橋からのレーダ反射パターンおよび その反射断面積について

庄司 和民*・飯島 幸人*・杉崎 昭生*・
今津 隼馬*・林 尚吾*・木村 小一**・
鈴木 務***・荒井 郁男***

On the Radar Cross Section of the Bridge

Kazutami SHOJI, Yukito IJIMA, Akio M. SUGISAKI,
Hayama IMAZU, Shogo HAYASHI, Koichi KIMURA,
Tsutomu SUZUKI, and Ikuo ARAI

Abstract

False radar images caused by a bridge newly constructed on a ship's route have been observed on a radar P.P.I.

In order to estimate appearance of false images and organize preventive measures, a bistatic radar cross section of the bridge is needed.

The authors have carried out experiments on radar reflection patterns from the bridge—OSHIMA OHASHI—for obtaining its bistatic radar cross section.

The following knowledges from the results of experiments are obtained.

i) It is possible to replace the bistatic radar cross section of a bridge with a equivalent rectangle plate, which has the maximum radar cross section $[\sigma_0(\theta_i)]$ at a incident angle (θ_i) and a width of rectangle plate (a_e) .

ii) The above plate is expressed by the following experimental equations at the case of OSHIMA OHASHI.

$$\sigma_0(\theta_i) = \frac{4}{9}\theta_i + 50 \quad [\text{dB}]$$

$$a_e = 0.0022\theta_i^2 - 0.83\theta_i + 13.2 \quad [\text{cm}]$$

iii) Using these experimental equations, the characteristics of reflection at any point of a bridge and at any incident angle can be estimated.

1. は じ め に

近年、海峡部の航路を横断して長大橋が架橋されるようになった。そのため、橋梁の構成材料や構造がレーダ電波を反射しやすいことから、橋梁を反射体として橋梁の後方にレーダ偽像を発生させることがある。

橋梁が一次反射体となることに起因するレーダ偽像の発生は、陸上側の二次反射体となる物標の位置や反射強度と極めて密接に関連した問題である。橋梁に起因するレーダ偽像の発生機構の理論的研究を行うためには、橋

* 正会員 東京商船大学（江東区越中島 2-1-6）

** 正会員 運輸省電子航法研究所（三鷹市新川 6-38-1）

*** 正会員 電気通信大学（調布市調布ヶ丘 1-5-1）

梁のレーダ反射パターンを知る必要があるが、従来、橋梁のレーダ反射パターンに関する研究は殆んど行われていない。そのため、橋梁の反射パターンを測定し、bistatic 反射断面積を求める必要がある。

このような観点から実際の橋（山口県大島大橋）によって bistatic 反射断面積を求める測定を実施し、一応の結果を得たので報告する。

2. レーダ反射パターンの測定

船舶に装備されている一般のレーダ（9375 MHz）の電波を橋に照射したときの bistatic 反射パターンを測定する方法について述べる。

2.1 測定装置

橋のレーダ反射パターンは、一定の地点から、橋の一定点に向けてレーダ電波を照射し、その反射波の強度の空間分布を測定して求める。このように送信源と受信点とが異なる場合の、物標のレーダ反射断面積を bistatic レーダ反射断面積という。橋の bistatic 反射断面積を測定するため、図 1 に示す構成をもつ装置が用いられた。

この測定装置の試作にあたっては、次に示す事項が考慮された。

(i) 送信源には連続波（CW）を使用することが望ましい。その理由は測定系が簡略化でき、測定方式も確立していること、さらに測定装置としては市販されているものが使用できることがあげられる。しかし、伝播距離に対して必要な送信出力と電波型式に関連して、法規および送信装置の面から、一般の船用レーダ（パルス波）を使用することにならざるを得ない。

(ii) (i) の理由により、橋から反射されたパルス波の強度を連続的に測定可能な装置であること。

(iii) (ii) の測定装置には、一般的な方法として同期信号が必要である。

(iv) 同じ周波数帯の船用レーダからの干渉妨害が予想されるので、妨害軽減の信号処理が必要である。

(v) 送信源からの電波が、直接に反射強度測定装置に受信されることがあるので、その対策が必要である。

以上に示した事項を満足させ得る方式としては次のようなものが考えられる。

(i) 送信源から同期信号を超短波無線で伝送させる方式。

(ii) 送信源のレーダ波の一部を分岐させ、その電波を別のアンテナで反射強度測定装置側に送信し、同期信号専用の受信機に受信させる方式。

(iii) 高安定の水晶発振器（ 10^{-9} /day）の周波数を基準にして、概略の同期をとらせる方式。

(iv) 他の船舶のレーダによる干渉妨害の影響を軽減させるために、積分処理を行なう方式。（送信源からの電波は、パルス繰り返し周期の間隔で連続して受信されるが、レーダ・スキャナーを回転させている他船のレーダの干渉妨害は、約 3~4 秒に 1 回の割合である）

(v) マイクロ波受信部については、スーパー・ヘテロダイン型の高感度な型式のものを使用する方式。

今回用いられた測定装置は、送信源に予定されている船舶のレーダ装置の性能と上述した方式とを考慮して試作された。

図 1 に示されているように、試作された装置の構成は、送信源からの電波が直接に測定装置に受信されることを防げる程度の、なるべくブロードな指向特性をもつアンテナ（ここでは水平ビーム幅が約 25° のホーン・アンテナを使用）、レーダ装置の受信機部分を改造した専用受信機、受信感度制御装置およびペン・レコーダとデータ・レコーダからなる記録装置で構成されている。測定装置の校正は、図 1 に破線で示されているように、ホーン・アンテナの入力回路の部分を取り外して、マイクロ波標準信号発生器の基準信号を入力する。基準信号のレベルを変えた場合の測定装置の出力信号をレコーダに記録させる方法をとった。

図 1 信号強度測定装置

送信源に使用するレーダ装置のアンテナには、橋梁の所定の位置に向け易いように、見通し線をつけた。またこのレーダ装置のアンテナはスロット・アンテナなのでオフ・ボア・サイト・アングル(注)を実測して補正した。

2.2 測定方法

これらの装置を使用して、橋梁の反射パターンを測定する方法は、次の手順による。

(i) 送信源のアンテナを、正確に橋梁の所定の位置に向けさせる。

(ii) 受信装置を搭載した実験船は橋軸線と平行に航行させ、連続して反射波を受信し、その強度をペン・レコーダに記録させる。

(iii) 1分間毎に受信船の船位を測定させる。

以上の手順によるが、測定結果の解析には、ペン・レコーダの記録とその時の船位との照合が重要なので、1分間毎の船位測定の指令にあわせて、

(i) 交差方位法

(ii) レーダ電波が照射されている橋梁の位置を受信船から撮影する方法

(iii) 実験水域全体を付近の山の頂上から撮影する方法

(iv) 船位測定の指令した時間を逐次ペン・レコーダの記録紙にマークする方法を同時に実施した。

bistatic 反射パターンの測定にあたっては、レーダ電波が照射されている位置から、距離をかえて、いくつかの同心円の円周上において、反射波の強度を測定することが望ましいが、この方法は実験船の操船が困難である。ここでは実験船を橋軸線と平行に航行させるため、レーダ電波の反射点と受信位置との距離が、実験船の航行にともなって変化する。伝播距離の変化による反射波の強度の変化は、伝播距離差による減衰量を補正することとした。

3. 大島大橋におけるレーダ反射パターンの実測

3.1 実測方法

昭和 52 年 5 月 4~7 日、山口県大島瀬戸に架橋されている大島大橋(図 2a 参照)を測定対象に選定して、レーダ反射パターンを実測した。送信源とするレーダ装置のアンテナは正確に所定の位置に向けさせる必要があるため、送信源の実験船(T)は、大島町の旧国鉄棧橋脇に停泊させた。送信源としたレーダ装置の要目は表 1 に示した。

大島大橋にレーダ電波を照射する位置としては 7 カ所を選定し、図 2a の中に示した。

測定装置を搭載した実験船(R, 230G/T, 四翼一体かく乱型コルトノズルプロペラ使用)を、図 2b に示したように配置して、反射パターンの実測を実施した。

実験水域は、潮流が早いので、実験船Rは左右に流され易いので、操船目標として重視線が得やすく、かつ、橋軸線と平行となることを航行させた。

3.2 反射パターンの測定

図 2a の中に示した各反射点に、レーダ電波を

図 2 大島大橋の照射点の位置

(注) オフ・ボア・サイト・アングル: スロット・アンテナのビーム中心は、アンテナ開口面の垂直軸よりも若干ずらしている。このずれ角をいう。これはスロット・アンテナの性能(アンテナ・パターン)を向上させるために行なわれている。

表 1 送信源としたレーダの要目

項 目	測 定 値
送 信 周 波 数	9.378
空中線電力 (尖頭値)	6.0 kW
パ ル ス 幅	0.08 μ s
パルス繰り返し周波数	800 Hz
垂 直 ビ ー ム 幅	25°*
水 平 ビ ー ム 幅	1.8°*
ア ン テ ナ 高 さ	12.8m
型 名	古野電気製 FR-151G型

* 型録による。

ム幅 θ の関係を実験結果から求めるための資料とした。

3.3 直接波の受信

反射波の受信強度を測定する実験の他に、同じ経路長だけ伝播させた場合の直接波の受信電力を測定する実験を実施した。

この実験は送信源の実験船 T を大島商船高等専門学校の専用岸壁に着岸させ、長い直線距離と広い実験海域が得られる方向にレーダのアンテナを向けさせて実施した。受信測定用の実験船 R は、0.5 mile から 3 mile ま

照射した場合の反射パターン測定の結果から、B 点に関するものを一例として、図 3 および図 4 に示した。図 4 は縦軸に反射波の受信強度、横軸には反射角度と反射点からの距離を示している。なお、この図 4 ではまだ距離差による伝播減衰量の補正はなされていない。

反射波の強度測定は、受信位置のわずかな差や海面反射の影響による位相干渉のため、測定記録結果に変化があらわれるので、各反射点について 5~16 回の繰り返し実験から一般的な傾向として求めるように考慮した。

測定記録結果の中には、他船のレーダ干渉を受けたものがあつたが、それらの測定結果は除去した。各反射点にレーダ電波を照射したときの反射パターンの特性を、入射角 θ_i と反射波の最大受信電力 $P_{r\max}$ および入射角 θ_i と反射ビー

図 3 反射パターン観測状況 (反射点: B)

図 4 実測反射パターン (反射点: B)

でにわたって 0.5 mile 毎に、直接波の受信強度を測定した。また、実験船Tのレーダ・アンテナを回転させておき、実験船Rに連続的に最大値を測定記録させる実験を行ない、図5に示す測定結果を得た。

4. 大島大橋におけるレーダ反射断面積の実験式

4.1 実測データの処理

大島大橋からの反射パターンは、図4で示したようにきわめて振幅変化が大きく、不規則な変化をしているようであるが、橋の部材や構造から推察すると、いくつかの特徴的なパターンを見い出すことができる。まず、パターンの微細なところでは概

周期的なスパイク状のパターンが $0.05^\circ \sim 0.1^\circ$ のビーム幅となっていることから、これは主として橋梁の縦材アレイによる反射パターンと考えられ、またこれらが実験船Tのレーダ・アンテナのビーム幅の 2° より広い範囲にわたって広がっているのは、鏡面反射波以外に多重反射や散乱波を多く含むためと思われる。このような反射パターンの微細構造はわずかな状況の変化、例えば船の位置が数 m 変化しただけでも大きく変わるものであるから、これらの変化よりもむしろ図4の破線で示したような平滑化された曲線が反射点の特性を把握するうえで重要となる。

この平滑化された反射パターンを図6の実線で示す。ここで、受信電力 P_r は実験船Rを大島大橋の橋軸線と平行に移動させて得た値であるので、真の反射パターンを得るためにはさらに反射点 (B 点) を中心とする同心円上における受信強度 $P_{r'}$ に換算しなければならない。これは次式のように距離補正を行えば良い。

$$P_{r'} = P_r + 10 \log \left(\frac{R_2}{R_{2m}} \right)^2 \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

ただし、 P_r は反射点 (B 点) と実験船Rとの距離が R_2 のときの受信電力であり、 R_{2m} は P_r が最大になるときの距離とする。

距離補正後の反射パターン $P_{r'}$ は図6に破線で示した。この $P_{r'}$ より反射パターンの電力半値幅 $\theta_{-3\text{dB}}$ が求められ、図6の例では $\theta_{-3\text{dB}} \approx 3^\circ$ である。なお、この例では反射パターンの最大点は鏡面反射点方向 ($\theta_r = \theta_i = 27^\circ$ の方向) より約 7° ずれているのが認められる。他の実測例でも鏡面反射点方向が必ずしも反射パターンの最大点にはならなかった。

図6 平滑化した反射パターン

図5 直接波受信電力

これは橋梁の構造が簡単ではなく、また部材による反射が散乱波となり複雑な位相干渉をすることに起因すると考えられる。

4.2 受信電力からレーダ反射断面積の換算方法

図6の反射パターンは受信電力で表現されているが、これは実験船Tのレーダ諸元 (送信電力 P_T , アンテナ利得 G_T) に依存する量である。一方、橋の反射特性は測定に使用したレーダの性能には無関係な量で表現することが望ましいので、大島大橋に固有の量として表現できる bistatic レーダ反射断面積 σ_b (θ_i, θ_r) を求める。実験で

観測された受信電力 P_r から $\sigma_b(\theta_i, \theta_r)$ を求める方法は次の 2 通り考えられる。

(a) bistatic レーダ方程式

$$P_r = \frac{P_T \cdot G_T \cdot \sigma_b(\theta_i, \theta_r) \cdot A_R}{(4\pi)^2 \cdot R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (2)$$

から直接求めるもので、反射波受信電力 P_r を計測して

$$\sigma_b(\theta_i, \theta_r) = \frac{(4\pi)^2 R_1^2 \cdot R_2^2}{P_T \cdot G_T \cdot A_R} \quad (3)$$

より計算する方法。

(b) 式 (3) の P_r を求めたときの経路長 $(R_1 + R_2)$ と等距離における直接波の受信電力

$$P_d = \frac{P_T \cdot G_T \cdot A_R}{4\pi(R_1 + R_2)^2} \quad (4)$$

をあらかじめ実測しておき、式 (2) との比較により求める方法で

$$\frac{P_r}{P_d} = \frac{\sigma_b(\theta_i, \theta_r) \cdot (R_1 + R_2)^2}{4\pi R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (5)$$

より、

$$\begin{aligned} \sigma_b(\theta_i, \theta_r)[dB] &= 10 \log \left\{ 4\pi \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 \frac{P_r}{P_d} \right\} \\ &= P_r[dBm] - P_d[dBm] + 10 \log \left\{ 4\pi \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

(ただし $\sigma_b(\theta_i, \theta_r) = 1 \text{ m}^2$ のとき 0 dB とする)

両者の方法を比較すると、前者は使用したレーダの諸元を正確に知る必要があるのに対し、後者の方法はその必要がなく、橋による反射波と直接波との受信電力比だけで求められるので、この方法を採用することにした。

実験船 T からの直接波受信電力 P_d の実測値はすでに図 5 で示した。この図 5 からわかるように、実測値は海面反射波の影響を受けて干渉パターンを呈しており、このままでは式 (6) に適用できないので、図 5 の中に折線で示した平均値曲線を用いることとした。

図 6 の反射パターン P_r' を前期の方法 (b) を用いてレーダ反射断面積 $\sigma_b(\theta_i, \theta_r)$ に換算すると図 7 が得られる。

4.3 橋の等価矩形反射

横幅が a である 矩形物標の bistatic レーダ反射断面積 $\sigma_b(\theta_i, \theta_r)$ は次式で表わせる。

$$\sigma_b(\theta_i, \theta_r) = \sigma_0(\theta_i) \left[\frac{\sin \{K_0 \cdot a \cdot (\theta_r - \theta_i)\}}{K_0 \cdot a \cdot (\theta_r - \theta_i)} \right]^2 \quad (7)$$

$$\left(K_0 = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \lambda = \text{波長} \right)$$

図 7 bistatic レーダー反射断面積の実測値と等価矩形物標による計算値との比較

なお、上式は平滑化すると、 $K_0 \cdot a |\theta_r - \theta_i| \geq \pi/2$ の範囲では

$$\sigma_b(\theta_i, \theta_r) \doteq \sigma_D(\theta_i) \frac{1}{\{K_0 \cdot a \cdot (\theta_r - \theta_i)\}^2} \quad (8)$$

で近似できる。

平滑化した曲線式 (8) を、適当な a に対して図 7 の中に描いてみると、よく一致するのがわかる。このことから、反射点（この例では B 点）における橋梁を便宜上等価的な一枚の矩形物標で置き換えれば、複雑な反射点の特性は近似的に 2 つのパラメータ、すなわちレーダ反射断面積の最大値 $\sigma_0(\theta_i)$ ($\theta_r = \theta_i$ のときの $\sigma_b(\theta_i, \theta_r)$) および等価矩形物標幅 a_e とで表現できることになる。

a_e については、図 7 の実測値から -3dB となる角度幅 $\theta_{-3\text{dB}}$ を読み取り、これを (7) 式に代入すると、 $a = a_e$, $\theta_r - \theta_i = \theta_{-3\text{dB}}/2$ とおいて、

$$\left[\frac{\sin(K_0 \cdot a_e \cdot \theta_{-3\text{dB}}/2)^2}{K_0 \cdot a_e \cdot \theta_{-3\text{dB}}/2} \right] = \frac{1}{2} \quad (9)$$

となるので、上式から等価矩形物標幅 a_e が求められる。すなわち、上式を満たす a_e は

$$K_0 \cdot a_e \cdot \theta_{-3\text{dB}}/2 = 1.39 \quad (10)$$

であるから

$$a_e = 2.78 \frac{\lambda}{2\pi \cdot \theta_{-3\text{dB}}} \quad (11)$$

で計算される。

図 7 の例では $\theta_r = 34^\circ$ のとき、 $\sigma_0(\theta_i) = 69.6\text{dB}$ であり、 $\theta_{-3\text{dB}} = 3^\circ$ であるから、 $a_e = 27\text{cm}$ となる。

5.4 大島大橋のレーダ反射断面積の実験式

前項の考察により、複雑な構造をもつ橋梁でも、その bistatic レーダ反射断面積 $\sigma_b(\theta_i, \theta_r)$ は 1 枚の等価矩形物標で近似的に置き換えることができ、その反射特性は最大値 $\sigma_0(\theta_i)$ と等価矩形物標幅 a_e とを決定すれば表現できる。これら 2 つのパラメータを算出するためのデータ処理の方法を図 8 に示す。

この処理方法によって、他の反射点についても同様に実施して求めた。実測データ数は表 2 に示されているが、同じ反射点からの反射パターンでも測定毎にかなりバラツキが認められたので、 $\sigma_0(\theta_i)$, a_e に対してはそれらの平均値で表わすことにする。

まず、 $\sigma_0(\theta_i)$ は P_r の最大値 $P_{r\text{max}}$ から式 (6) を用いて求められる。 $P_{r\text{max}}$ の分布は図 9 のようになり、その平均値から計算した $\sigma_0(\theta_i)$ を図 10 に示す (Δ 印)。図 10 から $\sigma_0(\theta_i)$ は入射角 θ_i が大きくなると増加する傾向にあることが明らかとなった。この傾向を θ_i の一次関数で近似すると、実験式として次式が得られる。

$$\sigma_0 = \frac{4}{9} \theta_i + 50 \text{ [dB]} \quad (12)$$

この式は大きめに見積るために B 点と E 点を結ぶ直線で表わしたものである。

次に、等価矩形物標幅 a_e は図 11 の電力半値幅 $\theta_{-3\text{dB}}$ より式 (11) を用いて計算される。結果を図 12 に示す。図 11 から電力半値幅 $\theta_{-3\text{dB}}$ は入射角 θ_i が大きくなるにつれて横幅の広い物標と等価になることがわかった。この傾向を 2 次関数で近似すると、

$$a_e = 0.022\theta_i^2 - 0.83\theta_i + 13.2 \text{ [cm]} \quad (13)$$

が実験式として得られる。この近似はやや粗いが、データのバラツキから判断すると、これで十分であると考えられる。

なお、橋の反射点を図 13 のような等価矩形物標とみたときの長さ b_e は

$$\sigma_0 = \frac{4\pi}{\lambda^2} (a_e \cdot b_e)^2 \quad (14)$$

図 8 実測データの処理手続

表 2 反射パターンの実測結果

反 射 点	A	B	C	D	E
入 射 角 θ_i	19.4°	37°	40.5°	49°	53°
R_1 (m)	656	700	795	897	984
照 射 幅 (m)	34	27	36	48	57
デ ー タ 数	3	10	4	6	4
$P_{r \max}$ (dBm)	-43	-37	-36	-39	-31
θ_{-3dB}	11.7°	7.7°	6°	2.7°	2°
$\sigma_0(\theta_i)$ (dB)	53.8	61.6	65.5	65.4	73.0
a_e (cm)	6.9 (5.4)	10.5 (8.4)	13.5 (10.8)	30.0 (24.0)	40.5 (32.0)
b_e (m)	64.8	103.8	126.5	51.8	99.5

注 a_e の () 内は図 10 の値。 $P_{r \max}$ 以下 b_e までは平均値。

図 9 大島大橋における入射角 θ_i と最大反射波受信電力 $P_{r \max}$ との関係

から,

$$b_e = \frac{\lambda}{a_e} \sqrt{\frac{\sigma_0}{4\pi}} \quad (15)$$

で求められる。 σ_0 として図 10 を, また a_e として図 12 を参照して求めた大島大橋の各反射点における等価矩形物標を図 10 に示しておいた。ただし, b_e はかなり大きくなるので数本に分割して示した。等価物標を n 本に分割したとき, 実測のレーダ反射断面積を σ_0 とすると, 一般に

$$\sigma_0 = \left| \sum_{i=1}^n \sqrt{\sigma_i} e^{j\phi_i} \right|^2 \leq \left| \sum_{i=1}^n \sqrt{\sigma_i} \right|^2 \quad (16)$$

となる。 σ_0 として最大値をとることにして, n 本とも同じ σ とすると

$$\sigma_0 = |n\sqrt{\sigma}|^2 = n^2\sigma \quad (17)$$

図 10 大島大橋のレーダー反射断面積

図 11 大島大橋の反射パターンより求めた電力半値幅

$$\therefore \sigma = \frac{1}{n^2} \sigma_0 \quad (18)$$

となる。

σ を $a_e \times b$ の矩形物標とすると

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} (a_e \cdot b)^2 = \frac{1}{n^2} \sigma_0 \quad (19)$$

より

$$b = \frac{1}{n} \cdot \frac{\lambda}{a_e} \sqrt{\frac{\sigma_0}{4\pi}} = \frac{1}{n} b_e \quad (20)$$

となる。

図 12 大島大橋における等価物標幅の変化

図 13 等価矩形物標

以上の方法により、大島大橋のレーダ反射断面積は実測により (12) と (13) で特徴づけられた。これらの実験式を適用すれば、他の反射点においても、任意の入射角でのレーダ反射断面積が近似的に求められる。

6. ま と め

- (1) 複雑な構造をもつ橋梁でも、その bistatic・レーダ反射断面積 $\sigma_b(\theta_i, \theta_r)$ は 1 枚の等価矩形物標で置き換えることができ、その反射特性は最大値 $\sigma_0(\theta_i)$ と等価矩形物標幅 a_e とを定めれば表現できる。
- (2) 大島大橋については、入射角 θ_i の 1 次関数で、反射断面積の最大値 $\sigma_0(\theta_i)$ とすると、 $\sigma_0(\theta_i) = 4/9\theta_i + 50$ [dB] の実験式を得た。
- また、等価矩形物標幅 a_e についても、 $a_e(\theta_i) = 0.0022\theta_i^2 - 0.83\theta_i + 13.2$ (cm) の実験式を得た。
- (3) 入射角 θ_i に関するレーダ反射断面積の最大値と等価矩形物標幅の実験式を求めたことで、橋梁の任意の反射点で任意の入射角に対する反射特性を知ることができる。
- (4) このような測定を重ねることにより、任意の橋の bistatic・レーダ反射断面積を求めることができるので、橋による偽像の解析やシミュレーション等に役立てることができる。
- (5) 今回の測定では垂直面の反射特性の測定はできなかったが、今後は垂直面の反射特性の測定について検討する必要がある。

謝 辞

この調査研究は、昭和 52 年度に日本海難防止協会が本州四国連絡橋公団から受託した架橋が船用レーダ映像に及ぼす影響調査のうちの一部として実施したものである。大島大橋の調査にあたって御配慮を頂いた日本道路公団の関係各位、測定にあたって協力して頂いた大島商船高等専門学校の中島裕教授および実験にあたり協力して頂いた多くの関係者に深甚なる感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) G.T. Ruck: "Radar Cross Section Handbook", Vol. 1, p.p. 11.