

# 浸透 変形連成解析法による堤防の解析法とその応用

岡 二三生  
京都大学工学研究科  
社会基盤工学専攻 教授



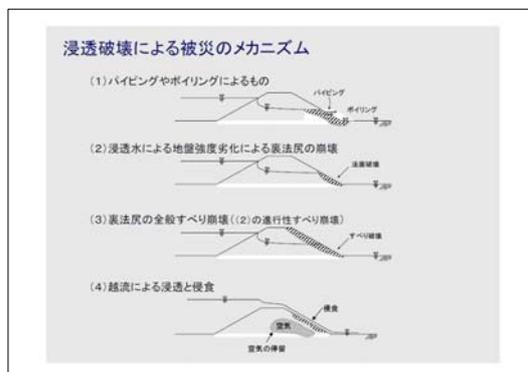
岡です。よろしくお願いします。

最近やっています浸透変形の連成解析法の説明と、ここ3年くらい京大の防災研究所のほうでやってきました実験の写真を見ていただきまして、解析の結果を発表させていただきたいと思います。

これは、よくご存じの足羽川の左岸の破堤です。このとき、ちょうど関西支部のテリトリーといいますか、領域でしたので、関西支部で調査委員会をつくって、福井大学の荒井先生に委員長をやっていただいて、報告をしました。右の図面は上から見た図面です。このときの調査の結果、砂質土系のものがこの

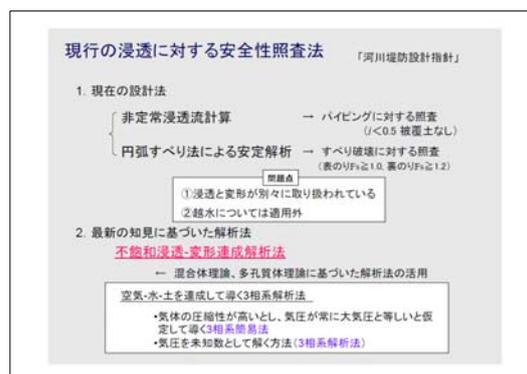


辺にあったことが大きな原因ではないか、一つの原因ではないかと言われているんですが、越流が起こったときにどんなふうになるかやってみようということになりました。越流をそのままやりますと、侵食など物質移動も含めてやらないといけないので、それはちょっと大変だということで、浸透だけでもまずできないかということで始めたわけです。



これは浸透破壊による被災のメカニズムです。川側からの浸透と越流による浸透は全部分かるわけではないんですけども、オーバーラップしていると思うんですが、パイピングとか、のり面が崩壊するすべり破壊を浸透と変形の面から見てみたいということで示しました。

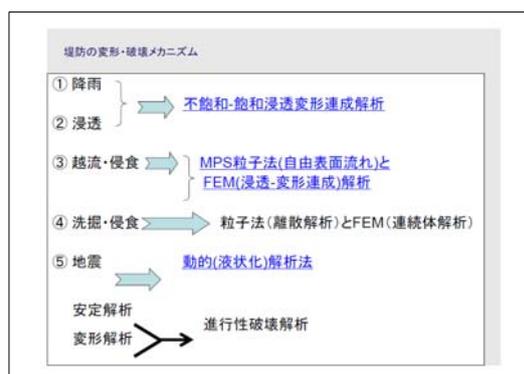
これは、もともとのモチベーションですが、現在の堤防の構造の指針では、照査水準としてパイピングに対するものは被覆土がない場合は局所動水勾配0.5以下で大丈夫だと。それから、円弧すべりで安全率を求めてやるということで、基本的に照査が行われています。関西の淀川などでかなり行われているんですが、実際にはパイピングによってすべりも起こるということで、本当にやるんだったら浸透と変形を同時にやるほうがいいということです。



それから、土質をやっておられる方はよくご存じですが、水の流れと変形問題というのは圧密理論とかありますように、土質力学ではかなりポピュラーというんですか、かなりいろいろ使われるようになっていきます。浸透だけやるとか、すべり破壊をやるということで、河川事務所の方とお話すると、あまりポピュラーではないということなので、それらの点を強調してやっております。

土は、水と空気と土粒子の3相系から構成されています。3相系を2つに分けさせてもらって、大気圧と空気圧はそんなに大きくない、ほぼゼロという仮定のもとでやるのが3相系の簡易法。それから、空気圧もきちんと計算するのを3相系の解析法と呼んでおります。

今回のものは、不飽和 - 飽和浸透変形解析ということで、以前から不飽和・飽和浸透解析はやられているんですけども、変形も一緒にやる。越流については、今回は自由表面の流れを別途計算し、それから得られる水圧を求めて、それを浸透の外力として使っています。あと、洗掘とか侵食などはMPSを使ったり離散解析も、京都大学の後藤先生がや



られているんですが、それは今回は話しません。地震についても、佐々木先生の基調講演であったような動的解析があります。最近ではこんなところかなと思っています。安定解析と変形解析、それから浸透解析を一緒にやるのがいいのではないかと考えているところです。

まずは解析法を述べます。不飽和ですので3相系です。どういうふうに行っているかといえますと、まず固相のほうです。液相から始めてもいいんですけども、通常、 $P^W$ というのは間隙水圧ですけども、そのボリュームフラクションですね。ボリュームに対して単位体積の中にどれだけ水があるかを求め

**応力変数(1)**

---

<p>+ 分応力</p> $\sigma_{ij} = \sum_{\alpha=S, W, G} \sigma_{ij}^{\alpha}$ <p><math>\sigma_{ij}^{\alpha}</math> : 全応力テンソル</p> <p>骨格応力: <math>\sigma_{ij}^s</math></p> <p>平均間隙水圧: <math>P^F</math></p> $P^F = sP^W + (1-s)P^G$	<p>固相: <math>\sigma_{ij}^s = \sigma_{ij}^s + n^s P^F \delta_{ij}</math> (<math>\sigma_{ij}^s = \sigma_{ij}^s + n^s P^G \delta_{ij}</math>)</p> <p>液相: <math>\sigma_{ij}^w = n^w P^W \delta_{ij}</math></p> <p>気相: <math>\sigma_{ij}^g = n^g P^G \delta_{ij}</math></p> <p style="text-align: center; font-size: small;">体積分率 Volume fraction</p> $n^s + n^w + n^g = 1$ $n^s = \frac{V^s}{V}$ <p style="text-align: center; font-size: small;">S : 飽和度 <math>s = \frac{V^w}{V^w + V^g}</math></p> <p style="text-align: center; font-size: small;"><math>P^F</math> : 平均間隙圧 (Jommi 2001)</p>
--	---

て、液相の分応力を出します。ガスがなければ、 $n$ と $P^W$ を掛けて通常はやっているわけです。気相がある場合には、同じように、ガスに対しても空気に対してもボリュームフラクションから求める。これは、飽和したものについてもやっているわけです。

実際、どういうふうに行っているかということ、飽和状態の場合、つまり2相系の場合には、 $n P^W$ とあるんですけども、それに有効応力を足し $s$ になるということで、要するに土粒子骨格に伝わる有効応力プラス、水からも受ける圧力があります。それと同じように、不飽和の場合も、有効応力プラス平均的な間隙圧を受ける。自分が持っているボリュームは、 $V$ に対して $n^s$ 倍ですよということで、それを掛けてやりますので、アナロジーとしてこれらを求めておいて、これを全部足します。次なんですが、平均的な間隙圧は、飽和度から平均的なガスと空気と水の圧力の平均値を出して、それを平均間隙圧といって、それを使う。

これはイタリアのミラノのJommi先生、彼女が最初に全応力からこれを引き算して用いることを提案しておられます。

これらを全部足しますと、実は全応力は $P^F$ とその残りというふうになって、先ほどの $P^F$ というもののだけがここへ出てきます。Jommi先生は、初めから直感的に、このやり方で、残りを彼女は平均骨格応力と呼び方をしているんですけども、私のほうは、一応、骨格応力という呼び方でいいのではないかとということで使います。なぜかということ、これは平均骨格応力と書いていますけれども、これを使うと、その平均値を出すときに混同することになるので、骨格応力でいこうと思って、最近はそのいうふう呼んでおります。

実は、こういうふうに行くと、この有効応力は、宇野先生はすぐにお気づきだと思うんですが、昔、ビショップが提案している有効応力と全く一致するんです。最近はまだあまり言われなくなりましたが、最初のころ使っていると、そんなものはビショップのスト

レスで、コラプスがうまくいかないとか、そういうことがあるのに、なぜそんなことするんだと大変文句を言われました。そうではなくて、分応力から出てくるものとしてはこれを使うけれども、もう一つサクシオンというのを使います。サクシオンはマトリックスサクシオン、巨視的なサクシオンですけれども、粒子の間についている水から受ける、水がメニスカスの形についていますから、それから受けるサクシオンが不飽和土にありますので、考え方としては、これだけではなくて、サクシオンも同時に使うというやり方です。

**応力変数(2)**

+ 平均骨格応力  $\sigma'_{ij}$

$$\sigma'_i = \sum_{j=1}^n \sigma'_{ij} = \sigma'_i + (n^i P^F + n^i P^W + n^i P^G) \delta_{ij}$$

$$= \sigma'_i + (n^i P^F + n^i P^W + n^i P^G) \delta_{ij}$$

$$= \sigma'_i + P^F \delta_{ij}$$

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - P^F \delta_{ij}$$

$$P^F = s P^W + (1-s) P^G$$

固相:  $\sigma'_i = \sigma'_i + n^i P^F \delta_{ij}$

液相:  $\sigma'_i = n^i P^W \delta_{ij}$

気相:  $\sigma'_i = n^i P^G \delta_{ij}$

体積分率  $n^i + n^W + n^G = 1$   
 $P^F = s P^W + (1-s) P^G$

$\sigma'_{ij}$ : 全応力テンソル

$s$ : 飽和度

$P^F$ : 平均間隙圧  
(Jouami 2001; 平均骨格応力 average skeleton stress)

+ サクシオン:  $p^G - p^W$   
構成式中のパラメータのサクシオン依存性

そのときは、場の構成式の中にいきなりサクシオンを入れるのではなくて、構成式のパラメーターにサクシオン依存性があるという方法で使います。一応、骨格応力プラス、サクシオンをそういうやり方で使っていけば、不飽和土もある程度表現できるのではないかと、ここで、ここ何年かやってきて、実験等ともやって比較しています。かなり説明がうまくできるということと、そういうことが、国際的にもというか、インターナショナルにも浸透してきて、私だけがそう言っているわけではなくて、何人かの人々がやってこれて、今では随分広がりました。スペインのアロンソ先生とか、あの辺の方も最近はこのを使っておられるということで、彼らもだんだんそういうふうになってきたところがあります。

構成式としては何かを使わないといけないんですが、ここでは私が以前からやっています粘塑性の流れ則という構成式を使います。飽和土ではどういうふうに拡張したかということ、ここには書いてないんですけども、 $\sigma'_{mb}$ というのは降伏曲面の大きさみたいな

**不飽和土の構成式**

粘塑性流れ則 (Kimoto and Oka, 2003; Oka et al. 2006)

$$D_{ij}^p = C_{ijkl}(\Phi(F_b)) \frac{\partial F_b}{\partial \sigma'_{ij}}$$

$$= C \exp\left\{m' \left( \sigma' - \bar{\sigma}' \ln \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mb}} \right)\right\} \frac{\partial F_b}{\partial \sigma'_{ij}}$$

$\sigma'_{mb} = \sigma'_{mb} \exp\left(\frac{1+c}{\lambda-k} \frac{\sigma'_{mb}}{\sigma'_{mb}}\right)$

サクシオンの効果 (Oka et al. 2000)

浸潤、乾燥に伴うサクシオンの効果:  $p^G - p^W$

弾性増加率

初期状態

サクシオンの減少とともに減少

Suction,  $P^F$

$$\sigma'_{mb} = \sigma'_{mb} \exp\left(\frac{1+c}{\lambda-k} \frac{\sigma'_{mb}}{\sigma'_{mb}}\right) \left[ 1 + S_1 \exp\left\{-S_2 \left(\frac{P^F}{P^G} - 1\right)\right\} \right]$$

$\sigma'_{mb}$ : 同様なサクシオン依存性を考慮

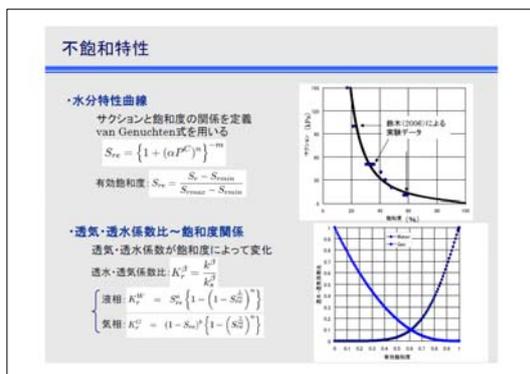
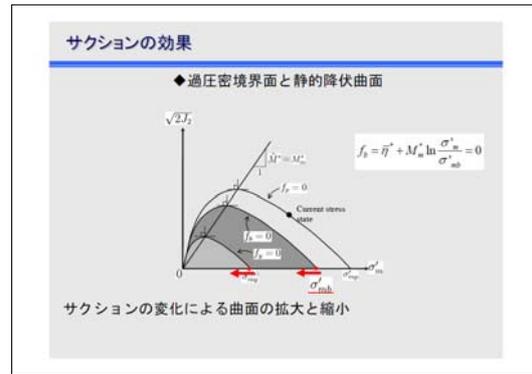
$S_1, S_2$ : パラメータ

$P^G$ : 初期サクシオン

$P^W$ : 現在のサクシオン

ものなんですけれども、それが大きくなったり、小さくなったりするというのをダイレクトに入れると、軟化現象もうまくいくということがわかっておりました。今回は、ここへサクシオンの項を入れて、サクシオンが初期のサクシオンから減少していきまると、この項は減っていく。 $S_1$ と書いてありますが、これにかかる項が減っていきまして、だんだん降伏曲面が小さくなっていく。弱くなっていくということをサクシオンの効果を入れてやるというやり方です。

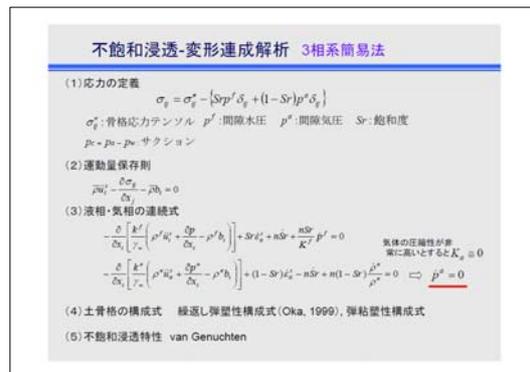
土以外の方には申しわけないんですけども、降伏曲面という、これより外では非常に大きな変形が起って、曲面内で変形は起るんですけども小さいというような曲面があります。こういう曲面はサクシオンが減ってくるとだんだん縮小していくということです。理論的には過圧密境界面と静的降伏曲面の2つの曲面のサクシオンへの依存性を使わないとうまくいかないんですけども、その辺を考慮してやりました。



それから、不飽和ですから、水があって、要するにサクシオンと水分特性曲線という飽和度との関係があって、これが一つの構成式だということで、90年代の終わりぐらいにオックスフォード大学のホルズビー先生が論文を書かれて、今では水分特性曲線というのは不飽和度の構成式の一部ということになっています。幾つ

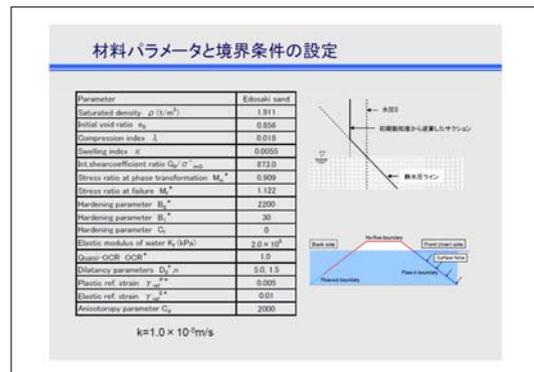
かのものが出ておりますけれども、ここはオーソドックスに van Genuchten 式を使って、ここはシルトのデータを当てはめたものを、後で計算するときのパラメーターに合わせてプロットしていますけれども、そういうものを使う。

それから、透気係数、透水係数もちろん飽和度によって変わります。だんだん飽和度が上がっていけば透水係数は上がりますし、透気係数は下がっていくというものを使って計算します。ですから、簡単に言えば、最初、応力の定義つまり骨格応力テンソルを決めて、それからサクシオンも使います。それから全体の保存則、それから運動方程式と連続式、気相、液相の連続式ですね。質量保存則と運動方程式から来るものを使う（もちろん固相の質量保存式も使う）。簡易の場合は

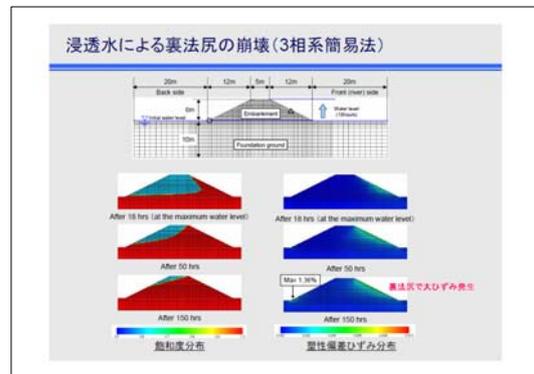


空気圧ゼロとする。構成式としては幾つかあると思うんですが、ここでは弾塑性構成式を使いました。不飽和の浸透特性はもちろん要りますということで、(1)から(5)までを使って解析するのが連成解析の重立ったところです。

次に、境界条件ですけれども、パラメーターはここに書かせていただきました。これは弾塑性のパラメーターですが、右側の方を見て下さい。堤防の中がどうなっているのかということで、なかなか中の状態が、サクションがどのくらいかというのは調べればわかるんですが、下は飽和している。ここは、本来はカーブしながら上へ上がっていくんでしょうけれども、遷移領域がある。上部のサクションをはかると、淀川の例ですと約60%だったので約60%ぐらいとしています。下部の静水圧ラインと結びつけて、それで計算することにしました。

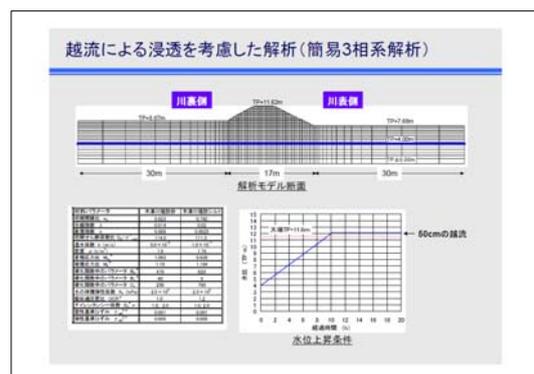


これは一番簡単な例ですが、6メートルの高さの堤防で2割勾配です。このようなことで、川側の水位を徐々に上げていくと飽和度が変わっていきまして、浸潤してこう行くということで、これは150時間後ですが、もう少し前でも定常状態に近くなりますが、この辺で定常状態です。

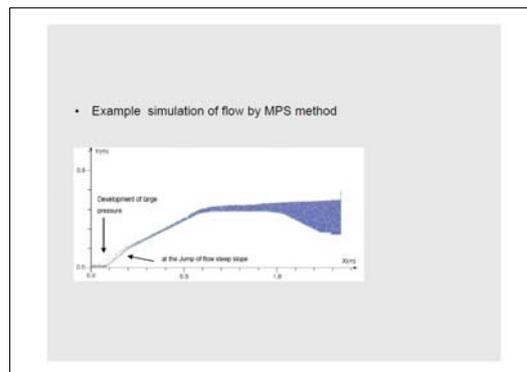


そのときのひずみを見てみると、最初は川表側で上がって、だんだん浸透していけば川裏の法尻で増えてきます。そういうことで、浸透とひずみの連成解析をするということになります。

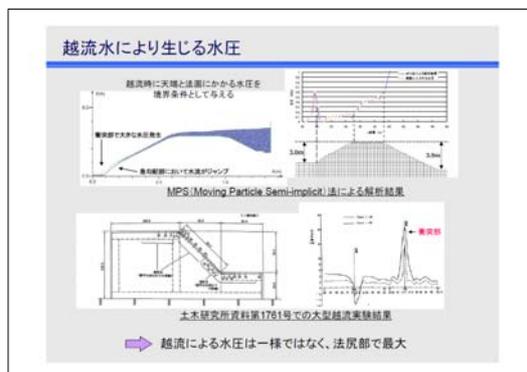
次は越流です。簡易法でもやってみたんですが、これは足羽川の簡単なモデル化です。水位は、ある程度実際に合わせたと思うんですが、10時間ぐらいで上がって、50センチぐらい越流させていく。



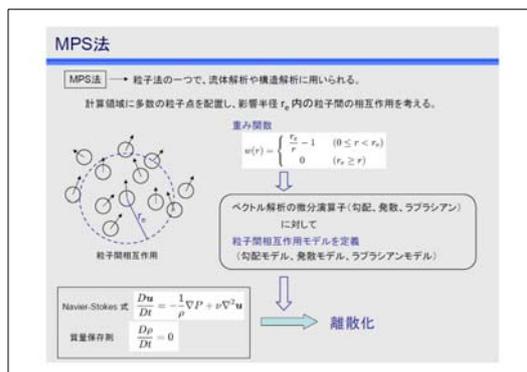
水のほうはどうするかということですが、MPSという粒子法の一つなんですけど、こちらから水位を上げていって水が越流してきます。これはMPSという方法で、固定床、これはもう剛なんですけれども、剛な堤防上へ水が流れていくという計算をして、そのときの水圧、これに対する衝突圧が、壁面に働く。その水圧を計算して、その水圧を使って計算することにします。



後でもう一回出てきますけれども、この辺から越流しますので、越流水深のところの水圧があって、それからちょっと下がって、このあたりでやはりちょっと下がるんですけど、それから法尻のあたりでどんどん上がるということです。これは以前、土木研究所でやられた有名な実験ですけども、衝突部で上がる。これは反対になっていますが、こちらの衝突部で上がって、のり肩のあたりで一度下がるというパターンが出てきて、京大の後藤仁志先生が計算され一緒にやったんですけど、実験とのデータをあわせて見ると、MPSによる方法がかなり近い値を与えることになりました。

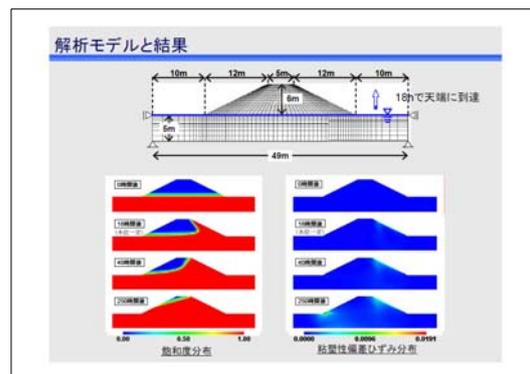


MPSを一応説明しておきますと、Navier-Stokes式と質量保存則を使って解く。それで、非圧縮で解けるのがいい点なんですけど、微分作用素の計算ですが、この点の周りで、粒子を配置しておいて、それぞれの値からいろいろな値を重みづけて、ここは1ですけども、その周りの重みをつけて、その点でダイレクトに微分量を計算して、それを使って解くという方法です。結構時間はかかるんですけども、堤防が剛であれば計算時間はそんなにかかりません。

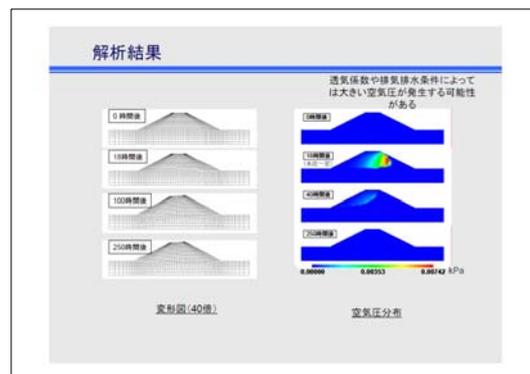




これも先ほどとほぼ同じです。まあ若干違いますが、100時間を超えると定常状態になって、時間がたてば法尻あたりで大きくなります。順番にいきますと、これは18時間と書いてありますが、これで天端まで上がるということで、浸潤面がこうなります。100時間ぐらいで大体同じなんですけど、250時間まで計算しました。

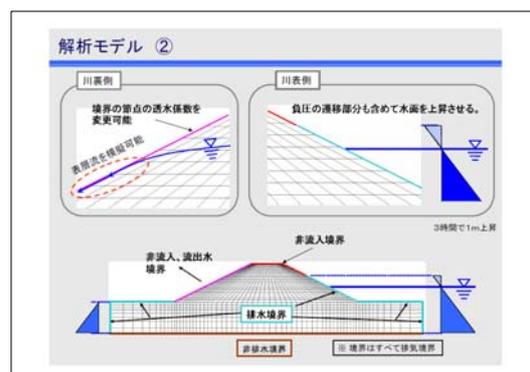
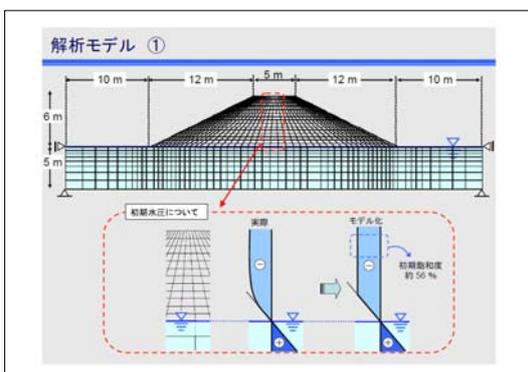


このときの変形図を描いていますが、この辺が非常に大きな変形になるんですけど、右側が空気圧分布です。空気圧分布は非常に小さい値が出ていまして、空気の構成式にはあまり凝ったものを使ってないというか、線形のものを使っていますので、本当は圧縮性材料で押されると、最初はやわらかいんですけど、だんだん固くなる。



そういうノンリニアなところはあるんですけども、そういうことをやってないこともあるんですけど、比較的小さな値です。

こういうときは境界条件が問題になりまして、こちらから入るときは流入するからいいんですけども、上は空気ですから、何もせずに計算したら、中がサクションで外がゼロの空気圧ですから、中から何も入らない水が入ってくるという計算になりますので、いつも表面でチェックをして、外がゼロ、中が負圧ですと、そこは何も流入しないですね。空気しかないのだから、水は流入しないという条件を課す。外がプラスの水圧になれば、流入、流出はできますという境界条件を設けてやりました。実際、浸透していても表面は流れるのではないかということで、ここは大きい透水係数を使うとか、そんなこともやってみているんですけども、いいことはいいんですけども、どうやって表層の透水係数を決めるかという問題があるので、そこまではいつもはやっていません。



いろいろな計算をやっているんですけども、きょうは越流だけに限って、今、申し上げたのは CASE 1 という通常のケースです。CASE 5 - 1 を説明したいと思います。

この場合は、30.5センチの高さに越流水深があって、どこを越流水深というかというのもいろいろあると思うんですけども、ここで

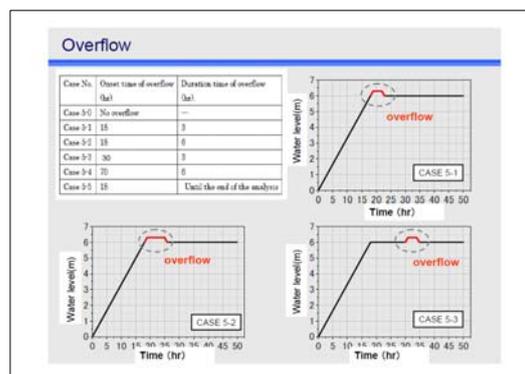
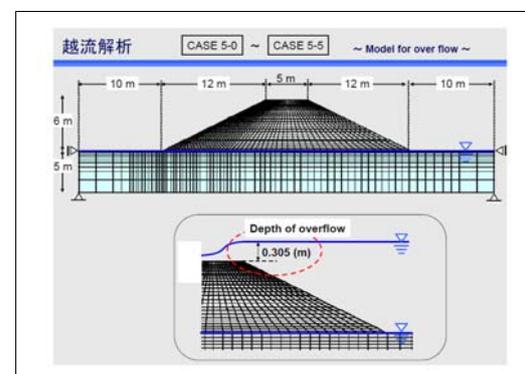
は川側の水位で決めて、実際にはちょっと下がっていきますから、この辺ではないかという決め方もあるかもしれないんですが、設定が難しいので川側の水位から決めました。

オーバーフローについては、きょうは一番簡単な CASE 5 - 1 だけで説明しようと思います。5 - 5 と 5 - 1 です。18時間ぐらいで水位が上がって、オーバーフローさせて、水位はまたもとへ戻るという水位を設定しています。このときもMPSで計算しまして、越流水深30.5cmを与えて、水がこう流れていきます。そのときの衝突水圧を計算するとこんな感じで、この辺が水頭圧で0.3メートルちょっとです。こら辺でちょっと落ちて、土研の実験のように落ちて、ここで上がるということです。

まだやっている途中なので、ここでは申し上げませんが、5メートル、3メートル、1メートルと高さを変えますと、1メートルから3メートルぐらいだと、この水圧はぐっと上がるんですけども、5メートル、6メートルぐらいになると、べき乗の関数ぐらいで、だんだん飽和するようになっていきますので、高さが高くなれば法尻の衝突圧がものすごく大きくなるかということ、そうでもありません。そういうことがわかっています。これを境界条件として法面に与えて、先ほどのような計算をします。18時間で上まで行きますので、ここから越流が始まって、1回、飽和に行くんですけども、中の空気が出ようとして飽和度が1回ちょっと下がるんです。それからまた全体に飽和していきます。

解析ケース

	透気係数(m <sup>2</sup> /s)		透水係数(m/s)		その他
	材料1	材料2	材料1	材料2	
解析法	CASE 1	1.0 × 10 <sup>-9</sup>	---	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	---
	CASE 2	---	---	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	三相混濁流法
	CASE 3-1	5.0 × 10 <sup>-6</sup>	---	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	---
透気性	CASE 3-2	1.0 × 10 <sup>-6</sup>	---	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	---
降雨	CASE 4	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	---	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	降雨
越流	CASE 5-1~5-5	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	---	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	越流
	CASE 6-1	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	5.0 × 10 <sup>-5</sup>	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	1.0 × 10 <sup>-3</sup> ドレーン
	CASE 6-2	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	5.0 × 10 <sup>-5</sup>	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	3.0 × 10 <sup>-7</sup> コア

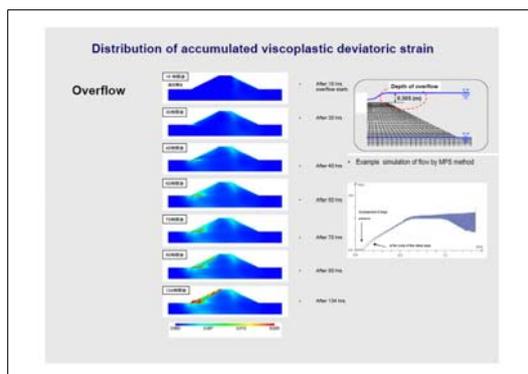
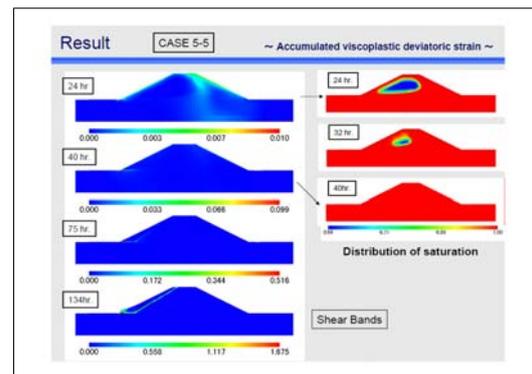
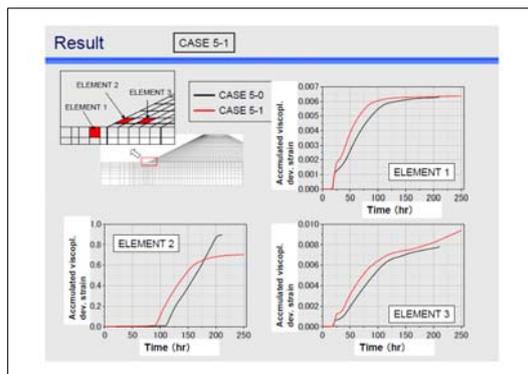
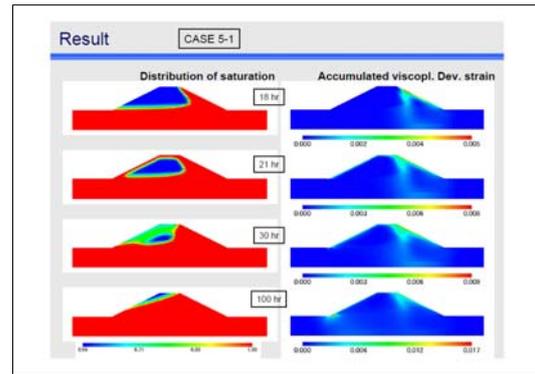


これは英語になっていますけれども、蓄積粘塑性ひずみですが、劣化の指標みたいなものです。最初、川表が大きなひずみになって、最後はやはり法尻のほうが大きなひずみになっています。

要素ごとに、どれもそう変わりませんが、計算結果で法尻先を見てみますと、時間的に18

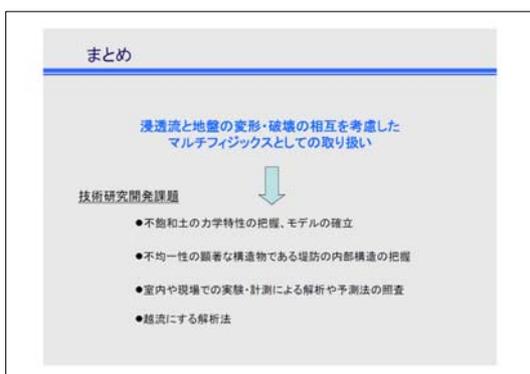
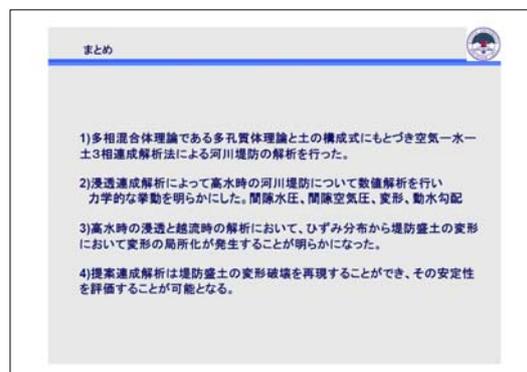
時間ぐらいから、水がやってきてからですけれども、だんだんひずみが増加していくということで、法尻よりやや上部のところのひずみとしては一番大きくなっています。

これ、越流させ続けたらどうなるかということで、越流させ続けると134時間ぐらいですべりのようなモードが出てきます。これは飽和度ですが、40時間ぐらいで完全に飽和しています。



これは同じ図面ですけれども、スケールをわかりやすくかいているものですが、だんだんすべりのモードのように、川裏側がすべるようなモード、赤い方がひずみがたくさん発生しているということなんですが、そういうモードが出てくるということになりました。越流による浸透を考慮した解析も一応可能ということです。

ここまでをまとめますと、空気、水、土の連成解析法によって解析を行って、一応、そういうことが何とかできるようになりました。それから、間隙圧も含めて議論ができるということです。それから、ひずみや堤防盛土の変形で局所化が起こることがわかって、すべりのようなモードも出てくるということなので、安定性を評価することも可能ではないか。同時に、すべり破壊とか、変形と浸透についてもチェックすることが可能ではないかと思えます。

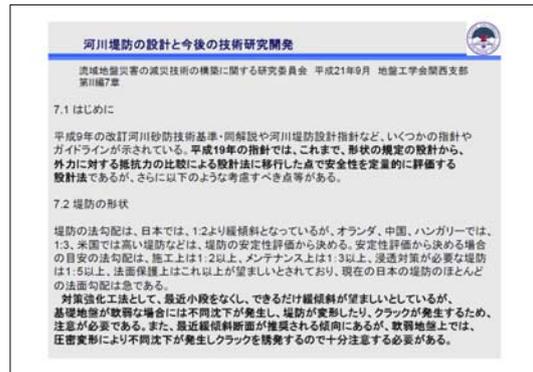


いろいろな課題があると思われかもしれませんが、基本的に堤防は不飽和ですので、不飽和土の力学特性を把握してモデル化をする。それを解いていかなければならないということです。時々言われるんですけども、早くやってくれたらいいじゃないかというんだけど、不飽和度の力学自体が完成してないところもあったし、今も完成しているわけではないんですけども、実験も含めて。それをど

う解くかという問題もあたりして、なかなか大変ということがありました。あと、不均一性や、どういう堤防構造になっているのかがよくわからないと言われるので、それを調べないといけないこととか、現場での予測法を使わないといけない。越流による解析も必要ではないかと思っています。

あと5枚ぐらい、書いたんですけども、去年の9月に関西支部で委員会主催のシンポジウムが開かれまして、タイトルは「流域地盤災害の減災技術の構築に関する研究委員会」ということで、平成16年に災害があったために調査委員会が設けられました。兵庫県と福井県ですね。それを受けての研究委員会だったものですから、それが3年後に終わってシンポジウムが行われました。

そのときに報告書の 編の中の7章でいつも私が言っているようなことを少し書きました。ご存じのように改正されてよくなったと思っ  
ているんですが、安全性照査法ですね。まだいろ  
いろな問題があるということで、この前も議論  
にありましたけれども、小段をなくして緩傾斜  
とよく言われて、淀川でもやられているんですが、軟弱な場合にはやはり不同沈下が発生  
したりするので、圧密変形をきちんとチェックした上で緩傾斜にするほうがいいのではな  
いか。



それから、堤体材料の選定なんですけれども、  
土工マニュアルに粒径加積曲線の幅が指定され  
ているんです。ところが、土木屋でも、土をや  
っている方だとわりあいよく知っているかもし  
れませんが、実際にやらないと、どのぐらいの  
ものを使っているかわからないところも確かに  
ありまして、河川事務所の方だと、あの中に入っていればいいということで、ぎりぎりの  
ところへいたりとか、いろいろあるので、これが一番いいというものが例示できれば、  
いいと思いました。実際の問題でもそういうことがありました。



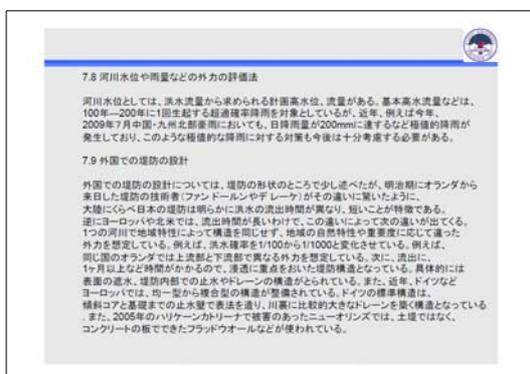
それから、堤防と基礎地盤の把握、先ほど不均一と言ったんですが、この前も私、申し  
上げたんですが、不飽和領域はN値で、N値がものすごく小さな値が出ていても、これは  
小さいということでいつもやっているんですが、コーンなんかやってみると、古い堤体が  
中に入っていて、それによってとか、いろいろなことで部分的にもっと強いところがあり  
ます。そんなことがあるので、あまりにもN値が小さいというか、危ないかなというとき  
は、原位置試験をやったほうが良いと思っています。

それから、今日はしゃべりませでしたが、物理探査で弾性波とか電磁波の探査をやりま  
す。弾性波は割合データがあるんですが、電磁波探査に関しては、特に速度をはかって飽  
和度なんかをチェックすることに使いたい場合には、そのキャリブレーションがほとん  
どないんですね。ある土というんですか、山砂みたいなもので、少数のキャリブレーション  
を今でも使っておられる。そんなことがあって、もう少しいろいろなデータを測定したほ  
うがいいと言っているんですが、なかなかやってももらえないということです。

浸透破壊については、動水勾配が0.5というの、計算をやってみますとさほど悪い値でもない、私、分かりました。ただ、0.5を下回ってはずみ大きい場合もあれば、0.4ぐらいとか0.3、それから0.6ぐらいでもある場合があったりしまして、逆に言うと、いろいろな実験とか調査、経験から決められた0.5というのは、わりあいといい値なのではないかと思うんですが、絶対的なものではないことが分かったということです。

越流については、今、やりましたので、あまり言うことはないですが、いろいろな方法が出てきているので、そういうのを使ってやったほうがいいと思います。

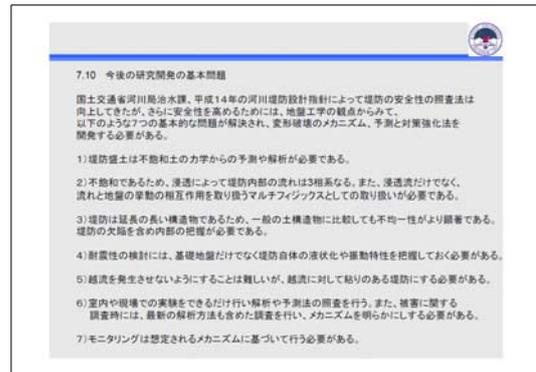
耐震性照査については、動的な問題だから、できれば動的解析のツールでやったほうがいいのではないかというのが私の意見ですが、佐々木先生がいらっしゃるので、ここは飛ばします。



外力は私のほうの問題ではないですが、どれだけ雨が降るかというのは非常に難しい問題だけれども、極値的な問題に対してどういうふうにするかが問題です。

外国での堤防は、中島委員などのお話を聞いたり、いろいろな人の話を聞いて書きました。そういうことがあると思います。

あと、モニタリングというのがあります。最近、淀川水系でモニタリングをやっているんですが、やはりメカニズムに基づかないと、やたらやっても大変だなというのがあって、メカニズムに基づくモニタリングは必要かと思っています。特に、今のような堤防、盛土をやる場合はいいんですけども、山から水が流れてきて



どういふふうになるかという問題は、あまりメカニズムがわかっていないので、そういうときはどの辺を調べればいいのか、どこら辺の山まで調べればいいのかというのは、やはりメカニズムを少しチェックしないと、ロスが多いのではないかと思います。

これは最近のものということでまだ出てないんですけども、一番最初に申し上げました実験について簡単に説明します。今年3月には報告書が出ると思うので、公表になると思います。これは1メートルの堤防です。室内のモデルです。水がここまで来ていますが、湛水を40時間ぐらいして、それから越流させる。2割勾配です。法尻あたりがどんなふうになっているかを調べました。

40時間ぐらい浸潤した場合は、法尻辺から水が浸潤して出ているのがわかります。

この実験をやってよくわかったんですが、浸潤面がどんな形になるのかというのは、我々、教科書で教わったようにはならず、どうもこの程度のというか、小さなモデルなんです。やはり締め固めるときに表面をかたく締め固めないと、裸地の堤防モデルはなかなかうまくできない。表面の透水係数を小さめに仮定してやりますと、そこそこ合ってきます。そういうようなことがわかりました。上に凸で、よく教科書で学生に教えますけれども、ああいうふうになるのではなくて、ちょっと下側から、逆に凹のような感じでだんだん上へ上がっていく。そんな感じです。

これもだんだん水が法面の上の方まで、上からにじみ出ている感じです。

実験と今の解析を比較しているんですが、現段階ではそれを完全に比較して発表できる状態ではないので、報告書が淀川河川事務所から出れば、見ていただけるのではないかと思います。



国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所提供



国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所提供