

掘込み漁港の建設に伴う塩水化影響調査

業務名 南大東漁港塩水化影響調査（12-703）

委託者 沖縄県 南部農林土木事務所

担当者 （大矢佳一） 鈴木清高

1. 調査の目的

南大東島は海岸部が高く中央部が低くなった盆地状の地形を有しており、海岸線の全てが切り立った崖で出来ている。（図 - 1）また、海底地形も急に深くなっており、島の外側に構造物を建設することが非常に困難な地形条件である。さらには、波高13mを超えるような大きな波浪が毎年来襲するような自然条件の大変厳しい場所である。

この島に新たな漁港を建設するにあたり、掘り込み式の漁港とする計画が立案されたが、掘削に伴う内陸部（特に池沼）の塩水化の問題が県の検討委員会で指摘された。そこで、塩水化の予測解析を実施し、その影響はほとんど無いとの結果を得た。しかしながら、解析は2次元で行ったものであり、いくつかの仮定条件を含んでいること、実際の複雑な地盤条件を正確に再現しているとは言えないこと、その他予期し得ない現象の発生を考慮し、掘削工事に伴う実際の塩水化現象を現地観測することとなった。

本調査は、塩水化現象のモニタリングを実施し、その結果を漁港建設の実施計画に反映することをその目的としている。



図 - 1 漁港建設状況

2. 調査の内容

表 - 1 は、各年度毎（平成5～12年度）の調査目的、内容とその結果を示している。

平成5、6年度には、既往文献の整理、塩水化要因の検討、池沼部の塩水化現況調査、空洞調査、地下水の水位・塩分濃度調査、植生・土壌調査等を実施し、南大東島における塩水化現象の現状把握を行った。さらに、そのデータを基に塩水化予測の数値解析を実施した。

平成7年度からは、ボーリング孔および池沼における水位と電気伝導度の長期観測を行い、その結果を用いて平成7、8年度でモニタリング基準（許容変動範囲）を作成し、平成9年度以降のモニタリングにおける管理基準とした。最終年度（H12）には、平成7年度から12年度までの観測結果をとりまとめ、漁港建設（掘削）による塩水化の影響について最終評価を行った。

表 - 1 調査内容一覧表

調査年度	調査目的	調査内容	調査結果
平成5年度	池沼部の塩水化現況確認	池沼部水位観測、水門流量測定、風送塩量測定	<ul style="list-style-type: none"> 池沼部の水位は潮位の変動に対応する。 潮位変動から3～4時間後れて、水門から流入がある。
	大規模空河の有無確認	重力探査による概査(2.5km四方)	<ul style="list-style-type: none"> 数箇所の低重力(低密度)箇所が確認されるが、大規模な鍾乳洞の存在を示すものではない。
平成6年度	地下水の水位・塩分濃度確認	海岸近傍と池沼近くでボーリング水位・塩分濃度観測	<ul style="list-style-type: none"> 地下水も潮位の変動に対応する。海岸から遠い地点では水位振幅が減衰し、時間後れも大きくなる。塩分濃度も水位同様に変動する。
	島内の塩水化の現況確認	塩水化に関する既往資料の整理	<ul style="list-style-type: none"> 1976年の観測データと比較して現状塩水化が進行している。 島内北西部での塩水化の進行が著しい。
平成6年度	塩水化要因の検討	水収支シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 池沼水の汲み上げおよび雨水の流出を考慮すると、塩水化が進行する可能性が示された。
	地下水の電気伝導度および水位の観測	島内7箇所のボーリング地点にて電気伝導度分布測定孔内水位と潮位の芯管関数分析	<ul style="list-style-type: none"> ほとんどのボーリング孔で淡水レンズは存在しない。 12時間および24時間の潮位変動に対して、内陸部でも芯管スベクトルが得られている。 潮位と孔内水位の振幅スベクトル比および位相差は、海岸からの距離に応じて変化する。しかし、1000m以上離れると変化が少なく、魚港から1500m離れた池沼部では掘削の影響がないと推定される。
平成7年度	漁港周辺の空洞の有無確認	重力探査による精査	<ul style="list-style-type: none"> 漁港掘削地内には数mオーダーの大規模な空洞は存在しないと推定される。
	掘削による影響検討	塩水化予測の数値解析	<ul style="list-style-type: none"> 観測データから、漁港周辺の平均透水係数は$1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$、内陸部までの平均透水係数は$2.5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$と同定される。 数値解析による掘削後の塩分濃度の変化は、掘削領域の背面の70～80m区間までと計算され、内陸部に塩水化の影響はほとんど見られない結果となった。
平成7年度	植生、土壌への影響検討	植生調査・土壌調査	<ul style="list-style-type: none"> 現状でも耐塩性の強い植物が繁殖している。 土壌のpH、塩素イオン濃度は問題になるほどのものではない。
	現状での水位および電気伝導度の変動要因確認	ボーリング孔および池沼における長期観測	<ul style="list-style-type: none"> 長期観測の結果、電気伝導度は大きな季節変動を示すことが確認された。降雨・蒸発散・汲み上げなどの結果として生じた地下水水位の変動が、電気伝導度の変動とよく対応する。
平成8年度	モニタリング基準作成	観測データより、自然条件における電気伝導度の変動幅を検討	<ul style="list-style-type: none"> 海面下掘削以前における観測データから、自然条件における電気伝導度の変動幅を求め、今後の影響評価基準とした。
	水位および電気伝導度の変動要因確認	ボーリング孔および池沼における長期観測	<ul style="list-style-type: none"> 地下水水位が季節的な潮位の変動影響を強く受けていることが確認された。 年間の降雨条件により、島内の塩水化状況が大きく変化することが確認された。
平成8年度	水利用実態の確認	島内水利用アンケート調査	<ul style="list-style-type: none"> 農業用水の汲み上げは6～9月に多く、7、8月は月間で80,000m³を超える量の池沼水が汲み上げられている。
	電気伝導度と塩分濃度の関係確認	島内水の水質調査	<ul style="list-style-type: none"> 電気伝導度と塩分濃度はよい相関を示し、塩水化モニタリングにて電気伝導度を指標とすることの確認が得られた。 塩分濃度2,000ppmまではナトリウム7の育成に対して問題ないとの別資料より、この値に対応する電気伝導度は約7,000$\mu\text{S/cm}$であることが確認できた。
平成9年度	塩水化要因の検討	水収支シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果からも池沼部の塩分濃度は、その年の降雨条件に大きく依存することが示された。
	モニタリング基準作成	電気伝導度の変動幅を再検討	<ul style="list-style-type: none"> 前年の基準に対して、潮位の上昇による地下水水位の上昇が顕著に表れたため、水位と潮位の差と電気伝導度の関係からモニタリング基準を見直した。
平成9年度	電気伝導度のモニタリング	ボーリング孔および池沼における長期観測	<ul style="list-style-type: none"> 平年並みの降雨条件での観測となった。電気伝導度は管理基準値を上回ることはなく比較的穏やかな変動を示した。B2、B-5孔の一部で電気伝導度が低下しており、グラウトの影響も推察された。
平成10年度	電気伝導度のモニタリング	ボーリング孔および池沼における長期観測	<ul style="list-style-type: none"> 平成9年度同様平年並みの降雨条件であった。 島内の電気伝導度は、穏やかな変動を示し、その値も年間を通して安定したものであった。
平成11年度	電気伝導度のモニタリング	ボーリング孔および池沼における長期観測	<ul style="list-style-type: none"> 各地の電気伝導度値は7月下旬にあった大量の降雨(450mm程度)の影響で大きく低下した。その後は例年通り電気伝導度値の上昇がみられ、最終的には平年並みとなった。
平成12年度	電気伝導度のモニタリング漁港建設に伴う塩水化の影響確認	ボーリング孔および池沼における長期観測塩水化影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 各地の電気伝導度値は5月および7、8月のまとまった雨で大きく低下し、その後緩やかに上昇し、最終的には例年並みかそれ以下の値を示した。 南大東漁港は平成12年7月に外海との開通を果たし、その後6ヶ月以上の観測を行ったが島内の塩水化の影響は認められなかった。観測は平成13年2月で終了し、機器を撤去した。

図 - 2 に観測位置図を示す。各地点では水位と電気伝導度を計測し、1時間に1回の割合でデータの自動収録を行った。また、漁港建設地点近くでは潮位観測も実施した。

3. 主な調査結果

本調査では、塩分濃度と電気伝導度が比例関係にあることを確認し、電気伝導度の値を塩水化現象の指標として用いて塩水化の検討を行っている。観測の結果、この値は自然条件による変動が大きいことがわかったため、その挙動を検討し以下の特徴を得た。

(1) 潮汐による電気伝導度の変動

図 - 3 は、潮位・水位・電気伝導度の経時変化の観測例 (B - 5 孔 : H12.5.1 ~ 3) を示している。孔内水位は潮汐に連動して12時間周期で変動しており、この動きに伴い電気伝導度も同様の変動をしている。このデータを電気伝導度と水位の関係として整理したのが図 - 4 である。データは、右上がりのループを描くかのように挙動している。この現象は図 - 5 に示す様に、計測機器を定位置に設置したため、潮汐による水位上昇に伴い水深の深い部分にある塩分濃度の濃い (電気伝導度の大きい) 箇所を計測しているためであると考えられる。

以上のデータより、以下の特徴が示される。

- ・南大東島の地下水位は潮汐に連動して上下する。
- ・定位置で観測している電気伝導度も潮汐に連動して上下する。
- ・電気伝導度は観測する場所、時間によって大きく異なった値を示す。



図 - 2 観測位置図

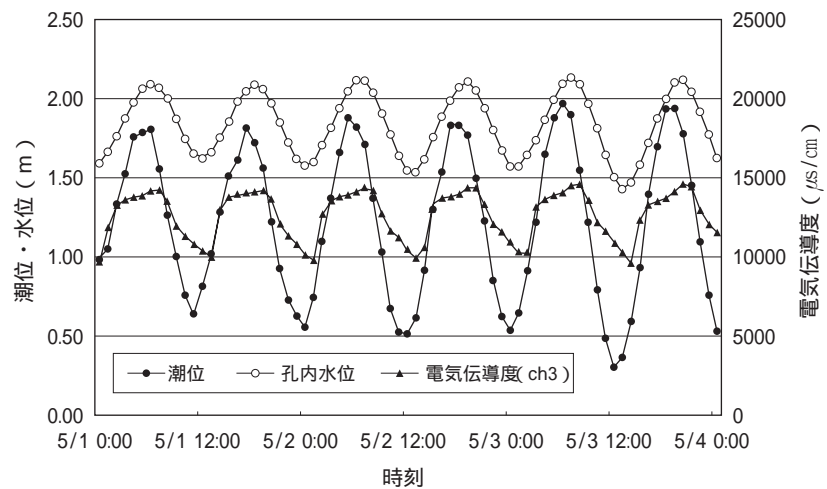


図 - 3 潮位・水位・電気伝導度の経時変化

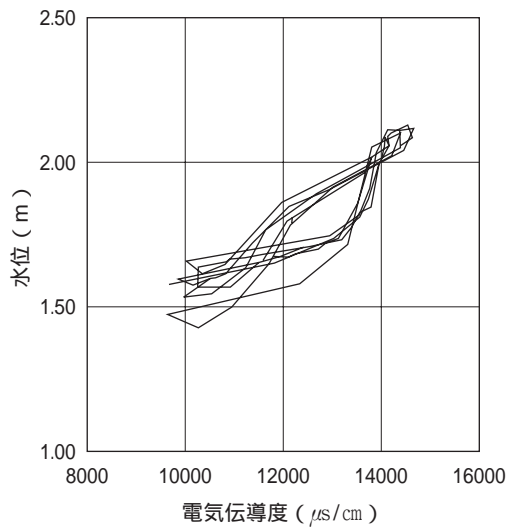


図 - 4 水位と電気伝導度の関係

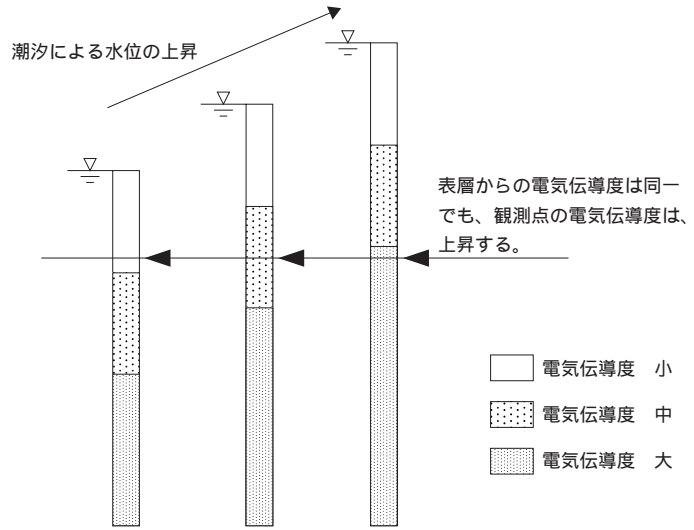


図 - 5 電気伝導度の変動模式図

(2) 電気伝導度の季節変動

図 - 6 は平成 7 年度から 12 年度までの電気伝導度と水位の関係例 (B - 5 孔) を示している。各データは各月の旬間平均値 (上旬、中旬、下旬) を示している。このグラフより以下の季節変動特性が示され、これを模式図として示したものが図 - 7 である。

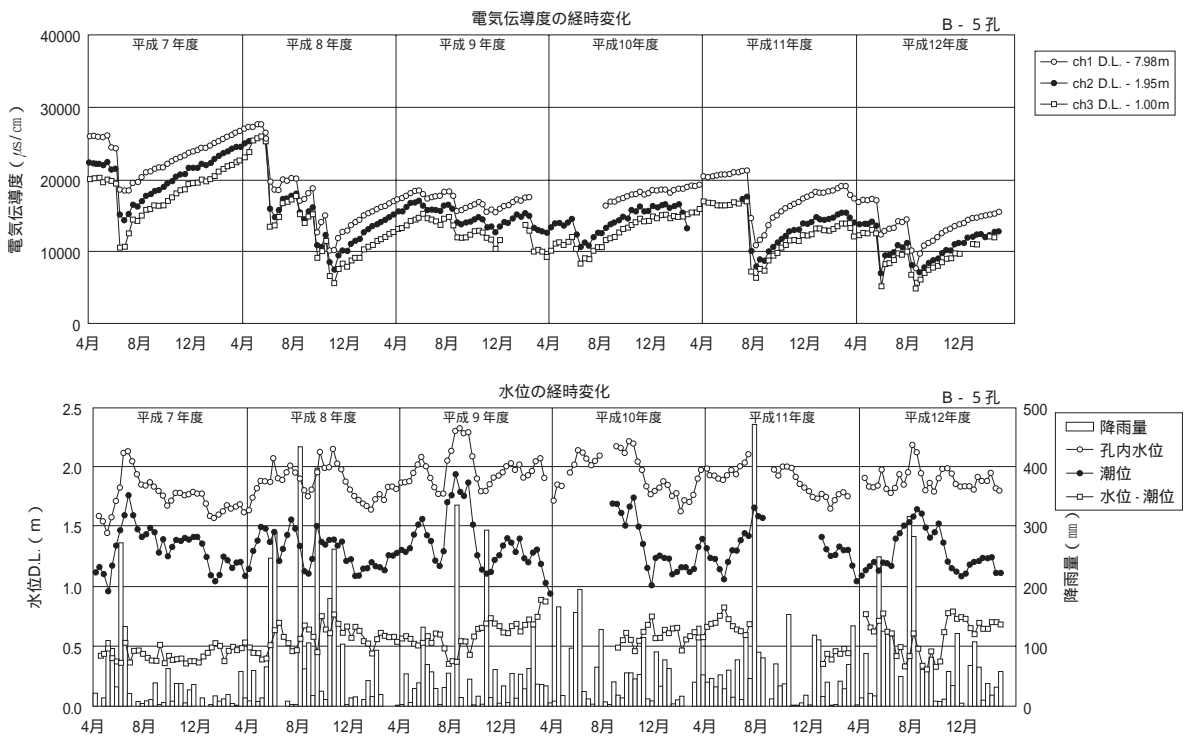
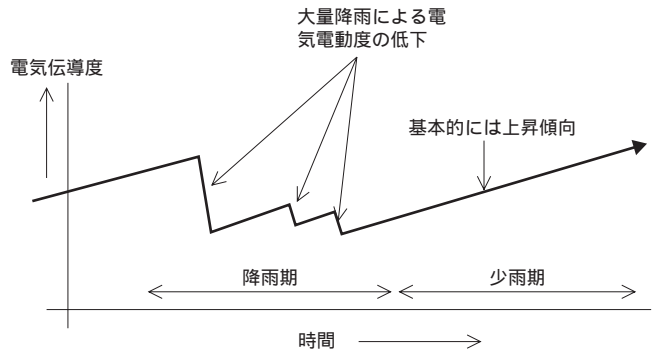


図 - 6 水位と電気伝導度の経時変化 (H 7 ~ H 12)

- ・電気伝導度は基本的に上昇する（大きな値となる）方向に向かう。
- ・年に数回程度の大量降雨により、電気伝導度の値は大きく低下する。
- ・降雨条件によるが、基本的には降雨期である5～10月に電気伝導度は大きく低下し、その後の11～4月（梅雨の前）には電気伝導度が上昇する期間となっている。
- ・上記のような季節変動があるため、1年の内の計測時期によっても電気伝導度の値は異なる。



電気伝導度値の経時変化は「のこぎりの刃」のような形状で季節変動する。

図 - 7 電気伝導度の季節変動の模式図

(3) 降雨による電気伝導度の低下状況

電気伝導度の季節変化は基本的に降雨によるものであり、梅雨や台風による降雨によって島内の塩水化現象が抑止されているようである。図 - 8 は降雨期における電気伝導度の日変化（B - 5 孔）の例を示している。このデータから以下のことが示される。

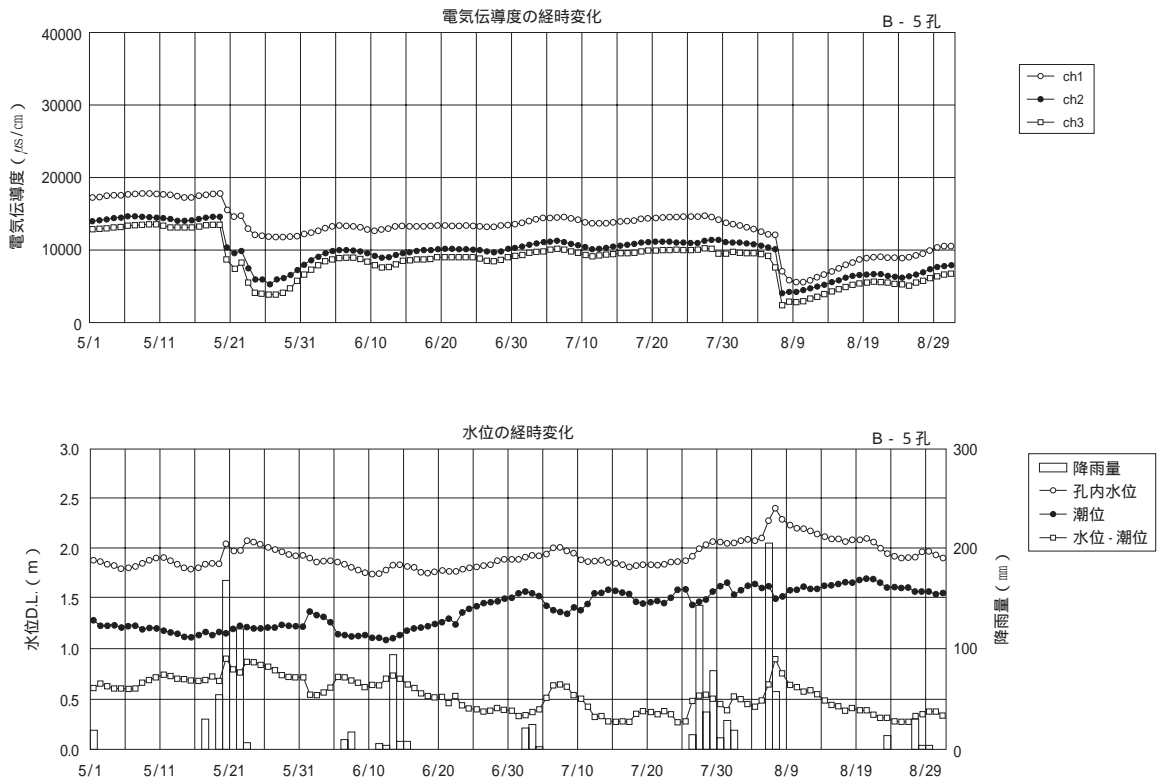


図 - 8 降雨期における電気伝導度の経時変化

- ・日降雨量が150mm以上の場合は、必ず電気伝導度の低下が見られる。
- ・日降雨量が100mm前後の場合は、電気伝導度の低下は明瞭でない。

- ・日降雨量が50mm以下の場合、電気伝導度に影響しないケースが多い。
- ・大きく低下した電気伝導度が再び上昇傾向に移るのには、5～10日程度を要している。
- ・日降雨量が150mm以上の場合、地下水位の顕著な上昇も観測されている。

(4) サトウキビへの影響

島内の池沼水はサトウキビ畑への農業用水として利用されている。県農業試験所のデータによれば、サトウキビの生育に関して塩分濃度2000ppmまでは特に問題はなく、4000ppmがその上限値とされている。図-9は、大池における電気伝導度の経時変化を示したものである。降雨の少なかった平成7年には2000ppmを超えた期間が一部あるが、でそれ以外の年には無い。また、平成11年の海面下掘削以降においても、塩水化の影響は出ていないことが判る。

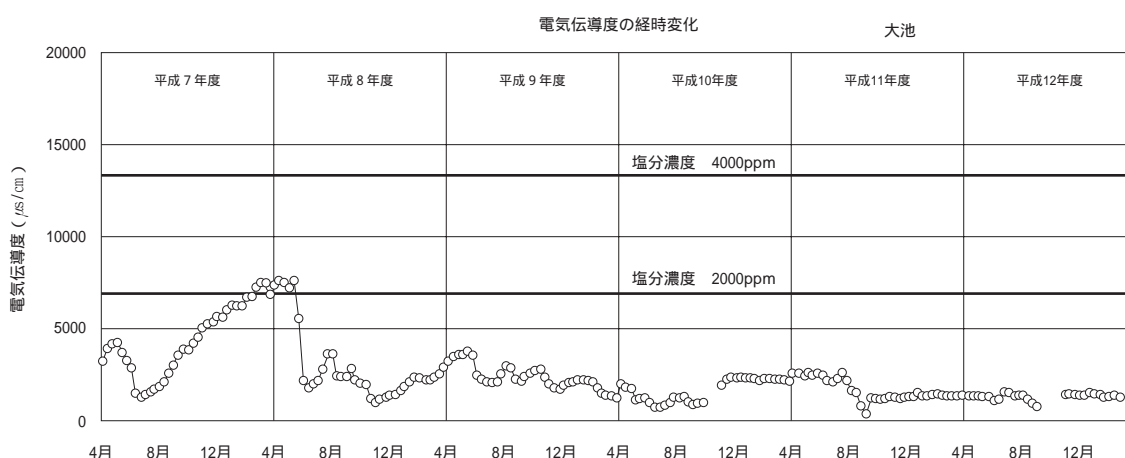


図-9 池沼部（大池）における電気伝導度の経時変化

(5) まとめ

島内の電気伝導度を長期観測することで、島内の塩水化現象は自然条件（特に梅雨や台風による大量降雨）によって大きく変化することがわかった。また、塩水化の状況は常に変動しているために、比較的広範囲を継続的に測り、さらには潮位、水位、雨量などのデータも併せて観測する必要があることが確認された。つまり、短期間の観測では誤った解釈をする可能性があることをここに付け加えておく。

漁港は、その建設に伴い海面下の掘削が行われ、平成12年7月には外海とも通じたが、その間の島内の塩水化状況に大きな変化は見られず、開通後半年以上経過した後も塩水化の影響は見られなかった。

4. 成果の活用

掘り込み式の漁港という特殊なケースの調査であるため、本調査結果がそのまま適用できる漁港はあまりないであろう。しかし、漁港背後地で地下水を利用しているような場所において、漁港建設に伴う塩水化現象の影響を検討する場合や工事期間中のモニタリング方法を立案する場合には参考になる調査である。