ISSN 0385-6844

有明工業高等専門学校紀要

第 57 号

令 和 4 年 2 月

Research Reports

of the

National Institute of Technology, Ariake College

No. 57

February 2022

Published by National Institute of Technology, Ariake College

Omuta, Japan

目　次

橋台側壁タイプウィング設計法に関する研究	金 田　一 男	1
AN ANALYTICAL STUDY ON THE FLEXURAL STRENGTH OF RETROFITTED RC COLUMNS SANDWICHED BY STEEL PLATES AND TIGHTENED BY PC BARS	Kazuo KANEDA Toshiki INABA Kozo NAKADA Mohammad Zahid NOORI Tetsuo YAMAKAWA	16
MHz 帯の電磁波に対する積乱雲及び降雨空間の有する等価誘電率の試算	南 部　幸 久	28
自然数累乗の和の公式の拡張	村 岡　良 紀	32
英語科教育にて思考力を鍛える:プレゼンテーション活動を通して	村 端　啓 介	36
有明高専における英語習熟度別授業(3年生)の分析と考察(2)	山 崎　英 司 Richard T. Grumbine 村 端　啓 介 村 田　和 穂	40
学寮における電子申請システムの構築	尋 木　信 一 松 尾　明 洋 野 口　欣 照 正 木　哲	45
「自然」の声を聴け ー英米文学作品における“Nature”をめぐってー(3)	村 田　和 穂	50
【学位論文要旨】 上代における憑依表現の研究―「カムガカリ」を中心に―	藤 崎　祐 二	66

有明工業高等専門学校紀要　第57号

橋台側壁タイプウィング設計法に関する研究

金田　一男

＜令和3年11月1日受理＞

A STUDY ON DESIGN METHOD OF WING–WALL OF BRIDGE ABUTMENT

KANEDA Kazuo

This paper shows a study on design method of wing-wall of bridge abutment based on Fourier series analytical method and finite element method. Because the proposed method is rested on the Fourier series analytical results, it is more rationality compared with the method shown by Specification for Highway Bridges-Part IV of Japan Road Association. It is not necessary to carry out the complicated analysis, because the bending moments and the shearing forces of the fixed sides of the wing-wall have been formulated in this paper. For the same reason, the proposed method is very effectively for the designers. Through the comparative study for the results of the proposed method and the method shown by Specification for Highway Bridges-Part IV , and carrying out the calculation of the ultimate strength of wing-wall designed by using the proposed method, the rationality and the safety of the proposed method is explained.

Ⅰ　はじめに

写真1に示すように，橋梁橋台に側壁タイプウィングがよく採用されている．現行の設計基準である道路橋示方書・同解説　下部構造編[1]（以下：「道示IV」と呼ぶ）においては，橋台側壁タイプウィングの設計法が示されている．しかし，この設計法は慣用的な方法（以下：「簡便法」と呼ぶ）であるため，設計が容易にできる反面，設計結果の不合理性もある．特に，ウィングの長さまたは高さが8m以上になると，設計が不経済になりやすく，二辺固定版として設計すべきと指摘されている[1]．しかし，土圧を受ける二辺固定版の構造解析が煩雑であるため，実務に使える二辺固定版の設計手法はないのが現状である[2]．

従来，「簡便法」においてウィングの鉛直と水平方向鉄筋の段落しを許容していたが[3]，兵庫県南部地震の地震被害の教訓を受け，道路橋下部工の設計に主鉄筋の段落しは行わない方針となっている[4]．このような基本方針に基づき，橋台側壁タイプウィングの設計においても段落しは行わないこととなっている[5]．このような設計手法の変遷に伴い，「道示IV」に示す「簡便法」は，ウィングの寸法と関係なく，不経済な設計になりやすい傾向があると推測される．従って，より合理的かつ実務設計者に使用しやすい設計手法の提案が必要であると考えられる．橋台側壁タイプウィング（写真1参照）は，橋台のフーチングと竪壁に一体化してコンクリートを打設し，フーチングおよび竪壁と比較してウィングの厚さが薄く，比較的に曲げ剛性が小さいことから，近似的に二辺固定版にモデル化することができる．

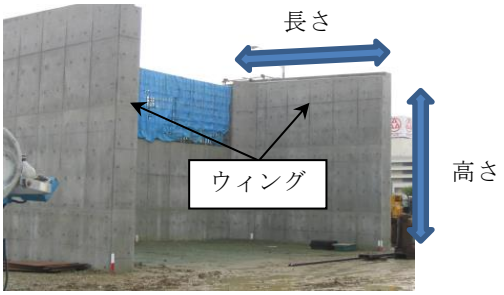


写真1　橋台側壁タイプウィングの実例

金田らは東らが提案したフーリエ級数による版の解析手法[6),7)]を拡張し，土圧を受ける二辺固定版の弾性解析（以下：フーリエ解析と呼ぶ）を行い，その解析結果に基づいて側壁タイプウイングの設計手法の提案を試みた[8)]．さらに，二辺固定版にひび割れが生じた後の塑性問題を取り上げ，土圧を受ける二辺固定版の終局耐荷力の計算方法を提案した[9)]．

以上の研究結果を踏まえ，本論文では，まずウィングに対する有限要素法[10)]（以下：FEM解析と呼ぶ）による解析結果とフーリエ解析結果との比較検討を行い，両解析法の解析結果の整合性を示した．次に，「簡便法」による計算結果とフーリエ解析結果を比較し，「簡便法」の設計上の問題点を示した．更に，フーリエ解析結果に基づき，ウィングの固定辺断面力（曲げモーメントおよびせん断力）の定式化を行い，それに基づいて橋台側壁タイプウィングの新しい設計法を提案した．その後に，新しい設計法の計算結果とフーリエ解

析結果の整合性を示した．提案した設計法は配筋がより合理的となり，鉄筋使用量も「簡便法」のものより減少する傾向となる．それに伴って施工性の向上も図れる．最後に，提案した設計法で設計したウィングの終局耐荷力の計算例を示し，作用土圧と比較した結果，十分な耐荷力を有していることが分かった．従って，提案した設計法の妥当性および安全性が担保されているものと判断している．

Ⅱ　橋台側壁タイプウィングの解析的検討

１．解析対象のモデルケース

表 1 および図 1 は解析対象ウィングのモデルケースおよび橋台側壁タイプウィングの形状と作用土圧を示す．通常，逆 T 式橋台の適用高さは 5.0～12.0m であるため[3]，そのフーチングの厚さを考慮してウィングの高さを 4.0～10.0m と設定した．また，ウィングの設計手法の提案を視野に置き，その幅 a と高さ b をそれぞれ表 1 のように設定した．なお，高さ b=10.0m，辺長比 $\lambda = b/a = 0.5$ のケースは，橋台側壁タイプウィングに対して非現実の寸法であるため研究対象外とした．

表 1　解析対象ウィングのモデルケース

ウィング高さ b(m)	辺長比 $\lambda = b / a$				
	0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
	ウィングの幅 a (m)				
4.0	8.0	6.0	4.0	3.0	2.0
6.0	12.0	9.0	6.0	4.5	3.0
8.0	16.0	12.0	8.0	6.0	4.0
10.0	－	15.0	10.0	7.5	5.0

２．ウィングの作用土圧

解析に際し，橋台側壁タイプウィングの裏込め土は，「道示 IV」に想定された砂および砂れきの土質条件を用い，その単位体積重量 γ=20kN/m^3，内部摩擦角 ϕ=30° とした．また，道路橋示方書・同解説耐震設計編[11]（以下：「道示 V」と呼ぶ）に規定された土圧の計算方法を適用し，常時にはクーロン土圧による主働土圧係数，レベル 1 地震時には修正物部・岡部の方法による主働土圧係数をそれぞれ算出した．さらに，常時においては，活荷重として上載荷重 q=10kN/m^2 を考慮した．

レベル 1 地震時の作用土圧の計算は，橋台の支持地盤種別とウィング自重による慣性力に関係するため，実務設計に最も適用の多い設計水平震度を用いた．即ち，地盤種別 I 種，II 種，III 種に対し，設計水平震度を k_h=0.20，0.25，0.30，ウィングの厚さを t=0.6，0.7，0.8m としてそれぞれ算出した．

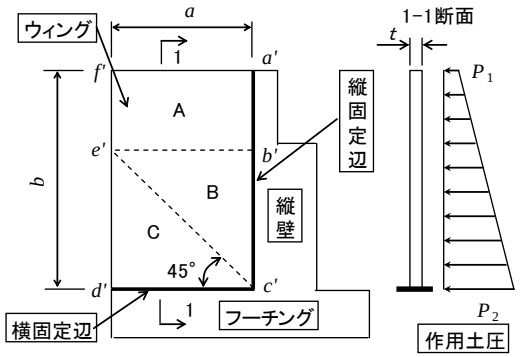


図 1　橋台側壁タイプウィングの形状と作用土圧

表 2　「道示 IV」に基づくウィングの作用土圧

高さ (m)	常時・レベル1地震時の作用土圧（kN/m^2）	
	常　時	レベル1地震時
b = 4.0	P_1=3.04 $e=P_1/P_2$ =0.111 P_2=27.34	2.94(I種), 4.29(II種), 5.88(III種) e = 0.081 (I種) 0.104 (II種) 0.127 (III種) 36.34(I種), 41.16(II種) 46.22(III種)
b = 6.0	3.04 e =0.077 39.49	2.94(I種), 4.29(II種), 5.88(III種) e = 0.055 (I種) 0.072 (II種) 0.089 (III種) 53.04(I種), 59.59(II種) 66.39(III種)
b = 8.0	3.04 e =0.059 51.64	2.94(I種), 4.29(II種), 5.88(III種) e = 0.042 (I種) 0.055 (II種) 0.068 (III種) 69.74(I種), 78.03(II種) 86.56(III種)
b = 10.0	3.04 e =0.048 63.79	2.94(I種), 4.29(II種), 5.88(III種) e = 0.034 (I種) 0.044 (II種) 0.055 (III種) 86.44(I種), 96.46(II種) 106.73(III種)

この場合の鉄筋コンクリートの単位重量を γ_c =24.5kN/m^3 とした．ウィングの作用土圧の計算結果を表 2 に示す．表 2 中の e は作用土圧の最小値 P_1 と最大値 P_2 との比で定義し，土圧比と称する．また，レベル 1 地震時の作用土圧には，ウィングの自重による慣性力も含まれているが，ウィング厚さの変化範囲が小さいことを考え，それによる解析結果への影響を無視した．

３．「簡便法」

「簡便法」では，図 1 に示すようにウィングを A，B，C の三つの設計領域に区分して設計を行う．図中 A 領域は，橋台の竪壁 a’-b’ に支持された片持

ち版として設計する．図中 B，C 領域に関しては，さらに図 2 に示すように，縦横方向にそれぞれ B-1 と B-2 および C-1 と C-2 に二等分し，B-1 と C-1 は台形の分布荷重，B-2 と C-2 は三角形の分布荷重をそれぞれ作用させて，これらの領域に対応する固定辺断面力(曲げモーメント : M_a～M_d, せん断力 : S_a～S_d)を算出する方法が採用されている．

このように，設計領域毎に作用土圧の分布形を定めているため，算出された固定辺断面力の分布は不連続となる．また，領域毎に片持ち版として固定辺断面力を算定しているため，二辺固定版としての拘束条件は考慮されていない問題もある．

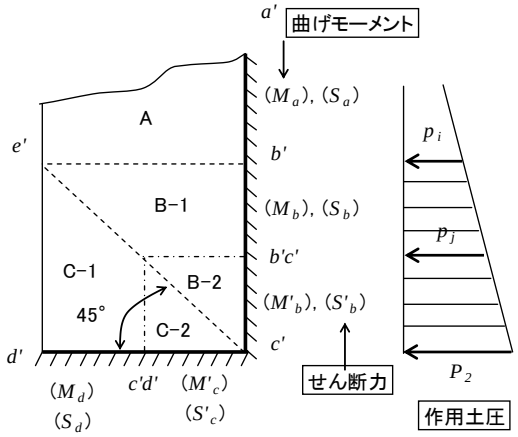


図 2　橋台側壁タイプウィングの固定辺断面力

4．フーリエ解析

図-3 は，橋台側壁タイプウィングのフーリエ解析モデルを示す．この解析モデル [8]は，x 方向の土圧を等分布，y 方向の土圧を台形分布とし，ウィングの面外方向に作用するものとする．同図に示す座標系と作用土圧から，ウィングの任意位置における荷重 $P(x, y)$は，式(1)で定義する．

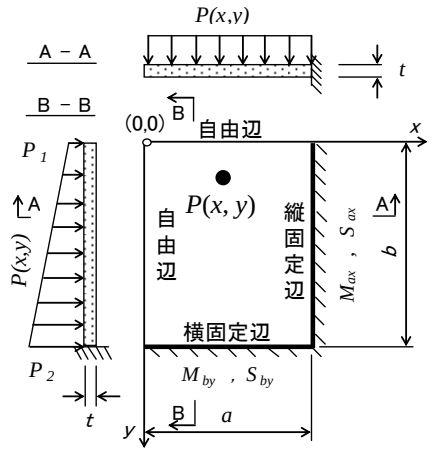


図 3　橋台側壁タイプウィングのフーリエ解析モデル

$$P(x,y) = P_2[e + (1-e)y/b] \tag{1}$$

式(1)中の土圧比は $e = P_1/P_2$ と定義しているため，作用土圧が台形分布の場合，$0<e<1.0$ となる．

図 3 で定義した座標系において，ウィングの任意位置における面外変位 $w(x, y)$は式(2)で与えられる．

$$\begin{aligned} w(x,y) &= w_p(x,y) \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty}\left\{F_{x1}\frac{M_{an}}{D\beta^2} + [F_{x2}-F_{x3}]\frac{\theta_{An}}{\beta}\right\}\frac{\cos\beta y}{2\cosh\beta a} \\ &+ \sum_{m=1}^{\infty}\left\{F_{y1}\frac{M_{bm}}{D\alpha^2} + [F_{y2}-F_{y3}]\frac{\theta_{Bm}}{\alpha}\right\}\frac{\cos\alpha x}{2\cosh\alpha b} \end{aligned} \tag{2}$$

式(2)中の記号 F_{x1}～F_{y3} は，以下のように定義している．

$$\begin{aligned} F_{x1} &= \beta a\tanh\beta a\cosh\beta x - \beta x\sinh\beta x \\ F_{x2} &= [(1-\nu)\beta a\tanh\beta a - 1 - \nu]\sinh\beta(a-x) \\ F_{x3} &= (1-\nu)\beta(a-x)\cosh\beta(a-x) \\ F_{y1} &= \alpha b\tanh\alpha b\cosh\alpha y - \alpha y\sinh\alpha y \\ F_{y2} &= [(1-\nu)\alpha b\tanh\alpha b - 1 - \nu]\sinh\alpha(b-y) \\ F_{y3} &= (1-\nu)\alpha(b-y)\cosh\alpha(b-y) \end{aligned}$$

ここに，a，b：ウィングの幅と高さ，D：ウィングの曲げ剛性，$D=E\,t^3/[12(1-\nu^2)]$，t：ウィングの厚さ，E：コンクリートのヤング係数，ν：コンクリートのポアソン比，M_{an}，θ_{An}，M_{bm}，θ_{Bm}：未定定数．また，α，β は下式のように与え，式中の m，n はフーリエ級数の展開項数を表す．

$$\alpha = \frac{2m-1}{2}\frac{\pi}{a}, \qquad \beta = \frac{2n-1}{2}\frac{\pi}{b} \qquad (m,n = 1,2,3,\cdots\cdots)$$

式(2)の右辺の第1項$w_p(x, y)$は荷重項を表し，ウィングの面外変位$w(x, y)$の特解でもある．式(1)で与えられた荷重$P(x, y)$より$w_p(x, y)$は，$\cos\beta y$または$\cos\alpha x$の単フーリエ級数形式で，式(3)または式(4)のように導くことができる．なお，式(2)の右辺の第2，3項はウィングの面外変位$w(x, y)$の余解である．

$$\begin{aligned} w_p(x,y) &= \frac{2P_2}{bD}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{-(-1)^n}{\beta^5} \\ &\times\left\{\left[1 - \frac{(\beta a\tanh\beta a + 2)\cosh\beta x - \beta x\sinh\beta x}{2\cosh\beta a}\right]\right. \\ &\left.\times\left[1 + (1-e)\frac{(-1)^n}{\beta b}\right]\right\}\cos\beta y \end{aligned} \tag{3}$$

$$w_p(x,y)=\frac{2P_2}{aD}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{-(-1)^m}{\alpha^5}\times\left\{(1-e)\frac{y}{b}+e+(1-e)\cdot F_{y4}-\frac{(\alpha b\tanh\alpha b+2)\cosh\alpha y-\alpha y\sinh\alpha y}{2\cosh\alpha b}\right\}\cos\alpha x \quad (4)$$

ここでは,

$$F_{y4}=\frac{(\alpha b\tanh\alpha b+3)\sinh\alpha(b-y)-\alpha(b-y)\cosh\alpha(b-y)}{2\alpha b\cosh\alpha b}$$

図 4 のフーリエ解析の計算フローに示すように，式(2)中の未定定数 M_{an}，θ_{An}，M_{bm}，θ_{Bm} を求め，ウィングの面外変位 $w(x, y)$が求められる [8]．最後に，求められたウィングの面外変位 $w(x,y)$より，ウィングの任意位置における曲げモーメントを式(5)，(6)，せん断力を式(7)，(8)で計算することができる．

曲げモーメント：

$$M_x=-D\left(\frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2}+\nu\frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2}\right) \quad (5)$$

$$M_y=-D\left(\frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2}+\nu\frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2}\right) \quad (6)$$

せん断力：

$$S_x=-D\left(\frac{\partial^3 w(x,y)}{\partial x^3}+\frac{\partial^3 w(x,y)}{\partial x\partial y^2}\right) \quad (7)$$

$$S_y=-D\left(\frac{\partial^3 w(x,y)}{\partial y^3}+\frac{\partial^3 w(x,y)}{\partial x^2\partial y}\right) \quad (8)$$

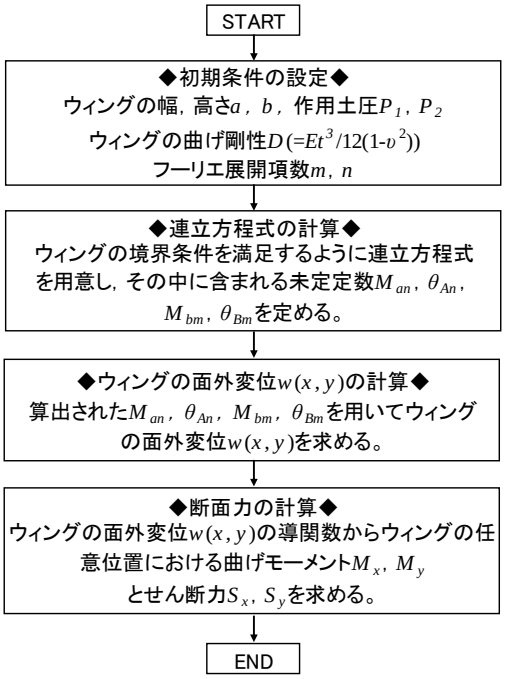


図 4　フーリエ解析の計算フロー

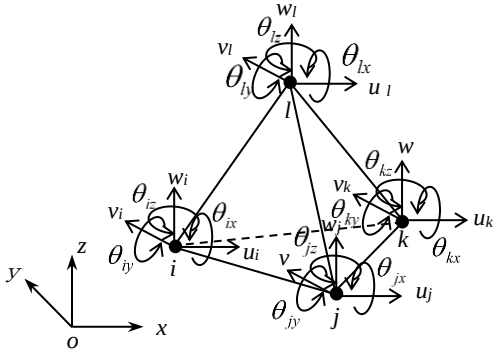


図 5　回転自由度を有する要素の概念図 [10]

５．有限要素法(FEM 解析)

金田らは，板厚の薄い隅角部擁壁のたて壁を二隣辺固定二辺自由な版として，フーリエ解析と FEM 解析との比較検討を行い，固定辺曲げモーメントおよびせん断力に関する両解析結果の整合性を確認している [12]．しかし，橋台側壁タイプウィングの高さや幅に対し，ウィングの厚さが厚すぎると，二辺固定版としてモデル化することはできるが，薄板理論の適用性が懸念される．そこで，本論文ではフーリエ解析結果を検証する目的で，ウィングの 3 次元 FEM 解析を行う．

FEM 解析に使用する要素は，図 5 に示すような回転自由度を有する四面体要素（ソリッド要素）である [10]．一般に，並進方向変位のみを有する四面体要素は曲げが卓越するような問題に対しての解析精度が悪いが，本論文に採用した要素は，曲げが卓越する問題に対しても極めて高精度な解を得ることが検証されているため，今回の解析に最も適しているものと考えられる．

FEM 解析に際し，ウィングをコンクリートのみで構成された均一な弾性材料である二隣辺固定二辺自由の弾性体と仮定し，その中に配置された鉄筋を無視する．また，コンクリートの設計基準強度を σ_{ck}=24N/mm^2 とし，ポアソン比を ν =1/6，ヤング係数を E=2.5×10^4 N/mm^2 とする．

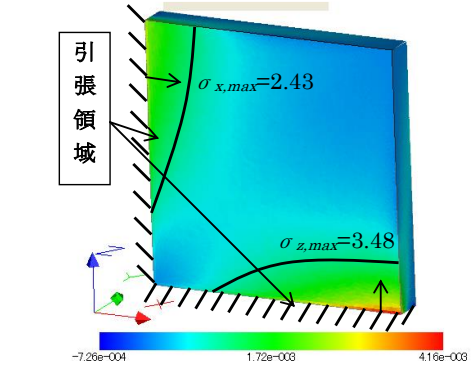
Ⅲ　解析結果および考察

１．フーリエ解析結果と FEM 解析結果との比較

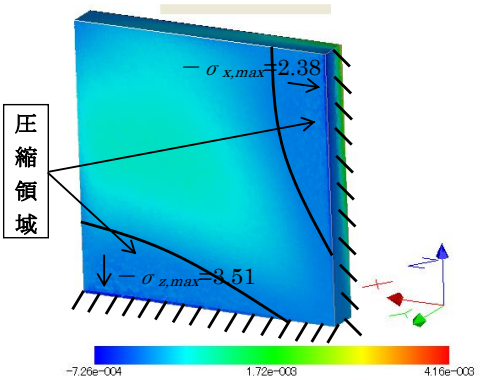
解析例として，ウィングの形状を正方形とし，高さ，幅は $a=b$=6.0m を選定し，その厚さは高さと幅の 1/10 を超える t=0.7m とする．また，レベル 1 地震時 （k_h=0.30）の荷重状態を選定し，その作用土圧は，P_1=5.88kN/mm^2，P_2=66.39kN/mm^2 である．FEM 解析（総節点数：27263，厚さ方向節点数：8～10）に

より得られたウィングの土圧作用面および土圧が作用していない面の主応力度分布状況を図 6 a)，b)に示す．図 6 a)から分かるように，縦，横固定辺付近では引張領域，それ以外の範囲では圧縮領域が現れている．引張領域での縦，横固定辺付近の表面最大引張応力度 $\sigma_{x,max}$, $\sigma_{z,max}$ はそれぞれ 2.43, 3.48N/mm^2 である．また，図 6 b）では，土圧作用していない面の中央部において引張領域が現れ，その周囲は圧縮領域となっている．縦，横固定辺付近の表面最大圧縮応力度-$\sigma_{x,max}$，-$\sigma_{z,max}$ は-2.38，-3.51 N/mm^2 である．これらの最大引張および最大圧縮応力度は，それぞれの自由辺からほぼ同じ位置に発生しているため，また，その絶対値には大差がなく，ウィング面内力の影響が殆ど生じていないことを三次元 FEM 解析によって確認できた．

本論文では，ウィング断面内の応力分布から近似的に平面保持仮定が成り立つものと仮定し，FEM 解析で得られた各方向の表面応力度を用いて，固定辺の曲げモーメントを計算することにした．但し，ウィング固定辺での解析精度の低下現象を勘案し，FEM解析モデルを作成する際に，縦固定辺から a/100,



a)　土圧作用面



b)　土圧が作用していない面

図 6　ウィングの主応力度分布状況(N/mm^2)

横固定辺から b/100 離れた位置のウィングの土圧作用面と作用していない面に稜線を挿入し，その稜線上に生じる表面引張応力度 σ_{st}，圧縮応力度 σ_{sc} をそれぞれ算出した．さらに，ウィングの厚さ t を用いて，固定辺の曲げモーメントを式(9)で求めた．なお，単位は kN･m/m である [13]．

$$M = \frac{t^2}{12}(\sigma_{st} - \sigma_{sc}) \tag{9}$$

図 6 に示す FEM 解析結果に対し，式(9)を用いて算出した固定辺曲げモーメントと，同じ条件で行ったフーリエ解析結果との比較を図 7 に示す．同図から分かるように，フーリエ解析結果が若干大きくなっているものの，両解析結果の分布状況はよく一致している．この結論は，文献 12)に示した複数の検討結果で得られた結論と同じである．また，ウィングの辺長比 λ=1.0 にもかかわらず，作用土圧が台形分布であるため，最大曲げモーメントは横固定辺に生じているのが特徴である．

せん断力に関しては，過去の研究 [12] より両解析法にほぼ一致している結果も得られたため，ここでは割愛する．

FEM 解析結果とフーリエ解析結果の整合性より，本論文では，板のフーリエ解析結果を用いてウィング固定辺の断面力算出およびウィング設計手法への提案を行うことにする．

2．「簡便法」とフーリエ解析結果との比較

(1) 固定辺曲げモーメント分布に関する比較

図 8 は解析例として，高さ(辺長比 λ)が b=4.0 (λ=0.5)，6.0 (λ=1.0), 8.0m (λ=2.0)の 3 ケースに対し，

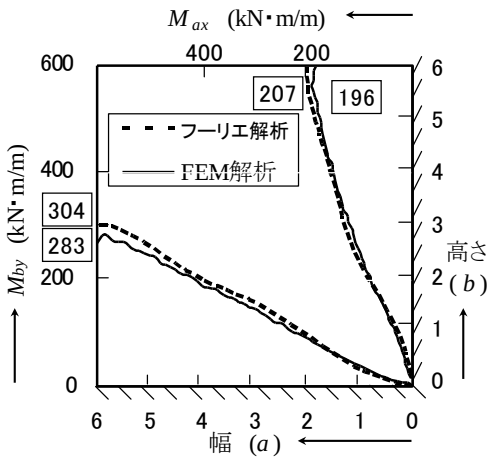
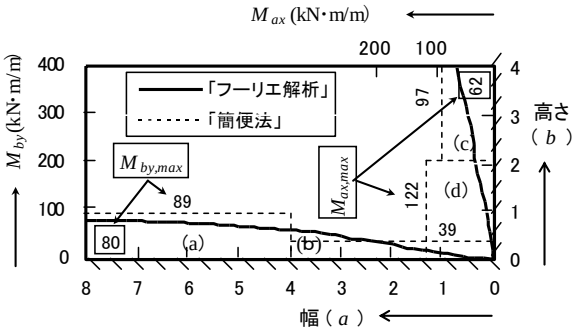


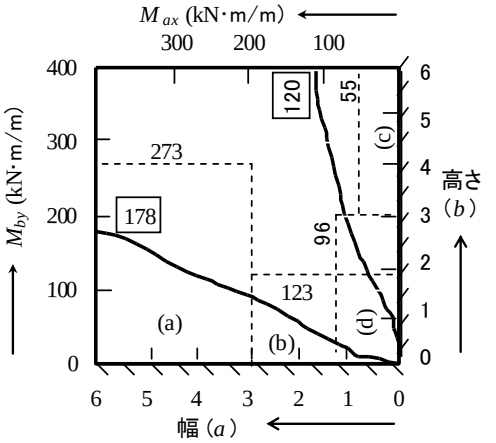
図 7　固定辺曲げモーメントの比較

常時における固定辺曲げモーメントの計算結果を示す．図中の破線は「簡便法」による計算結果，実線はフーリエ解析結果である．

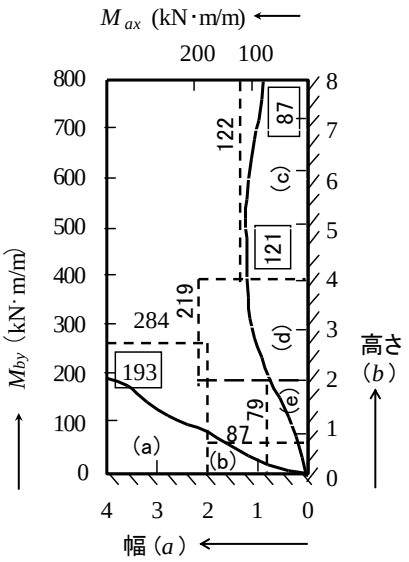
図 8 a)から分かるように，「簡便法」で算出した曲げモーメント分布は，領域(a)，(b)，(c)，(d)によって異なる．領域(b)においては，フーリエ解析結果が若干大きくなっているが，他の領域では，「簡便法」の計算結果が 1 割から数倍まで大きくなっている．一方，フーリエ解析結果を着目すると，縦固定辺に生じた固定辺曲げモーメント M_{ax} の分布は直線に近く，横固定辺に生じた固定辺曲げモーメント M_{by} の分布は放物線に近い．



a) b=4.0m，λ=0.5 の場合



b) b=6.0m，λ=1.0 の場合



c) b=8.0m，λ=2.0 の場合

図 8 固定辺曲げモーメント分布に関する比較

図 8 b)から分かるように，領域(a)では，「簡便法」で算出した曲げモーメント M_{by}(273 kN･m/m)は，フーリエ解析結果(178 kN･m/m)より 1.57 倍も大きい．それに対して，領域(c)では，「簡便法」の計算結果はフーリエ解析結果の半分程度しかないことが分かる．フーリエ解析で得られた固定辺曲げモーメントの分布状況を観察すると，M_{ax} は放物線に近く，M_{by} は直線に近い．

図 8 c)の領域(a)では，「簡便法」の計算結果である M_{by}(284kN･m/m)は，フーリエ解析結果(193 kN･m/m)より 1.47 倍も大きくなっている．また，領域(d)において，「簡便法」の計算結果はフーリエ解析結果より 2 倍近く大きくなっている．フーリエ解析による固定辺曲げモーメント分布を着目すると，M_{by} は直線に近く，M_{ax} は放物線に近い．

図 8 に示す「簡便法」とフーリエ解析の比較結果から，ウィングの辺長比 $\lambda \geqq 1.0$ の場合においては，「簡便法」がウィングの配筋に最も影響の大きい領域(a)および(d)での曲げモーメントを過大評価している．その反面，辺長比 λ=1.0 の場合では，領域(c)において，「簡便法」が過小評価している傾向である．この現象は「簡便法」の作用土圧の仮定と固定辺曲げモーメントの求め方に起因するものと考えられる．図-7 からも分かるように，二辺固定版の拘束条件によって，縦固定辺の自由辺付近に最大曲げモーメントが生じており，この最大曲げモーメントは，「簡便法」で求めた固定辺曲げモーメントを遥かに超えたものと理解している．

図 8 に示す常時における固定辺曲げモーメントの分布状況およびその規則性は，レベル 1 地震時について整理した結果も同様である．

(2) 固定辺曲げモーメントの最大値に関する比較

図 8 a)に示すように，ウィングの縦，横固定辺に生じる曲げモーメント M_{ax}, M_{by} の最大値をそれぞれ $M_{ax,max}$，$M_{by,max}$ と定義する．表 1 に示す解析モデルケースおよび表 2 に示す作用土圧に対し，「簡便法」とフーリエ解析を行い，それぞれのケースの $M_{ax,max}$，$M_{by,max}$ を計算した．表 3, 4 は，常時における $M_{ax,max}$，$M_{by,max}$ の計算結果を例として示す．

表 3　$M_{ax,max}$(kN･m/m)に関する比較(常時)

ウィング 高さ b(m)		辺長比 $\lambda = b/a$				
		0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	①「簡便法」	122	68	30	41	30
	② フーリエ解析	62	55	40	28	17
	比率＝①/②	**1.97**	**1.23**	**0.76**	**1.48**	**1.75**
6.0	①「簡便法」	383	215	96	123	96
	② フーリエ解析	185	166	120	83	54
	比率＝①/②	**2.07**	**1.30**	**0.80**	**1.48**	**1.79**
8.0	①「簡便法」	875	492	219	273	219
	② フーリエ解析	410	367	264	186	121
	比率＝①/②	**2.13**	**1.34**	**0.83**	**1.47**	**1.81**
10.0	①「簡便法」		940	418	513	418
	② フーリエ解析		688	495	349	229
	比率＝①/②		**1.37**	**0.84**	**1.47**	**1.82**

表 4　$M_{by,max}$(kN･m/m)に関する比較(常時)

ウィング 高さ b(m)		辺長比 $\lambda = b/a$				
		0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	①「簡便法」	89	89	89	68	39
	② フーリエ解析	80	73	58	44	27
	比率＝①/②	**1.11**	**1.22**	**1.55**	**1.55**	**1.44**
6.0	①「簡便法」	273	273	273	215	123
	② フーリエ解析	246	226	178	137	84
	比率＝①/②	**1.11**	**1.21**	**1.54**	**1.57**	**1.46**
8.0	①「簡便法」	616	616	616	492	284
	② フーリエ解析	555	510	403	312	193
	比率＝①/②	**1.11**	**1.21**	**1.53**	**1.58**	**1.47**
10.0	①「簡便法」		1165	1165	940	544
	② フーリエ解析		966	766	593	368
	比率＝①/②		**1.21**	**1.52**	**1.58**	**1.48**

表 3 から分かるように，ウィングの縦固定辺に生じる曲げモーメントの最大値 $M_{ax,max}$ は，その高さ b と関係なく，辺長比 λ=1.0 のケースを除いて，残りの全てのケースにおいては,「簡便法」の計算結果①は，フーリエ解析結果②より 1.2～2.2 倍程度大きくなっている．しかし，辺長比 λ=1.0 のケースにおいては，上述した①は②より平均的に 2 割程度が小さくなっている．

表 4 に示す横固定辺の曲げモーメントの最大値 $M_{by,max}$ は，全てのケースにおいて,「簡便法」の計算結果①はフーリエ解析結果②より大きく(1.1～1.6 倍程度)なっている．特に，辺長比 $\lambda \geqq 1.0$ の場合では，①と②の比が 1.5 程度まで大きくなる．同様な手法でレベル 1 地震時の各ケースについて整理すると，常時の場合と同じ傾向が得られている．

以上に示す計算結果より,「簡便法」はウィングの曲げモーメントを近似的に計算するものであるため，厳密解に近いフーリエ解析手法と比較して合理性が欠けている．特に，固定辺曲げモーメントを過大評価している領域では，必要な鉄筋量も多く，経済性が劣るだけではなく，施工性にも悪影響を与えることも考えられる．反面，固定辺曲げモーメントを過小評価している領域では，ウィングの配筋が不足している可能性があり，設計の安全性が懸念される．

(3) 固定辺せん断力分布に関する比較

「簡便法」とフーリエ解析手法を用いてウィング固定辺せん断力を算出した．解析の代表例として，高さ(辺長比 λ)が b=4.0 (λ=0.5)，6.0 (λ=1.0)，8.0m (λ=2.0)の 3 ケースを選定した．図 9 は，これらの解析ケースの常時における固定辺せん断力の分布状況を示す．同図から分かるように,「簡便法」とフーリエ解析で算出したウィングの固定辺最大せん断力は，各ケース共に領域(a)では最も大きくなっているため，ウィングの厚さを照査する観点から，領域(a)のみを着目して論述する．

図 9 に示す領域(a)全範囲での平均せん断力を対比すると,「簡便法」とフーリエ解析で算出した結果には大差が見られていないが，端部付近におけるせん断力の計算結果は,「簡便法」のものが小さくなっている．従って，ウィングのせん断力分布を考慮し，単位幅(1m 当たり)のせん断力を用いて設計を行う視点から,「簡便法」に採用されている設計せん断力は過小評価している可能性が大きい．

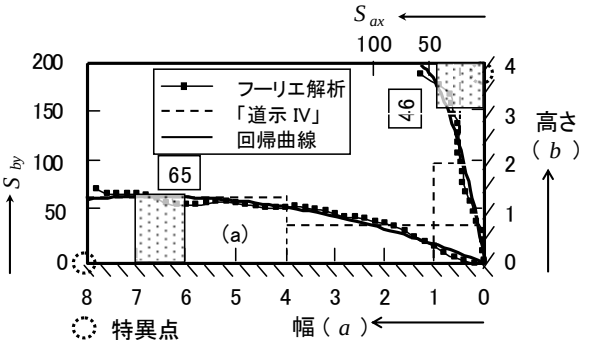
一方，フーリエ解析の場合では，せん断力はウィング面外変位の三階微分で計算するため，解析が収束しにくく，分布曲線も波状となっている．特に，ウィングの端部における境界条件の特異点付近において，算出したせん断力が大きくなる傾向にある[13]．以上の現象を考慮し，図 9 に示す特異点(端部)に生じるせん断力を無視し，残りのデータに対して二次曲線で最小二乗法による回帰分析を行い，その回帰曲線をせん断力の分布曲線とする．このように処理した結果，作用土圧とせん断力の釣合い条件もほぼ満足している．更に，図 9 中の中塗りしている領域に示すように，回帰曲線上の最大せん断力を含む単位幅当たりの平均せん断力を設計せん断力と定義する．

(4) 固定辺の最大せん断力に関する比較

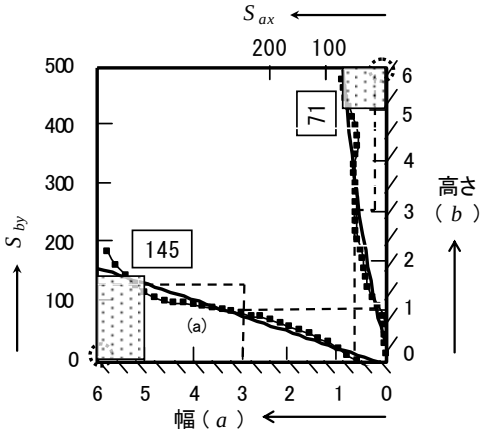
表 1 に示す解析モデルケースおよび表 2 に示すウィングの作用土圧に対し,「簡便法」およびフーリエ解析手法でウィングの固定辺最大せん断力を算出した．ここでは,「簡便法」の場合，ウィングの縦または横固定辺の最大せん断力，フーリエ解析の場合，前述したウィングの縦または横固定辺の回帰曲線上の最大せん断力を含む単位幅当たりの平均せん断力をそれぞれ最大せん断力と定義した．

表 5 と表 6 は，常時におけるウィングの縦，横固定辺の最大せん断力 $S_{ax,max}$, $S_{by,max}$ 及びそれらの比率を示す．ウィングの作用土圧は台形分布であるため，

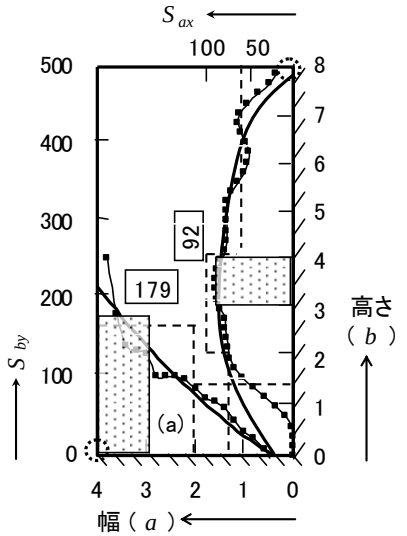
いずれのケースにおいても $S_{ax,max}<S_{by,max}$ の結果となっている．従って，ウィングの厚さは横固定辺に生じる最大せん断力 $S_{by,max}$ に左右されるものと考えられる．このような傾向が地震時においても同様に得られている．



a)　b =4.0m，λ=0.5 の場合



b)　b =6.0m，λ=1.0 の場合



c)　b =8.0m，λ=2.0 の場合

図 9　固定辺せん断力分布に関する比較

表 5　$S_{ax,max}$(kN/m)に関する比較(常時)

ウィング高さ b(m)		辺長比 $\lambda = b/a$				
		0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	①「簡便法」	61	45	30	27	30
	② フーリエ解析	46	44	34	28	23
	比率＝①/②	**1.33**	**1.02**	**0.88**	**0.96**	**1.30**
6.0	①「簡便法」	127	95	64	55	64
	② フーリエ解析	99	93	71	59	52
	比率＝①/②	**1.28**	**1.02**	**0.90**	**0.93**	**1.23**
8.0	①「簡便法」	219	164	109	100	109
	② フーリエ解析	170	160	118	105	92
	比率＝①/②	**1.29**	**1.03**	**0.92**	**0.95**	**1.18**
10.0	①「簡便法」		251	167	154	167
	② フーリエ解析		242	176	158	143
	比率＝①/②		**1.04**	**0.95**	**0.97**	**1.17**

表 6　$S_{by,max}$(kN/m)に関する比較(常時)

ウィング高さ b(m)		辺長比 $\lambda = b/a$				
		0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	①「簡便法」	61	61	61	55	43
	② フーリエ解析	65	68	65	56	37
	比率＝①/②	**0.94**	**0.90**	**0.94**	**0.98**	**1.16**
6.0	①「簡便法」	128	128	128	116	91
	② フーリエ解析	137	146	145	130	95
	比率＝①/②	**0.93**	**0.88**	**0.88**	**0.89**	**0.96**
8.0	①「簡便法」	219	219	219	200	158
	② フーリエ解析	234	253	257	236	179
	比率＝①/②	**0.94**	**0.87**	**0.85**	**0.85**	**0.88**
10.0	①「簡便法」		334	334	308	243
	② フーリエ解析		389	400	371	291
	比率＝①/②		**0.86**	**0.84**	**0.83**	**0.84**

また，表 6 に示すように，ウィングの横固定辺に生じる最大せん断力 $S_{by,max}$ の比①/②は，b=4.0m，λ=2.0 のケースを除いて，残りのケースは全て 1.0 以下である．b=4.0m，λ=2.0 のケースは，特異点のデータの影響は他のケースと比較して顕著だったと考える．データ全体を見て，表 6 に示すフーリエ解析結果を用いてウィングの厚さを照査すれば，「簡便法」より安全側の設計が確保できる．

Ⅳ　ウィング固定辺の設計用断面力の定式化

１．ウィング固定辺最大曲げモーメントの定式化

前掲した表 3，4 の中に示したフーリエ解析結果を，ウィングの作用土圧 P_2 に幅の二乗(a^2)を乗じた値で除して無次元化すると，表 7，8 に示す最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} と m_{by}，m_{ax} が得られる．表 7，8 から分かるように，ウィング高さ b の増加に伴って，m_{ax}，m_{ax} と m_{by}，m_{ax} の値が共に減少する傾向がある．また，表 7 中の最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} の最大値と最小値の比は最大で 20%，表 8 中の最大曲げモーメント係数 m_{by}，m_{ax} の最大値と最小値の比は最大で 10%以内である．同様な手法でレベル 1 地震時の諸ケースに対する検討結果は，常

時の場合と同じような結論が得られている．

実務設計では，ウィングの最小高さは 4.0m 程度と考えられ，b=4.0m の最大曲げモーメント係数を用いて設計したら，それ以外の何れかのケースにおいても安全側の設計となる．これはウィング配筋に最も影響の大きい最大曲げモーメント係数 m_{by}，m_{ax} の誤差が 10%以内であるため，このように処理しても「簡便法」より解析精度が大幅に改善であるからである．

以上の考えに基づき，ウィング高さ b=4.0m の場合の最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} および m_{by}，m_{ax} を，常時とレベル 1 地震時(設計水平震度 k_h=0.20，0.25，0.30)と共に図 10 に示した．同図から分かるように，辺長比 λ の増大に従って，最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} および m_{by}，m_{ax} が共に大きくなる傾向である．また，レベル 1 地震時(設計水平震度 k_h=0.30)の最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} および m_{by}，m_{ax} がそれぞれ最も大きくなっているが，その他のケースと比較して大差はないことも分かる．

図 10 に示す計算結果を踏まえ，設計の安全性と計算の利便性から，レベル 1 地震時(設計水平震度 k_h=0.30)の最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} および m_{by}，m_{ax} に対して回帰分析を行い，最小二乗法によって設計用最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} および m_{by}，m_{ax} の回帰曲線を定めた．

上述したとおり，厳密解に近いフーリエ解析結果に基づいて，図 10 に示す最大曲げモーメント係数 m_{ax}，m_{ax} と m_{by}，m_{ax} の回帰曲線を定め，更に，m_{ax}，m_{ax} と m_{by}，m_{ax} を用いてウィング固定辺最大曲げモーメント $M_{ax,max}$ および $M_{by,max}$ を式(10)および式(11)のように定義する．なお，それらの単位は kN･m/m である．

$$M_{ax,\max} = m_{ax,\max} \cdot P_2 \cdot a^2 \qquad (10)$$

$$M_{by,\max} = m_{by,\max} \cdot P_2 \cdot a^2 \qquad (11)$$

表 7　固定辺最大曲げモーメント係数 $m_{ax,max}$(常時)

ウィング高さ b(m)	辺長比 $\lambda = b / a$				
	0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	0.035	0.056	0.092	0.113	0.159
6.0	0.033	0.052	0.084	0.104	0.151
8.0	0.031	0.049	0.080	0.100	0.146
10.0		0.048	0.078	0.097	0.144

表 8　固定辺最大曲げモーメント係数 $m_{by,max}$(常時)

ウィング高さ b(m)	辺長比 $\lambda = b / a$				
	0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	0.046	0.074	0.131	0.179	0.244
6.0	0.043	0.071	0.125	0.171	0.237
8.0	0.042	0.069	0.122	0.168	0.233
10.0		0.067	0.120	0.165	0.231

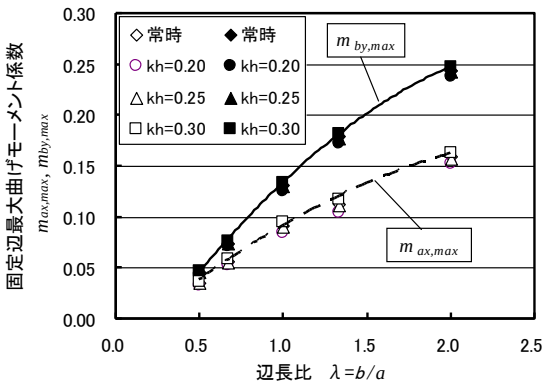


図 10　固定辺最大曲げモーメント係数 $m_{ax,max}$，$m_{by,max}$

2．固定辺曲げモーメント分布曲線の定式化

フーリエ解析による二辺固定版の解析が煩雑であるため，ウィング固定辺曲げモーメントに関して実務設計者に使用可能な設計式はないのが現状である．そのためにより正確かつ使いやすい設計法の提案が必要と考えられる．本論文では，フーリエ解析結果に基づいて，設計に最もよく使用するウィング固定辺曲げモーメント分布の定式化を試みた．

図 8 から分かるように，辺長比 λ<1.0 の場合では，縦固定辺の曲げモーメント M_{ax} の分布が直線に，横固定辺の曲げモーメント M_{by} の分布が放物線に近いため，それぞれ式(12)の直線と式(13)の二次曲線に仮定した．

図 8 b)，c)から分かるように，辺長比 $\lambda \geqq 1.0$ の場合では，M_{ax} の分布が放物線で表すことはできるが，図 8 c）に示すように，M_{ax} の最大値が概ね b=a の位置に生じており，b>a の領域では M_{ax} の値が若干小さくなる傾向である．

このような現象を考慮し，さらに，設計の安全性から，M_{ax} の分布を式(14)と式(15)に示す二次曲線と直線の組合せで表すことにした．また，M_{by} の分布が直線に近いため，式(16)で表す．以上のように定義した各固定辺の曲げモーメントの分布規則をまとめて図 11 に示す．

辺長比 λ<1.0 の場合：

$$M_{ax} = M_{ax,\max}(Y / b) \qquad (12)$$

$$M_{by} = M_{by,\max}(X / a)^2 \qquad (13)$$

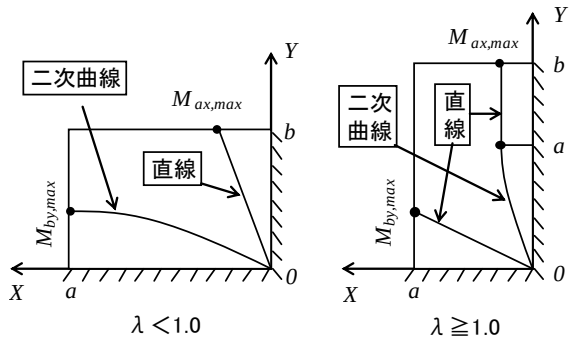


図 11 固定辺曲げモーメントの分布規則と座標系の定義

辺長比 $\lambda \geqq 1.0$ の場合：

$Y \leqq a$ の範囲：　$M_{ax} = M_{ax,\max}(Y/a)^2$　(14)

$Y > a$ の範囲：　$M_{ax} = M_{ax,\max}$　(15)

$M_{by} = M_{by,\max}(X/a)$　(16)

ここに，$M_{ax,max}$ および $M_{by,max}$ は，式(10)および式(11)で計算された縦，横固定辺の最大曲げモーメントを，X，Y は図 11 に示すウィングの幅，高さ方向の座標を表す．

3．固定辺の最大せん断力の定式化

フーリエ解析で得られた各ケースの固定辺最大せん断力を用いてその定式化を行う．前掲した表-4 に示す常時における横固定辺の最大せん断力 $S_{by,max}$ を，また，同様な方法で得られたレベル 1 地震時の各ケースの横固定辺の最大せん断力 $S_{by,max}$ を，作用土圧 P_2 にウィング幅 a を乗じた値で除して，無次元化した横固定辺の最大せん断力係数 $s_{by,max}$ を表 9，10 のように求める．同表の下段に最大せん断力係数の平均値を示している．これらの平均値を着目すると，常時と地震時の値はほぼ同じ程度であり，更に，平均値と表中の最大・最小値との差も 10%範囲以内に入る．従って，最大せん断力係数の平均値を用いて設計せん断力を評価してもその誤差が±10%以内であり，工学的には十分な精度があると考えられる．

また，レベル 1 地震時の他のケースの計算結果も同じであったため，本論文では，常時およびレベル 1 地震時（k_h=0.20，0.25，0.30）の固定辺最大せん断力係数 $s_{by,max}$ を統一して図 12 で表すことにした．また，図中のプロットに対して最小二乗法による回帰分析を行い，その回帰曲線を同図に示している．実務設計者は図 12 を用いて任意辺長比 λ における横固定辺最大せん断力係数 $s_{by,max}$ を簡単に特定することができる．

表 9 固定辺最大せん断力係数 $s_{by,max}$（常時）

ウィング高さ b(m)	辺長比 $\lambda = b/a$				
	0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	0.297	0.415	0.594	0.683	0.677
6.0	0.289	0.411	0.612	0.732	0.802
8.0	0.283	0.408	0.622	0.762	0.867
10.0		0.406	0.627	0.775	0.912
平均値	0.290	0.410	0.614	0.738	0.814

表 10 固定辺最大せん断力係数 $s_{by,max}$（地震時：k_h=0.25）

ウィング高さ b(m)	辺長比 $\lambda = b/a$				
	0.50	0.67	1.00	1.33	2.00
4.0	0.286	0.404	0.578	0.660	0.660
6.0	0.281	0.400	0.603	0.721	0.792
8.0	0.278	0.401	0.611	0.750	0.857
10.0		0.400	0.619	0.767	0.902
平均値	0.282	0.401	0.603	0.725	0.803

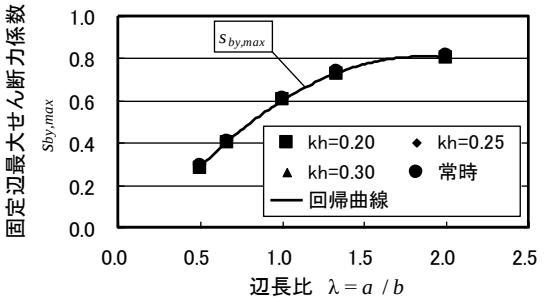


図 12 横固定辺最大せん断力係数 $s_{by,max}$

前述したように，ウィングの作用土圧は台形分布であるため，横固定辺のせん断力が最も大きくなる．従って，図 12 より横固定辺の最大せん断力係数 $s_{by,max}$ を決定し，常時・レベル 1 地震時のウィングの設計用最大せん断力 $S_{by,max}$ を式(17)で求める．なお，単位は kN/m である．

$$S_{by,\max} = s_{by,\max} \cdot P_2 \cdot a \qquad (17)$$

V　橋台側壁タイプウィングの新しい設計法

本論文で提案した橋台側壁タイプウィングの固定辺最大曲げモーメントの計算式(10)と(11)，固定辺曲げモーメント分布曲線の計算式(12)～(16)および固定辺最大せん断力の計算式(17)を用いて，各固定辺の曲げモーメントとその分布および設計用最大せん断力を算出することができる．更に，ウィングから単位計算幅を切取って，単鉄筋コンクリート曲げ部材として簡単に設計することができる[14), 15)]．

本論文では，実務設計者がわかりやすい明確な設計手法を提示するため，「道示 IV」の基本設計思想に基づき，新しい設計法の提案を試みた．新しい設計法の具体的な設計要領を以下に示すが，本論文で特に明記していない事項については，「道示 IV」の

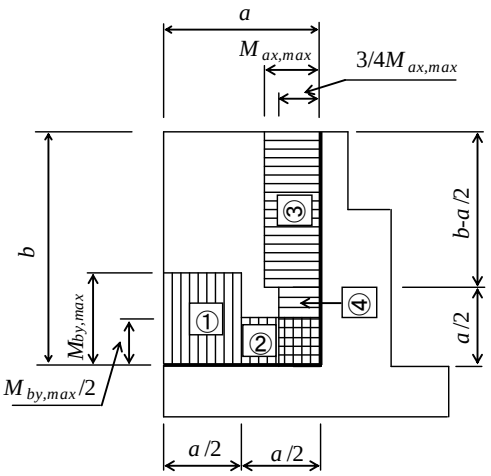


図 13　辺長比 λ≧1.0 の場合の設計曲げモーメント区分

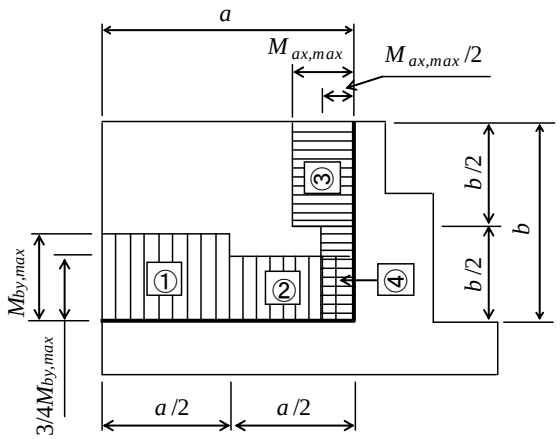


図 14　辺長比 λ<1.0 の場合の設計曲げモーメント区分

関係事項に準拠するものとする.

1) ウィング固定辺の設計曲げモーメントは, 辺長比 λ に応じて計算領域を区分し, $\lambda \geqq 1.0$ の場合は図 13, 辺長比 $\lambda<1.0$ の場合は図 14　でそれぞれ計算する. 図中の $M_{ax,max}$ は式(10), $M_{by,max}$ は式(11)で求める.

2) ウィングの設計用せん断力は, 式(17)を用いて計算し, 図 13 および図 14 に示す領域①のみに対して設計を行う. 更に, 曲げモーメントに対する断面設計を勘案して, 曲げ･せん断力が共に満足できるウィングの厚さを決定する. 他の領域のせん断力に対する照査は省ける.

3) 各領域の設計曲げモーメントに対し, 単鉄筋のコンクリート版として引張鉄筋量を算出する. 各領域の圧縮側の配筋量は引張側の配筋量の 1/3 以上とする. この考え方は,「道示 IV」に示す橋台壁の配筋仕様または文献 5)に示す考え方と異なるが, ウィングの荷重状態およびフーリエ解析で得られた土圧が作用していない面の曲げモーメントを勘案して, 圧縮側の配筋量は引張側の配筋量の 1/2 以上を配置する必要はないと判断したものである. なお, フーリエ解析で得られた土圧が作用していない面の曲げモーメントは, 土圧が作用する面の固定辺最大曲げモーメントの 1/4 以下であることを確認している.

4)　3)項のように各領域に必要な鉄筋量を個別に決定するが, ウィングの縦横方向に配置する鉄筋は互いに配力筋であるため, 少ない方の配筋量は多い方の配筋量の 1/3 以上を配置する.

5) すべての鉄筋の段落しは行わない.

VI　提案した設計法の妥当性検討

１．提案値とフーリエ解析結果との比較

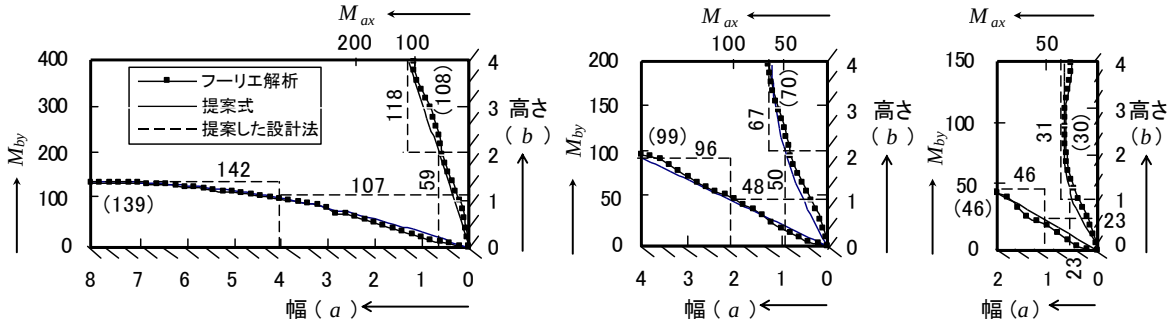
提案値とフーリエ解析結果との比較検討を行うために, 最も厳しいレベル 1 地震時(設計水平震度 k_h=0.30)の作用土圧を受けるウィングの解析を実施した. 検討対象ケースはウィングの高さ b=4.0, 6.0, 8.0m の 3 ケースと, 辺長比 λ=0.5, 1.0, 2.0 の 3 ケースの組合せで計 9 ケースを選定した. 比較検討の項目は, a)フーリエ解析結果, b)式(12)～式(16)で提案した固定辺曲げモーメント分布曲線および c)提案した設計法の計算結果の 3 項目とした. なお, b), c)の 2 項目については, 固定辺最大曲げモーメントを算出する際に, 図 10 に示した固定辺最大曲げモーメント係数 $m_{ax,max}$ と $m_{by,max}$ を読み取った. 検討結果を図 15～図 17 に示す.

図 15 から分かるように, 提案式(12)～式(16)で算出した曲線はフーリエ解析結果とよく一致している. また, 提案した設計法の設計曲げモーメントが, 提案式で算出した曲線およびフーリエ解析結果を包絡しており, 設計の安全性が確認できる.

図 16～図 17 から分かるように, ウィングの高さの増大に従って, 提案式(12)～式(16)で算出した曲線や提案した設計法の設計曲げモーメント曲線が, フーリエ解析結果より大きくなっており, 最大で 20%程度の設計余裕が生じている. これは, 計算の利便性を図るために, ウィングの最大固定辺最大曲げモーメント係数 m_{ax}, m_{ax} と m_{by}, m_{ax} を採用することにより生じたものである. しかし, この程度の誤差は,「簡便法」より遥かに小さい.

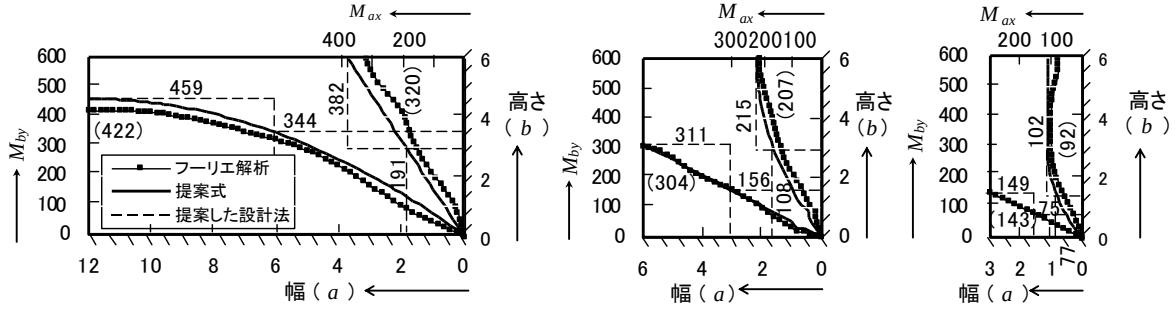
２．ウィング配筋状況に関する比較検討

「道示 IV」に示す「簡便法」と本論文で提案した設計法の比較検討を行う. 比較対象は図 18 に示すように, 幅 a=4.5m, 高さ b=9.0m, 辺長比 λ=2.0 のウィングを選定した.



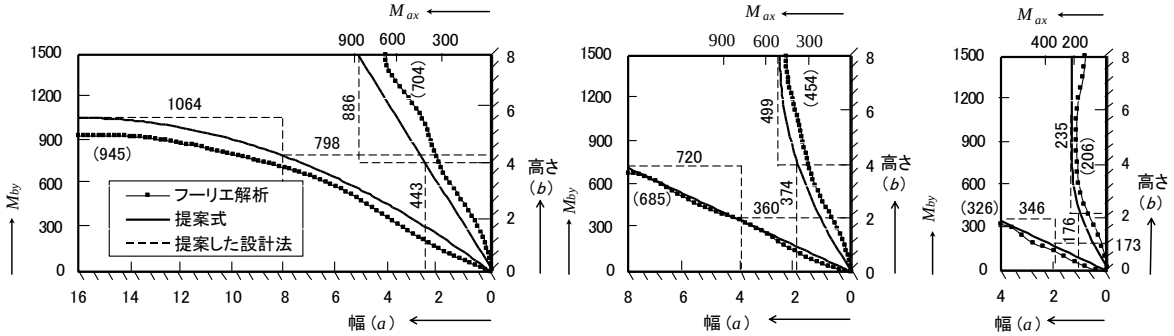
a) λ=0.5　　b) λ=1.0　　c) λ=2.0

図 15　曲げモーメントに関する比較検討結果　（*b*=4.0m，単位：kN･m/m）



a) λ=0.5　　b) λ=1.0　　c) λ=2.0

図 16　曲げモーメントに関する比較検討結果　（*b*=6.0m，単位：kN･m/m）



a) λ=0.5　　b) λ=1.0　　c) λ=2.0

図 17　曲げモーメントに関する比較検討結果　（*b*=8.0m，単位：kN･m/m）

土質条件および活荷重は前掲(2. (2) ウィングの作用土圧)と同じように設定し，常時およびレベル1地震時(水平震度 k_h=0.30)の作用土圧を計算した．なお，ウィングの必要厚さは試算した結果 *t*=0.70m とした．

ウィングのコンクリート設計基準強度は σ_{ck}=24N/mm^2，鉄筋材質は SD345 をそれぞれ採用する．なお，各材料の許容応力度は，「道示 IV」の規定値を採用した．図 10 および式(10)，(11)で計算したウィングの固定辺最大曲げモーメント等は表 11 に示す．また，算出した横固定辺の最大固定辺せん断力係数は $s_{by,max}$=0.80，最大せん断力は $S_{by,max}$=208kN/m(常時)，345kN/m(地震時)である．

表 11　ウィング固定辺最大曲げモーメントの計算結果

	$m_{ax,max}$	$m_{by,max}$	$M_{ax,max}$	$M_{by,max}$
			(kN･m/m)	
常　時	0.165	0.245	193	286
地震時			320	476

図 19 は，「簡便法」および文献 5)の配筋要領に基づいて設計したウィングの引張鉄筋の配筋詳細を，図 20 は，本論文で提案した設計法に基づいて設計したウィングの引張鉄筋の配筋詳細をそれぞれ示す．

図 19 と図 20 を比較すると，「簡便法」および文献 5)の方法は本論文で提案した設計法より多量の鉄筋を使用する結果であり，配筋も複雑である．上記の設計例と同じ手法で辺長比 λ=0.5，1.0 のケースについて検討した結果も同様な傾向が見受けられる．従って，本論文で提案した設計法の鉄筋使用量は，「簡便法」および文献 5)の方法より 20～30%程度減少したことがわかる．

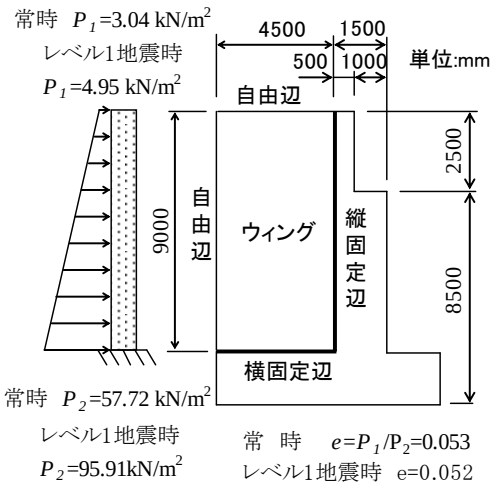


図 18　比較対象ウィングの形状・寸法・作用土圧

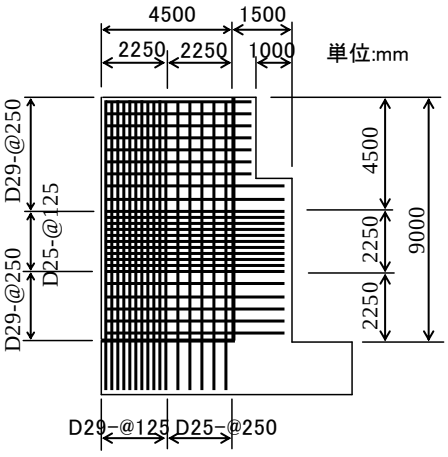


図 19　「簡便法」と文献 5)による曲げ引張鉄筋の配筋詳細

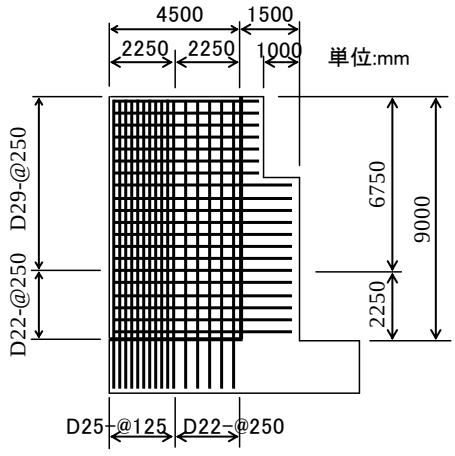


図 20　提案した設計法による曲げ引張鉄筋の配筋詳細

３．ウィングの終局耐荷力

金田らは，二辺固定版にひび割れ発生後の終局耐荷力の計算手法 [9]を(以下：終局耐荷力法と呼ぶ)提案した．この方法を用いて，図 20 に示した設計例のウィングの終局耐荷力を算出し，提案した設計法の安全性確認を行う．なお，計算を簡単にするために，図 21 と図 22 に示すように，縦方向に配置した全ての引張鉄筋を配筋量の少ない D22-@250 に統一し，それの圧縮側の鉄筋を引張鉄筋の 1/3 の量に相当する D16-@250 を配置する．同様な方法で，横方向に配置した全ての引張鉄筋を D22-@250 に統一し，それの圧縮側の鉄筋を全て D16-@250 とする．このような処理によって，算出されたウィングの終局耐荷力が実際のものよりも小さく，安全側の結果が得られる．

終局耐荷力法の考え方に基づき，ウィングの崩壊機構は，図 21 に示すタイプ 1 と，図 22 に示すタイプ 2 の 2 種類があり [9]，上述したウィングの配筋条件で算出した正の降伏線と負の降伏線における抵抗曲げモーメント m_{ux}，m_{uy}，M_{ux} および M_{uy}（図 21 参照）を用いて，各タイプの終局耐荷力 P_{2cal} を算出することができる．

ウィングの終局耐荷力は，ウィングにひび割れが生じ，その中の鉄筋が降伏した状態を想定しているため，地震時のみについて計算した．その結果は，タイプ 2 の崩壊荷重 P_{2cal}=303kN/m²>タイプ 1 の崩壊荷重 P_{2cal}=125kN/m² であるため，タイプ 1 の崩壊荷重は真の崩壊荷重であることが分かる．この真の崩壊荷重はウィングの終局耐荷力 P_{2u} となる．

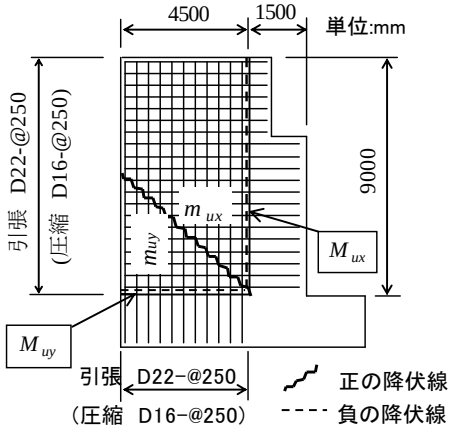


図 21　タイプ 1 のウィングの崩壊機構

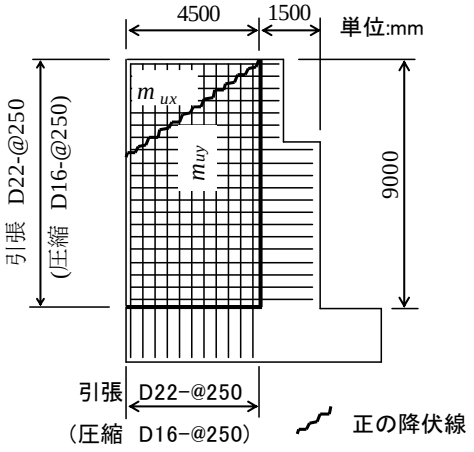


図 22 タイプ 2 のウィングの崩壊機構

本設計例のウィングの終局耐荷力 P_{2u}(=125 kN/m²)が設計に用いるレベル 1 地震時の作用土圧 P_2(=95.9 kN/m²)より 1.3 倍以上大きくなっているため,「道示 Ⅳ」に規定されたレベル 1 地震時においてウィングが終局状態に至らないことが分かる．本設計例と同様な手法で，辺長比 $\lambda \leqq 1.0$ のケースについて検証した結果，同じ結論が得られている. 従って, 本論文で提案した新しい設計法は，安全性が担保されていると判断している．

VII 結論

本文は，橋台側壁タイプウィングを二辺固定版にモデル化し，フーリエ解析手法を用いてその固定辺断面力の定式化を行った．また，フーリエ解析と FEM 解析の比較検討を実施し, ウィングの断面力の特定に用いるフーリエ解析の適合性を確認した．更に，フーリエ解析結果に基づいて橋台側壁タイプウィングの新しい設計法を提案した．提案した設計法と「簡便法」と比較し，その合理性と経済性を明確にした．本論文で得られた知見をまとめると以下のようになる．

(1)フーリエ解析結果に基づいて橋台側壁タイプウィングの固定辺断面力の定式化を行い，FEM 解析結果との整合性から，その固定辺断面力の計算方法の妥当性を判明した．また，定式化したウィングの固定辺曲げモーメント分布はフーリエ解析結果とよく一致している．

(2)「簡便法」で計算されたウィング固定辺の最大せん断力は，フーリエ解析結果より小さく，場合によって危険側の設計になる恐れがあることを判明した．設計の安全性を確保する視点から，本論文では，せん断力に対する照査領域および照査に用いるウィング固定辺の最大せん断力の計算式を示した．

(3)(1)，(2)の成果に基づいて橋台側壁タイプウィングの新しい設計法を提案した．提案した設計法と「簡便法」との比較検討を行い，提案した設計法の合理性を明らかにした．

(4)提案した設計法は「簡便法」より，ウィング固定辺の断面力を精度よく算出することができるため, 本設計法で設計したウィングの鉄筋使用量が,「簡便法」で設計したものより 2〜3 割程度を減少することになる．それに伴って施工性の向上も図れる．

(5)提案した設計法で設計したウィングの終局耐荷力 P_{2u} が，実際の作用土圧 P_2 より 3 割程度大きく, 更に, $\lambda \leqq 1.0$ のケースについて検証した結果，本計算例と同じような結論が得られているため，提案した設計法の安全性が担保されている．

謝辞：土圧を受ける二辺固定版のフーリエ解析では, 文献 7) の著者の一人である長崎大学名誉教授小森清司博士に終始丁寧なご指導を賜りました．また，本論文の作成に際し，琉球大学名誉教授山川哲雄先生，同　伊良波繁雄先生から丁寧なご指導を賜りました．ここに記して謝意を申し上げます．

参考文献：

(1) 日本道路協会 : 道路橋示方書･同解説　Ⅳ･下部構造編, pp.111〜113，2017.

(2) 例えば，土木学会：構造力学公式集，pp.353〜356，1986.

(3) 建設省設定：土木構造物標準設計第 6〜12 巻，橋台･橋脚解説書，pp.3〜103，1982.

(4) 日本道路協会 :「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，p. 参-9，1995.

(5) 国土交通省九州地方整備局 : 橋梁下部構造の配筋に関する参考資料（案)，p.7，2003.

(6) 東　洋一 : 二隣辺自由他辺固定の矩形板の曲げについて，日本建築学会論文報告集 No.62，pp.47〜52，1959.

(7) 東　洋一，小森清司 : 平板構造，建築構造学大系 11, pp.99〜108，1963.

(8) 金田一男，高嶺哲夫，知念嘉明，伊良波繁雄 : 土圧を受ける二隣辺固定二辺自由板の解析解とその応用，構造工学論文集, Vol.50A, 土木学会，pp.1025〜1034，2004.

(9) 金田一男，伊良波繁雄，高嶺哲夫，山川哲雄 : コンクリート隅角部擁壁のたて壁の終局耐荷力に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp.1-6，2007.

(10) 松原　仁，伊良波繁雄，富山　潤，山城建樹，矢川元基 : 回転自由度を有する四面体要素を用いたフリーメッシュ法，土木学会論文集，No. 766/Ⅰ-68，pp.97-107，2004.
(11) 日本道路協会 : 道路橋示方書･同解説　Ⅴ･耐震設計編，pp.98～102，2017.
(12) 金田一男，伊良波繁雄，高嶺哲夫，山城建樹 : コンクリート隅角部擁壁のたて壁の設計について，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.2，pp.7-12，2006.
(13) Kaneda, K.　Iraha, S Takamine, T.　Shimabuku K : An analytical study of rectangular plates under triangularly distributed regional loads，Journal of Applied Mechanics，JSCE, Vol. pp.17-248，(August 2005).
(14) 日本道路協会 : 道路橋示方書･同解説　III･コンクリート橋編，pp.130～143，2002.
15) 近藤泰夫，小野竹之助，田口文雄 : 鉄筋コンクリートの設計，pp.39-42，国民科学社，1981.

AN ANALYTICAL STUDY ON THE FLEXURAL STRENGTH OF RETROFITTED RC COLUMNS SANDWICHED BY STEEL PLATES AND TIGHTENED BY PC BARS

Kazuo KANEDA, Toshiki INABA[*1], Kozo NAKADA[*2], Mohammad Zahid NOORI[*3] and Tetsuo YAMAKAWA[*4]

<Received 1 November, 2021>

This paper presents the results of an analytical study on the flexural strength of the retrofitted RC columns sandwiched by the steel plates and tightened by PC bars. This study is carried out via comparison of the results obtained by Fiber Model Analytical Method (FMAM) and a simplified equation developed by Kaneda et al (2018). Furthermore, a comparative study was conducted between FMAM results, the results calculated by Kaneda's equation and the experimental results. In the analytical calculations, the cross-sectional dimensions of the RC columns are set to be the same as that of the tested specimens (column cross section: 175 x 175mm). And the parameters such as rebar arrangement and concrete strength are determined by the test results also. In addition, the FMAM calculations are carried out considering tensile strain of PC bars as a parameter to assess its impact on the flexural strength of the retrofitted RC columns.

1. Introduction

Japan is an earthquake-prone country that has an approximate record of 20% of all earthquakes in the world (the earthquakes that have occurred on and around Japanese Archipelago). On the other hand, the previously recorded earthquakes in Japan indicate seismic vulnerability of different type of existing buildings. For example, numerous piloti-type reinforced concrete (RC) buildings sustained huge damages in the 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) earthquake with M7.3. Therefore, Japan government has implemented several restrengthening strategies for existing vulnerable buildings after the Hyogoken-Nanbu Earthquake in 1995. As consequence, the seismic retrofitting of public facilities has been carried out on numerous schools, hospitals, police stations, etc., while rare progress has been made toward retrofitting of privately-owned RC apartment buildings. Therefore, many piloti-type apartment buildings were collapsed during the 2016 Kumamoto earthquake (M7.3). The reasons that installation of RC walls or steel bracing (as a seismic retrofit technique given in "Japan Building Disaster Prevention Association 2001") have not been implemented widely on the private buildings are not only their unaffordability but their complicated construction process as well. In addition, applying these seismic retrofit techniques on the piloti-type buildings may disturb the architectural design in the first story which is mainly used as parking lots. The piloti-type RC buildings are widely used in urban areas not only in Japan but globally, because they create an open space in their first story to provide parking lots which is significantly important from the land conservation aspect.

Even in Japan with a frequent earthquake history, it is understood that a seismic retrofit technique shall not gain popularity unless it is low tech, low cost and having low impact on the usability of retrofitted buildings. These criteria become more important in the developing countries with low economic growth.

However, there are few studies on seismic retrofit

*1 Student Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ.
*2 Prof., Faculty of Engineering, Univ. of the Ryukyus
*3 Former PEACE participant of JICA
*4 Emeritus Prof., Univ. of the Ryukyus

technique that has low-tech, low cost and a small impact on the performance of the piloti-type buildings worldwide. In Japan, previously, Yamakawa et al. (1999, 2000) had carried out both experimental and analytical investigations on the seismic performance of existing RC columns confined by the square-shaped steel plates/tube and PC bars. And the results showed that PC bars provide lateral confinement effect, meaning that the seismic performance of the retrofitted RC columns improves substantially. As consequence, the technological development of seismic retrofit methods using PC bars was commenced (Hotta et al. 2004). Next, the seismic retrofit of existing RC columns via adjusting additional wing or panel walls that are confined by the steel plate(s) and PC bars was developed. And finally, Thick Hybrid Wall (THW) was proposed as a strength-ductility type seismic retrofit technique for piloti-type RC buildings (Yamakawa et al. 2005; Rahman et al. 2005; Yamakawa et al. 2006; Rahman et al. 2007).

The construction method of THW technique is consist of adjusting additional concrete wing-wall to an existing RC column (having shear failure mode, specifically) which is confined by the steel plate and PC bars. The lateral strength, stiffness and energy absorbing capacity of existing RC columns improve substantially when they are retrofitted by THW technique. Applying this technique requires inexpensive construction materials, it does not need post anchoring or rebars' assembling, and its construction process is simple with low construction cost. In addition, the impact on the usability of the first story in the piloti-type buildings can be kept, because the length and width of the constructed thick hybrid wing walls are almost the same as that of the existing RC columns. These characteristics make THW technique more convenient to be implemented on the privately-owned piloti-type RC apartment buildings.

THW technique was further improved by Kaneda et al (2018, 2019), and, hereinafter which is called "Steel plate Sandwich Method (SSM)". As shown in Fig. 1, the main differences between SSM and THW method are as follows.
(1)A constant distance b_1 is placed between the steel plate and the surface of the existing RC column (b_1>0 in SSM and b_1=0 in THW).
(2)An additional concrete cross section can be formed continuously around the existing RC column in SSM.
(3)The seismic performance in the in-plane direction and out-of-plane direction of the retrofitted existing RC column can be improved at the same time. Where, the in-plane

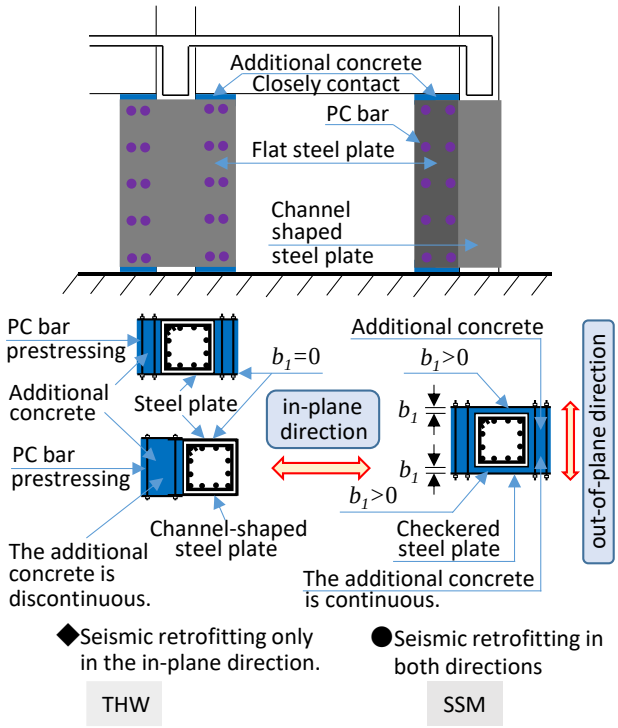


Fig. 1 Difference of SSM and THW

direction is the same as the in-plane direction of the steel plate, and the out-of-plane direction is at right angle to the in-plane direction (See Fig. 1).

Further experimental and analytical investigations were carried out to verify the seismic performance of an existing RC column retrofitted by SSM. A simplified equation for calculation of the flexural strength of the RC columns retrofitted by SSM was proposed (Kaneda et al. 2018), and the results obtained from this simplified equation were compared with the results of Fiber Model Analysis Method (FMAM) (Inaba et al. 2019). This comparison showed that the simplified equation and FMAMs' results closely matched. To include the effect of lateral confinement from the steel plates and PC bars in FMAM, it was deemed that the additional concrete is placed within a square tube shape steel plate for justification of Matsumura's hinge model (Matsumura et al. 1989). When the RC columns are retrofitted by SSM, mostly two parallel steel plates are used which causes an exposed surface in the additional wall side (the exposed surface lies perpendicular to the lateral loading direction). This fact causes a deviation in the actual results obtained by FMAM while the additional concrete is receiving lateral confinement caused by the steel plates and PC bars. But its impact on the flexural strength was ignored in the previous investigations. In the test specimens manufactured in 2019 (Kaneda et al.), the tension stress

was calculated by the strain of the PC bars, here the strain was measured by the attached strain gauges on PC bar surfaces. However, when mortar permeates the PC bars' sheath pipe, it becomes difficult to measure PC bar's strain. Conversely, to ensure integration of the RC column retrofitted by THW technique, the applied tensile strain on the PC bars was 1000μ, which is applicable by hand (Sakuyama et al. 2010). The strain introduced here is almost the same as the value calculated by equation (1).

$$\varepsilon_{pc} = N_b/(A_{pc} \cdot E_{pc}) \quad (1)$$

where ε_{pc} is the applied tensile strain on the PC bars. N_b is the tightening axial force of bolt (T series bolt). Moreover, A_{pc} is the cross-section area of the PC bars and E_{pc} is Young's modulus of the PC bars.

Therefore, it is necessary to clarify the effect of applied strain by the PC bars on the flexural strength of RC columns retrofitted by SSM.

In this study, the PC bar-based tensile force was evaluated in terms of active lateral confinement pressure using FMAM. The results of the analysis were compared with the outcome of the simplified equation and the experimental results. This comparison showed that all of these results are valid. Furthermore, to investigate the effect of PC bars' tensile force, the FMAM-based case-study was conducted, and the applied strain of PC bars on the specimens varied (0-1200μ). The applied axial force ratio on the columns were considered to be variable (η=0.1-0.3) as well. Here, η=N/(b・D・σ_B), N = applied axial force. b, D = width and depth of the existing RC column, σ_B = compression strength of the existing RC column. This investigation clarified that the applied strain has not significant impact on the flexural strength of the retrofitted RC columns.

2. An overview of simplified flexural strength equation

Figure 2 shows the cross section of an existing RC column retrofitted by SSM as well as the stress and strain distribution diagrams in the retrofitted section. When SSM is used to retrofit an existing RC column, both additional concrete and existing RC column behave interactively due to the effect of steel plates and PC bars. It is assumed that this integrity remains until the ultimate flexural strength of the retrofitted section. In such a case, it is believed that the requirements of balancing axial force on the cross section is being satisfied. By assuming that the extreme compressive fiber of concrete reaches its ultimate strain (ε_c=0.003), the tensile strain ε_{si} at each longitudinal rebars' layer is calculated considering an initial default value for neutral axis x_{n0}. In addition, the stress intensity at the position of each rebars is calculated using the elastic relation $\sigma_{si}=E\cdot\varepsilon_{si}$, and the value $\varepsilon_{si}=\varepsilon_y$ shall be used if $\varepsilon_{si}>\varepsilon_y$. Here E and ε_y indicate the Young's modulus of elasticity and the yield strain of longitudinal rebars respectively.

The equivalent rectangular stress block of American Concrete Institute (ACI, 1989) was used to calculate the stress of concrete under compression. The stress block parameters in according to ACI is k_1=k_3=0.85. The neutral axis x_n was calculated when the acting axial force N on the retrofitted cross section and the forces calculated by the stress within longitudinal rebars/concrete is zero. Then, a trial-and-error calculation was conducted as shown in the flowchart in Fig. 3. The neutral axis x_n at this point will be expressed using equation (2). In addition, the flexural strength M_u of the retrofitted column is the bending moment taken form the extreme compression fiber of concrete at any level of axial force and neutral axis position which is expressed by equation (3).

$$x_n = \frac{N + \Sigma a_i \sigma_{si}}{k_1 k_3 b_2 F_{c,add}} \quad (2)$$

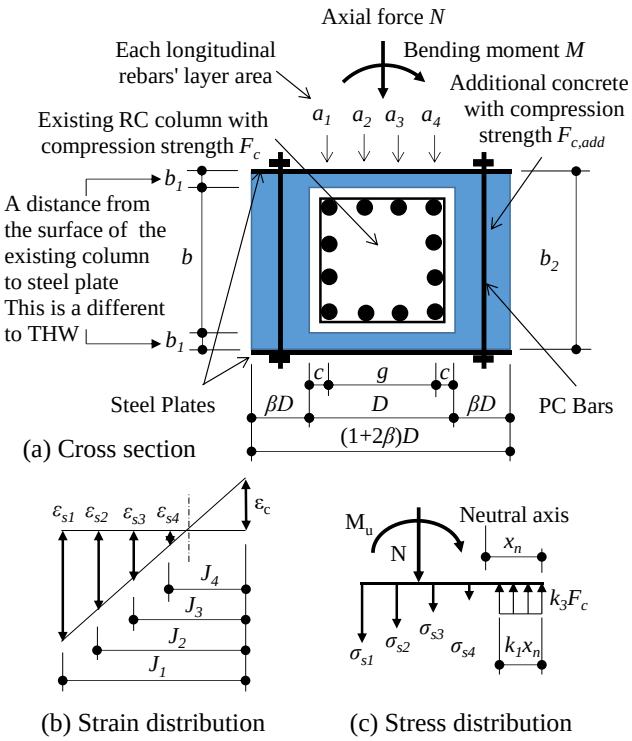


Fig. 2 Cross section, stress and strain distributions of the retrofitted RC column (Kaneda et al. 2018)

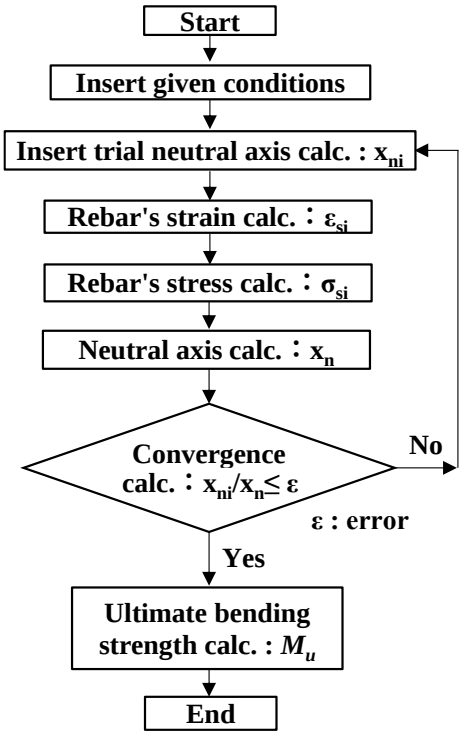


Fig. 3 Calculation flowchart of simplified equation (Kaneda et al. 2018)

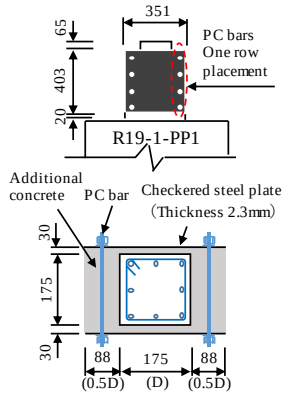
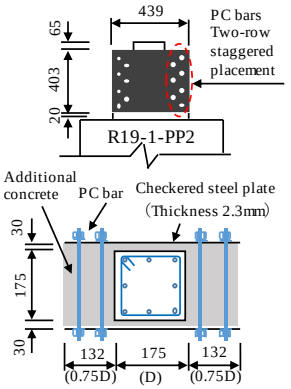
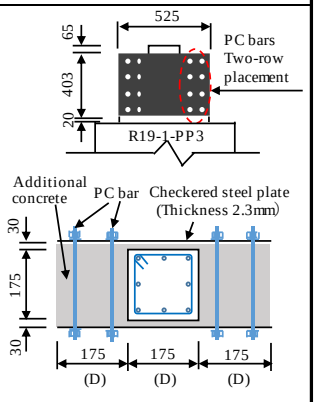
$$M_u = \Sigma a_i \sigma_i J_i + (0.5 + \beta)\mathrm{ND} - 0.5 k_3 b_2 (k_1 x_n) F_{c,add} \qquad (3)$$

The abbreviations used here are, N: acting axial force on the existing RC column, a_i: cross-sectional area of the longitudinal rebars in the existing RC column's ith layer, σ_{si}: stress intensity of the longitudinal rebars in the existing RC column's ith layer, b_2: width of the created composite cross-section (width of the wing wall), j_i: distance from existing RC column's ith layer of rebars to the extreme compression fiber, β: wing wall length ratio (=βD/D), D: depth of the existing RC column, $F_{c,add}$ is the compressive strength of additional concrete, $F_{c,add} = \sigma_{B,add}$, $\sigma_{B,add}$ is the additional concrete strength given in Table 1.

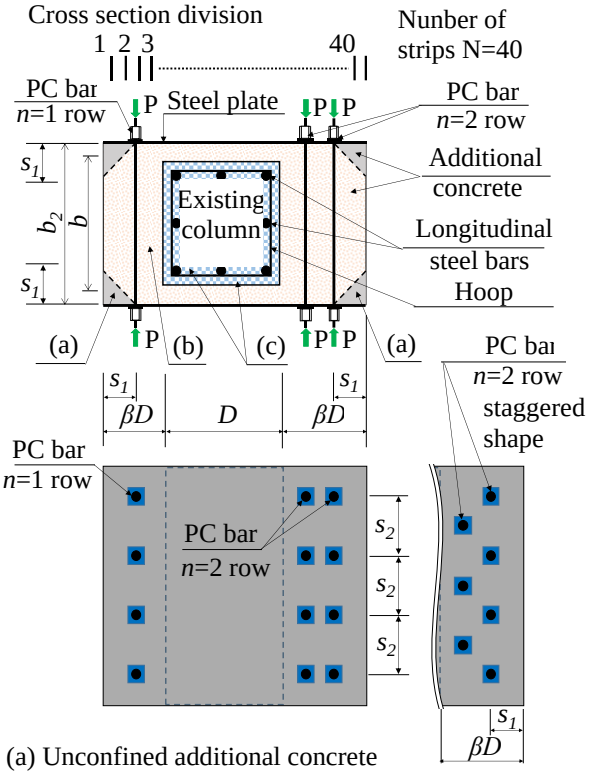
3. Developing of calculation method using FMAM

As shown in Fig. 4, the cross section of the RC column retrofitted by SSM is discretized (both existing RC column and additional wall) for FMAM. Furthermore, the additional concrete part is divided into region (a) where the lateral confinement effect is not expected and region (b) where it is expected. The

Table 1 Conditions of the examined test specimen and fiber model analysis

Detail of specimen	Elevation & Section
●R19-1-PP1 (a)Wing wall length ratio β=0.50 (b)Existing RC Column σ_B=25.3 (MPa) (c)Additional concrete $\sigma_{B,add}$ =53.6 (MPa) (d)Number of PC bar rows n=1 (e)Existing RC column cross section b×D: 175mm×175mm height h=488mm (f)width of retrofitted RC column b_2 : 235mm	
●R19-1-PP2 (a)Wing wall length ratio β=0.75 (b)Existing RC Column σ_B=25.6 (MPa) (c)Additional concrete $\sigma_{B,add}$ =53.6 (MPa) (d)Number of PC bar rows n=2 (staggered placement) (e)Existing RC column cross section b×D: 175mm×175mm height h=488mm (f)width of retrofitted RC column b_2 : 235mm	
●R19-1-PP3 (a)Wing wall length ratio β=1.00 (b)Existing RC Column σ_B=25.6 (MPa) (c)Additional concrete $\sigma_{B,add}$ =57.3 (MPa) (d)Number of PC bar rows n=2 (e)Existing RC column cross section b×D: 175mm×175mm height h=488mm (f)width of retrofitted RC column b_2 : 235mm	
Concrete strength used for analysis (MPa)	Existing RC column: σ_B=15, Additional concrete: $\sigma_{B,add}$=36
PC bar applied strain (ε_{PC})	0, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200
Axial force ratio η	0.1, 0.2, 0.3
PC bar applied strain ε_{PC}=1000μ	
Axial force $N = \eta \cdot b \cdot D \cdot \sigma_B$ (N), b, D : width and depth of the existing RC column, σ_B : compressive strength of existing RC column. [PC steel bar] 9.2ϕ, a : 66.48mm^2, E_s : 201GPa, Position s_1 : 45mm, Placement interval s_2 : 100mm, [D10(D13) Main reinforcement] Cross-sectional area a : 71.33(126.7)mm^2, yield strength σ_y : 364(343)MPa, yield strain ε_y : 0.18%(0.20%), Young's modulus E_s : 198(169)GPa. [Column hoop] 4.0ϕ@120, a : 13mm^2, σ_y : 191MPa, p_w : 0.12%	

lateral confinement effect is not expected in region (a) because the steel plate has very low flexural rigidity impact in this region (the region that is stretched from the PC bars position to the retrofitted cross section's edge (see Fig.4, s_1)). Because the tensile force of PC bars is expected to disperse in a 45° direction. Therefore, the lateral pressure from the tensile force of the PC bar in region (b) can be evaluated. Conversely, the core of existing RC column is confined by the transverse hoops and the entire RC column section is confined by additional concrete and PC bar prestressing, thus the whole column cross section will be referred as region (c) with same confinement pressure calculated in the core of existing RC column. The length ratio β in Fig. 4 indicates the wing wall length ratio (βD/D). Considering the authors' test specimen in this study, the neutral axis shifts towards the additional wing wall side (around β>0.3) in the retrofitted section. Therefore, the lateral confinement effect on the existing RC column cross section become ineffective. However, it depends on the level of acting axial force and the longitudinal reinforcement ratio p_g (p_g=Σa_i/(b D), Σa_i: sum of all rebar areas).



(a) Unconfined additional concrete
(b) Additional concretet confined by steel plates
(c) Existing concrete confined by rebar and hoops

Fig. 4 Section and elevation of specimens subjected to lateral confinement (for FMAM)

FMAM was carried out on the cross section at the bottom of the retrofitted RC column, and the entire section was discretized to 40 strips. For seismic retrofitting of the existing structures, the maximum pitch of the PC bars is assumed to be 300mm while in this study, the PC bars' spacing is set as a third of the maximum pitch (100mm). One vertical row of PC bars will be justified for specimens with β=0.5 and two vertical rows for specimens with β=0.75 and β=1.0. The tensile force P of the PC bars is assumed to be carried as an active lateral confinement pressure σ_r on the additional concrete by the steel plates and PC bars. The active lateral confinement pressure σ_r caused by the PC bars is expressed by equation (4).

$$\sigma_r = \frac{nP}{\beta D s_2} = \frac{nE_{Pc}\varepsilon A_{Pc}}{\beta D s_2} \tag{4}$$

Here n, P, E_{Pc}, ε, and A_{Pc} represent the PC bars' row number, tensile force (N), the Young's modulus of elasticity (MPa), applied strain (μ) and cross-sectional area (mm^2) respectively. Also, s_2 indicates the spacing of PC bars (mm) along the RC column's height. For the stress-strain relationship in the concrete of the retrofitted RC column using SSM, equations (5)-(7) were used which suggested by Mander et al. (1988) for the confined concrete. The compressive strength of confined concrete of existing RC column f'_{cc} is expressed by equation (7), and then it is applied to the concrete strength across the cross section of the existing RC column (region (c)).

$$f_c = \frac{f'_{cc}Xr}{r-1+X^r} \tag{5}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left[1+5\left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}}-1\right)\right] \tag{6}$$

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1-5.17\left(\frac{f'_l}{f'_{co}}\right)^2 + 5.88\left(\frac{f'_l}{f'_{co}}\right)^2 \tag{7}$$

In equations (6) and (7), f_c is compressive concrete stress, X=ε_c/ε_{cc}, ε_c is compressive concrete strain, f'_{co} indicates the compressive strength σ_B of concrete of the existing RC column shown in Table 1. Please see reference (Mander et al. 1988) for the meaning of other symbols used in the above equations.

The additional concrete receives active lateral confinement pressure from the PC bars and steel plate due to prestressing of the PC bars. The lateral

confinement pressure is considered as hydrostatic pressure (Richart et al. 1928), and the Richart's equation was used to calculate the increased additional concrete strength. The confined concrete strength of region (b) shown in Fig. 4 is expressed by equation (8).

$$f'_{cc} = F_{c,add} + 4.1\,\sigma_r \quad (8)$$

The meanings of these symbols are given above.

4. Details of tested specimens

As shown in Table 1, the analysis was conducted on the test specimens R19-1-PP1, R19-1-PP2 and R19-1-PP3. The additional wall length ratios of these specimens were β=0.50, 0.75 and 1.00 respectively. The height, cross-sectional dimensions, shape and the retrofitting material along with other analytical parameters of these tested specimens are summarized in Table 1. As shown in this Table, the PC bars of retrofitted specimen R19-1-PP2 were arranged in a staggered shape. Therefore, at FMAM, the number of PC bars in this specimen was 7/8 of that of tested specimen R19-1-PP3. Moreover, the concrete compressive strength (σ_B) of existing RC column and additional wall were considered as 15N/mm^2 and 36N/mm^2 respectively. The compressive strength of additional wall of these specimens is the upper-most compressive strength value of ordinary concrete in Japan.

Furthermore, we used equation (3) and FMAM to evaluate the lateral confinement effect caused by the tensile strain of PC bars on their flexural strength, for the test results of two retrofitted THW specimens R19W-5FB and R19W-7FB (Nakada et al. 2020) . The details and material properties of these two specimens are given in Fig. 5 and Table 2 respectively. As shown in Fig. 5, the specimens R19W-5FB and R19W-7FB were constructed with two stubs, one at the top and one at the bottom of the retrofitted THW columns (unlike the specimens of R19-1-series shown in Table 1), and to apply a constant moment (M = 0.5VH) on the specimen' top. Where, M: the applied constant moment at the column, and H: height of the retrofitted THW column. In addition, the wing walls on these specimens were one-sided which indicates

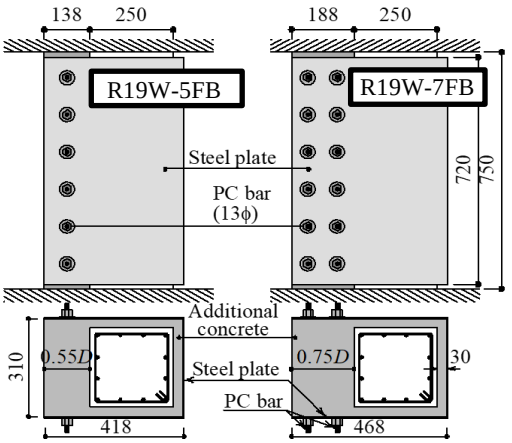


Fig. 5 Details of specimens R19W-series [*mm*]

Table 2 Material properties of specimens R19W-series

No	Specimen (R19W-)	β	ε_{pc} (μ)	t (mm)	Distance s_1 (mm)	Number of PC bar's layers n
1	5FB	0.55	1000	3.2	69.0	1
2	7FB	0.75			50.0	2
Common details	b =D = 250 mm, $M/(VD)$ = 1.5, H = 750 mm, η = 0.2, (N = 206 kN), σ_B = 16.5 MPa, σ_{Badd} = 39.2 MPa, hoop: 3.7 ϕ -@105mm, σ_y = 391 MPa, Es = 205 GPa, Longitudinal rebar 12-D10, σ_y = 385 MPa, E_s = 183 GPa, PC bars ϕ 13, σ_y = 1085 MPa, E_s = 200 GPa and s_1= distance from center of PC bars to the outer edge of additional wall.					

their shape-variation compared with the tested specimen's series R19-1-. The test results of these two specimens indicated that all longitudinal rebars reached their yield strength under tension in the existing RC column, while the additional wall was under compression (when the specimens perform their ultimate lateral strength).

In Fig. 6, the loading apparats used for loading test of specimen's series R19W is illustrated. As shown in this Fig., the loading apparat is including one servo hydraulic actuator that applies the acting axial force on the cross section of the existing RC column and a double acting hydraulic jack to apply cyclic lateral loading. It is shown in Fig. 6 that the cyclic loading test was carried out on specimen's series R19W in one cycle (push and pull) at drift angles (R=0.125% and R=0.25%), and it was carried out in two cycles at drift angles (R=0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% and R=3.0%). The thickness of steel plate was 3.2 mm, and the applied initial tensile strain on the PC bars was carried by hand. The measurement in this investigation showed that a 1000μ strain can be

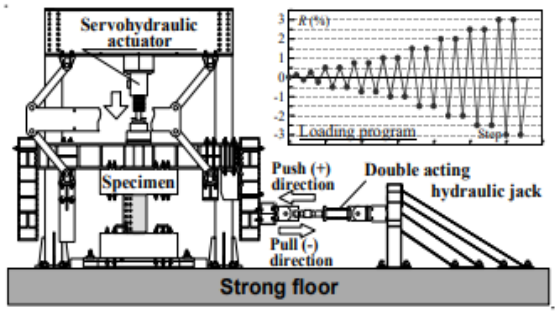
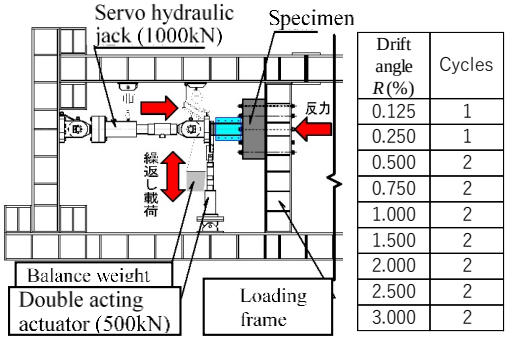


Fig. 6 Loading apparatus of specimens R19W-series



Drift angle R(%)	Cycles
0.125	1
0.250	1
0.500	2
0.750	2
1.000	2
1.500	2
2.000	2
2.500	2
3.000	2

Fig. 7 Loading apparatus of specimens R19-1-series

achieved via twisting of the PC bar's nuts within (170 to 220) °. For more details on the test results of these two specimens, please see reference (Nakada et al. 2020). The loading apparatuses used to test specimen's series R19-1- is shown in Fig. 7. As shown in this Fig., the loading apparatus includes a servo hydraulic jack and a double acting actuator. But the main different of this loading apparatus is the position of applied lateral force on the top of the retrofitted specimens, meaning no applied moment at the top of the retrofitted specimens (unlike the apparatus shown in Fig. 6). Therefore, on the tested specimen's series R19-1-, the moment at the top of the specimens is zero. In addition, the cyclic loading test on the specimen's series R19-1- was carried out in one cycle (push and pull) at drift angles (R = 0.125% and R = 0.25%), and it was carried out in two cycles at drift angles (R = 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% and R = 3.0%).

Specimens R19W-5FB and R19W-7FB were evaluated in this study to verify the accuracy of equation (3) in case of different specimens which was loaded differently.

5. Study results and observations

5.1 Comparative review of flexural strength

(1) Analytical results of specimen's series R19-1

Both analytical and experimental investigations were conducted on the specimens shown in Table.1.

Fig. 8 indicates the bending moment-curvature (M-ϕD) relation of the tested specimens obtained by FMAM (solid line), simplified equation (dashed line), and experimental results (R19-1-PP1:●, R19-1-PP2:◆, R19-1-PP3:■). As shown in this Fig., the results obtained by the FMAM is slightly higher than the calculated results obtained by simplified equation (3). The variation between the results obtained by FMAM and simplified equation is due to the determination of neutral axis position by FMAM with high accuracy. Because FMAM results a larger lever arm compared to the results obtained by simplified equation due to a realistic distribution of stress in the section of retrofitted column.

In Table 3, the tensile strain at each longitudinal rebars' layer is given which is obtained by FMAM. The rebar's layers are selected perpendicular to the loading direction in specimens R19-1-PP1, R19-1-PP2 and R19-1-PP3. As shown in Table 3, layer 1 indicates the outermost rebars to the compression edge of existing RC column and layer 3 indicates the edge of existing RC column and layer 3 indicates the

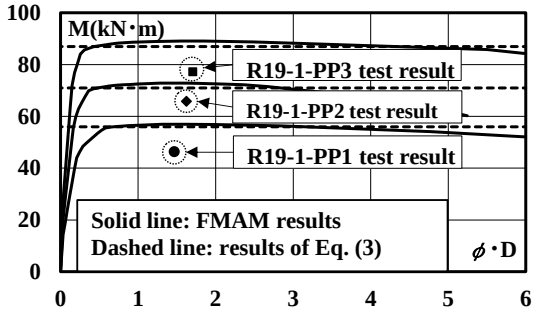


Fig. 8 Comparison of calculated and experimental results

Table 3 Analytical results of longitudinal rebars' strain ε_s (%) for R19-1-series

	R19-1-PP1	R19-1-PP2	R19-1-PP3
Layer 1	1.73	1.83	2.91
Layer 2	1.19	1.36	2.28
Layer 3	0.65	0.89	1.65

Layer 1: The outermost rebars to the compression edge
Layer 2: Between Layer1 and Layer3
Layer 3: The closest rebars to the compression edge

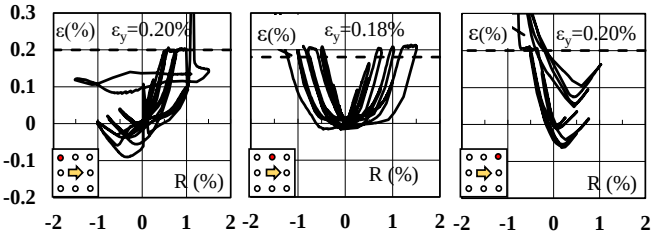


Fig. 9 Experimental strain of longitudinal rebars in specimen R19-1-PP1(➞pushed load)

closest rebars to the compression edge of existing RC column. As shown in Table 3, the strain at each longitudinal rebars' layers has exceeded the yield strain of the rebars. The yield strain of D10 and that of D13 rebars was obtained by the test (D10 : ε_y=0.18%, D13 : ε_y =0.20%).

Conversely, the experimental rebars' strain ε_s relation versus to the drift angle R (ε_s-R) shown in Fig. **9** indicates the rebars in layers 1, 2 and 3 of specimen R19-1-PP1. In this Fig., the yield strain of each rebars' layer is shown by the dotted line, and which shows that the rebars in layers 1 and 2 have yielded but not in layer 3 (➞pushed load direction). The longitudinal rebars' strain in layer 3 is lower than rebars' yield strain. Vice versa, the rebars in layer 1 did not yield when this specimen was pulled by the lateral load (⇦). The rebars' experimental strain results were similar for the retrofitted specimens R19-1-PP2 and R19-1-PP3. Therefore, the experimental flexural strength was lower than the results obtained by the FMAM and the simplified equation's results as shown in Fig. 8.

(2) Analytical results of specimen's series R19W

Fig. 10 shows the relation of confined concrete strength f'_{cc} and compressive strain ε (f'_{cc}-ε) for region (a), (b) and (c) of specimens R19W-5FB and R19W-7FB. As shown in this Fig., the confined concrete stress-strain relation (f'_{cc}-ε) for the additional concrete in region (b) shows the highest value compared to that of region (a) and region (c). Because the active lateral confinement caused by the PC bars is expected in region (b) but not in region (a). In region (c), the lateral confinement is expected, but due to the position of neutral axis in the additional wall side, the concrete of column become under tension (its strength will be ignored). Therefore, the confined concrete strength of the region (c) does not affect the bending strength of the retrofitted columns. As shown in Table 4, the experimental results of specimens R19W-5FB and R19W-7FB showed that all longitudinal rebars in the existing RC column yielded in tension when the additional wall was under compression. These two specimens were longitudinally reinforced by 12-D10 rebars which makes four layers of longitudinal rebars, and the strain of rebars at each layer gone far beyond their yield strain. In specimen R19W-7FB, the break-

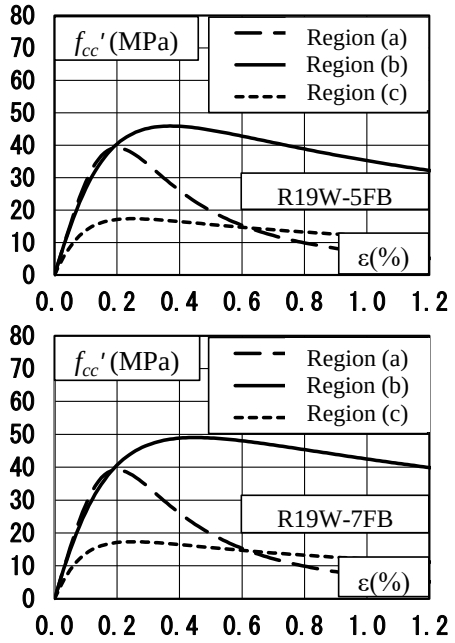


Fig. 10 f'_{cc} –ε analytical relation of concrete of specimens R19W-5FB and R19W-7FB

Table 4 Analytical results of longitudinal rebars' strain ε_s (%) for R19W-series

	R19W-5FB	R19W-7FB
Layer 1	2.19	4.16
Layer 2	1.73	3.43
Layer 3	1.27	2.69
Layer 4	0.82	1.96

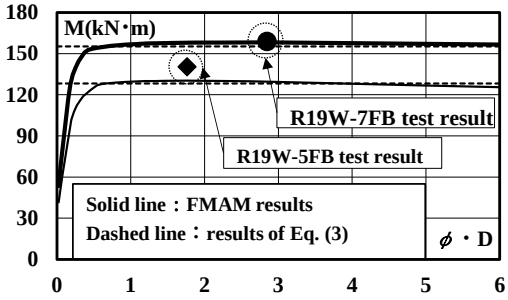


Fig. 11 Comparison of analytical and experimental results of R19W-5FB and R19W-7FB

age of two longitudinal rebars from layer 1 was reported (Nakada et al. 2020). Therefore, the calculated flexural strengths in specimens R19W-7FB obtained by FMAM and equation (3) are verified by the experimental result with higher accuracy as shown in Fig. 11.

The calculated flexural strengths in specimen R19W-5FB obtained by FMAM and equation (3) are in good agreement but the experimental result bigger than them as shown in Fig. 11.

5.2 Evaluation of parameters

(1) Investigation result on the position of neutral axis

To understand whether all longitudinal rebars yield in tension in the column of specimens retrofitted by SSM or THW, the neutral axis position in the cross section of R19-1 and R19W series specimens was investigated. As shown in Table 5, the calculated neutral axis depth in the retrofitted section by equation (1) is higher than the results obtained by the FMAM. This is due to switching of the stress distribution of concrete to an equivalent stress block (of the ACI) for the calculations. However, compared to the wing wall length βD of each specimen, the obtained result by FMAM is smaller. Therefore, it can be understood that the neutral axis is within the additional concrete. Moreover, it was observed that all longitudinal rebars in these specimens acted as tensile reinforcements. However, the experimental results of R19-1- series showed that the rebars did not yield in the third layer of rebars which were close to the compression side of column. Therefore, it is necessary to investigate on this matter in the future and evaluate the parameters' effect in detail.

(2) Impact of initial prestressing of PC bars

FMAM was used to determine whether the applied prestressing force by PC bars has any impact on the flexural strength of RC columns retrofitted by SSM. Therefore, a variable applied initial tensile strain on the PC bars (0, 200μ, 400μ, 600μ, 800μ, 1000μ and 1200μ) was considered. The concrete strength of the existing RC column and additional wall were set to be σ_B =15N/mm^2, $\sigma_{B,add}$=$F_{c,add}$=36N/mm^2 respectively, for evaluation of PC bars' prestressing impact on the ultimate flexural strength. To determine the correlation with the experimental results, the same

Table 5 Comparison of neutral axis and wing wall length βD of R19-1 and R19W series

		R19-1-			R19W-	
		PP1	PP2	PP3	FB5	FB7
Neutral axis (mm)	Analysis	33.4	32.8	28.7	49.6	43.9
	Eq. (1)	45.8	43.4	43.3	70.0	61.8
βD (mm)		88	131	175	138	188

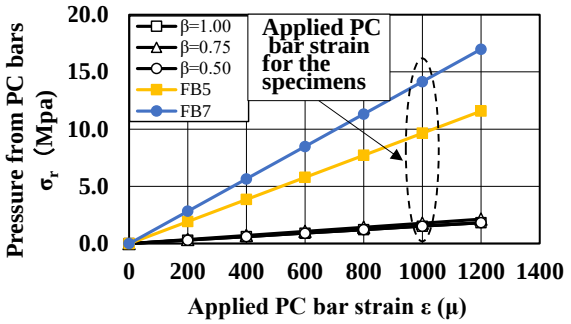


Fig. 12 Drive-side pressure from PC bars at each initial prestressing

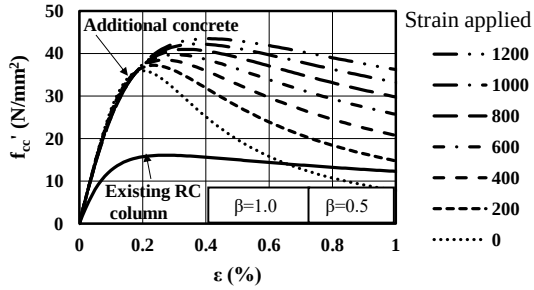


Fig. 13 f'_{cc}-ε analytical results of concrete in cases β = 0.50 and 1.00

additional wing wall length ratios (β=0.50, 0.75 and 1.00) were considered for the specimens in this calculation. As shown in Fig. 12, the active lateral confinement pressure by the PC bars is given as σ_r. The specimens with additional wall length ratio β=0.50 and β=1.00 have received the same active lateral confinement pressure by the PC bars. In contrast, in specimen with additional wall length β=0.75, the PC bars have slightly higher active lateral confinement pressure. And in specimens R19W-5FB and R19W-7FB, the active lateral confinement pressure about 10-times higher than that of series R19-1-. The most common reasons are that the diameter of PC bars is larger and the spacing is smaller in series R19W-. It was apparent from Fig. 12 that the active lateral confinement pressure by the PC bars was around σ_r=1.5N/mm^2 while applying 1000μ strain. Because it is approximately 3.0% of the

additional concrete strength (36N/mm^2). The relation between the applied strain ε and the associated confined concrete strength (f'_{cc}-ε) is shown in Fig. 13. As it is shown in this Fig., by increasing the value ε the value f'_{cc} increases.

In all test specimens (R19-1-PP1, R19-1-PP2 and R19-1-PP3), the focus was to determine whether PC bars' initial prestressing force impacts the flexural strength of each specimen. The M-ϕD relations which is the result of flexural strength analysis is shown in Fig. 14. As shown in this Fig., the impact of PC bars initial prestressing on the retrofitted test specimens is significantly small. However, the analytical results showed that if the initial prestressing force is not applied on the PC bars, then the flexural strength drops suddenly at around 1.5 ϕD. The reason behind this sudden drop is that when there is no initial tensile strain applied on the PC bars, the confined concrete strength f'_{cc} exceeds the peak value, and then a sudden capacity drop occurs (See Fig.10 region (a)).

In this analytical investigation, the concrete strength of existing RC column and additional wing wall were considered as σ_B =15N/mm^2 and $\sigma_{B,add}$= $F_{c,add}$= 36N/mm^2 respectively, and the shape and arrangement of PC bars were considered the same as that of test specimens R19-1-PP1, R19-1-PP2 and R19-1-PP3 (See Table 1). In addition, three cases with applied axial force ratios (η=0.1, 0.2 and 0.3) were studied for further investigation on the PC bars impact on the flexural strength. The corresponding results are shown in Figs. 15 to 17. Although an increase in the flexural strength was observed proportional to the increment of axial force ratio, but the impact of PC bars' initial prestressing force on the ultimate flexural strength was low in all cases.

However, the initial prestressing has a certain impact on the deformation ability of retrofitted RC columns.

In Fig. 18, the impact of PC bars' initial strains on the neutral axis depth is shown for three cases with the axial force ratios (η=0.1, 0.2, 0.3) and wing wall length ratios (β=0.50, 0.75, 1.00) respectively.

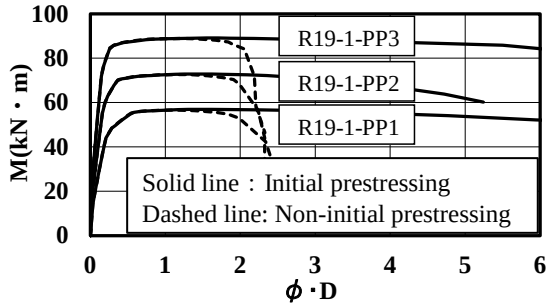


Fig. 14 Comparison of M-ϕD relationship with and without initial prestressing under experimental conditions

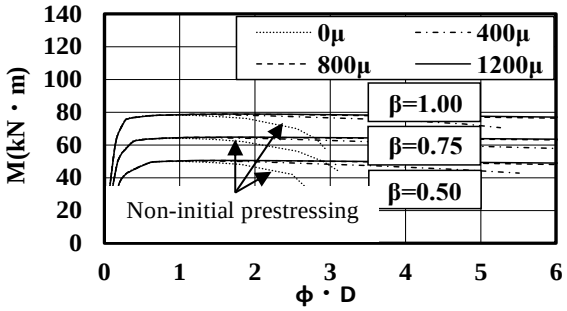


Fig. 15 Comparison of M-ϕD relationship at axial force ratio η = 0.1

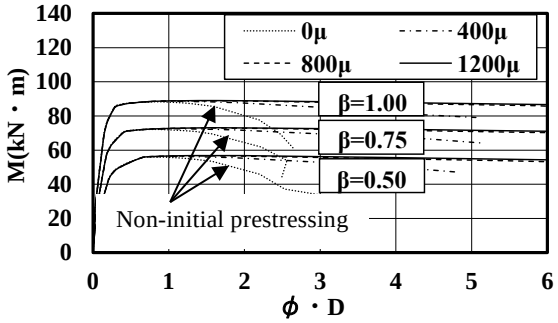


Fig. 16 Comparison of M-ϕD relationship at axial force ratio η = 0.2

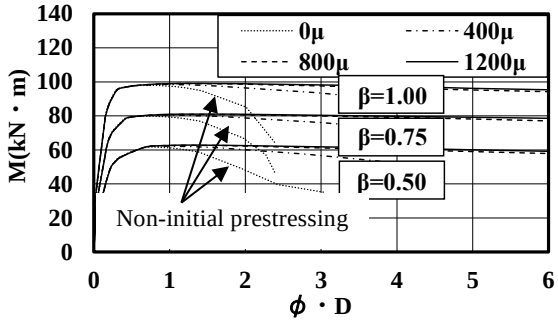


Fig. 17 Comparison of M-ϕD relationship at axial force ratio η = 0.3

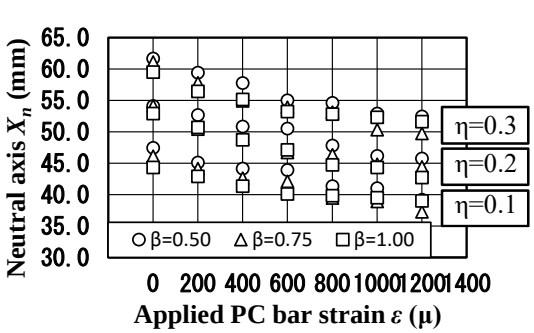


Fig. 18 Change in neutral axis X_n at each applied PC bar strains

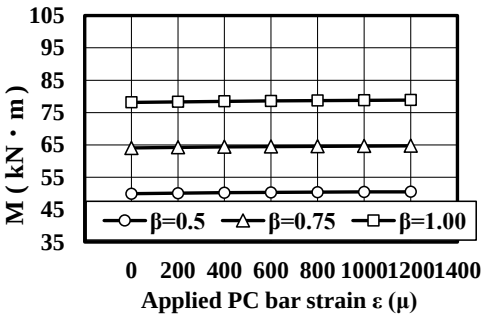


Fig. 19 Flexural capacity at axial force ratio η = 0.1

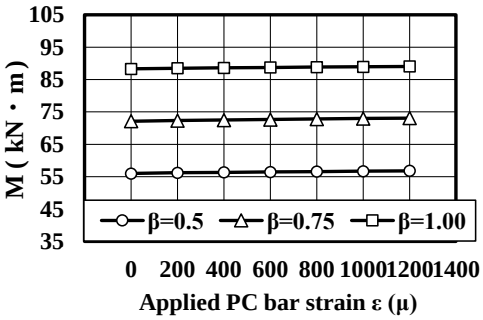


Fig. 20 Flexural capacity at axial force ratio η = 0.2

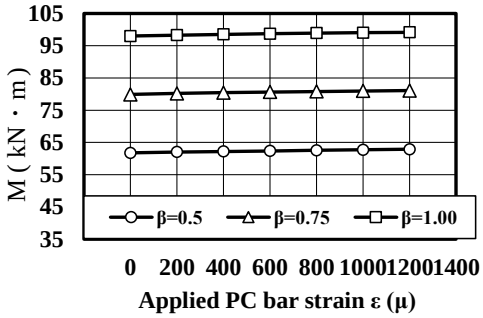


Fig. 21 Flexural capacity at axial force ratio η = 0.3

As shown in Fig. 18, by increasing the axial force ratio, the neutral axis depth increases. In addition, it was shown that greater initial strain of PC bars causes smaller neutral axis depth. This is thought to be linked with the confined concrete strength f'_{cc} (see Fig. 13). However, as can be seen from Fig. 18, when the initial strain of PC bars exceeds 600μ, the regularity of the calculation results of each case is slightly disturbed. Here, the confined concrete strength in the region (b) and the strip width in FMAM are thought to have influenced the calculation results. Even with the smallest additional wall length (β=0.5), the neutral axis became βD=88mm which means that the neutral axis depth lies on the additional wall side (within βD, β=0.5, D=175mm, βD =87.5mm).

The impact of applied initial tensile strain of PC bars on flexural strength was investigated for three cases of specimens with different level of axial force ratios (η=0.1, 0.2, 0.3) and different wing wall length ratios (β=0.50, 0.75, 1.00). The corresponding results of these calculations are shown in Figs. 19 to 21. These Figs. show that the change in flexural strength due to the applied initial tensile strain of PC bars was significantly small. These Figs. also show that the axial force ratio η increases, the flexural strength of the retrofitted RC columns increases.

However, the results shown in Fig. 13-21 are partially listed in Reference 19 (Inaba, et al. 2020).

6. Conclusion

A calculation method (FMAM and simplified flexural strength equation) which considers active lateral confinement pressure due to the applied initial tensile strain by the PC bars was developed in this study. Using this calculation method, the flexural strength of an existing RC column retrofitted by SSM can be determined. In addition, the yield state of the longitudinal rebars in the existing RC column, the neutral axis position and the impact of applied initial tensile strain of PC bars on the flexural strength were studied in detail using FMAM. The results of this study are concluded as follow:

(1) Considering the active lateral confinement pressure of PC bars, the results obtained by FMAM closely matches the calculated results by simplified flexural strength equation.
(2) All longitudinal rebars come under tensile stresses due to the position of neutral axis in the additional wall side, and the calculated results by FMAM and simplified flexural strength equation verified it.
(3) The experimental results of the test specimens (R19-1-PP1, R19-1-PP2 and R19-1-PP3) were lower than the results obtained by FMAM and simplified equation. Because only layer 1 and 2 of longitudinal rebars in the existing RC columns of these specimens reached their yield strength, and the rebars in layer 3 did not yield.
(4) The calculated flexural strengths in specimen R19W-7FB obtained by FMAM and simplified flexural strength equation (3) are verified by the experimental result with higher accuracy. And, the calculated flexural strengths in specimen R19W-5FB obtained by FMAM and equation (3)

are in good agreement but the experimental result bigger than them.

The results of investigation on the initial pre-stressing force of PC bars showed its lower impact on the flexural strength. However, the PC bars function as separators of the steel plates, and help the steel plate, additional concrete and existing RC column to achieve the required integration. Further investigations on PC bars' diameter, spacing and the level of applied initial tensile strain is suggested in the future.

Acknowledgements

During this experimental investigation, we received productive assistances from technical staff members Mitsuo Tanaka, Masao Matsuhara and Hiroji Hirata at National Institute of Technology, Ariake College. A great support was provided in manufacturing of specimens by Miike Concrete Industry Co., Ltd. This study was carried out using a research grant which was awarded to Kazuo Kaneda in 2018 by the Obayashi Foundation (Public Interest Incorporated Foundation). Therefore, the authors profoundly acknowledge all those who have supported this research from all aspects.

References

1) Editorial committee for the report on the Hanshin-Awaji Earchquake disaster. 1991. Report on the Hanshin-Awaji Earthquake disaster - Building Series Volume 2-
2) Quick report of the field survey and the building damage by the 2016 Kumamoto Earthquake. TECHNICAL NOTE, National Institute for Land and Infrastructure Management, No.929. September 2016 and Building Research Data. No.173 September 2016
3) Japan Building Disaster Prevention Association: Standard for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001 (in Japanese)
4) Yamakawa, T., Kamogawa S. and Kurashige, M., (1999.12). "An Experimental Study on the Seismic Retrofit Technique for RC Columns Confined with PC Bar Prestressing." Journal of Structural and Construction Engineering (Transaction of AIJ), No. 526, pp. 141-145. (in Japanese)
5) Yamakawa, T., Ogawa, K. and KURASHIGE, M.,(2000.3). " Seismic performance of hybrid RC columns highly confined in square steel tube and PC bar Prestressing." Composite and Hybrid structures Vol. 1. Proceedings of ASCCS Conference Los Angeles, USA, pp.505-512.
6) Hotta, K., Yamakawa, T., Morishita, Y. and Rahman, M. N., (2004). "Tests and Analysis of Wing-Wall Columns Retrofitted by Steel Plates and Pretension PC Bars." Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 26, No. 2, pp. 1309-1314. (in Japanese)
7) Yamakawa, T. and KURASHIGE, M.,(2005). "A seismic retrofit technique for existing RC buildings by high strength steel rod prestressing." International Symposium on Earthquake Engineering Commemorating Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake, Kobe/Awaji, January 13-196, pp.1-12
8) Rahman, M. N. and Yamakawa, T., (2005.6). "Investigation of seismic retrofit for piloti frames utilizing extremely thick hybrid walls." Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 27, No. 2, pp. 1117-1122. (in Japanese)
9) Yamakawa, T., Rahman, M. N., Nakada, K. and Morishita, Y., (2006). "Experimental and Analytical Investigation of Seismic Retrofit Technique for a Bare Frame Utilizing Thick Hybrid-walls." Journal of Structural and Construction Engineering (Transaction of AIJ), No. 610, pp. 131-138.
10) Rahman, M. N. and Yamakawa, T., (2007.6). " Investigation of a Hybrid Technique for Seismic Retrofitting of Bare Frames." Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 209-222, 2007.6
11) KANEDA, K., Nakada, K., Yamakawa, T., LI, B. and Uehara, S., (2018). "Strength Evaluation of Existing RC Columns Retrofitted with Steel Plates and PC Bar Prestressing." Summaries of technical papers of annual meeting Architectural Institute of Japan (Sendai City). p.421-422. (in Japanese)
12) Inaba, T., Kaneda, K., Nakada, K., Yamakawa, T. and Uehara, S., (2019). "Study on applicability of the proposed formula of the bending strength of existing RC columns retrofitted with steel plates and PC bar prestressing (Part 2 : Verification by calculation results." Summaries of technical papers of annual meeting Architectural Institute of Japan (Hokuriku). p.3-4. (in Japanese)
13) Matsumura H. and Ito S., (1989). "Compressive strength of concrete filled in square steel pipes", Summaries of technical papers of annual meeting Architectural Institute of Japan (Kumamoto). p.1627-1628. (in Japanese)
14) Sakuyama, H., Yamakawa, T., Pasha, J. and Okumura, T., (2010). "AVADI Experimental study on seismic reinforcement of low-strength RC frames." Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 32, No. 2, pp.337-342. (in Japanese)
15) ACI Committee318, 1989. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-89) and Commentary".
16) Mander, J.B., Priestley, M.J.N and R.Park, R. (1988): "Theoretical Stress- Strain Model for Confined Concrete." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826.
17) Richart, F. E., Brandtzaeg, A. and Browm, R. L. (1928) : "A Study of the Failure of Concrete Under Combined Compression Stresses." Bulletin 185, Univ. of Illinois Engineering Experimental Station, Champain, III.
18) Nakada, K., Yamakawa, T., Kaneda, K., Kuroki, M., Noori, Z., M. and Javadi, P. (2020):"Investigation of the strength-ductity-type seismic retrofitting technique for existing RC columns using PC bar prestressing and steel plates." Journal of Structural and Construction Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 96, No. 778, pp. 1633-1642. (in Japanese)
19) Inaba, T., Kaneda, K., Nakada, K. and Yamakawa, T., (2020). "Analytical study on flexural strength of RC columns retrofitted with steel plates and PC bar prestressing. " Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 42, No. 2, pp.793-798. (in Japanese)

MHz帯の電磁波に対する積乱雲及び降雨空間の有する等価誘電率の試算

南部 幸久

＜令和3年11月29日受理＞

Estimated effective permittiviy of cumulonimbus clouds and rainfall space for MHz band electromagnetic waves

NANBU Yukihisa

The method of calculating the electrical characteristics of cumulonimbus clouds is an important issue from the viewpoint of meteorological forecasting and disaster avoidance. In this paper, we assume cumulonimbus clouds and rainfall space as discrete random media and try to calculate the effective permittivity for MHz band electromagnetic waves. In cumulonimbus clouds, ice particles such as hail and frozen raindrops cause lightning due to friction in a strong updraft, and it rains heavily. And this paper shows the numerical examples of the effective permittivity of the cumulonimbus clouds and the rainfall space, and investigates its validity.

1　はじめに

積乱雲や降雨空間の有する電気的特性の算定方法の開発は，電磁波によるセンシング技術を利用した気象計測や防災のための技術開発の観点から重要な課題である．こうした中，近年，弱い誘電率の揺らぎを持つ不規則媒質（ランダム媒質）中を伝搬してきた電磁波に生じる主偏波成分が減少する現象（depolarization）と，その結果生じる交差偏波成分を解析し，理論的に評価する研究が進められている[1]-[3]．気象関係の計測に用いられるレーダは，積乱雲や線状降水帯からの反射波の情報を用いるため，通常，マイクロ波帯以上の高周波の電磁波が用いられるが，地上デジタルテレビジョン放送やFMラジオ放送などのMHz帯の低い周波数の電磁波は積乱雲や降雨空間の中を透過するので，伝搬する際に生じる交差偏波成分を計測及び解析できれば，気象計測への応用が期待できる．

そこで本研究では，積乱雲や降雨空間を透過してきたMHz帯の電磁波から伝搬路の電気的特性を把握する技術の開発を目的として，多数の雨滴や氷の粒から構成されるランダム媒質を仮定し，MHz帯の電磁波に対する等価誘電率の算定を試みる．積乱雲中では，強い上昇気流の中で雹や霰のような氷の粒が生じ，降雨の際には大量の雨となることから，積乱雲中の水粒子が氷から水に至るまでに，どのように等価誘電率が変化するかを数値的に求め，その有用性について検討する．

2　電磁波多重散乱理論に基づく等価誘電率算定式

多数の誘電体粒子から構成される離散的ランダム媒質の等価誘電率は，電磁波の多重散乱理論に基づいて解析され，様々な算定法が提案されている[4],[5]．代表的な等価誘電率の算定法として，誘電体粒子間の多重散乱を前方多重散乱で近似し，粗分布における散乱解析に有効なEFA(Effective Field Approximation)[6]，誘電体粒子間の前方多重散乱に後方多重散乱の一部を加えた近似により，密な分布の散乱解析にも有効なQCA(Quasi-Crystalline Approximation)[7]，QCAによる散乱解析において背景媒質を等価誘電率として繰り込むことにより，より精度を上げた解析法であるQCA-CP(QCA with Coherent Potential)[7]，そして，粒子間の前方及び後方多重散乱をより深く取り込んだ多重散乱解析法としてDUR法(Method for analyzing the multiple scattering due to particles whose Distribution can change from Uniformity to Randomness)[4][5] がある．いずれの方法も，ランダム媒質中の電磁波の平均界（コヒーレント界）から実効的な伝搬定数 K_{eff} を求めることにより，等価誘電率 $\varepsilon_{\mathrm{eff}}$ の算定式を得る．よって，K_{eff} と $\varepsilon_{\mathrm{eff}}$ は，ランダム媒質中の平均グリーン関数 $\langle \widehat{G}(\boldsymbol{\kappa}) \rangle$ を用いて以下のように表現される[4],[5]．

$$\langle \widehat{G}(\boldsymbol{\kappa}) \rangle = \frac{1}{\kappa^2 - K_{\mathrm{eff}}^2} \quad ; \quad K_{\mathrm{eff}}^2 = k_0^2 \varepsilon_{\mathrm{eff}} \qquad (1)$$

ここで，$k_0 = \omega\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ は自由空間中の波数，$\widehat{\ }$は $\boldsymbol{\kappa}$ に

よるフーリエ変換を表す．

本稿では，積乱雲中及び降雨空間のMHz帯の電磁波に対する等価誘電率の試算を行うので，伝搬路における雨滴や氷の粒のサイズは，電磁波の波長λに比べて十分に小さく，その形状による散乱への影響も小さい場合と仮定する．よって，図1に示すように，ランダム媒質を構成する雨滴や氷の粒を，直径d[m]，比誘電率$\varepsilon_{\rm r}$の誘電体球とし，単位体積当たりの誘電体球の個数をn_0[個/m^3]とする．ここで，MHz帯の電磁波に対する水の比誘電率は，実数部が80程度で虚数部は実数部に対して十分小さいことが知られており[7]，氷の比誘電率は3程度であることが知られている[7]．従って本稿では，氷の粒が解けて雨滴になる際は3から80の間で比誘電率が変化すると仮定し，誘電体球を比誘電率$\varepsilon_{\rm r}$が3から80の間で変化する無損失誘電体球とする．さらに，試算においては，背景媒質を誘電率ε_0，透磁率μ_0の自由空間とし，この多数の誘電体球が極めて粗に分布，すなわち，単位体積中に誘電体球の総体積が占める割合である体積占有率 (fractional volume) $f = n_0\{4\pi(d/2)^3/3\}$が，$f \ll 1$である場合を取り扱うことになる．

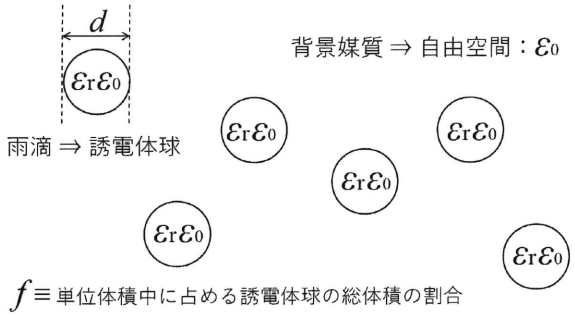


図1．降雨空間の媒質モデル

以上のような媒質モデルにおいて，$\lambda \gg d$の低周波近似を適用すると，球体による電磁波の散乱はレイリー散乱[6][7]として取り扱うことができ，等価誘電率$\varepsilon_{\rm eff} = K_{\rm eff}^2/k_0^2$の算定式は，その導出に用いられた多重散乱解析法に応じて以下のように与えられる．

EFA[6][7]

$$\varepsilon_{\rm eff} = 1 + \frac{3(\varepsilon_{\rm r}-1)}{\varepsilon_{\rm r}+2} f \tag{2}$$

QCA[7]

$$\varepsilon_{\rm eff} = 1 + \frac{3(\varepsilon_{\rm r}-1) f}{3+(\varepsilon_{\rm r}-1)(1-f)} \tag{3}$$

QCA-CP[7]

$$\varepsilon_{\rm eff} = 1 + \frac{3\varepsilon_{\rm eff}(\varepsilon_{\rm r}-1) f}{3\varepsilon_{\rm eff}+(\varepsilon_{\rm r}-1)(1-f)} \tag{4}$$

DUR法[4]

$$\varepsilon_{\rm eff} = 1+(\varepsilon_{\rm r}-1)f + \frac{3(\varepsilon_{\rm r}-1)f[1+(\varepsilon_{\rm r}-1)f][\varepsilon_{\rm e}-(\varepsilon_{\rm r}-1)]}{\{(\varepsilon_{\rm r}-1)+3[1+(\varepsilon_{\rm r}-1)f]\}\{\varepsilon_{\rm e}+3[1+(\varepsilon_{\rm r}-1)f]\}} ; \tag{5}$$

$$\varepsilon_{\rm e} = (\varepsilon_{\rm r}-1)\cdot\sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^{d/2}\left(\frac{r^2}{\sigma^3}\exp\left[-(r^2/\sigma^2)\right]\right)dr\,, \tag{6}$$

$$\frac{\sigma}{a} = 1 - f \tag{7}$$

ここで，DUR法において，$a = a_x = a_y = a_z$は，誘電体球間のx，y，z方向の平均間隔，$\sigma = \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$は，誘電体球を平均間隔$a$で格子状に配置した状態から各方向への位置変動変動の標準偏差であり，ガウス分布を仮定している．そして，$f \ll 1$（粗分布）のとき$\sigma/a \simeq 1$，$f \simeq 1$（密分布）のとき$\sigma/a \simeq 0$の関係を式(7)で表す．本稿では，積乱雲中や降雨空間を取り扱うので，$f \ll 1$の条件下では，DUR法の$\varepsilon_{\rm e} \ll 1$となることから，式(5)においては$\varepsilon_{\rm e} = 0$と近似して，等価誘電率の算定を行う．

3　降雨強度に基づく降雨空間のモデル化

雨量を表す量として「降水量（1時間降水量；単位はmm/hr）」がよく用いられるが，図2に示すように，「降雨強度（ある一定時間に降った雨が1時間降り続いたと仮定して換算した水量；単位はmm/hr）」や「10分間降水量（10分間の短時間に降った水量；単位はmm）」など，降雨の強度を表す量も用いられる[8][9]．1時間の降水量が100mmを超える雨は，災害級の大雨となるが，その1時間の中では，降雨強度で100mmを超える時間帯も存在していることもある．これらの量は，雨量計や気象レーダなどを用いて独立に測定される[9]ので，換算値が完全に一致するとは考えにくいが，本稿では，これらが互いに換算できるものとしてモデル化と計算を進める．

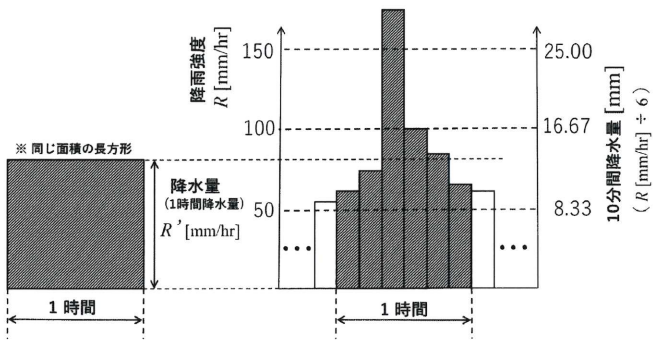


図2．降雨強度と降雨量の関係

本稿では，降雨空間のモデル化を行うので，「降雨強度」に基づいて，単位体積当たりの水量から雨滴の空間分布を求め，降雨強度 R[mm/hr] と雨滴の体積占有率 f との関係を求める．

図３に示すように，1m × 1m の単位面積への降水を考える．雨滴（誘電体球）の落下速度を v[m/s] とすると，(1m × 1m × v[m]) m^3 の空間中の雨滴の総量が１秒間の水量となる．よって，降雨強度 R[mm/hr] である場合の１秒間の降雨強度は，

$$\left(\frac{R[\mathrm{mm/hr}]}{3600}\right)[\mathrm{mm/s}] = \left(\frac{R[\mathrm{mm/hr}]}{3.6}\right) \times 10^{-6}[\mathrm{m/s}]$$

であるので，1m × 1m の単位面積への１秒間の降水量は，上式より $(R[\mathrm{mm/hr}]/3.6) \times 10^{-6}[\mathrm{m}^3/\mathrm{s}]$ となる．

一方，雨滴を直径 d[m]，誘電率 $\varepsilon_r\varepsilon_0$ の均質で無損失の誘電体球とし，単位体積当たりの誘電体球の個数を n_0[個/m^3] とすると，次の関係が成り立つ．

$$\begin{aligned}(1\times 1\times v)[\mathrm{m}^3/\mathrm{s}]\times(n_0)\,[\text{個}/\mathrm{m}^3]\times\frac{4\pi}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3[\mathrm{m}^3/\text{個}]\\ = (R[\mathrm{mm/hr}]/3.6)\times 10^{-6}[\mathrm{m}^3/\mathrm{s}] \quad (8)\end{aligned}$$

ここで，体積占有率 f は，単位体積中に雨滴による水量が占める割合となるので，上式より

$$f = n_0 \cdot \frac{4\pi}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \left\{\frac{R[\mathrm{mm/hr}]}{3.6v}\right\} \times 10^{-6} \quad (9)$$

となる．よって，雨滴の体積占有率 f は，降雨強度 R[mm/hr]，雨滴の落下速度 v[m/s] から算出される．

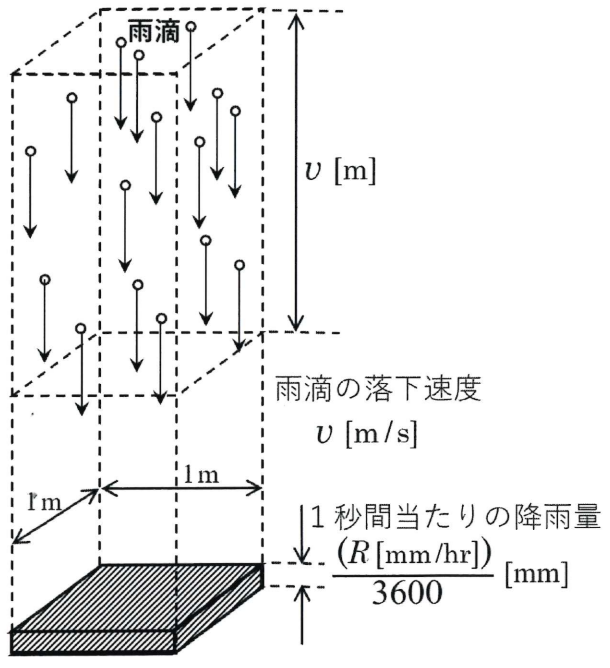


図３．降雨強度と降雨量

4　数値例

図４に，日本で起こりうる降雨強度 R[mm/hr][8] における等価誘電率 $\varepsilon_{\mathrm{eff}}$ の数値例を示す．なお，$\varepsilon_{\mathrm{eff}} \simeq 1$ であるので，数値例は，降雨空間の誘電率の揺らぎとして $\delta\varepsilon_{\mathrm{eff}} = \varepsilon_{\mathrm{eff}} - 1$ を示した．計算条件は，雨滴をモデル化した誘電体球の直径を $d = 3$[mm] と仮定し，そのときの落下速度（最終値）は $v = 7$[m/s] と仮定した[8]．雨滴の誘電率は，氷において $3.2\varepsilon_0$，水の状態で $80\varepsilon_0$ として，この範囲で誘電率が変化すると仮定して計算を行った[7]．ここで，全ての方法での計算結果は一致し，計算上，降雨強度が 400mm/hr の豪雨であっても，降雨空間の MHz 帯の電磁波に対する等価誘電率は非常に小さく，最もシンプルな EFA の算定式での計算で十分であることが示された．このことより，降雨空間中の MH z 帯の電磁波の散乱過程は，前方多重散乱が主体であると考えられる．

確認のため，図５に，誘電体球の誘電率を $80\varepsilon_0$，直径を $d = 3$[mm] で一定として，体積占有率 f を変化させた場合の EFA と DUR による等価誘電率の数値例を示す．DUR による算定式は，後方多重散乱の影響を含んだ算定式であり，両者の間に差がない状況では前方多重散乱での近似が可能な領域となる．降雨強度が 400mm/hr であっても，両者の間に差はなく前方多重散乱での近似が可能であり，等価誘電率の算定には EFA の算定式で十分であることが確認できた．

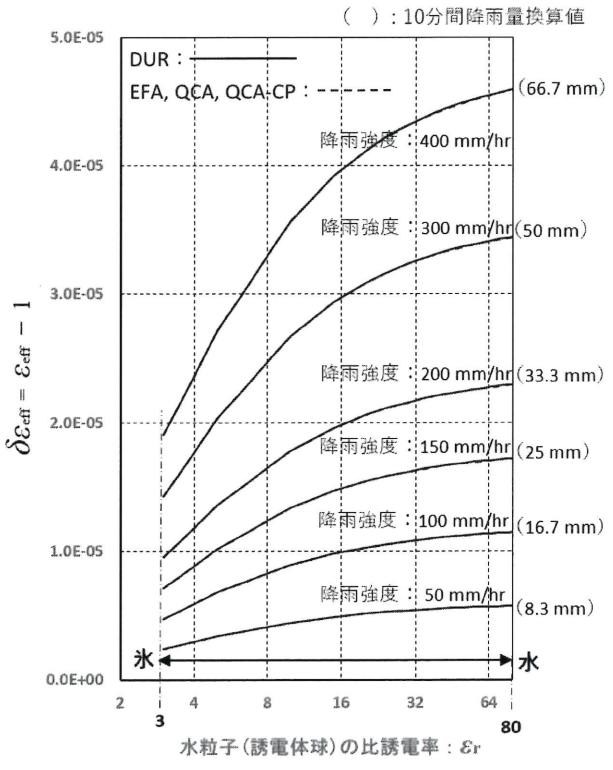


図４．降雨空間の等価誘電率

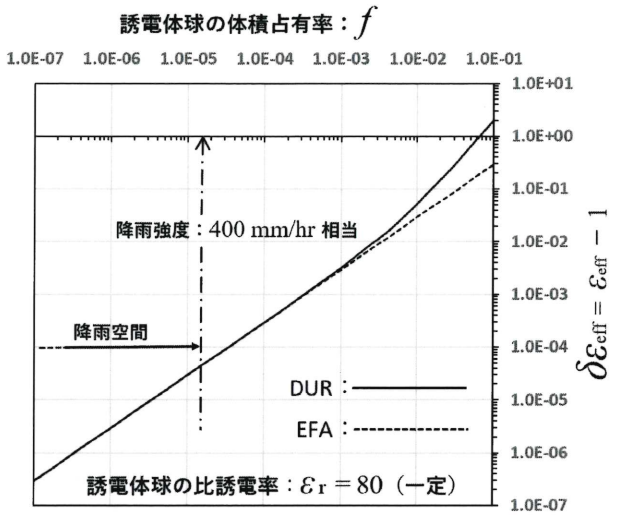


図５．誘電体球の体積占有率：f と等価誘電率の違い

理論解析の段階ではあるが，現在，非常に弱い誘電率の揺らぎを持つ不規則媒質（ランダム媒質）中を伝搬してきた電磁波に生じる交差偏波成分の表現式が得られている[1]–[3]．この発生する交差偏波成分は，ランダム媒質中で前方多重散乱を繰り返しながら伝搬してきた散乱波（SFS 波；Successively forward scattererd wave）[10] から生じる波であり，本稿で示した数値例によって，交差偏波成分の表現式を適用できるランダム媒質のモデルが得られた．よって，降雨空間を伝搬してきた MHz 帯の電磁波に生じる交差偏波成分の算定，及び，MHz 帯の電磁波である地上デジタルテレビジョン放送の電波が，積乱雲や降雨空間を伝搬した際に生じる交差偏波成分の検出の試みが必要である．

5　まとめ

積乱雲や降雨空間の媒質モデルとして，多数の雨滴や氷の粒から構成されるランダム媒質を仮定し，MHz 帯の電磁波に対する等価誘電率 ε_{eff} の試算を行い，その数値例を示した．その結果．ランダム媒質の等価誘電率は，災害レベルの豪雨であってもその揺らぎは非常に小さく，媒質中の散乱過程は前方多重散乱が主であルことを示した．このことより，等価誘電率の算定には，前方多重散乱近似から導かれた実効媒質近似（EFA）による算定式が有効であることを示した．

今後の課題として，積乱雲や降雨空間を伝搬してきた電磁波に生じる交差偏波の数値解析と実験による検証が挙げられる．

謝辞：

本研究の遂行にあたり，ご指導・ご助言をいただいております九州大学名誉教授：立居場光生先生に深謝します．本研究の一部は，JSPS 科研費 18K04187 の助成による．

参考文献

[1] Y. Nanbu and M. Tateiba, “The spatial coherence function of crossly polarized EM-waves caused by depolarization in continuous random medium”, Proceedings of 2019 PhotonIcs and Electromagnetics Research Symposium in Xiamen (IEEE Xplore Digital Library), pp.83-90, 2020.

[2] Y. Nanbu and M. Tateiba, “The second order moment equation of crossly polarized EM-waves due to depolarization in propagation through continuous isotropic random medium”, Proceedings of 2018 Progress In Electromagnetic Research Symposium in Toyama (IEEE Xplore Digital Library), pp.137-143, 2019.

[3] Y. Nanbu and M. Tateiba, “The average of perturbed EM-waves of the first order, depolarized in propagation through continuous random media”, Proceedings of 2017 Progress In Electromagnetic Research Symposium in Singapore (IEEE Xplore Digital Library), pp. 2266-2271, 2017.

[4] Y. Nanbu and M. Tateiba, “A comparative study of the effective dielectric constant of a medium containing randomly distributed dielectric spheres embedded in a homogeneous background medium”, Waves In Random Media, vol.6, no.4, pp.347-360, 1996.

[5] 立居場光生，松岡剛志，“多数の粒子による電磁波散乱とその応用”，電子情報通信学会論文誌 *C*, vol. J88-C, no.3, pp.144—151, 2005.

[6] A. Ishimaru, Wave Propagation and Scattering in Random Media , vol.2, Academic Press, 1978.

[7] L. Tsang, J. A. Kong, and R. T. Shin, Theory of Microwave Remote Sensing , Wiley Interscience, 1985.

[8] 桑原英夫，“日本で起こりうる最大短時間雨量について”，日本気象学会機関誌天気, 第 29 巻, 第 7 号,pp.711-719,1982.

[9] 中島俊夫，よくわかる気象学，ナツメ社, 2019.

[10] M. Tateiba, “Successively Forward-Scattered Wave Propagating Through a Random Medium”, *Transactions IEICE Japan*, Vol. E56-B, No. 1, 1–8, 1973 (in Japanese).

自然数累乗の和の公式の拡張

村岡良紀

＜令和３年１２月１７日受理＞

Extension of the sum formula for power of natural number

MURAOKA Yoshinori

A sum of power of natural number, $\sum_{k=1}^{m} k^n$, can be formulated in terms of Bernoulli polynomials. In this paper, it is shown that a sum of power of arithmetic sequence, $a+k-1, (0<a\le 1)$, can also be formulated in terms of Bernoulli polynomials.

Ⅰ　はじめに

スピン系の統計力学の手法の一つである高温展開においては，スピン演算子で表現された相互作用・ゼーマン項等からなるハミルトニアン H の $\mathrm{Tr}[H^n]$ を求めなければならない．このとき，

$$\mathrm{Tr}[S_z^{\,n}] = (-S)^n + (-S+1)^n + (-S+2)^n + \cdots + (S-2)^n + (S-1)^n + S^n, \tag{1}$$

の和の計算が必要となる[1]．S が非負の整数値の場合は，

$$\sum_{k=1}^{N} k = \frac{1}{2}N(N+1),\ \sum_{k=1}^{N} k^2 = \frac{1}{6}N(N+1)(2N+1),\ \sum_{k=1}^{N} k^3 = \left\{\frac{1}{2}N(N+1)\right\}^2, \cdots \tag{2}$$

等の k^n（n は自然数）の和の公式を用いて計算できる．高専および高等学校においては，k^n の和は，k^{n-1} までの和の公式を用いて証明する[2]．一方，任意の自然数 n に対する k^n の和は Bernoulli 多項式を用いて表すことができる[3]．

物理学において現れるスピン角運動量の大きさ S は非負の整数値ばかりではなく半整数とよばれる，

$$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \cdots$$

の値もとることができる．半整数スピンに対して（1）式の和を求めるとき，$(-S)^n$ から S^n までの和であるので n が奇数の場合は全て 0 となり，偶数の場合は（2）式の和の公式をそのまま使えることが知られている．例えば $n=2$ のとき

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{5}{2}\right)^2 + \cdots + S^2 = \frac{1}{6}S(S+1)(2S+1), \tag{3}$$

のようにして和を求めることができる．

本稿では，数列 a_k を

$$a_k = (a+k-1)^n,\ 0<a\le 1, \tag{4}$$

にとり，その和を考えることにより自然数に対する和の公式の拡張を試みる．ここで，(4)式は $a=1$ および $a=1/2$ のとき，それぞれ自然数の n 乗および半整数の n 乗に対応している．拡張された和

の公式に基づき，偶数乗の場合は(3)式のように $a=1$ および $a=1/2$ のとき同じ式で和の計算ができることを確認する．

本稿の構成は，Ⅱにおいて， Bernoulli 数および Bernoulli 多項式を紹介する．Ⅲにおいて，(4)式の和について考えることにより和の公式の拡張を試みる．最後にⅣにおいて，まとめを述べる．

Ⅱ　Bernoulli 数および Bernoulli 多項式

定義　1

Bernoulli 数 B_n は以下に示す関数の展開係数として定義される．

$$\frac{t}{e^t-1}=\sum_{n=0}^{+\infty}\frac{B_n}{n!}t^n. \tag{5}$$

一般に Bernoulli 数を求める場合は，上の定義にある関数のマクローリン展開ではなく，漸化式

$$B_0=1,\ B_n=-\frac{1}{n+1}\sum_{k=0}^{n-1}\binom{n+1}{k}B_k. \tag{6}$$

を用いる方が便利である．Bernoulli 数の最初のいくつかを以下に示す．

$$B_0=1,\quad B_1=-\frac{1}{2},\quad B_2=\frac{1}{6},$$
$$B_3=0,\quad B_4=-\frac{1}{30},\quad B_5=0,$$
$$B_6=\frac{1}{42},\quad B_7=0,\quad B_8=-\frac{1}{30},\ \cdots.$$

奇数番目のBernoulli 数は B_1 以外はすべて 0 であり，偶数番目のBernoulli 数は B_0 を除いて正の数と負の数が交互に現れている．

Bernoulli 多項式は以下のように定義される．

定義　2

$n\geq 1$ に対して，

$$B_n(x)=\sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}B_{n-k}x^k. \tag{7}$$

ここで， B_k は(6) 式により定義されているBernoulli 数である．

Bernoulli 多項式の最初のいくつかを以下に示す．

$$B_0(x)=1,$$
$$B_1(x)=x-\frac{1}{2},$$
$$B_2(x)=x^2-x+\frac{1}{6},$$
$$B_3(x)=x^3-\frac{3}{2}x^2+\frac{1}{2}x,$$
$$B_4(x)=x^4-2x^3+x^2-\frac{1}{30},$$
$$\vdots$$

Bernoulli 多項式の性質として， $n\geq 1$ について

$$B_{n+1}(x+1)-B_{n+1}(x)=(n+1)x^n, \tag{8}$$

が成り立つ．(8)式において $x=0$ とし，Bernoulli 多項式の定義(7)式を用いると，

$$B_{n+1}(1)=B_{n+1}(0)=B_{n+1},\ (n\geq 1), \tag{9}$$

を得る．

Bernoulli 多項式の区間 [0, 1] における Fourier 級数展開は

$$B_{2l+1}(x)=(-1)^{l+1}\cdot 2\cdot(2l+1)!\sum_{\nu=1}^{+\infty}\frac{\sin(2\pi\nu x)}{(2\pi\nu)^{2l+1}}, \tag{10}$$

$$B_{2l+2}(x)=(-1)^{l}\cdot 2\cdot(2l+2)!\sum_{\nu=1}^{+\infty}\frac{\cos(2\pi\nu x)}{(2\pi\nu)^{2l+2}}, \tag{11}$$

によって与えられる[3]．ここで，$l\geq 0$である．

Bernoulli 多項式の Fourier 級数展開の簡単な応用として，(11) 式より

$$B_{2l+2}(0)=(-1)^{l}\cdot 2\cdot(2l+2)!\sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{(2\pi n)^{2l+2}}.$$

(7) 式を用いると，正の偶数に対するzeta 関数

$$\varsigma(2l+2)=\sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^{2l+2}}=\frac{(2\pi)^{2l+2}}{(-1)^{l}\cdot 2\cdot(2l+2)!}B_{2l+2},\ (l\geq 0), \tag{12}$$

を得る．この結果を用いると，

$$\varsigma(2)=\sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^{2}}=\frac{\pi^{2}}{6},\quad \varsigma(4)=\sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^{4}}=\frac{\pi^{4}}{90},\quad \cdots$$

などの zeta 関数の値を求めることができる．

Ⅲ　和の式の拡張

ここでは，

$$\sum_{k=0}^{N}a_k=\sum_{k=0}^{N}\left(a+k-1\right)^{n}\ ,\ 0<a\leq 1, \tag{13}$$

を Bernoulli 多項式により計算する．Bernoulli 多項式の性質 (8) 式において，

$$x=a,\ a+1,\ a+2,\ \cdots,\ a+N-1,$$

とすると，

$$\begin{aligned}
&B_{n+1}(a+1)-B_{n+1}(a)=(n+1)a^{n},\\
&B_{n+1}(a+2)-B_{n+1}(a+1)=(n+1)(a+1)^{n},\\
&B_{n+1}(a+3)-B_{n+1}(a+2)=(n+1)(a+2)^{n},\\
&\qquad\vdots\\
&B_{n+1}(a+N)-B_{n+1}(a+N-1)\\
&\qquad=(n+1)(a+N-1)^{n}.
\end{aligned}$$

辺々を加えると，

$$B_{n+1}(a+N)-B_{n+1}(a)=(n+1)\sum_{k=1}^{N}\left(a+k-1\right)^{n},$$

よって，拡張された和の式

$$\sum_{k=1}^{N}\left(a+k-1\right)^{n}=\frac{B_{n+1}(a+N)-B_{n+1}(a)}{n+1}, \tag{14}$$

を得る．

自然数の和は $a=1$ に対応しているので(9)式および(14)式より

$$\sum_{k=1}^{N}k^{n}=\frac{B_{n+1}(N+1)-B_{n+1}}{n+1}, \tag{15}$$

となる．特に，n が偶数の場合，奇数番目のBernoulli 数は B_1 以外はすべて 0 であることから $B_{n+1}=0$ となり，

$$\sum_{k=1}^{N}k^{n}=\frac{1}{n+1}B_{n+1}(N+1). \tag{16}$$

Bernoulli 多項式の Fourier 級数展開(10)式

$$B_{2l+1}(x)=(-1)^{l+1}\cdot 2\cdot(2l+1)!\sum_{\nu=1}^{+\infty}\frac{\sin(2\pi\nu x)}{(2\pi\nu)^{2l+1}},$$

より，n が偶数の場合，すなわち $n=2l$ の場合，$B_{n+1}(1/2)=B_{2l+1}(1/2)=0$であることから，$a=1/2$ のとき(14)式より

$$\sum_{k=1}^{N}\left(k-\frac{1}{2}\right)^{n}=\frac{1}{n+1}\left\{B_{n+1}\left(N+\frac{1}{2}\right)-B_{n+1}\left(\frac{1}{2}\right)\right\}=\frac{1}{n+1}B_{n+1}\left(N+\frac{1}{2}\right),$$

を得る．半整数スピン S は$S=N-1/2$に対応するので，上式右辺は

$$\frac{1}{n+1}B_{n+1}\left(S+1\right),$$

となり，(16)式右辺と一致する．したがって，n が偶数の場合は半整数スピンに対しても同じ和の式を用いて計算できることがわかる．一方，n が奇数の場合，すなわち $n=2l+1$ の場合，一般に

$$B_{n+1}\left(\frac{1}{2}\right)=B_{2l+2}\left(\frac{1}{2}\right)\neq 0,$$

であるため，同じ和の式を用いて計算できない．

Ⅳ まとめ

本稿では，Bernoulli 多項式の性質を用い，自然数の n 乗の和を初項 a $(0<a\leq 1)$，公差１の等差数列の n 乗 $a_k=\left(a+k-1\right)^{n}$，の和へ拡張し，その和が Bernoulli 多項式によって表されることを確認した．拡張された和の式を用いて，n が偶数の場合は(3)式のように半整数スピンに対しても整数スピンと同じ和の式を用いて計算できることを確認した．

本稿における拡張は，Bernoulli 多項式の性質(8)式を利用しているため，公差１の場合に限定されており，ここで採用した方法では一般の公差 d $(d\neq 1)$への拡張はできない．

参考文献

[1] G.S.Rushbrooke and P.J.Wood, On the Curie points and high temperature susceptibilities of Heisenberg model fromagnetics. Mol.Phys. **1**, 257-283, (1958).

[2] 有明高専数学科, *有明高専の数学　第２巻*. (2021).

[3] 高木貞治, *解析概論*. 岩波書店, (1980).

英語科教育にて思考力を鍛える:プレゼンテーション活動を通して

村端 啓介

＜令和 3 年 12 月 17 日受理＞

Developing Thinking Skills in English Language Teaching: Through Presentation Activities

MURAHATA Keisuke

The purpose of this paper is to summarize the recommendations and reasons for the active introduction of presentation activities to improve thinking skills in English language teaching in Japan. In recent years, there has been much discussion about introducing thinking skills as an educational goal in English courses. Therefore, the purpose of this paper is to propose an "English class for thinking" based on the two roles of presenter and audience in presentation activities.

Keywords: Presentation, English education, Logical thinking, Critical thinking, Concept Hierarchy

1. はじめに

本論は、英語科教育において思考力を向上させるために、プレゼンテーション活動の積極的導入の推奨とその理由についてまとめることを目的としている。学習指導要領にも記載されている教育目標としての思考力だが、近年英語科目としてどのように導入するべきかの議論が展開されている。そこで本論では、プレゼンテーション活動におけるプレゼンターとオーディエンスの二つの役割をもとにした「考えるための英語の授業」の提案を目的とする。

2. 英語教育と思考力

文部科学省(2017)の小学校学習指導要領外国語編をもとに 2020 年から実施されている小学校の外国語科目では、「教科の目標及び内容」として、「思考力・判断力・表現力等」が教育目標として掲げられている。このことは、初等教育の時期から自ら考える力の育成が重要視されており、小学生の時点で生徒たちが外国語科目としての英語の授業にて思考力を鍛えるカリキュラムに身を置く状況にあることを意味する。さらに、文部科学省（2018）の高等学校学習指導要領外国語編では、「思考力・判断力・表現力等」に関する事項について、以下の点を身につけられるよう指導を行うように記載がある。

「思考力，判断力，表現力等」としては，外国語を通じて，身近で簡単な事柄について，音声で十分に慣れ親しんだ外国語の語彙や基本的な表現を推測しながら読んだり，語順を意識しながら書いたりするとともに，聞いたり話したりして自分の考えや気持ちなどを伝え合う基礎的な力を養うことが求められる。そのためには，具体的な課題を設定し，コミュニケーションを行う目的や場面，状況等に応じて，既得の知識や経験と，他者から聞き取ったり，掲示やポスター等から読み取ったりした情報を整理しながら自分の考えなどを形成することが必要である。

小学生から高校生までが対象となるこの思考力教育では、最終的に、自らの考えを基礎的な外国語運用能力をもとに発信していく能力を習得することが求められている。しかし、この思考力強化教育の英語科目内での実施について、今後取り組むべきいくつかの課題がある。

まず一つ目の課題は、これまでの日本の英語教育において、文法偏重型授業からコミュニケーション重視型授業へと移行して行く中でも、とりわけ思考力に関してはあまり積極的に指導が行われてきていなかった点が挙げられる。現場の教員は、時として「英語」を教えることを中心に据えた教育を重んじるあまり、「考えること」に重きを置くことに抵抗を感じる場合もあると報告されている（大野他, 2005）。文法に関する授業では、学生は基本的に文法のパターンを理解し、類似問題を応用問題として解けるようになることが求められてきた。それらの演習問題も英語科教員が作成したハンドアウトやワークシートを使用した授業が多く、学習者にとって受け身の学びが展開されている（中井, 2012）。特に受験を意識した授業が中心だと、英語の運用に関して正しいか間違っているかの二択で展開されており、答えのない問題について多角的に思考するような時間をもつ機会は少ないと考えられる。さらに、近頃はコミュニケーションを中心に据えたカリキュラムが重要視されているので、歌やゲームを通じて英語を口にすることを目的とした授業が増えた。しかし、これらの授業においても、学生に求められるのは英語の流暢さであり、発言内容の思

慮深さなどは特に注目されてもいなかったと推測できる。ただ喋ればよかった授業内容から、今後は「どのように考えるのか」を意識した授業展開にシフトしていくことが必要になってくる。ワーキングランゲージとして英語を使用しながら、さらに科目内容に関して深く考える機会を学習者に与えることで、学習指導要領記載の思考力等を兼ね備えた国際人が育成できるだろう。

そして次の課題は、日本語母語話者としての思考力とその指導法の確立である。つまり、思考力の文化的側面を考慮した教育についてこれから再考する必要があると考えられる。その理由は、そもそもの考える力に対する価値観が、日本語母語話者と他の国の人たちとのそれとは異なる可能性がある。例えば、情報で溢れかえっている世界を生き抜く力として必要だと言われている能力にクリティカルシンキング力がある(楠見，道田,2016;樋口, 2014)。しかし、他者との協調に重きを置く日本語母語話者は、論理的に思考をする人に対して親しみやすさを感じない傾向があることが報告されており（元吉, 2011)、欧米型のような問題解決をベースとした思考力を習得することのハードルがそもそも高いとも考えられる。目標達成のため他者とぶつかり合うような議論のスタイルをとる欧米人とは異なり、問題解決よりも他者との協調に価値を見出しているのが日本語母語話者である。よって、例えばディベートのような学生同士が対立して意見をぶつけ合うような指導法では、学生の感情に逆行した活動となり、結果的に教育効果が薄れてしまうかもしれない。思考力の強化を前提とするならば、学生同士が他者とぶつからないような内容の指導がより効果的だと考えられる。意見やアイデアをどう伝達するかの前に、まずしっかりと考えることを優先して指導するべきかもしれない。

そこで本論では、上記の課題に対する解決策となりうる、これまでの英語教育ですでに様々な教育機関で導入・実施されてきたプレゼンテーション活動に今一度焦点を当て、思考力の向上という観点からその活動をどのように取り入れるべきか論じる。

3. プレゼンテーション活動について

ここでは、なぜプレゼンテーション活動が思考力向上を促進させるために効果的なのかを述べる。

まず一つ目は、科目にかかわらず現行の教育カリキュラムへの導入が容易に行える点である。プレゼンテーションと聞いて、本来のものとは全く異なる活動を想像する人はおそらくこの地球上には存在しないほど、プレゼンテーションは誰もが知っている活動である。さらに教育機関のみならず、社会に進出してからもプレゼンターとして、そしてオーディエンスとしても参加する機会が多い活動である。指導者の視点から考えても、発表するトピックや教員からの評価基準によって活動の難易度が変えられることも、導入のハードルを低くしている。学習者のレベルに合わせた実施が可能なのである。これは、学習指導要領にもある小学校から高校への学習内容の接続に関しても有利な点であり、授業内容やレベルに関係なく、プレゼンテーション活動は活用できる。

二つ目の利点は、ディベートのような対立型の指導法とは異なり、意見交換型の活動として思考力を強化できる点である。例えば、プレゼンターとして内容を構成するプロセスを思考強化訓練として考える場合でも、その最終的な目的は、オーディエンスに対してよりわかりやすく説得力のあるプレゼンテーションを考えることである。最初から意見の対立を前提とするような活動ではなく、プレゼンターとして自らが練ったアイデアを論理的に伝達し、オーディエンスとして適切に受け取った情報を処理する活動が有意義な学習機会を生み出すのである。以上、これらの利点を踏まえて、次項では実際にどのようにプレゼンテーション活動を運用するべきか、指導案をまとめる。

4. 得られる思考力と指導

ここでは、本論にて推奨するプレゼンテーション活動の運用方法と、その指導法によって得られる可能性のある思考力について論じる。学習者の活動をプレゼンターとオーディエンスの二つに分けて、それぞれの役割に基づいた指導を考案する。

4.1 プレゼンターとして

まず一つ目は、プレゼンターとして、内容構成の考案過程に沿った思考力を鍛えるための指導法について考える。ただ単に「５分以内のプレゼンテーションを作成しなさい」と学習者に全て投げかけるのではなく、思考力を向上させる機会として、明示的に考えることを課す指導の実施を目標とする。ここでの指導法は、プレゼンターとしていかに自らが考えて内容を練り上げるかに着目するため、スライド内の文章のレイアウトや効果的なジェスチャーの使用法等、その他のプレゼンテーションスキルに関しては触れない。トピックを深く考えて掘り下げるための訓練を前提とした指導法を考える。具体的には、

1. ブレインストーミングでアイデアを膨らませる
2. 内容を包括的に言語化し、トピックセンテンス（TS）を設定する
3. 概念階層を意識したサポートアイデア（SI）を設

定する
という三つの段階に分けて指導を実施する。

初めに、学習者にはプレゼンテーションの内容に関するブレインストーミングを行ってもらう。学習者自身が一番伝えたいことは何か、そのコア・アイデアを中心に、主張をサポートする理由を書き出す作業である。この作業で、TS と SI をどのように設定するか、ある程度の方向性を決める。

次に TS の設定に入る。TS は、プレゼンターがオーディエンスに一番伝えたいことであり、その後の SI によって支えられるべき仮説的要素を含む提言である。全体の内容を表し、さらに簡潔にまとめる必要がある。この過程では、以下の「TS 評価のための質問」を常に繰り返し自問自答するように指導することで、プレゼンテーションの軸として、より洗練された TS が設定できるはずである。

- *オリジナルな内容になっているか？*
- *TS は誰にとってもわかりやすい言葉で簡潔に表現されているか？*
- *自分が一番言いたいことが TS で言えているか？*
- *プレゼンテーションの内容全体を一言で説明しているか？*

これらの質問を活用し、情報としての簡潔さ、そして全体的な内容とのつながりをきちんと考えることで、大局的な思考能力が育成できる。

最後に、SI の設定である。ここで重要な点は、それぞれの SI を、ブレインストーミングで書き出したものから概念的に同位であるものを選定することである。つまり、TS をサポートするための理由として他の SI と同位概念であり、且つそれぞれの SI と内容が被らないものは何か考えるように指導する。この階層概念をもとにした情報整理方法を習得することは、学習効率を高め（皆川, 2012）、そして質の高い思考を導くための知識の外化の手段を得ることにつながるという有用性がある（川上&西川, 2013）。しかし、教育活動を行なったとしても、学習者が理解できているか評価が難しく（古賀他, 2017）、よって長期的な指導が不可欠であると考えられる。プレゼンテーション活動は、どのような教育機関にも、どの科目にも導入可能であるため、階層概念取得訓練の場として利用することで、物事の俯瞰的把握能力の強化が望める。

これらの三つのプロセスを経て内容を組み立てるように指導することで、その過程で様々な方法で思考する機会が生まれると期待できる。なお、指導者としてのそれぞれの過程における学習者の取り組みに対する評価は、1)ブレインストーミングの充実度、2)「TS 評価のための質問」をもとにした内容の適切さ、そして 3)SI の概念構造のばらつきと同位感の確認、これらを基準に数値化することが可能性だと考えている。この評価基準に関しては、今後同研究を進めていく過程で作成する予定である。

4.2 オーディエンスとして

次に、オーディエンスとしての思考力を鍛える指導法を考えたい。オーディエンスとして能動的に思考するためには、プレゼンテーション終了後の質疑応答の際に自らが能動的に考えて質問やコメントを発信してもらうように指導する。つまり、単なる事実確認のための質問や、プレゼンテーションの出来栄えに関するコメントは十分に思考したものとは認めない。

注目すべきは、「聴衆力」である。聴衆力とは、プレゼンターの発表内容から得た情報と自身が持つ情報の差を認識し、質問の言語表現を用いてそのギャップを埋めるためにコミュニケーションを図ることができる能力を指す。現在、プレゼンテーション活動を導入している教育機関で、すでに聴衆としての役割を与える指導を行なっている例は多い。例えば、peer review のような活動を通して、クラスメイトのプレゼンテーションを学生に評価させるよう指示する教員もいるだろう。しかし、本論で推奨する聴衆としての役割は、声の大きさやスライドの見栄え等、内容を聞いていなくてもわかるような項目について評価する機会は与えない。代わりに、プレゼンターの発表内容をしっかり聞いた上でしか発言できないコメントや質問を生産するための訓練を行うことで、聴きながら考えるといった瞬間的・即時的な思考力の向上を図る。

具体的には、以下の三つの項目に沿って、与えられた情報に対して能動的に思考する訓練を行う。それぞれ、着目（focus）、評価（evaluate）、言語化（verbalize）である。オーディエンスとしての役割の最終目的は、受け取った情報を適切に処理し、自らに必要な情報や疑問点に関して質問やコメントとしてアウトプットすることである。ただし、オーディエンスがプレゼンターによる全ての情報を漏れなく理解し記憶することは難しい。そのために、まずは自分の興味がある点や疑問に思ったことに着目（focus）し、焦点を絞って考える必要がある。次に、その焦点を当てた事象について評価（evaluate）を行う。プレゼンターから受け取った情報で、着目した点に対する自身の意見は何か、何をどう思ったのか、これらに関して内省的に思考をしながら評価を下す。そして最後に、その評価から得られた疑問や質問を質疑応答

セクションにて言語化（verbalize）する。あくまでも、プレゼンターとオーディエンスのコミュニケーションを意識し、対立ではなく議論を深めることに意識を向けた活動を行えるよう指導する。質疑応答の時間は限られているので、その限定的な時間の中で効率的に思考できるよう、本番では上記の三項目に沿って瞬間的に思考する訓練を行う。

また、このオーディエンスの思考訓練において教員が下すべき評価は、最終的にアウトプットした質問が、例えば、議論を深める作用のある質の高い質問（King, 1995）なのかどうかで判断することができるだろう。質問ではないコメントに関しても、主観的な意見ではなく、客観的な視点で書かれてあるかどうか、そしてプレゼンテーションの内容に関するリフレクションであれば高い評価を与えるような評価方法が考えられる。これらの評価をもって、学習者へのフィードバックを与えることも重要である。この評価基準に関しても、プレゼンターとしての評価と同様、今後作成していく。

5. おわりに

本論では、プレゼンテーション活動を通した英語科目における思考力の向上について、その指導案を論じてきた。これらはまだ実際に運用されていないので、指導や評価に関する成果・課題は今後の実践報告にてまとめる予定である。「考える英語教育」を実施するためにも、これからも同テーマの発展に注力して行きたい。

参考文献

King, A. (1995). Inquiring minds really do want to know: Using questioning to teach critical thinking. *Teaching of Psychology, 22*, 13-17.

大野秀樹，上村妙子，岡田礼子，山上登美子(2006)．「クリティカル・シンキングと言語教育」. *JACET全国大会要綱, 44*, 213-214.

川上綾子, & 西川栄展. (2013). 「概念地図を活用した思考支援のあり方」. *鳴門教育大学研究紀要, 28*, 115-125.

楠見孝，道田泰司(編) (2016). *批判的思考力と市民リテラシー: 教育，メディア，社会を変える21世紀型スキル*，誠信書房.

古賀修平，中川琢也，平嶋宗，林雄介. (2017). 階層概念の理解を目的としたインタラクティブな操作環境の設計・開発. *2017年度学生研究発表会要旨*, 219-220.

中井弘一. (2012). Ⅴ 実践記録・実践報告・自由論考 自由論考 2 「英語授業における思考力・判断力・表現力育成の方途」 *大阪女学院大学 教職課程機関誌 ： OJC教職活動報告・研究, 5*, 156-166

樋口直宏 (2014). *批判的思考力指導の理論 と実践:アメリカにおける思考技能指導の方法と日本の総合学習への適用*, 学文社.

皆川順. (2012). 概念群の階層化方略が知識獲得に及ぼす影響. *山陽学園短期大学紀要, 43*, 1-7.

元吉忠寛(201). 批判的思考の社会的側面 楠見 孝・子安増生・道田泰司編 『批判的思考を育む 学士力と社会人 基礎力の基盤形成』有斐閣, 45-65

文部科学省(2017) 小学校学習指導要領解説 (平成29年告示) 外国語編

文部科学省(2018) 高等学校学習指導要領解説 (平成30年告示) 外国語編

有明高専における英語習熟度別授業（3年生）の分析と考察（2）

山崎 英司 ・ Richard T. Grumbine ・ 村端 啓介 ・ 村田 和穂

＜令和 3 年 12 月 17 日受理＞

Analysis of Leveled English Classes at National Institute of Technology, Ariake College (2)

YAMASAKI Eiji ・ Richard T. GRUMBINE ・ MURAHATA Keisuke ・ MURATA Kazuho

For four years, a leveled education class has been given to 3rd year students at NIT-A. This experimental class was started with the aim of improving student motivation for English and was later included in the Global Engineering Project. This year, we introduced another leveled education class with different approaches, with an eye to finding better ways to teach English at NIT-A. This research shows the importance of preparation for TOEIC test and the difficulty in encouraging the students of NIT-A in leveled education classes. It was also confirmed that some of the students won't use effective online materials to improve their English.

Ⅰ　はじめに

過去４年間にわたり、有明高専の物質工学・環境生命コース（以下ＣＬコース）の３年生に対して英語習熟度別授業が実施されてきた。この授業は当初、学生の英語に対する動機づけを改善することを目的として始まり、のちにグローバルエンジニア事業に組み込まれることとなった。このグローバルエンジニア事業では、主に低年次の学生に対して英語および理工系教科において国際的に活躍ができる学生の育成を目的としており、有明高専ではその達成状況を TOEIC Bride テストのスコアを基にして今後数年に渡って調査することとなっている。

Ⅱ　二つのコースにおける異なる運用

令和３年度はこの英語習熟度別授業において、より効果的な方法を模索するために、ＣＬコースに加えて建築コース（以下Ａコース）においても英語習熟度別授業を展開することとなった。これはグローバルエンジニア事業における「英語習熟度別授業の実施対象クラスの拡大」を目的とするものであるのと同時に、２つのクラスにおいてそれぞれ異なる実施方法で習熟度別授業を行うことにより「有明高専における効果的な習熟度別授業の実施方法の模索」を目的としていた。表１はその実施方法の違いを示している。

このように異なる実施方法を用いたのには主に２つの目的があった。まず上位グループ対してネイティブスピーカーによる授業を行うことが、有明高専の３年生に対してどの程度の有効性を持っているのか確認する目的があった。英語コミュニケーション能力の獲得においてネイティブスピーカーとの対話が有効であることに議論の余地はないが、TOEIC Bridge のような英語初心者～中級者向けの外部実力テスト受験者に対して、ネイティブスピーカーによる英語中心の講義と、日本人英語講師による日本語による講義のいずれが効果的か測る必要性があったためである。

もう一つの目的として、習熟度別グループの入れ替え制の運用テストがあった。前回の報告である「有明高専における英語習熟度別授業（３年生）の分析と考

表１　令和３年度の習熟度別クラス実施方法の比較

	応用科学・環境生命（ＣＬ）コース			建築（Ａ）コース		
習熟度別グループ数	３グループ			３グループ		
各グループの指導者	上位	中位	下位	上位	中位	下位
	ネイティブ英語常勤講師	専攻科生ＴＡ	日本人英語常勤講師	日本人英語常勤講師	日本人英語常勤講師	専攻科生ＴＡ
グループの入れ替え	なし			４半期ごとにあり		
教材	グループごとの固定テキスト			グループごとの難易度別単語・文法プリント		
試験回数	２回			４回		

察（１）」において確認したように、昨年度までのＣＬコースの習熟度別グループのいずれにおいても、年度前半の成績の伸びが顕著な一方で、年度後半の成績の伸びはかなり鈍く、「習熟度別授業の中だるみ」のようなものが見られた。そのため年度途中で受講生に継続的に刺激を与えるために、学生の所属グループの入れ替えを年度中に複数回行う運用を試験的に導入することを考えた。

Ⅲ　新クラス（Ａコース）導入に伴う問題と変更点

しかしこの入れ替え制には二つの問題があった。まず、この新制度を導入したことで、それぞれのグループで使用する教材の選定を従来とは異なる方法で行う必要が浮上した。グループごとに使用する教材を固定していた場合、年度途中のグループ入れ替えのたびに、新たな教材を受講生に購入させる必要があり、学生の経済的負担が大きすぎたのである。全グループが使用する教材を統一すればその問題は解消されるが、その場合はいずれのグループでも教える内容が似通ったものになりがちで、習熟度別授業を実施する意味合いが薄れてしまうのである。そのために、授業で使用するテキストについては、同一単元で異なる難易度の英文法教材と英単語小テストをグループごとに作成し、それぞれの実力に応じた課題に取り組めるようにした。英文法教材は大学受験用の市販参考書をベースとして、主に空所補充テストや並べ替え問題に取り組むことによって文法構造が理解できるような実戦形式の授業プリントを３パターン準備することとした。単語小テストについてはすでに低学年時に学生が購入済みの英単語帳に付属する小テストを活用し、ただ問題を解かせるだけではなく、間違った箇所については次週までの課題となるようなプリントを作り、学生が真剣に取り組むように工夫をした。これにより、学生が複数の教材を購入する必要がなくなり、さらに教員間での授業進捗状況を随時共有できるようになった。

次に、これまでのＣＬコースと同じ年２回の定期テストを実施していては、入れ替えを行う頻度が低くなってしまうことも問題だった。そこで、新たに習熟度別授業を行う建築コース（以下Ａコース）では、年２回の TOEIC Bridge テストに加えて中間試験のタイミングでも TOEIC Bridge の模試を２回実施することにした。この TOEIC Bridge 模試は市販教材をベースにして担当教員が作成し、問題数や問題のバランスは実際の TOEIC Bridge テストと同じように構成した。この TOEIC Bridge テストと Bridge 模試の合計４回のテスト実施により、Ａコースの学生は２回分のみの定期テストを実施しているＣＬコースと比べて、より頻繁に学習効果についてフィードバックを得られるようになり、そして当初の目的だった入れ替えの回数も増やすことができた。

Ⅳ　各コース・習熟度別グループの平均点比較

表２は令和３年度の３年生習熟度別クラス（３ＣＬ・３Ａコース）の各グループと、習熟度別授業では

表２　各コースのTOEIC Bridge 平均点

		令和2年度			令和３年度					
	人数	1月			7月			1月（前年１月比）		
		Listening	Reading	Total	Listening	Reading	Total	Listening	Reading	Total
3CL 上位グループ	15	31.9	32.9	64.9	26.1	33.2	59.3	28.4 (-3.5)	32.6 (-0.3)	61.1 (-3.8)
3CL 中位グループ	10	22.4	25.5	47.9	23.2	29.0	52.2	22.4 (0)	26.3 (+0.8)	48.7 (+0.8)
3CL 下位グループ	18	25.4	26.6	52.0	22.7	27.1	49.8	22.9 (-2.5)	27.8 (+1.2)	50.7 (-1.3)
3CLコース 全体	43	27.0	28.6	55.6	24.0	29.7	53.7	24.7 (-2.3)	29.1 (+0.5)	53.8 (-1.8)
3A 上位グループ	15	30.7	32.7	63.5	28.8	35.3	64.1	27.7 (-3)	31.5 (-1.2)	59.3 (-4.2)
3A 中位グループ	15	27.3	29.0	56.3	25.6	31.6	57.2	23.8 (-3.5)	26.6 (-2.4)	50.4 (-5.9)
3A 下位グループ	15	20.7	21.9	42.6	21.5	24.2	45.7	19.6 (-1.1)	23.2 (+1.3)	42.8 (+0.2)
3Aコース 全体	45	26.4	28.0	54.4	25.4	30.5	55.9	23.9 (-2.5)	27.3 (-0.7)	51.2 (-3.2)
３年エネルギーコース	30	25.5	28.4	53.9				20.9 (-4.6)	27.3 (-1.1)	48.2 (-5.7)
３年メカニクスコース	45	26.2	27.3	53.5				24.1 (-2.1)	29.5 (+2.2)	53.6 (+0.1)
３年情報システムコース	46	27.3	28.1	55.4				24.4 (-2.9)	29.0 (+0.9)	53.4 (-2)

（注）各グループ・各コース平均点から留学生のスコアは除外
３Ａの所属グループは学年末試験直前のグループを参照

なく検定教科書を使用した通常授業を行っている３年エネルギーコース・メカニクスコース・情報システムコースとの、TOEIC Bridge テストにおける平均点を比較したものである。

残念なことに令和３年度は習熟度別クラスであるかどうかに関わらず、多くの３年生が２年生のときの成績を上回ることができなかったことが、表右側の前年比の数値を見るとわかる。特にリスニングに関してはリーディングと比較すると大きなスコア減が見られる。有明高専の３年次では１コマ９０分の英語の授業が週あたり２コマ開講されているが、習熟度別授業を除くとほぼすべての授業がリーディング中心となっている。一方１～２年次では週あたり１コマのＬＬ授業と２コマのリーディング授業で構成されている。３年次でのリスニング能力の低下が有明高専の３年次英語カリキュラムの問題であるかどうかは、今後も TOEIC Bridge テスト成績の分析を継続的に続け、確認していく必要がある。上級生の成績が下級生に劣るという現象は、多くの学生が大学受験を目指す普通高校などでは考えられない現象である。しかし TOEIC のような英語検定が就職活動に必須とされるようになる現代でも、大学生の英語力が大学入試をピークとして徐々に低下する現象は散見される。大学受験のような競争の機会が当面ない高専では、大学同様に学生に漫然と英語の授業を受けさせているだけでは英語力が低下する恐れがあることを私たちも今一度よく認識しておきたい。

次に習熟度別グループにおける成績の比較をしてみたい。過去の３ＣＬコースに向けて行われた習熟度別クラスにおいて、もっとも学習効果が強く見られたのは下位グループであり、次いで上位グループ、中位グループと続く傾向が見られた。今年に関しても下位グループは３ＣＬコース、３Ａコースいずれにおいても大きな下げ幅は見られず、習熟度別クラスとの親和性が見て取れる。

一方で上位グループでは、両コースにおいて大幅なスコア減が見られる。３ＣＬの上位グループではネイティブによる英語中心の授業形態であるため、全コース中で最も高いリスニング平均スコアを獲得しているものの、２年次の自分たちのスコアに届いていない。３Ａ上位グループにおいては更に大きなスコア減となっており、その大きな理由はリスニングスコアの大幅な減少にある。特に３Ａではリーディング中心の習熟度別授業を展開したため、その偏向がこの結果をもたらしたのかもしれない。このように有明高専の３年次においては、学生のリスニング能力がリーディング能力よりも速いスピードで衰えやすく、その現象は上位グループで特によく見られるということが今回の分析から推測できる。

残る中位グループであるが、３ＣＬの中位グループではスコア微増しているのに対して、３Ａの中位グループでは全グループの中で最大のスコア減少を記録している。３ＣＬの中位グループは全グループの中で最も少ない１０名でＴＡによる授業を行っており、少人数でＴＡのような先輩学生と共に行う授業体制が良い結果をもたらした可能性がある。一方３Ａの中位グループでは３Ａ上位グループ同様にリスニングスコアの減少幅がリーディングスコアの減少幅を上回っているため、上位・中位グループの習熟度別授業にはリスニングパートの学習が欠かせないことを痛感させられる結果となった。

Ⅴ　事前学習案内と学生の反応

TOEIC Bridge は総合的な英語実力試験であり、リーディングだけではなくリスニングの力も試される。授業外でそれらを自主的に身に着けることは困難であるため、有明高専ではＰＣだけではなくスマートフォンでも活用できる㈱アルク社のオンライン英語教材（アルクネットアカデミーNEXT）を採用し、長期休みにお

表３　３年生向けアンケート結果とTOEIC Bridge テスト結果の相関

	３Ｅ	３ＣＬ	３Ｍ	３Ｉ	３Ａ	TOEIC Bridge テスト平均点の相関
今回のTOEIC Bridge テストについての冬休み前のＧmailお知らせを読んだ	62.1%	53.7%	63.4%	47.8%	32.6%	-0.06
冬休み中にTOEIC Bridge用の学習をした	6.9%	12.2%	17.1%	15.2%	16.3%	0.72
冬休み中に英語オンライン教材にログインした	3.4%	2.4%	2.5%	8.9%	0.0%	0.23
TOEIC Bridge テスト コース別平均点	48.2	53.8	53.6	53.4	51.2	

いても学生たちが自学自習できる機会を設けている。今回のTOEIC Bridgeテストでは、初めてTOEIC Bridgeテストを受験する１年生に向けてプリント形式の課題をあらかじめ準備し、試験形式についてある程度慣れたうえで彼らが受験できるように心がけた。またすでに昨年までにTOEIC Bridgeテストの受験経験のある２～３年生と１年生に対して、このオンライン教材の利用を勧める事前学習案内の電子メールを冬休み前に送付した。いつでもどこでも学習が可能なこの教材を彼らが活用してくれることを期待していた。

さらに今回のTOEIC Bridgeテストでは試験前に表３にある３つの事前学習に関するアンケート項目を設けて、学生たちの事前学習の実態とTOEIC Bridgeのスコア平均点の相関を調査することにした。すると多くの３年生がTOEIC Bridgeテストに向けての事前学習をほとんど行っていないことが分かった。なかには事前学習案内のメールすら見ていない学生が半数以上に及ぶクラスもあり、非常に悩ましい結果となった。オンライン教材の利用率に関しても、情報システムコース（３Ｉ）でさえ 8.9%の利用率にとどまっており、効果的に活用されていないことがわかる。一方でオンライン教材を使用していないものの、自分自身で TOEIC Bridge 用対策としての学習をしたと回答した学生は、いずれのコースにおいてもオンライン教材を使用した学生数を上回っている。

これらのアンケート３項目の回答において「はい」を選んだ学生の比率と、TOEIC Bridgeテストのコース別平均点の相関を、Microsoft Excel の CORREL 関数を用いて算出してみたのが表３右側の数値である。CORREL 関数は「１」に近づくほど相関が強く、「０」に近いと相関が弱いことを示す関数である。また「－１」に近づくと相関が逆転していることを示す。この数値によると、メールによるテストの案内を確認しているかどうかという項目は、テスト成績とほとんど関連はないといえる。３年生たちがこの時期に TOEIC Bridge テストを受けるのは今回で３度目であり、メールを確認せずとも試験を受けることやその問題形式については十分周知していたと思われる。またオンライン教材を使用したかどうかも、数値は0.23程度となっており、そこまで関連は強くはないと見られる。

一方で事前学習を行ったかどうかは、0.72 と非常に強い関連性がうかがえる数値となっている。実力テストであるTOEIC Bridgeテストは、学習したところが必ず試験に出るものではなく、短い期間での事前学習の効果について懐疑的な学生も少なくない。しかしこの数値を見る限りでは、しっかりと準備をしておくことがスコア獲得につながっていることがわかる。

次に同日に実施された４年生向けの TOEIC L&R テストの際に回収したアンケートの結果をまとめた表４を見てみよう。これから就職活動を迎える４年生らしく、多くの項目が３年生のものを上回っていることがわかる。事前学習案内のメールも多くの学生が目を通しており、TOEIC L&R が就職活動の際に必要となることを感じているのか、冬休み中の学習についても半数程度の学生が行っているコースもある。残念ながら英語オンライン教材の利用率は依然として低く、今後の課題とせねばならないだろう。

注目したいのは４年生のいずれのコースにおいても３年生のものより各数値がある程度上昇している一方で、各コースの特徴については３年生のものを色濃く引き継いでいる点である。例えば３年の中で事前学習案内メールに目を通す学生の少なかった建築コース（３Ａ）の場合、一つ上の学年である建築コース（４Ａ）でも同じような特徴がみられる。オンライン教材のログイン率が若干他コースよりも高い情報システムコース（３Ｉ）の場合、一つ上の学年である（４Ｉ）でも同じような特徴が見られる。中には数値が大きく変動しているものもあるが、多くの項目において「コ

表４ ４年生向けアンケート結果とTOEIC L&R テスト結果の相関

	４Ｅ	４ＣＬ	４Ｍ	４Ｉ	４Ａ	TOEIC L&R テスト 平均点の相関
今回のTOEICテストについての 冬休み前のＧmailお知らせを読んだ	55.6%	84.6%	60.0%	80.6%	52.3%	0.92
冬休み中にTOEIC用の学習をした	25.0%	53.8%	55.0%	36.1%	15.9%	0.78
冬休み中に英語オンライン教材にログインした	11.1%	12.8%	10.0%	16.7%	4.5%	0.80
TOEIC L&R テスト コース別平均点	278.5	344.0	320.4	346.9	271.5	

ース特有の特徴」が確認できる。この３年生と４年生のアンケートデータは今年同時に収集されたものであり、同一人物で構成されたコースを追跡調査したものではない。それにも関わらずコース独自の特徴が見られるということは「学習傾向の近い学生たちが同じコースに集まりやすい」といった先天的な理由か、「各コースに配属された後に学習傾向が似通ってくる」といった後天的な理由があるのだと推測できる。いずれにせよ習熟度別授業を展開するにあたって、この「コースの学習傾向の違い」を考慮することは重要になるだろう。

そして４年生になると各アンケート項目と TOEIC L&R テストの平均点との関連性が全ての項目において非常に強くなっていることにも注目したい。TOEIC Bridge テストと比較すると TOEIC L&R テストは難易度が飛躍的に高まるため、自己学習だけではスコアを稼ぐことが難しくなる。そのため闇雲に満点を取りに行かず、自分の英語力に合った適切な教材を使用して学習することが大切になる。有明高専におけるオンライン学習教材はこの要件を満たしているため、より多くの学生に使用を推奨するべきということが、この分析から推測できる。

Ⅵ　今後の習熟度別授業での課題と展望

今回の TOEIC Bridge スコア・アンケートの分析により判明した３年習熟度別授業における課題は以下のとおりであった。

（１）「上位グループ・中位グループでは、リスニング能力の強化を継続的に行う必要がある」

今回の TOEIC Bridge スコア減の主な原因は、リスニングスコアの低下にあり、その影響は特に上位・中位グループで目立っていた。そこで来年度の上位・中位グループでは TOEIC Bridge テストに近い形式でのリスニング問題を継続的に行い、ＬＬ授業が無くなる３年次においても着実なスコア増を目指したい。

（２）「学生の学習意欲向上を促す狙いで、グループの入れ替えを施行したが、明確な効果はなかった」

Ａコースで試験的に行ったグループ入れ替えだったが、スコア上での有効性は見られなかった。競争には明確な目標や報酬が必要であり、ただ学生を競わせるだけでは期待した効果が得られないことを実感させられた。今後は同じぐらいの英語力の学生同士でペアを組ませて１コマ単位で競わせるような、小規模な競い合いを授業に組みこむことを検討したい。

（３）「実力テストの事前学習を主体的に行わせるのは非常に難しい」

今回のアンケートから判明したのは、TOEIC Bridge テストに向けて主体的に学習した学生が予想以上に少なかったことだった。またその比率が所属しているコースによってかなり異なることもわかった。有明高専３年生は TOEIC Bridge テストと同日に数学の課題試験も行われており、そちらは提出すべき冬休みの課題と試験内容が一致した、事前学習が効果的なテストである。ゆえに完全な実力テストである TOEIC Bridge テストの方をおざなりにしてしまう３年生も少なくないだろう。今後はテストの実施時期や TOEIC Bridge のための事前学習を他のテスト準備とバッティングさせないようにする方法を検討していかなければならない。そして何よりも習熟度別授業やオンライン教材が TOEIC Bridge テストのスコアアップにつながることを学生に体験させる必要があるだろう。

Ⅶ　まとめ

今年度は多くの３年生が２年次よりも TOEIC Bridge のスコアを落としてしまうという、非常に残念な結果に終わった。この傾向は表２で見られるように、習熟度別クラスでも通常クラスでも共通して見られた現象だった。その理由については今回の分析からは推測できず、学生全体を取り巻くコロナ禍での目まぐるしい学習環境の変化などの外的要因を推測するしかない。それでも１年間を通じてＴＡや同僚の先生方と懸命に取り組んできた習熟度別クラスの結果が、このような残念なものであったことは慙愧に堪えない。受講した学生たちに対しても非常に申し訳ないと感じている。

この反省を生かし、来年度はリスニング学習とリーディング学習をバランスよく配置して、TOEIC Bridge テストのスコアアップに直結するような習熟度別授業を展開していきたいと考えている。オンライン教材に関しては学生の自学自習教材としての役目にとどまらず、授業の中に組み込んでいくことで教材としての効果を実感させられるようにしていきたい。

【参考文献】

１）　山﨑英司・Richard T. Grumbine・村端啓介・村田和穂(2020)「有明高専における英語習熟度別授業（３年生）の分析と考察（１）」『有明工業高等専門学校紀要　第 56 号』有明工業高等専門学校

有明工業高等専門学校紀要　第57号

学寮における電子申請システムの構築

尋木 信一・松尾 明洋・野口 欣照・正木 哲

＜令和3年12月10日受理＞

Construction of electronic application system for dormitories in NITAC

TAZUNEKI Shinichi・MATSUO Akihiro・NOGUCHI Yoshiaki・MASAKI Tetsu

In 2014, we built an electronic application system for dormitories in National Institute of Technology, Ariake College (NITAC). In this paper, we report about this system which enables submitting the form to stay out by smartphone, managing dormitory student's lists and sending a notification e-mail to parents.

Ⅰ　はじめに

高等専門学校は，広い地域からの学生受け入れを可能とするため，寮を備えていることが多く，有明工業高等専門学校（以降，本校とする）も280人を超える規模の寮を運営している．寮生は，親元を離れて日常生活を送ることから，寮を運営するにあたり安全面への配慮が重要となる．特に不在確認などは，学生の生命にも関わることであり，所在が不明の場合は必ず電話連絡をするなどマニュアルが徹底されている．しかし，学生はこの重要な手続きを安易に捉えている面もあり，帰省願いの不備による点呼不在者が全くいないわけではなく，不在者の人数が多いと所在確認の電話連絡作業は大変な労力を必要とする．一方，宿直者にとっても確認ミスが発生しないように細心の注意で行う作業となる．例えば，紙ベースの帰省願いの場合，帰省者が多いと帰省願いの紙の束と点呼簿との照らし合わせを行う際に宿直者に負担がかかり，ミスの誘発につながると容易に想像できる．このような事務作業は，コンピュータで処理することが容易であり，正確でもある．

近年，ICTの発展とともに日常生活にも様々な電子化が進んでいる．教育現場においても，平成31年1月，学校における教員の働き方改革に関する議論が中央教育審議会でなされ，その方策などが取りまとめられている[(1)]．

一方，文部科学省は，ICT技術の進歩に伴い情報教育や授業へのICT活用など，学校における教育の情報化について一層充実が図られたことを受け，「教育の情報化に関する手引」[(2)]として平成22年にまとめている．さらに，新型感染症の影響もあってか，GIGAスクール構想も急激に進み，学校生活でのネットワーク端末を1人1台持つ環境が整いつつある[(3)]．

そこで，校務の情報化の一環として，寮における帰省手続きを電子化することで，情報共有を容易にし，各担当者の負担軽減を実現するために，ICTを活用した電子申請システムを開発することを発案した．本稿では，本電子申請システムを本格導入した2015年からこれまでの運用状況について報告する．

Ⅱ　紙ベースでの申請手続き

１．帰省手続き

帰省手続きの申請書は，本人控え，食堂業者（欠食届け）用，宿直教員用，事務室保管用で構成されている．電子申請システムが導入される前までは，図１のようなカーボン紙を用いた複写式の用紙に記入する方法であった．これにより，学生は１度記入するだけでよいが事務的な集計作業や整理は大変

図1 帰省願い用紙（転写用紙）

である．特に，連休前など帰省者が増える期間では，宿直者は点呼後の不在者チェックに相当な時間を費やすことになる．

宿直者は，点呼時に帰省願い未提出で不在者の所在を確認する必要がある．提出されている帰省願いの束を 1 枚ずつ見ながら，点呼簿の不在者と一人ずつ照らし合わせていく．従って，帰省者が多い日のチェックは煩雑になり，チェックミスの原因にもなる．

また，汎用品ではなく専用フォーマットの用紙を準備するため，コスト的な問題もあった．

2．欠食者の集計

食堂業者は，その日の在寮者数を元に食事の準備をする．また，予め欠食届出のある寮生には，食事代の返金を行うために，毎月返金額を計算している．帰省願いの用紙に欠食の記載が含まれているので，帰省願いをもとに返金額の計算を行う．帰省願いは帰省する際に必ず提出するものであるが，返金対象となる欠食届の締め切りは，例えば 3 平日前などの条件があることから，返金額の計算には条件にあった帰省願いを探す必要がある．280 人を超える規模の寮生から日毎に提出される欠食届けを集計作業することは，非常に大変な作業である．さらに，この作業は毎月発生する．

Ⅲ　帰省願い電子申請システム

1．概要

本校の帰省願い電子申請システムの概要を図 2 に示す．申請を Web ページから受け付けるための Web サーバ，申請データを管理するデータベースサーバ，申請内容を申請者へ通知するためのメールサーバで構成されている．サーバマシンは運用開始当初は個人所有のマシンを使用していたが，2019 年度から本校の情報基盤部システム管理室が管理する仮想マシン上に構築していただいている．これにより本システムのハードウェア的なサーバマシントラブルはシステム管理室が，ソフトウェア上のトラブルは開発者である教員が対応し運用を継続している．

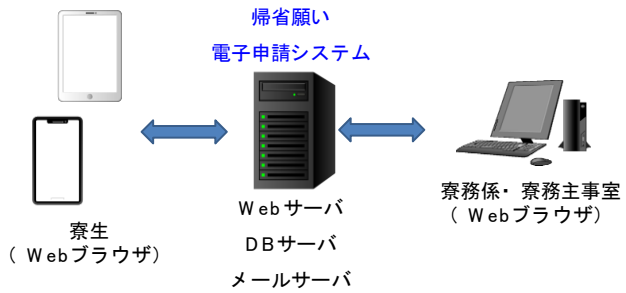


図2　帰省願い電子申請システムの概要

寮生は，学内ネットワークに接続した自分のスマートフォンなどから専用の Web ページにアクセスしログインすることで電子申請が可能となる．申請だけでなく，これまでの申請内容などの一覧も見ることができる．また，申請した情報は，電子メールで送られるのでメールでの確認もできる．

寮務係や寮務主事室は，申請された内容を確認し，一人一人の申請許可を管理ページより行う．そこでは，許可だけでなく，再提出や直接入力などの手続きができる．食堂業者向けには，日毎の欠食者の名前一覧のページや指定期間の欠食者のリストを CSV 形式でダウンロードできる機能を備えている．

また，年度始めの更新作業を行うページから，寮生一覧，休日指定などを行える．これによって，関係部署だけで毎年の運用が行えるようにしている．

2．電子帰省願手続き

この節では，寮生が行う電子帰省手続きについて説明する．前述のように，帰省手続きは寮生が勝手に申請するだけで終われるものではなく，教員側で許可の管理をしたり，保護者が帰省を把握する必要がある．まず，寮生は専用ページへアクセスし，学内共通 ID でログインを行う．これにより，本人からの申請であることを保証する．ここから帰省期間や連絡先，欠食日などを入力していく（図 3 参照）．この時，申請可能日がカレンダー上の色で表示されたり，よく使う連絡先は一覧表示される中から選択できる．紙ベースで行っていた際には，申請時に欠食の申請が可能かどうかなどのチェックが手作業

図3　帰省願いのページ

で行われていたが，電子化することでそもそも申請を受け付けないようになっている．

申請された帰省願いは，寮務係・寮務主事室専用の管理ページへ一覧表示される．寮務主事室の担当者が，申請内容を確認し，申請内容の不備があれば「再提出」，許可を出してよいものであれば「許可」に，申請毎に「未承認」からステータスを変更する．そうすれば，自動的に申請者である寮生と登録されている保護者へ承認メールが届く仕組みになっている．このようにすることで，寮生の帰省状況を教員側と保護者側の両方で把握することができ，安心である．この手続きの流れを図 4 に示す．メールで当該者へ通知するサービスは，紙ベースで行っていた時には行われていない電子申請システムであるからこそできる機能である．

3．宿直者への不在者リスト

宿直者は，点呼時に無断不在者に対して所在を確認する．そのため，点呼時不在者の帰省願いの有無を毎回確認する必要がある．これを支援するため，専用のページへアクセスすると，その日の帰省願いが出ている学生の一覧を確認することができる（図 5 参照）．一覧の一番左にその日の不在者をナンバリングした数字が表示される．この数字によって，その日の不在者総数をチェックでき，その数字の隣から「寮生番号」，「クラス」，「氏名」，「朝点呼時の在否」，「夜点呼時の在否」，「帰省先」，「連絡先」，「帰省期間」，「承認の有無」が表示される．棟名のタブで切り替えることで，居室のある棟毎の一覧に切り替えることができる．更に，点呼簿との照らし合わせの補助機能として名前をクリックする度に色が変わる仕組みを用意している．これにより，紙ベースで行うときの見落としなどの人為的ミスや，集計作業などの負担が減ると考える．

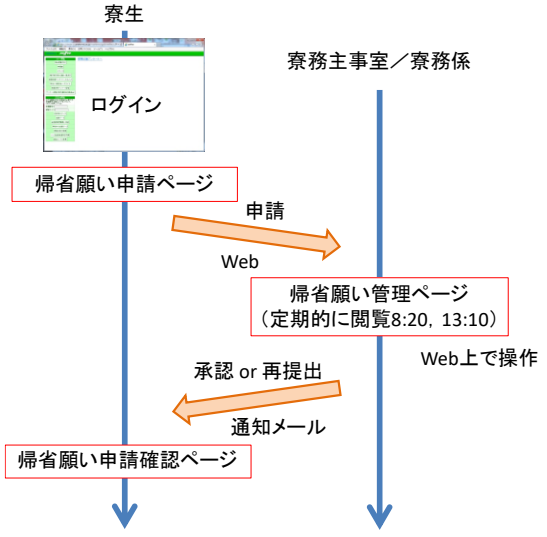


図4　帰省願い申請の流れ

図 5 の例では，銀杏棟の寮生で帰省届けが出されている一覧が表示されている．左の数字が 1 で，その欄の「夜点呼」が“×”表示ということと，残りの学生は「帰省先」が“帰寮日”で，「夜点呼」が“〇”表示なので本日帰寮していることを表し，結果として夜点呼は，1 名不在者がいることが分かる．

4．寮務係・寮務主事室管理ページ

寮務係・寮務主事室は，専用のメニューページにアクセスすれば，そこに必要な機能の一覧が表示されている．メニューボタン上にマウスカーソルを持っていけばヒント画面が出るようになっているので，担当者が変わっても戸惑わないように配慮している．また，年度初めに一度だけ行う作業と，日常で発生する作業に大きく分けてある．

利用可能な機能としては，必要に応じて行うものとして，「帰省願い承認」，「欠食者一覧」，「登録メールアドレス一覧」，「登録メールアドレス一覧 CSV」，「帰省一覧 CSV」がある．また，年度始めに行うものとして，「年間休日登録」，「寮生基礎データリストアップロード」，「データベースリセット」がある（図 6 参照）．

本システムを利用開始するために，まず，昨年度のデータベースの内容を「データベースリセット」機能を用いてリセットする．次に，年度始めに本校の行事

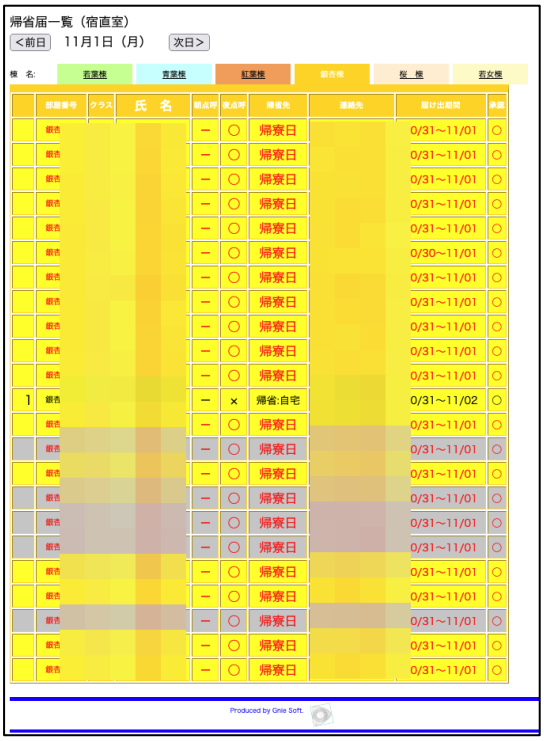


図5　帰省届け一覧ページ

図6　寮務係・寮務主事室管理ページ

図7 帰省願い承認ページ

予定，および祝祭日の日程を「年間休日登録」機能により登録する．更に，Excel で管理されている寮生の基礎データを「寮生基礎データリストアップロード」機能を使って，本システムにアップロードする．これで運用準備が完了する．

学期が始まってからは，その都度学生から申請される帰省願いの内容をチェックし，「帰省願い承認」機能を使って承認処理を行う．図 7 は，ある日の「帰省願い承認」画面で，その日までに申請されている帰省願いの一覧が表示されている．一番左側が処理ボタンで，デフォルトでは「未承認」となっており，クリックする毎に「許可」，「再提出」の順に切り替わる．全ての処理が終わったら，一番上にある「送信」ボタンを押せば，設定した状態にそれぞれ変更される．この時，本システムによって「許可」に切り替えた学生には承認した旨のメールが，「再提出」

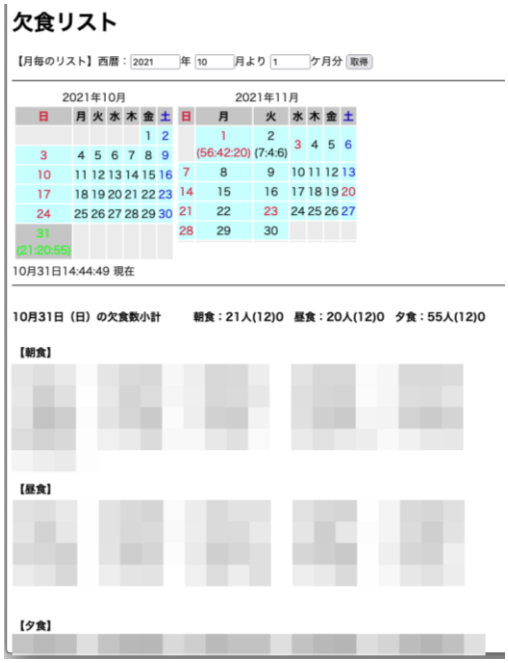


図8　日毎の欠食者リスト

に切り替えた学生には不備がある旨のメールが自動的に送信される．

例外的な措置への対応として，特定の学生の情報を強制的に寮務係・寮務主事室側から入力できる機能も備えている．画面の一番上に寮生一覧が表示されており，特定の学生を選択して「入力」ボタンを押せば，図 3 と同じ当該学生の帰省願い入力ページに移動することができ，こちらで必要な情報を入力・申請することができる．これは，例えば学生本人が申請できない時などに代わって入力作業を行う場合を想定している．

また，本システムでは，保護者がメールアドレス登録作業を行うことで，学生が申請した帰省願いの通知を受け取ることができるサービスを提供している．この登録作業自体は，自動で行う仕組みを採用しているので，寮務係・寮務主事室が行う作業は基本的に発生しない．しかし，その登録作業がうまくいかない場合などの必要に応じて，「登録メールアドレス一覧」機能から許可したり，不要なものを削除したりすることができる．更に，必要に応じて，「登録メールアドレス一覧 CSV」や「帰省一覧 CSV」機能を使って，データを CSV 形式でローカルファイルとしてダウンロードする機能も備えている．

５．食堂業者への欠食者リスト集計

本システムを用いれば，日毎の欠食者一覧を取得することができるので，食堂業者の事務的な作業が格段に効率化できる．図8は，食堂業者専用のページである．

当月と先月のカレンダーが表示され，日毎の欠食者数をみることができ，特定の日をクリックすると欠食者名の一覧が朝食，昼食，夕食と分類され下側に表示される．また，食堂業者側でデータを加工しやすいように,指定期間の一覧をCSVファイルでダウンロードできる機能を備えている．

Ⅳ　運用実績と今後の課題

本システムは,2014年度の後半から開発を始め,2015年度から本格運用を開始している．これまでの年間の帰省願い届出件数を図9に示す．なお，2019年度は12月頃にサーバマシンが老朽化により故障し，長期休暇前を含めて1ヶ月ほどシステムが停止した．また，2020年度は4月，5月が休校，6月が分散登校となった．その結果，当該年度の件数が例年より減っている．概ね年間4500件ほどの申請があっていると考えられる．

前述したように，年度更新に必要な作業はシステム開発に関して専門知識がなくとも作業できるようにフロントエンドを開発している．その点では開発者の負担はない．しかし，十分なテスト運用を行わずに本格運用を開始したこと，システムを運用しながら新機能の要望が徐々に出てきて付け足しする形で機能を実装して行ったことなどから，毎年数件の不具合が発生している．その度に，それに対するデバッグ作業が発生しており，開発者への負担は無くなっていない．業者開発であれば，サポート体制が整っており，サポート契約を行っていると考えられるため対応は当然であるが，教員が行う業務としては大変負担の大きなものであると考える．予算の問題から，業者委託ではなく，開発費用の発生しない教員による開発へと考えるのは理解できるが，開発にかかる時間は必要である．しかし，あくまでボランティアであるので，開発業務の追加に伴う担当教員の通常業務への負担軽減は，当然検討されないし，業績に加えられることもない．システムの運用規模やシステムを停めてはならない重要度などの観点から，長期的な視点で考えれば，教員がボランティアで運用を行うようなものではないと考える．このことから，現在，システム開発の外注およびサポートを検討し始めている．これまでの運用経験を活かし，より良いシステムの仕様書を作成し，安心安全な運用が可能となることを期待する．

Ⅴ　まとめ

本論文では，本校の学寮における電子申請システムの開発・運用について述べた．開発当初は，例えばGoogle Formsのような電子アンケートシステム程度のものであったが，その後，運用側の要望により，ある

図9 帰省願い申請件数の推移

程度の手続きの自動化を実現し，関係部署の負担軽減を実現できた．本システムは，ユーザとして，寮生，寮務主事室・寮務係，宿直教員，食堂業者の4者を想定している．寮生はスマートフォンだけで帰省願いの手続きができ，メールによる通知を受け取ることができる．寮務主事室・寮務係は，200人を超える寮生から年に述べ4500件ほど提出される書類の整理を自動化できる．宿直教員は，当日の不在者確認を容易に行うことができる．食堂業者は，食事の欠食者の集計管理を簡単にできる．

本システムは無料の実行環境の上に教員のボランティアで開発されたものである.本システムで7年ほど運用した上で挙がった課題などが集約できており，本システムの運用規模などを考えると，しっかりしたサポート体制のある業者委託とした方がよいと考える．

謝辞

本システムを開発する契機をいただいた当時の寮務主事石丸智士教授に感謝いたします．また，その後の運用上のトラブルに対して原因究明に協力していただいた歴代の寮務主事室・寮務係の皆様にも感謝いたします．最後に，本システムを運用するための仮想サーバを構築していただいたマルチメディアセンター情報基盤部システム管理室の皆様にも感謝いたします.

参考文献

(1)　「新しい時代の教育に向けた持続可能な学校指導・運営体制の構築のための学校における働き方改革に関する総合的な方策について(答申)」，中央教育審議会，平成31年1月25日，https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2019/03/08/1412993_1_1.pdf

(2)　文部科学省，「教育の情報化に関する手引について」，https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/mext_00117.html

(3)　文部科学省，「GIGAスクール構想の実現について」，https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm

「自然」の声を聴け

―英米文学作品における“Nature”をめぐって―

(3)

村田和穂

＜令和4年1月11日受理＞

Listen to the Voice of “Nature”

— With Special Reference to “Nature” in English Language Literary Works —

Paper Three

MURATA Kazuho

In continuation of my study of “Nature” in English language literary works, this third paper is chiefly concerned with *Tom Jones* (1749) by Henry Fielding, which is often regarded as a masterpiece amongst eighteenth-century English novels. The present study examines instances of “Nature” and its derivatives (“natural,” “naturally,” or “good-natured,” etc.) in *Tom Jones*. Specifically, the following topics will be discussed here: Introduction to “Nature” in *Tom Jones* (as a continued subject) in Section 1; “Nature” as Giver and its Personification in Section 2; Aphorisms and “Nature” in Section 3; Tom as a “Natural” or Illegitimate Child (Characterization through the Use of “Nature”) in Section 4; the Law of “Nature” in Section 5; “Nature” and “Art” in Section 6; the View of Inherent Evilness in “Human Nature” (through a Dialogue with the “Man of the Hill”) in Section 7; Concluding Remarks in Section 8.

If we shut **Nature** out at the door, **she** will come in at the window. (by Henry Fielding)
（もし我々が**自然**を戸口で締め出すのなら、**彼女**は窓から中に入って来るだろう）

1. はじめに：フィールディングにおける「自然」（続）

フィールディングの長編小説『トム・ジョーンズ (*The History of Tom Jones, a Foundling*)』(1749) の冒頭、すなわち第1巻の第1章の「章の見出し (chapter-heading)」には “The introduction to the work, or bill of fare to the feast”（作品の序、すなわち饗宴の献立表）という一風変わった短い「要約」がついている。「はて、献立表 (bill of fare) ？メニューとは一体？」と訝しむ間もなく、続く本文は「作家 (an author)」についての興味深い定義で始まる：

> AN author ought to consider himself, not as a gentleman who gives a private or eleemosynary treat, but rather as one who keeps a public ordinary, at which all persons are welcome for their money.
> （作家は自らを個人としてあるいは慈善事業としてご馳走をふるまう紳士ではなく、むしろ公衆食堂の主人と考えるべきである、そこではお金を払

えば全ての人が上客となる）(p. 29) [1]

この作品で最初に使用される “nature” は上記の「献立表」、「ご馳走 (a . . . treat)」そして「公衆食堂 (a public ordinary)」から容易に連想される「食」にまつわる比喩の中に見出される：

> The provision, then, which we have here made is no other than HUMAN **NATURE**. Nor do I fear that my sensible reader, though most luxurious in his taste, will start, cavil, or be offended, because I have named but one article. The tortise, . . . besides the delicious calipash and calipee, contains many different kinds of food; nor can the learned reader be ignorant, that in human **nature**, though here collected under one general name, is such prodigious variety, that a cook will have sooner gone through all the several species of animal and vegetable food in the world, than an author will be able to exhaust so extensive a subject. (p. 30)（私たち［語り手］がここ［この作品］で準備した食材は人間の**自然（本性・性質）**に他ならない。私の良識ある読者は、舌がとても肥えていらっしゃるが、私が一品しか名を挙げなかったからといって、驚いたり、揚げ足をとったり、立腹されることはないでしょう。例えば、海ガメは（中略）美味な背肉や腹肉の他にも、様々な種類の肉を内包しています。人間の**自然**と一般的な名称で一括りにされてもあまりにも広大な多様性を含むため、一人の料理人が世界のあらゆる種類の動物や植物を食材に試すことができないのと同様に一人の作家がこの広汎な主題を極め尽くすことはできないことを博学な読者がご存知ないはずはありません）

この引用から分かるように、フィールディングは「人間の自然」すなわち「人間の本性」をテーマとしてこの作品で追及することを表明している。この言説に続き、語り手は「より繊細な味覚を持つ読者から、この（人間性という）料理はあまりにもありふれた陳腐なものではないか、巷の屋台に溢れかえっているロマンス、小説、劇、詩などの素材となんら変わりないという反論があるかもしれない (An objection may perhaps be apprehended from the more delicate, that this dish is too common and vulgar; for what else is the subject of all the romances, novels, plays, and poems, with which the stalls abound?) 」(p. 30) ことを認めながらも、以下のように自説を述べる：

> In reality, true **nature** is as difficult to be met with in authors, as the Bayonne ham, or Bologna sausage, is to be found in the shops. (p. 30)（実際、真の**自然（人間性）**が世間一般の作家たち（の作品）の中に出くわすのが難しいのは、バイヨンヌ・ハムやボローニャ・ソーセージを巷の店で見つけるのが難しいのと同様である）

食通の間で珍味として知られるフランスの高級ハムとイタリアの高級ソーセージが当時のロンドンの有名店でもなかなか求められないことを引き合いに出すことで、フィールディングは現役の作家では自分だけが「真の自然」を調理（描写）することができると自負しているかのようだ。[2] さらに、「この精神の娯楽［注：作品自体のこと］の優れた点は題材（素材）よりもそれを巧みに調理する作家の手腕による（“the excellence of the mental entertainment consists less in the subject than in the author’s skill in well dressing it up”）」(p. 30) と述べ、以下のように宣言する：

> we shall represent Human **Nature** at first to the keen appetite of our reader, . . . (p. 31)（我々の読者の旺盛な食欲に先ずは応えるべく人間の**自然**を描出してみよう）

かくして、喜劇的散文叙事詩『トム・ジョーンズ』

[1] 引用箇所における太字および下線はすべて筆者による（ただしイタリック体は原文のまま）。また引用英文につけた日本語訳も全て筆者によるものである。

[2] ただし、フィールディングにとってホメロスとシェイクスピアだけは別格であることが本作品中からも窺える。

前者については第4巻の第13章に以下のような一文がある：we have the authority of him who of all others saw farthest into human **nature**, and who introduces the heroine of his *Odyssey*, (p. 175)（私たちには他の一切を含めた中で人間の**自然**を最も深く見通した、そして彼の『オデュッセイア』の女主人公を紹介する彼（ホメロス）という権威がいる）。

後者については第10巻の第1章から引用する：READER, it is impossible we should know what sort of person thou wilt be; for, perhaps, thou may’st be as learned in human **nature** as Shakespeare himself was, and, perhaps, thou may’st be no wiser than some of his editors. (p. 453)（読者よ、あなたがどんな種類の人間かを我々が知るのは不可能である。というのも、もしかしたらあなたはシェイクスピア自身と同じくらいに人間の**自然（本性）**に通じているのかもしれないし、もしかしたらシェイクスピア作品の編集者と同じ程度に愚鈍かもしれないからだ）。

は開始する。

18 世紀の初頭のイギリスに「小説 (the novel)」と呼ばれる散文による新しいタイプのフィクションが勃興する。イギリス小説の黎明期に深く関わる作家たちの中で、デフォーは一人称形式の擬似自伝小説『ロビンソン・クルーソー』(1719) や『モル・フランダーズ』(1722) を発表した。デフォーに続くリチャードソンは 1740 年にこれも一人称による書簡体形式の小説『パメラ』を刊行して一大センセーションを巻き起こす。フィールディングはこのフィクションの新しい流れ（特に同世代のリチャードソン）を強く意識し、それに対抗するような散文のフィクションを書き始めた。1742 年の作『ジョーゼフ・アンドルーズ』には彼の独自性の萌芽が見られる。この作品の序文で、彼はこれまで誰も試みたことのない散文のフィクション、彼が呼ぶところの「喜劇的散文叙事詩 (comic Epic-Poem in prose)」を考案し、実践している。これはデフォーやリチャードソンの登場人物による一人称形式のスタイルではなく、三人称形式で全知の「語り手 (narrator)」がストーリーを展開させていく形式なのだが、この語り手は「（ギリシア・ラテンの）古典文学 (the humanities)」に精通した教養のある人物（フィールディング自身と見なすことが可能）で、非常に「格式張った (formal) 」語彙と文体を駆使する傾向があるが、描かれる内容は極めて通俗的なもので、格調高い語り口と語られる内容とのギャップが作者の狙いである。実験作とも言える『ジョーゼフ・アンドルーズ』の成功で自信を深めた作者が満を持して 1749 年に発表したのが『トム・ジョーンズ』である。批評家のマッキロップ (Alan D. Mckillop: 1967) は「『トム・ジョーンズ』はフィールディングのこれまで培ってきた技巧と積み重ねた経験のすべての上に成り立っている、すなわち初期の劇作品、風刺や諧謔の実験、散文フィクションの理論と実践を伴う実りある作品（注：『ジョーゼフ』のこと）、そして苦労して獲得した中年の叡智の上に (*Tom Jones* builds on all Fielding's acquired skills and accumulated experiences—his early dramatic work, his experiments in satire and burlesque, his fruitful work with the theory and practice of prose fiction, and the hard-earned wisdom of middle age.)」(p. 118) と述べている。下線部の「苦労して獲得した中年の叡智」にもあるように、『トム・ジョーンズ』は賢明な教えに溢れた作品である。我が国の夏目漱石もこの作品から多くを学んだ。[3] また 20 世紀の作家モーム (W. Somerset Maugham) が「世界の十大小説」の一つにこの作品を挙げたことは至極当然である。[4]

さて、『トム・ジョーンズ』では上に引用した例が示す通り、"nature" という語が極めて意味深長に使用されており、この作品を読み解くキーワード（の一つ）と見なして間違いないだろう。前回の論考では、『トム・ジョーンズ』において 207 回使用される "nature" (ちなみに形容詞 "natural" は 73 回、副詞 "naturally" は 13 回) に関して、わずか 3 例のみを紹介するにとどめたので、今回はそれ以外の "nature" の用例をできる限り整理してみたい。

2. 与えるものとしての「自然」とその擬人化

主要登場人物の一人、オールワージー (Allworthy) の描写が第 1 巻の第 2 章にある（彼は主人公の捨て子トムの育て親で、最後に伯父であることが判明する）。その名前が示唆するように ("all" is "worthy" 「すべて価値ある」)、彼は「**自然**（の女神）と運命（の女神）両方のお気に入りと呼ばれるにふさわしい (who might well be called the favourite of both **nature** and fortune)」(p. 31) 人物として紹介される。この両者はどちらが「彼を最も祝福し豊かにするか (bless and enrich him most)」(p. 31) を競い合う：

In this contention, **nature**[5] may seem to some to

[3] 丸谷才一によれば、『トム・ジョーンズ』は「漱石酷愛の書！」(p. 152) で、「『坊っちゃん』は『トム・ジョーンズ』の影響下に書かれた」(p. 19) と推理し、『三四郎』に出てくる「ストレイ・シープ（迷える羊）」という印象的な言葉は「聖書」ではなく、この作品からの引用である可能性を指摘している（『闊歩する漱石』（講談社）より）。

[4] 出典は *Ten Novels and their Authors* (1954)（（西川正身訳『世界の十大小説（上・下）』（岩波文庫））。他の 9 作品については以下の通り：オースティン『高慢と偏見』、スタンダール『赤と黒』、バルザック『ゴリオ爺さん』、ディケンズ『デイヴィッド・コパフィールド』、フローベール『ボヴァリー夫人』、メルヴィル『白鯨（モウビィ・ディック）』、エミリー・ブロンテ『嵐が丘』、ドストエフスキー『カラマーゾフの兄弟』、そしてトルストイ『戦争と平和』。

[5] "Nature" の表記に関して、最初の "N" が大文字で始まる場合は「造化、創造主、あるいは自然の女神」の意味が込められていて、小文字の "n" 場合はそうではないと現代の慣用にしたがって解釈するのは危険だと筆者は考える。この時代 (およそ 1650-1750)、一般名詞は通常大文字で書き始めるのが「慣習」であった。この使用しているテキストでは大文字であったり、小文字で始まっているなど一貫していない。これについてはこのテキストの編集者たちの解釈によるものと考えられるが、小文字の表記であっても「造化」を意味する用例は多々あるよう

have come off victorious, as **she** bestowed on him many gifts, while fortune had only one gift in her power; but in pouring forth this, she was so very profuse, that others perhaps may think this single endowment to have been more than equivalent to all the various blessings which he enjoyed from **nature**. From the former of these, he derived an agreeable person, a sound constitution, a solid understanding, and a benevolent heart; by the latter, he was decreed to the inheritance of one of the largest estates in the county. (p. 31)（この競争で、一部の人たちには**自然**が勝利を収めたと思われるかもしれない。というのも、**彼女**［自然の女神］は彼にたくさんの贈り物を授けたのに対し、運命（の女神）が意のままにできるのはたった一つの贈り物だったからである。しかし、彼女はこの贈り物を彼に貢ぐのにあまりにも気前が良かったため、別の人たちには、このたった一つの贈り物は彼が**自然**から享受した様々な祝福全てを合わせたものに匹敵したと思われるかもしれない。この二神のうち前者からは、彼は、見た目の良い容姿、健康な体質、健全な知性、そして慈悲深い心を手に入れ、後者によって、彼は郡で最大の財産（屋敷）の一つの相続が命じられたのである）[6]

上記の引用で、「自然」は「運命」とともに擬人化されている。第１章で人間の自然、すなわち「本性」を描くと宣言しながら、ギリシア・ラテンの古典文学の伝統に基づく創造主としての「自然（の女神）」への急転に驚かされるが、よくよく考えると、人間の外見も内面も生まれながら授かったものであり、擬人化されるか否かに関係なく「自然」の贈り物であることに思いあたる。このように、この作品は “nature” という語の表す意味が非常に多義的であり（あるいは「使用域が広い」というべきか）、しかしながら「全て（の意味）は一つに収まる」ということも同時に感じさせてくれる。

“Nature” が文の主語として機能し、登場人物がその目的語になる場合、「自然」が「人間」に対し影響を及ぼす動作主としての文構造がこの作品ではしばしば観察できる。以下は「与えるものとしての自然」の例をいくつか挙げたい：

lo! adorned with all the charms in which **nature** can array her, . . . the lovely Sophia comes! (p. 134)（見よ！**自然**が彼女に施すことができるあらゆる魅力に飾られ（中略）麗しきソファイア登場！）

Here we cannot suppress a pious wish that all quarrels were to be decided by those weapons only with which **Nature**, knowing what is proper for us, hath supplied us; (p. 230)（ここで私たちは敬虔な願いを抑えることができない、それはあらゆる口喧嘩は**自然**が、私たちに適切であることを知って、私たちに供給した武器だけによって（注：手足などの肉体を使って）決着をつけるべきだと）

(Sophia says) “I cannot bear the thoughts of being the cause of my father’s misery.” “He is himself the cause,” cries Jones, “by exacting a power over you which **nature** hath not given him.” (p. 260)（ソファイア曰く「自分が父の悲嘆の原因になると思うと耐えられない」「お父上自身が原因ですよ」とジョーンズは叫ぶ、「**自然**が彼に与えていない力をあなたに行使するのだから」）

時には、笑いに繋がるユーモラスな使用もある。以下はある夫婦の激しい喧嘩を描いたものである：

from his face descended five streams of blood, denoting the number of claws with which **nature** had unhappily armed the enemy [= his wife]. (p. 77)（彼の顔から流れ落ちたのは五筋の血潮、それは**自然**が不幸にも敵（妻）に武器として授けた鉤爪（かぎづめ）の数を表していた）[7]

また、トムの旅の従者パートリッジがある宿屋で殴り合いをする相手、体格に秀でた女中スーザン (Susan) の描写では：

に思われる。この点においては、筆者は編者の「解釈」を必ずしも信頼してはいない。

[6] 「自然」と「運命」のコンテスト（競争）は古典文学の伝統的主題の一つなのであろうか。筆者はこの場面を読むと、シェイクスピアの『お気に召すまま (*As You Like It*)』のロザリンドとシーリアの議論の場面（１幕第２場）を想起する。

[7] この描写は筆者に中島みゆきの「やまねこ」（1986 年のアルバム『36.5℃』に収録）の歌詞を思い起こさせる。この歌詞には「傷つけるための爪だけが抜けない棘のように光る、天（そら）からもらった贈り物が、この爪だけなんて」というフレーズがあるが、ここでの「天」は “nature” と置き換えることができるだろう。

her [= Susan's] cheekbones stood out, as if **nature** had intended them for two bastions to defend her eyes in those encounters for which she seemed so well calculated, and to which she was most wonderfully well inclined. (p. 435)（彼女の左右の頬骨は突き出ており、まるで**自然**がそれらを交戦の際に両目を防御するためのふたつの堡塁を意図していたかの様に、戦いのために彼女は巧みに計画されていたかの様だし、彼女はそれに対して非常に素晴らしく才能を示した）

与えるものとしての「自然」は登場人物の外面ではなく、内面（性格）の造形にも関わる。例えば、フィッツパトリックという人物の描写において：

To say the truth, he [= Mr Fitzpatrick] was one of those compositions which **nature** makes up in too great a hurry, and forgets to put any brains into their heads. (p. 476)（真実を述べると、彼は**自然**が大慌てで（人間を）こしらえる際に、頭に脳みそを入れるの忘れてしまったような気質の持ち主の一人であった）

次は、ミラー夫人 (Mrs Miller) の描写において：

This poor creature [= Mrs Miller] might indeed be called simplicity itself. . . . to whom **nature** hath neither indulged the offensive nor defensive weapons of deceit, (p. 800) (cf. *OED* s.v. indulge, *v*. 4. "To bestow or grant (something) as a favour")（この可哀想な人は実際には愚鈍そのものと呼ばれるかもしれない、（中略）、彼女のような人に**自然**は虚偽（嘘をつくこと）という攻撃用のあるいは防御用の武器を授けていなかったのだ）

擬人化されているかどうかは、使用された "nature" を女性形の人称代名詞 (she *or* her) で受けるか否かで一応判断はできる（それでも、女性形で受けるのはコンヴェンションと見なすことも可能なので、作者が「擬人化」を本当に意図しているのかどうかを判定することは容易ではない）。そのような例を見てみたい。この作品では脇役ながら重要な役割を果たすジェニー・ジョーンズの描写である：

This Jenny Jones was no very comely girl, either in her face or person; but **nature** had somewhat compensated the want of beauty with what is generally more esteemed by those ladies whose judgment is arrived at years of perfect maturity, for **she** had given her a very uncommon share of understanding. (p. 42)（このジェニー・ジョーンズは顔も容姿も決して美しい女性でなかったが、**自然**は美の欠如をいくらか埋め合わせをしてくれた、完全に成熟した年代に達した分別あるご婦人方に一般に珍重されるもので、そう、**彼女（自然）**は彼女（ジェニー）に類まれな知性 (understanding) を分け与えたのであった）

最終巻での主人公トムの描写にも「自然」が深く関与する：

JONES, being now completely dressed, attended his uncle to Mr. Western's. He was, indeed, one of the finest figures ever beheld, and his person alone would have charmed the greater part of womankind; but we hope it hath already appeared in this history that **Nature**, when **she** formed him, did not totally rely, as **she** sometimes doth, on this merit only, to recommend **her** work. (p. 860)（ジョーンズは、今まさに正装し、伯父を伴いウェスタン氏邸を訪問した。彼は実際にこれまでに人の目に触れた最も風采の立派な人物の一人で、彼の容姿だけでも女性の大半を魅了したことであろう。しかし、すでにこの物語で明らかになっていると我々語り手は願うのだが、**自然**は、**彼女**が彼を形成した時、**自らの**作品を魅力あるものにするために**彼女**が時々するように、この長所（注：トムの外見の立派さ）だけを頼りにしたわけではなかった）

"Nature" が文の主語で登場人物を目的語にとるパタンを中心に見てきたが、このパタンの用例は意外に多く、スペースの関係もありこの辺りで止めておく（ただし、以下のセクションでさらに数例が他のトピックに関連して追加される予定）。

このセクションを終える前に、「自然」の擬人化で特に興味深い二つの例を紹介したい。一つは医者の仕事に関する描写である：

I have heard some of these [physicians], with great gravity, deliver it as a maxim, "That **nature** should be left to do **her** own work, while the physician

> stands by, as it were, to clap **her** on the back, and encourage **her** when **she** doth well." (p. 99)（私は一部の医者たちが大真面目に「**自然（の女神）**に**彼女**自身の仕事をするのを任せるべきで、その間、医者はその側にいるだけでよく、いわば、**彼女**が仕事をうまくやっているときは**彼女**の背中を軽く叩いて、励ますだけ」ということを金言にしていると述べているのを聞いたことがある）

上記の例は、まさに「自然治癒」と医者の関係の比喩的表現であることがお分かりいただけるだろうか。

もう一つの例は、第７巻（ここから第２部[8]に入る）の第１章にある。この章の冒頭に「人の世はしばしば劇場に例えられてきた (THE world hath been often compared to the theatre)」(p. 283) という記述があり、この劇場の主催者は「自然」という。これも比喩としての以下の描写を見てみよう：

> **Nature** often exhibits some of **her** best performances to a very full house, . . . Let us examine this in one example; for instance, in the behaviour of the great audience on that scene which **Nature** was pleased to exhibit in the twelfth chapter of the preceding book, where **she** introduced Black George running away with the £500 from his friend and benefactor. . . . Now we, who are admitted behind the scenes of this great theatre of **Nature** . . . can censure the action, without conceiving any absolute detestation of the person, whom perhaps **Nature** may not have designed to act an ill part in all **her** dramas; (pp. 284-5)（**自然**は劇場に一杯になった観客に対しては**彼女の**最高の出し物（演目）のいくつかをしばしば披露する、（中略）このことについて一例を挙げて考えてみたい、前巻の12章で**自然**が喜色満面で披露した場面、すなわち、ブラック・ジョージが彼の友人で恩人（トム）の500ポンドを持ち逃げするのを**彼女**が紹介した場面を。（中略）今や我々は**自然**というこの大劇場の舞台裏に入ることが許され、（中略）その行為は非難できても、その演じた人物を完全には毛嫌いしないのは、もしかしたら**自然**が**彼女の**あらゆる芝居でその人に悪役を演じるようには計画していなかったからかもしれない）

このユニークな喩えを通して、「自然」はキリスト教の「神 (God)」あるいはむしろ「摂理 (Providence)」と同義のようにも読める。この喜劇的異端のイメージこそがこの作品の唯一無二の個性なのであろう。

3. アフォリズムと「自然」

『トム・ジョーンズ』はアフォリズム（格言、警句）の宝庫である。もちろん、古くからある諺をそのまま引用することもあれば（例 "all is not gold that glitters."（輝くもの全てが金とは限らず）: p. 322）、その一方で（作者の教養をさりげなく披露する意図も込めた）ラテン語による諺の引用もある（例 "*festina lente* [= 'make haste slowly']"（ゆっくりと急げ）: p. 359）。さらには、物語の進行中に何気なく挟まれる語り手の一言（これは引用ではなくフィールディング自身のオリジナル）が真実を含み、しかも味わい深い表現になっているため、読者にとって箴言になるものも少なくない（例、血みどろの夫婦喧嘩が勃発する直前の描写における "Perfect calms at sea are always suspected by the experienced mariner to be the forerunners of a storm:"（海での完全な凪は経験を積んだ船乗りには嵐の前触れと常に考えられている）: p. 75）。このような性格の作品のため、『トム・ジョーンズ』の "nature" の使用を丹念に調べていくとアフォリズムに解釈できる用例にしばしば出くわす。

今回のエピグラフ（題辞）にあげた "if we shut **Nature** out at the door, **she** will come in at the window;（もし我々が**自然**を戸口で締め出すのなら、**彼女**は窓から中に入って来るだろう）(p. 543) もその一つと言えよう。この用例のコンテクストは有名なイソップの寓話に基づく。語り手は、第12巻の第２章で愛と美の女神「ヴィーナス (Venus) 」が「年老いたメス猫 (grimalkin)」を美しい女性に変身させ、男性と結婚させるエピソードを紹介する。変身したメス猫は外見は人間でも、中身は「元々の（猫としての）**本性**を依然として保持しているので (still retaining her pristine **nature**)」(p. 543)、夫とベッドに入っている時でもネズミを発見すると、ベッドから飛び出しネズミを追いかける。この顛末を紹介した後に述べられるのが上記の引用である。当に至言ではないだろうか。この例は猫や人間といった生物の "nature" すなわち「本性」に言及しているが、同時にマクロコスモスとしての「大自然」にも敷延できるのでは

[8] 『トム・ジョーンズ』は全部で 18 巻から成り、１～6 巻が第１部 (PART I)、７～12 巻が第２部 (PART II)、そして 13～18 巻までが第３部 (PART III) という構成になっている。

ないか。私たち現代人は気候変動等について「自然には勝てない」と口では言いながらも、科学技術の力で自然を支配しようとし、その都度しっぺ返しを食らっている状況にもこの言葉は当てはまるように思われる。

その他、（筆者にとっての）アフォリズムの例をいくつか挙げておく（コンテクストが分かるように少し長めの引用をするが、下線部が該当例である）：

> To say truth, nothing is more erroneous than the common observation that men who are ill-**natured** and quarrelsome when they are drunk, are very worthy persons when they are sober: for drink, in reality, doth not reverse **nature**, or create passions in men which did not exist in them before. It takes away the guard of reason, and consequently forces us to produce those symptoms, which many, when sober, have art enough to conceal. (p. 219)（真実を言えば、酔うと**性悪**で怒りっぽい人が素面の時はとても立派な人である、という世間一般の所見ほど誤ったものはない。というのも、飲酒は、実際には、**自然（本性）**を逆転させることはしない、あるいはこれまでに存在しなかった激しい感情を体内に作り出すようなこともしない。飲酒は理性という守衛を取っ払い、結果、多くの人が素面の時には巧みに隠している様々な兆候を表に出すことを余儀なくしているのだ）

> All these (= “invention” and “judgment”) use are supplied by learning; for nature can only furnish us with capacity; (p. 425)（このようなもの（注：創造力や判断力）は一切、学習（学ぶこと）によって初めて供給されるのである、というのも**自然**は私たちには能力（容量）しか授けることはできないのだから）

> **nature** having wisely contrived that some satiety and languor should be annexed to all our real enjoyments, lest we should be so taken up by them as to be stopped from further pursuits. (p. 619)（**自然**は賢明にもある種の飽満と倦怠があらゆる現実の享楽に付随するように工夫を凝らしている、それは我々がさらなる追求を止めてしまうほど夢中になってはいけないからである）

> In short, imitation here will not do the business. The picture must be after **nature** herself. (p. 648)（手短に言えば、模倣では役には立たない。絵画は**自然**そのものに従わなければならない）

副詞 “naturally” としての使用もある：

> Young men of open, generous dispositions are **naturally** inclined to gallantry, . . . (p. 144)（屈託のない、寛大な気質の若者は**自然（生まれながらにして）**女性に対して慇懃な傾向がある）

次は「人間の (human)」という形容詞のついた「自然」についての記述である：

> There is, perhaps, no surer mark of folly, than an attempt to correct the **natural** infirmities of those we love. The finest composition of human **nature**, as well as the finest china, may have a flaw in it; (p. 93)（私たちが愛する人達の**自然な（生まれながらの）**欠点を矯正する試みほど愚かな印となるものはおそらく他にないであろう。最高の出来栄えの人間の**自然**（人間性）でさえも、最良の磁器と同様に、その中にひとつの「疵（ひび割れ、欠点）」があるかもしれないのだ）

> However elevated their [= heroes’] minds may be, their bodies at least . . . are liable to the worst infirmities and subject to the vilest offices of human **nature**. (p. 440)（英雄の精神がどんなに気高くあろうとも、その肉体は少なくとも（中略）人間の**自然**の最悪の弱点を免れることなく、最も恥ずべき機能に陥りやすい）

上記の引用は語り手による「地の文 (narrative)」からであるが、登場人物の「会話 (dialogue)」にも筆者を大いに唸らせる「名言」が飛び出してくる。次は、ソファイアの侍女オナー (Mrs Honour) が（トムと肉体関係を持ち）妊娠した猟番のジョージの娘モリーの身持ちの軽さを非難する言葉の中に見られる：

> when wenches are so coming, young men are not so much to be blamed neither; for to be sure they do no more than what is **natural**. (p. 170)（若い女がとても積極的になっている時には、若い男もそんなに非難されるべきではないのです、というのも間違

いなく若い男はただ単に**自然な**ことをやるに過ぎないのですから）

このオナー女史の言う「自然なこと」は次のセクションで触れるトムの性格・本性とも深く関わってくる。

次の引用は、オールワージーが甥のブリフィル (Blifil) にソファイアへの執着について説諭する場面からである：

> "To admire, to like, and to long for the possession of a beautiful woman, without any regard to her sentiments towards us, is, I am afraid, too **natural**; but love, I believe, is the child of love only; at least, I am pretty confident that to love the creature who we are assured hates us is not in human **nature**." (p. 783)（美しい女性を褒め称え、好きになり、そして彼女のこちらに対する気持ちは一切かまわずに手に入れようとすることはあまりにも**自然なこと**ではないかと思う、しかし、愛は、私が信ずるに、愛からのみ生まれるものなのだ、少なくとも私は確信しているが、自分を憎んでいるとはっきり分かっている人を愛することは人間の**自然**にはないものだよ）

興味深いことに、この引用には「自然」と「人間の自然」の著しい対照が見られる（拙稿「「自然」の声を聴け (1)序」のセクション４: pp 9-11を参照）。前者は（野生動物のそれのごとく）放埒で衝動的であるのに対し、後者には理性が不可欠であるという含意が読み取れる。

4. 「自然児」としてのトム：「自然」から見た登場人物の性格描写

これまで見てきた用例からある程度予想がつくかもしれないが、この作品に登場する様々な人物の性格は "nature" とその派生語によって描写される傾向がある。

例えば、オールワージーについては以下のように描かれる：

> Allworthy was **naturally** a man of spirit, (p. 246)（オールワージーは**生まれながらに**気骨のある人だった）

> He [= Tom] knew the **nature** of that good man [= Allworthy] to be so averse to any baseness or treachery, (p. 190)（トムは例の善人（オールワージィ）の**自然（性質）**がいかなる卑劣さや裏切りを非常に嫌うことを知っていた）

オールワージーが自室のベッドに置かれている赤子のトムを発見した時の描写では：

> He stood some time lost in astonishment at this sight; but, as good **nature** had always the ascendant in his mind, he soon began to be touched with sentiments of compassion for the little wretch before him. (p. 34)（彼はしばらくこの光景に茫然自失の体で立ち尽くしていたが、善良な**性質**が彼の心で優勢を占めるのはいつものことだったので、彼はやがて目の前の幼い哀れな存在に同情心を抱き始めた）

次は、トムの永遠の恋人ソファイアに関する描写である（オールワージーは彼女を以下のように称賛する）：

> (Allworthy says) "her [=Sophia's] good **nature**, her charitable disposition, her modesty, are too well known to need any panegyric: . . ." (p. 778)（彼女の善良な**性質**、慈悲深い気持ち、慎み深さはあまりにも有名なので、いかなる賛辞の必要もないほどだ）

トムの旅の従者パートリッジについては「地の文」で以下のように描写する：

> He [= Partridge] was one of the best-**natured** fellows in the world, (p. 71)（彼はこの世で最高に善良な（気の良い）**性質の**輩の一人だった）

とは言うものの：

> as he [= Partridge] was by **nature** indolent, . . . (p. 89)（彼は生来の怠け者だったので・・・）

少年期のトムとブリフィルの家庭教師スワッカムについては：

> He [= Thwackum]was moreover, . . . somewhat irascible in his **nature**. (p. 227) (*OED* s.v. irascible, *a.*

> “Easily provoked to anger or resentment; prone to anger;”)（彼は**性質**においていくらか癇癪持ちだった）

> Allworthy . . . knew him [= Thwackum] to be proud and ill-**natured**; (p. 821)（オールワージーは（中略）彼が高慢で**性根が**悪いことを知っていた）

オールワージーの甥のブリフィルについては：

> his [= Blifil’s] appetites were by **nature** so moderate that he was able, by philosophy, or by study, or by some other method, easily to subdue them: (p. 245)（彼の本能的欲望（注：女性に対する興味あるいは性欲）は**生まれつき**とても節度のあるもの（穏やか）であったので哲学や学習やあるいはその他の方法で容易に抑えることができた）

ここでの形容詞 “moderate” の使用にはアイロニーが読み取れる。

ここからは、主人公のトムの性格描写を「自然」を軸に辿ってみたい。語り手による「地の文」に以下のような描写がある：

> There is a certain air of **natural** gentility which it is neither in the power of dress to give, nor to conceal. Mr. Jones, . . . was possessed of this in a very eminent degree. (p. 605)（衣装の力では与えることも隠すこともできない**自然な（生まれながらの）**優雅さ（気品）というある種の雰囲気があるものだ。ジョーンズ氏（トム）は（中略）顕著にこれを有していた）

> this Tom innocently improved to better advantage by following only the dictates of his **natural** gallantry and good-**nature**, (p. 144) (cf. *OED* s.v. gallantry, 5. “Courtliness or devotion to the female sex, polite or courteous bearing or attention to ladies”)（これ（注：ソファイアと一緒にいる機会）をトムは**生まれながらの**女性に対する慇懃さと善良な**性質**の命ずるままに行動するだけでさらに優位な立場へ無邪気にも前進させた）

このように、生まれながらの「優雅さ (gentility)」や「慇懃さ (gallantry)」のためか、トムに接する多くの人（特に女性）が彼を好きになるのも当然だろう。ソファイアの侍女のオナーはトムに向かって次のように言う：

> “you are a generous, good-**natured** gentleman; . . .” (p. 709)（あなた様は寛大で、善良な**性質の**紳士ですわ）

また、ミラー夫人 (Mrs Miller) はソファイアに対して “good-natured” の最上級表現を用いてトムを賛美する：

> “He [= Tom] is the best-**natured** creature that ever was born.” (p. 791)（彼はこれまでに誕生した人間の中で最も善良な性質のお方ですよ）

最上級表現といえば、先述のオナー女史は少々言葉遣いに難があり（特に手紙では顕著）、仕えているソファイアに対しても度々誤った語法が見られる。以下は、ソファイアにトムの魅力を語る場面からの引用である：

> “I am sure he [= Tom] is a very fine gentleman; . . . one of the sweetest temperedest, best **naturedest** men in the world he is;” (p. 178)（本当にあの方はたいそうご立派な紳士です（中略）この世で最高に心の優しいダンドツの、最高に**性質のよいダンドツの**人の一人ですわ）

ここでの “temperedest” と “naturedest” は共に誤用ではあるが、最上級表現をさらに強調しようとする彼女の健気な意図も伝わる興味深い例である。

上記３例は、女性の視点からのトムの描写だが、男性から見たトムについても触れたい。道中、追い剥ぎにあったトムは逆に賊を取り押さえ、その男から事情を訊くと子供が病気のためやむなくの行動であったという弁明に心打たれ、この男にお金を渡す。後に偶然再会した際に、その追い剥ぎ未遂者はトムを以下のように評価する：

> “He [= Tom] is, indeed, the worthiest, bravest, noblest of all human beings. O, cousin, I have obligations to this gentleman of such a **nature**!” (p. 637)（彼は本当にあらゆる人間の中で最も立派で、勇敢で、高貴なお人なんですよ、ああ、従姉（ねえ）さん、このような**自然（性質）**をお持ちのこ

の御仁に私はご恩があるのです）

下線部の「このような自然」には直前の形容詞 “worthy,” “brave,” “noble” の最上級表現としての意味が内包されている。

このような例ばかり見ていくと、トムがあまりにも善人すぎて面白みに欠ける人物に思われるかもしれないが、彼には欠点も少なくなく、とりわけ女性に言い寄られるとすぐに関係を持ってしまう性向（性癖？）が指摘できよう。そのような性格を表す典型例を二つ挙げたい：

> Jones had **naturally** violent animal spirits: (p. 218)（トムは生れながらに激しい動物的気質（獣欲）の持ち主だった）(cf. *OED* s.v. animal spirits, 3. “*collect. pl.* Nervous vivacity, natural gayety of disposition, ‘healthy animalism.’ ”)

> As his [= Tom’s] temper therefore was **naturally** sanguine, . . . (p. 619)（トムの気質は生まれながらに好色だったので、）(cf. *OED* s.v. sanguine, *a.* 3a. “In mediæval and later physiology: Belonging to that one of the four ‘complexions’ (see complexion n. 1) which was supposed to be characterized by the predominance of the blood over the other three humours, and indicated by a ruddy countenance and a courageous, hopeful, and amorous disposition.”)

上記の二つの用例はトムの性格および性質を理解するための極めて重要なヒントになると筆者は考える。表面的には “animal spirits” には「元気溌剌、陽気さ」、“sanguine” には「快活な、楽天的な」の意味が読み取れ、これらの語を肯定的に解釈することは可能である（確かにトムにはそのような面がある）。しかし、深読みするならば（引用例の後に付記した*OED* の定義の下線部に注目されたい）、前者には「健全な動物的行動・獣欲主義 (healthy animalism)」、後者には「好色（多情）な気質 (amorous disposition)」という「（社会通念に照らして）否定的」なニュアンスが、トムの「行動」から判断する限り、含意されているように思われる。さらに、この解釈を裏付ける例がある。トムと交際中の猟番の娘モリーがあろうことかトムの家庭教師のスクウェアと浮気している現場を目撃した場面で、スクウェアの見苦しい自己弁護に対し、怒るどころか「今ほど先生を気に入ったことはなかったですよ (I was never better pleased with thee in my life)」(p. 201) と寛大な言葉を掛け、次のように語る：

> “what can be more innocent than the indulgence of a **natural** appetite?” (p. 201)（**自然**の欲望に耽ることよりも罪のない（無垢な）ことが他にあり得えますか？）

トムは「自然な欲望に耽ること」は「罪がない」とスクエア先生を赦して度量の広いところを見せるが、翻ってみると「自然な欲望に耽ること」こそ若き日のトムの潜在意識下の信条だったのではないだろうか。

確かに、捨て子トムは（村の娘ジェニー・ジョーンズが産んだとされる）父のいない「私生児 (bastard)」である。実際、本文中にも「ブリフィル君はトムを卑しい父（てて）無し子と呼んだ (Master Blifil called Tom a *beggarly bastard*)」(p. 112) あるいは郷士ウェスタンはオールワージーに「あんたはオタクの父無し子を立派に育て上げましたな（“You have brought up your bastard to a fine purpose”）」(p. 265) 等の用例が示す通り、トムは「父無し子（私生児）」という言葉で散々揶揄されながら成長した（けれど全く性格がひねくれなかったのは奇跡であり喜劇である）。実は「私生児」は “a **natural** child”（**自然**児）という別名で呼ばれることがあるのをご存知だろうか？英文学作品で有名な「私生児」といえば、シェイクスピアの『リア王 (*King Lear*)』(1605-6) に登場するグロスター伯爵の庶子エドマンド (Edmund) を筆者は想起するのだが、彼が女神としての “Nature” を賛美する第１幕第２場の冒頭を改めて確認してみたい：

> Thou, **Nature**, art my goddess; to **thy** law / My services are bound . . .
> Why brand us / With base? with baseness? bastardy? base, base?
> Who in the lusty stealth of **nature** take / More composition and fierce quality
> Than doth, within a dull, stale, tired bed, / Go to th’creating a whole tribe of fops,
> Got ‘tween asleep and wake? (Act I, sc. ii, 1-15)（**自然**よ、あんたこそ俺の女神、あんたの法（掟）に俺の務めは縛られている（中略）なぜ俺たちに烙印を押す、卑しい、下賤、妾腹、卑しい、卑し

> いと？人目を盗んで**自然の**欲情で造られた俺たちだ、活力気力も充実しているさ、マンネリで気の抜けた退屈なベッドで仕込まれた間抜けづらの阿呆どもとは出来が違うわ）

強烈で圧倒的な台詞である。エドマンドとトムは性格こそ正反対であるが（もしかしたらフィールディングは悲劇でのエドマンドの存在意義を意識して、喜劇の登場人物としてのトムを造形したのかもしれない）、共に自然の女神に愛される「自然児」なので、エドマンドと同様にトムの務めも若い頃は（正確にはソファイアとの結婚までは)「自然の法(掟)」に縛られていたのではないだろうか。

いずれにせよ、「喜劇的散文叙事詩」という肩書きはともかく、『トム・ジョーンズ』はトムの成長物語でもあるので、エピローグで「語り手」の以下の説明に読者の多くは安堵するだろう：

> Whatever in the **nature** of Jones had a tendency to vice has been corrected by continual conversation with this good man [= Allworthy], by his union with the lovely and virtuous Sophia. (p. 870)（トムの**自然（性質）**にあった不品行への傾向（性向）は何であれ、この善人（オールワージィ）との絶えることのない対話と麗しくかつ徳の高いソファイアとの和合によって矯正されていったのである）

5. 「自然の法」について

前セクションで触れた「自然の法」については、第４巻で集中的に議論される箇所がある。それはブリフィルが幼少期にソファイア（彼女も幼少期）が大事にしていた小鳥を故意に鳥籠から逃したため大騒ぎになる場面があるが、この事件の顛末についての彼の弁明にこの法が持ち出される：

> I always thought there was something very cruel in confining anything. It seemed to be against the law of **nature**, by which everything hath a right to liberty; (p. 139)(私はどんなものでも閉じ込めるというのはとても残忍なことと常々思っていました。それは**自然**の法に反すると思われたのです。その法では全てのものが自由の権利を持っているのです)

ブリフィル（とトム）の教育を任されている二人の家庭教師の一人、哲学者のスクエア (Square) は教え子の弁明を絶賛し、「どんなものでも監禁することは**自然**の法に反すると私には思える (To confine anything seems to me against the law of **nature**) (p. 139)」と相槌を打つと、もう一人の家庭教師、聖職者（プロテスタント牧師）のスワッカム (Thwackum) は、この教え子の立派な行為は「キリスト教の動機 (a Christian motive)」に基づくものだとし、スクエアの考えを批判する：

> The law of **nature** is a jargon of words, which means nothing. (p. 140)（自然の法というのは戯言で、何の意味もない）

スクエアも負けじと反論する：

> If there be no law of **nature**, there is no right nor wrong. (p. 140)（もしも**自然**の法がないとしたら、善いも悪いも存在しなくなる）

その議論を聞いていたソファイアの父の郷士ウェスタン (Squire Western) は一喝し議論を止めさせる：

> Pox of your laws of **nature**! I don't know what you mean, either of you, by right and wrong. To take away my girl's bird was wrong, in my opinion, (p. 140)（あんたらの**自然**の法の話なんか犬に喰わせろだ！儂はあんたらのどっちが正しいのか間違っているのかわからんが、儂の意見では娘の鳥を奪うことは間違っとる）

聖職者スワッカムの言葉からもわかるように、「神(God)」」をこの世の全ての成り立ちの中心に置くキリスト教の宗教的基盤にとって「自然」は恐るべき異端であり、排除されるかまたは敬遠される（拙稿「「自然」の声を聴け (1)序」の冒頭を参照されたい）。少なくとも、この作品で、徹底的に偽善者として描かれるブリフィルが自分の行為を正当化するのに「自然の法」を用いているが、実際はこの鳥はソファイアがトムからもらったもので、彼女がこの鳥を「トム」と名付けて可愛がっている事に嫉妬したことが原因であることを読者は知る。また二人の家庭教師の思想も極端に走り、互いに相容れず、共に偽善者として風刺されている。[9]

[9] ちなみに二人のモットーに関して、「前者［スクエア］のお気に入りの言葉は徳（善）の**自然の**美しさであり、後者［スワッカム］のそれは神の恩寵の神々しい力であった (The

さらに、第６巻で、郷士ウェスタンは美しく成長したソファイアを財産目当てでブリフィルと結婚させようと目論むが、ブリフィルの本性を知っているソファイアは断固として拒絶する。これに対して、彼女の叔母で幼少期の家庭教師でもあったウェスタン女史は姪を説得するのに「自然の法」を持ち出す：

> niece, . . . Have I not taken infinite pains to show you, that the law of **nature** hath enjoined a duty on children to their parents? Have I not told you what Plato says on that subject? (P. 292)（姪よ、（中略）貴女に**自然**の法が子供に親への義務を命じているということを教えるのに私が計り知れないほどの努力をしなかったかしら？プラトンがこの件について言っていることを貴女に教えなかったかしら？）

プラトンへの言及が示唆するように、「自然の法」はギリシア哲学と密接に関係し、さらに、この法の具体的内容の一つに「子供の親への義務」が課されていることがわかる。良家の子女の教育にプラトン及びギリシア哲学を教えていたことは非常に興味深いが、この女史も偏見に満ちた俗物として描かれているので、どこまでフィールディングが「自然の法」を重視していたのか（あるいは疑問視していたのか）興味を引くところである。

ただし、オールワージーはキリスト教とギリシア哲学の両方に肯定的な態度を示し（それゆえに全く異なる二人の家庭教師を雇ったわけだ）、第２巻で“charity”（愛、慈善）の意味と解釈をめぐっての議論で、次のように（「地の文」の中で）述べる箇所がある：

> he [= Allworthy] thought it [= charity] an indispensable duty, enjoined both by the Christian law, and by the law of **nature** itself; (p. 82)（彼はそれ［愛］をキリストの法にも**自然**そのものの法にも両方によって命じられている絶対に必要な義務と考えていた）

「両方 (both)」という語の使用からも、オールワージーがキリスト教と異教の「自然」のどちらか一方に偏るのではなく、バランスのとれた信仰心を持っていることが窺える。これは驚くべきことである。この長編で「神」と「自然」が “A and B” という等位構造で使用されるのはわずか１回であるが、それがオールワージーの「会話」で使用されているのは当然かもしれない。それは彼が、ソフィーに彼女の意に染まない結婚をさせようとしている父ウェスタンに対し、訓戒を垂れる場面に見られる：

> “You have no right, neighbour,” answered Allworthy, “to insist on any such consent. A negative voice your daughter allows you, and God and **nature** have thought proper to allow you no more.” (p. 847)（「君にその権利はない」、オールワージィは答えた、「そんな（結婚の）承諾を強要するのはね。拒否権を君の娘は君に認めているが、神と**自然**は君にそれ以上を認めるのを適切とは考えてはいないのだ」）

6. 「自然」と「人為」 (Nature and Art)

“Nature” の対義語は “art” である。ただし、“art” を日本語に置き換えようとすると（“nature” と同様に）多岐にわたることが分かる。「自然」に対応する日本語としては、「人為、人工、技巧、作為、わざとらしさ」あたりに落ち着くだろうか。

この作品でも「自然」と「人為」のコントラスト（対照）がしばしば描かれている。例えば、当時の観光地の魅力を「自然」のままではなく、「人為」を加えてより魅力的なスポットにしようとする（当時の国家あるいは自治体の？）試みをフィールディングはトムのロンドンへの旅路の途中（脇道にそれる形で）、以下のように描写する：

> At Esher, at Stowe, at Wilton, at Eastbury, and at Prior’s Park, days are too short for the ravished imagination, while we admire the wondrous power of art in improving **nature**. In some of these, art chiefly engages our admiration; in others, **nature** and art contend for our applause; but in the last, the former seems to triumph. Here **Nature** appears in **her** richest attire, and Art, dressed with the modestest simplicity, attends **her** benignant mistress. Here **Nature** indeed pours forth the choicest treasures which **she** hath lavished on this world; (pp.

favourite phrase of the former, was the ***natural*** *beauty of virtue*; that of the latter was the *divine power of grace*) 」(p. 109) と記述されている。しかしながら、最終の 18 巻で死の床についたスクエアは改悛し、オールワージーに（ブリフィルを暗に非難し）トムを賛美する手紙を送るのに対し、スワッカムは最後まで悪意と私欲にまみれた人物として描かれている。この対照は実に興味深い。

533-4)（イーシャ、ストウ、ウィルトン、イーストベリ、そしてプライア公園では（注：全て当時の景勝地）、**自然**を改善する技巧（人為）の驚くべき力を我々が賛嘆している一方、うっとりとなった想像力に日々は短かすぎる。ある場所では技巧が主に我々の賞賛を勝ち取るが、別の場所では**自然**と技巧が我々の拍手喝采を求めて競い合う。しかし、最後は前者（自然）が大勝利を収める。ここで**自然**は最高に豊かな**彼女**の衣装を身にまとい登場し、技巧は最も慎ましい素朴な装いで彼女の恵み深い女主人（自然）に仕える。ここで自然はこの世界に惜しみなく与えてきた選り抜きの宝を本当に注ぎ込むのである）

上記は外面的「自然」と「人為」の例であるが、内面的な言及もある。例えば、フィッツパトリック夫人が夫への不満を従妹のソファイアに語る場面で以下の例がある：

(Mrs Fitzpatrick says to Sophia) “At times, indeed, whether from art or **nature** I will not determine, he [= Mr Fitzpatrick] gave his usual loose to gaiety and mirth;” (p. 507)（時々、実際のところ、作為（わざと）なのか**自然**なのか私には判断がつかないけど、あの人は大抵陽気に浮かれ騒いだのよ）

以下の引用では、形容詞 “natural” と “artificial” の対比が見られる：

Jones had **natural**, but not artificial good breeding. (p. 611)（トムには、人為（努力して身につけたの）ではない、**自然な**育ちの良さがあった）

ソファイアの内面の充実については：

It may, however, be proper to say, that whatever mental accomplishments she [= Sophia] had derived from **nature**, they were somewhat improved and cultivated by art: (p. 136)（彼女が**自然**から（生まれながらに）授かった精神（内面）の卓越した部分はいかなるものであっても、技巧（努力）によってある程度は磨きがかけられたと言うのが適切かもしれない）

トムがソファイアに対する恋心を必死で隠そうとするコンテクストでは、「自然」と「技巧」のせめぎ合いが見られる：

It may, perhaps, be a question, whether the art which he [= Tom] used to conceal his passion, or the means which honest **nature** employed to reveal it, betrayed him most: . . . while art made him more than ever reserved to Sophia, . . . **nature** was no less busy in counterplotting him. (p. 204)（トムが自分の情熱（恋心）を隠すのに用いた技巧と、正直な**自然（本性）**が情熱を表に出そうと用いた手段の、どちらが本当の彼をよく表しているかは、もしかしたら論点になるかもしれない。（中略）技巧は彼をソファイアにこれまで以上によそよそしくさせたが（中略）**自然**はそれに劣らず彼の計画の裏をかくのに忙しかった）

トムの技巧（努力と意志の働き）にも関わらず、愛しいソファイアは何故かいつも彼の目の前に「偶然」現れ、彼は戸惑いを隠しきれず思い煩う：

Most of which accidents **nature** was wonderfully industrious to throw daily in his way. (p. 204)（このような偶然のほとんどを**自然は**日々彼の行く手に置くのに驚くほどに勤勉であった）

結局は、「偶然」さえも周到に用意する「自然」に、「人為」は太刀打ちできないことを、作者は認識していたようだ。

筆者が「自然」に対する「人為」の虚しさを、この作品中最も切実に感じる箇所はレディ・ベラストン (Lady Bellaston) の容姿についての描写である。彼女は貴族の有閑マダムである。まだ女性としての魅力も十分あり、そのためトムを性的に籠絡し、彼のパトロンになり彼を囲う（トムはなんと男娼になる！）。しかし彼女はソファイアに出会い、彼女の若々しさと美貌に激しく嫉妬する。その結果、トムとの恋路を妨害し、卑劣にも人を使ってソファイアの陵辱を画策する（が未遂に終わる）。その意味で、レディ・ベラストンは「悪女」の典型なのだが、筆者はこの女性、というよりむしろ彼女の心理に同情を禁じ得ない（リヒャルト・シュトラウスのオペラ『ばらの騎士 (*Der Rosenkavalier*)』の元帥夫人を連想するのは筆者一人か？もちろん元帥夫人の「陰画」として）。[10]　彼女は必死で若さを保とうとするも、

[10] 1911 年に初演された３幕のドイツ語のオペラで、原作はホ

忍び寄る老いにはどうすることもできない。この悲哀を「自然」と「人為」が冷酷に描写する：

> [Lady Bellaston] was now entered at least into the autumn of life, though she wore all the gaiety of youth, both in her dress and manner; nay, she contrived still to maintain the roses in her cheeks; but these, like flowers forced out of season by art, had none of that lively blooming freshness with which **Nature**, at the proper time, bedecks **her** own productions. (pp. 633-4)（［レディ・ベラストン］は今や少なくとも人生の秋に突入していた。もっとも彼女は衣装と立居振舞いの両方において若い女性に特有のあらゆる陽気さを身につけていたけれども。それだけではない、彼女は努力を重ねて頬にも薔薇の血色をなんとか保っていた。しかし、この薔薇は、人工によって季節外れに無理に咲かせた花のようで、**自然**が然るべき時期に**彼女（自然）**自身の生産物を飾り立てる際の生き生きとした輝くような新鮮さは皆無であった）

7. 性悪説について:「丘の男 (the "Man of the Hill")」との対話

第８巻で、トムとパートリッジは旅の途中、人里離れて隠棲する奇妙な男に出会う。この男は「丘の男 (the "Man of the Hill")」と呼ばれている。二人は彼の小屋に立ち寄り、熱心に語り合う。この場面は以前から多くの批評家に本筋から脱線しているため「冗長」と批判されてきたが、[11] 彼らの宗教や哲学についての議論が非常に興味深いため筆者にとってはお気に入りの箇所である（しかしながら、この場面でトムが「丘の男」と対等に意見のやり取りをするのは小説としてはリアルでなく、彼があまりにも教養人に見えるのは違和感を覚える）。彼らの対話で「自然」に触れる箇所を集中的に見ていきたい。二人の議論は性悪説（と性善説）に関係する。

若い頃、ヨーロッパの国々を放浪したと豪語する「丘の男」にトムは以下のように意見を述べる：

> besides the difference of inclination, customs and climates have, I am told, introduced the utmost diversity into human **nature**. (p. 417)（嗜好（好み）の違いに加え、習慣や気候も、私が聞くところによれば、人間の**自然（性質）**にこの上ない多様性を与えるそうですが）

これに対し、「丘の男」は厭世的な態度で否定する：

> human **nature** is everywhere the same, everywhere the object of detestation and scorn. (p. 417)（人間の**自然**なんてどこでも同じだ、どこでも嫌悪と軽蔑の対象なのだよ）

この発言の根底には、以下のような彼の思想哲学がある：

> there is not an insect, not a vegetable, of so low an order in the creation as not to be honoured with bearing marks of the attributes of its great Creator; marks not only of his power, but of his wisdom and goodness. Man alone, the king of this globe, the last and greatest work of the Supreme Being, below the sun; man alone hath basely dishonoured his own **nature**; (pp. 419-20)（一匹の虫、一本の草、創造物のどんなに賤しい種類であっても、偉大なる創造主の属性、すなわち神の力のみならず、神の叡智と善意の恩恵に与らないものはない。ただ人間のみが、この地球の王、そう太陽の下での至高の存在（神）の最後で最高の作品である人間のみが、自己の**自然（本性）**を卑しくも汚してきたのだ）

「丘の男」のこの考え方は彼独自のものではなく、（少なくとも当時の）敬虔なキリスト教徒にとっての常識だったように思われる（それゆえにキリスト教は「自然」を嫌う）。この作品の80年近く前にイングランドの説教者で『天路歴程 (*The Pilgrim's Progress*)』(1678, 84) の作者としても知られるバニヤン (John Bunyan: 1628-1688) によって書かれた精神的自叙伝『溢れる恩寵 (*Grace Abounding*)』(1666) に非常によく似た記述があるので参考までに引用する：

> Man Indeed, is the most noble, by creation, of all the creatures in the visible World, but by sin he had made himself the most ignoble. The beasts, birds, fishes, &c. I blessed their condition, for they had not

---

フマンスタール。物語は 18 世紀中頃のウィーンを舞台に元帥夫人の寵愛を受けている美しい青年貴族オクタヴィアンが偶然出会った若くて美しいゾフィーに恋をし、最後に二人は結ばれる。一方、元帥夫人は（大いに苦悩するも）二人を邪魔することなく、静かに身を引く。

[11] 例えば、この作品を翻訳した朱牟田夏雄は「これはどう弁護しても全体の筋と何の関係もない脱線的挿話でしかない」(p. 139) と述べている。

a sinful **nature**, they were not obnoxious to the wrath of God, they were not to go to Hell fire after death: (p. 27)（実際に人は神の創造によってこの世界のあらゆる創造物の中で最も高貴な存在である。しかし、罪により人は自らを最も卑しい（恥ずべき）存在にしてしまった。獣、鳥、魚など、私は彼らの立場を祝福した、というのも彼らには罪深い**自然（本性）**がなかったからだ。それで彼らは神の怒りに触れることがなかった、死後に地獄の業火に苦しむこともない運命だった）

さて、トムは「丘の男」の悲観的考えに対し、彼の説を一部肯定しながらも一方で素晴らしい人間もいると反論する：

This error, I believe, is generally committed by those who, from want of proper caution in the choice of their friends and acquaintance, have suffered injuries from bad and worthless men; two or three instances of which are very unjustly charged on all human **nature**. (p. 420)（この誤ちが一般に犯されるのは、私が信じるに、友人知人を選ぶ際に適切な注意を怠ったため、取るに足らない悪漢たちから被害にあった人々によるものです。そのような間違いのごく僅かな例だけで全人間**性**が不当に非難されているのです）

そして、最終的にトムは以下の主張をする：

If there was, indeed, much more wickedness in the world than there is, it would not prove such general assertions against human **nature**, since much of this arrives by mere accident, and many a man who commits evil is not totally bad and corrupt in his heart. In truth, none seem to have any title to assert human **nature** to be necessarily and universally evil, but those whose own minds afford them one instance of this **natural** depravity; (p. 421)（もし今よりも実際にこの世に悪が存在するとしても、人間の**本性**に対するこのような一般化（注：人間の本性が堕落していること）が正しいことにはならないでしょう、だって、ほとんどの悪行は偶然の産物で、悪を犯す人の多くが根っからの悪で心の腐った人というわけではないのです。事実、人間の**本性**が必然的にも普遍的にも悪だと断定する資格など誰にもないと思いますよ、もちろん自身の心がこの**自然の（生まれつきの）**堕落の実例を提供する人を除いてはね）

この主張はフィールディング自身の意見と見做すことができるかもしれない。

8. おわりに

以上、『トム・ジョーンズ』における「自然 (nature)」（とその派生語）の用例を使用のパタンに応じて分類し、セクション２～７で具体的に記述しながら、筆者の管見を述べた。もちろん、全てを網羅したわけではなく、スペースと時間の関係で紹介できなかった例も多数ある。次回以降、他の作家の作品を扱う際に補足できればと考えている。それでも「自然」という言葉を通して、この作品の最大の特徴の一つ、機智や諧謔や皮肉等を内包する悠揚迫らぬ「真面目な可笑しみ（あるいは「可笑しな真面目さ」）の一端を明らかかする試みが成功していることを願う。

ところで、『トム・ジョーンズ』ほど毀誉褒貶に晒された作品は英文学史上において他に類例がないのではないか。「毀」と「貶」の主たる理由はこの作品の不道徳性、特に主人公の性的放埒さにあるようだ。批評家たちによるフィールディングへの攻撃については、オールター (Robert Alter) 著『フィールディングと小説の自然（本質） (*Fielding and the Nature of the Novel*)』(1968) に詳しい。この著作によると、『トム・ジョーンズ』をはっきりと非難した最初の批評家の一人は（単独辞書編纂で著名な）ジョンソン博士 (Samuel Johnson 1709-84) である。ある女流劇作家がこの作品を話題にしたところ、博士はその本を読んだことで彼女を咎め、「私はこれ以上に堕落した作品をほとんど知らない (I scarcely know a more corrupt work)」(p. 8) と語ったそうである。20 世紀においても、非常に権威のあった批評家リーヴィス (F. R. Leavis 1895-1978) は「フィールディングの態度と彼の人間の**自然**（人間性）についての関心はシンプルだ (Fielding's attitudes, and his concern with human **nature**, are simple)」(p. 3) と批判した。ここでの「シンプル (simple)」には「単純な」だけでなく「卑しい、無知な、取るに足らない」等の否定的な含意がある。このような批評を読む限り、筆者はイギリス人の国民性（の表面）は糞真面目で、同時に偽善的なのではないかという印象を抱かざるを得ない。その意味で、（この論文のセクション１で触れた）「人間の自然」の追求がこの作品のテーマであるというフィールディングの宣言は破天荒で、極めて挑戦的だったことが窺え

る。なぜなら、真の「人間性」を追求することは人間の不道徳や性的奔放さなど社会通念ではタブー視される「恥部」をさらけ出すことに繋がるからだ。以前の論考で引用した、20 世紀の小説家フォースター (E. M. Forster) による「イングランドは人間の**自然**を受け入れるのに常に不承不承なのだ (England has always been disinclined to accept human **nature**)」の言葉の真実が一層痛切に胸に響く（拙稿「「自然」の声を聴け (1) 序」pp. 9-10）。

最後に、この論文を執筆している現在（2022 年 1 月上旬）、新型コロナウィルスの世界規模での感染拡大については依然として収束のめどが立っておらず、例えばオーストラリアでは、近く開幕される全豪オープンテニス選手権試合に出場を予定している（世界ランク 1 位で前回の優勝者の）ノヴァク・ジョコヴィッチ選手の入国ビザがワクチン接種要件を満たしていないとして取り消された（その後、裁判になり「入国を認めないのは違法」という判決が出たが、それに対して国内外で非難が高まり、最終的に「公衆衛生と秩序を危険にさらす恐れがある」との懸念から国外退去処分を受けた）。このような事態はいつまで続くのであろうか。ウィルスと言えば、ダン・ブラウンのミステリー小説『インフェルノ (*Inferno*) 』(2013) では、一人の天才遺伝子工学者が地球規模での環境破壊と人口爆発を憂いて、特殊なウィルスを開発する。そのウィルスはそれに感染した女性の 3 分の 1 が不妊になるという仕組みになっており、これを用いて人口爆発を抑えることが自分の使命とその科学者は考える。その男（科学者）が語るウィルス開発の理由に「自然」が言及される：

> “Over the last fifty years,” the tall man declared, “our sins against Mother **Nature** have grown exponentially.” ((p. 138)（「過去 50 年にわたり」とその背の高い男は強い調子で述べた、「母なる**自然**に対する私たち人間の罪（裏切り行為）は急激に増加してきたのだ」）

この物語の最後、ウィルスの「ばら撒き」を阻止しようと奮闘する主人公ラングドン教授の相棒の女性医師が、これまで人口爆発は疫病や飢餓や津波等、いわゆる「自然」の力で食い止められてきたことに触れ、今回の事件について以下の仮説を述べる：

> “maybe **nature**, through the process of evolution, created a scientist who invented a different method of decreasing our numbers over time.” (p. 454)（もしかしたら、**自然**は進化の過程を通して一人の科学者を造り出したのかもしれない、そしてその人間が私たちの人口を時間をかけて減らしていく（これまでとは）異なる方法を発明したのよ）

下線部の「自然は一人の科学者を造り出した」という言葉の持つ意味は重く、セクション 2 の最後で見た「自然の大劇場」の比喩における喜劇的なトーンを悲劇のそれに焼き直したかのような印象を受ける。今回のエピグラフ（自然を戸口で締め出すと窓から入ってくる）と併せて心に留めておきたい。（つづく）

引用文献

Alter, Robert (1968) *Fielding and the Nature of the Novel*. Massachusetts: Harvard University Press.
Brown, Dan (2013) *Inferno*. New York: Doubleday.
Bunyan, John (1666 [2008]) *Grace Abounding with Other Spiritual Autobiographies* (edited by John Stachiniewski with Anita Pacheco). Oxford: Oxford University Press.
Fielding, Henry (1749 [1996]) *Tom Jones* (edited by John Bender and Simon Stern) Oxford: Oxford University Press.
McKillop, Alan D. (1967) *The Early Masters of English Fiction*. Lawrence: University of Kansas Press.
Shakespeare, William (1605-6 [1992 (1972)]) *King Lear* (the Arden Shakespeare edited by Kenneth Muir). London and New York: Routledge.

朱牟田夏雄 (1971)『フィールディング』（新英米文学評伝叢書） 研究社出版（第 4 版）
村田和穂 (2020) 「自然」の声を聴け—英米文学作品における “Nature” をめぐって—(1)序 『有明工業高等専門学校紀要』第 55 号、pp. 1-15.
村田和穂 (2021) 「自然」の声を聴け—英米文学作品における “Nature” をめぐって—(2) 『有明工業高等専門学校紀要』第 56 号、pp. 55-62.

【学位論文】

学位記番号　文博甲第247号
授与年月日　令和3年3月24日
氏　　名　藤崎　祐二
学位論文題目

上代における憑依表現の研究―「カムガカリ」を中心に―

本研究の目的は、『古事記』『日本書紀』における表現の多様性を明らかにし、上代文献資料の文学的達成を再評価することである。また、その成果に基づき、一貫した主張を有する個別の作品である『古事記』『日本書紀』の、独自性を追究することである。

そのために、文を構成する最小の単位である漢字の用法に着目する。漢字だけで書かれた資料を、編纂者が意図した通りの和語に読み替えることは困難であり、古今の諸注釈に継承された読みの中には、上代の用法に基づかない怪しげなものも散見するからである。これらの読みと語義を再検証することで、これまで見過ごされていた編纂者の意図を明らかにする。

そこで、現代語の「神がかり」に相当する「カムガカリ」という語に着目する。託宣における神々と人間との関係性は、王権の正統性を象徴し得るものであるから、政治色の濃い記紀においては、特に力点が置かれている可能性が高いからである。考察の具体的内容は、上代における「カムガカリ」の語義を明らかにすることと、憑依現象に関連する語、「託」・「著（着）」・「帰」・「憑」の読みと語義を明らかにすることである。「カムガカリ」の用例は、記紀のアメノイハヤの場面にそれぞれ一例ずつ見え、『古事記』は「神懸」と表記し、『日本書紀』は「顕神明之憑談」という文字列に、「カムガカリ」と読むべき訓注を添える。諸注釈は「託」・「著（着）」・「帰」・「憑」を「カムガカリ」の「カカル」と同義と見なし、「カカル」と読む傾向がある。しかし、字が異なるということは意味も異なる可能性があるため、これらの漢字を検証することで、憑依に関連する表現の多様性を追究するのである。そして、その成果に基づいて、神と人との関係性がどのように描かれているかを考察し、『古事記』と『日本書紀』の独自性を明らかにする。

第一章では、漢字「託」・「著（着）」を検証し、「ツク」と読むことと、強い付着を意味することを指摘する。「ツク」は対象にとりつく意味で使用され、現代語における「憑依する」の語義に最も近いと考えられる。また、「カムガカリ」の「カカル」は、「目の前にちらつく」などの意味で使用され、必ずしも直接触れ合うことを意味しないことを指摘する。つまり、「カカル」よりも、「ツク」の方が憑依の意味で使用するのに相応しいと考えられる。

第二章では、第一章で検証した語の内、「託」の語義に特化して、さらなる考察を展開する。「託」を「とりつく」の意味で使用する例は漢籍には確認されず、日本独自の用法である可能性が窺われる。漢籍との相違を踏まえ、日本における「託」の語義を検証し、憑依現象を表現するのに相応しい語であることを論じる。

第三章では、『古事記』神功皇后の託宣に見える「帰」の読みと語義を検証し、和語「カカル」よりも和語「ヨル」との対応関係が顕著であることを指摘する。また、「ヨル」は接近を意味する語であり、憑依を意味する「託」・「著（着）」とは区別すべき可能性をも指摘する。

第四章では、崇神紀の倭迹迹日百襲姫の託宣における「憑」の読みと語義を検証し、「帰」と同様「ヨル」と読むべき語である可能性を論じる。また、対象への限りない接近を意味し、憑依そのものを意味する語ではないことを指摘する。

第五章では、「カムガカリ」の語義に関する考察を行う。上代における「カムガカリ」の用例は、記紀のアメノイハヤの場面にそれぞれ一例ずつ認められるだけなので、その語義を検証することは容易ではない。しかし、『万葉集』に見える「カカラズモ　カカリモ神ノマニマニト」という表現は、「カムガカリ」の類例である可能性があるため、本章で取り上げて検証を試みる。

第六章では、『日本書紀』のアメノイハヤの場面における「顕神明之憑談」を手がかりとして、「カムガカリ」の語義を検証する。「顕神明之憑談」は、「カムガカリ」の具体的内容を示している可能性があることから、この文字列の内容に一致する場面を比較することで、「カムガカリ」の語義を考察する。

第七章では、作品の独自性に着目した考察を試みる。前章までに「託」・「著（着）」・「帰」・「憑」の読みと語義を分類した結果、上代文献資料の中で『古事記』だけが憑依を意味する「ツク」を一切使用していないことが明らかとなった。このような表現上の選択が、どのような意図に基づくのかを考察し、『古事記』の独自性を明らかにするための手がかりとする。

以上の考察を経て、『日本書紀』では親近性の低い強制的な憑依が描かれているがゆえに、執筆者によって「託」・「著（着）」が選択される傾向にあり、『古事記』はその逆であるために「託」・「著（着）」が選択されにくいという結論を導く。「カムガカリ」における当事者同士の親近性の高さは、『古事記』独自の傾向であることを指摘する。

研 究 活 動 概 要

本校教員・技術職員の発表した論文・著書及び講演題目等については、researchmap の上で公開していますので、下記 URL にアクセスの上、閲覧願います。

(URL) https://researchmap.jp/researchers?institution_code=6696*

令和３年度　図書・紀要委員

委員長　　村　田　和　穂（図書情報管理部長／図書館長）

委　員　　藤　崎　祐　二（図書情報管理部員／一般教育科）

委　員　　劉　　丹　（環境・エネルギー工学系）

委　員　　ゴーチェ ロヴィック（人間・福祉工学系）

有明工業高等専門学校紀要

第 57 号（2021 年度）

令和 4 年 2 月 4 日発行

編　集　有明工業高等専門学校図書・紀要委員会

発　行　有明工業高等専門学校

〒836-8585　大牟田市東萩尾町 150

電話（0944）53-8316

CONTENTS

A study on design method of wing–wall of bridge abutment	KANEDA Kazuo	1
An analytical study on the flexural strength of retrofitted RC columns sandwiched by steel plates and tightened by PC bars	KANEDA Kazuo Toshiki INABA Kozo NAKADA Mohammad Zahid NOORI Tetsuo YAMAKAWA	16
Estimated effective permittivity of cumulonimbus clouds and rainfall space for MHz band electromagnetic waves	NANBU Yukihisa	28
Extension of the sum formula for power of natural number	MURAOKA Yoshinori	32
Developing Thinking Skills in English Language Teaching: Through Presentation Activities	MURAHATA Keisuke	36
Analysis of Leveled English Classes at National Institute of Technology, Ariake College(2)	YAMASAKI Eiji Richard T. GRUMBINE MURAHATA Keisuke MURATA Kazuho	40
Construction of electronic application system for dormitories in NITAC	TAZUNEKI Shinichi MATSUO Akihiro NOGUCHI Yoshiaki MASAKI Tetsu	45
Listen to the Voice of “Nature” — With Special Reference to “Nature” in English Language Literary Works — Paper Three	MURATA Kazuho	50
Doctoral Dissertation Summary	FUJISAKI Yuji	66