

国立防災科学技術センター 森脇 寛・田中耕平

1. はじめに

1987年12月17日11時8分、千葉県東方沖20km（深さ47km）を震源とする地震（M6.6）が発生し、県下では崖崩れ・地割れや震動による家屋の損壊などの被害が生じた。このうち、崖崩れ箇所は365箇所には達し、その分布は主に成東町を中心とする九十九里浜地方とさらに南に位置する長南町周辺の2地域に集中している（図1）。12月21日現在、この崖崩れや地割れにより成東町、松尾町、東金市の3地区で合計34世帯が避難した。今後、強い雨や地震をうけるとこれらの地割れ箇所が崩壊しさらに被害を拡大する恐れがあるため、早急に実態の把握を行い、今後の防災対策に有益な資料を提供しなければならない。

本報告ではその一環として成東町を中心に行なった現地調査をもとに地震による崖崩れの特徴を述べると共に、地震時崩壊の安定問題について若干の考察を行なったので報告する。

2. 千葉県成東町周辺の地形・地質概況と崖崩れの分布

地形・地質：本地域周辺の地形は北東－南西方向に走る急崖を境界として明瞭に2分される。この境界の西側は下総台地と呼ばれる台地からなり、主に洪積世に形成された海成の下総層群（砂質）とその上位の関東ローム層で構成されている。この台地は河川侵食により刻まれて

幅の広い浅い樹枝状の地形を呈している。段丘面は一般に緩く北西に傾斜している。一方、この境界の東側は九十九里平野と呼ばれる平地が海岸まで達している。これは下総台地が海食され形成されたものである。従って、この両者を区切る北東－南西線沿いには比高30～50mの急勾配の海食崖が存在している。

崩壊分布：今回崩壊

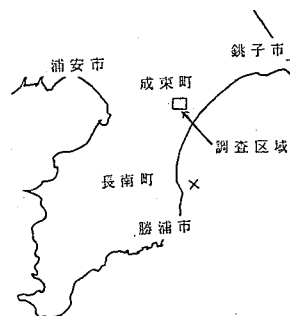


図1 調査区域（成東町）と震源（×印）

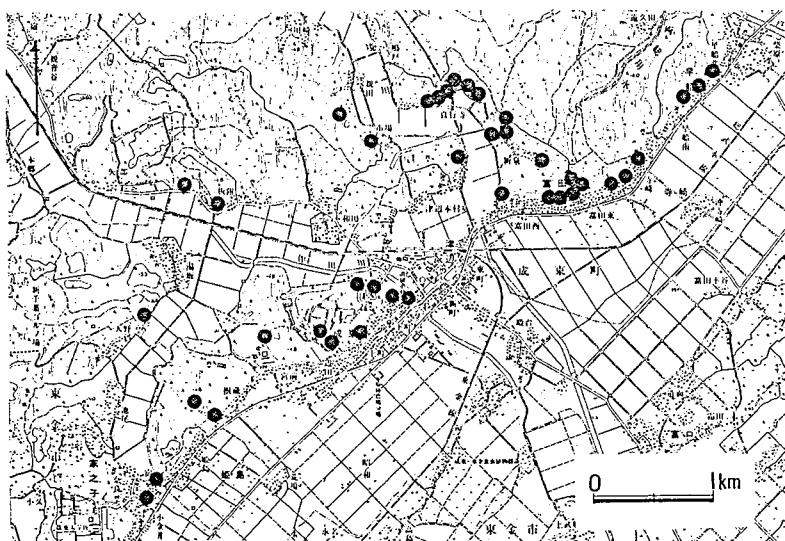


図2 成東町における崖崩れ箇所（●印）
（町役場調べ、国土地理院1/2500地形図「東金」）

が多発したのは上に述べた北東－南西線沿いの九十九里浜海岸に面した下総台地の急崖の斜面である。崩壊斜面は概ね50度以上の急斜面で発生している（図2）。本地域はまた、昭和46年の台風26号によって24時間雨量220-260mmという集中豪雨をうけ、崩壊が多発したところでもある。

3. 崖崩れの特徴

現地調査および資料収集から今回の崩壊の特徴をあげると次の通りである。

a. 崖崩れ・地割れは九十九里浜に面する下

総台地縁辺の急崖ぞいに発生している。

b. 崩壊斜面の方向性があり、図3に示すよ

うに南から南西方向の斜面に崩壊が多い。これはこの地域の下総台地の縁辺が主として北東－南西方向に延びていることによる。

c. おもな崩壊のタイプとして急崖斜面の法肩を斜めにきるくさび形の崩壊があげられる。このほかトップリング型、表層崩壊型の2つもみられた。

d. 崩壊斜面の挙動については現地聞込みによると地震時に崩壊するものばかりでなく、地震動が停止してから数十分してから崩壊が連続するもの（成東町真行寺地区）、長いものでは2日間以上にわたって滑動するものもある（成東町津辺地区）。

d. 崩壊の規模は崩壊地が下総台地の急崖斜面ということもあって一般に小規模である。崩壊高が30m以下、崩壊厚さも数m以内、崩壊土量がおおよそ500m³以下、稀に1500m³に達するものがあるがこれは崩壊幅が広いものである。

4. 地震動と崩壊特性

最近の千葉県および近県で発生したM6.0以上の地震を表1に示す。千葉県周辺の地震観測網は最近整備され始めたばかりで過去のデータは余り

ないが、今回のM6.6の地震は地元住民の経験談を加味して判断すると、昭和初期から現在まで一番大きな地震のようである。今回の地震動のN－S成分、W－E成分、U－D成分の波形を図4に示す。観測点は震源から31kmの勝浦で、地盤上に設置した地震計である。崩壊が多発した成東町には地震計が設置されていないため、震源から水平距離的にはほぼ同一である勝浦観測点を選んだ。最大加速度はN－S成分が210gal、W－E成分

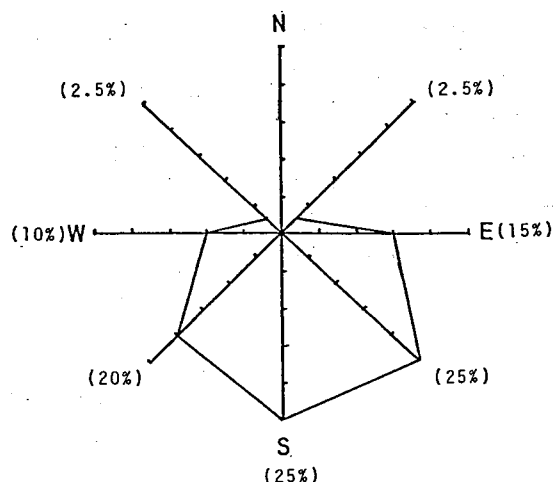


図3 崖崩れ斜面の方向（成東町 全36箇所）

表1 最近の千葉県及び近県における地震

発生年月	地震名	震源	規模
1980. 9.25	千葉県中部地震	35.5N,140.2E	M6.1
1983. 2.27	茨城県南部地震	35.58N,140.06E	M6.0
1985.10. 4	茨城・千葉県境地震	35.53N,140.09E	M6.0
1986. 6.24	房総半島南東沖地震	34.50N,140.43E	M6.5
1987.12.17	千葉県東方沖地震	35.22N,140.31E	M6.6

（国立防災科学技術センター 強震速報集より）

は 189 gal, U-D 成分は 132 gal である。N-S 成分の周期はだいたい 0.3 秒程度でおおむねゆっくりした振動であるといえる。過去の地震災害（関東，今市，新潟，伊豆大島近海）について地震の加速度と崩壊との関係を調べた結果によれば，崩壊発生を生起する地震動の加速度の下限値として 0.2G gal 程度を指摘されている¹⁾。また，小型

斜面模型を用いた振動実験

によって振動特性と崩壊しやすさを比較した結果では単発の地震動では発生しにくく，周期が大きいほど崩壊し易いという知見を得ている²⁾。また，地震動による崩壊では地震動による変位の蓄積が必要である，つまり，振動継続時間がある程度必要であるという指摘もある³⁾。従って，ある程度の加速度を有し，周期の長い波で長い時間揺れる条件が最も崩壊し易いということになる。今回の地震動の波形から考察すると，加速度値そのものが大きかったということにもよるが，比較的ゆっくりした振動でかつ，数十秒間も続いたということが読み取れ，ここで指摘されている条件も影響しているかも知れない。さらに今後地震による崩壊発生のたびにこのような地震波形データの解析を行えば，上に述べた条件のしきい値を明らかにすることが出来る。

5. 地震動と斜面安定

以下に現地でみられたくさび形にセリ断面を有する斜面（図 5）をモデルとして斜面の安定を考えてみる。ただし，地震動の加速度は斜面の破壊面に平行に働くものとする。いま，

H：斜面の高さ， β ：セリ断面の傾斜角，
 θ ：斜面の傾斜角， r ：土塊の単位体積重量，
 c ：土塊の粘着抵抗力， ϕ ：土塊の内部摩擦角，
 a ：セリ断面と平行に働く加速度，自重： W

とすると，

自重による滑動力： $W g \sin \beta$
 加速度による滑動力： $W a$
 土塊に働く摩擦抵抗力： $W g \cos \beta \tan \phi$
 土塊に働く粘着抵抗力： $c g H / \sin \beta$ となり，

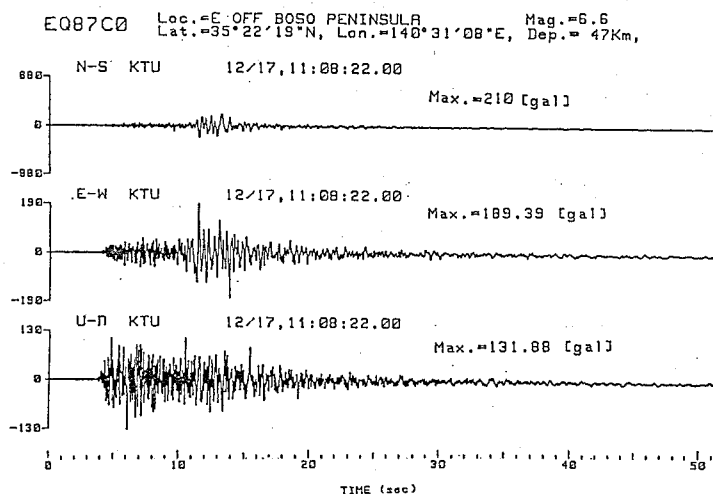


図 4 勝浦観測点における地震動の波形

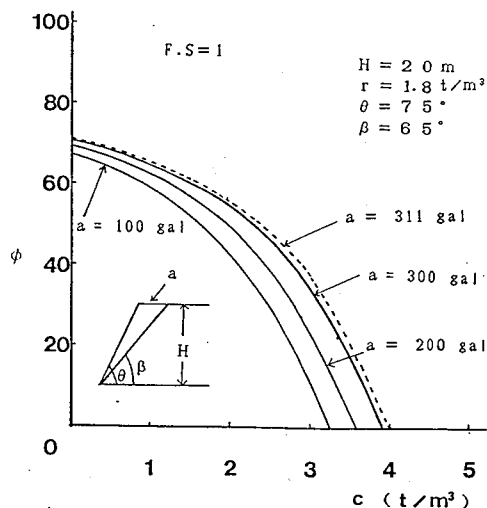


図 5 地震時の安全率を 1 とした場合の加速度と土の内部摩擦角と粘着力の関係

地震時の安全率 F.S は (1)式で表される。

$$F.S = (W g \cos \beta \tan \phi + c g H / \sin \beta) / (W g \sin \beta + W a) \quad (1)$$

ここで、 $W = r H^2 \sin(\theta - \beta) / (2 \sin \theta \cdot \sin \beta)$ である。従って、当然ながら地震の加速度が大きいほど不安定になる。

いま、現実にある斜面を想定して、どのくらいの加速度が斜面に働き、崩壊するにはどの程度の土の強度が必要かを求めてみよう。地震のデータは上述の勝浦観測点の数値を用いることにする。水平動の絶対値は N-S 成分(210gal)、W-E 成分(189gal)のそれぞれの自乗分の和をルートしたものであるから、282.5galで、N42° E-S42° W の方向あるいは N42° W-S42° E の方向に最大の振動があったと仮定できる。今回の地震では、南東斜面に崩壊が多発しているので、N42° W-S42° E の方向に向いている斜面を仮定する。さらに U-D 成分(132gal)とここで得られた最大水平動の加速度値から三次元上における絶対加速度を求めると上記と同じ手法で 311gal が得られる。鉛直方向に対して約 65° の方向の振動である。(ただし、以上の 3 成分はそれぞれ位相のずれがあるため必ずしも一致しないが、ここでは想定できる最大の加速度という意味で計算上求めた。)

そして、 $H = 20 \text{ m}$ 、 $\theta = 75^\circ$ 、 $\beta = 65^\circ$ 、 $r = 1.8 \text{ t/m}^3$ という数値を代入して、安全率 = 1 として求めた内部摩擦角、粘着力の関係を図 5 に示す。成東町の崖崩れ斜面はほとんどが砂質土で構成されているから、いま粘着力を 0 と仮定した場合、内部摩擦角は 71° となる。かなり大きい内部摩擦角を示していることになり、現実では考えられない値なので強度についてはその他の要因、例えば植生、樹根の影響などを考慮して解析する必要がある。また、この結果からみると静的安定時の安全率は約 1.35 となっている。いずれも今後土質試験により検討を要する問題である。

6. おわりに

今回の調査によって成東町で発生した崩壊は洪積世時代に形成された台地縁辺の急崖斜面に集中することがわかった。この発生の場についてはすでに豪雨時もふくめて地形学的立場からその危険性は指摘されていることであり特に目新しいものはない。しかしながら、その挙動については注目すべき点もある。地震時崩壊は 1978.1.14 の伊豆大島近海地震や 1984.9.14 の長野県西部地震で見られるように一般に急激なものもとされていたが、今回の地震動では長時間にわたって滑動・崩壊するものはいくつか観察された。この現象が砂質斜面特有のものか、あるいはその他植生や地震波形に起因するものかは現在のところ明瞭な説明はつけられない。今後の研究課題である。また、豪雨時における地震や先行降雨がある場合にはさらに発生頻度・規模なども今回をうわまるものと予想される。これらの影響を評価する研究も必要であろう。これを機会に地震時崩壊の研究が発展することを望みたい。

最後に現地調査および資料収集にあたっては御尽力頂いた千葉県成東町総務課の方々に御礼申し上げます。

引用文献： 1) 山口伊佐夫・川邊洋(1981): 地震による山地災害について。昭和56年度砂防学会研究発表会概要集, 136-137。 2) 森脇 寛ほか(1985): 御岳山大崩壊の発生・流下に関する震動実験。第24回地すべり学会研究発表予稿集, 14-15。 3) Newmark, N.M.(1965): Effect of earthquakes on dams and embankment. Geotech., Vol.15, No.2, 137-160。