 科学技術庁研究調整局：津軽暖流域に関する総合研究報告書 P81 1979.9
- 10) 函館海洋気象台：函館海洋気象台要報津軽海峡総合調査報告 P40 1964.3
- 11) 森邦久：ジブラルタル海峡連絡計画 道路 P68 1990.7
- 12) 大橋猛：青函連絡橋の夢検証 土木学会北海道支部論文報告集第47号 P537 1991.2
- 13) (社)日本海洋開発産業協会：石油の備蓄システムの開発調査
着底方式総合設計指針(案) P390 1979.3
- 14) (株)大林組広報室：特集 空港 季刊大林 No.21 P4 1985.9
- 15) 長崎作治：海洋重力型コンクリート構造物の設計と施工 東海大学出版会 P131 1984.3
- 16) 近藤徹郎他：自然エネルギー利用学 パワー社 P163 1990.5
- 17) 海洋架橋調査会：海中構造物を使用して自然エネルギー利用を図る調査研究報告 P24 1980.3
- 18) 木方靖二：潮汐・潮流発電 日本エネルギー学会誌第71巻第5号 P330 1992.5
- 19) 淡路青年会議所：紀淡海峡大橋パンフレット 1990.7
- 20) 田島二郎：長大スパンへの挑戦 道路 P20 1989.6