

堤防の質的安全性を考慮した河川土工の検討

森 啓年

(独)土木研究所 材料地盤研究グループ
土質・振動チーム 主任研究員



最近、土研でやっている実験と、私が個人的に取り組んでいる解析手法について少しお話しさせていただいた後に、本テーマの河川土工についてお話ししたいと思います。

まず、こちらの映像、昨年末にやりました堤防の浸透実験です。大型盛土の模型をつくりまして、高さが3メートル、のり面勾配は1対2、奥行きは9メートル、天端も3メートルあって、斜面部分が奥行き方向に6メートルあるものです。こちら、実験開始後36時間から48時間を早回しで回している状態です。後ろに水槽がありまして、河川水を模した外力を与えることができまして、堤防の高さ3メートルに対して、余裕高を考慮し2.3メートルの水位を与えまして、浸透させて盛土がどう壊れるかという実験をしたものです。

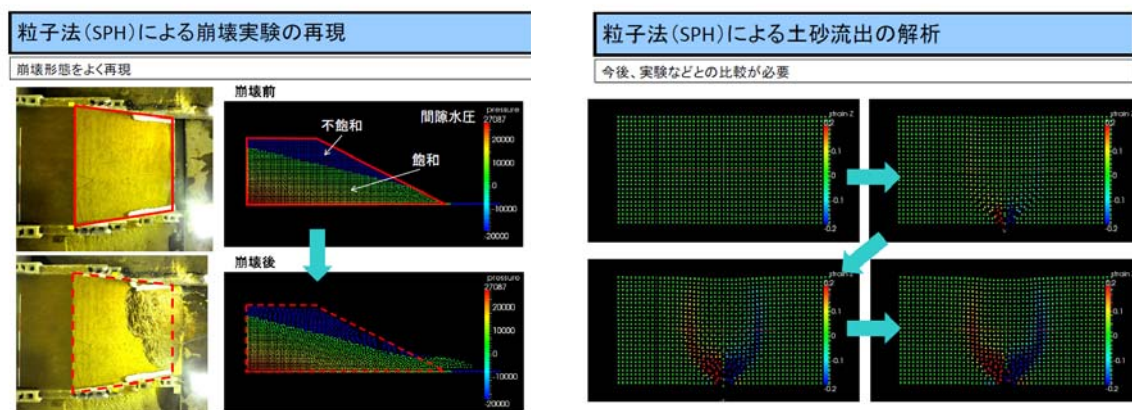


実際にこうして見ますと、円弧すべりのというよりも、堤防の表面が排水不良でどろどろと溶け出して、それが連続的に進行して、こういう形になっていきました。実際、このような実験をやった際にはよく見られる崩壊形態で、きれいに円弧すべりが起きて、連続的に滑っていくというのは非常にまれでして、こういう形でどろどろと時間をかけながら崩壊していくという事例が多く見られます。

ちなみに、この土質ですけれども、細粒分含有率が10%の砂質土でして、締め固めは85%にしております。C, ϕ で評価しても、円弧すべりのには滑らないという結果が出ておりまして、こういうものを今後どういうふうに評価していくのか。ひいては、先ほど議論にありました、ちょっとしたすべりが進行性で大破壊に至るのかをどういうふうに考えていこうかということが、個人的にずっと考え続けていることです。

一つの方法として、岡先生がMPS法というものを出版されていましたが、私が今、取り組んでいますのは、粒子で評価をしてやる、SPH法ともいうものです。こういうも

ので土をモデル化して、浸潤面を与えた際に堤防がどう壊れていくかをこういう形でアニメーションで示しているんですけども、先ほどの実験に示しますとおり、どろどろになったところが少しずつ移行しながら、上のどろどろにならない部分を引っ張りながら落ちていくという現象はある程度追えてきたのかなと思っていますところ。ちなみに、このモデル、モール・クローンモデルです。



これが水位です。水があって、青いところは不飽和の領域としています。岡先生と同じように、不飽和の領域はサクションを働かせています。

先ほど議論にありました、土がここでたまることで少しおさまるのではないかとということも、ここの摩擦をどう評価するかでまた変わってきます。質量保存を原則とした、ものがなくなる解析手法ですので、ストップするということもある程度再現できるのかなと思っています。まだまだ誤魔化しが非常に多い解析で、とても岡先生のように理論的に説明できる段階ではないんですけども、今、そういうことをやっています。

将来的には、これをもとに、本当に危ない浸透破壊は何なんだろうということを定量的に、難しいよねだけではなくて、土のパラメーターや変形特性などを考えながらいければと思っています。「どろどろになる」ということが一つのキーワードになると思っていますので、従来の土の構成則だけでは議論ができないと考えております。



同じような手法で、最近、東大の桑野先生と一緒に考えているのは、堤防の陥没はどう起こるんだろうということを解析しています。こちら、土槽に穴が空いていて、水位がど

んと上がった場合、流出がどう起こるかモデル化したものです。

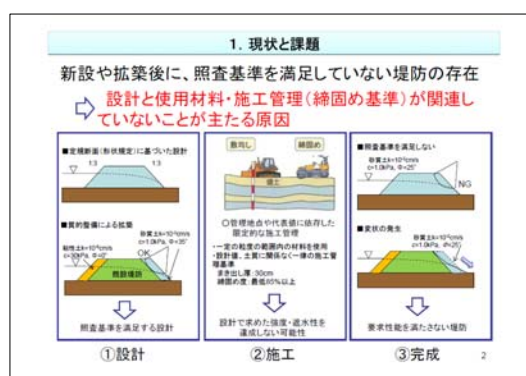
穴から土粒子がぼとぼとぼと落ちてきて、この線がせん断ひずみをあらわしているんですけども、地下水位がここまであって、上の不飽和の領域でサクションが働いている領域に行くと、せん断面が縦に入るんです。

実際の被災の陥没の現場を見ましても、陥没した現場というのは全く同じように直で落ち込んで、落ちた表層の土とかがここに見られるという状況がありますので、樋門、樋管の下の空洞に対する吸い出しとか、そういうものもこういう解析ツールで何とか定量化できないかということを、今、考えているところでございます。

次は、本題のほうに入らせていただきます。

岡先生のアカデミックな話とは全く逆のベクトルでして、現在、土木研究所のほうで治水課の協力を得ながらやっていますのは、いわゆる河川土工の質をどう高めていくかということについて、研究というよりも、どちらかというと実務的な調査検討を行っております。

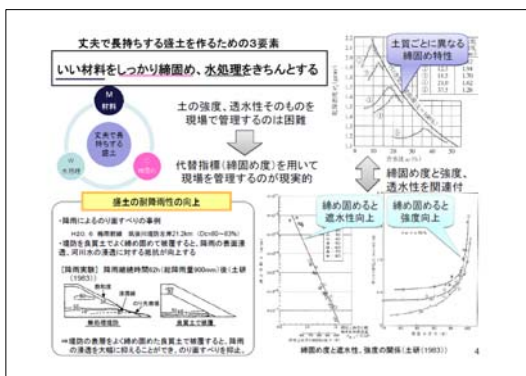
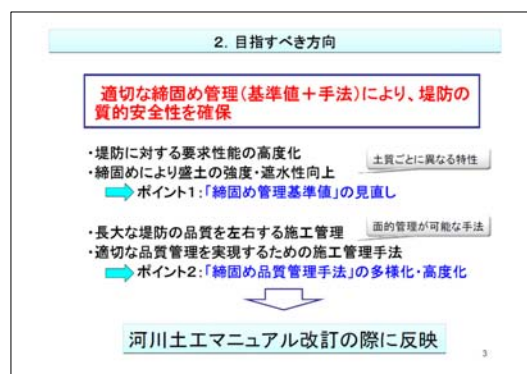
現状と課題ですけれども、堤防を新しくつくったり、拡築した後に詳細点検をやったところ、安全率でアウトだったり、変状が見られるような堤防があるということで、その辺についてどうしてだろうと考えますと、設計と使用材料、施工管理が関連していないことが大きな一因ではないかと考えております。



具体的に申しますと、堤防は、従来は形状規定で、簡単に言うとかささえ稼げばいいという考えでつくってきまして、最近進んでいます質的整備による設計につきましても、実際に詳細点検の結果などを見ますと、現実はどういう土が運ばれてくるか、設計当時はわからないこともあり、エイヤーで決めて設計して、大丈夫とているというのが現状です。

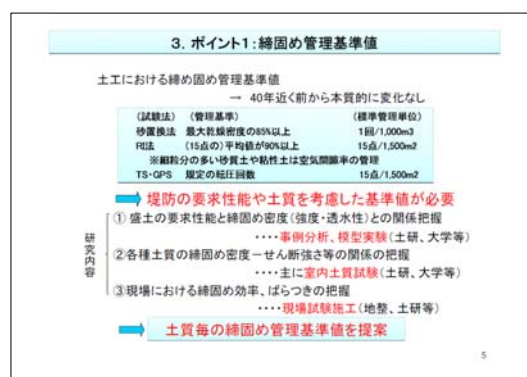
実際、つくるときになると、どうやっているかといいますと、どんな土であろうと巻出し厚30センチで、締め固めが最低85%、平均は90%以上になるようにしているという状態です。その結果、でき上がったものにつきまして、詳細点検をやったらアウトになっていた、変状が見られるような事例がある。

では、どうしていこうかということで、非常にシンプルです。適切な締め固め管理基準値がどうか。ポイントといたしましては、まず1つ目に、現在85%以上、90%平均というのは、どんな土質でもこれでいいのか、何でもこれで設計していいのかという点です。2つ目は、現在、締め固め管理に用いられています手法は砂置換法やR I法ですが、その手法自体の適用は現在のままでいいのだろうかという点を考えております。



この辺は、地盤の方には当たり前過ぎて、何を今さら言っているのかということですが、簡単に言いますと、土は締め固めれば締め固めるほど、普通は遮水性が向上して水は通しにくくなりますし、強度は上がるということがいえます。現在の締め固め基準が土の締め固めのメリットを十分に生かし切っているかどうかという観点からも、物事を考えようとしております。

現在の締め固め基準ですが、先ほど砂置換法、R I法と言いましたが、現場で用いられていますのは、1,000 m³に1回そういう検査をやりなさいですか、R Iで放射性物質を使ったものでしたら1,500 m³に15点やって、その平均値が90以上であることを示しなさいということです。R Iはリアルタイム性があるんですけども、砂置換などは、持って帰って土を乾燥させなければいけませんので、急いで次の日、大体二、三日はかかります。ここで、もしも締め固め管理基準を下回っていたとしても、施工自体は次の層に行っていたりします。



そういう状況の中、最初に堤防の要求性能は何ぞやということを再整理して、土質ごとに基準値、基準項目を考えるということをやろうとしています。

もう一つは、締め固め管理方法ですけれども、リアルタイム性がある、しかも面的に見られるものがいいのではないかということで、例えばTS・GPSによる転圧回数管理手法、あとは重錐落下法、簡単に言いますと、重りを落として、そのときの加速度を調べること、簡易的に締め固めが求められるかなどについて考えているところです。

4. ポイント2: 締め固め管理手法

現状の締め固め管理手法は測定に手間と時間が必要 → 点的管理
リアルタイム性(迅速・簡便)があり面的管理が可能な締め固め管理手法が必要

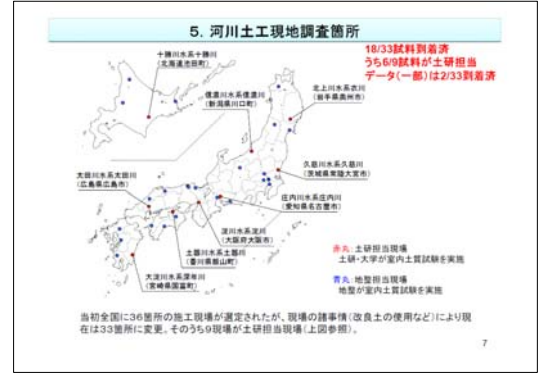
研究内容
 砂置換・Rf法以外の締め固め管理手法の適用性を現場試験施工により検証する
 【TS・GPSによる転圧回数管理手法】
 ・TSの活用は出来形確認及び完成後の維持管理にも有効
 【重錐落下試験法(キャスト、重錐落下法など)、振動ローラの加速度応答を利用する管理手法】

→ **現場条件を考慮した適切な締め固め管理手法の提案**




「簡便な施工による施工管理」
 重錐落下試験による締め固め確認
 TS・GPSによる締め固め確認

国土省の現場にお手伝いいただきまして、全国で33現場で、現実に使う土と施工後の状況について調査を行っております。具体的には、これだけの項目について調査を行っています。使用する盛土材の材料特性試験ということで、基本的な物理特性プラス土の三軸試験と透水試験をやっていただく。試験施工をやったら、そのときのデータをいただく。最後に、施工をした盛土につきまして、どの程度のばらつき、実際にここで使うと言っていた土とどれくらい違うのかなどを把握するために、施工後につきましても特定の2層において、RIで30点とか20点の調査を行いまして、それぞれ土のばらつきなどを見てやろう、締め固めの状態がどうか考えてやろうとしております。

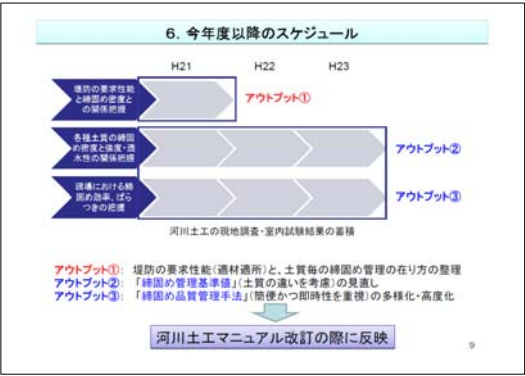


調査・試験項目

調査・施工の流れ	試験・調査項目	調査・実施
1. 使用する盛土材の物理特性試験	土質の物理特性試験 土質の含水率試験 土質の液性限界、塑性限界試験 締め固め後の土の三軸試験	使用する盛土材毎に実施
2. 施工条件を定めるための試験	砂置換法による土の密度試験方法 TS・GPSを用いた土の締め固め確認 圧入試験による土の密度試験方法 圧入試験による土の締め固め確認	転圧回数(2, 4, 6, 8, 10回)にて測定する。 O形試験機による密度管理: 10箇所 O形試験機による密度管理: 10箇所 O形試験機による密度管理: 10箇所 O形試験機による密度管理: 10箇所
3. 施工した盛土の質的評価	締め固め後の土の物理特性試験 締め固め後の土の含水率試験 締め固め後の土の液性限界、塑性限界試験 締め固め後の土の三軸試験	締め固め後の土の物理特性試験 締め固め後の土の含水率試験 締め固め後の土の液性限界、塑性限界試験 締め固め後の土の三軸試験

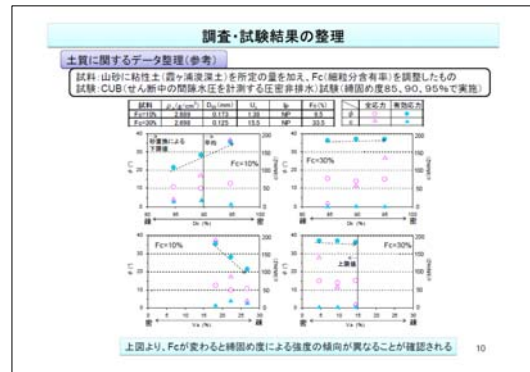
※下線部分は通常の施工管理に追加して実施する項目

今年度以降のスケジュールですが、今年度始まりましたので、残り2年を使いまして、平成21年から23年までの3カ年を予定しております。最終的にアウトプットとしては、締め固め管理基準と締め固め品質管理手法を見直していこうと考えております。



具体的に、現在の状況を簡単に説明させていただきます。こちらは現実のデータではなくて先ほどの実験で用いた土のデータですけれども、締め固め度を85、90、95%の3水準に振りまして、三軸試験のCUB条件で試験を行っております。その結果を見てみますと、土質の教科書に書いてありますとおり、締め固め度が上がると土のせん断強度も上がっていくことがわかります。

一方、こういう素直な土ばかりではなくて、例えば細粒分が30%になった場合、締め固め度を上げてても、有効応力に関してはそんなに強度増加が見込めないという成果もございます。実際、ストレスパスなどを見てやると、ダイレーションの発生などで強度増加は期待できると考えているんですけれども、締め固め度だけで、みんな頑張って締め固めれば強度が上がるという説明だけで通すのは難しいと考えております。



一方、現実の施工がどうなっているかを簡単にまとめたのがこちらの図になります。これは、ある現場、礫質層で施工機械が違う現場を比べたものです。一方は振動ローラー、もう一方はタイヤローラーを用いたものです。施工機械のことを簡単に話しますと、振動ローラーは締め固めに一番適した施工機械になっています。それに対しまして、タイヤローラーは、比べるとどうしても締め固め効率などが落ちると言われています。

これを見ていただくとわかるんですけれども、平均はタイヤローラーの方が土の性状の違いなどにより大きくなっているんですけれども、ばらつきは振動ローラーの方がきれいに正規分布を描いている。一方、タイヤローラーの方は、どうしてもむらが出ることが分かっています。



続いて、実際の現場で、どれぐらいの転圧回数でやっているのかについても調べております。こちらは、同じ現場で施工機械による転圧回数を定めるために定められたものです。振動ローラーを用いた場合でしたら、4回あたりで最低値が90%になるので、この現場は4回で踏みましようという形で決めています。

一方、ハンドガイド振動ローラー、振動ローラーの手押し版ですけれども、それだと締め固め効率が悪いので、6回踏まないと90%以上にならないので、ここを使うところについては6回踏んでくださいという形で現場の施工は決めていると聞いています。

そういう状況をしっかり把握いたしまして、土質ごとに締め固めによるメリットがどれぐらい出るのか。あと、施工に関して、これぐらいだったら現実的に頑張ってもらえるだろうという当たりをつけまして、締め固め管理基準などについて、今後、検討を進めていきたいと思っております。

ここら辺は、今後、議論が非常に出てくると思うんですけれども、例えば砂質土で細粒分が少ない場合は、単純に締め固めるとせん断強度が増加しますので、3割の勾配の堤防だったら、浸潤線が来た場合、最低でも ϕ は30度程度必要です。そういう勾配でこれぐらい必要なので、締め固めはこれぐらいしてくださいという形で提案できればと思っております。

一方、難しいのは、細粒分が比較的多い中間土、もしくは粘性土をどうしていくかなんですけれども、一つ確実に言えるのは、密度の増加に伴って透水性は減少するだろう。あと、水がしみ込んだときに、水締め、いわゆるコラプスが起こるんですけれども、その沈下を防ぐという意味でも締め固めというのは非常に重要かと思えます。

ただ、締め固め度管理をここでも使いますと、そもそも最大乾燥密度を求める水の締め固め試験は、細粒分が大きくなると精度がどうしても下がってしまうところがございますので、それについては、もう既に河川土工マニュアルで示されている空気間隙率基準などを徹底しないといけないと考えています。実際、現場を調べてみても、粘性土系も空気間隙率を使ってないんです。締め固めでやっているところばかりですので、まずそこを変えなければいけないだろう。同じように、堤防の要求性能をしっかり考慮して、空気間隙率基準がどうあるべきかということももう少し考えなければいけないと考えております。

現在、非出水期に入りまして、データが各現場からあがり始めていますので、その中である程度成果がまとまった段階で、皆さんのご意見なども具体的に聞ければと考えております。

