

東北地方で発生した近年の地震被害の特徴について

風間 基樹
東北大学大学院工学研究科
土木工学専攻 教授



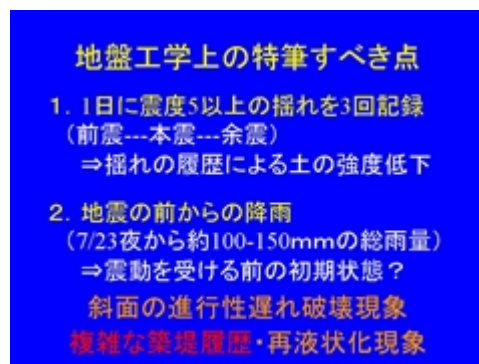
話題提供を2つ用意させていただいています。一つは「岩手・宮城内陸地震」、2008年6月14日に起こった地震で、山地災害に分類されます。ですから、河川といっても河川の上流から中流くらいまでの話です。もう一つは「宮城県北部地震」、鳴瀬川の下流で起こっていますので、これは低地で起こった地震災害です。これは7年ほど経ちますが、堤防の話に関係します。堤体の水分のモニタリングをしていますので、この話を初めにさせていただきます。

被害自身は地盤工学会から半年後に調査報告書が出ています。このときに何が問題だったかといいますと、1日に震度5以上の揺れを3回記録したのが特徴です。地図の真ん中の本震が一番大きくて、前震が夜中の12時ちょっと過ぎ、本震が朝方、余震がその日の夕方に起こっています。揺れの履歴による土の強度低下が関係したかもしれません。

それから、もう一つ特筆すべきことは、この地震は7月26日に起こったんですが、3日前の23日の夜から約100mmから150mmの総雨量

の雨がありまして、比較的雨が降っていた状態で震動を受けたので、震動を受ける前の土の状態が気になるところだったわけです。それと、斜面崩壊もたくさんありまして、斜面の進行性遅れ破壊の話と、後で話しますが、鳴瀬川の堤防を開削しましたら、築堤履歴によって断面が短い範囲で違っていたとか、ここでは話しません。再液状化現象もたくさん観察されました。

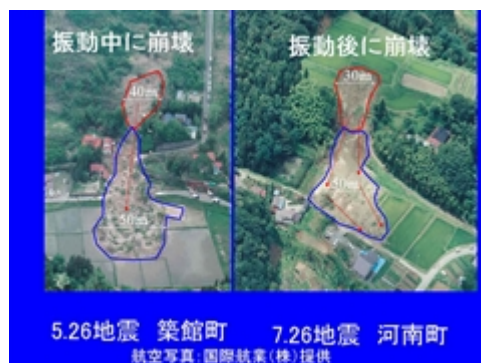
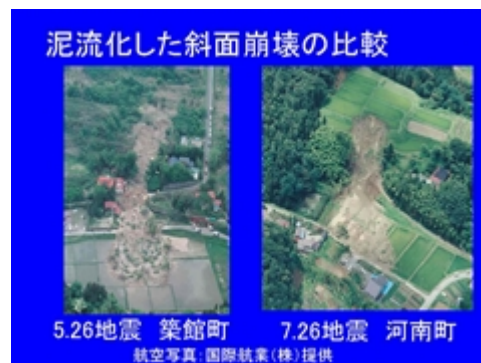
実はその年は5月26日と7月26日、それから9月26日に大きな地震が発生していて、



9月26日は十勝沖地震が起きました。2か月おきに26日、26日、26日で起こったという一連の地震です。そのうちの5月と7月の地震は宮城県に被害をもたらしています。5月26日の地震で注目されたのは、築館町の農地の盛土が流動的に壊れて、破壊したことです。それから、7月の地震では、河南町で同じような規模の斜面崩壊で土が流れ出しています。大きさ、規模等は同じくらいです。ところが、これは同じように見えるんですけど、こっちの斜面は、震動の最中に流れたことがわかっていまして、他方は揺れが終わってからどっと崩れたことがわかっていきます。

これが今の2つの斜面の比較したものです。どちらも砂質土で構成された埋土です。この頃から谷の盛土とかの危険性が非常に注目され始めました。盛土としては、砂が50%以上入っているのです。砂質土の分類になりますが、シルトや粘土分も20%ぐらい入っていて、きれいな砂というわけではありません。

これが河南町の西猿田というところで起こった盛土の崩壊です。よくあることですが、沢部を盛り立てますと、盛ったところの舌部というか、下流側に池ができていくことが多く、この2つの例ともそういう場所です。

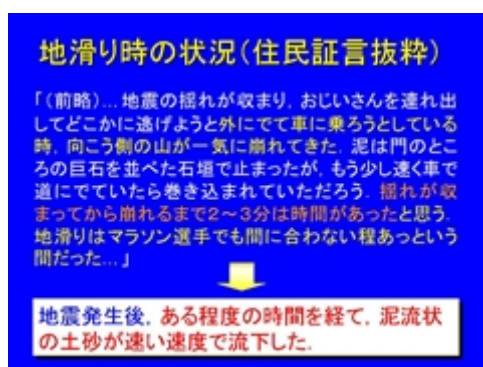


5/26築館町と7/26河南町の斜面崩壊の比較
相違点

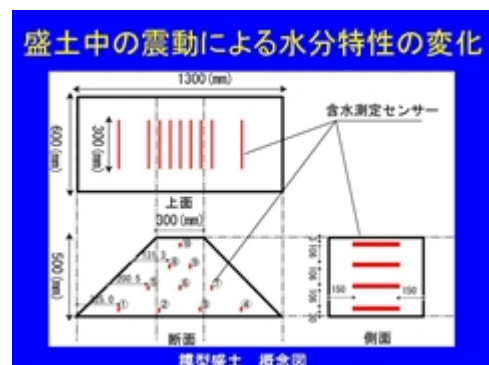
項目	5/26地震: 築館町	7/26地震: 河南町
土質	土質分類名	軽石混じり火山灰質シルト質(砂)
	土粒子の密度	2.31-2.43(軽石) 2.70-2.71
	粒度分布	レキ(2mm~)
		砂(75μm~)
		シルト(75μm~)
崩壊の状況	崩壊部斜面の角度	約7度
	崩壊のタイミング	振動中
	降雨の有無	地震前の降雨なし
崩壊の経路	崩壊の経路	本震による震動のみ
		本震前に大きな崩壊



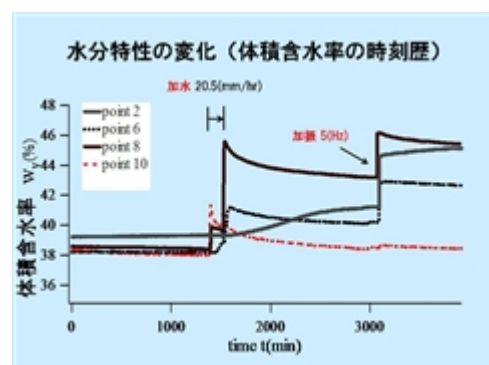
それから、地震の後に滑ったというのは、その前に位置する家の人の証言がありまして、地震の揺れがおさまって、家人を連れ出して逃げようと外へ出て、車に乗ろうとしているときに、向こう側の山が一気に崩れたということです。泥は門のところで巨石を並べた石垣でとまったのですが、もう少し早く車で出ていたら巻き込まれていたということで、揺れがおさまってから崩れるまで 2、3 分くらいタイムラグがあったということで、地震が終わった後、崩れ始めたということがわかっています。ですから、地震動そのもの、いわゆる慣性力が破壊のトリガーではなく、震動による土の強度低下が主因と考えられます。



我々が疑問に思ったのは、斜面は水でつかっているわけではないので、いわゆる飽和土の液状化現象と違います。湿ってはいるが不飽和状態だろうということで、最初はよくわからなかったんですが、こういう実験をしました。盛土をつくって、盛土の中に水分センサーを入れておいて、揺すってやります。このとき水分センサーがどんなふうに反応するかを最初、振動台を使って見ました。



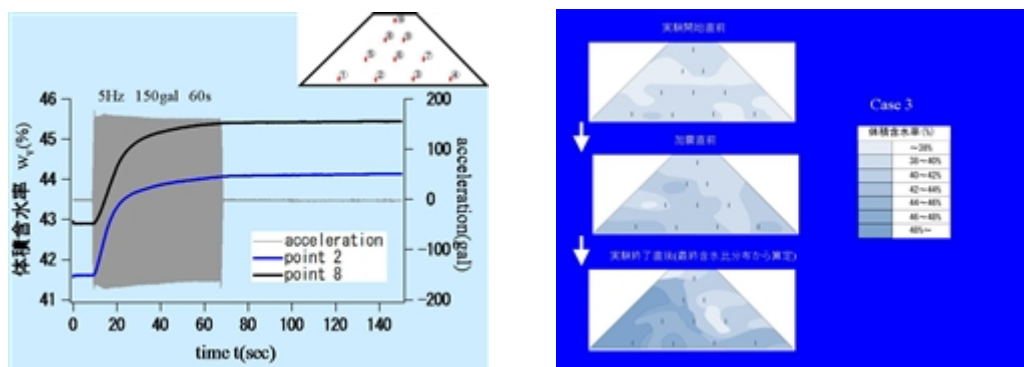
この図は、これは横軸が時間で縦軸が水分センサーの体積含水率ですが、揺すってやると、センサーで感知した水分量がぐっと立ち上がっていますね。ということは、土中には初期にある水分量があるわけですが、揺すられると、水分センサーが感知するほど外に出てくるということになります。トラップされていた土が外に出てくるという



ようなことがあるということがわかったわけです。これは力学的にはサクションが変化することと同じですが、一種の液状化といえます。飽和土ではなくても揺すられて土が液状化のように強度を失うことがあるということがありそうだということがわかったわけです。

これは振動台実験ですけど、その後で要素試験によって不飽和土の繰返し三軸をやりますと、空気がつぶれて、空気圧が間隙水圧と同じになって、それが全応力と同じになれば液状化するということがわかりました。不飽和土であっても飽和土の液状化と同じように取り扱いができるということがわかっています。

この図は20秒から60秒間揺すったときの水分量を表していますが、水分計がポイント2とポイント8でぐっと上がっているのがわかります。これが水分量の変化です。実験開始直前と加振終了時で、コンターを書くこんなふうに変化していったということです。



それで、今の一連の話で、地震発生前の盛土とか斜面の初期状態がどうなっていたかによって結構地震時の安定性も変わってくると考えられたわけです。地震前の土地の水分含水状態とか保水状態が非常に土地の安定性に関係しているということがわかったのですが、それを定量的にどう評価するかはまだ緒についたばかりです。

一方、先ほどの図で左側に示した斜面は火山灰質砂質土で構成されたものです。皆さんご存じのように、火山灰質土は保水性と粒子破碎性という特徴があります。この特徴がどのように影響するかという辺も研究はしています。粒子破碎性については、まだ突っ込んだ研究はしていません。

不飽和土の繰返しせん断特性と細粒分の効果については、要素試験でかなり明らかにしました。細粒分の効果についてはまだ一部やっていないところがあります。崩壊土中の粘土分も関係していると思っていますが、これにつ

課題

- (1) 地震発生以前の盛土や斜面の初期状態の把握
地震前の土の含水状態や保水状態、等
- (2) 火山灰質砂質土の土質動力学特性や保水性、
粒子破碎性などの把握
- (3) 不飽和土の繰返しせん断特性と細粒分の効果
- (4) 崩壊土中の粘土分の化学的性質の把握と力学挙動との関係
- (5) 振動後の斜面崩壊メカニズムの解明

いてもまだやっていません。

もう一つは、震動が起こった後、遅れて破壊するというメカニズムについても一部研究していますが、全容を解明しているわけではありません。

今回の地震のときに、河川堤防も被害を受けています。

先ほど3回震度5を生じた地震があったと言いましたが、ここの丸印が3回の地震の震源です。これが鳴瀬川で、南が太平洋です。こちらが吉田川で、鳴瀬川と吉田川が、途中で一緒になります。これが背割堤があって、分かれて流れています。これは旭山撓曲というところの断層なんです、震源がここにありますが、当然鳴瀬川のほうが近い



ので、ここに赤丸で示したように鳴瀬川に多く堤防の被害が発生しています。

ところが、佐々木先生もよくご存じなんですが、1978年の宮城県沖地震のときは、実は吉田川の堤防のほうが集中的にやられています。今回、鳴瀬川の堤防だけがやられて吉田川の堤防は無傷だったわけです。多分、震動自身が弱かったものとは思いますが、その答えは私もはっきりわかりません。

この写真は典型的な地震による堤防の被害を示しています。このように堤頂部にクラックが入り、段差が最大で2mから3m生じています。



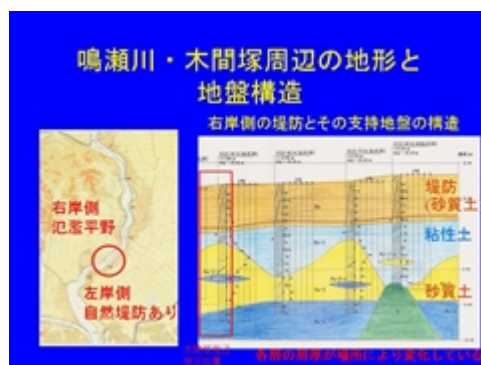
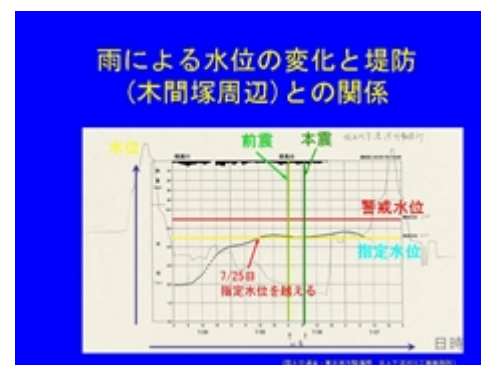
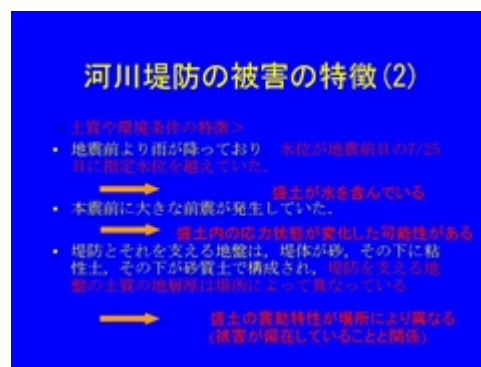
先ほども申しましたが、地震の前から雨が降っていて、盛土が水を含んでいた可能性があるということと、本震前に大きな前震があったので、盛土内の応力状態が変化した可能性があります。また、盛土とそれを支える地盤は、堤体が砂で、その下が粘土、その下が砂質土で構成されていると書いてありますが、実はこの

基礎地盤はやや複雑でして、場所によって10mから20mほど非常に軟弱な粘土が堆積している場所もあります。そのために、盛土の振動特性が場所によって異なり、被害が偏在したとも言われていました。

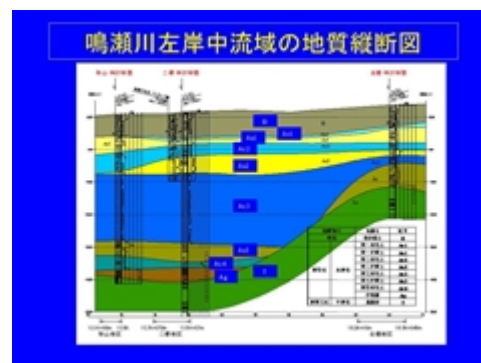
次に、水位との関係です。この図の横軸は7月24日、25日、26日とありますが、警戒水位が赤で黄色が指定水位を示します。指定水位を超えた状況で地震が起きました。すぐ水防団が出て、クラックが生じたところは全部ブルーシートをかぶせる対応をしています。私も6時間後ぐらいに現場に行ったのですが、もう堤防は見えない状況でした。

特徴としては、指定水位をちょっと超えたくらいのところで地震があったというわけです。先ほども申し上げましたが、この地域は軟弱粘性土の溺れ谷を埋めたようなところになっています。それから図を見ていただくとわかりますが、過去に氾濫があって、旧河道や自然堤防が発達しています。この川の東側は、美里町という名前ですが、その当時は、南郷町という町で、この町は最大の標高でも4mくらいしかない標高の低いところに位置する低地の町です。ここら辺はすべて水田です。

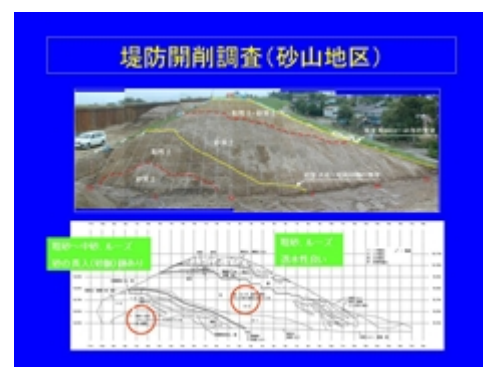
この図は微地形です。堤防は、微地形上の区分で言うと、氾濫平野に位置しています。旧河道上に位置しているところもあります。基礎地盤にはAC3という軟弱粘土層が堆積しています。鳴瀬川の西側には品井沼という沼地がありまして、かつて鹿島台町が水害を



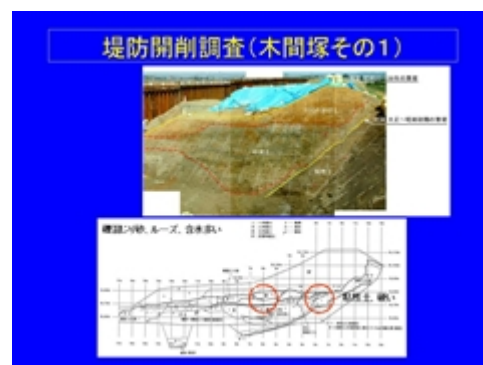
受けましたが、町は非常に水害に敏感なところでもあります。現在、二線堤という堤防を整備している最中です。



それで、堤防は幾つかの箇所が壊れましたが、それを復旧するときには、二重締切堤を作って、壊れたところは“切り返し”という、開削をして盛り直すという作業をしています。これは砂山という地区のものです。この堤体を見ていただくとわかりますが、こちら側に砂質土があってこちらに粘性土があって、その上にまた砂質土があって粘性土があるというふうになっています。この堤防は過去に2回から4回、堤防をかさ上げしています。その築堤履歴によって、片や粘性土があって片や砂質土があったりというような構成になっています。



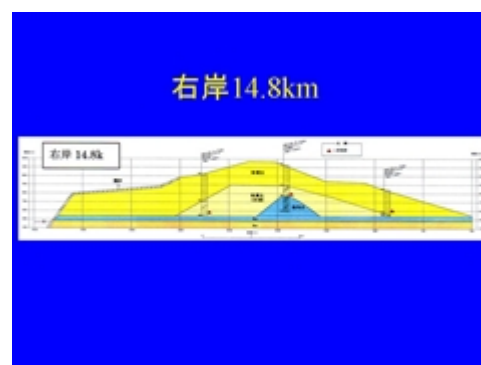
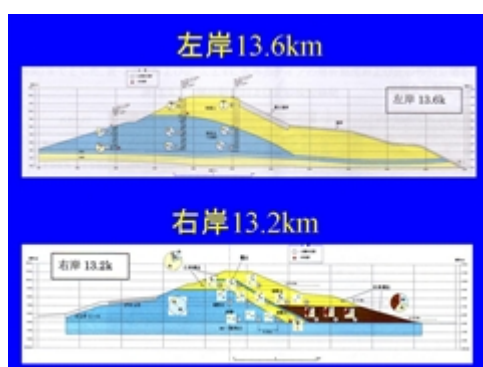
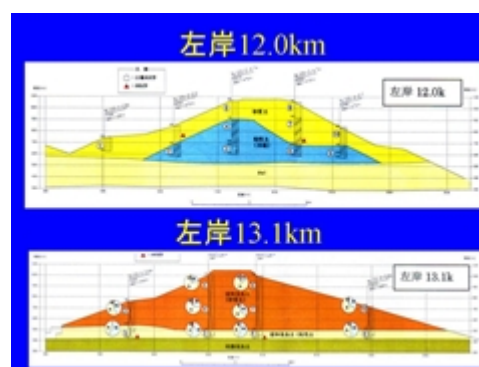
では、必ず断面がこのような構成になっているかという、実はそうではありません。ここは、木間塚という地区です。堤防の川表側に粘性土があって、こちら側に砂質土があり、その



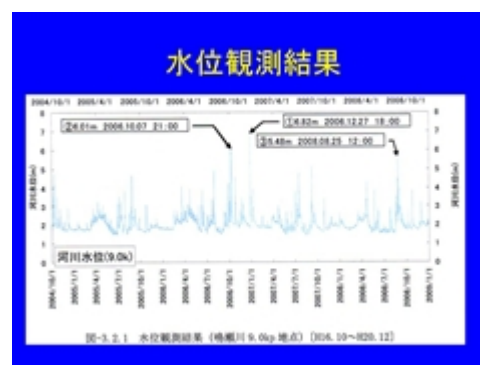
上に、復旧土が、あるというふうになっています。以前、中島委員にご説明していただいたような築堤履歴のパターンがこの鳴瀬川にはいくつも出ているという状況でした。

復旧は、腹付の盛土をかさ上げしたり、あるいは切り返し工を行います。北上川下流工事事務所さんに、盛り直した堤防に水分計と水位計を入れていただきました。これは左岸の12kmのところ。これは粘性土で、その上に砂質土が盛ってあるんですが、△が水位計で○が土壌水分計を入れていただいていた地点です。そういう箇所が5カ所ほどあ

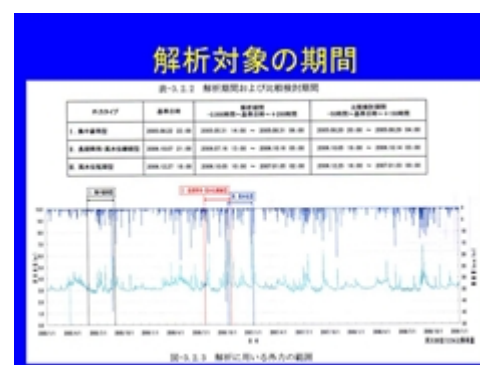
りまして、左岸の 13.6km、右岸の 13.2km、それぞれパターンが違うんですけど水分計が入っています。これは 14.8km 地点です。3 年間ほど、堤防の水位観測と土壌水分計による観測をコンサルタントがしています。2004 年 10 月から 2009 年 1 月までの 5 年間のデータがあります。



これは鳴瀬川の水位の観測結果です。これを見てわかりますが、2004 年以降、大きな出水がなく、最高でも 6.82m でした。警戒水位の 5.5m は超えています。



水位のデータに加えて、同時に水分計のデータもあります。これが雨量と水位の関係です。ここでは、集中豪雨型の雨が降った場合とか、長期間雨がしとしと降った場合、高水が出て継続したものの 3 つのパターンをとって、堤防の水分量をモニタリングしたデータを分析しています。コンサルがやった結果では、合っているところもありますし、合っていないところもあるということです。築堤の履歴や断面がわかっているけど、やはり物性、透水性や不飽和透水係数の評価が結構難しく、必ずしも観測データを、今のところぴたり説明できるシミュレーションができていないという状態です。



2つ目の話題に入ります。岩手・宮城内陸地震は先ほども申し上げましたように山地災害に分類されます。地盤災害としては、荒砥沢の地すべりと土石流と河道閉塞があります。これを全部話すと1時間以上かかりますので、河道閉塞の話が河川に関係あるので、それを中心にしたいと思います。

報告としては、DVD ができています。GIS ベースで被害が全部入っています。

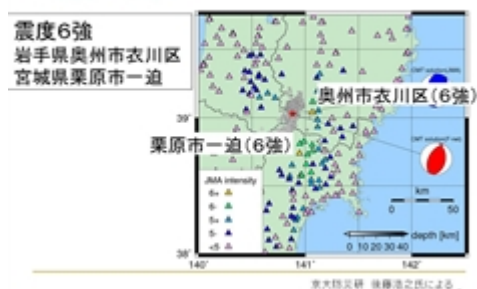
ここが震源ですが、山の中には地震計がありません。ですから、地震計が記録しているといっても、断層直上でとれた記録はありません。

今回、この地震で震度6強を計測したのがこの黄色のマークの奥州市の衣川と、栗原市の一迫です。この波形が一関西の観測点でとられた記録ですが、最大加速度が3,866ガルです。この値は上下動ですが、水平動と合成すると4G以上となります。日本で最も、大きな加速度を記録したものになっています。先ほども申し上げましたが、この地点は震源の直上というわけではないので、震源の直上での記録はもっと大きいかもしれません。

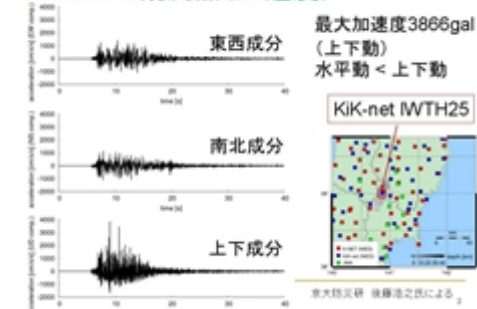
今のは加速度ですが、この図は変位を示しています。加速度を2回積分して変位に直したものです。逆断層は、西側が1.5m上に上がって、東側が0.5m沈降しているので、相対的に2mのギャップの逆断層の地震です。西側が1.5m上に行って、東側が0.5m沈降しているので、当然、東側よりも西側のほうが揺れは大きいわけです。逆断層の地震は一般的に上盤側のほうが大きく揺れるとい



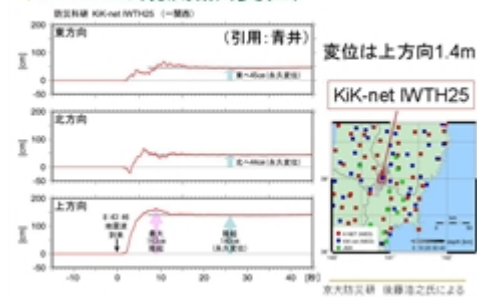
地震の概要



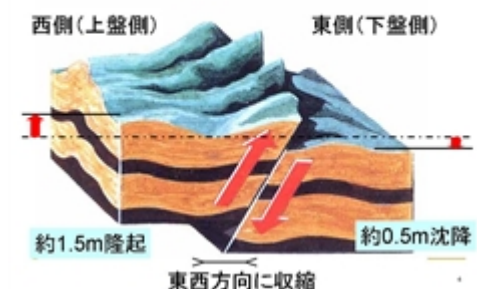
IWTH25観測点(加速度)



IWTH25観測点(変位)



逆断層の動き(南側から見たところ)



うことがわかっています。

特徴としては、ここに書いた4つのことがあります。地質的な特徴としては栗駒山のまわりのこの濃い茶色の部分が溶岩です。栗駒山から噴火した溶岩はちょうどソフトクリームにチョコレートのカップをしたようなものです。ピンク色ののが火山灰です。この図に、地表断層を書くと点線のようになりまして、断面図はここから西側のほうに潜り込んでいます。斜面災害が起こったのは、この断層より西側で、なおかつ栗駒山の溶岩を囲むような領域で大きな被害が起こっています。ここにマークが書いてありますが、斜面災害が起こった位置を示しています。まとめると、断層の上盤側の第四紀の溶岩の周辺領域で被害が多かったことがわかっています。

もう1つのトピックは、土石流です。ドゾウ沢という沢の源頭部の斜面が崩壊して、沢を一気に流れ下って、5km 下流の駒の湯をのみ込んで、ここで7名の方が亡くなっています。

荒砥沢の地すべりは、約1km くらいの長さがあります。右側の写真は、磐井川の市野々原で生じた地すべりが、磐井川をせきとめた天然ダムを示しています。

地盤災害の特徴

- 火山帯山地で発生したM7級地震
(地質的・土質的要因)
- 逆断層上盤側沢部の斜面崩壊
(河道閉塞、膨大な不安定土砂が発生)
- 震源域での巨大地すべり
(荒砥沢ダム上流部に発生した巨大地すべり)
- 地震による土石流災害
(駒の湯を襲った土石流)

栗駒山周辺の地質と地盤災害



土石流: 水と土塊・岩塊が一緒になって速い流速で長い距離を流下する運動形態



2008/6/15 駒の湯付近

源頭部を望む

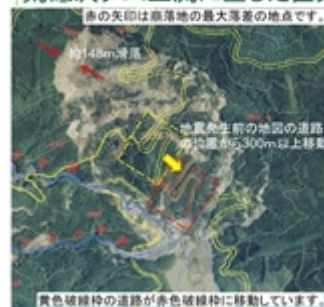
地すべり: 一般に規模が大きく、永年にわたるゆっくりとした移動形態をとり、傾斜の緩い場所でも発生し、持続性・継続性のあるものを言う。地震を原因とした場合このような定義は必ずしも当てはまらない。ここでは規模が大きく、すべり面が比較的緩い傾斜を持ち、移動した土塊の乱れが少なく原形を保っているもの。



2008/6/28 荒砥沢上流部

磐井川流域 市野々原地区

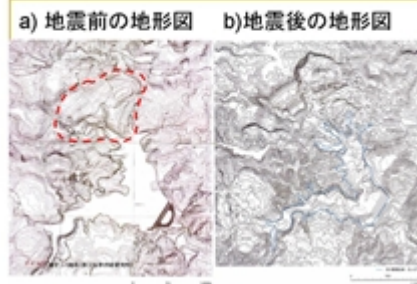
荒砥沢ダム上流に生じた巨大地すべり



(国土地理院 HPより)

荒砥沢の地すべりは地すべり屋さんは非常に興味があるところです。この図はDEM、デジタルエレベーションモデルで、左側が地震前の地形図、右側が地震後の地形図です。地震前に宮城県は、地すべりマップを地形図から作っています。そのとき判読されたのが、この左側の赤い点線で示した領域で昔地すべりがあった跡ということになります。

荒砥沢ダム上流のDEM



荒砥沢の地すべりは、過去の地すべりのところが縦に割れたような領域で壊れていますが、まるっきり同じ場所の斜面のすべり面をトレースしたわけではなくて、縦長にずれて地すべりが起こっています。

下流に荒砥沢ダムがあります。これは農水省の作ったダムです。このダムが10年ほど前にでき、湛水領域があります。最初、このダムをつくったから、地すべりを誘発したんだという言う方もいらっしゃいました。

今はその説は主流ではありません。なぜかを少しご説明します。

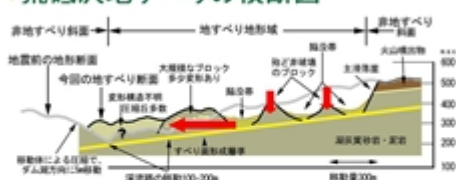
荒砥沢ダム上流部に生じた巨大地すべり



さきほどの地すべり地形の図で、ここに判読した地すべりラインが見えます。このラインが昔の滑った地すべりの位置です。それに対して、今回、滑ったところはここですから縦長になっているわけですけど、たまたますべり面の西側も滑っています。この崖すいのところに茶色のところが見えるのがわかると思います。地層断面は、ここが白くてここが茶色です。つまり滑った断面を直角に切るような形で別のすべりが起こっているのでもこの断面が出てきたんですが、この部分が茶色くなっているのがわかると思います。

それを覚えておいていただいて、過去の地すべりから現在の地すべりまでの過程がどの様に推定されているかという、こうなります。6万年とか7万年とかという昔に、このように軽石凝灰岩の上に溶岩が流れて、このような地層を形成します。その後、先ほど示した地すべり地形で見たような最初の地すべりが5万3000年より前に1回起

荒砥沢地すべりの横断面図



- すべり面の角度は緩い(2度)
- すべり面は軽石凝灰岩層の下に位置
- 移動体の衝突の衝撃波形が地震観測波形に(?)

日本地すべり学会による

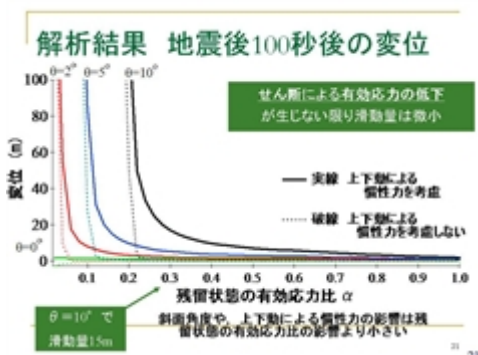
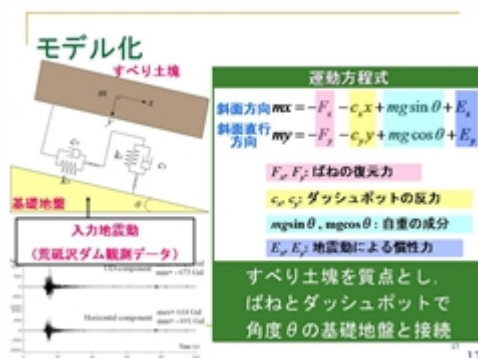
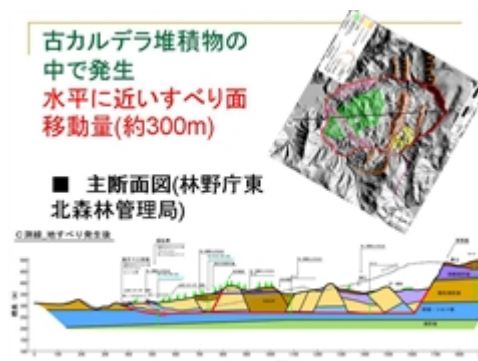
こっています。そこにできたくぼみのところに先ほどの茶色の堆積物が埋まったと推定されます。

5 万年の間に、ここの滑ったところの舌部、端部のところの土砂が侵食によって削られます。そして谷や沢になります。単純に言うと、侵食によりカウンターウェイトが取られたために、今回の地震で再び滑ったというのが地質学的に考えた地すべりのシナリオです。

まとめると 5~6 万年前に 1 回起こった地すべりが、長い年月をかけた侵食が原因で 5~6 万年後の今回、再び滑っているのです。ダムのあるなしは本質的に関係ないと言えます。

次に、300m 滑るにはどういうことが起こらなければいけないかということを考えてみます。簡単にすべり計算してみます。何をやったかという、荒砥沢ダムで地震記録がとれていますので、この荒砥沢ダムの地震動を用いてすべりブロック解析をします。すべりブロック解析では、真っ平らなところに置かれた物は、地震が来て、右に行ったり左に行ったりします。地震が終わったときには、あるところでとまります。ところが、斜面では、滑り台を一方方向に滑って行きます。今回、すべり面の傾きが 2 度から 5 度程度なので、非常に緩い角度です。

そこで、滑ったと思われる層の土をサンプリングして単純せん断すると、有効応力が減ると、せん断抵抗が減っていきませんが、どのくらい減らないといけないかということを計算します。横軸は α という値です。例えば $\alpha = 0.1$ は、有効応力が常時から 9 割減って 0.1 にまで減ったということ、すなわち、有効応力が 0.1 になった状態を示します。その状態ですべり計算をすると、これだけすべりますということが示してあります。



これを見ていただくとわかりますが、地震が終わったときに、300m 滑るためには、揺れている間だけ滑ったのでは 300m はとても行きません。ですから、地震動だけですりを説明することはできません。結局何を言いたいかというと、300m 滑るためには、すべり面の土の強度、有効応力が 0.05 よりも小さく 0.02 くらい

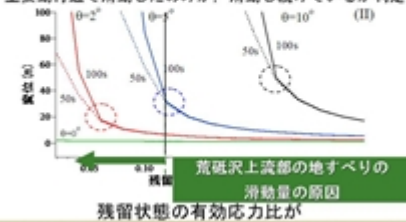
にならないと、300m 滑らないということです。ですから、地震動は滑りを起こす誘因ではあるんですが、300m も滑るためには、土の物性が滑っている間中、95%以上有効応力が低下したままでないと滑らないということです。すべりの計算からそういうことが推定されます。

次にロックフィルダムの地震による被害の話です。縦軸が天端の沈下量で cm、横軸がダムの高さを示します。今回の地震は山地で起こっているので、ここに示したダムがあります。例えば荒砥沢ダムだと、ダムの高さが 75m で天端が 20cm 沈下していますからマークがここにプロットできます。また、石淵ダムでは、堤高が 50 数 m で沈下が 50cm くらいですからここにプロットできます。というふうにすると、断層の東側の宮城県側に位置するダムは、体積ひずみにして 0.2%くらいしか沈下していないのに対して、石淵ダムは 1%くらいになっています。一方、フィルダムに大きな被害が出た例としては、新潟中越地震のときの JR の山本調整池というところで、堤高が 40m に対して 80cm の沈下が発生した例があります。ですから高さに対して 2%くらいの沈下量があると被害として顕在化することが経験的に言えます。今回、ダムはそれほど大きなハード被害にはなっていません。

次に土石流の話になります。沢の源頭部が壊れて、沢を下ったわけです。これが駒の湯です。駒の湯の東側に沢があったことがわかります。地震が起こったときに、駒の湯の沢をはさんだ対岸の斜面が壊れたのです。対岸の山が崩れたために、

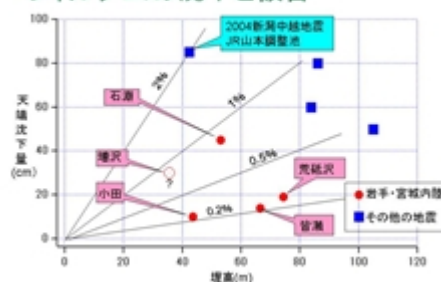
解析結果 変位の比較

50秒後と100秒後の変位をプロットして比較し
主要動付近で滑動したのみか、滑動が続いているか判定



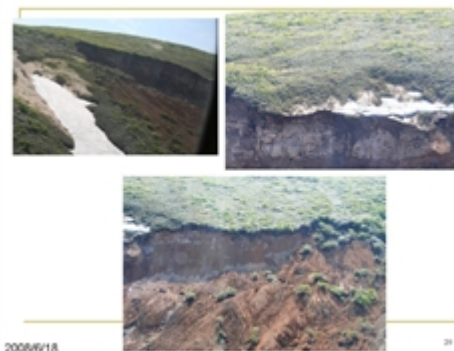
22

フィルダムの沈下と被害



沢をその崩れた土砂が埋めて、上から下ってきた土石流がその谷に埋まっていた土砂に阻まれて、西側の温泉旅館のほうに土石流が来たのです。7 名の方が埋まって亡くなりました。地震が起こってから 10 分くらいで流れてきていることがわかっています。4.8km を 10 分なので、平均時速としては 30 キロくらいのスピードで、標高差は 800m を下っています。駒の湯付近は 35m くらいの厚さの堆積がありました。

この写真は源頭部ですが、ここで崩れて対岸の尾根を乗り越えて、さらに下っていますが、この雪渓が茶色い泥しぶきをかぶっているのがわかります。崩れた途端に泥流化しているような状況だったということが推定されます。



これが 2 カ月後に行ったときの写真です。

駒の湯の堆積土砂は一面、茶色く見えていますが、この中にはブナの巨木や大きな石がいっぱい入っています。これはブナです。



これは、流れの断面ですが、源頭で崩れたところは、約 22 度くらいの斜面ですが、土石流がとまった行者滝というところは、約 2 度から 3 度の角度です。通常、土石流は勾配が 2 度から 3 度くらいのところにとまると言われていますので、それと大体整合しています。高低差で 1km、水平距離で 10km となっています。



次に本題の河道閉塞です。この地域は大きな川が 4 つありまして、1 つは磐井川という下流に一関がある川。この川です。それから、宮城県側に来て、一迫川と二迫川と三迫川というのがあります。この図の赤マーク、青マークで示したのが河道閉塞が起こったところです。国交省は河道閉塞が 15 カ所起こったとしています。衛星画像で判読すると、50 カ所以上のところが河道閉塞しています。当然、1 つの水系で何カ所も閉塞していますが、山の上のほうは重機が入りませんから、物理的に対応できたところとできなかったところがあります。



- 産女川** (磐井川支流)
- 新第三紀砂岩が主体
 - 河道を約 260m に渡って閉塞



- 市野々原** (磐井川)



- ・約 700m に渡って河道を閉塞
- ・新第三紀砂岩・凝灰岩

例えばこの産女川という川は、河道を 260m にわたって閉塞していて、ここにダムができています。一番深刻だったのは市野々原地区でございまして、ここの地すべりが川を閉塞して上流が湛水しています。この下流側に一関市があります。谷が深いところにたくさん水がたまつたため、仮に決壊したときには、出水量が非常

に多くなります。下流に一関市がありますから、この水が越流して、天然ダムを壊すと一気に土石流で下ると大被害になるというので、国交省が早くから手をつけてバイパスの水路工をつくりました。

やろうと思っでできるところはいいんですが、そうできないところもあります。これは湯ノ倉温泉がある一迫川流域です。ここは 700m にわたって河道が閉塞されています。ここに赤い屋根が見えていますが、これが湯ノ倉温泉という温泉宿です。この温泉は知る人ぞ知る秘湯でして、ランプの宿で有名です。夜になると真っ暗な中で露天風呂に入るようなところです。3 階建ての家ですが、水没して、ここも壊されています。斜面が崩れて河道を 700m 埋めた箇所は、ここは間組が流路工をつくる工事を担当しました。その際、天然ダム堤体のボーリング調査もしています。自然にできたダムの土がどういう構成でどういう透水性を持っていたり、どういう強度を持っているかということが判らないと、例えば湛水したときに越流して崩壊するのか、あるいは浸透して崩壊するのか、あるいは越流しても大丈夫なのかということが判断できないんです。

ちなみに、そこで埋めた土砂をボーリングしてわかったことは、上のほうは非常に N 値が緩く、すかすかなのに対して、下はわりと岩塊が入っていて、ところどころ大きな礫、大きな石が出てくるという状況でした。上から 10m くらいは非常にやわらかいということがわかりました。

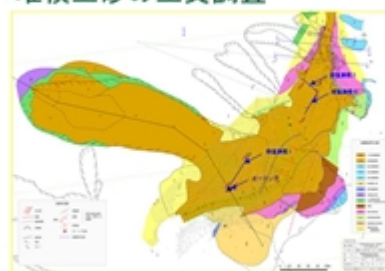
この図は横軸が月日、時間で、縦軸が水位の観測結果です。6 月 14 日のときに地震が起こって河道が閉塞されて、水位が 375m の標高から 395m まで上がります。20m 上がって、その後徐々に下がっているのは何をやっているかという、ポンプを持って行って、ポン

湯の倉



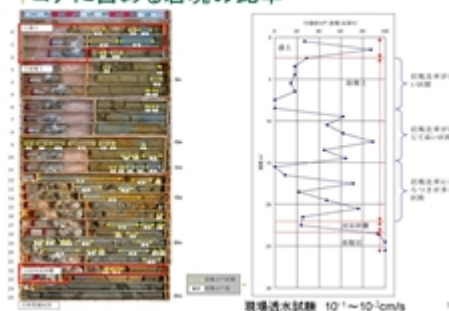
- ・約700mに渡って河道を閉塞
- ・新第三紀泥岩・砂岩・凝灰岩・火山碎屑物

堆積土砂の土質調査



ボーリングおよび表面波・電気探査の調査位置(地質図)

コアに占める岩塊の比率



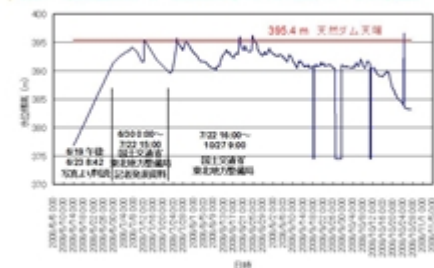
プで上流の水を下流に流しているの下がっています。1 日にドラム缶にしてかなりの本数の燃料を用意して水を排水するので非常にお金がかかって大変だったと聞いています。

それでもポンプでは排水し切れないほど雨が、10月 24 日に降りました。そのとき水位がここで一旦急激に上がっています。上がって越流して、先ほどの 700m のできた天然ダムが、高さにして 10 m 分、一気に侵食で持っていわれています。水位の記録は、雨が降って水位がぐっと上がって、その後一気に下がっていますが、このところは堤体が 10m 侵食されて持っていかれたために下がったんですね。当初、左の上のような写真になっていたのが、右上は V 字に開削されています。侵食によって持っていかれたところです。今は、右下のようになっています。そういうことで、破堤のメカニズムとしてはいろいろありますが、この場合は越流して高さ 10m 程度、侵食されたというものです。

今回の例では数百 m に及ぶ大規模な河道閉塞が多く、また樹木と大きい岩石を含むために、対策工事が非常に難航しました。幸いなことには、閉塞河川の下流にはいずれもダムがありました。流出土砂とか水が出ているんですが、ダムがバッファーになったので、ダム湖でとめられています。結局、大事には至らなかったわけです。しかし、皆さんご存じのように、善光寺地震というのがあって、その際にはものすごい被害が起こっています。天然ダムができたときに、せきとめた土量と湛水量の関係をダムファクターといいいますが、これが大きいと、決壊したときの被害もそれに比例して大きくなります。

天然にできたダムの安定性をどういうふうに考えるかというのもよくわからないところです。上流側のほうは何も手をつけなかったら壊れなかった事例もあるし、手をつけたばかりに壊れた事例もあります。

湯ノ倉温泉の堰止湖の水位の時刻歴



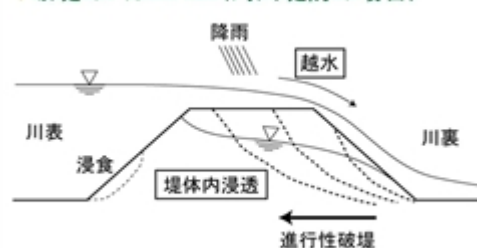
10月24日に堤体が侵食

24日2:00~21:00時の累加雨量が106mm、強度以後最大の連続雨量

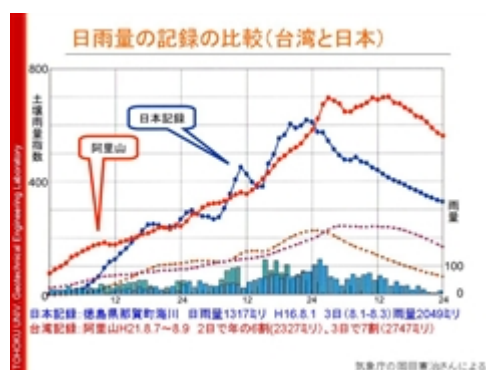
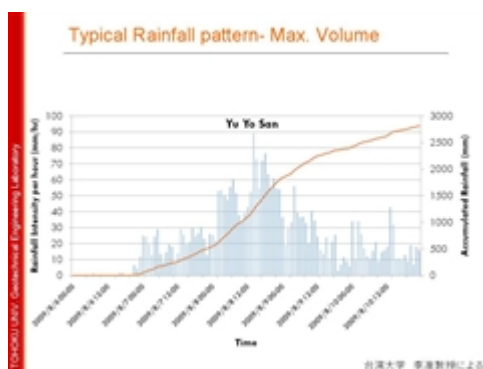
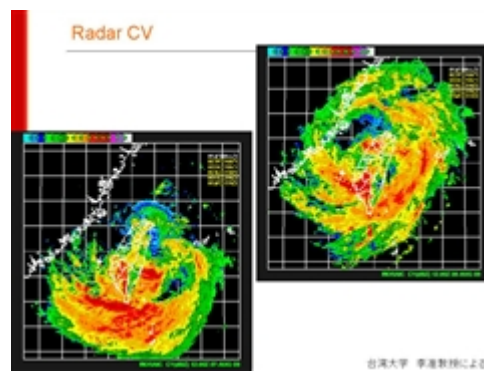
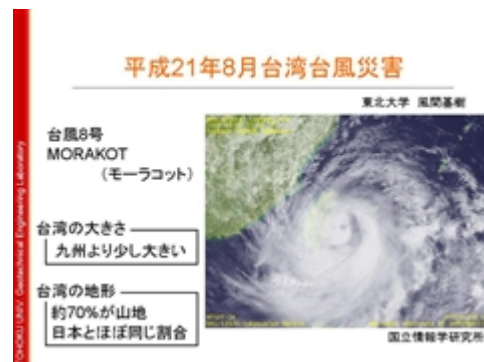
右岸上流から左岸下流を望む



破堤のメカニズム(河川堤防の場合)



最後に 21 年 8 月の台湾の台風災害について紹介します。これはモーラコット台風といますが、去年 8 月に起こった台風です。台湾に 8 月 7 日から 8 月 9 日まで停滞しました。台湾全体が雲に覆われてしまうほどの台風で、台湾の南部で非常に大きな雨量が観測されました。この図がそのとき観測された雨量ですが、阿里山というところでは、3 日で 2,747mm を観測しています。ちなみに、日本記録は、徳島県的那賀町というところの海川というところで、3 日で 2,049mm 降ったという記録があります。これがその台湾の台風のとときの阿里山の記録ですが、3 日間で日本の年降水量に相当する量が一気に降って、大きな被害が起こっています。



9 月に行く機会がありまして、そのときの写真をお見せします。地震災害は広域で起こると感じていたんですけど、台風もこのくらいの大きさになると非常に広域で被害が発生します。橋が流されたり、土石流が起こります。この場所は 500 人が生き埋めになった小林村という場所ですが、衛星画像からの立体写真ができます



ので、これを見て下さい。

当初、家、集落がここにあったのがわかると思いますが、この上流部が崩れて集落が全部埋まってしまったのです。50m くらいの土砂が堆積して、ここに住んでいた 500 人くらいが亡くなっています。2 軒だけ外れて、残っています。



台風は日本よりは台湾のほうが強く、被害も大きいと思いますが、日本でも同様なことが起こる可能性はあると思います。これは台湾大学の先生からいただいた資料、写真です。

これは大変な災害でして、ものすごい土砂と水の量で、上流側も下流側も壊れています。これは下流側です。これは流された橋の桁です。これは土石流が一気に来たところになります。この映像は、ご記憶にあるかもしれませんが、河岸が侵食されて、ホテルが一気に倒壊した例です。



最後に、日台のセミナーが、今度 10 月に仙台にて行いますので、もしご興味のある方は参加していただきたく思います。

