

千葉県東方沖地震による斜面崩壊

Seismic Slope Failures by the Chibaken-Toho-Oki Earthquake of 1987

なか やま やすし
中 山 康*

1. はじめに

1987年12月17日、千葉県東方沖地震が発生した。震央から約80km 離れているつくば市にも強い揺れを与えたが、振動の継続時間は短く感じられた。

地震による斜面崩壊は、特に稀なことではない。関東大地震（1923）の根府川山津波、伊豆大島近海地震（1978）の河津町見高入谷七廻の斜面崩壊、長野県西部地震（1984）の御岳の崩壊などである。根府川では箱根火山外輪山（成層火山）、また、後の2者は降下軽石がその重要な素因となっている。千葉県東方沖地震は、非火山性の砂層と砂泥互層の斜面崩壊である。

この地震は、首都圏をゆるがしたため、社会的影響も大きかった。早速、日本地質学会関東支部主催の被害見学会（'88.2.28）や筑波応用地学談話会（TAGS, '88.4.12）などでとりあげられた。この報告を記すにあたり、これら席上の発表・討論事項を参考にさせていただいた。

2. 千葉県東方沖地震の諸元

主震は、九十九里浜沖の北緯 $35^{\circ}21'$ 、東経 $140^{\circ}29'$ 、深度 58 km を震源として M: 6.7、発生日時は 1987 年 12 月 17 日 11:08 であった¹⁾。銚子・千葉・勝浦で震度 V が観測された。気象官署を離れていて地盤条件の異なるところでは、震度もこれ以上に達したことが考えられる。春川²⁾が行ったアンケート調査では、震度 VI に相当する報告がある。それによれば、震央から北北西にのびて松尾・山武・八街・東金・長生を含む長さ 45 km、幅 18 km の長方形の強震度ブロックが示されている。

引き続き17日7回, 18日5回, 19日・20日・23日・1月2日・5日(各1回)に余震があった。千葉または勝浦における震度は, IIIが3回, IIが8回, Iが6回である¹⁾。

3. 千葉県東方沖地震の被害

発生した被害は、かなり特異なものであった。死者2名は、ブロック塀と石灯籠の倒壊による。ブロック塀は配筋があっても倒壊を阻止できなかった。控えについては、結論が得られなかった。住宅では屋根瓦の損傷が圧倒的に多い。棟瓦の被害が目立ち、全部の修復が終わるのは3年も

表-1 気象官署での有感地震一千葉県東方沖地震¹⁾

MS 1987
12月17日11時08分 35°21'N 140°29'E 58 km M: 6.7
最大震度V: 銚子, 千葉, 勝浦。

AS

1987.12 17日11時15分 震度II: 横浜, 勝浦, 千葉。
I: 大島, 銚子, 東京, 三宅島, 網代。

17日13時52分 震度I: 千葉。

17日14時07分 震度III: 千葉。
II: 水戸, 横浜。
I: 銚子, 館山, 三宅島, 小名浜, 勝浦,
網代, 東京。

17日14時48分 震度II: 勝浦。
I: 千葉。

17日15時30分 震度I: 勝浦, 千葉。

17日17時39分 震度I: 勝浦。

17日21時37分 震度II: 千葉。
I: 勝浦, 館山, 横浜, 網代, 東京, 三宅
島。

18日06時05分 震度III: 千葉。
I: 水戸, 勝浦, 東京, 館山。

18日07時08分 震度II: 千葉。
I: 勝浦。

18日09時07分 震度I: 千葉。

18日10時54分 震度I: 千葉, 勝浦。

18日23時04分 震度I: 勝浦。

19日10時07分 震度III: 千葉。
II: 勝浦。

20日23時41分 震度II: 千葉。

23日22時57分 震度II: 千葉。

1988.1 2日09時48分 震度II: 千葉。

5日10時09分 震度II: 千葉, 勝浦。
I: 東京, 横浜, 網代。

かかるのではないかといわれた。

地盤の液状化が広範囲に発生した。これまで M6.7 の液状化限界距離は 36km と考えられたが、今回その距離はおおむね 2 倍に達した³⁾。関東平野では液状化を起こした沖積層の供給源および埋立地の土取場は下総層群の砂層（成田層）が大部分を占めており、これは斜面崩壊を起こした地層でもある。上水道の被害も沖積地を通る末端部（管径 50mm 程度のところに集中）で大きかった⁴⁾。基礎工事が十分と思われる大口径のパイプライン（例えば両総用水）は安全性が高いことが示された。

家屋の骨組、幹線水路など耐震性が考慮されているところの被害はなく、それだけ屋根瓦・上水道末端配管が目立ったものといえる。

墓石の回転・転倒も多い。千葉県公害研究所では、回転について次のような結論を出している⁵⁾。

*農林水産省農業工学研究所 造構部構造研究室室長

表-2 県中央部の地層名一覧

第 四 紀	洪 積 世	沖 積 層				
		関東ローム				
		下 層群	総	成 田 層	砂 層	崩壊
				笠 森 層		
		上 層群	総	鶴 舞 層		
	長 南 層			砂泥互層	崩壊	
	秋 元 層			砂 層	崩壊	
	鮮 新 世	群	総	梅ヶ瀬層	砂 層	崩壊
				大 田 代 層	砂泥互層	地すべり
				黄 和 田 層		
大 原 層						
浪 花 層						
第 三 紀	群	総	勝 浦 層			
			黒 滝 層			

注) 1. 成田層の砂層は上位の関東ロームとともに崩壊した。
2. 崖の上部が笠森層泥層、下部が長南層のところでは、一体となって崩壊した。

町八乙女) が報告されている⁷⁾。地質時代は、鮮新世から洪積世前期にわたる。

(4) 下総層群

成田層(群)とも呼ばれる。部分的に礫・泥・貝化石を伴う砂層で、堆積原面を残した台地を作る(洪積世後期)。関東ロームを載せ、多数の崩壊を起こした。

(5) 沖積層

内陸部の谷地奥から海岸平野までのびている。

5. 斜面崩壊の特徴

斜面崩壊は山武・長生の支庁管内に集中している。その理由の一つとしては、春川²⁾ および千葉県公害研究所⁵⁾ で指摘された境界の位置に相当するところと下総層群の砂層ならびに上総層群の砂泥互層・砂層という条件が重なった地域にあたる。

また、松尾町・成東町の洪積台地の周囲の崖は、上から下まですべて下総層群の砂層である。ここから北東方向・南西方向に離れるにつれて、崖の下部は上総層群笠森層(泥岩)となる。砂層が厚いところと崩壊が多いところとは一致している。

斜面崩壊による直接の死者は、皆無であった。現地で見える印象も決して大きな災害ではない。崩壊土量も最大で100m³程度で、移動距離も崖の直下に留まるものが大多数である。地震により崩壊が始まったものの、その過程で動きが止まっている。主震の継続時間や余震などの条件が偶々このような結果を生じた。地元の消防団の方がたの活動でも罹災者を救出する姿はなく、崖の頭部付近の亀裂の発見と防災のための避難措置に主力が置かれた。地震発生から10日間は、43世帯161人の避難命令が実施されている⁸⁾。一応12月28日にほぼ解除されたが、「連続雨量20mm、余震その他地震の兆候」、成東町津辺本村では「亀裂をまたいで設置された伸縮計に異常値」のうちいずれか一つの出現で直ちに避難できる態勢がとられている。

ここで、斜面崩壊発生地点の自然条件を列挙する。

- ① 崖の高さは、おおむね20~25m程度である。
 - ② 地質は砂層(下総層群)、砂泥互層(上総層群上部の長南層)または砂層(上総層群中部柿の木台層・国本層)である。とくに笠森層泥層(上位)と長南層砂泥互層(下位)の境界面で崩壊が発生している⁷⁾。
 - ③ 通常は、自立できる硬さを有する。
 - ④ 砂層は乾燥し、砂泥互層は湿潤状態であるが、地下水の湧出は認められない。
 - ⑤ 植生は、高さ7m程度のスギが多い。
- 応急対策工事としては、次のような工種がある。

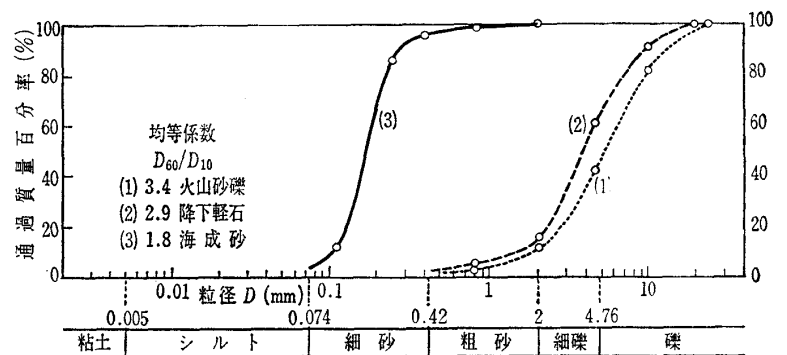
- i) 樹木の伐採
- ii) 雨水の亀裂侵入防止
- iii) 住宅との間に防護用土留め工の設置
- iv) 警報装置(伸縮計など)の設置

成東町津辺本村の事例は、最大級のものの一つである。

ここでは、亀裂より谷側の部分について勾配を付けて頭部を掘り下げ、青シートで被覆した。また、警報用伸縮計も設けられた(口絵写真一2参照)。

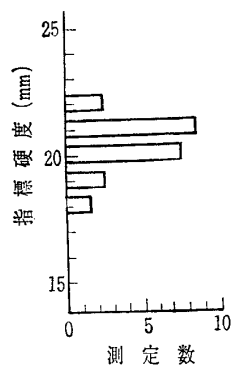
6. 粒度分布と固結度

粒径のそろった砂が振動に対して不安定であることはよく知られたことである。地盤の液状化判定には、粒度分布・標準貫入試験(N値)・地下水位が利用されているが、地震による斜面崩壊にも実用的な基準があれば便利である。土木の実務面では、粒度分布のよい(悪い)という表現がある⁹⁾。粒度分布のよい土は、一般に均等係数 U_c が10以上で、曲率係数 $U_{c'}$ が1~3で、粒径加算曲線が緩やかかつ各粒径の土粒子を広範囲に含んでいる砂質系の土である(図-5)。日本統一土質分類法では「粒度が良い条件」として $U_c \geq 10$, $1 < U_{c'} \leq \sqrt{U_c}$ を与えている。粒度分布の悪い土は、 U_c が4~5以下で粒径加算曲線が立っている。 $U_c \div 1$ のときは、粒径がそろっている粒度のわるい土である。これを集中粒径と呼び、間隙が大きく一般に工学的性質はよくないものとされている。



比較事例(1)静岡県賀茂郡河津町七廻 伊豆大島近海地震 1978
比較事例(2)静岡県賀茂郡河津町七廻 伊豆大島近海地震 1978
(3)千葉県山武郡成東町富田 千葉県東方沖地震 1987

図-5 粒度加算曲線^{10), 11)}

図—6 下総層群砂層の固有硬度¹⁰⁾

今回、斜面崩壊を起こしたところの一つである成東町富田の砂層から採取した砂では、 $U_c=1.8$ 、 $U_c'=1.03$ の値が得られた（写真—1）。さきに述べたように、この地層の砂が埋立用土として多量に使われ、人工地盤液状化の背景となった。

次に、固結度の評価の問題がある。液状化は主として野部に発生するので、標準貫入試験が便利なのである。そこで、斜面崩壊には山中式土壌硬度計 YH-62 を使うことにした。これを用いた評価法としては、JSF 規格：M 2-81¹²⁾がある。この「硬さによる地山しらすの判別分類法」は、地域的には南九州、地層は火砕流堆積物であるしらすに限定された規格であるが、崖の壁面で計測できるため今回この地で適用を試みた。

成東町真行寺で得られた結果では、堅硬な地山の指標硬度が 18 mm 以上となった（図—6）。背後に亀裂があって浮いた土塊では約 10 回の測定がすべて 17 mm 以下になった。測定数がまだ少ないとはいえ、有意性が確認されれば隠れた亀裂の発見に役立つことになる。

7. 地震による崩壊の分類および事例

高橋¹³⁾は、次のような分類をしている。

① 落石

震度 V 強以上で多数発生する。斜面直下の人や家、車両を直撃したり、時には転がって破壊的被害を大きくする。

② 崖崩れ

震度 V 強以上で多発する。土層が塊状に放出されるもの、表層の剝離・滑落、肩部の崩落など。崩落に至らなくても亀裂が入り後に豪雨で崩落する場合がある。

③ 山地崩壊

震度 V 強以上で多発し、震度 VI 以上で山体崩壊や山津波のような大規模な崩壊がある（例：善光寺地震（1847, M7.4）による虚空蔵山の崩落、長野県西部地震（1984, M6.8）による御岳の崩壊）。

④ 地すべり

滑動中の地すべりが活発化する。また、表層部の軽

石が広い面積にわたり薄層としてすべるものなどがある。

⑤ 人工斜面

これには伊豆大島近海地震（1978, M7.0）で金鉱山の廃滓の沈殿堆積池堤体の崩壊・流出がある。

⑥ 雪氷崩壊

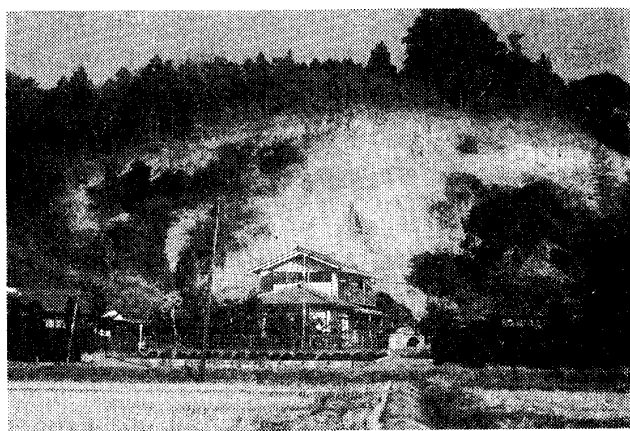
宮城県沖の地震（1978.2.20, M6.7）で、震度 IV 程度の山形県で発生している。

今回の災害は、これらのうち②に該当している。また、④が 1 件発生した。

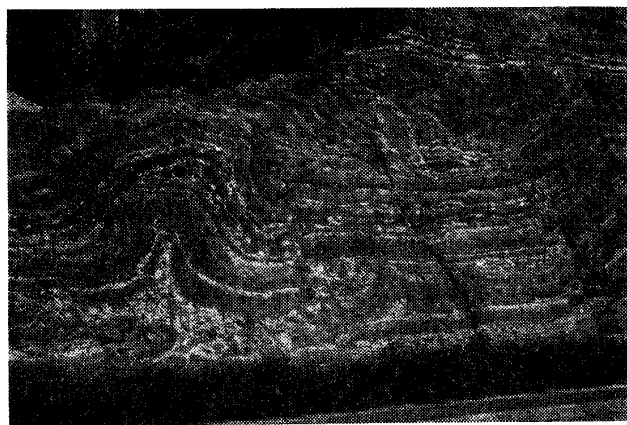
崩壊土量では、1792 年の島原眉山 1～5 億 m^3 （眉山は火山噴火が原因とする説がある）、1858 年の立山蔭くずれの 3 億 m^3 、1984 年の長野県西部地震による御岳崩壊 3 360 万 m^3 などが大きな例^{14),15)}であるが、千葉県東方沖地震では大多数が 100 m^3 以下にとどまる。

8. 斜面崩壊の機構

地震時の斜面崩壊は、複雑な現象である。地震動がある強さに達すると、亀裂の発生など地盤の劣化が始まる。完全に土粒子が分離した段階で振動が止まれば、通常の安息角で安定することになる。千葉県東方沖地震では、主震の短い継続時間や弱い余震などの理由で不安定土塊の斜面が残った。



写真—1 成東町富田の斜面崩壊



写真—2 第三紀地震のあとスランプ構造（神奈川県三浦市海外）

ここで、振動を受けた砂あるいは砂泥の動きを追ってみる。

8.1 第三紀層に見られる地震のあと

地震時の砂や砂泥の挙動を観察できるものに、第三紀層の露頭がある。いずれも地層堆積時すなわち圧密や続成作用が進行していないときの現象であり、地震時の斜面崩壊と同一の扱いはできない。しかし、かえって地震時の砂層あるいは砂泥境界面に作用した応力を克明に記録している。

(1) スランプ構造

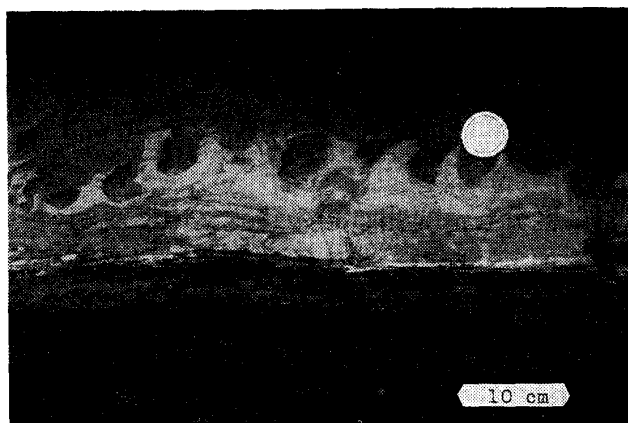
今日でも地震に際し海底地すべりが起きることが知られている。ただ、陸上の地すべりと異なり水の多い乱泥流（混濁流）と呼ばれるものである。粗粒な物質をも懸濁した密度の高い海水の流れであり、緩い斜面でも高速で走り遠距離に達する。深海砂・分級層を作ったり、海底ケーブルを切断することもある（写真一2）。

(2) 火焰構造

これは荷重痕とも呼ばれる。スラリー状で比重の小さい泥の上位に比重の大きな砂が静かに堆積する。そこに地震動が加わると泥が舞い上がり（砂が沈み込んで）ろうそくの炎のような形状を呈する（写真一3）。

(3) 砂岩脈

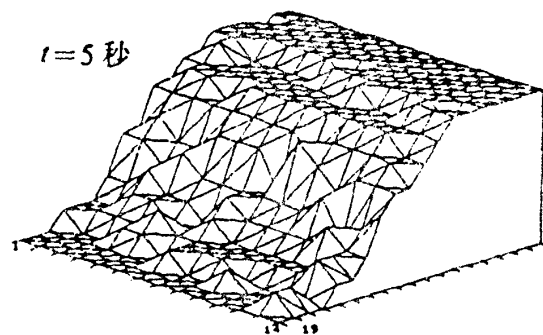
これは砂の液状化の結果として説明されている。開口し



写真一3 第三紀地震のあとと一火焰構造
(神奈川県三浦市城ヶ島)



写真一4 第三紀地震のあとと一砂岩脈
(神奈川県三浦郡葉山町森戸)



図一7 粒状体シミュレーション三次元解析の途中例
(伯野¹⁶¹による)

た亀裂に向かって地層から砂が流動したもので壁面に平行な粒子配列を持つ（写真一4）。

8.2 粒状体シミュレーション

地震時の斜面崩壊については、粒状体シミュレーション解析という手法が開発されている。斜面の構成物質が離れればなれになった後の挙動を追うことができる。鉛や光弾性材料などの円柱を多数用いる実験や実際の砂礫を用いる実験が古くから行われてきた。

その後、電算機による粒状体シミュレーションが始まり、粒の大きさや摩擦係数を自由に設定できる¹⁶⁾。計算の流れは、次の手順に従う。

粒の充填：一定の粒径分布を持った粒子を発生させて箱状の枠内に自由落下させる。

粒の安定化：箱を水平方向に正弦振動させ、粒子を締め固める。

二次元（円形粒）または三次元（球体）崩落：箱の一方の壁を取り去る。

三次元解析の進行する形状の途中例（図一7）を見ると、千葉県東方沖地震による崩壊のいくつかに対応すると思われる。

9. あとがき

地震による斜面崩壊について、次のように要約できる。

- (1) 粒度：粒径のそろった砂が固結力を失うと、容易に斜面崩壊が起きる。
- (2) 震度：構造物や崖の上部は震度が大きくなる。崖の上部に固い泥岩があると、強い振動が下部の地層に伝わる。
- (3) 異質の地層の重なり：接合面に地震で特殊な変化が現れることも考えられる。千葉県東方沖地震では確認できなかったが、第三紀層でこの跡を見ることができる。

砂層のせん断試験や安定計算など定量的検討は未解決であり、多くの専門分野の研究が求められる。被災地を一通り眺めることは簡単でも、一歩踏み込むとその難しさを改めて認識した。この機会を与えていただいた編集委員会の方がたにあつく感謝します。

参 考 文 献

- 1) 気象庁業務資料 (未公開)
- 2) 春川光男：千葉県東方沖地震に見る被害と地盤，科学朝日，572号，pp.21～25，1988.
- 3) 陶野郁雄・安田 進：液状化一大地が溶けるとき，科学朝日，572号，pp.14～20，1988.
- 4) 千葉県水政課：千葉県東方沖地震による水道施設の被害，ダクタイル鉄管，No.44，pp.7～26，1988.
- 5) 千葉県公害研究所：千葉県東方沖地震に係る墓石転倒実態調査結果 (中間報告)，千葉県東方沖地震被害見学会案内書，pp.21～23，1988.
- 6) 地質調査所：日本地質図 (1/100万)，第2版，1978.
- 7) 釜井俊孝：1987年千葉県東方沖地震による上総丘陵の斜面崩壊 その2—メカニズム，第27回地すべり学会研究発表講演集，pp.50～53，1988.
- 8) 千葉日報：62.12.25 朝刊，1987.
- 9) 農業土木学会：改訂3版農業土木標準用語事典，p.202，1983.
- 10) 中山 康：千葉県東方沖地震による斜面崩壊，地すべり，Vol.24，No.4，pp.33～35，1988.
- 11) 中山 康・古谷 保：伊豆大島近海地震による河津町見高入谷の土石災害，地すべり，Vol.15，No.1，pp.25～27，1978.
- 12) 土質工学会：硬さによる地山しらすの判別分類法 (JSF規格：M2-81)，土と基礎，Vol.29，No.4，pp.45～48，1981.
- 13) 高橋 博：地震による地すべり・山崩れ，地球，Vol.9，No.2，pp.90～93，1987.
- 14) 斎藤 豊：1984年長野県西部地震による御岳くずれについて，地球，Vol.9，No.2，pp.71～75，1987.
- 15) 川上 浩：長野県西部地震の山崩れ災害と軽石の土性，地球，Vol.9，No.2，pp.79～84，1987.
- 16) 伯野元彦：山崩れの粒状体シミュレーション解析，地球，Vol.9，No.2，pp.85～89，1987.

(原稿受理 1988.8.31)

土質工学会書籍案内

土質工学用語辞典

定 価：8,800円、会員特価 6,800円 (送料1冊につき 350円)、
体 裁：A5判、654ページ

内 容

見出し語 (約1,170語) と説明語 (約3,040語) に区分し，見出し語の解説文中に説明語を入れ，図・表等を用いてわかりやすく解説を加え，なお，英・仏・独語の対照表を兼ねた索引を付けるとともに，別に英・仏・独語の索引を独立させて用語の検索が可能。(昭和60年3月発行)

- 第1章 一般
- 第2章 地質と地形
- 第3章 土の物理化学的性質
- 第4章 土の分類と判別
- 第5章 浸透，地下水および侵食
- 第6章 応力，土圧および支持力
- 第7章 土の圧縮と圧密
- 第8章 土のせん断
- 第9章 斜面安定
- 第10章 地震と土の動的性質
- 第11章 岩の性質

- 第12章 土質調査と計測
- 第13章 構造物の基礎
- 第14章 根切りと山留め
- 第15章 擁壁と止水壁
- 第16章 土工
- 第17章 路床と路盤
- 第18章 トンネル
- 第19章 ダム，堤防および水路
- 第20章 港湾構造物
- 第21章 土質安定処理
- 第22章 施工機械

付 録

- I. 単位・次元
- II. 記号・用語
- III. 規格
- IV. 地質年代表

索 引

- 日・英・仏・独語
- 英・日本語
- 仏・日本語
- 独・日本語