

竹筋定着に関する実験的研究

寺井 雅和

Experimental Study on Effect of Bamboo Reinforcement on Anchorage

Masakazu TERAJ

Synopsis

For the anchorage of bamboo reinforced concrete structures, it is difficult to attach plates or hooks to the ends of bamboo reinforcements. The mechanical anchorages of steel reinforcement bars are tried to use in some construction systems. In this study, twenty-one pull-out tests carried out to investigate the load carrying capacity of bamboo reinforcement with mechanical anchorage. The load carrying capacity of bamboo reinforcement is discussed by comparing with the steel reinforcement with 180-deg. hook. In comparison with the steel reinforcement with 180-deg. hook, the deformation performance of bamboo reinforcement with mechanical anchorages is not good, but the load carrying capacity of bamboo reinforcement is improved by use of anchorages. The equation to predict the pull-out load carrying capacity of mechanical anchorage is proposed as the sum of bond and adhesive force. The predicted capacity agrees with the experimental one that was obtained in this experimental study.

Key words: bamboo, mechanical anchorage, pull-out test, bond, bamboo reinforced concrete

1. はじめに

竹は入手や加工が容易であり、かつ軽量なので運搬コストが低く、建設分野に竹材を積極的に活用することで、建築物の製造コストを低く抑えることが可能になる。竹材をコンクリートの補強筋として利用する「竹筋コンクリート構造」は、日本でも戦時中から終戦直後まで全国各地でつくられていったが、戦後復興により鉄鋼の生産供給が安定したため、この技術や研究開発は姿を消した。

現代において竹筋コンクリート構造物を実現化するために、筆者らは竹筋コンクリート梁・柱・面部材の力学性状、竹とコンクリートの付着性状などの実験を行い、鉄筋コンクリート構造との違いや竹筋コンクリート構造における力学的特徴、施工上の問題、さらにはコスト面

での検証まで行ってきた^{1,2)}。竹筋は、ふしがあるが表面が滑らかなので、コンクリートとの付着はほとんどない。そのため、竹筋がコンクリート部材の中で補強筋として力を発揮するためには、竹筋端部に定着を設ける必要がある。筆者は、過年度、丸竹を輪切りにして接着剤で取り付けるという簡易なこぶをつけた機械式定着を提案し、引き抜き試験を行った³⁾。これらのこぶは、施工性は良いものの、強度や変形能力において、十分な性能はなかった。そこで、別タイプの定着形状を提案し、これらの定着性能についても引き続き検証することとした。

本研究では、竹材をコンクリート構造物の主筋として用いる際に必要な定着部の開発を目的として、形状の模索と要素実験により定着性能について確認を行った。

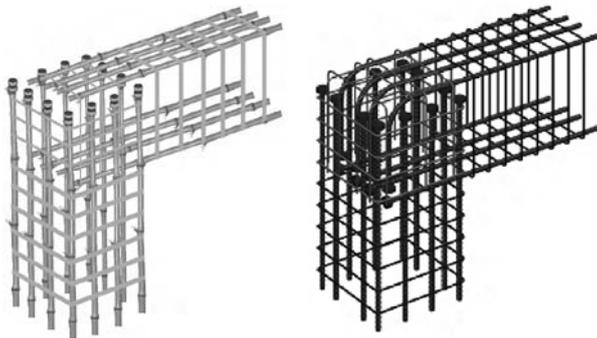


図1 竹主筋と鉄筋の機械的定着のイメージ



写真1 過年度開発した定着部 (Type A)

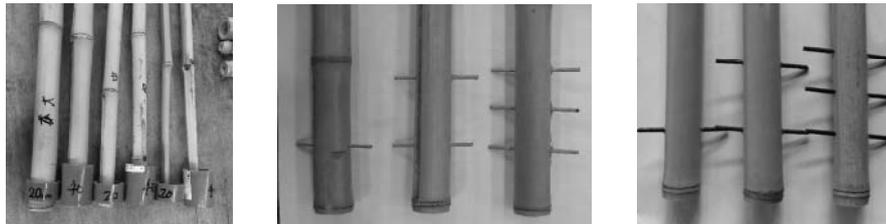


写真2 新たに開発した定着部 (左からType B, Type C(竹串), Type C(鉄筋))

表1 定着部の寸法

種類	各部の詳細および実測寸法	
鉄筋*	$\phi 9\text{mm}$ ($\sigma_y=424\text{N/mm}^2$), 180° フック	
Type A*	中径の丸竹 ($d_A=14.9\text{mm}$) 丸竹をかぶせ、隙間に接着剤を充填 ($A_A=19.7\text{mm}$, $H_A=10, 20\text{mm}$)	
Type B	3種類の径の丸竹 ($d_B=11.1(\text{S}), 16.1(\text{M}), 23.5(\text{L})\text{mm}$) 塩ビ管(外径33mm)をかぶせ、隙間に接着剤を充填 ($H_B=20, 40\text{mm}$)	
Type C	2種類の径の丸竹 ($d_C=14.9(\text{S}), 29.0(\text{L})\text{mm}$)	竹串 ($\phi 3.1\text{mm}$)を1~3本差し込む
	2種類の径の丸竹 ($d_C=14.8(\text{S}), 27.2(\text{L})\text{mm}$)	鉄筋 ($\phi 3.2\text{mm}$)を1~3本差し込む

*過年度試験体³⁾

2. 引き抜き試験

2.1 概要

鉄筋は、折り曲げ加工や溶接が可能のため、鉄筋端部にフックを設けることができる。しかし、竹筋は加熱で容易に曲げることができるものの、中空の丸竹を所定の精度で曲げるには高度で熟練の技能が必要となり、大量生産で低コストの建設技術には向いていない。そこで、鉄筋ではすでに開発されている機械式定着を、竹筋にも応用する(図1)。

過年度、写真1のように一回り大きな竹を輪切りにし、それを強力な接着剤で取り付けるという方法でこぶを付けた定着筋を開発し実験を試みた³⁾。この実験では、定着させたコンクリートブロックの寸法が小さかったため、多くの試験体でコンクリートが割れてしまい、定着耐力を十分に検証することができなかった。そこで、今年度の試験体では、コンクリート塊の大きさを大きく、また、容易に割れないようコンクリート強度を高くして追加実験を行った。

定着部の形状として、写真2に示すような2種類 (Type

BとC)を新たに提案し、過年度行った実験結果と対比をしながら、合計3種類の定着部の施工性や性能について確認する。試験に用いた定着部の形状寸法を図2および表1に示す。

2.2 供試体

試験体形状は、一辺の150mm立方体(ただし、過年度の試験体³⁾は100mm立方)のコンクリート塊の中心に機械式定着加工した竹を一本埋め込み、引き抜く試験体とした。通常、このような試験では、試験体の自由端には、抜け出し量の計測でコンクリート境界の影響が出ないようにある程度付着を切ることが多い。しかし、竹は表面が滑らかで付着力が期待できないため、このたびの試験体では縁切りの処理は施していない。

表2に試験体一覧を、図2に試験体図を示す。過年度行った仕様(一回り太い径の竹を、竹軸に接着剤で取り付ける)をType Aとして、今年度の実験では、Type BとCの二種類を検討する。Type Bは、外径33mmの塩化ビニール管を長さ20mmと40mmに切断し、これを3種類の太さの竹筋にかぶせて、Type Aと同じ接着剤で取り付ける。

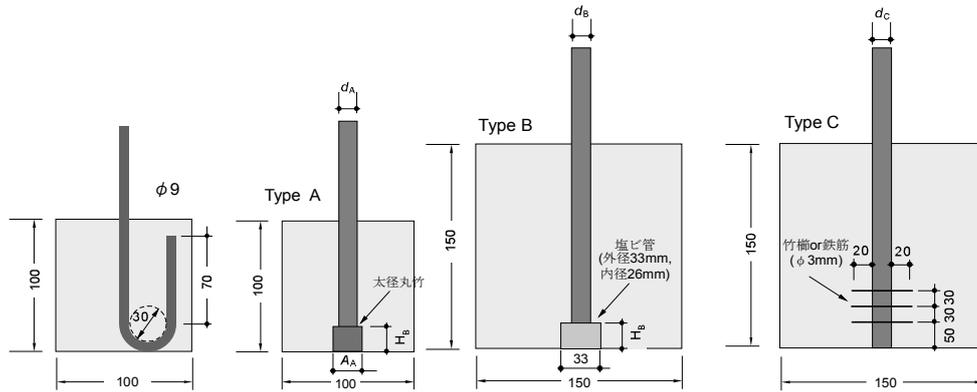


図2 試験体詳細 (単位 ; mm)

表2 試験体一覧

シリーズ	試験体名称	材料	主筋太さ	こぶ長さ
A*	A-S	鉄筋	φ9	なし
	A-0			なし
	A-S10		細 φ18	10mm
	A-S20			20mm
B	B-S20	竹筋	細 φ18	20mm
	B-S40			40mm
	B-M20	中 φ22	20mm	
	B-M40		40mm	
	B-L20	大 φ25	20mm	
	B-L40		40mm	

*過年度試験体¹⁾

シリーズ	試験体名称	材料	主筋太さ	櫛の材質	櫛の数
C	C-S-B1	細 φ18		竹棒	1
	C-S-S1			鉄筋	
	C-S-B2			竹棒	2
	C-S-S2	鉄筋			
	C-S-B3	竹棒	3		
	C-S-S3	鉄筋			
	C-L-B1	太 φ25		竹棒	1
	C-L-S1			鉄筋	
	C-L-B2			竹棒	2
C-L-S2	鉄筋				
C-L-B3	竹棒			3	
C-L-S3	鉄筋				

表3 コンクリートの材料特性

材料	使用試験体	種類	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
コンクリート	Type A	Fc5	3.1	-
	Type B	Fc5	6.4	-
	Type C	Fc18	23.1	-
鉄筋	鉄筋主筋	φ9	-	424
竹	竹主筋	本竹	-	180

Type Cは、竹筋の端部にドリルで穴を開け、竹軸 (径3.1mm) または鉄筋 (径3.2mm) を数本差し込んだ。実験要因は、差し込む棒の種類 (竹と鉄) と本数 (1, 2, 3本), そして竹筋の太さ (2種類) である。今年度は、新たに18体を制作・実験し、過年度行った180°フックをつけた鉄筋1体とType Aの3体を含め、合計22体の実験結果で比較検討した。

2.3 使用材料

a) 竹

本実験で使用した竹は、本竹という名前で販売されている竹を入手した。恐らく真竹 (マチク) の若竹を伐採して乾燥させたものと思われるが、産地など詳細は不明である。本実験では、外径約11, 16, 23mm (実測値の平均として) の三種類の太さの竹を丸竹のまま使用している。

竹は、自然素材であるため材料としての性質はばらつきがある。また、節は強度が低く、節間強度 (節を含まない部分の強度) に比べて弱いことが知られている。本試験で使用した竹も、上記のように産地や伐採時期が不明なので、強度特性は均質とは言えないが、実際に数本の竹材を実験室で引張試験を行った結果、表3に示すように、180N/mm²であった。

b) コンクリート

硬化コンクリートの載荷試験時の圧縮強度を表3に示す。竹筋コンクリートは、比較的材料品質の悪い構造物

での活用が期待されているために、コンクリート品質が良く、強度が高いものは想定していない。また、竹とこぶの接着力が低いので、コンクリート強度があまり高いとこぶが破壊してしまう恐れがあったので、本研究ではFc5程度の低強度コンクリートで実験した。ただし、本章の「2.1 概要」で述べた通り、コンクリートの破壊が起こらないように、Type Cの試験体だけはFc18で製作した。

コンクリートは、最大骨材寸法20mm、打設時のスランプは18cm、空気量4.0%で設計した。供試体の打設方向は、すべて上面より行った。

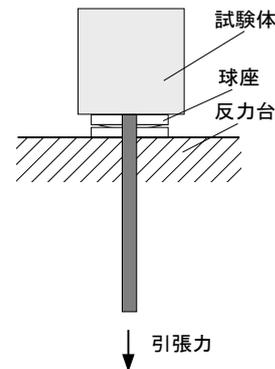


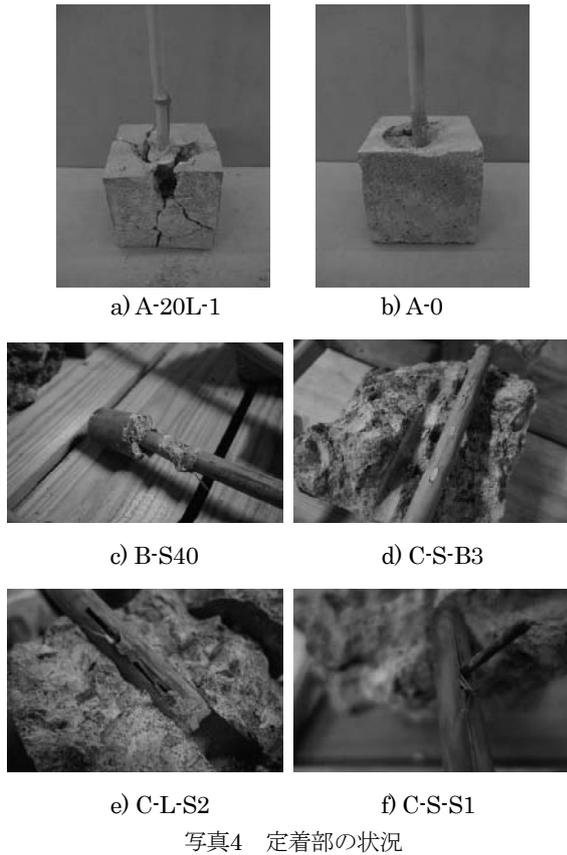
図3 載荷方法



写真3 実験装置

2.4 加力・計測方法

載荷方法と実験装置を、図3と写真3にそれぞれ示す。試験体は、コンクリート打ち込み方向と上下逆さまに試験機上部ブロックの上に設置し、下部ブロックで竹の端部をつかみ、引張り力を与えて単調載荷を行った。なお、上部ブロックと試験体の間には球座を設けて、試験体に曲げ荷重が発生しないようにしている。主筋の抜け出し量は、ブロック間の相対変位として2本の変位計によって測定した。



3. 引き抜き試験

3.1 破壊性状

過年度の試験体 (Type A) は、コンクリート強度が低く、またコンクリート塊の大きさが100mm立方体だったため、ほとんどの試験体ではコンクリートが割れた (写真4 a,b)。一方、今年度の実験 (Type BとC) では、コンクリート塊を150mm立方体とし、またType Cではコンクリート強度も高くした。この結果、今年度の実験では、すべての試験体でコンクリートが割れることなく、竹筋がすべり抜ける破壊性状を示した。

実験後にコンクリートを研ったところ、定着部それぞれのタイプごとに破壊性状が異なっていたので、以下タイプ別に示す。

a) Type B (塩ビ管パイプのこぶ)

コンクリート内部の抵抗機構は、竹の表面付着とこぶ

の支圧が考えられる。こぶ周辺のコンクリートが損傷せずに竹筋だけが抜け出したということは、竹表面と接着剤の界面で剥離したと考えられる。実験後の研り写真を見ると、確かにこの部分で滑っていることがわかる (写真4 c)

b) Type C (竹串, 鉄筋の差し込み筋)

抵抗機構としては、竹の表面付着と差し込み筋のダボ抵抗が考えられる。竹軸が抜け出すに伴い、差し込み筋がせん断抵抗を示すが、竹は剛性、強度が低いため、ある程度の変形でせん断破壊する (写真4 d)。一方、鉄筋は竹に比べて強度が高いため、差し込まれている竹主筋の方が弱く、鉄筋の支圧力で竹軸が縦割れをしながらすべり抜けていることがわかった (写真4 e, f)。

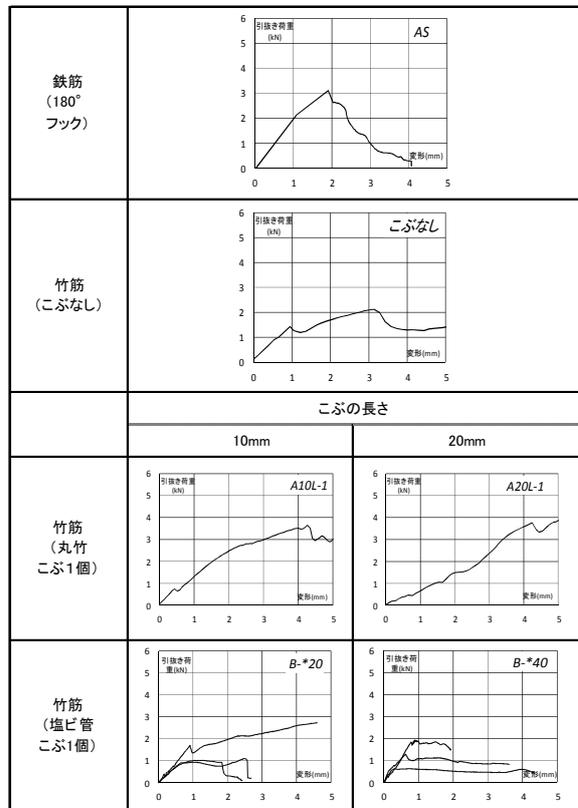


図4 荷重 - 変形関係 (Type A, B)

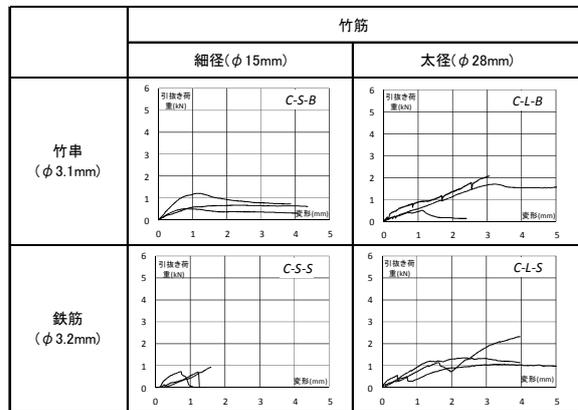


図5 荷重 - 変形関係 (Type C)

3.2 荷重 - 変形関係

定着耐力試験における引き抜き力と主筋の抜け出し量（試験機ブロックの移動力）の関係を、荷重 - 変形関係として図4, 5に示す。Type Bでは、竹軸の太さにかかわらず、こぶの長さ20mmと40mmで、1つにまとめて描いている。また、Type Cでは、竹筋の太さと差し込み筋の種類（竹、鉄）で分類し、差し込み筋の本数（1, 2, 3本）は、同じ図で重ねて描いている。これらの図の縦軸は、コンクリート強度が試験体グループ毎に異なるので、次式(1)によってコンクリート強度の影響を補正している。なお、C-S-S2, C-S-S3の2体は試験途中で竹筋が破断したため、最大耐力を計測できていない。

$$T = P_{\text{exp}} / \sqrt{\sigma_B} \quad (1)$$

ここに、 P_{exp} : 実験で計測した引き抜き荷重値 (N),
 σ_B : コンクリート強度 (N/mm²).

a) Type A

180°フックとした鉄筋の荷重 - 変形関係を見ると、変形量1mmで引抜き荷重T=2となり、T=3でコンクリート塊が割れたため最大耐力に達した。

竹筋でこぶのないものは、変形1mm程度で一旦荷重が低下し、その後緩やかに荷重が上昇する。これは、変形1mmの時点で竹は滑り出すが、竹には節があるため、これが引っかかることで簡単には滑り抜けず、摩擦抵抗をしながら抜け出するためこのような応答がみられていると考えられる。以下説明するように、Type B, Cでも定着部が先行して壊れ、その後はこのような抜け出しがみられる試験体が多かった。

b) Type B

竹筋の場合、Type AもType Bも変形1mm程度で荷重T=0.5~1程度と、Type Aに比べて剛性が1/4~1/2程度であることがわかる。

丸竹をこぶに取りつけたType Aは、変形4mm程度で最大耐力を迎えるのに対し、塩ビ管をこぶに取りつけたType Bでは、変形1mm程度で最大耐力となる。Type Aでは、最大耐力後コンクリートが割れるため、急激に強度は低下するが、Type Bでは、最大耐力も力を保持するか、緩やかに低下している。これは、Type Aのこぶなし試験体と同様、節の摩擦抵抗を受けながら抜け出していると考えられる。

c) Type C

次に、竹棒や鉄筋で楯状の定着を設けたType Cであるが、変形量1mmでT=0.5~1程度の耐力となり、剛性はType Bの竹筋と同程度であった。最大耐力後の変形は、竹筋の太さと差し込み筋の材料（竹串か鉄筋）で、違いが見られた。細径の竹筋+竹串のC-S-Bシリーズは、Type A, Bとほぼ同じ推移が見られる。太径の竹筋+竹串のC-L-Bシリーズは、変形量3mmを超えても、荷重が上がり続けた（1体は1mmで、1体は3mmで荷重が急落）。細径の竹筋+鉄筋のC-S-Sシリーズは、変形量1~1.5mmで

荷重が急落する。太径の竹筋+鉄筋のC-L-Sシリーズは、変形量2mm程度まで荷重が落ちなかった。

3.3 定着耐力

実験で得られた最大耐力値を図6に示す。前節同様、式(1)でコンクリート強度による違いの影響を補正している。Type A~Cの竹筋の平均値は1.10となり、鉄筋試験体（A-S）の強さ1.84の60%程度であった。

先に破壊性状を示したように、本実験では試験体ごとに最大耐力が決まった抵抗機構が異なっている。Type Bは、こぶの接着剤剥離が先行し、その後竹筋が滑りながら抜け出る。Type Cは、差し込んだ竹串はダボ抵抗のせん断力で折れ、その後竹筋が滑りながら抜け出る。Type Cの鉄筋を差し込んだものは、鉄筋が竹筋の穴部を支圧することで竹が縦に裂け、この抵抗力で引っかかりながら抜け出たと考えられる。

以上のように、竹材のという素材の不均質、接着剤の施工性に起因する不揃いなどが原因となり、強度や剛性に違いやばらつきがあると考えられる。

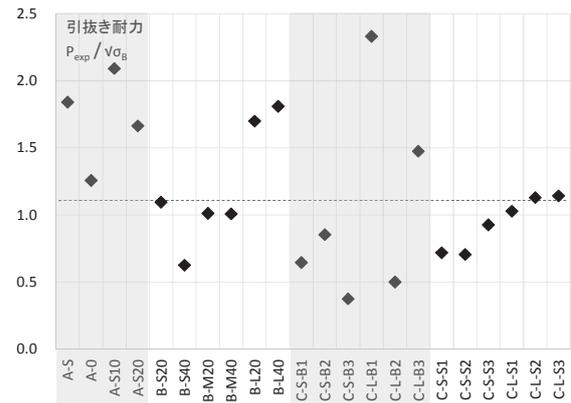


図6 引抜き耐力値一覧（式(1)による補正値）

4. おわりに

鉄筋コンクリート構造において、鉄筋は折り曲げ加工が可能のため、端部にフックを設けて定着を図ることができる。しかし、竹材は、加熱で容易に曲げることが難しいため、定着を設けることが難しい。本研究では、竹材をコンクリート構造物の主筋として用いる際に必要な機械式定着部の開発を目的として、形状の模索と要素実験により定着性能について確認を行った。本論では、竹筋端部の機械式定着の性能を評価するために、要素試験体による引き抜き試験を行った。定着部の仕様は、主筋の太さ3種類に対して、こぶ形状や材質を変えた3タイプを提案した。

提案している定着部それぞれのタイプごとに破壊する場所が異なるので、引き抜き抵抗のメカニズムが異なっていることがわかった。鉄筋のフック定着と比較すると、剛性は1/4~1/2程度と非常に低いことがわかった。

竹筋の太さや定着部の仕様が異なっているため、定着

性能のすべてを最大値だけでよし悪しを評価することは難しい。今後、この定着部は竹筋コンクリート部材へ適用することを考えており、その部材で要求される仕様に合わせて評価することになっている。

謝辞：試験体製作・実験実施にあたり、近畿大学工学部建築生産研究室の詫摩哲史君をはじめ、卒論生の多大なご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 寺井雅和, 南 宏一: 竹筋コンクリートの付着性状および曲げ性状に関する基礎的研究, コンクリ

ート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1183-1188, 2010.7

- 2) 寺井雅和, 長尾恭介, 南宏一: 竹とコンクリートの付着性状に関する実験的研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 35 巻, pp.253-256, 2012.03
- 3) 寺井雅和: 竹筋定着の性能評価に関する実験的研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 38 巻, pp.253-256, 2015.03
- 4) 益尾潔, 窪田敏行: 技術報告 機械式鉄筋定着工法設計指針の概要, GBRC, Vol.31, No.2, pp.17-28, 2006.4