

ダイポールアンテナを用いた海中伝搬実験と解析

Experimental and numerical study of propagation in seawater by using dipole antennas

藤井 直道¹ 佐藤 弘康¹ 陳 強¹ 石井 望² 高橋 応明³ 菅 良太郎⁴
 Naomichi Fujii Hiroyasu Sato Qiang Chen Nozomu Ishii Masaharu Takahashi Ryotaro Suga
 上坂 晃一⁴ 吉田 弘⁴
 Koichi Uesaka Hiroshi Yoshida

¹ 東北大学大学院工学研究科

² 新潟大学工学部

Graduate School of Engineering, Tohoku University Faculty of Engineering, Niigata University

³ 千葉大学フロンティア医工学センター

Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

⁴ 国立研究開発法人海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

1 まえがき

近年、海中通信や海中のダイバーの位置推定に電波を利用することが検討されている。電波を用いて海水面近くで海中通信を行う場合、アンテナ間を最短距離で伝搬する直接波と海水面を経由するラテラル波の合成波が受信アンテナに到達する [1]。ラテラル波を利用すれば浅い海中の電波は水平方向に遠くまで届くようになり、通信用途では伝搬距離を延ばすことができる。しかし、電波による海中での波源の位置推定をするためにはラテラル波を含む電波伝搬の性質を詳細に調査する必要がある。

本報告では、2つのダイポールアンテナを用いて 10, 30, 100 kHz の 3 周波数の電波の海中での受信電力の距離特性を測定した結果と、FDTD 法によるシミュレーションの結果を比較した結果を示す。

2 海中伝搬実験とシミュレーション

実験に使用したダイポールアンテナを図 1 に示す。製作したアンテナは 2 種類あり、1つはアンテナ導体が蒸留水のシースに覆われたシース付ダイポールアンテナで、もう1つは線状導体の半分を海水に露出させた半露出型ダイポールアンテナである。アンテナ導体の長さはいずれも 2 m である。シース付アンテナの整合回路は狭帯域であるため、測定に使用する 10, 30, 100 kHz の 3 周波数に合わせた整合回路を内蔵したアンテナを 2 本ずつ合計 6 本試作した。半露出型アンテナの整合回路は広帯域であり、2 本ですべての周波数を測定可能である。

実験は JAMSTEC 横須賀本部の岸壁にて行われた。実験の様子を図 2 に示す。ファンクションジェネレータ (WF1974) の出力をバイポーラ電源 (HSA4011) で増幅

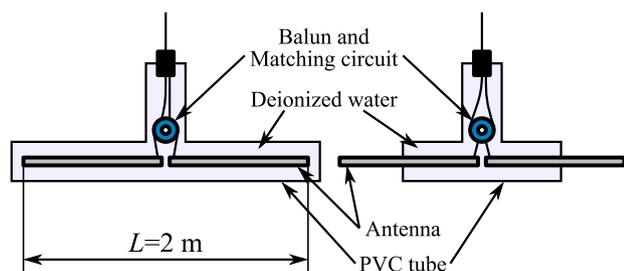


図 1 水中アンテナ (左:シース付, 右:半露出型)

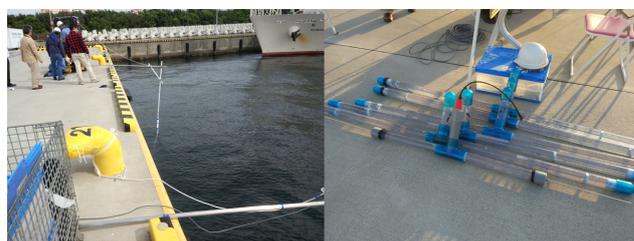


図 2 実験の様子と試作したアンテナ

し、送信アンテナ (#1) に 10 W を入射した。受信アンテナ (#2) で受信した信号をスペクトラムアナライザ (N9913A) で観測し受信電力を記録した。送受信アンテナには同種類のものを用い、アンテナ間距離 D を 2 m から 20 m まで離していき受信電力の距離特性を測定した。アンテナの向きは水平偏波と垂直偏波の 2 方向について測定を行った。

まず 100 kHz 用整合回路を内蔵したシース付アンテナを用いて測定を行ったところ、海中で送受信アンテナを密接させた状態でも信号を観測することができず、距離特性を測定することができなかつた。半露出型アンテナを用いた測定ではアンテナ間距離 D を 20 m まで離れたときも測定値が背景雑音の電力を上回っていたことを確認したため、本報告の測定結果はすべて半露出型アンテナによるものである。なお、それぞれのアンテナの給電部の深さ H は水平偏波のときは 2.8 m、垂直偏波のときは 3.1 m であった。

加えて実験結果を検証するために FDTD 法でのシミュレーションを行った。シミュレーションには図 3 に示す解析モデルを使用し、アンテナ間距離 D を変化させたときの透過係数 S_{21} を求めた。海水の比誘電率は 70、導電率は実験時と同じ 5.49 S/m とした。

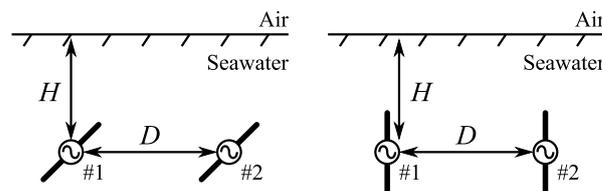


図 3 解析モデル (左:水平偏波, 右:垂直偏波)

水平偏波, および垂直偏波での受信電力の測定値およびシミュレーションでの $|S_{21}|$ の解析値を図 4, 図 5 に点で示す. これらのグラフは 2 m 地点での受信電力あるいは $|S_{21}|$ がいずれも 0 dB となるようにオフセットが調整されている. 図 4, 図 5 より, 近距離におけるグラフの傾きは実験とシミュレーションでほぼ一致していることがわかる. 遠距離では実験において受信電力の減衰が緩やかになる現象がすべてのケースで見られた. またシミュレーションにおいても水平偏波の場合は同様の現象が確認でき, これはラテラル波の影響だと考えられる. しかし, 水平偏波の場合は傾きが変化するまでの距離が実験とシミュレーションで一致せず, 垂直偏波の場合, シミュレーションではラテラル波の影響が確認されなかった.

3 岸壁を加えたシミュレーション

シミュレーションモデルを実験環境に近づけるため, 岸壁のモデルを加えて同様にシミュレーションを行った. 岸壁モデルは柵状の導体で, 2つのアンテナ給電部から横に 3 m 離れた位置に配置されている. 岸壁の有無によるシミュレーション結果の違いは図 6 に示す水平偏波の場合の 100 kHz の伝搬特性にのみ現れ, 8 m 以遠で $|S_{21}|$ がほぼ一定値となった. この伝搬特性は, 実験結果と大きさが異なるものの傾向が一致する. シミュレーションでこのような結果が得られた原因は, 岸壁が伝搬経路の一部となったためと考えられる. しかし, 水平偏波の 10, 30 kHz と垂直偏波の場合の距離特性に変化はほとんど見られなかった. 水平偏波の 10, 30 kHz で岸壁の影響が見られなかったのは, 海中を直接伝搬するときの損失が岸壁を経由するときの損失より小さいためだと考えられる. また, 垂直偏波のシミュレーションで岸壁の影響が確認できなかったのは岸壁とアンテナが平行であるため岸壁が導電電流の経路とならないからだと考えられる.

この結果より, 実験結果のグラフの傾きの変化にはラテラル波以外に岸壁など周囲の物体の存在が影響していたと考えられる.

4 むすび

本報告では海面付近で海中通信を行う場合の伝搬特性を岸壁で測定した結果とシミュレーション結果の比較を行った. アンテナ間の距離に対する受信電力を測定した結果, 一定距離離れたところで伝搬損失の傾きが変化した. この変化はラテラル波の影響が確認できたことを意味している. また, アンテナの近くにある物体が伝搬特性に影響を与えていることがわかった.

参考文献

- [1] M. Siegel and R.W.P. King, Electromagnetic Propagation Between Antennas Submerged in the Ocean, IEEE Transactions Antennas and Propagation, vol.21, pp.507-513, 1973.

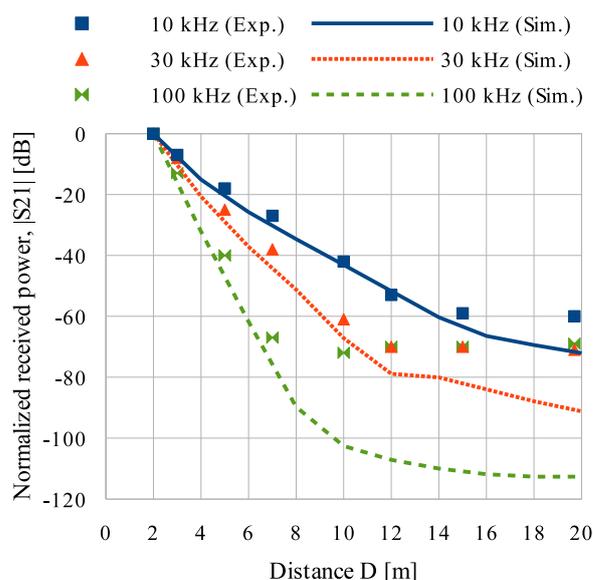


図 4 距離特性の解析値と測定値の比較 (水平偏波)

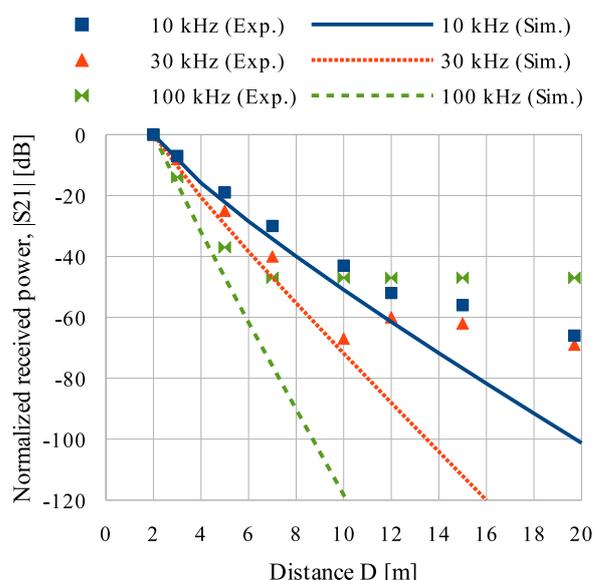


図 5 距離特性の解析値と測定値の比較 (垂直偏波)

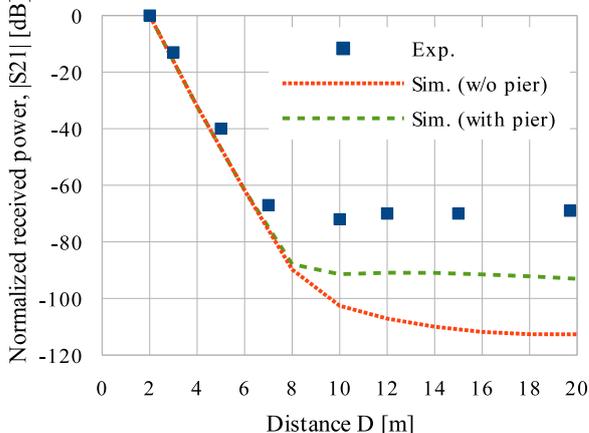


図 6 岸壁の有無による距離特性の比較 (100 kHz, 水平偏波)