

# 13. 建設工事における自然環境保全対策 — 沖縄ヤンバルにおける実践 —

## ENVIRONMENTAL CONSERVATION MEASURES IN CONSTRUCTION OF POWER PLANT — PRACTICE AT OKINAWA YANBARU —

小松俊夫\*                      坂田 淳\*  
Toshio KOMATSU,              Jun SAKATA

**ABSTRACT** ; The seawater pumped- storage pilot plant (maximum output 30MW) was recently completed in Okinawa Prefecture, Japan. The site is located in the northern part of Okinawa Main Island, where the rich environment still remains. Many valuable, even endangered species are also found on and nearby the plant site. However, the land is covered with thick layer of red soil making a serious impact on the coral reefs when discharged. The point of environmental conservation measures was, therefore, that both the protection of valuable species and the prevention of sediment yield of red soil should be taken into great account during the plant construction and after its completion as well.

As for the actual countermeasures, small plastic fences and trapezoid-shaped gutters were installed around the construction site so that small animals could not intrude into the site and could easily bail out when trapped in the gutters. Sediment yield was also effectively reduced through catch drains, weirs, and sedimentation ponds. Environmental monitoring was carried out over the construction period. The plant site was fully restored to the native condition after its completion.

**KEYWORDS** ; Construction of Power Plant, Sea water Pumped-Storage, Environmental Conservation, Okinawa,

### 1 はじめに

わが国は四方が海に囲まれ海岸線の地形が急峻な所が多いことから、海水揚水発電に有利な面を有している。しかし海水を使用することによる固有の技術・環境的課題がある。そこで通商産業省（現経済産業省）では昭和 62 年に、海水揚水発電実証プラントを建設し、完成後 5 年間の試験運転を行うことによって技術の実用化を確立することとした。通商産業省から委託を受けた電源開発(株)は、平成 2 年 3 月から 3 万 kW の実証プラントを沖縄県国頭村美作（チュラサク）地点に建設し、平成 11 年 3 月に完成、平成 16 年 3 月まで試験運転を行った。工事区域は沖縄本島北部に位置し昔ながらの緑豊かな自然が残る地域で、ノグチゲラをはじめとした絶滅危惧種等の貴重生物が生息している。また沖縄特有の赤土地帯でもある。このような自然環境と共生しながら工事を進めていくことが本プロジェクトの課題であった。

本稿では①生物多様性の確保 ②自然環境への復元 ③人と自然との触れ合いの場の創造 を基本方針として工事着工前、工事期間中および完成後の各ステージにおいて実施した環境保全対策について報告する。

### 2 発電設備概要

実証プラントは、沖縄本島の太平洋側に位置する沖縄県国頭村美作地区の海岸線に沿った標高 150m 付近の台地上に掘り込み式の上部調整池を築造し、下部調整池として太平洋を直接利用し、地下約 150m に設ける発電所で最大出力 30MW の発電を行うものである。土木構造物は海水を用いることから、上部調整池に

\* 電源開発株式会社 Electric Power Development Co., Ltd.

合成ゴムシート表面遮水工を採用するほか、水圧管路には強化プラスチック管および強化プラスチック複合管を適用するなど新材料、新工法を採用し、工事完成後5年間にわたり各構造物の耐海水性、耐久性の検証を行った。実証プラントの全景を写真－1に、設備諸元を表－1に示す。



写真－1 実証プラント全景

表－1 設備諸元

|            | 項 目                                | 諸 元                                                                                                                                          |
|------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 発電計画       | 最大使用水量<br>有効落差<br>最大出力             | 26m <sup>3</sup> /s<br>136m<br>30MW                                                                                                          |
| 上 部<br>調整池 | 型 式<br><br>満 水 位<br>底 水 位<br>総貯水容量 | 掘込式、ゴムシート表面遮水<br>八角形 貯水面積 46×103 m <sup>2</sup><br>高さ 25m 周長 848m<br>最大幅 251.5m<br>最大水深 22.8m<br>標高 152m<br>標高 132m<br>590×103m <sup>3</sup> |
| 水 路        | 水圧管路<br>放水路                        | 内径 2.4m、延長 314m<br>内径 2.7m、延長 205m                                                                                                           |
| 発電所        | 寸法                                 | 幅 16.4m、高さ 32.8m<br>長さ 40.4m                                                                                                                 |

### 3 ヤンバルの自然特性

実証プラントが位置する沖縄本島の北部地方はヤンバル（山原）と呼ばれ、標高 400m の山並みが南北へと縦走している。ヤンバルに発達する亜熱帯特有の森は、島の地史的な変遷を経てきた植物によって構成されており、また、複雑な地形と植生の組合せによって多様な環境が形成されていることから生物学上貴重な多くの固有種、固有亜種の動物が生息している。実証プラント工事区域周辺には特別天然記念物であるノグチゲラをはじめ鳥類 4 種、哺乳類 2 種、両生類 6 種、甲殻類 3 種、昆虫類 1 種、計 16 種（この内絶滅危惧種 5 種、危急種 7 種）が生息していることが確認された。また工事区域の植生は常緑広葉樹の二次林または自然林であり、自然度は高く、コバノミヤボタン等の固有植物が自生している。

ヤンバルには国頭マージと呼ばれる特殊土が分布している。国頭マージは非常に風化が著しく pH4～6 の強酸性で、成分である鉄分が酸化し赤色をなしているため「赤土」と呼ばれている。赤土は降雨で流出しやすく、比重が 2.6～2.8 と高いため海域に流出すると沈降しやすい性質で、海域に生息しているサンゴを死滅させる。このようにヤンバルは生物の多様性に富んだ豊かな自然特性を有している。

### 4 実施した環境保全対策

電源開発㈱は沖縄の動植物および生態系の学識経験者を中心とした「貴重動物保護検討会」を平成元年 5 月に発足させ、実証試験最終年度の平成 15 年度まで環境保全対策の検討、効果の検証等を実施した。

#### 4. 1 貴重動物対策

##### (A)貴重動物の捕獲と移動

工事に先立ち、貴重動物を保護するために自力移動できるような対策を立てた。しかし移動能力が低いカエルなどの陸生動物に対しては不十分だったので、人為的に他の地域へ移動し保護することとした。移動・保護は次のような手順で調査を行い、結果を確認しながら 3 回にわたり実施した。

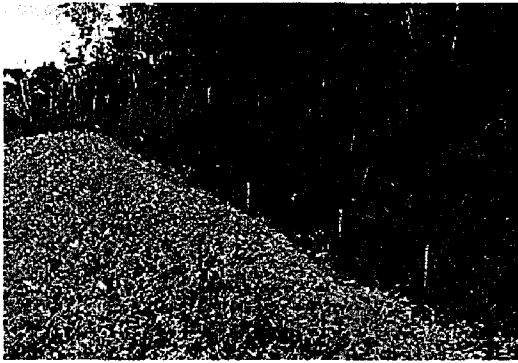
移動先の地点選定 ⇒ 移動試験による確認 ⇒ 工事開始前の移動・保護の実施

##### (B)動物侵入防止柵の設置

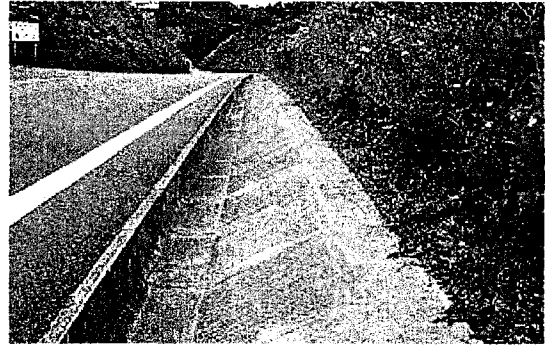
カメやカエルなど移動速度の遅い小動物が工事区域内に侵入すると工事用車両などにひかれる可能性が高いため、工事区域の外周約 8 km にわたって写真－2 に示すような高さ 30cm のポリエチレン製ネットによる動物侵入防止柵を設置した。台風通過後には毎回点検し、破損箇所の補修を行なった。

##### (C)傾斜側溝の考案・設置

通常道路側溝にはU字型側溝が使用されているが、カメ、イモリ等の小動物が側溝に転落した場合、脱出できず死んでしまう。当初、一定区間ごとに階段を設けた階段型側溝を設置したが、より確実に脱出できる構造として写真－3に示すような山側に傾斜をつけた傾斜側溝を考案し、管理用道路の側溝に設置した。



写真－2 動物侵入防止策



写真－3 傾斜側溝

#### 4. 2 赤土流出防止対策

濁水発生量の低減に努めるとともに、「工事区域で発生した濁水は工事区域で処理する」ことを原則とし、工事の進捗にあわせた種々の濁水処理対策を行った。

##### (A)濁水発生量低減対策

(1)周辺排水溝等による雨水・濁水の分離：降雨時に工事区域外部から流入する雨水を、土捨場の濁水と混ぜないようにするため、土捨場との境界林縁部に約1.4kmにわたって周辺排水溝を設置し、集水した雨水を直接沢に放流した。また、土捨場周辺の小さな沢から集めた清水は土捨場の地下を通して下流の沢に流すこととし、銅管パイプによる排水暗渠を沢の流路沿いに約1.1kmにわたって設置した。

(2)裸地部への対策：掘削が完了した箇所はすみやかに種子吹付け・張芝等で緑化した。一時的な裸地部はアスファルト乳剤で被覆し、応急対策としてビニールシートを覆った。

##### (B)濁水処理対策

(1)濁水貯留池の設置：頻繁に発生するスコールは多量の濁水を流出するため図－1に示すような濁水貯留池と濁水処理プラントを設置した。濁水貯留池の容量は20年確率降水量から73,400m<sup>3</sup>必要であり、土捨場下流の谷を二重鋼矢板で締切った土捨場内貯留池(46,400m<sup>3</sup>)と、上部調整池内に仮貯留池(27,000m<sup>3</sup>)を設置した。これにより土捨場周辺の濁水は自然流下で土捨場内貯留池に集水し、調整池周辺の濁水は各箇所を設置した水中ポンプで仮貯留池に一時的に貯留した後、土捨場内貯留池に送水した。土捨場内貯留池に集めた濁水は自然沈降させた後、近傍に設けた濁水処理プラント(処理能力：200m<sup>3</sup>/hr)でpH5.8～8.6、SS10ppm以下に処理し、近隣の沢へ放流した。

(2)土砂流出防止堰：工事区域以外から赤土濁水が沢に流下した場合に備え、ふとん籠を積み上げた堰を各沢に計5箇所設置し、堰に取りつけた不織布のフィルター効果により赤土濁水を海に流出しないようにした。

(3)濁水パトロール：採用した赤土流出防止対策が十分機能しているかを確認するため、累計10mm以上の降雨時や所員が必要と判断した場合に、工事区域および前面海域等について濁水パトロールを実施した。

#### 4. 3 道路法面の緑化対策

- ・道路掘削等で改変した森林を風害から守るため、改変区域内に自生している低木を法肩に移植した。
- ・土壌が軟らかい法面にはネットを張って種子吹付けを実施した。所々にシダ類等の二次植生が密生し、ネット張りは二次植生の形成に効果があると考えられた。
- ・土壌が硬い法面は、苗木による植栽を行った。樹種・植栽方法は試験植栽し、周辺に自生しているハリツルマサキ等4種及び編柵工による客土方式を採用した。法面が長い箇所については施工、管理及び経

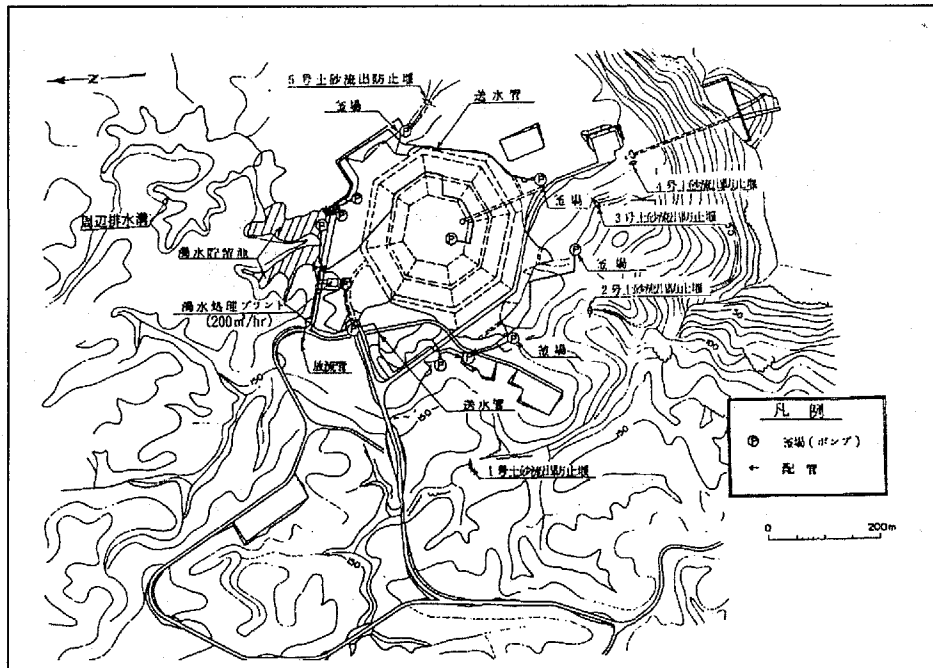


図-1  
濁水処理対策

済性を考慮して法面にネットを張り地被類で被覆した。この緑化ネットは、地被類の発育を助けるとともに雨による赤土の流出防止にも効果があった。また斜面を転落した小動物がネットを伝って自力で斜面から脱出する副次的な効果をもたらした。

#### 4. 4 教育宣伝活動

環境保全対策を継続させ、完結するためには、すべての工事関係者に環境保全の精神を浸透させることが重要であることから、ポスター「森の先住者に注意！」の作成・掲示、また啓蒙手帳「自然にやさしく」を作成し工事関係者に配布した。手帳の巻末には貴重動物確認報告書を添付し、貴重動物を発見した場合には報告してもらうことにした。工事期間中（平成2年度～9年度）の報告件数は177件であり、貴重動物の生息分布を把握する上で貴重なデータとなっている。

建設所及び施工業者職員の中から1名を自然保護担当者に任命し、工事区域内の動物パトロールを随時実施した。この他、貴重動物に関する講演会を随時開催し工事関係者の貴重動物保護に対する意識向上に効果をあげた。

### 5 環境モニタリング

#### 5. 1 工事中の環境モニタリング

工事による周辺環境への影響の有無や各種対策の効果を確認し、必要な場合は工事計画、施工方法などの見直しを図るため、工事期間中（平成2年度～9年度）環境モニタリングを実施した。モニタリング結果は「貴重動物保護検討会」に報告し、結果が不良な時には原因究明・対策の改善を行なった。

##### (A)モニタリング項目

モニタリング項目は表-2に示すとおりである。項目には移動能力が低く工事の影響を受けやすいという観点から、両生類・爬虫類、土壤動物、水生生物およびサンゴを選定し、途中からは鳥類も対象に加えた。

##### (B)モニタリング結果

両生類・爬虫類・土壤動物は、概ね工事着工前の環境調査時に確認された種の生息が確認された。個体数は年により変動が見られたが、各年の気象状況や調査時期の天候に影響を受けているものと推察された。水生生物は工事着工前に比べて増加傾向が認められ、個体数は増減を繰り返しながらも徐々に増加する傾向が認められた。造礁サンゴは、工事着工前より種類数・被度とも増加が観察された。鳥類は種類数、個体数とも工事着工前の調査と大差なく、ヤンバルの森林に生息する留鳥のほとんどが観察された。

## 5. 2 工事完成後の環境モニタリング

環境モニタリングは次のことを目的として工事完成後（平成10年度～14年度）も継続した。

- ①海水揚水発電は初めての方式なので、従来では見られていない環境への影響が生じないかを確認すること。
- ②実証プラント周辺の環境が、工事終了後にどのように回復していくのかを確認すること。

### (A)モニタリング項目

モニタリング項目は表－3に示すとおりであり、工事中の項目に植生・海生生物・飛散塩分を加えた。

### (B)モニタリング結果

実証プラント周辺の森林は工事や発電による影響をほとんど受けておらず、環境創生地の植生もほぼ順調に生育していることが確認された。貴重動物は年によって変動はあるものの、毎年確認され、工事により改変を受けた区域にも戻ってきていることが確認されている。出現種数も年によって変動はあるものの、減少、出現種の単純化といった傾向はみられず、多様な生物が引続き生息していることが確認された。サンゴは平成10年夏に発生した白化現象により大きなダメージを受けが、サンゴ以外の海生生物については種類数や個体数に目だった変化は見られず、発電による海生生物の生育・生息環境への影響はないことが確認された。また、飛散塩分については海から運ばれる塩分が実証プラント周辺では支配的であると推測され、調整池に海水を貯めた影響、例えば塩害の発生は確認されなかった。

表－2 モニタリング項目（工事中）

| 項 目  | 調査内容及び頻度                                 |
|------|------------------------------------------|
| 陸生動物 | 工事区域周辺の沢（3測線）について、両性類、爬虫類の調査を年1回実施       |
| 水生生物 | 工事区域周辺の沢（4測線）について、魚類、底生生物、水生生物等の調査を年1回実施 |
| 土壌動物 | 工事区域周辺の森林部4箇所（50cm×50cmの方形枠内）の調査を年1回実施   |
| 鳥類   | 工事区域周辺の森林部でラインセンサス（6測線）及び定点調査（5地点）を年1回実施 |
| サンゴ  | 放水口周辺海域5地点で5m×5mの方形枠内の調査を年2回実施           |

表－3 モニタリング項目（工事完成後）

| 項 目  | 調査内容及び頻度                                                                                                           |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 植生   | ・現存植生・毎木調査は工事区域内外（5地点）<br>・林縁部調査は工事区域境界（4測線）<br>いずれも台風時期の前後年2回実施                                                   |
| 陸生動物 | ・両性類、爬虫類は工事中地点と同じ<br>・哺乳類は工事区域内外でラインセンサス（2測線）及び定点調査（2地点）<br>・昆虫類は工事区域内外でラインセンサス（5測線）及び工事区域内で定点調査（2地点）<br>いずれも年2回実施 |
| 水生生物 | 工事中と同じ地点で年2回実施                                                                                                     |
| 土壌動物 | 工事中と同じ地点で年2回実施                                                                                                     |
| 鳥類   | 工事中地点に工事区域内1測線、2定点を追加し年2回実施                                                                                        |
| 海生生物 | ・サンゴは工事中地点に3測線を追加<br>・潮間帯生物・底生生物・卵・稚仔（各2地点）、海藻草類（3測線）、動・植物プランクトン（4地点）、魚等の遊泳動物（1測線）<br>いずれも年2回実施                    |
| 飛散塩分 | ・気中塩分濃度（自動5地点、手動6地点）、沈着塩分量（9地点）、土壌中塩分濃度（4地点）、葉面付着塩分量（5地点）について月1回測定。<br>・台風通過時に葉面付着塩分量（6地点）実施                       |

## 6 環境創生地

総面積約 45,000 m<sup>2</sup>ある土捨て場を、野生生物が共存共栄し、また、人と自然との触れ合いを通して、自然の神秘さや自然からの恩恵を感じることができる場として「環境創生地」を創出した。

### 6. 1 環境創生地の設計・施工

環境創生地の設計にあたっては、自然の復元力を効果的に引き出し、早期に復元することを基本コンセプトとして設計・施工した。

#### (A)全体レイアウト

- ・環境創生地の造成形状は、できるだけ平坦地を少なくし、周辺の地形と一体感をもたせるようにした。
- ・地表面の仕上げは、苗木の根腐れを防止するためにできるだけ凹凸をつけ、地表面の排水性を高めた。
- ・元々あった沢の機能を回復するために水路を設けた。水路は水辺の小動物が生息できる環境となるよう適度に蛇行させ、瀬やよどみを設けた。水路の途中に遊水池を2箇所（500 m<sup>2</sup>, 150 m<sup>2</sup>）造り、また環境創生地全域に10 m<sup>2</sup>程度の小池を約50箇所設けた。これは林内湿度を保つことにも効果があった。

#### (B)植栽計画

・樹種の選定は、森林の遷移を考慮しながら行なった。試験植栽の結果を踏まえ、イタジイ、アデク、シャリンバイ（優先樹）を中心とし、センダン、アカメガシワ等の木（パイオニア樹）、鳥の餌となるシマグワ等実をつける木（結実樹）を取り混ぜて植えた。

・植栽に使用した苗は、周辺の樹木の種子を採取し、2～3年間育苗した樹高 50cm 程度のポット苗とした。植栽密度は 1.5 m<sup>2</sup>に 1 本の割合とした。

・環境創生地は元々土捨て場で土壌も無機質なので、苗を植える穴に牛糞堆肥を混ぜ、土壌改良を実施した。

・赤土流出防止および土壌乾燥を防ぐためマルチングすることとし、試験植栽結果から急傾斜部には厚さ 2 cm のヤシ殻不織布を、緩傾斜部には約 5 cm の厚さのバーク堆肥を使用した。

## 6. 2 現況

・植栽樹木については、風の影響を受けにくい区域の木々は周辺の森林とほぼ同じ高さまで成長しており、風の影響を受けやすい区域では成長の度合いは遅いものの着実に成長しているのが確認されている。

・動物のうち昆虫については、種多様度指数は平成 11 年度以降漸次高くなり、従来の種多様度指数に接近しつつあることが判明している。

以上、一例であるが他のデータも同様な傾向を示しており、環境創生地は次第に森林性に近づいている。なお初期及び最近の環境創生地の状況を写真－4、5 に示す。



写真－4 初期の環境創生地



写真－5 最近の環境創生地

## 7 おわりに

本プロジェクトの自然環境保全に対する様々な取組みは、大きく三つの時期に分けられる。工事着工前は環境保全のために実施可能な回避対策を試行錯誤しながら試み、工事期間中は赤土対策と動物モニタリングが中心であった。工事完成後は自然の復元力を効果的に引出すことを基本コンセプトとし、改変区域の復元に取組んだ。ここで実施した環境保全対策は決して十分なものではなく、大きな自然から見れば微々たるものであろう。しかし、ここには工事関係者の目に見えないところでの努力や工夫が数多くある。今までの実践から考察すると最適な自然環境保全対策とは生態系への影響期間を最短とし、致命的な影響を与えず復元可能とすることであり、またこれらに関わる環境保全対策費用を最小にすることではないだろうか。

最後に、15 年以上にわたり本プロジェクトの環境保全対策についてご指導いただいた「貴重動物保護検討会」および「実証試験委員会」の委員各位、また本稿を執筆するにあたり多大なご理解とご指導をいただいた経済産業省資源エネルギー庁および工事関係者各位に深甚なる謝意を表するものである。

## 参考文献

- (1)小松俊夫・坂田淳・小松明子「沖縄海水揚水発電実証試験パイロットプラント建設工事における自然環境保全対策について」『電力土木』No.100、1994 年
- (2)経済産業省資源エネルギー庁・電源開発㈱「平成 15 年度海水揚水発電技術実証試験報告書」平成 16 年 3 月