

第5回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会 議事録

日 時：令和4年9月8日（木）午後3時から4時20分

場 所：県庁別館9階特別第1会議室

○事務局

それでは、定刻となりましたので、ただいまから第5回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会を開催いたします。

本日はお忙しいところご出席いただきまして、誠にありがとうございます。私、本日の司会進行を務めます静岡県交通基盤部砂防課の西川と申します。よろしくお願いたします。

今回、出席いただきます委員の紹介をいたします。次第をめぐっていただきまして、座席表をご覧ください。

土木学会中部支部を代表いたしまして、沢田委員でございます。

○沢田委員

沢田です。よろしくお願いたします。

○事務局

地盤工学会中部支部を代表いたしまして、小高委員でございます。

○小高委員

小高です。よろしくお願いたします。

○事務局

砂防学会東海支部を代表いたしまして、今泉委員でございます。

○今泉委員

今泉です。よろしくお願いたします。

○事務局

よろしくお願いたします。

それでは続きまして、発生原因究明作業チームを代表いたしまして、県理事の難波の方からご挨拶申し上げます。

○難波理事

委員の先生方には1年間ご指導いただき本当にありがとうございます。第1回の委員会を昨年9月7日で、今日が9月8日ですから1年と1日かかったということになります。その間5回の委員会を開催し、委員会だけではなくその間に非常に事細かに御指導、御助言をいただきました。本日最終報告書になるわけですが、その報告書についても御指導いただきまして、本当にありがとうございました。

この報告書をまとめることにしたのは、あのような災害を二度と起こしてはいけないということで、何が起きたのかの崩壊のメカニズムをしっかりと明らかにして、世の中に公表することは非常に大事だと思っております。被災された方々の無念、あるいは恐怖、それから御遺族、関係の方々の悲しみにお答えをする、その悲しみに思いをいたすと何が起きたのかをしっかりと示すことが大事だと思っております。そして、もう一つは社会全体への警鐘としてこういうことを受けるということを確認にしていく事が大事だと思っておりますので、そういった観点から検証をさせていただきました。それで委員の先生方に御指導いただくという形を取りました。今日、最終報告書の案を検討いただくわけですが、最終報告書はあくまで県として報告書を出す。その内容について、委員の先生方に御検討いただいたという形になります。今日報告書の案について議論いただいて、大きな修正がなければこれで最終報告としたいと思っております。

それから委員の先生方からも発信をしていただき、我々も資料を公開したことによりいろいろな方々から知見をいただきました。これについても感謝申し上げます。

それでは、今日の検証よろしく願いいたします。

ありがとうございました。

○事務局

ありがとうございました。

なお発生原因究明作業チームの出席者につきましては、座席表のとおりとなります。

また、会議終了後は同会場において、各委員および難波理事より記者説明を予定しております。よろしく願いいたします。

それでは次第番号2番第4回検証委員会の意見に対する対応状況を説明させていただきます。資料5をご覧ください。前回、各委員からいただきましたご意見につきましては、追加の調査や追記をしてございます。後ほど、各章ごとに説明をさせていただきます。

続きまして次第番号3番、数値解析結果についての説明に移ります。報告書の第7章になりますけれども、第4回委員会から、表題や項目名等を変更しております。また、吸水軟化現象についても、記載をしております。前回の委員会においてジオアジアにおける数値解析の説明をしていただきまして、名古屋大学の吉川さんに数値解析結果について、今回も説明をしていただきます。本日も、Webによる説明になります。

それでは吉川先生、よろしく申し上げます。

○吉川先生

前回の委員会の時と同じように変形解析コードジオアジアの概要について説明させていただきたいと思います。支配方程式としては、主に運動方程式、土骨格と水の質量保存式、土骨格と空気の質量保存式というものがあります。これらを連立して解くことで、土の間隙に水だけではなく空気も含む不飽和土に対応した慣性力考慮の有限変形解析手法となっていて、今回解析する降雨浸透や地下水流入による土の間隙が水で飽和化され、土が変形から破壊に至る過程を表現可能な手法となっております。また、この変形解析手法の特徴として、弾塑性構成式 SYS カムクレイモデルといったものを搭載しております。こちらは粘土から砂までの広範囲の土の力学挙動を統一的な枠組みで記述できるモデルでありまして、今回対象としている降雨浸透や地下水流入により間隙水圧が上昇すると有効応力が低下するために強度や剛性が低下して、軟化に至るまでの挙動を表現可能なモデルとなっております。今回実施した解析の流れになりますが、まず解析条件を設定します。土質パラメーター、初期条件、境界条件を設定します。その後盛り土の構築履歴、先に上部、次に下部になりますが、その順番で盛り土を構築していきます。この際年平均降水量 2,000mm から年平均蒸発量 500mm を差し引いた 1,500mm を地表面に与えながら盛り土を土要素を追加していくことで構築し、その後盛り土内の状態、例えば水圧や飽和度が定常状態になるまで解析を実施しました。その後、今回対象としている 7 月 1 日～7 月 3 日の降雨による盛り土崩壊の再現解析を行います。この時降雨及び地下水供給により盛り土が崩壊に至るまでの挙動を再現した解析となります。続いて、解析断面について説明したいと思います。

こちらの図は、崩壊地周辺の平面図となっております。今回は C 断面、ボーリング No. 1、5、3、4 とその後谷の部分をつないだ断面となっております。その選定理由ですが、谷のため集水しやすく、厳しい外力条件になる断面であること、また、ボーリングも同様の観点から場所を選定しているため、ボーリング結果を用いやすいといった特徴となっております。C 断面の地質図を示します。今回の解析断面では、安山岩、斜面堆積物、溪流堆積物、上部と下部の盛り土からなる断面として解析を行っております。解析領域は青破線で設定してありまして、左端はボーリング No. 1、この位置は水位が雨により変動しにくい箇所になりますので、こちらを左端にして解析領域を設定しています。こちらは解析断面図の模式図になっています。この図は特に水の境界条件について示した図になります。先ほど言ったとおり、安山岩、斜面堆積物、溪流堆積物、上部盛り土、下部盛り土といった構成となっております。まず、左右端及び下端ですが、こちらは全水頭一定条件、具体的には左端と右端の水位に対応する全水頭値で直線分布させています。これによって平時の地下水の流れを考慮しています。次に、青破線の部分です。こちらには、降雨境界条件を設定しています。先ほど解析の流れで説明した盛り土構築時から

その後の定常状態までは、年間で1,500mm、換算すると約4mm/日となります。その後の崩壊シミュレーションでは、7月1日の午前0時から7月3日の午前10時までの58時間で熱海の雨量観測所で観測された459mmを平均的に与えて解析をしています。換算しますと8mm/時、190mm/日となります。さらに、崩壊シミュレーション時に逢初川上流部で降った雨が溪床部を通して流下するルートが、降雨時には周辺から地下水供給が多いということがわかっているため、7月1日から7月3日の降雨による崩壊シミュレーションでは、透水性の高い溪流堆積物の下部から所定の流量を単位奥行き辺り250 m³/日の流量を与えます。三角形で示しているところですが、上流から下流に向かっていくにつれて谷が狭くなっているような、つまり水が下流ほど集まりやすい地形になっていますので、地下水の流量を下流ほど一次関数的に大きくなるように設定しました。

続いて解析パラメータについてです。解析パラメータは、力学的特性を持っているものと浸透特性に関するものの2種類あります。力学特性は、先ほど説明した弾塑性構成式SYSカムクレイモデルになります。こちらのパラメータについて、上部盛り土と下部盛り土は、現地から採取した土の力学試験に基づいて設定しております。そのほかの土に関しまして、変形しにくいパラメータを設定しました。崩壊の再現解析では、盛り土以外の変形しない条件を設定しています。浸透特性について、主に透水性と保水性で力学特性と同様に変形挙動に大きく影響を与えます。ただ、現地の正確な浸透特性を限られた実験結果から得ることは難しいため、特に崩壊に大きな影響を与える下部盛り土部分については浸透特性を異なる2ケースを設定して、この違いが変形挙動にどのような違いを与えるか把握するため設定しました。まず、力学特性です。弾塑性構成式SYSカムクレイモデルに関するパラメータの設定についてですが、現地に残っている盛り土から採取した土の三軸圧縮試験における変形挙動を再現するようにパラメータを設定しました。太線が実験結果、細線が再現結果になりますが、このような形でパラメータを設定しました。上部盛り土と下部盛り土で同じパラメータを使用して解析を行っております。続いて浸透特性ですが、先ほど説明したとおり2ケースあります。まずケース1ですが、こちらは主に現地のボーリング調査の実験結果に基づいて設定しています。まず、飽和透水係数については、ボーリング孔で実施された現場透水試験に基づいて値を設定しています。また、下部盛り土の保水性ですが、保水性試験が実施されていなかったので、赤線のように解析条件を設定しております。溪流堆積物、斜面堆積物、上部盛り土の下部盛り土以外については、溪流堆積物、斜面堆積物、上部盛り土の順に保水性が高くなるようにパラメータを設定しました。現場透水試験の結果が、今言った順に透水係数が小さくなっていることからその点を考慮して設定しました。下部盛り土については、上部盛り土よりも保水性が高く、透水性が低いようになっています。

続いてケース2は、ケース1に比べて透水性が高い条件を設定しました。具体的には、下部盛り土のみ飽和透水係数が10倍ほど高く設定しております。保水性の順番についてもケース1と順番を変えないように設定しました。保水性自体はこの曲線になるよう

にパラメータ設定しました。どのような条件になっているかと申しますと、下部盛り土の保水性、透水性、これはボーリング No. 3 のサンプリング時に飽和度の値が計測されていたので、それを満たすようなパラメータになっています。今言ったことについて少し説明しますと、こちらは崩壊直前の飽和度分布ですが、ケース 1 の方、こちらは先ほど言ったとおり実験結果に基づくもので、透水性がケース 2 に対しては低いもので、ケース 2 は、サンプリング時の飽和度を満たすというものでケース 1 に対しては高いものになっています。飽和度分布を見ていただくとボーリング No. 3 はこのあたりですが、ケース 1 の飽和度は下部盛り土は全域にわたってほぼ飽和状態になっていることが分かります。ケース 2 については、このあたりは 90~95 の値になっていますが、こちらにおいても盛り土はほとんど飽和している状態です。ここに地下水ないし降雨を供給しましたが、今から解析結果を見ていきたいと思います。これは崩壊シミュレーションということで動画になっています。ケース 1 透水性が低い方、上がせん断ひずみ、下が含水比の変化になっています。せん断ひずみが赤ほど大きなせん断ひずみが出ています。含水比は青が水を含んでいるということになります。それでは動画を流します。繰返し流します。これを見ていただくとここから吸水していることが分かります。溪流堆積物のあたりで地下水が流入していますので、含水比が上がっていきまして、その後下部盛り土にも変形が生じています。大体 2 日を過ぎたあたりでこのようになっています。

続いてケース 2 の方も動画で見ていきたいと思います。スケールは、ケース 2 の方が大きな変形をしたのでこちらの最大値が大きくなっていますのでご注意ください。では、動画を流します。同じようですが、変形はこちらの方が大きいことが見て取れると思います。1 日と 12 時間過ぎたあたりで計算を止めましたが、非常に大きくなったのでここで計算をやめました。次に静止画で見ていきたいと思います。こちらはケース 1 の結果で左がせん断ひずみ、右が含水比の分布になっています。上から順番に、降雨 24 時間、32 時間、58 時間経過時です。ここが下部盛り土の最上部になっています。こちら見ていただくとわかるように、まず 24 時間あたりを見ていただくと、ここに青い線が入っていきまして、盛り土の底部で集水していて、その箇所ですらほとんどせん断ひずみが赤色になっていてせん断ひずみが大きいことが分かります。その後、盛り土の中には大きな吸水箇所がないので、やはりこれをきっかけに最終的にせん断ひずみが局所的に大きく連続してつながっている、そういった箇所を「滑り」と呼ばせていただきますが、こちらが下部盛り土の底部で生じていたことが分かると思います。上部盛り土と下部盛り土の境がここで、上部盛り土は下部盛り土に対して透水性が高いので、降雨の浸透で大きくなっていることが見えますが変形は生じていない。最上部を拡大した静止画を次のスライドでお見せします。早い時間から見せています。8 時間、16 時間、24 時間、58 時間です。早い段階を見ていただくと、まず含水比変化ですけれども、ここで吸水している様子が分かります。そこに対応するかたちで、せん断変形が起きていることが見えるかと思いますが、ここから下部盛り土底部の吸水のせん断変形をきっかけとして、下部盛

り土全体のすべりが生じたことが分かります。続いてケース2です。早く変形していたので、ケース1に比べて早い時間、12時間、24時間、36時間を載せています。同様に、盛り土底部で吸水してせん断変形が大きい結果になっています。先ほどより透水性が高いですが、地表面からの浸透が、少し青くなっていますが、盛り土内部まで入ってくる様子は見られませんでした。先ほどと同様に、下部盛り土の最上部くらいまでケース1に比べて早く大きな変形が出ています。同様に最上部付近を拡大した静止画ですが、吸水してまずその部分でせん断変形が大きくなって、それをきっかけに下部盛り土全体にすべりが生じている。ケース1に比べて、このあたりが面積が広いことも見て取れるかと思えます。

ケース1とケース2の比較をします。こちら同時刻、24時間経過時のせん断ひずみと含水比変化のケース1とケース2の比較となっております。ケース2の透水性が高い方が、下部盛り土の吸水領域が大きいことが分かります。そのために、ケース2の方が早い時間で大変形が生じているといったことが分かります。似たような例ばかりでしたので、拡大した部分の動画を参考程度に一度流します。すべて同時に流れますので、御注意ください。こちらでケース2の方が早く含水比が高くなっていくところを見ていただくとよいかと思えます。では、流します。このあたりで差が見えるかと思えます。この黒線が初期の降雨直前の地表面の位置、盛り土表面の位置なので、かなり大きく変形している様子もこの絵からも見て取れるかと思えます。それでは最後、こちらケース1からですが、せん断応力 q と平均有効応力 p' の関係は、○(丸印)が降雨直前の状態なので、つまり盛り土構築過程の最後の定常状態を迎えたときの状態です。こちらかなりせん断応力がかかっている状態とすることができます。せん断応力というのは、応力比と言われる q/p' が $q = M p'$ と呼ばれる限界状態線ですが、このあたりにあつて、こういった状況に盛り土構築過程時になっていたということがまずは大事かと思えます。そこに地下水、地表面からの降雨というのはそれほど影響なくて、どちらかという地下水の供給が主なものだったんですけども、この地下水の供給により間隙水圧の上昇、サクシヨンの低下、飽和度の上昇といったものが起きております。それまでに飽和度100%になっていますが、そこからさらに吸水による間隙水圧の上昇によって、赤い線で示したところで平均有効応力の低下とせん断応力の低下、せん断応力が低下することは軟らかくなった、軟化が生じていることが分かりました。ケース2についても、同様の挙動をしていたので、詳しい説明はしませんが、どちらも似たような挙動をしていたことが分かります。改めてまとめてみたいと思えますが、崩壊に至るメカニズムとしては、高い盛り土の構築により大きなせん断力を受けた、そこに地下水が供給したことで、せん断力を受けた状態は水を吸いやすいという性質があるので、水圧の上昇、有効応力が低下すると塑性体積膨張とせん断応力の低下、軟化が生じて、崩壊に至ったということが分かります。本解析では、集水しやすい法尻付近から順に上方へ吸水軟化が生じて、盛り土荷重に抵抗することができなくなった場所で滑りが生じて、最終的には盛り土全

体が崩壊したのではないかということになります。以上で説明を終わります。ありがとうございました。

○事務局

ありがとうございました。ただいま、7章数値解析の結果ということで説明がありましたが、難波理事から補足等ありましたらお願いしたいと思います。

○難波理事

大変詳細な高度な解析をありがとうございました。続けてください。

○事務局

7-24ページをお開きください。盛り土材料の吸水軟化現象について説明いたします。

先ほど説明のありました数値解析では、盛り土への地下水の供給により、盛り土内の間隙水圧が上昇し、盛り土が体積膨張を伴いながら軟化する吸水軟化現象が発生することによって盛り土に大きなすべり破壊が生じたことが示されました。

ここでは、逢初川源頭部で採取した土を用いた室内試験を行うことで、盛り土に起こった現象についての考察を行いました。

まず、締固め試験を実施したところ、締固め度は80%以下となりました。河川堤防の盛土でも施工管理基準値は最低90%とされていることを考慮すると、この盛り土の締固め度は、非常に小さな値であることが分かりました。

このように盛り土は構築時にほとんど締固め管理がされていないと考えられることから、適度な含水状態で締め固め、ゆるく詰めた供試体を作成して、有効拘束圧を作用させることで、盛り土底部に存在する状態を再現して、図7-26のような三軸圧縮試験装置で吸水軟化試験等を実施しております。

吸水軟化試験は、河川堤防などの盛土で地下水や降雨浸透によって水位が上昇することで、崩壊時点の有効応力状態を評価する試験です。図7-27のポンチ絵で盛り土内部で何が起きているかのイメージを示しています。その状態に対応した吸水軟化試験の写真を図7-28に記載しています。

両方の図において、①が崩壊前の地中の状態で、②～③で降雨の地下水の流入により間隙水圧が上昇し、有効応力が低下しています。④は、土塊が吸水して流動化する状況を示しています。

また、図7-25は実験結果における有効応力経路を示しています。初期のせん断応力を作用させた後、②で地下水の流入により土中の間隙水圧が上昇して有効応力が低下しています。③で限界状態に達し、急激に変化が起こり、土の崩壊が始まります。この状態では土の構造が急激に劣化し、土は水を吸い込めるようになります。土は崩壊しながらも内部に水を取り込み続けることにより、液状化した状態となり、流動化することが

③～④で示されています。

また、図 7-25 は数値解析によって得られた力学挙動とも高い類似性が認められることから、数値解析で予測された盛り土崩壊のメカニズムが実際の盛り土を用いた室内試験によって示されたこととなりました。以上となります。

○事務局

ありがとうございました。ただいま説明した第 7 章数値解析結果について、御意見等ございますでしょうか。

○難波理事

この数値解析の解釈の仕方を確認したいと思います。まず、7-2 ページ注 2 のところですが、ジオアジアで解析をしていただきましたが、あくまでこれは源頭部の解析になります。注 2 を見ますと、土石流は少なくとも 7 波が確認されていて、これほど多くの段波が発生した原因として、源頭部の盛り土が何回かに分かれた可能性と、流下した途中で一旦停止した土石流の堆積物の背後に水が供給されてさらに落ちて段波が発生した可能性が考えられます。これは第 4 章に記載しています。注意が必要なのは、土石流の起点となった逢初川の源頭部と下流の住宅街の最上部では約 1 km ありますが、その流下の途中で停止や再移動、水供給がされますので、流下状況は上で落ちた土砂がそのまま下に落ちてくるのではなくて、途中で複雑に変化して下に落ちてきた可能性があると思われます。従って源頭部の崩落と下流部の段波は 1 対 1 には対応しない、これは当然だと思えますが、源頭部の崩落の内、唯一時間が分かっているのは左岸側上部が 10 時 53 分に崩落したということになります。

この解析が何をやっているのかというと、その下の段波を説明しようとしているのではなく、あくまで盛り土の崩落がどのように起きたのかということ再現実しています。

ただし、その盛り土のところが落ちたのは、10 時 53 分しか確認されてないので、実際に何回盛り土が落ちたのか、何時に落ちたのか、上が先だったのか下が先だったという情報は一切ありませんので、その部分は再現しようがないということになります。

解析結果もそういうもんだと思って理解が必要だと思えます。

それからもう 1 つ、解析結果の注意のところで 7-23 ページを出してください。この解析では、先ほどご説明いただきましたように、盛り土の下に落ちてしまってるので、もともとの状態がどんな盛り土の性状だった分かからないので、ここに書いてありますように、盛り土内の土の性状は一定（均質）としています。従って解析結果は盛り土が均質だった場合に、どの場所に大きなひずみが発生するのかということを示しています。

ですが、その実現象が局所的な土の変状の影響を受けますので、解析結果は実現象を正確に再現できるというものでは当然ないということです。

均質な状態で計算してますが、現場の状況は均質ではないので、均質でない弱点のと

ころで落ちる可能性が高いので、そういった面で再現計算というのは、そういうものだという理解が必要だということになります。

それからもう1つ、この中で先ほどの動画を見ていただいて、3か所に大きなひずみが発生してましたが、この上部盛り土は、上部盛り土の上の部分で大きなひずみが発生しています。

ここの部分は私道だったので、かなり締固めがされていたと思います。

ここが落ち残ったような状態になってるわけですが、解析ではこの部分は落ちたような形で計算されています。

これは逆に言うと結構正確に解析がされていて、もしその部分が締固まってなかったら、あのように全体として落ちたんでしょうけれども、たまたまこういう形で現地では締固まっていたので、締固まっていたところだけが残って、非常に急勾配でその下が落ちてるという状況になっています。

従って均質でやっていますので、どこがどう落ちるかというのを正確に反映しているわけではないということになります。

それからもう1つ、②のところですけども、崩落が何時に起きたのかというところの再現性の問題ですが、見ていただいたら分かりますように、地山からの地下水の流入量が時間と共に累積することで、地下水が上昇して、あるいは水圧が上がって崩壊に至っていますが、そうすると地山からの地下水の流入量の設定というのが崩壊以降、時刻に決定的に影響することになります。

地下水の流入量は、今回仮定に基づいて設定していますので、解析結果は何時に崩落をしたのか、何時間後に崩落したのかということのを正確に再現しようというのではなく、時間の経過と共に土中の危険度が増大する事を示しているということで、繰り返しますが、いつ崩壊するかを再現しているわけではないということです。これはとにかく全体として、どういう挙動をしたんだろうかということを見るのが大事ですので、現場の状況を正確に再現できるわけではないですので、そういった形でこの解析が行われていて、解析の結果をそういうふうに理解をしていかないといけない。その下を見ていただいて、解析結果で実際現場で落ちたのは58から59時間後に相当しますので、解析結果を、58から59時間後に初めて大きな変形が発生するように、色んなパラメーターとかの入力条件を変更することは可能ですけども、それは単に合わせるっていうだけになるので、無理矢理合わせるということはないで、一定の根拠を持って設定したらパラメーターで計算すると、このようになるという計算をしているということだというふうに理解をしております。

このような理解でいい良いと思いますが、もしその辺りで何かございましたら、ご意見を頂戴したいと思います。

以上です。

○事務局

ありがとうございました。何かございましたらよろしくお願ひいたします。
今泉先生、お願ひいたします。

○今泉委員

今回再現解析していただいて、崩壊に至る過程というのを数値的にきちんと示すことができた。崩壊のメカニズムについて、きちんと解析で示すことができたといったところは大きな成果だと思います。前回の委員会の指摘事項を受けて、今回2つのケースを試していただきましたけど、私はどちらのケースが正しいというのは特にはないと思う。2つのケースで、せん断ひずみが大きくなるタイミングが違ってましたが、今難波理事が説明いただいたようにタイミングというのは、流入量や他の計算条件を変えることでどうとでも変化することは可能だと思うので。むしろ重要なのはケース1ケース2、両方において、盛り土の底部で飽和度が上昇して、せん断ひずみが大きくなり、やがて盛り土全体の崩落に至るといった状況が共通してみられたというのが重要だと思います。単なるコメントですが、以上です。

○事務局

ありがとうございました。その他いかがでしょうか。お願ひいたします。

○小高委員

今回のこの崩壊のメカニズムということで、昨年の11月の委員会の頃から解析の方法をいろいろ検討してきたわけですが、何を主眼にしてきたのかということ、やはり盛り土が全体的に滑って崩壊したという現象を説明しなければならないという位置づけでやられてきたと思うのですが、今回のこの解析を行い、それがほぼ説明できていると思います。要するにあれだけ大きな盛り土があり、それがかなりの面積であるわけですが、あれだけの災害を起こすためには、それなりの土量がなければなりません。

結果的に5万5500 m³の土が崩壊して、そのほとんどが下の方まで流れ下ったわけです。そのような現象がなぜ発生したのか、あれだけの大崩壊がどうして起こったのか、我々委員も、なかなか分からなかったわけですが、今回それを明確に示すことができました。ただし、この委員会の中で、色々な地盤調査がなされ、地下水がかなり集まるというようなことがわかって、解析をするための条件が揃ったわけです。地下水が集まって盛り土が大崩壊したことを説明するのが結局難しかったわけですが、この解析でも下から地下水が上がってきて、特に間隙水圧が、盛り土を押し上げるように、かなり大きくなるというような現象を、この解析で説明ができたと言えます。

特に盛り土と地山の境界部分が滑り始めるという現象は、表層流の流入では説明できない現象だと思います。盛り土がどういう順番で落ちたかとはまでは分からないというこ

とを、難波理事の方からご説明はあったのですが、とにかく盛り土の大部分が落ちて、流れるような状態になって、そこで初めて土石流が発生するので、そういう意味でこの大崩壊を説明できたということは、一定の成果があると考えております。以上です。

○事務局

ありがとうございました。その他いかがでしょうか。よろしいでしょうか。

○難波理事

小高先生に三軸試験をやっていただいて、試験というのを視覚的に非常に分かりやすくなりました。解析では、変形が出たら分かるが、実際にそれが土の中でどのように土が変化していつてるのかというところは、なかなか感覚的に理解できないところがあったが、それをこの実験でやっていただいたので、非常に感覚的に分かりやすくなった。直感的に理解しやすくなったと思っております。その点については感謝申し上げます。以上です。

○事務局

ありがとうございました。

続きまして次第番号4番、「最終報告書」について説明させていただきます。これまで4回の委員会を実施していく中で取りまとまってきたものが、こちらの最終報告書となります。前回の第4回の中で、ある程度の報告書の内容というのは作ってきたわけですが、今回新たに修正が加わった部分について御説明の方させていただきますのでよろしく願いいたします。

まず表紙をめくっていただきまして、最初に最終報告書の変更履歴というところろが書いてございます。

今回の最終報告書については、かなり専門用語が多いことなどから、一般の方々にはなかなか分かりにくい部分があるということも考えられます。こういった中で、より分かりやすい表現等があった場合に、随時修正をしていきたいと考えております。修正があったごとに、一部修正といった形で変更の履歴というものを残していきたいと考えております。

それから2枚めくっていただき、序章という欄を設けてございます。今回のこの報告書につきましては県の方で作成したという中で、どういう組織体制で作ってきたかというようなことを表記してございます。検証委員会と、我々の発生原因究明作業チームの体制などを示してございます。

それから1枚めくっていただきまして、今回の委員会の設置内容および意図、こういったものについても、序章の中で示してございます。内容につきましては第1回の検証委員会の中でも説明した内容になります。序章までの部分については以上となります。

続いて、目次をご覧ください。第1章から6章までは、これまでのお示しした目次と項目、表題等の変更はございません。一部、内容について一部修正等ございますので簡単に説明させていただきます。

第1章こちらにつきましては、災害の概要の部分について、一部時点修正を行っております。

第2章現地の概要、こちらにつきましては、前回の委員会の中で沢田委員、小高委員からいただいた意見を受けまして、7月21日に改めて現地踏査を実施しております。この中で、流量のデータを追記してございます。具体的に言うと2-1ページになりますが、2-1ページの4ポツ目のところになりますが、ここに、2022年の7月21日に30リットル程度と、湧水量を記してございます。併せて2-8ページの写真⑩についても差し替えを行ってございます。

続きまして第3章、4章、こちらにつきましては、語句だとか表現、こういったものについて一部修正を行ってございます。

それから第5章につきましては、5-2ページをお開きください。こちらにつきましても、観測結果7月の観測流量結果というデータを追記してございます。あとは語句や表現についての一部修正をしてございます。

第6章についても語句の修正を行ってございます。

今回新たに追記した部分といたしましては、第8章になります。こちらにつきましては、改めて事務局の方から説明をしていきたいと思っておりますのでよろしく申し上げます。

○事務局

それでは8章について説明いたします。8-1ページをご覧ください。

第8章発生原因の総括として、この前にあります第1章から第7章までの各章ごとの総括を取りまとめております。

8-1ページから8-8ページまでその章ごとの統括をまとめております。

続きまして8-9ページをご覧ください。これらを基に8-9ページに土石流発生原因の総括として項目ごとに取りまとめております。

○難波理事

総括のところは全部読んでください。

○事務局

8-9ページの土石流発生原因の総括について項目ごとに述べさせていただきます。

1 逢初川源頭部の地形の特性について、逢初川の源頭部の谷部は、岩戸山の崩壊堆積物が堆積している鳴沢川や南側の寺山沢よりも20~30m程度溪床の標高が低い。逢初川は、流域面積が狭く、表流水の流入は周囲の谷より相対的に少ないにもかかわらず、

周囲の谷よりも相対的に深い谷地形である。このことは、逢初川源頭部では、隣接する鳴沢川の地下水流入も含め、地下水等が集中しやすく、それらによる侵食が徐々に進んできたことを示唆する。

2 盛り土の造成及び状態についてです。逢初川源頭部の盛り土は、通常の宅地造成等で行われる盛り土とは異なり、土が十分に締め固められておらず、緩い状態で土が下部から上部へ積み上げられただけのものだった。盛り土の高さ（最下端から最上端までの標高差）が 15m を超えるときは特別の対策が必要となる。しかし、本現場では、標高差 50m 以上にわたり、特別の対策がとられることなく盛り土がされた。

次ページを御覧ください。

3 降雨の状況についてです。土石流が発生した 7 月 3 日午前 10 時までの 72 時間雨量は 461 mm（県熱海雨量観測所）となり、1985 年の観測開始以降最大の雨量であるが、20 年に 1 度発生する規模であった。また、土壌雨量指数（降った雨による土砂災害危険度の高まりを把握する指数）についても、盛り土造成後以降で最大を確認し、特に地下水を表現する 3 段目のタンク値が最も高い値であることが分かった。

次ページを御覧ください。

4 土石流の状況についてです。土石流は 10 時 28 分頃に谷出口で目撃された第 1 波から複数回発生した。流下した土砂は住宅を流失させるとともに、道路上を河道として流れ、東海道新幹線、東海道本線のガード下を通過し、国道 135 号の上下部を流れ、伊豆山港等の海岸まで到達した。

次ページを御覧ください。

5 盛り土崩落現象の推定、5-1 盛り土への水の流入状況についてです。熱画像カメラによる湧水点調査で 80 地点以上の湧水点が発見されたことに加え、鳴沢川と逢初川の尾根部のボーリング No. 1 と No. 2 で鳴沢川流域から逢初川に向かう地下水の流れが確認できたことや盛り土内のボーリング No. 3 で高透水層の溪流堆積物が確認されたことから、逢初川へは逢初川流域に加えて鳴沢川流域からの地下水の流入があった。

次ページを御覧ください。

5-2 盛り土が崩壊に至る挙動の再現解析についてです。地下水が流入しやすい場所に締め固め度が弱く間隙が大きい状態で造成された盛り土が水の流入により崩壊に至る挙動を数値解析により再現するため、飽和度や応力の違いによる土の強度変化や変形を考慮できる解析手法であるジオアジアを用いて崩壊の再現解析を行った。

解析結果は、7 月 1 日の降雨開始後から時間が経過するに従って、水が集中しやすい下部盛り土の下端部付近から上方へ盛り土の水圧が上昇し、盛り土底部の吸水によるせん断変形をきっかけとして、盛り土内の 3 箇所ですべり面が形成された。降雨開始から 3 日経過時には、これらの場所で順次崩壊が発生し、結果として盛り土のほぼ全体が崩壊した。

また、解析結果は、盛り土の底部から大量の地下水が流入し水圧が上昇することで、土粒子間を結びつける力（有効応力）が弱まり、そこに大きなせん断力がかかっている状態で土が水を吸い込んで土の骨格構造が崩れ、土は急にドロドロ状に軟らかくなる吸水軟化現象が生じていることを示している。この挙動は、現場で採取した盛り土を供試体とした三軸圧縮試験による吸水軟化試験により視覚的にも裏付けられた。

以上が項目ごとの総括になりますが、8-15 ページに今回の土石流発生原因の総括のまとめを述べております。これも読ませていただきたいと思います。

まとめ 逢初川源頭部は周囲の地形・地質条件から鳴沢川流域を含む周辺から地下水が流入しやすい場所であった。このため、源頭部は雨が降らなくとも水の流れがある（基底流量がある）場所であった。かつ、溪床に非常に水を通しやすい溪流堆積物の層があった。

その上に、県土採取等規制条例の届出内容とは異なる内容で標高が高く、盛り土厚の高さが厚い盛り土が不適切な工法（排水対策が不十分、盛り土が締め固められていない、十分な土留がないなど）で造成された。

盛り土へは、常時の地下水供給があり、盛り土の土の透水係数が小さいことから、盛り土は常に湿潤状態が高い（土中の間隙の多くが水で満たされている）状態だった。

盛り土造成後から崩壊発生までの間、時間雨量 63mm の降雨や3日間雨量 292mm 等の雨を経験したが、盛り土は崩落に至らなかった。

2021年7月1日の降り始めから盛り土崩落直前（3日10時）までの降雨量は461mmであり、20年に1度は発生する程度の雨であり、72時間雨量は盛り土造成後で最大であった。

崩落発生時には、逢初川流域に降った雨が地下浸透し、盛り土底面から湧出する地下水と鳴沢川流域に降った雨が地下浸透し、鳴沢川流域を跨いで盛り土底面から湧出する地下水（降雨からやや時間が経ってから湧出する地下水を含む）の両方により、盛り土底面への地下水の供給量が増えた。

これにより、盛り土内の地下水位が盛り土の下部から上部へと上昇していった。

地下水位の上昇に加えて、上流側からの過剰な大雨による大量の地下水の供給によって盛り土底部の土中の間隙水圧が上昇することで土粒子間を結びつける力が弱まり、そこに盛り土の高さが厚く不適切な工法で造成された盛り土の底部に大きなせん断力が発生しているため、土の骨格構造が崩れ、土が急にドロドロ状に軟らかくなる吸水軟化現象が発生した。

崩壊に至る挙動の再現解析では、7月1日の降雨開始後から時間が経過するに従って、水が集中しやすい下部盛り土の法尻付近から上方へ盛り土の水圧が上昇することで、下部盛り土底部において局所的にせん断ひずみが大きくなる箇所では、吸水によるせん断変形をきっかけとして、盛り土内の3箇所ですべり面が形成され、降雨開始から3日経過時には、これらの場所で順次崩落が発生し、結果として盛り土のほぼ全体が崩落し

た。以上となります。第8章の説明を終わらせていただきます。

○事務局

ただいま説明のありました発生原因の総括に加えて報告書全体について何か御意見等ございますでしょうか。

○難波理事

ちょっと補足ですけれども、今のまとめたところの最後のパラグラフのところは書き方がよなくて、あくまでそこより上は事実を言っているのですけれども、ここだけは計算結果を示しているだけではっきり書いていないので、ここは後で修正したいと思います。

挙動解析によれば、こうこうこうなったので、多分実現象もそれに近いような状態が起きたのではないかというような書き方に後で修正いたします。

○事務局

それでは何か御意見を。今泉委員お願いいたします。

○今泉委員

先ほどの最後の文章についてなのですが、崩壊解析の結果、3箇所すべり面が形成されたということであって、これはC断面の話なのですが、他の崩壊もあるので、この最後のページで3箇所と具体的な数字は書かない方がいいのではないかと思います。

ただ崩壊解析によって複数回崩落が発生して、その結果として盛り土のほぼ全体が崩落したとそういった流れがいいのではないかと思います。

○事務局

ありがとうございます。それは沢田委員お願いいたします。

○沢田委員

今泉委員がおっしゃったとおりの話をまず修正いただきたいと思います。

特に現に発生したかどうかというのわからないですから、そのあたりもきつと数値解析の上では3箇所にひずみが大きくたまる場所があるので、そこに弱点ができたところまではわかったんですけれども、それ以外のことは難波理事のおっしゃった通り均質な土に対して数値解析がやり易い理想的な状態での解析の結果ですから、このところは適切に表現いただければと思います。

気になったところはその一つ上のポツのところですね、地下水位の上昇に加えて上流側からの過剰な地下水の供給という表現があるのですけれども、過剰だと思ってしまうの

はこちら側の心理であって、自然的には全く過剰ではないので、これは不適切だと思います。

山にとっては通常の地下水がただ供給されたというだけなのですから、盛り土に対しては過剰だったというところがここに意思として書き込まれてしまっている、ここは適切ではないと思います。

それからその続きのところの2行目、そこに大きなせん断力が発生しているためってというのは結局なかなか難しいところなんですけど、少なくとも予定と違う高さの盛り土があそこに設置されました。それはどういうことかということ、斜めのところに無理やり物を積んでいくイメージなので、常にせん断力ってというのはかかっていたはずなんです。それに対して水がどんどん供給されたことによって、先ほど何度かお話に出てきている吸水軟化がさらに助長されたというような上手い表現をしていただくとこれは非常にわかりやすくなるのではないかというふうに感じましたので、そこを適切に表現いただければよいかと思いました。以上です。

○事務局

ありがとうございます。その他にいかがでしょうか。

○小高委員

今、沢田先生がおっしゃったようにですね、基本的にはその解析の条件として大量の地下水が供給されていることによって壊れたということになるわけですが、ちょっと私が気になったのはさらにちょっともう二つ上の丸のところなんですけども、その解析の条件として地下水の供給元のところ。これは読点の取り方次第の話なんですけれども、「逢初川の源頭部へは鳴沢川流域に降った雨が地下浸透して降雨からやや時間が経ってから盛り土底面に湧出してくる地下水と、逢初川流域に降った雨が地下浸透して盛り土底部から地下浸透している地下水の両方による」と読み方次第ではちょっと誤解をしてしまうような表現です。基本的にはですね、逢初川本川側に出てくる水も鳴沢川の上流から来ていることは、ボーリングNo.1の流向からすると明らかですから、この文章だけ見ていると、何となく2つの地下水のうち、時間遅れで出て来るものだけが鳴沢川から来ているような表現になってしまっています。そうすると7月に流量観測していただいていた毎分30リットルというものすごい量の水が出てくるところは基本的には逢初川本川の地下水が出てくる場所ですので、あれが逢初川の流域に降っただけの雨というのはとてもじゃないですけど説明できない流量ですので、基本的には鳴沢川から降った雨というのはどちらの方向からも出て来ている。それは単に北側では時間遅れがあるということだと思います。それはこの報告書の中ではかなり詳しく本文では触れられていると思いますので、このまとめのところで点の振り方次第で読み間違いところがありそうなので、そこら辺はちょっと慎重に直していただいた方がよいかなと思いました。

それともう一点、これは細かいことですが、8-13 ページの一番最後の吸水軟化試験ところに三軸非排水圧縮試験と書いてあるのですが、これ非排水ではなく、水を吸う試験でありますので、非排水というところは削除しておいていただきたいと思います。以上です。

○事務局

ありがとうございました。その他ご意見いかがでしょうか。

○沢田委員

細かいところを言い始めるとたくさん出てきてしまうので、言いづらいのですが、例えば 8-10 の 3 の箱の中に、3 段目のタンクの値というのがいきなり出てくるので、これはきちんとタンクモデルの話がどこかにされている状態の上での話でないと成立しないと思いますので、それは本文中のことに整合をきちんと取らないといけないと思います。

それから、もうひとつ先ほどの 8-15 に戻っていただいて、上から 5 つ目のポツの所ですけど、盛り土造成後の後ろに崩壊以前の話が書いてありますが、これはいつの時点の話なのかちょっとよくわからない表現となっていますので、盛り土造成後に、崩壊以前には、時間雨量 63mm とそれから 3 日間雨量 292mm があったということにしないと、どのタイミングのどこの話だという話になりますので、そこはよろしくお願いします。

ついでに申し上げますと、上から 3 つ目のポツの一番右側に盛り土厚の厚いという表現がされていますが、他のところは全て盛り土高さだったと思いますので、そういうところの整合とかも、いろんなところがこれから出てくるかとは思いますが、特に今お話いただいて気になったところはそういうところですよ。以上です。

○事務局

ありがとうございます。他はいかがでしょう。

ありがとうございました。本日予定しておりました議事について説明させていただきました。各委員からいただきましたご意見を修正した上で、最終報告書の公表としたいと思っております。

委員の方々におかれましては、令和 3 年 9 月 7 日の逢初川土石流発生原因調査検証委員会の発足から約 1 年にわたって対応していただきまして誠にありがとうございました。今回をもちまして、委員会を終了したいと思いますけどいかがでしょうか。よろしいでしょうか。

○事務局

それでは、最後に難波理事からお礼の言葉を申し上げたいと思います。よろしく願いいたします。

○難波理事

はい、お礼の前にこの報告書の性格を説明しておく必要があると思いますので、この資料の最初、序章の所を出していただけますか。その下の検証、これですけども、今回、検証委員会として行政対応の検証委員会と発生原因の検証委員会と両方つくっているのですが、両方とも報告書が出た形になりますが、その性格がなかなか理解しにくいところがあるので、改めてここで説明しておきたいと思います。右側の行政対応の検証委員会の方は、これは、報告書は検証委員会が報告書を出しています。それはなぜかという、行政対応について行政の内部で検証したのでは、公正な検証にならないではないかとか、いわゆるお手盛りなり、中に甘い検証になってしまうという恐れがあるので、こちらについては、外部の検証委員会が報告書を作成したという形になっています。

県は、材料は提供します。資料は提供しますが、検証内容については、何も修正だとか、そういうことはしていないということになります。一方、発生原因の検証に関しては、こちらはあくまで県が報告書を作成する形になります。これは検証委員会の先生方にはこの報告書が適正なものになるように御指導いただいたという性格になっておりますので、まずそれを、今日最終ですので確認をしておきたいと思います。

その前の初めに戻っていただいて、その前のページです。ここでこれから申し上げることをここに書いてあるわけですが、これにつきましては、最初の挨拶の時に申し上げましたけれども、何が起きたのか、どういう原因でこういう土石流が発生したのかというのは明らかにしないとイケないので、これは精力的にやったということになります。計5回の委員会です、それ以外にもいろんな御指導いただきました。

それから、資料を外部に公開をしましたので、外部の先生方から非常にいろんな私見をいただいて、それを報告書の内容に反映することができました。

それから、盛り土が崩壊に至る挙動の解析ですけども、これは地盤工学会の中部支部の御推薦をいただいて、ジオアジア研究会の皆様には精力的に数値解析を進めていただきました。ここ半年以上この解析をしていただいたようなことになって、しかもその内容は極めて高度ですし、詳細だったと思っております。大変御尽力いただいたことに、感謝を申し上げます。

このように大変多くの方々の御支援御指導を得て、こういう報告書をまとめることができたということについては、感謝を申し上げます。

1年かかってしまいましたけど、なんとか発生原因については、科学的根拠に基づいて、相当程度解明することができたのではないかと思っております。今後は、逢初川と同様の土石流災害を発生させないために、静岡県はこの報告書の内容を参考にして、しっかりとした行政対応を進めてまいりたいと思います。

それからこういう内容を公表することで、全国の警鐘、こういった危険箇所に対する警鐘にもなるんじゃないかと思っております。本当に長い期間、御指導いただきましてありがとうございました。

○事務局

ありがとうございました。以上をもちまして、本日の議事を終了し、閉会いたします。
ありがとうございました。