

岩手・宮城内陸地震で生じた2つの土砂災害に関する土の性質とそれから見た機構の検討

PROPERTIES OF THE SOILS OF THE TWO LANDSLIDES OCCURRED
BY THE IWATE - MIYAGI NAIRIKU EARTHQUAKE IN 2008
AND THE EXAMINATION OF THE MECHANISM OF THEM

石塚 陽人¹・橋本 桂弥²・梅村 順³

Akihito ISHIZUKA, Katsuya HASHIMOTO and Jun UMEMURA

¹ 日本大学大学院工学研究科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1)

E-mail:g21102@cc.ce.nihon-u.ac.jp

² 日本大学大学院工学研究科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1)

E-mail:g21110@cc.ce.nihon-u.ac.jp

³ 日本大学工学部(〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1)

E-mail:umemura@ce.nihon-u.ac.jp

Key Words: Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008, landslide, volcanic ash soil, shear test

1. はじめに

平成20年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震の際、宮城県二迫川流域の荒砥沢ダム上流で、大規模な地すべりが発生した(荒砥沢地すべり:写真-1)。また、その北西約1kmにある三迫川流域の栗原市南耕英地区冷沢の両岸が、大規模に崩壊した(冷沢崩壊:写真-2)。

発生直後から荒砥沢地すべりは、この地震を特徴づける大規模な地表変動現象であったので、多くの報告がなされている¹⁾。それらの報告には起象事項の整理に基づくメカニズムの推定が多く、定量的な検討は少ない。一方、冷沢崩壊は、冷沢両岸がほぼ1kmにわたって連続して崩壊した規模の大きな事象であったにも拘らず、荒砥沢地すべりに較べて殆ど調査がなされていない。

そこで著者らは、これら2つの土砂災害について、まず、現地踏査を実施して、生じた起象事項を整理すると共に、それらに基づいて、地すべり、崩壊の



写真-1 荒砥沢地すべり地の様子
(社)東北建設協会提供

すべり面位置を推定した。そして、そのすべり面を構成した層準試料を採取し、それらの力学的性質を実験室で調べた。本文では、これらの結果について紹介すると共に、結果に基づいて、地すべり、崩壊

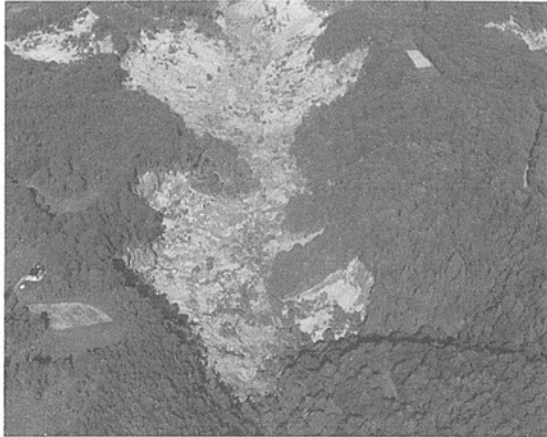


写真-2 耕英地区冷沢崩壊
(社)東北建設協会提供

のメカニズムについて考察したので、報告する。

2. 荒砥沢地すべりと冷沢崩壊の概要

(1) 荒砥沢地すべり

図-1に、岩手・宮城内陸地震の震央と荒砥沢地すべり、冷沢崩壊の位置を示す。

荒砥沢地すべりは、栗駒山南東部に広がる緩やかな斜面の、二迫川と三迫川の流域界付近を頭部として発生し、全体の規模は全長1300m、幅900m、最大深さ150m以上、また、地すべりの移動土砂量は約70,000,000m³であった。移動体内のブロックは、地すべり前後の空中写真判読から、北西から南東の方向に約300m以上滑動した。この地すべりの発生箇所はもともと、明瞭な地すべり地形を呈していたが、今回の地すべりは、この地すべり地形の西側の一部分が取り残されたものの、東側部分のほとんどで変動し、さらに後方にも波及したものであった¹⁾。

図-2には、日本地すべり学会が作成した、レーザープロファイラに基づく陰影図に空中写真判読と現地調査に基づくいくつかの特徴的な地形を、ほぼ同じ地形的特徴を持つ区域毎に区分した地形分類図¹⁾である。移動体の中腹から下部には地表の乱れの少ない地塊A、Bがあり、またA、B間や不動部との境界には、移動体が圧縮された擾乱帯Eや移動体に圧縮されて形成された丘陵地形Fがある。さらに、末端東端には、下層から絞り出されたような隆起地形Gが形成されており、その頂部最大比高は10m以上となっ

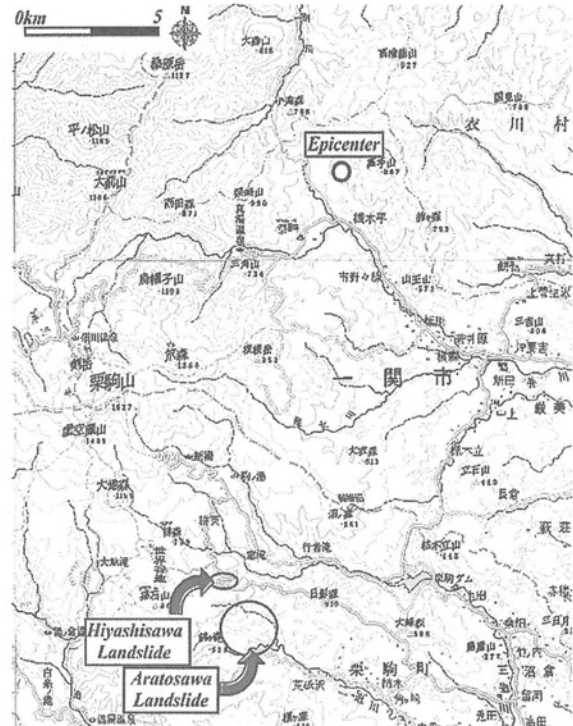


図-1 荒砥沢地すべりと冷沢崩壊の位置図
(国土地理院20万分の1地勢図『新庄』に加筆)

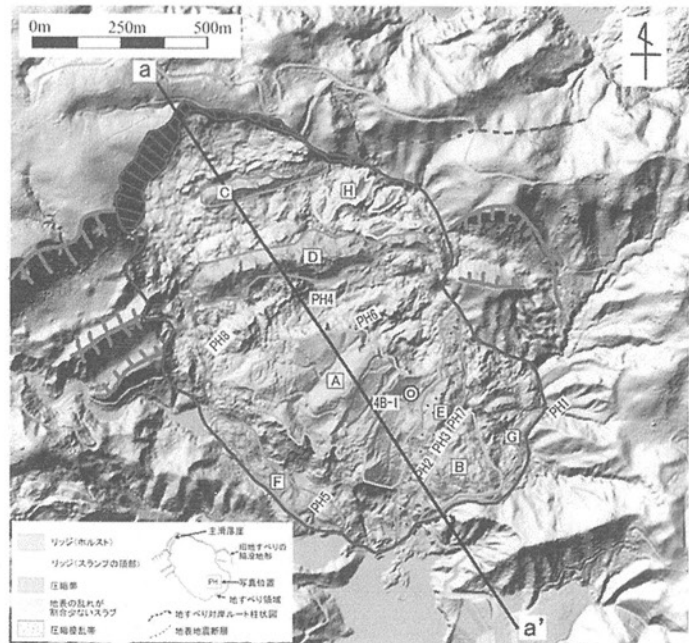


図-2 地形区分図¹⁾
(基図：林野庁東北森林管理局)

ている。一方、中腹から主滑落崖までは陥没構造を呈している。ここには取り残された2列の尖塔列(リッジD、C)と、北東部への小規模な逆向きスランプ型崩壊によって形成されたリッジ(H)群が特徴的に認められる¹⁾。



写真-3 耕英地区冷沢での斜面崩壊の一例

(2) 冷沢崩壊

冷沢崩壊は、南耕英地区を西から東へ流下する冷沢の左右両溪岸斜面で発生した。崩壊の長さは10m程度、奥行き数m～10数mで、大小さまざまな崩壊が横方向に連続しながら、幅約1kmにわたって生じている。その崩壊地の一例を、写真-3に示す。崩壊の殆どは、このようなスランプ型であった。また、殆どの崩壊は現地表面から10m程度の深さまで生じ、すべり面が溪床まで達するような崩壊は少なかった。加えて、崩壊土砂は下流に流動化して下り、崩壊地からは崩壊土砂がほとんど失われていた状態であった³⁾。

(3) 地質の概要とすべり面

表-1に、文献2)にあるこの地域の地質層序を示した。著者らは現地調査で、これらのうち、葛峰層最上位の凝灰岩から上位の地層を確認した。

荒砥沢地すべりでは、前述した擾乱帯や丘陵地形、隆起地形などで、小野松沢層に属する凝灰質砂岩が粉砕されたような火山灰土が多く認められた他、写真-4に示す、対策工事で出現した露頭で、凝灰質砂岩の上位にある軽石凝灰岩が粉砕されて土砂化した凝灰質砂岩に覆われ、あるいは、一部でダイク状に噴出した痕跡が認められた。また、文献1)や4)の調査報告書やボーリング調査の結果では、本地すべりが300m以上滑動したものであることから、明瞭なすべり面は認められなかったが、この砂岩付近にすべり面が形成された可能性が高いとされている。これらのことから、荒砥沢地すべりでは、この凝灰質砂岩にすべり面が形成されたと判断した。

また、すべり面の傾斜は、地すべりに伴う地形の変形状やボーリング調査での層理面傾斜などから、ほぼ水平とされており、著者らの現地調査では、南

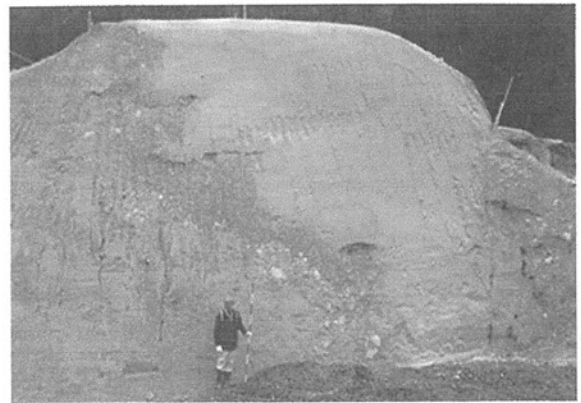


写真-4 逆転している凝灰質砂岩層

表-1 荒砥沢ダムの地質層序²⁾

時代	地質名	構成地質
第四紀		現河床堆積物
		崖錐堆積物
		火山泥石流堆積物
		段丘堆積物
		火砕流堆積物
新第三紀	中新世後期 小野松沢層	軽石凝灰岩(Pt)
		凝灰質砂岩(Ss)
		礫岩(Cgl)
		シルト岩(Slt)
第三紀	中新世中期 葛峰層	凝灰岩(Tf) 火山礫凝灰岩(Lt)
		頁岩(Sh) シルト岩(Slt)
		貫入岩 (安山岩(An)) (石英安山岩(Ds))

東方向に8度以下、文献2)、3)では南東に4度程度とされている。

一方、冷沢崩壊では、第四紀火山泥石流堆積物最下位の降下軽石堆積物層とその上位の火砕流堆積物層との境界にすべり面が生じた。

3. 試料採取と試験方法

(1) 試料の採取とその物理的性質

荒砥沢地すべりでは、葛峰層中の凝灰質砂岩にすべり面を生じたことから、地すべり地左岸側側方滑落崖に現れたこの層準の露頭から、乱さない試料を

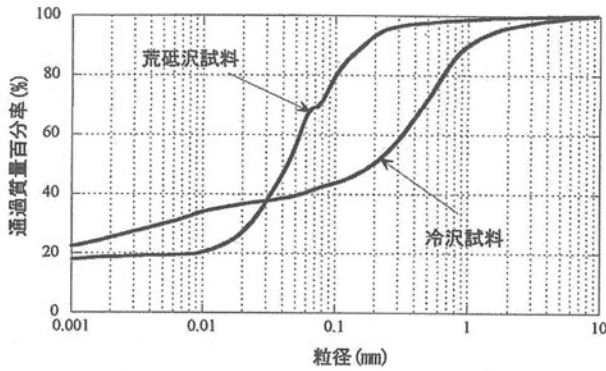


図-3 試料の粒径加積曲線

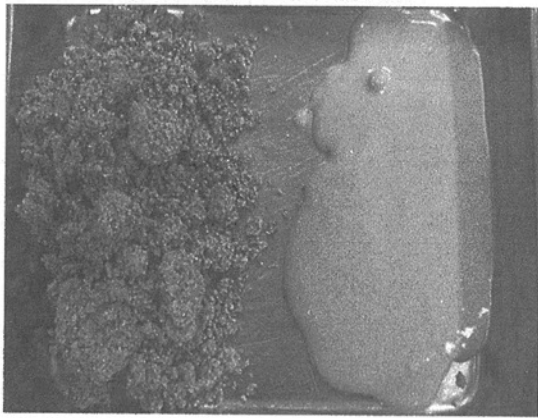


写真-5 冷沢試料の自然含水状態での練返し状況(右)

20cm角以上の大きさのブロックで7個採取し, それらから7個の供試体を作成した(以下, 荒砥沢試料と呼ぶ). また, 冷沢崩壊では, 後方滑落崖に現れた, すべり面を生じた降下軽石堆積物層直上の火砕流堆積物層から, 乱さない試料を20cm角以上の大きさのブロックで6個採取し, それらから供試体を10個作成した(以下, 冷沢試料と呼ぶ). いずれの試料も, 供試体の作成で成形に失敗することはなかった. これらの試料の粒径加積曲線を図-3, 試料の物理的性質を表-2にそれぞれ示す. 荒砥沢試料は, シルト分を約6割含んでいるが, コンシステンシー特性は, 非塑性であった. 一方, 冷沢試料は, 指でつぶれるような軽石礫を含む他, 練返すと写真-5に示すように液体状を呈したので, 粒度試験は水中ふるい法を実施した. また, 冷沢試料の自然含水比は41~46%で, 表-2のように液性限界に比べ高い状態であった.

(2) 力学的性質

荒砥沢試料を対象とした試験では, 地すべりの規模が大きいため, 最大1200kN/m²の上載圧で試験を実施できる高圧中型一面せん断試験装置を用いたせん断試験(供試体直径100mm)を実施した. この試験

表-2 試料の物理的性質

	荒砥沢試料	冷沢試料
土粒子の密度 ρ (g/cm ³)	2.377	2.758
液性限界 W_L (%)	NP	38.8
塑性限界 W_P (%)	42.5	25.18
塑性指数 I_P (%)	NP	13.62
強熱減量 Li	4.94	3.78

表-3 荒砥沢試料供試体の乾燥単位体積重量

	単位体積重量(kN/m ³)	乾燥単位体積重量(kN/m ³)	間隙比
乱した試料	15.21	10.81	1.31
乱さない試料	16.37	9.831	1.68

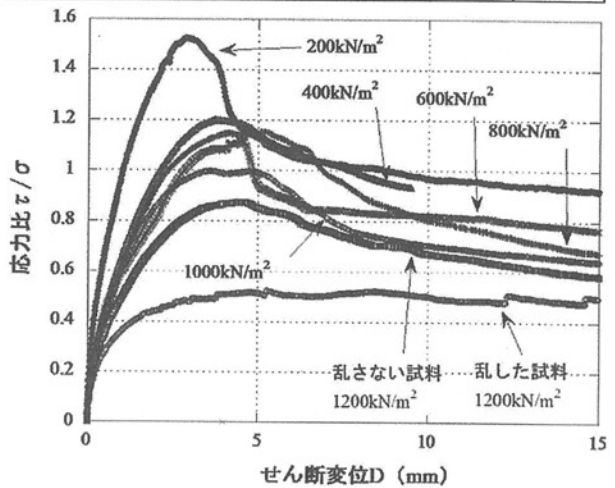


図-4 荒砥沢試料の応力比-変位曲線

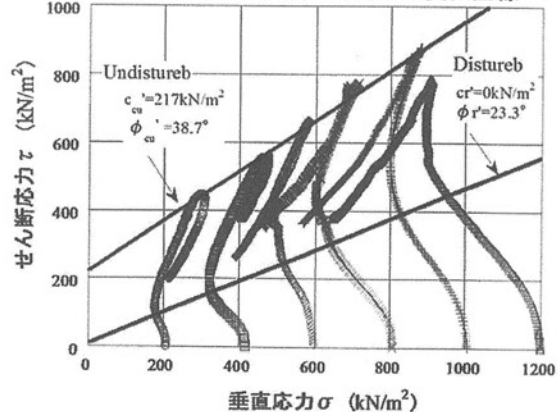


図-5 荒砥沢試料の τ - σ 曲線

では, せん断速度0.05mm/minとし, CU条件で実施した.

一方, 冷沢試料を対象とした試験では, 標準の一面せん断試験装置を用い, CD条件, CU条件およびCU条件での変位制御の繰返し試験の, 3種類の試験を実施した. CD条件では, せん断速度0.2mm/minとし, CU条件では, 繰返し試験も含め, せん断速度0.5mm/minで実施した.

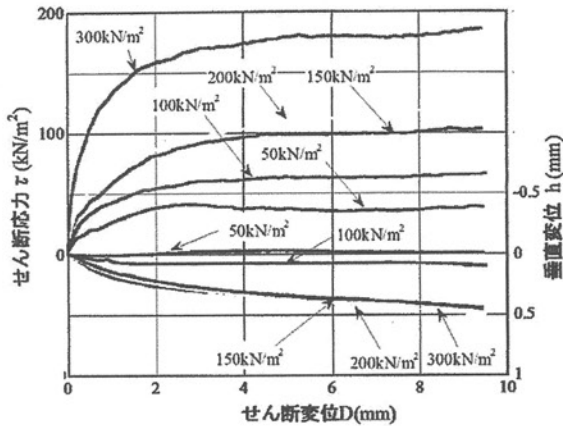


図-6 定圧一面せん断試験結果

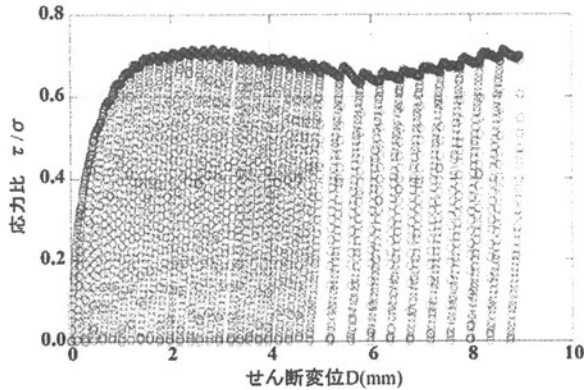


図-8 定体積繰返し一面せん断試験結果

図-4, 5 は, 荒砥沢試料を対象とした高压中型一面せん断試験結果で, 7 供試体を供し, 明らかに他と傾向の異なった 1 供試体の結果を除いた 6 供試体について, 図-4 には応力比 - 変位曲線, 図-5 はストレスパスを示した. なお, 図中には, 正規圧密状態での乱した供試体の結果から得た残留強度を, c_r' , ϕ_r' として併せて示した.

乱さない試料では, 上載圧が小さいほど応力比のピークが大きく, 脆性的に破壊する傾向を示し, また, c_{cu}' の値が大きい岩石的な性質を呈した. 一方, ピーク後には, 乱した試料の結果から得た残留強度線に向かってせん断抵抗力が低下する傾向を呈したが, 15mm までのせん断では, その抵抗力まで低下することはなかった.

一方, 冷沢試料について, 図-6 は 4 供試体を供した CD 条件, 図-7 は 3 供試体を供した CU 条件での試験結果である. CD 条件では, 上載圧 50kN/m^2 のときに, ダイレイタンスーが正を呈したが, それ以上の上載圧では負を呈した. また, 150kN/m^2 以上ではせん断抵抗力に特徴的な変化はないが, 体積変化量は上載圧に依らない傾向を示した. CU 条件では, ダイレイタンスーが負になる(上載圧が低下する)挙

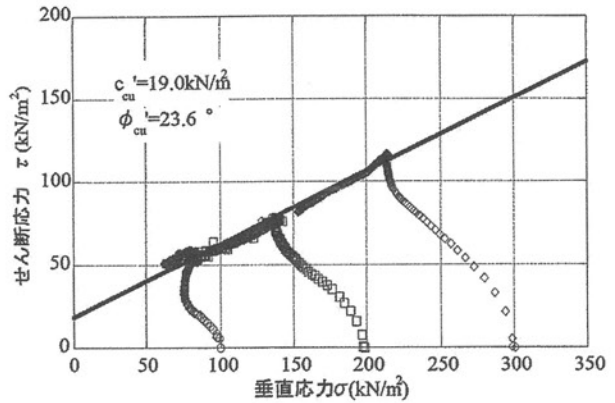


図-7 定体積一面せん断試験結果

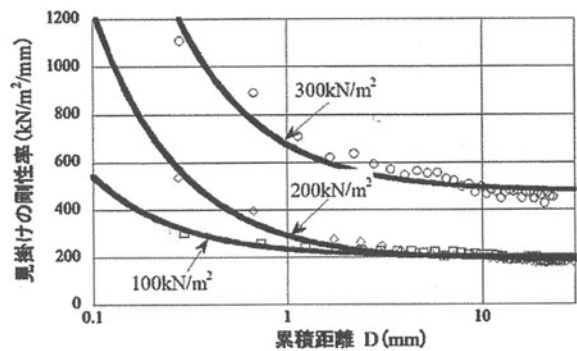


図-9 見掛けの剛性率と累積距離の関係

動を呈し, CD 試験と類似した傾向を示した. また, この結果から得られた強度定数は, $c_{cu}'=19.0\text{kN/m}^2$, $\phi_{cu}'=31.0^\circ$ であった.

図-8 は, 3 供試体を供した繰返し試験結果の一例である. この結果から, 変位増加に伴う変形状の変化を見るため, 繰返し過程中的除荷過程について(せん断抵抗力/せん断変位)比を求めて見掛けの剛性率を求め, せん断変位との関係として, 図-9 に示した. これから, 変位増加と共に見掛けの剛性率が急激に低下し, 累積距離が 10mm 以上で, それがほぼ一定とみなせる傾向が認められた.

4. 素因から見たすべりのメカニズム

(1) 荒砥沢地すべり荒砥沢試料は, 図-4, 5 の結果から, 強度定数 c_{cu}' の値が大きく岩石的な性質を呈する固結したものであった. また, 梅村・原ら³⁾は, この試料を対象に三軸繰返し載荷試験を実施し, 大きなひずみまで剛性を保持する性質を有すること, 剛性の低下が軟化ではなく, ネッキングの様相を呈することなどを報告している. これらのことから, この試料で構成される層準でのすべり面の発生は,

地震による繰返し载荷に伴う間隙水圧の上昇といった、液状化に準ずるようなメカニズムが直接的な原因ではなく、単に、大きな地震力が作用して、この層準の上位の地層に大きな力が作用し、この層準に大きな変形を生じたことによる破壊であると解される。

そしてその後、前述したように変形の進行に伴い負のダイレイタンスを呈する性質を持っていたために、間隙水圧が上昇して有効応力が低下し、結果として大きな移動量を示したと推察される。

一般に固結した土は、せん断変位の増加に伴い上載圧も増加し、正のダイレイタンスを示す。表-3には、乱さない試料と乱した正規圧密状態でのそれとの供試体の間隙比を示した。乱さない試料の間隙比は、乱した試料の間隙比よりも大きい状態であった。すなわち、荒砥沢試料は緩詰め状態で埋没し、地質学的な作用でそのまま固結したものと考えられ、そのために一般的な土とは異なる挙動を示し、この点が今回の地すべりの素因として、その事象に影響したのであろう。

図-10は、ピーク後の挙動に着目し、図-5の結果からピーク後のせん断変位の増加に伴う上載圧の変化を示したものである。CU条件での一面せん断試験では、上載圧の低下が発生する間隙水圧と等しいと仮定しているのこの図から、ピーク後に大きな間隙水圧が発生する傾向を示す土であることが分かる。しかし、本文では一面せん断試験を採用し、せん断面の幅が狭いために、その定量的な把握が困難である。今回の地すべりでの全体のメカニズムを把握するためには、この点を反映したモデル化と、それに合わせた実験的検討と検証が必要であり、今後の課題であると考えている。

(2) 冷沢崩壊

冷沢試料も荒砥沢試料同様、大きな抵抗力を呈し、また、繰返しせん断試験でもせん断変位の増加に伴うせん断抵抗力の低下は認められなかった。これらのことから、この試料で構成される層準でのすべり面の発生は、荒砥沢試料同様、単に大きな地震力が作用したことによりこの層準の上位の地層に大きな力が作用したために、この層準が大きく変形されたことによるものといえる。そして、図-9に、せん断変位の増加に伴う見掛けの弾性係数の変化を示したが、変形が進むにつれ弾性係数が低下して、変形が大きくなり、結果として破壊したと解される。

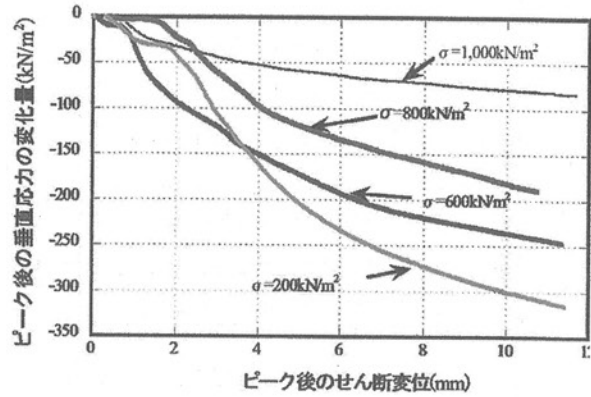


図-10 ピーク後の上載圧の変化量とせん断変位の関係

そしてその後、荒砥沢試料同様乱されることによる負のダイレイタンスを呈する性質を持っていたために、変形に伴い間隙水圧が上昇して有効応力が低下、またスラリー化も生じて、結果として崩壊で崩土がほとんど残らない状況になったと推察される。

また、CD条件での図-6で、上載圧が150 kN/m²程度以上になると、ほぼ同じ体積変化挙動を呈するようになり、体積変化量は上載圧に依存しない傾向を呈した。これは上載圧150 kN/m²程度でスラリー化が生じたためと思われるが、未確認である。荒砥沢地すべり同様、全体のメカニズムを把握するためには、この点を反映したモデル化が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、林野庁東北森林管理局の江坂 文寿氏には、現地の立ち入りや資料の提供などで便宜を図って戴いた。また、(社)日本地すべり学会東北支部の諸氏には、現地調査で協力い戴いた。ここに記して、厚く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 千葉他 11名:4.3.2 荒砥沢ダム上流で発生した大規模地すべりと変位地形, 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書, 4.地盤災害, 4.地すべり, 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会, 2009.
- 2) 農水省迫川上流農業水利事務所: 荒砥沢ダム技術誌, 農水省迫川上流農業水利事務所刊, 1999.
- 3) 梅村順・原勝重・橋本桂弥・石塚陽人・芦田未来矢: 栗原市荒砥沢地すべり地と南耕英冷沢斜面崩壊地に分布する凝灰質土の地盤工学的性質, 東北地域災害科学研究第46巻, pp.143-148, 2010.
- 4) 東北森林管理局: 岩手・宮城内陸地震に係る荒砥沢地すべり対策と大規模地すべりにより出現した地形・景観の活用に関する検討会報告書, 2010.

(2010.5.14 受付)