

長大橋梁の電磁遮へい係数の評価方法：特に、関門橋実験結果への適用について

HIDA, Fumio / Miyashita, Kazuo / 宮下, 一雄 / 肥田, 文夫

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

14

(開始ページ / Start Page)

41

(終了ページ / End Page)

48

(発行年 / Year)

1978-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004174>

長大橋梁の電磁遮へい係数の評価方法

——特に、関門橋実験結果への適用について——

肥田文夫*・宮下一雄**

A Method of Estimating Magnetic Shielding Factor for a Long Bridge

——Especially, Applying to Actual Measurements on
Kanmon Bridge in Japan——

Fumio HIDA* and Kazuo MIYASHITA**

Abstract

A method of estimating magnetic shielding factor for a long bridge is defined which is obtained good agreement between estimation and actual measurements.

A bridge is considered as parallel multiconductors and each conductor is a cylindrical one which has same periphery and same position with a cord member of the bridge.

This estimation is compared with actual measurements on Kanmon bridge which is about 1,000 meters long on the channel between Shimonoseki and Moji in Japan.

Shielding factor of a bridge may therefore be equivalent to that of cylindrical multiconductors.

In this consideration earthing resistance of the bridge piers appears zero ohm.

§1. 緒 言

電力線と通信線の共存する場合には、常に両者間に生ずる誘導障害の問題を検討しなければならないことは、多年の懸案課題であり、基本的には解明された事項が殆んどではあるが、相互に新しい設備または環境の変化により、細部の点において再検討を必要とされる場合が生じることとはしばしばである。近年における送電々圧の昇圧もその一つであるが、また海峡横断の長大橋梁の建設により、橋梁上に送電線と通信線が併置される場合が考えられ、橋梁の持つ電磁遮へい効果を解明しておくことは、誘導障害調整に極めて重要な課題である。

この問題に対し、一昨年、電力通信関係者の協力において、関門橋（下関一門司間）を対象とし現地実験が行われ、その結果が報告¹⁾されたが、これにより関門橋に対しての電磁遮へい係数

* 大学院電気工学専攻

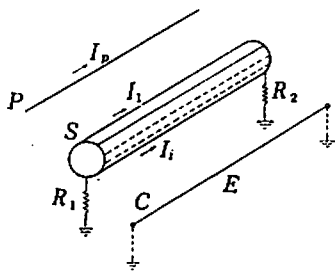
** 電気工学科教授

を知ることができたものの、これを敷えんして一般に適用できるためには、実験結果に対する理論的解明が必要であり、次には遮へい係数評価の公式を設定する必要がある。

本論文は橋梁のもつ電磁遮へい係数について、理論的に考察を行い、これを前記関門橋の実験結果に適用を認め、計算と実験とがほぼ一致することを示したものである。

§ 2. 理 論²⁾

図1に示される平行多導体系において、 P を電力線、 C を通信線、 S を接地された遮へい導体とする。 S は i 本の平行線条よりなり、その両端で一括して接地抵抗 R_1 および R_2 で接地されているとする。全長は l である。これらの導体に流れる電流を I_n 、自己インピーダンスを Z_{nn} 、相互インピーダンスを Z_{mn} とすると、遮へい導体を流れる電流の間に、電磁誘導の理論により、式(1)の関係が成り立つ。



第1図

$$\begin{pmatrix} Z_{11}' & Z_{12}' & \cdots & Z_{1i}' \\ Z_{21}' & Z_{22}' & \cdots & Z_{2i}' \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{i1}' & Z_{i2}' & \cdots & Z_{ii}' \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} Z_{1p} \\ Z_{2p} \\ \vdots \\ Z_{ip} \end{pmatrix} I_p \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし } Z_{ii}' &= Z_{ii} + Re, \quad Z'_{ij} = Z_{ij} + Re \\ Re &= \frac{1}{l} (R_1 + R_2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

また通信線 C の単位長さ当り誘起する電磁誘導起電力を、 E とすると、

$$E = I_p Z_{pc} + I_1 Z_{c1} + I_2 Z_{c2} + \cdots + I_i Z_{ci} \quad (3)$$

遮へい体 S の電磁誘導遮へい係数を λ とすると、遮へい係数の定義により、

$$\lambda = \frac{\text{遮へいのある場合の誘起電力 } E}{\text{遮へいのない場合の誘起電力 } I_p Z_{pc}} \quad (4)$$

以上の諸式より、 λ を求めると式(5)のマトリックス式により表わすことができる。

$$[1 - \lambda] = \frac{1}{Z_{pc}} [Z_{c1} \quad Z_{c2} \quad \cdots \quad Z_{ci}] \cdot \begin{pmatrix} Z_{11}' & Z_{12}' & \cdots & Z_{1i}' \\ Z_{21}' & Z_{22}' & \cdots & Z_{2i}' \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{i1}' & Z_{i2}' & \cdots & Z_{ii}' \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} Z_{p1} \\ Z_{p2} \\ \vdots \\ Z_{pi} \end{pmatrix} \quad (5)$$

さて橋梁についてみると、橋梁を遮へい導体とみなし、橋梁を構成する弦材をその本数に対応して i 本の導体に置きかえ、これが橋脚において大地に対し、 R_1 および R_2 の接地抵抗によって接地されるものと考えれば、前記理論をそのまま適用して遮へい係数を求めることができる。

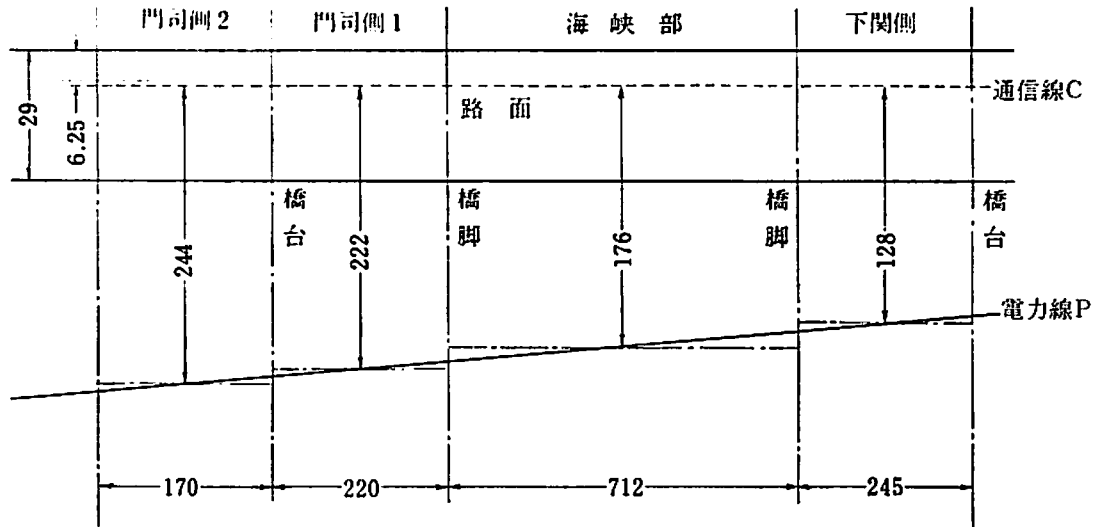
§ 3. 関門橋の検討

ここでは通信線が橋梁上にあり、電力線が遠方にある場合の検討を関門橋モデルとして述べ、

実験結果¹⁾との比較をする。

3.1 関門橋関連位置概略図

計算上, 第2図に示すように関門橋を四つの部分, 下関側, 海峡部, 門司側1, 門司側2, に分けて検討した。電力線Pは橋梁と平行していないが, これら四つの各部において通信線Cと電力線Pとの平均水平距離を考えた。



第2図

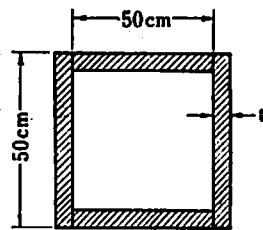
3.2 弦材およびケーブルに関する検討

3.2.1 弦材

弦材は第3図に示すように四枚の鉄板で囲まれた中空導体である。したがって, 内部インピーダンスは中空導体として求めるべきであるが, skin depth δ [mm]を計算すると,

$$\delta = 1.186 \text{ [mm]}$$

ただし, 比透磁率 $\mu_s = 300$, 周波数 $f = 60 \text{ Hz}$, 導電率 $\kappa = 10^7 \text{ [}\Omega/\text{m]}$ とする, となる。これは第1表の厚さ t [cm] 比べて十分小さい (1/10以下) ので充実導体として扱ってもかまわない。



第3図

第1表 弦材の厚さ

	t [cm]
側径間上弦材	1.6
" 下弦材	1.6
中央径間上弦材	1.6, 1.8, 2.0
" 下弦材	1.6, 1.9

第3図と第1表とにより弦材の外周に等しい円柱導体の平均の半径を求めると

$$a_1 \doteq 0.33 \text{ [m]}$$

となり, このときの内部インピーダンスは

$$z_{11} = 0.0407 + j0.0407 \text{ [}\Omega/\text{km]}$$

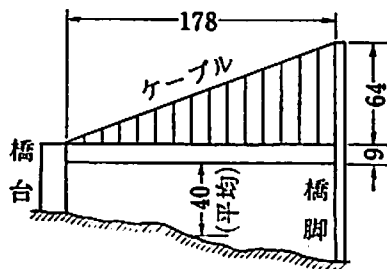
3.2.2 ケーブル

ケーブルは半径 $a_2=0.332$ [m] の円柱導体であり, μ_2 および κ は弦材と同じとする。このときの内部インピーダンスは次のようになる。

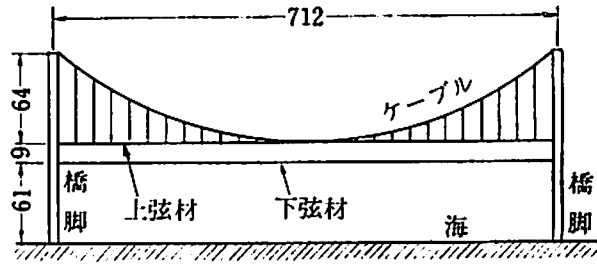
$$z_{i2}=0.0404+j0.0404 [\Omega/\text{km}]$$

次にケーブルの高さに関する検討を行う。

第4図および第5図にそれぞれ側径間および中央径間の概略図を示す。



第4図



第5図

側径間ではケーブルは直線とみなすことができ平均の高さは第4図より考えて,

$$64 \div 2 + 9 + 40 = 81 \text{ [m]}$$

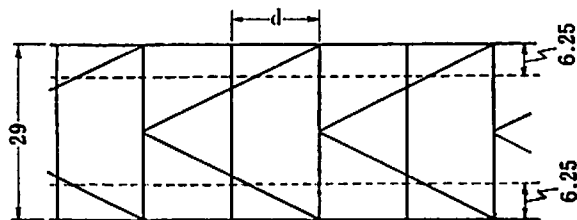
中央径間ではカタナリーで求める必要があるが, ここでは放物線として扱う。第5図より考えて,

$$64 \div 3 + 9 + 61 = 91.33 \text{ [m]}$$

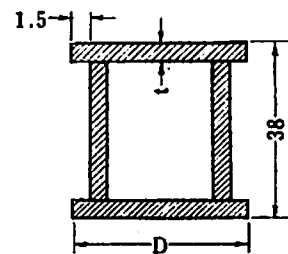
となる。

3.3 上下横構および斜材に関する検討

第6図(a)は上下横構の平面図であり, (b)は一本の断面図である。これを3.2.1で述べたような



(a) 単位m

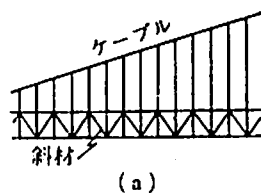


(b) 単位cm

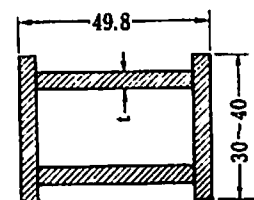
第6図 上下横構

第2表 上下横構の寸法

	側径間	中央径間
d [m]	10.5	10.35
t [mm]	9, 10	11~22
D [cm]	36	38



(a)



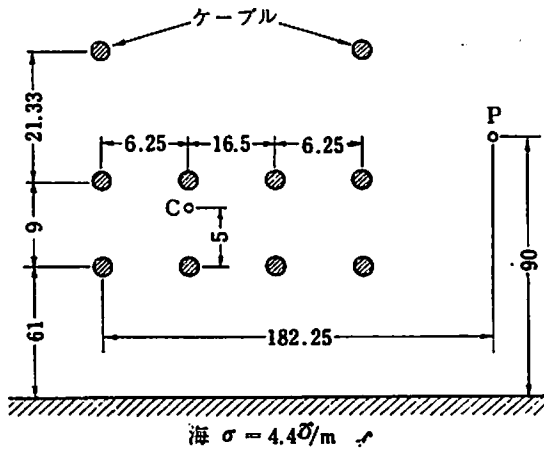
(b) 単位cm

第7図

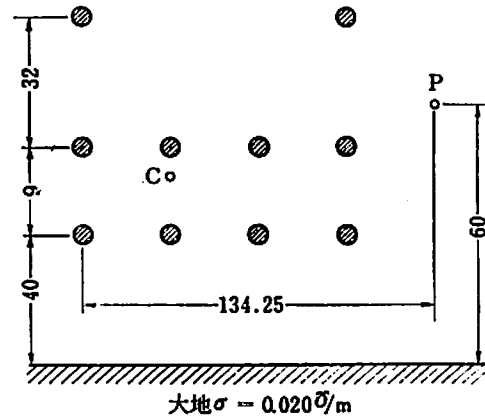
方法で円柱導体を求めると、半径は25cmとなる。しかしこれに第7図に示す斜材をも含めた意味での導体として、第6図(a)の破線部に弦材と同半径33cmの円柱導体を置くことにする。

3.4 導体配置

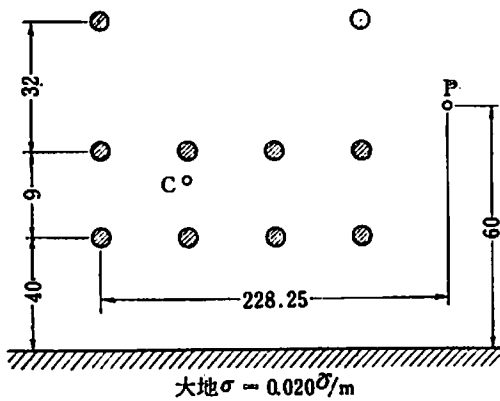
各導体の配置は第2図に示した四つの部分に分けて考えることにする。第8図は海峡部、第9図は下関側、第10図は門司側1、第11図は門司側2の導体配置図である。ここで第11図の門司側2には橋梁は存在せず、電力線Pと通信線Cとだけが存在していることに注意を要する。



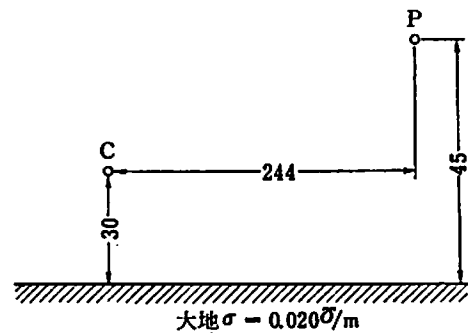
第8図 海峡部導体配置



第9図 下関側導体配置



第10図 門司側1導体配置



第11図 門司側2導体配置

3.5 計算結果

橋脚および橋台の接地抵抗 Re を $0[\Omega/\text{km}]$ とした場合の各部の結果を第3表に示す。この表の被誘導電圧を用い、総合の遮へい係数 λ_0 、橋梁の遮へい係数 λ_b 、海水の遮へい係数 λ_s および大地上に橋梁が存在する場合の橋梁の遮へい係数 λ_b' を次のように定義する。

$$\lambda_0 = \frac{\text{橋梁・海水とも存在する場合の被誘導電圧}}{\text{橋梁が存在せず海水の代わりに大地が存在する場合の被誘導電圧}}$$

$$= \frac{l_1 z_1 \lambda_1 + l_2 z_2 \lambda_2 + l_3 z_3 \lambda_3 + l_4 z_4}{l_1 z_1' + l_2 z_2 + l_3 z_3 + l_4 z_4} \quad (6)$$

第3表 $Re=0$ [Ω/km] のときの各区間の計算値

区 間	x_{cp} [m]	h_p [m]	h_c [m]	l [m]	σ [U/m]	Z_{pe} [Ω/km]	各区間ごとの λ	被誘導電圧 $Z_{pe}\lambda$ [V/A·km]				
海峡部	176	90	60	l_1	712	4.4	Z_1	$0.006672 + j0.02782$	λ_1	$0.043686 \angle -14.9^\circ$	$Z_1\lambda_1$	$0.0005934 + j0.00100$
下関側	128	60	45	l_2	245	0.02	Z_2	$0.04862 + j0.1278$	λ_2	$0.032709 \angle -8.66^\circ$	$Z_2\lambda_2$	$0.002202 + j0.003893$
門司側1	222	60	45	l_3	220	0.02	Z_3	$0.04584 + j0.08834$	λ_3	$0.034202 \angle -8.91^\circ$	$Z_3\lambda_3$	$0.002017 + j0.002742$
門司側2	244	45	30	l_4	170	0.02	Z_4	$0.04651 + j0.07902$	この区間には橋梁は存在せず	Z_4	$0.04651 + j0.07902$	
海峡部 (大地が 存在)	176	90	66	l_1	712	0.02	Z_1'	$0.04463 + j0.1090$	λ_1'	$0.033193 \angle -9.55^\circ$	$Z_1'\lambda_1'$	$0.002061 + j0.003322$

x_{cp} ; c と p との水平距離, h_p, h_c ; p および c の高さ
 l ; 曝露長, σ ; 大地導電率, Z_{pe} ; c と p との相互インピーダンス

$$\lambda_b = \frac{\text{橋梁・海水とも存在する場合の被誘導電圧}}{\text{橋梁のみが存在しない場合の被誘導電圧}}$$

$$= \frac{l_1 z_1 \lambda_1 + l_2 z_2 \lambda_2 + l_3 z_3 \lambda_3 + l_4 z_4}{l_1 z_1 + l_2 z_2 + l_3 z_3 + l_4 z_4} \quad (7)$$

$$\lambda_s = \frac{\text{橋梁のみが存在しない場合の被誘導電圧}}{\text{橋梁が存在せず海水の代わりに大地が存在する場合の被誘導電圧}}$$

$$= \frac{l_1 z_1 + l_2 z_2 + l_3 z_3 + l_4 z_4}{l_1 z_1' + l_2 z_2 + l_3 z_3 + l_4 z_4} \quad (8)$$

$$\lambda_b' = \frac{\text{大地上に橋梁が存在する場合の被誘導電圧}}{\text{大地のみが存在する場合の被誘導電圧}}$$

$$= \frac{l_1 z_1' \lambda_1' + l_2 z_2 \lambda_2 + l_3 z_3 \lambda_3 + l_4 z_4}{l_1 z_1' + l_2 z_2 + l_3 z_3 + l_4 z_4} \quad (9)$$

接地抵抗 Re を変化して(6)~(9)式で各遮へい係数を求めると第4表のようになる。

第4表 Re パラメータの遮へい係数

Re [Ω/km]	λ_0	λ_b	λ_s	λ_b'
0.0	$0.1185 \angle -7.048^\circ$	$0.2016 \angle -8.136^\circ$	$0.5878 \angle 1.088^\circ$	$0.1307 \angle -7.319^\circ$
0.002	$0.1199 \angle -8.753^\circ$	$0.2041 \angle -9.841^\circ$	$0.5875 \angle 1.088^\circ$	$0.1328 \angle -9.728^\circ$
0.004	$0.1215 \angle -10.40^\circ$	$0.2068 \angle -11.49^\circ$	$0.5875 \angle 1.090^\circ$	$0.1353 \angle -12.04^\circ$
0.006	$0.1233 \angle -11.99^\circ$	$0.2098 \angle -13.07^\circ$	$0.5877 \angle 1.080^\circ$	$0.1379 \angle -14.24^\circ$
0.008	$0.1251 \angle -13.51^\circ$	$0.2130 \angle -14.60^\circ$	$0.5873 \angle 1.090^\circ$	$0.1409 \angle -16.34^\circ$
0.010	$0.1272 \angle -14.96^\circ$	$0.2164 \angle -16.05^\circ$	$0.5878 \angle 1.090^\circ$	$0.1441 \angle -18.32^\circ$

3.6 検 討

3.6.1 等価導体と遮へい係数

関門橋実測報告¹⁾によると、電力線の高さ $h_p=60\text{m}$ のとき、

$$\lambda_0=0.104, \lambda_b=0.186, \lambda_s=0.561$$

となっている。また $h_p=80\text{m}$ のとき、

$$\lambda_0=0.10, \lambda_b=0.18, \lambda_s=0.58$$

となる。われわれの計算はなるべく実情に近い値として、 $h_p=90\text{m}$ とし第4表の Re が $0[\Omega/\text{km}]$ の場合に示したように、これらの結果とはほぼ一致した値が得られている(1%程度の差)。

したがって、被誘導電圧は橋梁によって約1/5に、海水によって約1/2に軽減されており、橋梁を等価円柱導体に置き換えるならば第8図~第10図に示したような10本の導体が考えられる。ただし橋脚および橋台の接地抵抗 Re は $0[\Omega/\text{km}]$ とした場合である。

3.6.2 海水の遮へい係数

海水の遮へい係数 λ_s は(8)式のように定義すると、これは橋梁には無関係で約 $0.588 \angle 1.09^\circ$ になることが第4表からわかる。すなわち電力線および通信線の位置だけに関係している。

3.6.3 接地抵抗 Re

等価導体を10本とすれば、接地抵抗 Re が $0[\Omega/\text{km}]$ のとき各遮へい係数は実測値とはほぼ一致しているわけだが、仮りに等価導体の数をさらに増加して考えるとすれば、これを実測値と一致させるためには接地抵抗 Re をも含めた計算が必要となってくる。

3.6.4 大地上に橋梁が存在する場合の遮へい係数 λ_b'

定義式から考えて、この λ_b' の定義式は λ_0 の定義式に近い((6)式と(9)式との相異は分子の $l_1 z_1 \lambda_1$ と $l_1 z_1' \lambda_1'$)。

したがって、計算値も λ_b より λ_0 に近い値が得られており、橋梁だけの遮へい効果は海面上より大地上に存在する方が大であることがわかる。しかし、海水の遮へい効果も考慮した遮へいということになると、海面上に橋梁が存在した方が遮へい効果は大となる。

このことを物理的に説明すると、海水より大地の方が電流が流れにくいため、大地上に橋梁が存在する場合に、その分だけ橋梁に多くの電流が流れるものと考えられる。したがって、海水が存在すれば海水にも電流が流れ、橋梁に流れる電流は大地上に橋梁が存在する場合の電流よりも少なくなり、橋梁自体の遮へい効果は低下すると考えられる。ただし橋脚・橋台の接地抵抗 Re は $0[\Omega/\text{km}]$ としての比較である。

なお、ここでいう電流というのは遮へい体に流れる電流、すなわち遮へい電流のことであり、これが大きいほど遮へい効果は大である。

§4. 結 言

本文では関門橋を例にとって橋梁および海水の遮へい効果を検討したが、このように橋梁の近傍または橋梁上に通信線あるいは電力線が敷設されることは今後さらに増えることと思われる。

したがって、そのような場合に橋梁および海水の遮へい効果をどの程度に見積るかという理論的予測が必要となってくる。このような意味でわれわれは橋梁を何本かの円柱導体で等価することの検討を行ってきた結果、そういった手法で電氣的に等価することができるという見通しを得たとともに、その遮へい効果はかなりすぐれていることがわかった。

今後の問題としては、橋梁といっても大規模なものから小規模なものまであり、その構造もさまざまである。したがって、その規模あるいは構造に合った等価方法を考えてゆかねばならないだろうし、橋脚および橋台の接地抵抗 Re (関門橋の場合は $Re=0[\Omega/\text{km}]$ とした) をどの程度に見積るべきかということも検討の必要があるだろう。

以上の計算は東大 HITAC 8800/8700 および法大 FACOM 230-45 S を使用した。

なおこの問題は、電気学会および電子通信学会協同の電磁誘導対策委員会に提出されたもので、本研究に対し、同委員会より種々御援助いただいたことを感謝します。また関門橋に関する図面等で御協力下さった法政大学土木工学科山下助教授に深く感謝します。

文 献

- 1) 宮崎, 橋本, 他:「橋梁添架通信線に対する海水と橋梁の電磁しゃへい効果」昭和 52 年電気学会全国大会予稿, No.1338
- 2) 肥田, 宮下:「等価円柱導体による橋梁の遮蔽係数の検討」昭和 52 年電気学会全国大会予稿, No. 1339
- 3) 日本道路公団, 関門建設所:「関門高速道路, 関門設計図集」