

那覇沈埋トンネルにおける風力発電導入の検討

Study on Application of Wind Energy for Naha Submerged Tunnel Equipment

小竹康夫*・白石悟**

KOTAKE Yasuo and SHIRAISHI Satoru

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 研究員

** (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 第二調査部長

Wind energy is clean natural energy, but it is characterized by very low energy density, intermittent and is applicable only in limited areas. In this report, application technology of wind energy for effective utilization on Naha Submerged Tunnel Equipment is shown.

Key Words : wind energy , Naha Submerged Tunnel

1. はじめに

那覇沈埋トンネルは、8函の沈埋函を直結することにより那覇ふ頭港口部を横断する延長約 1.1km の自動車専用道路トンネルとして、平成 20 年度供用開始を目標に整備中である。横断部構造はハイブリッド型沈埋函による海底トンネルで、第 3 種 1 級の道路規格により、設計交通量 46,100 台 (2010 年度推計交通量) の片側 3 車線往復 6 車線の臨港道路として計画されており、換気方式としては立坑集中排気縦流式が採用されている¹⁾。

本報告は、那覇沈埋トンネルの照明や換気設備に使用する電力費用の削減を目標におき、既存の一般電力の代替として風力や太陽光発電などの自然エネルギーの導入を検討した中で、検討時点で費用面から優位と考えられる風力発電について技術的側面から導入の可能性について検討した成果を報告するものである。

2. 風力発電導入の検討

2.1 自然エネルギー導入目標と使用電力量

(1) 自然エネルギー導入の目標

自然エネルギーの導入検討に際しては、以下に示す目標を設定した。

- ① 自然エネルギーの利用率(≒100%)
- ② 電力費用削減効果
自然エネルギー利用費用(≦一般電力費用)
- ③ 地球温暖化ガス排出抑制量
(≧港湾発生交通量から発生する CO₂量)

①では、トンネルで使用する電力量を算定し、それに相当するだけの自然エネルギーを発電することを目標とし、それに必要な設備投資および維持管理費、更には電力購入が必要な場合の購入費などと、導入しない場合に必要となる電力購入費を②で比較して、自然エネルギー導入によって、コスト面で損失の無いことを目標とした。また、③では環境に配慮することにより、自然エネルギー導入によって通常の火力発電を利用した場合に排出される CO₂量が抑制されたとして、その抑制量が沈埋トンネルの整備により、臨港道路を利用する車両から発生する CO₂量より大きくなることを目標値に設定した。

(2) トンネルでの使用電力

那覇沈埋トンネル設備での使用電力パターンは、昼間(7時~19時)が約 5,000kW と推定される。このうち、80%を換気用電力が占めており、夜間には交通量の低下とともに換気が停止する為、夜間の使用電力は約 1,000kW となる。また、年間の使用電力量は約 2300 万 kWh となる。

2.2 制約条件

(1) 自然条件

自然エネルギーの中でも、風力発電については、年間を通じての風況を把握しておく必要がある。対象となる那覇沈埋トンネル近傍では、秋から春にかけて北風が卓越し、月平均 6~7m/s 程度であるが、夏場には台風による強風を含めて月平均 4m/s 程度となり、年間を通しては平均 5.5m/s の風が吹いている。

(2) 社会条件

社会的制約条件としては、電波障害や騒音、景観などの他に、那覇空港に近いことから空港に関わる制約を考

那覇港平面図

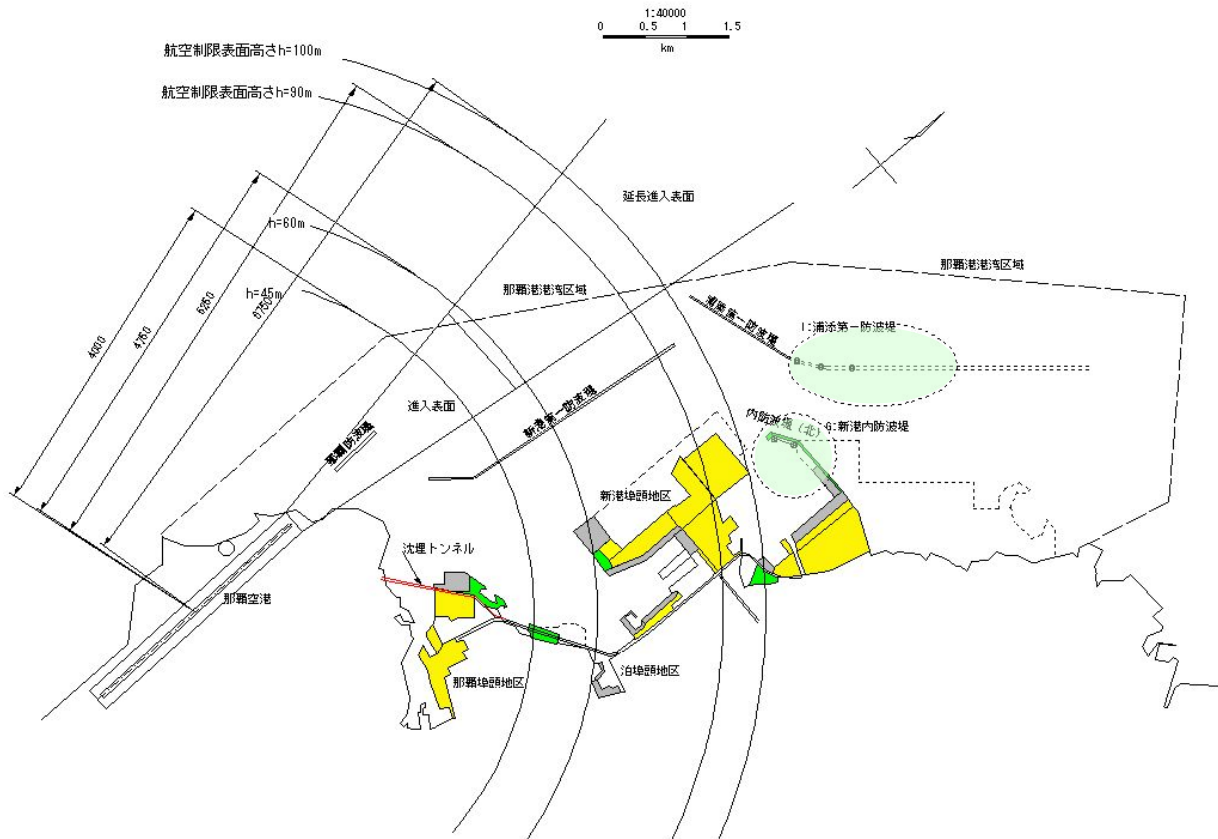


図- 1 風車設置場所(案)

慮する必要がある。那覇沈埋トンネルは那覇空港に近接して立地していることから、空港からの距離に応じて、高さ制限を考慮した風車選定の必要がある。

2.3 風車設置(案)

(1) 風車規模の設定

風車による発電量は、風車ごとに風速の関数であるパワーカーブが設定されている。本検討においては、100kW級から2,000kW級の風車の平均的なパワーカーブを用いて、規模ごとの発生発電量を算定した。入力条件には、沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所三重城出張所で1999年に観測された1年間の風速の実測データを用いた。

その結果、自然エネルギーの利用率を100%にするための風車規模としては、2,000kW級を5台とすることが適当であることが分かった。

(2) 風車設置場所の設定

那覇空港の航空制限により、2,000kW級風車を設置する為には空港から7km程度離れた場所を選定する必要がある。更に、社会的制約条件を考慮して、図- 1に示す新港内防波堤および浦添第一防波堤を候補地と仮定した。

(3) 電力会社との系統連係

2,000kW級風車5台が常に稼働した場合、那覇沈埋トンネル設備で使用する電力より多くの電力を供給することになる。そこで、蓄電池の導入により余剰電力を蓄え、風速が小さく、発電量の少ない時期に蓄えた電力を利用する方法(電力の移行)と、電力会社と系統連係し、余剰電力を電力会社に対して売電する(電力不足時には購入する)方法について比較検討した。

まず、蓄電池の導入については、2,000kW級5台の風車に対応可能な大規模の蓄電池は、検討時点で非常に高コストであることから、導入目標である電力費用削減効果を満足しないことが分かった。

次に系統連係については、風力発電した電力を那覇沈埋トンネル設備で使用した余剰分を売電する方法と、風力発電による電力全てを売電した後に、別途、沈埋トンネル設備で使用する電力を購入する託送と呼ばれる制度を利用する方法が考えられる。ここで、系統連係の対象となる沖縄電力と協議の結果、風車設置位置付近の変電設備では受け入れ不可能であることが判明した。

その結果、図- 2に示す通り、風力発電設備から那覇沈埋トンネル専用の送電線を敷設し、直接、沈埋トンネル設備に電力を供給し、余剰電力を沖縄電力に売電、あるいは不足する電力を購入する系統連係をする必要がある。

ことが分かった。ここで、図-2の風力発電設備に併設する電力平滑化用蓄電池とは、系統連係に際して風速変化に伴い電圧が変動する、いわゆる質の悪い電力になることを防止する為に必要な蓄電池であり、電力移行用の大規模な蓄電池とは異なる。

なお系統連係に伴い、変電所を越えて電力会社側系統への逆潮流禁止の制約が課せられる。(送電線を通る電流の向きは、一般には電力会社の発電所から需要家の方向であるが、電力会社以外の発電設備が系統に連係されると、逆方向の流れが発生することがあり、これを逆潮流と呼ぶ。)電力会社の系統に逆潮流が発生すると、電圧が一定のいわゆる質の良い電力を発電する為の制御システムに過大な負荷がかかり、場合によってはシステムに悪影響を及ぼす。そのため、変電所を越えての逆潮流は禁止されており、風力発電による電力は、那覇沈埋トンネルに電力を供給する那覇変電所より下流側で全て消費する必要がある。

那覇変電所に接続する大口の需要家は、沈埋トンネルのほかに那覇空港と現在整備中のモノレールであり、使用電力パターンは表-1に示す通りである。この表より、逆潮流に関わる制約条件としては、昼間の発電可能な最大値は13,600kWであり、夜間は2,250kWに制限されることが分かる。

表-1 那覇変電所接続需要家の使用電力

使用電力	昼間(kW)	夜間(kW)
那覇空港	5,000	1,000
モノレール	3,600	250
沈埋トンネル	5,000	1,000
合計	13,600	2,250

(4) コストの試算

以上の検討結果をもとに、コスト算定的前提条件は次の通りとした。

- ① 風力発電規模：2,000kW 級を5台
- ② 設置位置：新港内防波堤および浦添第一防波堤
- ③ 送電施設：22kV 送電
(架空線 4.5km 地中ケーブル・橋梁添架 3.26km)
- ④ 電力平滑化用蓄電池：2,000kW 容量1時間の蓄電池
- ⑤ 電力移行用蓄電池：なし
- ⑥ 風力発電運転方法：昼間5台運転、夜間：1~2台運転

その他、初期投資に関わる項目として、風車基礎の工事費を算定する必要がある。これについては、基礎形式をケーソン式にする場合、モノパイル方式とする場合およびジャケット式とする場合で異なるが、それぞれの形

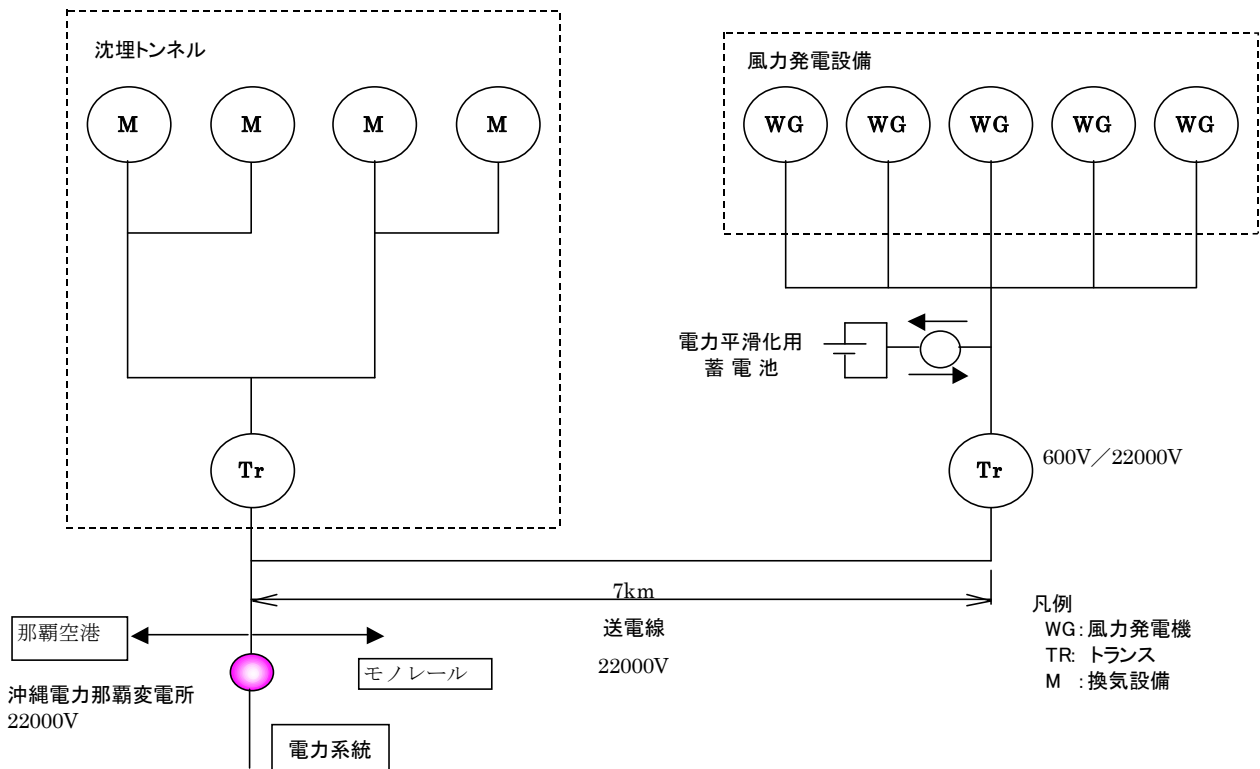


図-2 系統連係概念図

式の現地適用性については今後の詳細な検討が必要となるため、今回はケーソン式を仮定して算定するものとした。

初期費用算定結果の詳細については省略するが、風車基礎の耐用年数を50年、風力発電機、送電設備および平滑化用蓄電池の耐用年数を20年として初期費用合計を1年あたりに換算すると、1億6,000万円程度となることが分かった。

一方、風力発電を導入した場合にも、電力会社との系統連係に際しては、基本料金の支払いと、不足する電力を購入する為の従量分の支払いが必要になる。そこで、風力発電を導入した場合と、しない場合における1年あたりの電気料金を比較すると、風力発電を導入した場合には約3.1億円に対して、しない場合には約3億円という結果となった。ただし、今回の試算において電力会社に支払う基本料金は、電力会社が大口需要家に対して設定している標準的な価格に基づき計上しているが、電力会社からの購入電力が、自然エネルギーの利用により少なくなるために基本料金に相当する電力を購入しないことも考えられ、実際には基本料金が試算値より安く設定される可能性がある。また今後、風力発電機、蓄電池の普及、あるいは構造などを詳細につめることによってコストダウンの可能性がある。

(5) 環境への貢献

コスト算定に用いた条件で、風力発電導入により地球温暖化ガス抑制への効果を試算した。ここで現在、国内ではCO₂排出権の国際取引や環境税、炭素税などが実施されていないため、「洋上風力発電の技術マニュアル²⁾」に示される取引実例の平均的価格をもとに算定するものとした。その結果を表-2に示す。

表-2 風力発電導入による環境への貢献

風力発電導入による二酸化炭素抑制量	15,981t-CO ₂ /kWh
二酸化炭素排出抑制単価	1,280円/t-CO ₂
二酸化炭素排出抑効果	20,456千円/年

3. おわりに

本検討では、那覇沈埋トンネル設備用電源としての自然エネルギー導入の可能性を技術的に評価することを目的として、自然エネルギーの中でも検討時点で費用効果が最大と考えられる風力発電を対象とした検討を行った。検討に際しては、①自然エネルギー利用率100%、②自然エネルギー利用費用≦一般電力費用、および③地球温暖化ガス排出抑制を目標として掲げ、②については、今回の試算では風力導入によるコストが導入しない場合に比

べて若干上回るものの、更なるコストダウンの可能性も残されており、風力導入は技術的に可能との結論を得た。

今後は、自然エネルギー導入に関わる制度面の確立やRPS法（自然エネルギー促進法）に伴う電力会社の契約形態の見直しなどを考慮しつつ、実際の導入に際しては、再度、電力会社と協議の上、系統シミュレーションを実施するなど、詳細な検討が必要となる。

最後に、本報告は、沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所発注による「那覇港(那覇ふ頭地区)道路(空港線)技術検討調査委託」で実施した検討内容を取り纏め直したものであり、検討に際して技術検討委員会（委員長：矢吹哲哉琉球大学教授）ならびに新エネルギー導入検討専門部会（座長：嘉手納伸沖縄電力(株)常務取締役(当時)）において様々なご意見、ご指導を頂きましたことをここに記すとともに、関係者皆様に感謝の意をもって御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所：那覇港臨港道路空港線 沈埋トンネル（パンフレット）、2000。
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター：洋上風力発電の技術マニュアル(2001年度版)-基礎工法に重点を置いて-、沿岸開発技術イブリー-No14、2001。