■重力加速度計を用いたパイプ傾斜計の開発と計測性能調査

Development and on-site performance test of 'pipe inclinometer' using gravity acceleration sensor

納谷 宏* Hiroshi NAYA／明治コンサルタント株式会社 Meiji Consultant Co., Ltd.

林田 昇 Noboru HAYASHIDA／明治コンサルタント株式会社 Meiji Consultant Co., Ltd.

松門祐二 Yuji MATSUKADO／明治コンサルタント株式会社 Meiji Consultant Co., Ltd.

國友 建 Ken KUNITOMO／株式会社坂本電機製作所 Sakamoto Electric MFG Co., Ltd.

中島伸一郎 Shinichiro NAKASHIMA／山口大学大学院創成科学研究科 Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University

清水則一 Norikazu SHIMIZU／山口大学大学院創成科学研究科 Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University

キーワード：孔内傾斜計，重力加速度センサ，精度実験，斜面動態観測

Key words: borehole inclinometer, gravity acceleration sensor, inclination test, slope monitoring

1. はじめに

地すべり斜面の地中変位計測は，地すべり移動層の変位量や地すべり移動体の変形量の把握，すべり面の位置判定の目的で実施される。そしてその結果は，地すべりの発生機構の検討や地すべり対策工の検討，設計に活用される。また，地すべり対策工施工後にはその効果判定にも用いられる。

本研究では，汎用的に地すべりの地中変位を連続計測する手法として，塩化ビニルパイプ（VP50）側面に重力加速度計を用いた薄型の傾斜センサを取り付けることにより，内空38mmのクリアランスを備えた多段設置型孔内傾斜計（以降，「パイプ傾斜計」と称す）を開発した。

本報告は，開発したパイプ傾斜計のパイプの変形特性と傾斜計測性能を調査することを目的に強制変位実験を実施した結果と，実際の地すべり地での適用性を確認するため，活動中の地すべり地において計測した結果について述べる。

2. 地すべりの地中変位計測の現状と課題

地すべり斜面の地中変位を計測する手法としては挿入型孔内傾斜計，設置型孔内傾斜計，地中伸縮計，多層移動量計などがある¹⁾。これらは，地中に可とう性パイプを埋設し，地盤の変位に伴うパイプの傾斜角度やワイヤの伸縮量を計測する方式である。パイプ内にセンサプローブを上下させる挿入型と，あらかじめパイプ内にセンサプローブもしくはワイヤを固定しておく設置型がある。

これらの内，図-1に示す挿入型孔内傾斜計は，一般的に用いられる手法であるが，プローブを手動で上下させる方式のため，短いインターバルでの計測や自動計測には向いていない。また，挿入型孔内傾斜計には不良データが発生することがあり²⁾，その要因と対処方法については「挿入式孔内傾斜計計測マニュアル（案）」³⁾として

図-1 挿入型孔内傾斜計の例

公開されているように，計測器の取り扱いや設置方法，計測それぞれに必要な手法となっている。

一方，図-2に示す設置型孔内傾斜計は，地中変位の検出を常時自動検知でき精度も高いという長所があるが，一般にセンサの回収が不可能で転用できないという点で高価な測定方法となっている⁴⁾。

近年，小型の傾斜センサ技術を用いた孔内傾斜計も研究開発されている。高濱ら⁵⁾は，Fiber Bragg Grating (FBG)を用いた多段式傾斜計を開発し，盛土地盤にて直径66mmのボーリング孔内に直径38mmの傾斜計を設置計測した事例を報告している。また，傾斜に比例した液面の傾きを静電容量の変化として検出するセンサも実用化されている⁶⁾。MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いた重力加速度センサは地表に設置する地盤傾斜計として実用化されている（例えば，国土交通省⁷⁾NETIS登録番号KT-130093-A, HK-150012-A, SK-160012-Aなど）が，同技術を用いた地中に設置する孔内傾斜計の事例としては，内村ら⁸⁾は直径25mmのステンレス製パイプに重力加速度センサ（分解能0.005°），

* 連絡著者／corresponding author
〒134-0086 東京都江戸川区臨海町3-6-4
3-6-4, Rinkaicho, Edogawa-ku, Tokyo

図-2 設置型孔内傾斜計の例

と地磁気センサを装着し、パイプごと地盤に打ち込んで設置する孔内傾斜計を開発している。また、阿部ら⁹⁾は、傾斜計内部の温度を測定して温度補正を行うため、重力加速度センサ（分解能 0.001° ）と温度センサを組み合わせた地盤傾斜計を開発している。海外においても、重力加速度センサ（分解能 0.25° ）を直径25mm、長さ305mmもしくは500mmのセグメントに装着した地中傾斜計を開発した事例がある¹⁰⁾。

上記に示した地中に設置する孔内傾斜計のいずれの形式においても課題のひとつは、センサプローブやケーブル、ワイヤ、固定ロッドがパイプ内の空間を大きく占めてしまうため、複数の計測用途、例えば地下水位計測をする場合には、別孔を掘削する必要があることである。もし同一のボーリング孔で傾斜角度と地下水位が同時に自動連続計測できるのであれば、ボーリング掘削費の低減が可能となり、経済的な地すべりの地中変位計測が実現できる。

また、他に地すべり斜面の地中変位を計測する手法としてパイプひずみ計がある。パイプひずみ計の構造は、地下水が出入りすることを可能とするための孔あけ加工がされた塩化ビニルパイプ側面にひずみゲージを貼り付けたもので、パイプ内部が中空となっていることから、地下水位計を挿入することが可能となっている。しかし、一般にパイプひずみ計は、変形ひずみ量と変位量とは線形関係が成り立たないことから、パイプの変形量（たわみ量）を直接的に算定することはできない¹¹⁾ため、定量的な地中変位量を求める用途には向いていない。

以上を踏まえ、本研究では、多段設置型孔内傾斜計でありながら、孔あけ加工された塩化ビニルパイプ（VP50）側面に薄型の傾斜センサを取り付けることにより、内空38mmのクリアランスを確保し、地下水位計を挿入することが可能な孔内傾斜計を開発した。

3. パイプ傾斜計の構造

3.1 傾斜センサの仕様

パイプ傾斜計に用いた傾斜センサは、図-3に示すよ

図-3 パイプ傾斜計に取り付けた傾斜センサ

うにMEMS技術を用いた2軸の重力加速度計（アナログデバイス社製ADXL213）を内蔵し、重力加速度ベクトルのX軸成分とY軸成分を計測し、内部のCPUにて演算することで、重力方向（鉛直）に対するXY平面の傾斜角度を出力する。

重力加速度計の分解能は 0.01° 、測定範囲は $0^{\circ} \sim 50^{\circ}$ である。計測間隔は最小1分～最大24時間で設定し、地表部に設置したデータロガー（電源：12Vバッテリー）に自動で記録される。

3.2 パイプ傾斜計の構造とたわみの評価法

パイプ傾斜計は、図-4、写真-1に示すように孔あけ加工された長さ1.0mの塩化ビニルパイプ（VP50）中央部側面に傾斜センサが内蔵されたケースを木ねじで装着したものである。

パイプ傾斜計は、傾斜センサケースの厚さを約13mmと薄型にしたことにより、パイプ内空が約38mm確保され、市販のほとんどの水圧式水位計の挿入が可能で、地中変位計測と地下水位計測が同時に可能となる。

ボーリング孔内への設置は、この塩化ビニルパイプ両端部に縦割りスリーブ（VU50 長さ10cm）を被せ、木ねじで固定しながら接続して挿入し、接着剤は用いない。パイプ挿入後、ボーリング孔壁との間を砂もしくはグラウトで充填し、パイプを固定する。ただし、グラウトで充填した場合は、地下水位の測定はできない。

パイプ傾斜計は、傾斜センサケースを直列に配線し、1本のケーブルで電源・通信の伝達が行われる構造としたことにより、深度が大きくなっても（傾斜センサ数が増えても）ケーブル数は増えず、パイプ内空を圧迫することがない。ケーブルは1m当たり約20cmの余長があり、パイプが 50° 程度傾くような変形をしても断線することなく計測可能である。ただし、ケーブルが断線すると、それ以深のセンサが通信不能となる。

また、ボーリング孔に挿入しながら傾斜センサと電源・通信ケーブルを装着できるように塩化ビニルパイプ（VP50）は鉛直方向に幅13mmのスリット構造としており、そこに電源・通信ケーブル保護のためのレールを装着する。

図－4 開発したパイプ傾斜計の構造図

写真－1 開発したパイプ傾斜計外観とパイプ断面（1mパイプに傾斜センサとケーブル保護レールを装着）

図－5 水平変位量の算出モデル

パイプ傾斜計の水平変位量（たわみ量）の評価法は、図－5に示すように、傾斜センサケースをパイプ中央に装着した鉛直に立てられた長さLの塩化ビニルパイプが、A端をヒンジ固定された状態で傾き、その傾斜角度が θ と計測された場合、B端の水平変位量dは $d = L \sin \theta$ で計算する。

4. 計測性能調査

4.1 パイプ単体での性能調査

4.1.1 調査方法

パイプ傾斜計の基本性能を確認するため、傾斜角度の計測精度調査実験を実施した。実験環境は、安定した環境下における計測性能の評価を目的とし、温度24.4℃、湿度34%一定で無風の室内である。この精度調査実験では、傾斜センサケースを中央に装着した塩化ビニルパイプ（VP50、長さ1.0m）を写真－2に示す精密傾斜装置（株）北川鉄工所製 RSM160R20、精度0.005°）に設置

写真－2 パイプ単体での性能調査実験装置

し、0°～50°の範囲で、0°～10°は1°ピッチ、10°～50°は10°ピッチで強制的に傾きを与えた。計測は、傾斜センサケースを装着した塩化ビニルパイプ3本（試料センサ番号＝No.1, No.2, No.3）にて実施し、それぞれにX軸方向、Y軸方向に傾きを往復で与えた。

4.1.2 調査結果

計測結果を図－6に示す。室内精度実験の結果、精密傾斜装置の指示値とパイプ傾斜計の傾斜角度計測値の差異は、最小で0.00°、最大で0.09°であった。また、強制傾斜角度の大小、X軸、Y軸方向による明確な精度の違いは見られなかった。このことから、パイプ傾斜計は、室内の環境下では測定範囲の0°～50°の傾斜角度を±0.10°以下の精度で計測できることが示された。

図ー6 パイプ単体での性能調査実験結果

4.2 パイプ接続状態における性能調査

4.2.1 調査方法

パイプ傾斜計のパイプ接続状態における性能を把握するために室内実験を実施した。着目点は次の2点である。

(1) 長さ1.0mの塩化ビニルパイプ (VP50) を上下に接続した構造体であるパイプ傾斜計の地盤の変形に対する追従性。

(2) 塩化ビニルパイプの中央に装着された傾斜センサによる、塩化ビニルパイプの傾きの測定精度。

この実験では、図ー7に示すように傾斜センサとケーブル保護レールを装着した塩化ビニルパイプを縦割スリーブにて4本 (長さ1.0m×4本=4.0m) 接続したものを使用した。

与える変形モードは、実際の地盤の変形や、それによって塩化ビニルパイプに作用する分布荷重をモデル化することが困難なため、片持ち梁の先端に強制変位を与えて、集中荷重が作用する片持ちばり変形モードと、先端の傾斜角度が鉛直となるように先端2点を固定して強制変位を与えるS字変形モードの2種類とした。

図ー7 強制変位実験 パイプ試料全体図

実際の方法は、図ー8, 写真ー3に示す装置に4本接続したパイプの上端2か所をI型鋼にクランプにて固定し、パイプ下端を水平方向に変位させ、①片持ちばり変位 (先端変位量300mmのケースをk300とする)、②片持ちばり変位 (先端変位量500mmのケースをk500とする)、③S字変位 (先端変位量300mmのケースをs300とする) の強制変位を与えた。

強制変位時の測定は、パイプのたわみ量、パイプのたわみ角度、パイプ傾斜計の傾斜センサの傾斜角度計測値の3項目とした。

パイプのたわみ量は、図ー8の○の位置において10cm間隔で定規 (精度1mm) により読み取った (図ー9)。

パイプのたわみ角度は、図ー8の△の位置において、パイプの上端、中央、下端の傾斜角度をデジタルレベル計 (SMART TOOL M-D Building Products製, 精度0.1°, 底辺長17cm) により読み取った (図ー10)。

パイプ傾斜計の傾斜センサの計測は、図ー8の□の位置とし、データロガーを接続し記録した。

なお、パイプ傾斜計のパイプは電源・通信ケーブルを通すため、一方向がスリットとなっており、与える変位の方向とスリットの向きによって剛性が異なることが考えられる。そのため、その方向性を考慮して、図ー11に示すように、スリット南向き (S)、西向き (W)、北向き (N) の3方向で強制変位を与えた。

4.2.2 調査結果

(1) 変形に対する追従性

強制変位実験にて定規により実測したたわみ量と傾斜センサにて計測されたパイプ傾斜計の傾斜角度から図ー5に示す式で求めたパイプのたわみ量の関係を図ー12に示す。また、参考値として塩化ビニルパイプにおける片持ちばり式によるたわみ量を示す。これによると、①片持ちばり変位 (k300)、②片持ちばり変位 (k500)、③S字変位 (s300) の強制変位いずれのケースにおいても実測したたわみ量と傾斜センサにて計測されたパイプ傾斜計の傾斜角度から求めたたわみ量はほぼ一致しており、片持ちばり式によるたわみ量を示す各線に重なるようにプロットされている。また、パイプスリットの向きによる測定値の違いは確認されない。

このことから、長さ1.0mの塩化ビニルパイプを上下に接続した構造体であるパイプ傾斜計の変形は、地盤の変形に対して良い追従性を持つと考えられる。

(2) 傾斜センサの計測値の評価

強制変位実験にてデジタルレベル計により実測した傾斜角度と傾斜センサにて計測されたパイプ傾斜計の傾斜

図－8 強制変位実験模式図

写真－3 強制変位実験装置
(②片持ちばり変位k500実験時)

角度の関係を図-13に示す。また、参考値として塩化ビニルパイプにおける片持ちばり式によるたわみ角度を示す。これによると、デジタルレベル計の傾斜角度と傾斜センサにて計測されたパイプ傾斜計の傾斜角度との差は最小で 0.00° 、最大で 1.00° であり、図-14に示すように両計測値の決定係数は $K=0.9767$ と良い直線性を持つ。また、パイプスリットの向きによる測定値の違いは確認されない。

このことから、パイプ傾斜計の各パイプの中央に装着された傾斜センサは、その位置におけるパイプの傾きを精度 0.1° のデジタルレベル計に対して 1.00° 以内の差で測定できると考えられる。

5. 地すべり地における適用性の検証

5.1 設置概要

パイプ傾斜計の実地盤での適用性を確認するため、実際の地すべり地(図-15)において、深度16.5mのボーリングを掘削し、パイプ傾斜計を深度0 mから15mに設置し(傾斜センサは1 m間隔で16個設置)(写真-4, 写真

図－9 パイプのたわみ量測定模式図

－5), 約10m離れた箇所設置したパイプひずみ計の計測値と比較検証をおこなった。

この地すべりブロックは、幅約50m、長さ約60mの規模であり、ボーリング結果から、図-16に示すように、基盤岩は結晶片岩、地すべり移動体は強風化蛇紋岩であり、推定されるすべり面深度は、パイプ傾斜計設置孔で

図-10 デジタルレベル計によるパイプのたわみ角度測定模式図

スリット南向き (S) スリット西向き (W) スリット北向き (N)

図-11 強制変位の方向とパイプの向き

11.5m, パイプひずみ計設置孔で10.5mである。また, 地すべりブロック頭部には明瞭なクラックが認められ, 中腹部にある樹木に傾きが見られ, 河川に面した末端部にも土塊の押し出しがあることから地すべりブロックが一体となって活動していると推定される。パイプ傾斜計の設置は, Y軸を地すべり活動方向 (調査主測線方向) とし, X軸を地すべり横断方向とした。

また, パイプ傾斜計設置孔, パイプひずみ計設置孔両方に同型の地下水位計を設置し, 計測値の比較をした。

計測期間は2015年12月6日～2016年5月14日であり, それぞれ地上部に接続したデータロガーにて計測値を記録した。

5.2 計測結果

図-17にパイプ傾斜計のY軸の傾斜角度から求めた各深度の水平変位量 (パイプのたわみ量) とパイプひずみ計の計測値 (パイプのひずみ量) の日別累積柱状図を示す。また, 図-18に累積変動が顕著にみられたパイプ傾斜計深度11mのY軸の傾斜角度とパイプひずみ計深度10mのひずみ値の経日累積変動図を示す。

計測の結果, パイプ傾斜計の深度11mY軸の傾斜角度とパイプひずみ計の深度10mのひずみ値は, 図-17, 図-18に矢印で示すように2015年12月12日頃に累積変動が始まり, 2016年2月14日に突発的な変動が計測され, 2016年4月以降の融雪期に累積が進んだ点など変動傾向が計測期間を通してほぼ一致している。なお, 図-17に示すようにパイプ傾斜計は, 深度11m以外, パイプひずみ計は, 深度10m以外では計測値の明確な変動は見られなかった。

また, 地下水位計測の結果, 図-17下段に示すようにパイプ傾斜計孔内に設置した水位計では約3.0mの水位の変化を計測し, 降雨との相関も良い結果となる一方, パイプひずみ計孔内に設置した水位計では約1.0mの水位の変化であった。この違いは, 両孔は約10m離れていることから設置位置の水利条件の違いによるものと想定される。

次に, 図-19に外気温の変化とパイプ傾斜計測定傾斜角度の関係を示す。設置した期間の外気温は -4°C ～ 20°C の変化があるが, 地表面である深度0mに設置した傾斜センサの値は外気温の変化と調和的に最大約 0.1° の変動がみられ, 温度変化の影響を受けていると考えられる。一方で, 深度1mの傾斜センサの値の変化は 0.05° 以下となっており, 温度変化の影響はほぼ受けていない。

次に, 図-20に地下水位の変化とパイプ傾斜計測定傾斜角度の関係を示す。地下水位の上下変動のある深度に設置された深度7mの傾斜センサと地下水位以深に設置された深度14mの傾斜センサの値を見るとその変化はどちらも 0.05° 以下となっており, 地下水位変動の影響はほぼ受けていない。

図-12 実測したたわみ量とパイプ傾斜計の傾斜角度から求めたたわみ量の関係

図-13 実測した傾斜角度とパイプ傾斜計の傾斜角度の関係

写真-4 パイプ傾斜計設置作業状況

写真-5 パイプ傾斜計設置完了状況

図-16 パイプ傾斜計を設置した地すべり地断面図 (調査主測線)

図-17 パイプ傾斜計Y軸水平変位量 (上段) とパイプひずみ計のひずみ量計測値 (中段) 日別累積柱状図ならびに地下水位変動図 (下段)

図-18 パイプ傾斜計の深度11m (Y軸) 傾斜角度とパイプひずみ計の深度10mひずみ量の経日累積変動図

図-19 外気温の変化とパイプ傾斜計測定傾斜角度の関係

図-20 地下水位の変化とパイプ傾斜計測定傾斜角度の関係

本研究において開発したパイプ傾斜計は従来のパイプひずみ計と同様に地中のパイプの変形を捉えることができるだけでなく、パイプひずみ計では算出できない水平変位量が算出できる。また、従来型の挿入型孔内傾斜計

や設置型孔内傾斜計の課題であった同一のボーリング孔における傾斜角度と地下水位の同時自動連続計測が可能である。

6. まとめ

汎用的に地すべりの地中変位を連続計測する手法として、塩化ビニルパイプ (VP50) 側面に重力加速度計を用いた薄型の傾斜センサを取り付けることにより内空38 mmのクリアランスを備えたパイプ傾斜計を開発した。

開発したパイプ傾斜計について、室内精度実験と強制変位実験および実際の地すべり地において計測をした結果、以下の所見を得た。

- ・パイプ傾斜計単体 (長さ1.0m) における傾斜角度の計測精度実験の結果、精密傾斜装置の指示値とパイプ傾斜計の傾斜角度計測値の差異は、最小で 0.00° 、最大で 0.09° であった。また、強制傾斜角度の大小、X軸、Y軸方向による明確な精度の違いは見られなかった。このことから、パイプ傾斜計は、室内の環境下では測定範囲の $0^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の傾斜角度を 0.10° 以下の精度で計測できることが示された。

- ・パイプ傾斜計のパイプ接続状態における性能を把握するために実施した強制変位実験の結果、パイプ傾斜計の計測傾斜角度から求めたパイプのたわみ量と定規により実測したたわみ量はほぼ一致し、塩化ビニルパイプにおける片持ちばり式によるたわみ量ともほぼ重なることから、長さ1.0mの塩化ビニルパイプを上下に接続した構造体であるパイプ傾斜計の変形は、地盤の変形に対して良い追従性を持つと考えられる。

- ・同じく、強制変位実験により計測されたパイプ傾斜計の傾斜角度とデジタルレベル計により実測した傾斜角度の差は最小で 0.00° 、最大で 1.00° であり、両計測値の相関も良い直線性を持つことから、パイプ傾斜計の各パイプの中央に装着された傾斜センサは、その位置におけるパイプの傾きを精度 0.1° のデジタルレベル計に対して 1.00° 以内の差で測定できると考えられる。

- ・実際の地すべり地においてパイプ傾斜計を設置し、パイプ傾斜計の傾斜角度から求めた各深度の水平変位量 (パイプのたわみ量) とパイプひずみ計の計測値 (パイプのひずみ量) の比較検証をおこなった結果、パイプ傾斜計はパイプひずみ計と同様に地すべりの地中変位を捉えていると判断され、深度1 m以深であれば外気温の影響および地下水位の変動の影響をほぼ受けずに計測できることが示された。

- ・パイプ傾斜計は従来のパイプひずみ計と同様に地中のパイプの変形を捉えることができるだけでなく、パイプ

ひずみ計では算出できない水平変位量が算出できる。また、従来型の挿入型孔内傾斜計や設置型孔内傾斜計の課題であった同一のボーリング孔における傾斜角度と地下水位の同時自動連続計測が可能である。

- ・パイプ傾斜計は測定レンジが $\pm 50^{\circ}$ であるため、パイプひずみ計がスケールオーバーしたり、挿入式孔内傾斜計が挿入不能になるような変位でも測定可能である。

今後は、実用化に向けて適用事例を増やし、課題の抽出、計測データの解析を進める予定である。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、明治コンサルタント株式会社佐藤博文氏、藤田陽佑氏、三好亮輔氏には地すべり地での設置作業、計測データ取得作業を手伝っていただきました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) (社) 斜面防災対策技術協会 (2012): 地すべり観測便覧, (社) 斜面防災対策技術協会, pp. 51.
- 2) 千葉伸一, 藤沢和範, 笠井美青, 杉田理, 佐藤成将, 菅沼健 (2010): 挿入式孔内傾斜計計測の標準化に関わる各種実験成果の報告, 日本地すべり学会誌, Vol. 47, No. 1, pp. 60-65.
- 3) 独立行政法人土木研究所土砂管理グループ地すべりチーム, 応用地質株式会社, 坂田電機株式会社, 日本工営株式会社挿入 (2008): 地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル (案), 110p.
- 4) 社団法人地盤工学会 (2004): 地盤調査の方法と解説, pp. 643-651.
- 5) 高濱利光, 坂田進, 廣田雅彦, 横谷篤至, 黒沢宏 (2006): 地盤工学ジャーナル, Vol. 1, No. 3, pp. 95-103.
- 6) ジオテクサービス (2016): <http://www.geots.co.jp/tityu.html> (参照日2016年10月17日)
- 7) 国土交通省 (2016): 新技術情報提供システムホームページ <http://www.netis.mlit.go.jp> (参照日2017年4月4日)
- 8) 内村太郎, ワンリン, チャオジャンピン (2011): 斜面モニタリング装置を活用した斜面防災, 地質と調査, 2011第1号, pp. 12-15.
- 9) 阿部大志, 千田容嗣, 石田孝司, 西條敦志 (2011): IT地盤傾斜計の現地適用の基礎実験, 第38回土木学会関東支部技術研究発表会, III-42.
- 10) Abdoun & Bennett (2008): "A New Wireless MEMS-based System for Real-Time Deformation Monitoring," Geotechnical News, pp. 36-40.
- 11) 早川嘉一, 相田忠明, 佐々木友和 (2002): 変位解析法に基づくすべり層変位の定量解析—モデル実験による変位解析法の検証—, 日本地すべり学会誌, Vol. 39, No. 2, pp. 75-83.
(原稿受付2017年2月20日, 原稿受理2017年6月25日)