Japan Society of Engineering Geology

８５　簡易的ＡＥカウント装置を用いた トルコ・ババダー町の地滑り挙動の計測と考察

Measurement of Babadag landslide behaivior in Turkey using by an AE counting system

○田野久貴（日本大学工学部），阿部大志（道路保全技術センター東北支部）、

アイダン・オメール（東海大学）,渡辺英彦(日本大学工学部)

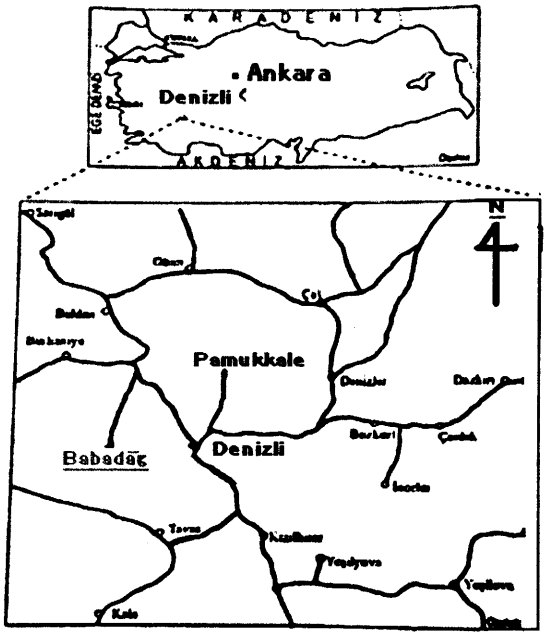
１．　まえがき

ババダー町の地滑りの測定開始直後の結果についてはすでに報告[1]している。本文では、その後に得られた新たな結果を含めて報告する。先の報告では、簡易的な地表面変位計測を開始して半年後の結果を報告したが、その後、ＡＥ装置、地下水位自動観測装置、日本製のパイプひずみ計などを順次追加して計測を行っている。2001年９月の変位開始から５年間経過し、最初の６か月で３０ｍｍの変位を示した測点は、2005年８月には約250mmを超えている。

本研究の目的は二つあり、その第一は、簡易的な計測手法の開発と適用であり、その第二は、不安定地域に住み続けている住民や行政に現場測定により得られる地すべりの現状を知ってもらうことにある。後者に関しては、最近新たな関心と動きが見られている。

２．　地滑りの経緯と地質

現地の地滑りに関する最も古い報告は1941年のOnayによるとされているから、すでに６５年経過している。人口約６０００人、平均標高約700mの地累の上の丘陵地帯に展開する家内制手工業の町である。政府は他の町に転居先を用意し、相当数の住民が移動したようであるが、現実にはいまも1000人を越える町民が不安定化地域に住み続けているという。地滑りは深さ約40mの谷に向かって移動しており、抑止は困難と考えられる。６０年以上もクリープ的に移動しているので、急激に変位速度が加速するとは考えにくい。雨期の大雨の直後に地震に見舞われた場合は、一瞬にして町の一部が消滅する可能性があり、世界中にそのような多くの事例のあることは周知のことである。抑止が困難であることもあって、地滑りの動きに対する長期的測定は、我々以外に行われていないようである。同地区の組織的な調査・測定の一環として、ハジェテッペ大学（アンカラ）、地元のパムッカレ大学(デニズリ)の修士論文[2]による報告がなされている。



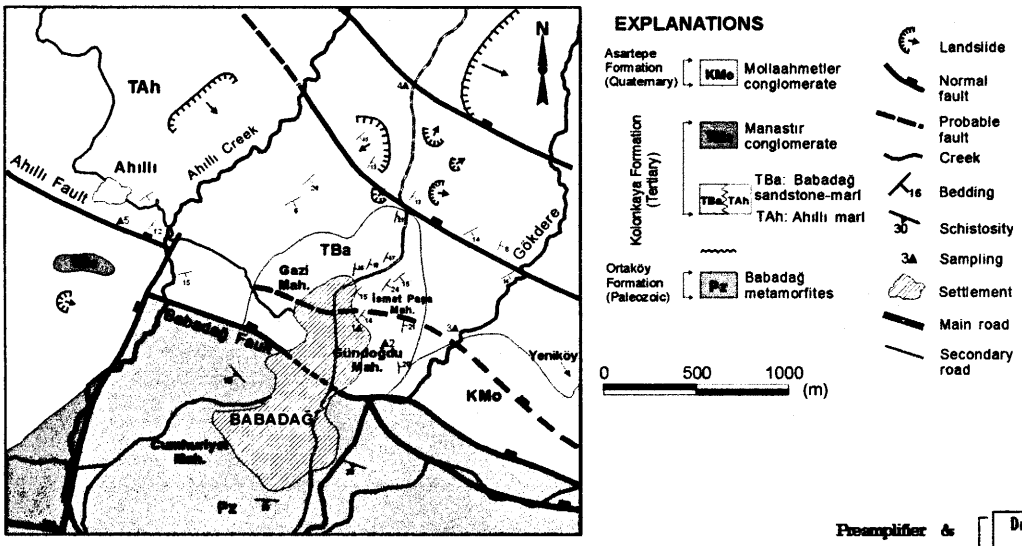
図－１　トルコ・ババダー町の位置

基盤はオルタキョイ層の古生代変成岩類で、この上に下位よりコロノカヤ層（第三紀）とアサートテペ層（第四紀）が重なる。コロノカヤ層の下位はいわゆるマールとルーズな砂岩の互層でこの層準で滑動していると推定されている。図３に示すようにこの互層の走向・傾斜はおおむね、N30°～37°E、傾斜14°～24°Eを示している。

周辺には多くの断層が存在し、平行した２本の断層に挟まれた地盤が、その周囲が落ち込むことにより相対的に高くなった地形、すなわち「地塁」状の地

図－２　東側からの不安定地域の眺望　　(ババダー町 Gundogou 地区)

NII-Electronic Library Service



図－３　ババダー町周辺の地質概要 [2)]

形の上に町は展開している。地滑り方向はこれらの互層の傾斜方向である。その東側の１本がギョクドレ谷と呼ばれ、したがって、町の不安定地区であるグュンドウウ地域はこの谷に向かって滑動していることになる。

谷には小規模な河川が存在するが、長期的には町をのせた地盤の足下をこの河川が浸食する状態となっている。図３からもわかるように、町の周囲には新旧の多くの地滑り地形が認められる。X線解析によれば、この互層の砂岩部の組成は、白雲母 64%、石英 14%、方解石 8%、粘土３%である。

３．計測方法

３．１　地表面変位計測 [1)]

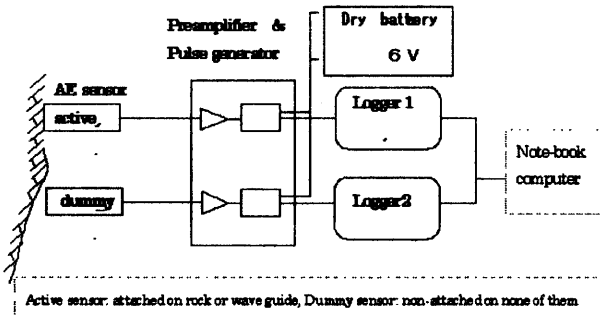
対象地域が舗装された市街地であることも考慮して、簡易的なレーザー距離計を持参しおおむね半年に一回の割合で計測した。主として建物の基礎間の距離を計測しその差を変位として算出した。その計測方法の詳細はすでに報告したが、その模式図を図６の中に示す。あらかじめ、想定した安定・不安定領域の境界線を挟んで１０数組（基点・対象点）の測定点を設けたが、家の改築等でいくつかは失われている。

３．２　簡易的ＡＥカウント装置

野外でのＡＥ計測の問題点を解消すべく開発したＡＥ装置を設置した。これは、閾値を超えたＡＥ波に応じたパルスを発生させ、これをロガーに記録するという、ＡＥのカウントのみに特化した、経済的なシステムである（図４参照）。約半年間乾電池で駆動し、メンテナンスフリーで計測可能である。用いるロガーによって、計測間隔１秒～１日、最大計測期間１年から数年間が可能 [3)]であるが、測定間隔との組み合わせによる。無線方式でデータ回収するシステムも構築可能である。経済的であるためノイズ対策としてダミーチャンネルを有する、アクティブ・ダミー方式 [2)-5)]が大きな特徴である。図５に谷に設置した AENO.1 ステーションの設置状況と装置を示す。簡便さを目標としているので、充電式ドリルを用いてウエーブガイド方式を原則とするため、地表面からせいぜい 1.8m程度の深度の実績である。ババダーの AENO.1 ステーションは約深さ 70cm である。

３．３　地下水およびパイプひずみ計測

2003 年９月より地下水位の自動観測を、2005 年８月よりパイプひずみ計の計測を開始した。

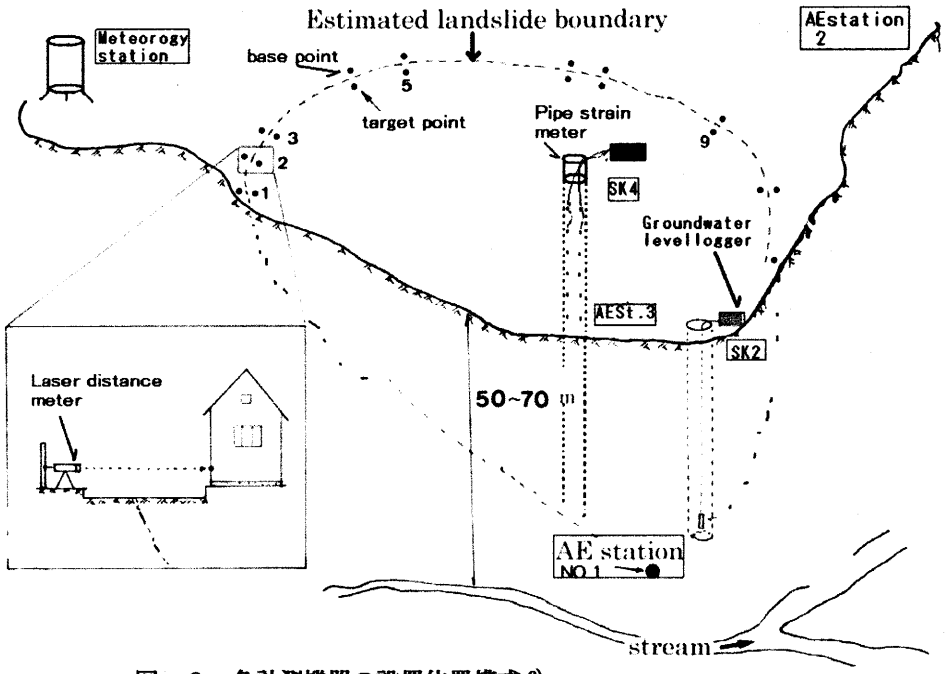


図－４　ＡＥカウントシステムのブロック図

図―５（ａ）　ＡＥNO.1 の設置状況と装置

図―５（ｂ）同上　ＡＥカウント装置

NII-Electronic Library Service



図―6　各計測機器の設置位置模式[6)]

以上の各計測を模式的に図６に示した。

４．　計測結果および考察

図７にＡＥの計測結果の例を示す。ＡＥは降雨後数日から一週間を経て発生する傾向が認められる。
一方，図８はレーザー距離計による最も変位の大きい NO.1 の測点（図６参照）の地表面変位の５年間の累積変位である。２５０mmに達している。１０月から３月までの雨期に月平均約５mm，４月から９月の乾期に３mm の変位を示している。これは主すべり方向とほぼ直交方向の値である。

図９は、６か月平均でみた、降雨量とＡＥ発生数の関係を示したものである。降雨は年々減っているがＡＥもこれに呼応して減っており、降雨とＡＥカウントの相関の高いことが認められる。しかし、2005 年は降雨が少ないにもかかわらずＡＥ発生が多い。その理由を検討するために、この期間のＡＥと降雨の関係を示したものが図１０である。同図においては、乾期から雨期にさしかかる時期において、降雨がそれほど認められないにもかかわらず、ＡＥの発生が連続する傾向が認められる。その理由は明らかでは無いが，地表面変位もこの時期大きいことが判明した。すなわち、2005 年に

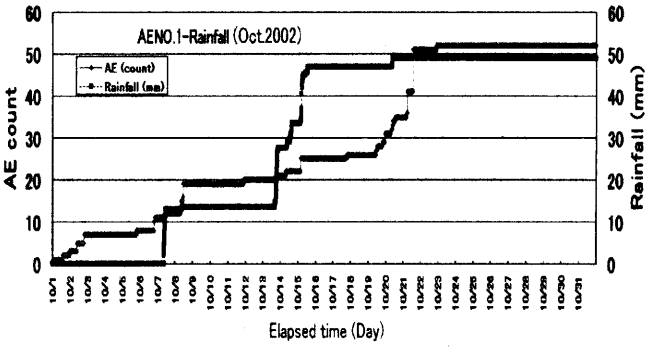


図７（ａ）AE の計測結果の例[5)]（NO.1,2003 年１０月）

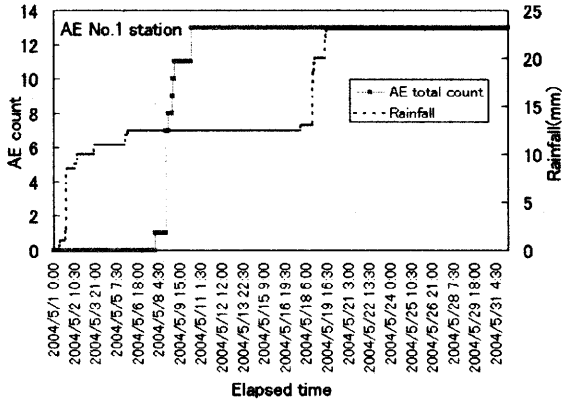
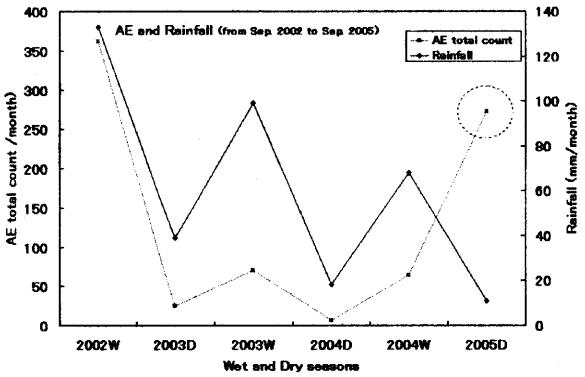
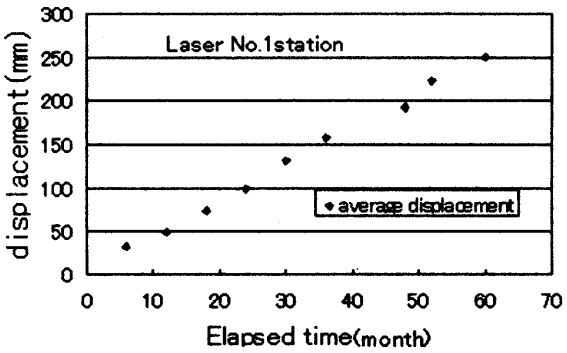


図７（ｂ）計測結果の例（AENO.1，2004 年５月

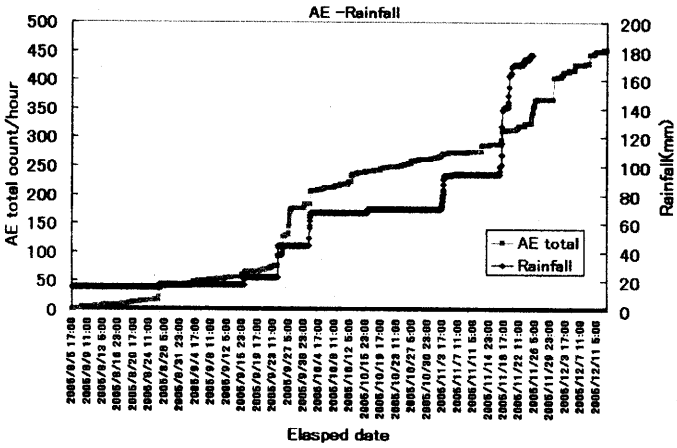


図―９雨期（w）と雨期（D）のＡＥと雨量の相関[6)]



図－８　NO.1 の５年間の地表面累積変位

NII-Electronic Library Service



図－１０乾期から雨期にかけてのＡＥ－降雨の関係[6]
（２００５年）

は、現地の協力で２か月に一回程度の計測がなされているのでやや詳しく変位の状況を見ることが可能である。図１１は2005年の各測点の地表面変位をまとめたものである。同図では依然として変位の大きいNO.1において、８月から９月にかけて、１か月で10mmという大きな変位が生じていることがわかる。必ずしも降雨によらない変位が生じて、これに対応してＡＥが発生したと推定している。

地表面変位は明瞭に計測されるものの、滑り面の位置が不明確であった。そこで、先述したようにパイプひずみ計を現地に輸送して、2005年５月に設置した（図６，ＳＫ４の位置参照)。データは８月より得られた。およそ、地表面より、約１７ｍ付近より、２ｍピッチで互いに直交位置に２枚ずつひずみゲージを設置した。その結果を図１２に示す。推定すべり面に沿った方向のひずみである。同図より、１０月中旬に大きな変位が、深度約24～30m付近に生じていることがわかる。また、８月下旬から９月にかけて２０～２５ｍ付近にも若干間のひずみの変動が認められる。

以上より、簡易的な計測手法として、まずレーザー距離計を地滑り変位の測定に適用し、次に簡易的なＡＥカウントに特化した装置を適用した結果、それぞれ実用に耐えうる結果が得られたと考えられる。なお、過去数十年にわたる当該地域の航空写真の解析結果からは、地表面の変位の方向は必ずしも一定方向ではなく、局所的に変化していると報告[2]されている。まとめると以下のようである。

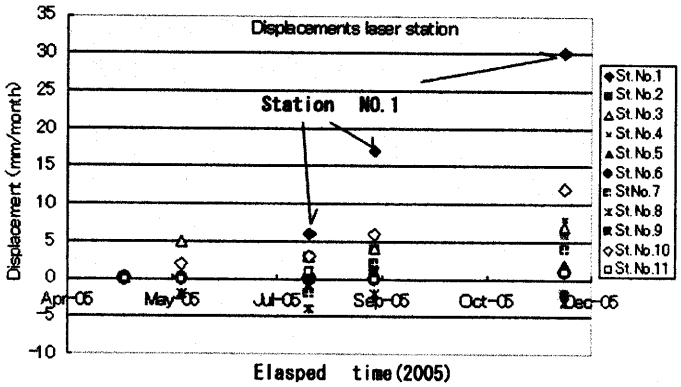
５．まとめ

１）レーザー距離計による地表面変位は、最大を示す測点（NO.1station）において５年間の累積約250mmに達し、雨期の速度は約5mm/月、乾期で約3mm、年平均約50mmである。

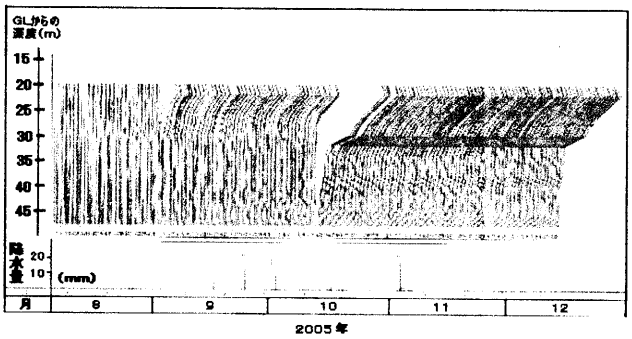
２）すべり面近傍のＡＥNO.1において、降雨後数日から一週間程度遅れてＡＥが発生する傾向を示した。

３）降雨とＡＥカウントの乾期と雨期のそれぞれの月平均はほぼ相関関係がみとめられる。すなわち、雨期に多く乾期になるとＡＥの発生数は減少する。

４）年々乾期、雨期において雨量、ＡＥともに減少する中で、2005年の乾期にはＡＥのみ多く特異であった。このときに対応する８月から９月の地表面変位速度（NO.1station）は乾期にもかかわらず雨期のそれの２倍を示した。したがって、ＡＥの発生はこの地滑りの動きと関連していると考えられる。



図－１１　地表面変位の測定結果（2005年）[6]



図－１２　パイプひずみ計の測定結果(2005年)

５）2005年に新たに地盤に設置したパイプひずみ計のひずみ分布より、設置地点（SK4）のGL－２４～30m付近に主要な変形域があり、設置後約６月間ほぼ一定の形速度で変形している。そのとき変形ベクトルの方位はN72°Wを示した。

６）これらの結果を含めた報告会を、ババダー町主催のもと住民を含めた関係者の集まりで2006年５月に実施した。組織的な測定結果の現状の公式な説明は今回がおそらく初めてと思われる。

本研究を実施するにあたり、2002年より文部科学省学術フロンティア、および平成１６年度科学研究費補助金の援助を得た。ここに、深甚なる謝意を表する。

参考文献

１）田野久貴、渡辺英彦：簡易レーザー距離計によるトルコBabadag市街地の地滑り測定の試み、平成13年度日本応用地質学会研究発表会、pp.195-198, 2001年10月.

２）セビンジ、Ｙ．チェビク：An investigation on causes,mechanism and modelling of the mass movement at babadag (Denizli) town, ハジェテッペ大学地質工学科修士論文（トルコ語)、2003.

３）田野久貴、阿部大志：アクティブ・ダミー法によるＡＥカウントシステムの構築と応用、日本応用地質学会東北支部第12回研究発表会講演集、pp.23-28, 2004年５月.

４）田野久貴、阿部大志、渡辺英彦：簡易的ＡＥカウント装置の構築と現場への適用、土木学会第３５回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集pp.341-346, 2006年１月.

５）研究代表者（田野久貴)：簡易的ＡＥカウント装置の実用化と地盤モニタリングへの応用に関する研究、平成16年度科学研究費報告書、2006年５月.

６）TANO,H., Abe,T., et al.: Lon-term Monitoring of babadag landslide through and integrated monitoring system with an emphasis on AE responses and gound straining, Symposium on recent applications in engineering geology, pp.131-140, Eds. H.Kumsar, S. Tasdelen, S.Celik, Denizli, Turkey, May, 2006.

NII-Electronic Library Service