

## 4. 監視と予測

## Monitoring of landslide movement and forecasting of slope failure occurrence

山田正雄／国土防災技術株式会社

Masao YAMADA／Japan Conservation Engineers &amp; Co., Ltd.

キーワード：モニタリング，管理基準レベル，警戒避難

Key words：monitoring, control standard level, warning and evacuation

## 4.4 モニタリングと警戒避難体制

## 4.4.1 はじめに

地すべり発生直後に地すべりの移動状況を監視する目的で実施される初期動態観測の観測センサーの種類と観測方法については、この講座の4.1節の「初期動態観測」で詳しく述べられている。ここでは、地すべりの移動状況を監視し予測するための長期的なモニタリング方法と警戒避難体制について述べる。当然のことながら、初期動態観測時に導入された観測センサーによる動態観測はそのまま継続して実施される。

長期動態観測のもつ意味は、以下のとおりである。

- ①地すべり移動に対する各種観測機器において設定された管理基準レベルに対して、災害発生の可能性を判断し、適切な警戒避難対策をとれるようにすること。
- ②情報通信インフラを利用するなど適切な方法で、関係機関および地域住民に災害に関する情報を迅速かつ正確に伝達すること。
- ③地すべり対策工事等が実施された後の地すべりの移動状況を監視し、対策工の効果判定や地すべりの安定度を評価すること。

にある。

## 4.4.2 モニタリングのための観測センサー

観測センサーには、地表伸縮計，地中変位計，パイプ歪計，地盤傾斜計，孔内傾斜計，雨量計，地下水位計等種々のものがあるが、警戒避難対策に関連する管理基準値の設定に用いられる観測センサーは、地表伸縮計を必須として、その他のセンサーとの組合せで用いられることが多い。

地表伸縮計が必須のセンサーとして用いられるのは、既往の地すべり災害で地表伸縮計が使われ、クリープ理論による崩壊予測に対する技術的信頼性が高いからである。地すべりの場合、間隙水圧の上昇により地すべり移動が発生するため、一般に山腹崩壊よりも崩壊に至るまでの時間が長く、クリープ理論による崩壊予測が可能な場合が多い。そのため、地表伸縮計において、定常ひずみ速度と崩壊までの余裕時間を考慮して、注意、警戒、避難の定常ひずみ速度が設定されている。

管理基準値の設定手法については、この講座の4.3節の「管理基準値」で詳しく述べられているので、そちらを参照されたい。

なお、地中伸縮計や孔内傾斜計は地表伸縮計に比べて地すべり移動量が小さく得られるため、管理基準値設定および警戒避難体制の運用の際注意が必要である（土佐2006）。

## 4.4.3 地すべり災害における管理基準レベル

表4.4.1は、注意、警戒、避難に対応する地すべり災害における各管理基準レベルに到達したときの地すべり現象の把握、観測データによる判定、情報収集および警戒避難体制の面からの対応例を示したものである。

地すべり土塊が移動することにより、地すべり発生後一時的に地すべりが安定することがよくある。その一方で、その後豪雨、融雪、地震等により、地すべりが再滑動することも十分想定される。このような場合、観測機器による移動量の監視のみならず、クラックや段差の発生、地すべり末端の崩壊、湧水の状況変化等の地すべり発生の前兆現象にも留意が必要である。あらたに亀裂が発生したり、亀裂が拡大したりすることがあり、警戒レベル以前に新たな地表伸縮計の設置が必要となるケースもあろう。また、移動量が大きい場合や二次災害のおそれがある場合には地すべり地外から測距器やCCDカメラにより地すべり全体を常時監視する方法がとられることが多い。

表4.4.1において、管理基準レベルに対応する警戒避難体制の基本的な考え方は以下のとおりである。

レベルⅠは、地すべり地区の現地調査、主要施設の点検を行い、今後の気象状況に、また災害の前兆現象に注視しつつ、監視を継続する。

レベルⅡは、有意な地すべり移動観測に対応する。現地調査、施設点検の対象地区を拡大し、監視員の常駐、定期巡回など、現場状況の把握を継続的に行い、また災害の前兆現象に注視しつつ、監視を継続する。有意な地すべり移動が観測された場合は、地表伸縮計を設置し、移動量データにクリープの方法を適用して崩壊予測を行い、3次クリープ状態と判定されたら第3次体制（現地

表4.4.1 地すべり災害における管理基準レベルの警戒避難時の対応例

項目	管理基準レベルⅠ (注意)	管理基準レベルⅡ (警戒)	管理基準レベルⅢ (避難・立入禁止)
状況	災害発生可能性がある状態	災害発生の可能性がより大きい状態	災害発生が予測される状況
地すべり現象等の留意事項	地すべり発生の前兆現象の把握 ・クラック、段差の発生 ・地すべり末端の崩壊 ・構造物の変形破損 ・地表水の濁り、減少 ・湧水の発生、湧水の枯渇 ・川の濁り	地すべり現象拡大の把握 ・クラック、段差の拡大 ・滑り崖、陥没帯の形成 ・地すべり末端の押出し等 ・地鳴り	地すべり現象拡大の把握 ・地すべり土塊のクリープ移動
レベル判定の確認事項	・計器観測データの吟味、判定	・計器観測データの吟味、判定 ・地表伸縮計の設置	・計器観測データの吟味、判定 ・3次クリープによる地すべり移動量の予測 ・専門委員会招集 ・避難勧告判定
情報収集および体制	調査・点検行動 ・異常が発生した地区の現地調査 ・主要施設の点検 ・監視継続 ・住民からの通報	調査・点検行動 ・全地区の現地調査 ・全施設の点検 ・監視常駐 ・定期巡回 ・情報収集 ・住民への情報伝達 ・住民への情報伝達 ・避難準備	・災害発生想定箇所のチェック ・情報収集 ・CCDカメラによる監視 ・住民への情報伝達 ・避難誘導の準備 ・避難勧告

対策本部設置)に移行する。また気象状況や川の増水状況、地震の発生状況から判断して今後災害発生の可能性が想定される場合には情報収集しつつ避難の準備も行う。

レベルⅢは、確実な地すべり移動の観測に対応する。この段階では、地すべり専門家による委員会を招請し判定を行うのが望ましい。地すべりが3次クリープ段階に入っていると判定された場合は、算出された崩壊余裕時間から避難のための余裕時間を考慮して避難命令を発令する。また気象状況、溪流の増水状況、氾濫状況、道路損壊状況、地震の発生状況から判断して今後大きな災害発生の可能性が想定される場合には情報収集しながら、レベルⅢ時点ではいつでも避難できるような状態になっていなければならない。

注意点として、自動観測システムのセンサー選定、設置作業にあたっては最善の努力を払っているが、センサー類はあくまで機械であり、動植物や人為による誤ったデータを判定してしまう可能性は否定できない。このため、管理基準値を超過してレベルⅠ～Ⅲが判定された場合には、誤ったデータかどうかを、必ず人間が確認を行うべきである(藤本他2004)。したがって地すべり発生までの自動観測システムによるレベル判定時の確認が必要である。点検の方法は次のとおりである。

①データの確認：データ表示・監視装置のグラフを参照、突発的な異常値か否かを判断

②点検調査：レベル判定されたセンサー点検等がある。

#### 4.4.4 情報収集および警戒避難体制

地すべり管理基準値については、地すべり移動量の増大にともなってレベルⅠ、Ⅱ、Ⅲの順に低次から高次へと推移することが予想され、対応する側も順を追って各体制を確立していくことになる。

地すべりの場合、一般に移動速度が大きくなるまでの時間的余裕がある場合が多く、地すべり現象が確認され

た時点で地表伸縮計を設置し、地すべり専門家を参集して地すべり移動量から崩壊時間・崩壊余裕時間を算出し、避難開始時刻の検討がおこなわれる。

また、地すべりは降雨が誘因となって発生することが多く、早めの体制確立には今後の雨量等の傾向をリアルタイムで把握することが不可欠であり(牛山2004)、「気象情報」の収集が重点的な項目となる。このとき各レベル管理基準値に達するであろう予想時刻に加えて、一連の降雨の総量がどの程度になるか、いつまで続くのか、という見通しのもとで行動することが求められる。各管理基準レベルに対応する情報収集と警戒避難における留意点は以下のとおりである。

#### 1) レベルⅠの場合

- ・地すべり管理センターに代表者を派遣する。
- ・管理センターを拠点として、第1次体制(現地点検・情報収集)をとる。
- ・地すべりの現地点検は、異常が検知されたブロックに特定して地表踏査と施設点検を行う。
- ・危険度判定を行い、次の体制を決定する。

#### 2) レベルⅡの場合

- ・管理センターに要員を増強し、第2次体制(点検・情報収集強化)をとる。
- この段階では地すべり専門家を参集する。
- ・異常発生ブロックに伸縮計を設置し監視するとともに、点検対象を拡大し、上下・隣接するブロックについても地表踏査・施設点検を行う。
  - ・地表伸縮計を設置し、移動量の監視を行う。
  - ・関係各機関相互および各組織内外の連絡体制を強化する。
  - ・専門家による危険度判定を行い、次の体制を決定する。この段階においては、気象情報を参考に、避難準備時間を含めて対策本部設置の必要性を検討する。

#### 3) レベルⅢの場合

- ・管理センターに現地対策本部を設置する。
- ・関係各機関相互および各組織内外の連絡体制を強化し、市町村を通じて迅速に避難指示が伝達されるよう情報伝達手段の確認を行う。
- ・専門家による危険度判定を行う。この段階では、3次クリープによる移動量予測を行い、気象情報を参考に、避難開始時刻について検討を行う。

地すべりの警戒避難体制のフローチャートの例を図4.4.1に示す。

#### 4.4.5 モニタリングシステムに求められる性能

地すべり移動状況をモニタリングするシステムに求められる性能には以下のような機能を有している必要がある。

①観測センサーから定時的または任意の時刻に移動量や水圧等のデータを収集するデータ収集機能

②観測される移動量や水圧等のデータを一次加工し、各管理基準レベルを超えているかどうかを判定するための演算・判定機能

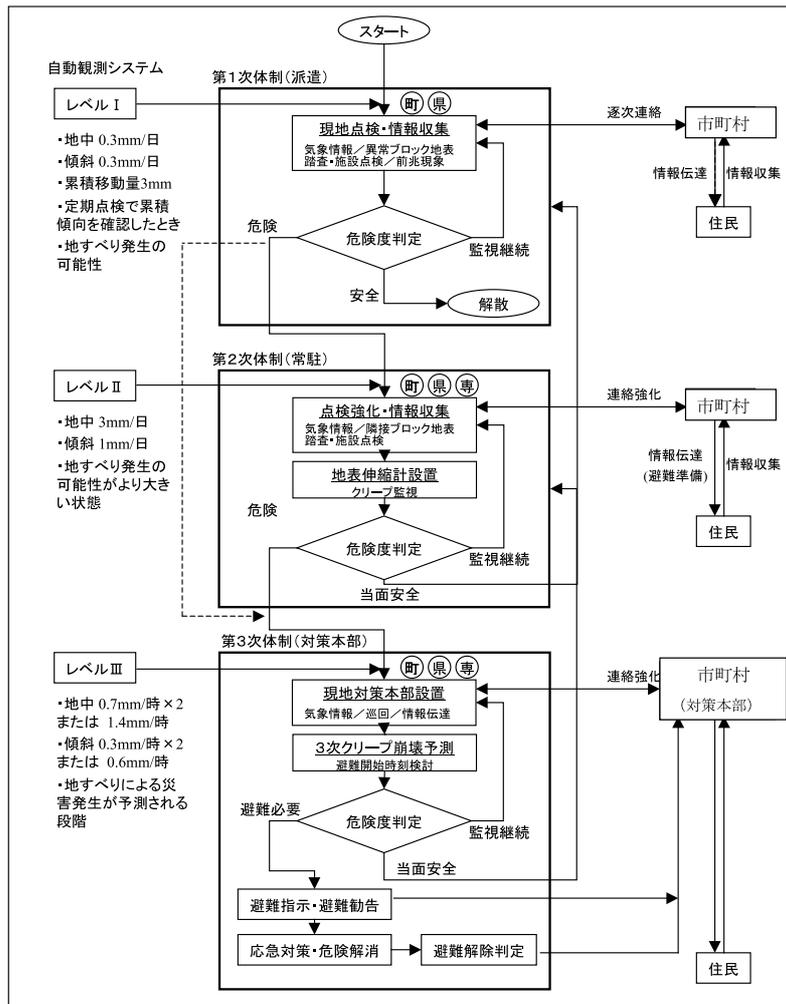


図4.4.1 地すべりの警戒避難体制フロー

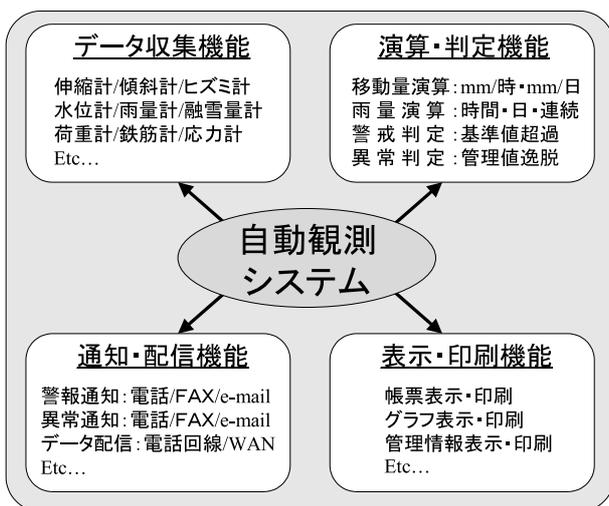


図4.4.2 モニタリングシステムの基本機能



図4.4.3 観測機器の位置表示

機能

③一般公衆回線（アナログ）、ISDN回線（デジタル）、専用回線を用いて、移動量や水圧等のデータや判定結果を配信したり、音声やFAXで警報や異常を通知する機能

④観測データをリアルタイムで画面にグラフ表示したり、日報・月報・年報等の帳票を印刷する等の印刷表示

図4.4.3に示すように、地すべりブロックや観測機器・ボーリング孔の位置を平面図に地理的情報（GIS）として表示することにより、観測機器の位置を把握することが容易であり、異常データやそのときの気象データの履歴等を属性データとして登録、表示することが望ましい。また、観測データをグラフ表示する場合、図4.4.4に

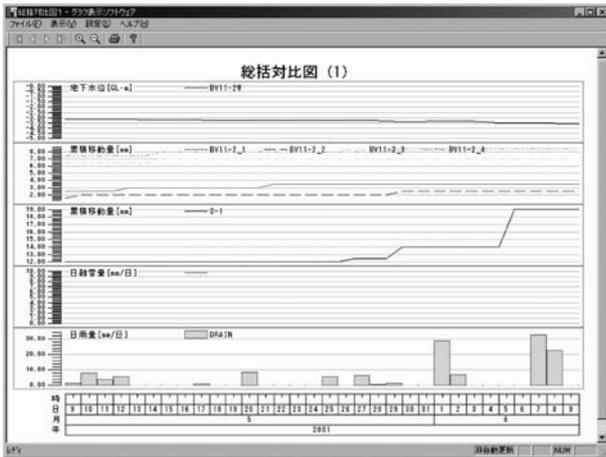


図4.4.4 観測データのグラフ表示

示すように、現場の状況に応じて、観測センサーの最適な組合せ・表示期間で表示する等の工夫も必要である。

#### 4.4.6 情報の収集・伝達およびデータ共有の事例

図4.4.5は静岡県由比地すべり自動観測システムの構成を示したものである。

この地すべり自動観測システムを例にとり、緊急時のデータ情報の伝達と情報公開について説明する。

##### (1)自動観測システムからの緊急通知

雨量計・地中伸縮計・孔内傾斜計・間隙水圧計データは「静的データ収録・転送装置」から、地震計の加速度データは「動的データ収録・転送装置」から、それぞれISDN回線を通して静岡県中部農林事務所へ転送され、

データベース装置に蓄積される。

異常判定は、同じくデータベース装置にて蓄積と同時に管理基準値と観測データとの比較を行い、異常と判定されれば「データ表示・監視装置」に接続されたアナログ回線 (NTT一般公衆回線) を通じて、音声またはFAXによる緊急通知を行う。またインターネット経由の電子メールによる異常通知も可能になる。

電話・FAX通報は、一般公衆回線網を利用するため同報通知ではなく順次通報となるが、通報先箇所数に制限はなく複数の機関に自動伝達することが可能である。システムからの自動通知は、携帯電話でも着信することができる。

なお自動観測システムは常に稼働しており、緊急通知は24時間体制となっている。

##### (2)夜間・休日の連絡方法

システムから緊急通知を受けた場合、関係する各機関 (必要に応じて専門家) は原則として「地すべり管理センター」に集合し、①～④の課題に対して、各レベルに応じた第1次～第3次体制をとる必要がある。

- ①自動観測システムからの緊急通知
- ②夜間・休日の参集
- ③夜間の現地調査・情報収集
- ④雨量・地すべりへの夜間対応について

#### 4.4.7 避難命令および避難解除の考え方

##### (1)避難命令発令基準

避難命令は、既に第3次体制に入り現地対策本部が設置されたときを前提とし、対策本部員および必要に応じ

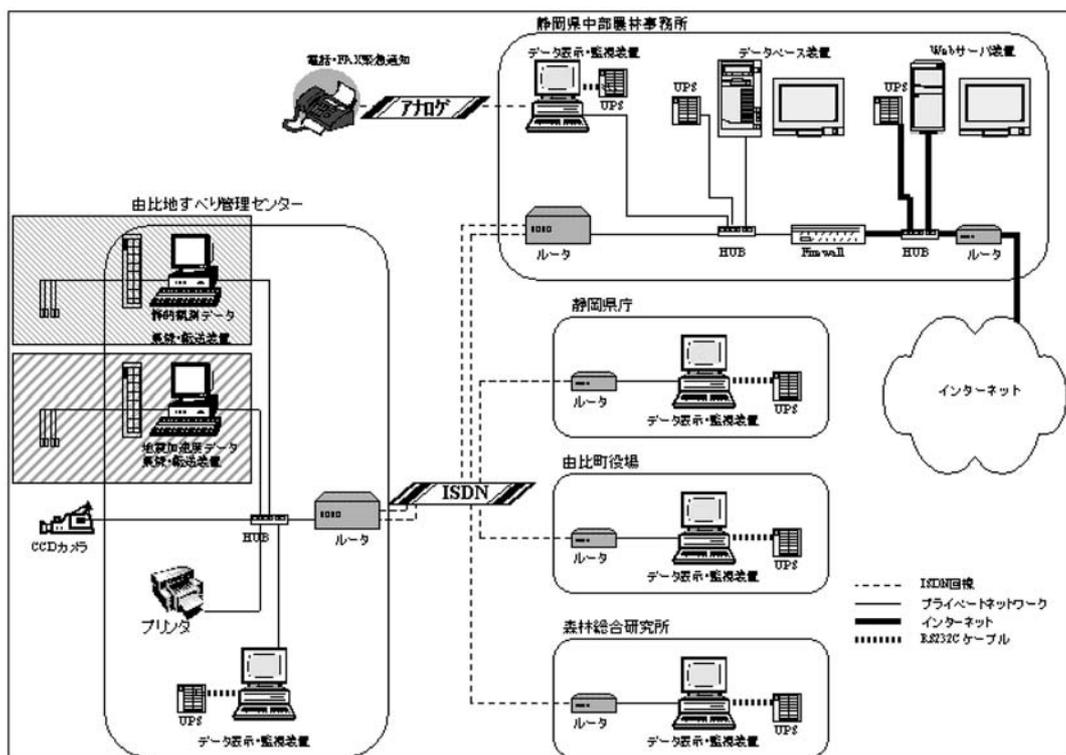


図4.4.5 由比地すべり自動観測システム全体構成図

て専門家の判断によって決定する。避難命令の発令基準について以下に示す。

地すべりは規模（面積・移動土塊）が大きく、一度発生すると広範囲に被害がおよぶ危険性があるが、一般に崩壊・土石流等の土砂災害と比較して土塊移動速度が小さく、前兆現象もしくは地すべり現象が確認されてから崩落・流動化するまでの時間的余裕が確保しやすい。

地すべりに対しては、次の手順により地すべり挙動を監視して避難命令の適否を判断する。

- ①（第2次体制において）新たに設置した地表伸縮計の移動量データを監視する。
- ②地すべり滑動が3次クリープ段階に入ったと判定された場合、崩壊余裕時間を算出し、避難のための余裕時間を考慮して避難命令を発令する。
- ③夕方・夜間にかけて災害発生やレベルⅢ超過が予想されるとき日中に避難できるようにする。

#### (2)避難解除発令基準

1) 実際に地すべりが発生した場合は、以下の条件で避難解除を行う。

- ①地すべりが停止し、再滑動の危険性がなくなったことを確認する。
- ②被災地のライフライン（交通、電気、ガス、水道等）が復旧したことを確認する。

2) 地すべりが発生しなかった場合、以下の条件で避難解除を行う。

- ①専門家による調査・検討で、地すべり発生の危険性がなくなったことを確認する。

なお降雨、地震による地すべり再滑動や発生の危険性を専門家によって検討し、必要な場合は第1次～第2次体制を継続する。

#### 4.4.8 平常時の合意形成と準備活動

過去の教訓からも明らかのように、緊急時に警戒避難体制が有効に機能するためには、平常時における関係各機関および地域住民の合意形成や啓蒙活動がなされることが重要である。

##### (1)関係機関組織内の合意形成

各検討項目をもとに、各機関においては担当者・担当窓口を決定しておき、異常発生時の対応について事前に体制を整えておく必要がある。

担当者においては、地すべり災害に関する管理基準値レベルと考え方を理解し、管理基準値に到達したとき行政サイドと住民がどのような対応をしたらよいかを理解しておくべきである。

##### (2)各機関相互の合意形成

各機関の体制を決定した上で、相互の連絡網を事前に確認する。また人事異動や組織変更が発生する年度替わりには、相互連絡体制を再構築する必要がある。

また定期的に、模擬的に異常発生を想定して「防災訓練」を実施するのも有効であると考えられる。

##### (3)行政と地域住民との合意形成

###### 1) 住民への啓蒙活動

平常時から、土砂災害の特性、前兆現象、誘因など土砂災害現象に対する正しい知識をもつことができるように、地域住民に対して土砂災害に関する講習会の開催やパンフレット配布等を行い、災害に対する危険性の認識、緊急時の避難場所や避難経路に関する認識を高めることが望ましいと考えられる。

とくに土砂災害に関して、危険区域や避難場所を具体的に地域住民が認識するためには、土砂災害被害想定区域図（ハザードマップ）の作成・公表が重要な役割を果たすものと考えられる。

###### 2) 情報の相互伝達

緊急時における情報収集と情報伝達は、正しい警戒避難判断のために不可欠である。

「行政→住民」の警戒・避難に関する情報提供、避難指示の情報伝達方法の確立はもとより、「行政←住民」の災害通報など、双方向の情報伝達が有効に機能するのが望ましい。これも平常時における啓蒙活動や防災訓練を通じて、行政と住民との間で醸成していく必要がある。

#### 4.4.9 おわりに

地すべり災害による人的被害の軽減を図るためには、雨量等のリアルタイム情報を利用するとともに、情報の公開が重要である。公開する情報は住民にわかりやすく加工されていることが要求される。そのことが住民を安心させ、ひいては住民の協力を引き出すことができる（藤本他2003）。

情報を住民にわかりやすく伝達する方法として、Webを介して、GIS上に刻々と変化する雨量情報表示と地すべりの危険度および到達範囲等を表示することにより（山田他2005、瀬尾他2000）、情報管理の一元化が図られ、視覚的に警戒避難の判断が行いやすくなる。これらの警戒避難情報は行政担当者だけでなく、住民に迅速かつ正確に伝達される必要があり、情報の共有化が課題となる。

#### 参考文献

- 1) 土佐信一（2006）：現場で役に立つ地すべり工学第7回 4.1 初期動態観測，日本地すべり学会誌，Vol.43，No.2，pp52-56
- 2) 関東森林管理局東京分局（2000）：由比地区地すべり管理基準値検討委員会報告
- 3) 藤本済，小熊友和，土屋好幸，白石秀一（2004）：長野市石川地区で発生した地すべりの監視と広報，日本地すべり学会誌，Vol.40，No.5，pp59-63
- 4) 瀬尾克美，高橋透，荒木義則，古川浩平，水山高久（2000）：GISを用いた土石流警戒避難支援システムの構築，砂防学会誌，Vol.53，No.4，pp30-37
- 5) 山田正雄，井上真悟（2005）：地すべりGISのシステム構築，日本地すべり学会誌，Vol.42，No.4，pp51-62
- 6) 牛山素行（2004）：2003年九州豪雨時のリアルタイム雨量情報の利用，水工学論文集Vol.48，pp439-444  
（原稿受付2006年10月2日，原稿受理2006年10月6日）