

3-3 pH測定によるすべり面判定の試み(その2)

株式会社 日本海開発 ○浜崎 晃 子川桂二

1. はじめに

地すべりにおけるすべり面判定において地すべり移動土塊は不動層に比べ空隙が多く、地下水流動及び酸素との接触によって風化が促進され、pHが酸性へと変化していくのに対し、すべり面以下の不動層においては風化はそれほど促進されないことから、地盤の風化によるpHの変化に着目し、アブレーションpH測定を行なった。

ボーリングコアを利用したアブレーションpH測定は『pH測定によるすべり面判定の試み』(1992 地すべり学会)で既に述べているようにpHの絶対値ではなく、pHの相対的な変化を見る事によってある程度すべり面判定が可能である。

今回の地すべり地においては地すべり対策工となる抑止杭のチェックボーリングコアについてもアブレーションpHを測定し、更に杭の縦断方向において高密度電気探査を行なった。このように調査ボーリング・アブレーションpH測定・高密度電気探査と三つの角度からすべり面を判定することを試みた。

2. 地すべり地の概要

今回調査を行なった地すべり地の地質は基盤として新第三紀中新世の泥岩が地すべり防止区域全体に分布しており、その上位にはこの地区を取り囲むように分布している流紋岩及び玄武岩の礫を含む崩積土及び泥岩起源の崩積土が分布している。

流紋岩及び玄武岩の礫を含む崩積土は地下水流動が活発である事とこの崩積土の移動に伴って、基盤となる泥岩は風化が促進され、軟質化した風化残積土を形成している。

この地区全体の傾向としてはこの泥岩と崩積土の境界で地すべりが発生している。

今回調査した地すべりブロックは図-1に示すように大部分が圃場整備が行なわれた非常に平坦な場所での地すべりであるが地すべり頭部に位置する民家においては家屋の基礎が大きく割れるなどの被害が発生している。

このブロックにおいて図-1に示すように地すべり解析測線で2本の調査ボーリングを行なったが崩積土が泥岩起源であり、風化泥岩とほとんど区別がつかないことからボーリングコアのみではすべり面の判定が困難であった。そこでパイプ歪計、孔内傾斜計観測とアブレーションpH測定を行なった。

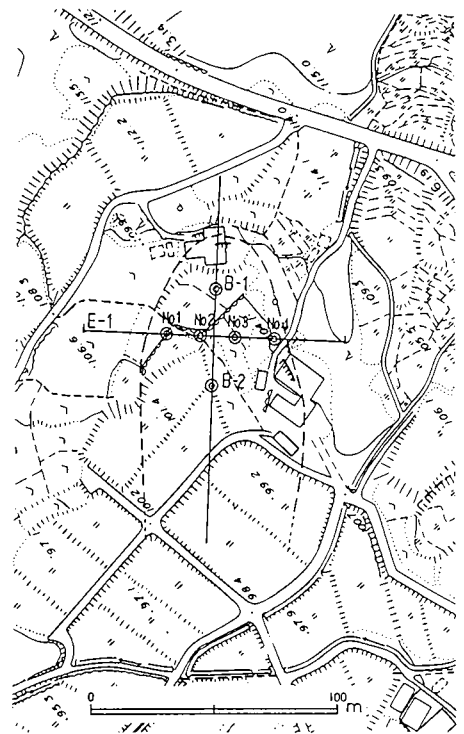


図-1 調査地平面図

3. 測定結果

地すべり解析測線の調査ボーリングコアで行なったアブレーションpH測定結果を柱状図と共に図-2に示し、それぞれの結果についてまとめる。

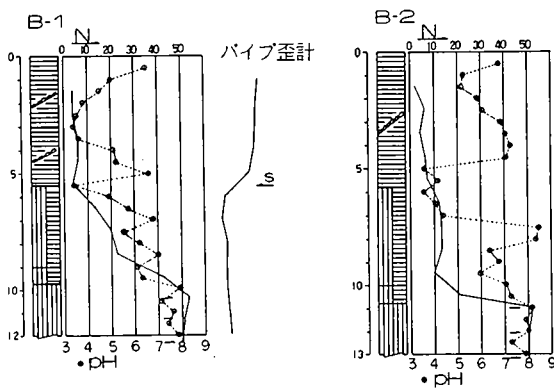


図-2 すべり面とpH

・コア観察によるすべり面

B-1 GL-5.5m に崩積土と風化泥岩の境界有り。

GL-5.5~9.7m には所々鏡肌を確認。

B-2 GL-5.8m に崩積土と風化泥岩の境界有り。

GL-10.0mに鏡肌を確認。

・パイプ歪計、孔内傾斜計によるすべり面

B-1 GL-5.0~6.0m 崩積土と風化泥岩の境界に変位。

B-2 このボーリング孔には孔内傾斜計が設置して有るが調査期間中には変位が認められなかった。

・pHの変化 --- B-1 GL-5.5m に急激なpHの変化有り。

鏡肌の確認できるGL-5.5~9.7m ではpHの変化が激しい。

比較的新鮮な泥岩になるGL-10m付近からはpHの変化が少なくなる。

B-2 GL-5.0~7.0m でpHの急激な変化有り。

鏡肌の確認できるGL-10m付近はその前後に比較してpHは低くなっている。

現地における被害状況と以上のような測定結果を断面図にまとめると図-3のようになる。

図-2、図-3に示すようにpHの変化とパイプ歪計の変位が一致しており、孔内傾斜計に変位が出ていなくてもpHが急激な変化を示す位置にすべり面を想定すると現地における被害状況とも一致してくる。

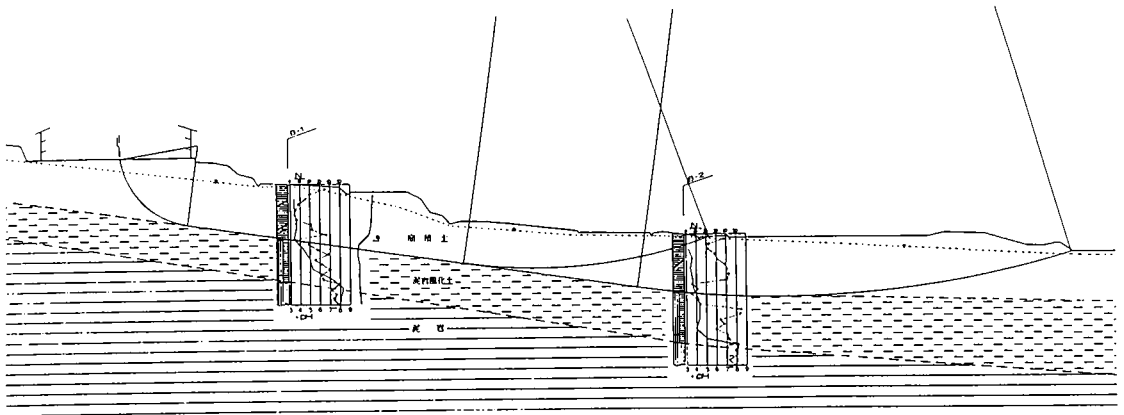


図-3 地すべり断面図

このブロックの対策工として抑止杭を計画し、杭施工範囲（地すべりサイド）及びすべり面深さを決定するために図-1 調査地平面図に示す位置で4本のチェックボーリングと高密度電気探査を行なった。更にそれぞれのボーリングコアについてアブレーションpH測定を行なった。

図-4 に杭のチェックボーリングコアで行なったアブレーションpH測定結果を柱状図と共に示し、それぞれについてまとめる。

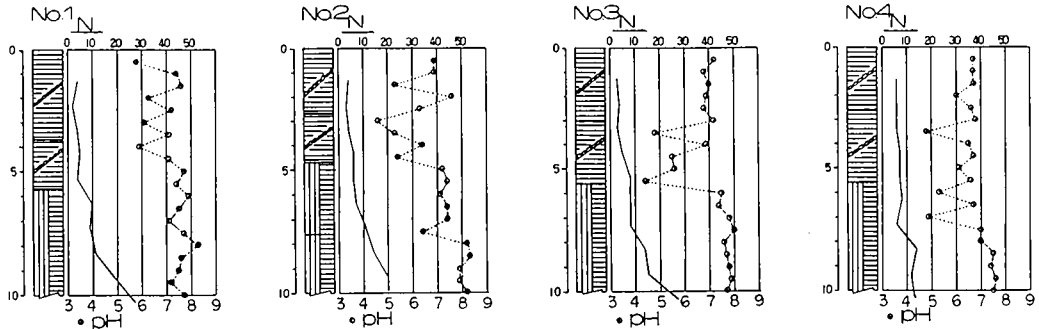


図-4 地すべり横断方向すべり面とpH

・ボーリングコアとpHの変化

No.1 GL-4.0m まではpHが安定していないが、それ以深はpHの変化が小さくなっている。

GL-4.7m までは非常に難質な泥岩起源の崩積土であり、GL-4.7~5.7m は泥岩強風化土か泥岩起源の崩積土なのか区別がつかない状態である。

GL-5.7m 以深は泥岩風化土となっている。

No.2 GL-2.5m, -4.0m, -4.5m, -7.5m でpHの急激な変化が認められる。

GL-4.7m に泥岩起源の崩積土と泥岩風化土の境界有り。

GL-4.8m に鏡肌を確認。

No.3 GL-3.5m, GL-5.5m でpHが急激に低くなっており、GL-5.5m 以深はpHの変化が小さくなっている。

GL-5.7m に泥岩起源の崩積土と泥岩風化土の境界有り。

GL-5.7m に鏡肌を確認。

No.4 GL-3.5m, -6.0m, -7.0m にpHの急激な変化有り。

GL-6.6m に泥岩起源の崩積土と泥岩風化土の境界有り。

以上のようにpHの変化と土層区分が比較的一致しており、このブロックのようにボーリングコアのみではすべり面判定が困難な場合でもアブレーションpHを測定することがすべり面の位置を決定する補助的手段となる。

ボーリングコア観察及びアブレーションpH測定によって求めた地すべり横断方向のすべり面を図-5に示す。

更にこの横断方向においてWenner法による高密度電気探査を行なったのでその結果得られた見掛け比抵抗値による等値線も図-5に示す。

図-5に示すように地すべり地内の地盤構成が含水比の高い泥岩起源の軟質な土層であることから

見掛け比抵抗値は $7 \sim 20 \Omega \cdot m$ と低い値を示しており、大きな変化は見られない状態であるが、図のように $1 \Omega \cdot m \sim 5 \Omega \cdot m$ 毎に等値線を描くとその形状はボーリングコア観察とアブレーション pH 測定によって推定したすべり面形状に非常に近い形となる。

この事からすべり面判定においてアブレーション pH 測定と高密度電気探査を行なう事は停止中の地すべりの調査として有効であると考えられる。

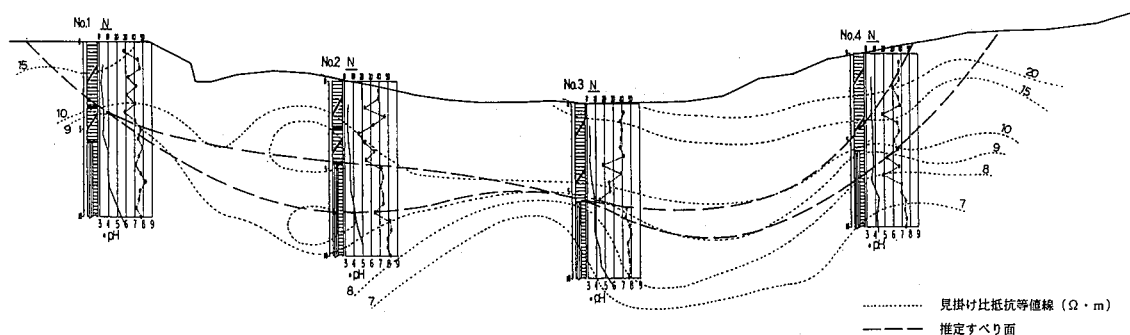


図-5 見掛け比抵抗値の変化とすべり面

4. まとめ

それぞれの測定結果から得られた事をまとめる。

- ・今回の地すべりブロックのように移動土塊となる崩積土とその下位の風化土とが非常に軟質な状態で区別がつきにくく、ボーリングコア観察のみではすべり面が判定し難い場合、アブレーション pH を測定する事によって得られる pH の急激な変化からすべり面の位置をある程度まで絞る事が可能である。
- ・現在地すべり停止中で孔内傾斜計などに変位が出ない場合でもアブレーション pH 測定によってすべり面を推定することができる。
- ・アブレーション pH 測定に加えて高密度電気探査を行なう事ですべり面判定の精度を上げ、更にすべり面の形状をつかむことができる。

以上のように現在停止中あるいは休憩中の地すべりにおけるすべり面判定にアブレーション pH 測定は非常に有効な手段であると考えられる。

* 今後の課題

今までアブレーション pH を測定してきたのは、ほとんどが過去から滑動を繰り返している地すべりであり、pH の変化は地すべりが発生し、すべり面が形成されてから現れるものなのか、逆に地すべりが発生する前から何らかの化学的作用で変質し、地すべりが発生する時点では既に pH も変化しているのかは明らかでない。もし、地すべりが発生する以前から何らかの影響で pH が変化しているのならアブレーション pH を測定する事によって地すべりの予知が出来るのではないだろうか。

pH を変化させる原因の 1 つとして考えられるのが地下水であるが、この地下水の水質と pH の変化との関係について、今後化学分析を行ない、検討したいと思う。

3-5 地すべり調査と電気探査（その3）

—地下水排除工と見掛け比抵抗の変化—

株式会社 日本海開発 ○大坂 理 子川 桂二

島根県出雲農林事務所大田耕地事務所 水 社

1. はじめに

地すべり調査により計画・施工された対策工の効果の確認は、その計画の妥当性また追加防止工等を検討する上で非常に重要である。今回、地すべり防止工で一般的に行われる地下水排除工の施工前後で、高密度電気探査を実施し見掛け比抵抗値の変化すなわち含水状態の変化をとらえた。

高密度電気探査における見掛け比抵抗断面図の解析により、地すべり調査のブロック設定、側方亀裂及びすべり面形成層の検出に有効であることは地すべり調査と電気探査（その1）（その2）（1990）で述べた。今回さらに加わるべき項目として、高密度電気探査による地すべり防止工（地下水排除工）効果の判定について調査結果をもとにここに報告する。

2. 地質状況及び地すべり対策工

調査地の地質状況は、新第三紀中新世の砂岩・頁岩・凝灰岩から構成される。高密度電気探査、調査ボーリング、地表地質踏査の結果下位の砂岩層が上位の頁岩層を覆い比較的低角度の逆断層で接している。この逆断層面が流れ盤構造となっているため地すべり運動に対して最も大きい地質構造的要因を成している。また、断層面に接する岩質が風化しやすく、モンモリロナイト鉱物を多量に含むとされる頁岩層で、すべり面形成には極めて好条件であり地質的要因になっている。

さらにリニアメント判読から調査地周辺の地質境界線と一致したリニアメントが発達し地質構造的脆弱帯を形成している（図-1参照）。この地質構造的脆弱帯を流路とする裂カ水の地下水運動が活発であり、地下水検層及び水位観測からも地すべり斜面内において常に豊富な地下水運動が確認された。

調査結果をもとに、地質構造的脆弱帯に賦存する裂カ水対策を基本とした地下水排除工による地すべり運動抑制を検討した。

当地区の地すべり規模（すべり面分布深度が浅い）的、地形的にも地表からの水抜きボーリング工法が有利と判断し、地質構造的リニアメントと考えられる地すべり頭部方向に、4段計30本の水抜きボーリングを計画した。今回、斜面左側を対象とした3段計16本の水抜きボーリング工事が行われた。



図-1 リニアメント判読図

3. 電気探査測定方法

電気探査の探査法は、人工電位による比抵抗法を用いた。

電極配置 ----- 等間隔C P P C法（ウエナー法）

電極間隔 ----- 2 m間隔

探査深度 ----- 20 m

測定は地下水排除工施工前後の同一測線で、地すべりのサイドクラックを横断する方向に地すべり斜面腹部、脚部ブロックの2測線設けた（図-2参照）。解析方法は施工前後の測定により得られた見掛け比抵抗値について、施工前から施工後の値を引き差を求め、この見掛け比抵抗値の変化値の等値線図を作成した。見掛け比抵抗値の変化は地層中の含水状態の変化を現すものであり地下水排除工の効果を推察出来ると考える。

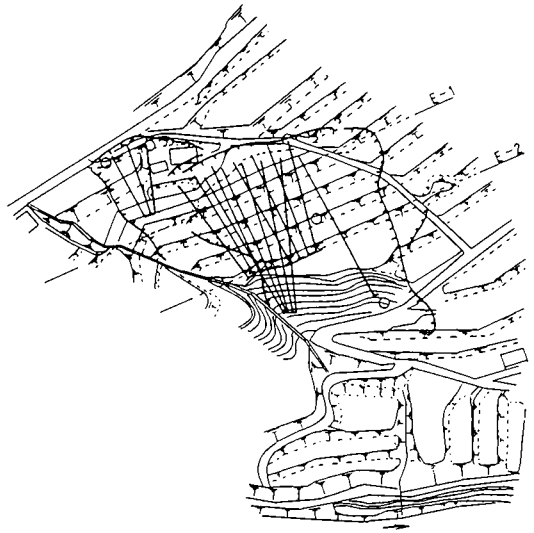


図-2 対策工及び測線配置図

4. 測定結果

対策工施工前の電気探査からは、地表地質踏査、ボーリング調査結果等と調和的な側方亀裂及びすべり面が伺える結果を得た。さらに、重要なのは当調査地に発達するリニアメントを反映した地質的脆弱面が、斜面右側にサンドイッチ状に分布することである。斜面腹部（E-2）では若干脆弱面が斜面脚部（E-1）に比べ大きい状態にある。

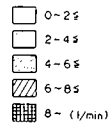
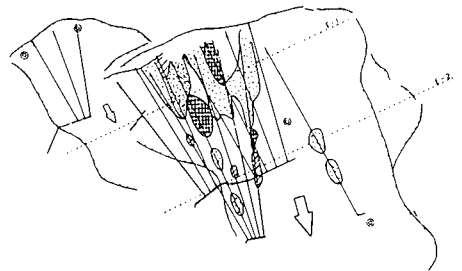


図-3 排水状況図

施工前後の比抵抗値の差による等値線図から以下のことが判読できる（図-4-a～e参照）。

・ E-1

①水抜きボーリング工事中の最も排水量が多かった部分に当たる（図-3参照）斜面左側の水抜きボーリング位置付近では等値線間隔が広く、値も0～10へ表層に向かい大きくなる。

②斜面右側は基盤である頁岩の等値線の変化は少なく間隔は広い。一方、地すべり土塊及び破碎帯上部では等値線は乱れ狭くなり表層に向かい値は大きくなる。

③斜面中央部は、両側の比抵抗値が高くなっているのに対し、-8～0と逆に低くなっているゾーンを示す。

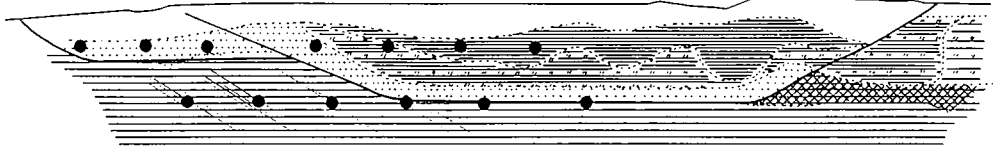


図 - 4 - a 地質横断図 (E - 1)

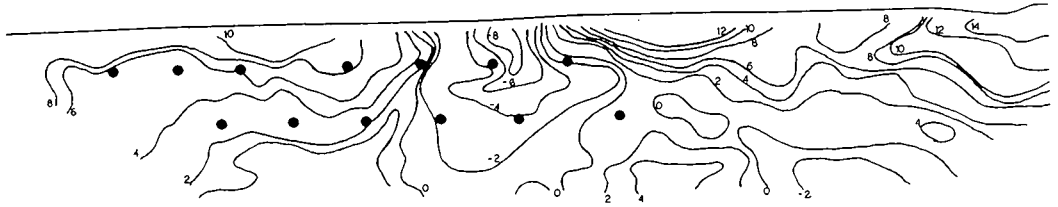


図 - 4 - b 見掛け比抵抗変化図 (E - 1)

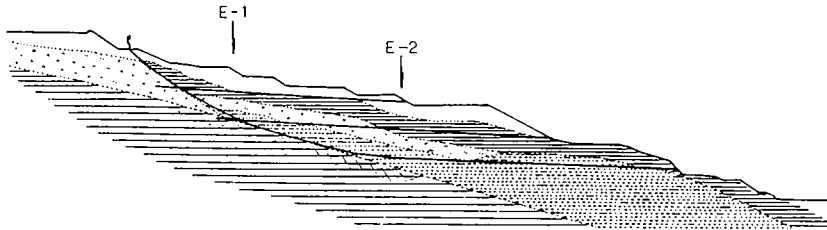


図 - 4 - c 地質縦断図

- 凡 例
- 表土
 - ▨ 崩積土
 - ▤ 凝灰岩 } 久利層
 - ▥ 頁岩 }
 - ▦ 砂岩 川合層
 - ▧ 破砕帯 (高密度電気探査より推定)
 - 水抜きボーリング位置

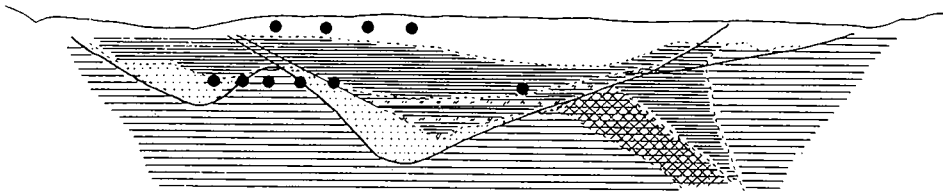


図 - 4 - d 地質横断図 (E - 2)

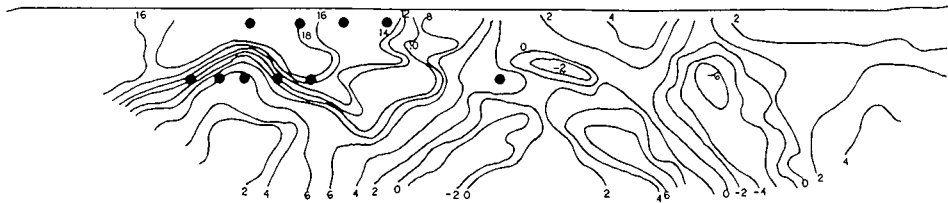


図 - 4 - e 見掛け比抵抗変化図 (E - 2)

- ① 斜面左側では水抜きボーリングがほぼすべり面上に位置しボーリング孔口付近である。等値線もこれを境に間隔が狭くなり値も表層に向かい大きくなる。
- ② 斜面右側では基盤の頁岩部分では低くなる傾向が見られるが、破砕帯部分では等値線が地質構造と同じ形態で値も大きくなっている。また斜面中央部にも基盤内での低くなるゾーンが見られる。
- ③ 基盤の値の変化に比べ、地すべり土塊中の変化がE-1に比べ顕著である。

5. 結果に基づく考察

地下水排除工の施工前後で電気探査を行い、見掛け比抵抗値の変化に着目した。概ね基盤内の変化に比べ地すべり土塊中の変化が顕著であり、地表に向かい値は大きくなる。これは、含水状態が乾燥へと移行する変化としてとらえられ、排水効果があることを示唆している。さらに、見掛け比抵抗の変化値により作成した等値線図から、施工前の電気探査結果と同じ地質構造を読みとることが出来たこのことは、含水状態の変化（地下水の挙動）が地質構造と密接な関係にあることを示している。

E-1に顕著に表れた斜面中央部の0～マイナスのゾーンとE-2に表れたマイナスのゾーンは、地下水が残留しているゾーンと考えられる。

6. まとめ

高密度電気探査により地下水排除工施工前後の見掛け比抵抗の変化に着目した。まとめると

- 1) 基盤の値の変化に対し、地すべり土塊中の変化は顕著で比抵抗値は増加する。
- 2) 地質構造的脆弱面では比較的容易に排水効果が表れる。

等が挙げられる。

今回は、計画された地下水排除工40本の内16本実施され、その地点での地下水排除工の効果と考えられる比抵抗値の増加を得た。しかし、中央部付近には比抵抗値の低下が計測され、地下水の残留が存在していると考えられる。このことを明らかにするために、マイナスゾーンへの地下水排除工の計画を行い施工後にさらに高密度電気探査を行う予定である。また、残りの地下水排除工についてもその後の比抵抗値の変化を調べ、地下水排除工と見掛け比抵抗値の関係をさらに求めていきたい。

高密度電気探査等により地質構造の正確な把握が地下水分布状況の把握であり、それにより地下水排除工等の地すべり防止工をより合理的かつ経済的なものとする事が出来ると考える。