

氏 名	萩 野 芳 造
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和63年5月11日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和23年3月 東北大学工学部通信工学科卒業
学 位 論 文 題 目	大型橋によるレーダ偽像とその対策に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 高木 相 東北大学教授 米山 務

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 研究の経緯と概要

現在、殆どの船舶にはレーダが搭載されてその運航に寄与している。一方、我が国の沿岸は大型橋による航路の横断，建造物の大型化高層化によりこれまで経験したことのないレーダの偽像現象をもたらした。

大島大橋は瀬戸内海に日本道路公団より本四公団の大プロジェクトに先だって建設された大型橋で、完成近い頃より航行船舶のレーダに偽像障害の発生を見た。そのために社会問題となり、以後の橋の建設は中止の状態となった。

それは日本道路公団がレーダについて研究実績のある国家研究機関，各大学ならびに付属研究所に、対策について相談を持ち掛けたが、解決の見通しが困難視された状況にもよるものであった。

著者は本研究を進めるに当たり、既に建設された大島大橋の偽像障害を、何らかの付加的対策によって解決するという前提にたって研究を進め、著者の新測定法により偽像の実体を明らかにし、常に工学的見地に立って実行可能な施工方法を念頭に、終局の目的である対策工事の成功を図った。

航海用レーダの各周波数帯3, 5, 9GHz帯のうち、狭い特定の周波数帯しか吸収できぬ吸収材による方法よりも、上記周波数帯全ての電波を同一反射器により偏向反射させる、独自の反射法を提案し偽像障害の解決を図った。

### 第2章 大型橋によるレーダ偽像

本章では先ず、以前におけるレーダ映像の研究として(1)レーダエコー自体の指示機のPPI表示

示画像の歪、(2)ミリ波レーダにおける鏡面反射による偽像、(3)架空電線の特殊映像、(4)レーダの走査アンテナのサイドローブによる偽像を明らかにする。

レーダの受信波については従来レーダ方程式で理論体系がなされているが、遠方界における反射、散乱を基礎に置いている。しかし、研究の対象とした偽像については、大型の平面形物標に対するフレネル界における鏡面反射であることを推定し、そのフレネルゾーンを基本としてレーダ断面積の解析検討を行い、従来のレーダ断面積に再検討を加え、それに基づきレーダ偽像方程式と大型橋に対するレーダ方程式立てる。その理論による偽像レベルおよび大型橋の反射エコーレベルは、測定結果に合致することが明らかにされた。

レーダ偽像のレベルを測定する方法について、アンテナパターンを測定する従来の諸方法、すなわち、(1)野外の鉄塔を利用する被測定アンテナとピックアップ素子の距離を一定にしての測定。電波暗室における、(2)模型による測定、(3)近傍界より遠方界を求める方法、(4)近傍の大型反射鏡によるコンパクトレンジ法、以上の比較検討を行った結果、それらの方法では動揺し移動する船舶において連続的に測定をおこなうことは不可能と断定し、新たにレーダVTRによる測定法を開発して移動体である船舶に搭載してコースを変えて連続記録を行い、その記録情報より偽像を含むあらゆる反射エコーの定性的解析を可能とし、世界に魁けて定量的に移動体上においてレーダエコーの測定を行う。

テレビ用のVTRをレーダ波測定系の機器とするために、記録信号を従来のレーダの観測時における直線性20～30dBのダイナミックレンジを60dB以上に拡大し、特定のエコーや偽像を再生時に任意に選り抜いて測定する方法である。この測定法によって全航路における偽像の消長が判明し、レベルが測定され、最強の偽像が-40dBmで、偽像のほとんどは-60dBm台を中心としたレベルであることが判明し、あわせて航路ブイや漁船、貨物船、沿岸や橋自体のエコーレベルなどの値が明らかにされた。

陸上に大島大橋の橋脚を模したモデル材を建て、固定点のレーダから照射し、その反射波が建物に再反射し、再びモデル材を経てレーダに建物のエコーが受信される地形において、鏡面反射三角経路伝搬による偽像の発生を立証した。

### 第3章 偽像対策のための研究

具体的にレーダ偽像を減衰させ、理想的には偽像を完全に消滅させることを目標として対策への道程に関する研究事項を複数項目に分け研究計画を立てる。

陸上のモデル橋による実験においては鏡面反射、三角経路による偽像の発生を見たが、実際の大島大橋でこの想定を確定するために、大島大橋のレーダ映像と、鏡面反射によると仮定しシミュレーションによる偽像作図とを比較した。合致しない部分があることを発見し、これに対して海面反射波によるパターンを加えることで合致したパターンを得て、鏡面反射による偽像と断定する。

偽像のレベルが前章の測定法により、またこの測定値とモデル実験ならびに偽像パターンのシミュレーションによりフレネル界の鏡面反射により発生した偽像と判明したことより、その対策は橋の表面で吸収材により吸収するか、反射材により反射波を上空へ垂直面で偏向さすか、あるいは沿岸

でない海上の向こうへ水平面で偏向させる方法となる。達成される減衰量は、材料あるいはそれを使用した構造体の反射率、透過率によって左右される。

当時の最高の技術レベルの吸収材について、あわせて反射材に対しても入手できる多くの材料について、反射率と透過率を短時間に測定する monostatic 空間定在波法による自動測定装置を試作して測定データを得た。

船舶レーダは全て水平偏波で 3 cm 波帯が大部分を占め、ほかに 10cm 波帯、わずかながら 5 cm 波帯もあるが、3.2cm で測定を行った。エキスパンドメタルは周波数が低くなれば、より完全な反射体となることより、これを反射材として選択した。代表的な吸収材料としてフェライトについても反射材のエキスパンドメタルと共に bistatic 精密測定装置により精密測定を行った。

一方、偽像測定で得られた最強偽像レベル値 $-40\text{dBm}$  に対して、これら吸収材（約 $-12.5\text{dB}$ ）と反射材（約 $-25\text{dB}$ ）の 2 種類に大別される方法の対策工により、吸収材では往復の伝搬経路により $-25\text{dB}$  減衰できることより、予想される偽像減衰のレベルは $-65\text{dBm}$  までの減衰が可能であるが、反射材では $-50\text{dB}$  の減衰が可能で、目標値 $-90\text{dBm}$  すなわち船舶レーダで探知できる限界の最小エコーレベルまで減衰達成が可能となった。

モデル橋に吸収材のフェライトや薄形のカーボン含有発泡材を使用してレーダ観測測定を行ったが、偽像が残存し不完全さが確認された。

大型橋にエキスパンドメタルを反射材に使用する提案方法の斜段配列周期構造について解析を行う。(1)橋の元の広い平面が多段の小型平板に分割され、元の広い平面による鋭いビームの強い反射波が、小型平板により広角度で散乱的に偏向された反射ビームとなる。(2)偽像発生の原因である元のメインビームの反射方向においては、垂直と水平に同時偏向された新ビームのサイドローブ範囲の小ビームの相乗積の大きさとなる。垂直か水平のいずれかの偏向でも、第 2 のサイドローブ外の範囲になるように偏向角度をとると、 $-20\text{dB}$  以上の減衰が可能となり、モデル橋に取りつけた実験においても発生偽像の消滅が確認された。

#### 第 4 章 偽像対策の実施とその効果

橋の施工範囲を最小限に限定するための研究を以下に行う。

(1)橋の反射領域とそれに対をなす沿岸の反射領域を知るため、レーダの反射信号についてコンボリューションを考慮したレーダ方程式を立てる。その理論を応用してレーダの（パルス幅/2）（水平ビーム幅）（垂直ビーム幅）の立体空間、沿岸地図の距離と高さ情報、レーダの記録偽像より沿岸および橋の 3 次元の反射領域を限定する。(2)航行上支障となっている偽像を対策の対象偽像として、その偽像発生に係わる橋の反射範囲について区分を行う。(3)沿岸の反射領域は橋からの反射波を入射波としたとき、予期した鋭い鏡面反射を行うかどうかについて実測を行った結果、鋭い方向性をもって橋に反射させていることから実測においても鏡面反射が確認される。(4)特に強い偽像を発生する橋の領域を求め、偽像発生には橋脚部分が寄与していることを解析し、対策工を橋脚 P 3 の小範囲に限定できることを提示する。

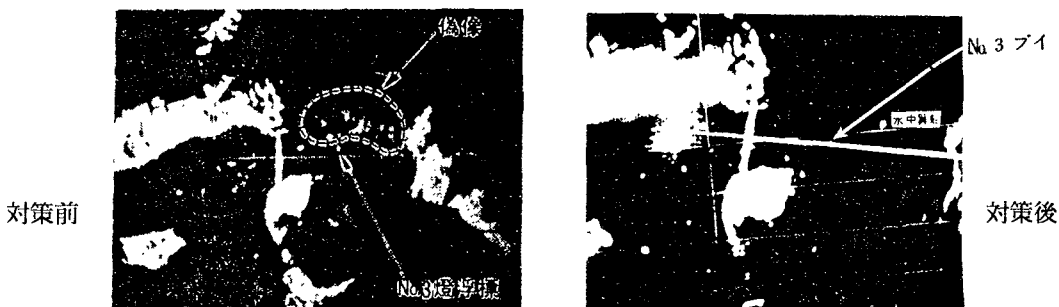
斜段配列周期構造により反射波を元の反射方向に対して $20\text{dB}$  以上減衰させる理論に基づき橋の

各部に装着する斜段の縦横の径，傾斜角を設計し，この対策工事後に，その効果を評価する測定を行う。

橋脚に直面する方向と斜め方向における入反射特性の測定を行い，測定データより対策工事の効果求めて偽像対策におよぼした実効施工面積を算出する。P3橋脚の下部のみの小面積の施工に対しても効果が大きく，対策前は著者の大型平面のフレネルゾーン理論と実測どおり橋とレーダ船との距離について殆ど反射波に変動がなく，対策後は橋からの距離の2乗に逆比例して反射波電力が減衰していることが確認された。航路上の船のレーダに対して以前の鏡面反射が消失し，単に橋からの散乱波に変化する。

## 第5章 レーダ映像面における効果

本研究の以前に公表された偽像写真についても検討を加え，撮影当時のレーダの調整状態を映像より推定し，次にレーダの観測としての調整状態について沿岸航行時におけるレーダの最適調整を



述べ，その状態においてレーダの映像よりレーダ偽像の完全消滅を写真により確認を行う。

## 第6章 結 言

本論文では建設予定の橋ではなく，既存の橋のレーダ偽像を重量，工事可能等，各種制限の上になされた方法への研究である。当時，定性的で断片的でしか分からなかったレーダ偽像を定量的に明らかにし，理論上もフレネル界の鏡面反射として新しいレーダ方程式を立て，モデル橋による鏡面反射偽像より実橋への対策として，アルミエキサンドメタルと斜段配列周期構造の特性によりレーダの3オクターブにおよぶ周波数に対する効果により偽像を消滅させた。

本研究の結果は最近の本四公団の橋へも応用されるに至っている。

## 審 査 結 果 の 要 旨

近年益々増大する電波利用に伴って、多様な電磁環境上の問題が発生し大きな社会的関心を呼んでいる。沿岸レーダについては大型架橋による航路の横断，建築物の大型高層化によりこれまで経験しなかったレーダ偽像の問題が生じた。本論文は昭和51年瀬戸内海に建設された大島大橋によってもたらされたレーダ偽像の発生原因の究明と，除去対策について行った研究の成果をまとめたもので全編6章より成る。

第1章は本研究の経緯と概要について述べている。

第2章では大島大橋によるレーダ偽像の発生原因とその性質について述べている。偽像の測定のために，テレビ用VTRのダイナミックレンジを拡大し，かつ特定の偽像信号を任意に選択して測定できるレーダVTR法を新たに開発し，これによって偽像を詳細に測定した結果，偽像が大橋の主として橋脚構造物から鏡面反射された電波が沿岸の建造物によって散乱された後，再び橋の鏡面反射によって戻るためであることを推定した。次にこれをフレネル界に対するレーダ方程式による理論解析と，陸上でのモデル実験によって確認した。この結論は以後の偽像除去対策の基礎となるもので，結論に至るまでの著者の洞察力は高く評価される。

第3章では偽像除去対策のための研究について述べている。偽像除去法として，適当な寸法と傾斜角の斜段周期配列のエキスパンドメタル板を橋の主要鏡面反射部分に取りつけることにより，主ビームを上方に偏向し，元の反射方向において所望の減衰を得る方法を提案し，その特性を検討している。この方法は耐久性，経済性，広帯域性からみて極めて優れており，本論文の中心をなす成果である。

第4章では上記偽像対策の実施と，実施後の効果について論じている。2次元の偽像パターンから偽像に最も関与する橋の1次反射面を特定し，これに約20dBの減衰を与えるように設計した斜段配列板を布設した。布設前後の橋からの反射特性を測定した結果，所望の特性が得られていることを確認した。

第5章では偽像除去対策後のレーダ映像面の改善効果の評価について論じており，操船上支障となる偽像は完全に消滅し，所期の目的が達せられたことを述べている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は，大橋の架橋によってもたらされるレーダ偽像の発生原因を究明するとともに有効なレーダ偽像除去対策を提案し，その設計法を与えたもので，電波工学ならびに電子計測学の発展に寄与するところが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。