

2020年5月18日

「**統合物性モデル技術研究組合**」とは、
どのような課題を研究する組織なのか？

1. はじめに

国土交通省認可の「統合物性モデル技術研究組合 (IMTERA)」を2019年11月中旬に設立して、10社の地質調査業会社の40代、50代の社員の方々と共に、添付の資料に示すように、地震による地盤の液状化、地震および豪雨による斜面崩壊、また河川堤防決壊に対して、その規模を予測して、これらの種々の自然災害に対する対策を検討しています。2019年から5年間のプロジェクトです。この間、日本中の地盤のための3次元モデルの構築を実施します。ここで地盤とは、山の中から平野部、そして海の中までを含んでいます。

国や自治体が日本中の地盤のボーリングデータを統合して、自然災害に関する対策を検討しようとしています。そのためにこの組織は、3次元地盤モデルの構築方法を研究させていただきます。

国交省は、数年前より地盤調査のための日本中のボーリングデータを集積して、「国地盤モデル」をCIM (Construction Information Modeling) として構築しようとしています。地上のCIMやBIM (Building Information Modeling) 等は、ドローンを使って3次元レーダーを用いればそのモデル化は簡単です。しかし、地盤内はそんなに簡単ではありません。日本中の地質のボーリングデータを集積する法人の会社を2年前に全地連が設立しました。また、岡山県の地質図は、数年前に私達のグループで作成しましたので、岡山県にあります。この地質図をもっともっと精度の良いデータにして、自然災害の予測情報にする必要があります。この地質図は、岡山平野と一部山間部のデータを含んでいます。

私達は、海岸線の地質モデルによって津波災害対策の防潮堤の基礎の補強対策や、山の中の地形地質図と山地内の風化層の層厚を探查するための軽量の貫入装置とその装置を運ぶパワースーツの開発まで考えています。また、私達のグループは、毎年のように集中豪雨によって日本中で生じる山地からの土砂災害の規模の予測手法とその対策を研究しています。

このような大規模な日本中の自然災害に対する対策を研究するには、国の5年間の研究では不可能ですので、私達は統合物性モデル技術研究組合 (IMTERA: Integration Model of Physical Properties Technology Research Association) の集中的な研究モデルフィールドとして岡山県を、国に提案しました。その後、岡山のエイト日本技術開発・本店ビルの1階に間借りをして、研究組合事務所を2020年4月に開設させていただきました。

この組合では、地元岡山のエイト日本技術開発の技術者も、ウェスコの技術者も共同で研究を続けていただいています。また、土質工学の博士号を持っておられる技術者も加わっていただいています。

地盤内を探索する DAS (Distributed Acoustic Sensing : 分布型音響センシング) という光ファイバを用いた新しい物理探査法の開発も、エンジニアリング協会とダイヤコンサルタント、基礎地盤、そして深田地質研究所等の日本を代表する第一線の技術者が参加して下さって研究をしています。

2. 地盤の液状化災害

地震時の地盤の液状化対策に関しても、中央開発の東京と九州の技術者、そしてエイト日本技術開発の東京と岡山本店の技術者、島根原発の安全対策を検討している広島の中電技術コンサルタントのバリバリの技術者等が参加して下さり、本当にありがたいことです。

3. 豪雨による斜面崩壊

豪雨による斜面崩壊に関しましても、2018 年 7 月 6 日、7 日の豪雨による土砂災害が岡山県内でも多く発生しました。その斜面崩壊に対しまして、ウェスコの技術者や、岡山大学名誉教授の鈴木茂之先生、岡山大学環境生命科学研究科の西山哲先生等のご指導で、岡山大学の北の半田山の 2 か所の斜面崩壊を対象に、いかに半田山の山麓の住民たちの生活を守るかについて、研究を続けています。

この半田山の崩壊箇所は、岡山大学の管理地で、2014 年 8 月 20 日の広島市八木の土砂災害後の岡山県の斜面安定調査では「緑」の安全な斜面になっていた所です。斜面勾配も 29 度で、安全と判定されました。しかし、その安定と判定された斜面が、2 か所も崩壊しました。地山は古生層で、それが深部の花崗岩によって持ち上げられた山です。

私の人伝にお聞きした話では、2018 年 7 月 6 日、7 日の豪雨による南西側の崩壊は、斜面の付近を岡山市市議会の吉本議員が、周囲の住民の安全を豪雨の中確認されていた時に発生したそうです。この斜面崩壊で 1 軒の家が押しつぶされ、放り出されたその家の住民を吉本議員が救出し、家の中にもう一人おられると知り、レスキュー隊によってもう一人も救出されたそうです。本当に立派な岡山市議会議員がおられて、ありがたいことだったと感謝しております。死者が出ませんでしたので、岡山大学も管理不行き届きで社会から責められることにならず良かったと思います。

しかし、その後、半田山の現地を、岡山大学の許可を得て地盤工学会中国支部の岡山セミナーの研究者、技術者が調査しております。この山では、斜面の側溝

がいたる所で壊れているような状況です。岡山県内のコンサルタントが崩壊後の斜面を修復する設計をし、岡山市内の施工会社が対策工を実施して、2020年4月に終了しました。2019年の台風の際は、まだ安全な対策が何もなされておらず、台風が来ると大変なことになると思いました。どうか岡山市内に来ないように皆で神に祈りますと、幸いにも台風は関東に行ってくれましたが、関東の人々には本当に申し訳ないことをしたと思いました。しかし、この台風によって新見地区で土砂災害が発生しました。

半田山の崩壊箇所の東側の斜面には、まだ崩壊しないで亀裂が入った斜面が放置されたままです。2020年3月末に、私達岡山セミナーのアフターファイブの研究者・技術者は、大学に、数十ページにわたる2年間の報告書を提出して、半田山の対策がまだまだ必要だと訴えました。

2020年4月に岡山大学名誉教授の鈴木先生が、半田山の西側の斜面を調査すると、下に崩壊した土砂を崩壊した斜面の中腹に持ち上げた盛土の天端に、亀裂が発生していることが判明しました。また、2018年7月に斜面崩壊し亀裂が発生している斜面は、そのままの状態です。今年の梅雨に、再び災害が起こらないことを願っています。

半田山の2年間の調査は、鈴木名誉教授、西山大学院教授、ウェスコ、エイト日本技術開発、土質工学、応用地質、中央開発、中電技術コンサルタント、岡山県土質試験センター等々の研究者や技術者のおかげです。特に2014年の豪雨による斜面の安定度の判定では、近年の豪雨に対しては従来の判定方法では不十分であることを数値解析で示して、それを実際の斜面崩壊で証明していただいた中電技術コンサルタントの技術者には、感謝しております。

4. 豪雨による堤防決壊

豪雨による洪水時の堤防決壊に関する研究は、堤体内および堤体基礎の弱点箇所の抽出に関する研究を5年近く共にしていただいているパシフィックコンサルタンツの技術者の方々と、引き続き研究を行っています。

また、十数年間、高梁川の酒津の堤防内に、日本で最初に光ファイバによる間隙水圧計を設置して、2018年7月6～8日の豪雨時、堤防内の間隙水圧を計測して、その堤防の安定をモニタリングしてくれたアサノ大成基礎エンジニアリングの技術者とも、これから4年間研究を続けていきます。

河川堤防の決壊の多くは、洪水が堤防を越流して発生しています。洪水によって堤防の法尻や堤内法面が侵食されます。また、越流すると、堤防の天端や堤外法面が侵食を受け、堤外法面が深掘されて、堤防が決壊していきます。

しかし、近年越流しないのに堤防が決壊する現象が、九州の筑後川下流の矢部

川や秋田県の子安川で生じました。このような現象に対して国は、2012年に日本中の堤防内の弱点箇所診断手法を物理探査より抽出する手法の探求を実施して、表面波探査、移動式電気探査法、移動式電磁波探査法が有力であると結論づけています。

国交省が、堤防の弱点箇所の抽出手法の新しい手法を開発する3年間のプロジェクトを公募しましたので、パシフィックコンサルタンツと岡山大学は応募して選ばれました。この研究では、表面波探査によってN値が5以下のところでは、堤体内へのコーン貫入試験(CPT試験)を実施し、またその結果、堤体内に砂層が存在する場合には、その堤内地の砂層の点と堤外地の点との連続性を確認するために、以下の2つのトモグラフィー法を開発しました。

(1) 堤体内の地下水位以下の砂層での連続性の調査法

(a) 水圧トモグラフィー法

堤内地の発信孔(CPT試験より得た孔)から、一定の周期のサインカーブの水圧を発信して、堤外地の複数の受信孔で孔内の水圧変動を受信することによって、堤体内の砂層の連続性を調査する方法です。この水圧トモグラフィー法は、岩盤内での高レベル放射性廃棄物の地層処分において開発された手法を、土質に応用した手法です。

(b) 音響トモグラフィー法

堤内地の発信孔より周波数の異なる音響を発信して、受信孔での受信より堤外地と堤内地の砂層の連続性を調査する方法です。この音響トモグラフィー法は、米国のマイアミ大学の山本先生のアイディアの賜物です。

(2) 堤体や堤体基礎内の地下水面より上部での砂層の連続性の調査法

この調査法は、調査地点の堤防や堤体基礎は、一般に不飽和状態であるため、不飽和の中での砂層の連続性を調査する方法として、岡山大学とパシフィックコンサルタンツが開発した、新しい弱点箇所の調査手法です。

(a) 堤内地の孔に、水圧にして1m程度の空気圧で空気を注入して、堤外地の受信孔で空気圧の変化を受信して不飽和状態の中での砂層の連続性を調査する方法です。

(b) 注入空気圧を一定周期で変化させて、その空気圧の伝達の応答より圧縮性の空気圧の受信変化を用いて、砂層内の透気・透水と間隙空隙の値を調査、空気圧トモグラフィーします。

(3) 洪水時の堤防内の間隙水圧の計測方法(光ファイバFBGセンサー)

光ファイバFBGセンサーによる堤防内の飽和領域での間隙水圧と河川水位の

計測は、国交省の堤防内にある光ファイバ通信ラインを適用すると、現在では堤防に関してのモニタリングで1系統に対して数万の堤防に関する水圧、間隙水圧の情報を得ることが可能になっています。

しかし、多くの地盤内の水圧モニタリングに関して、日本では電気式の間隙水圧計が用いられています。このようなシステムには、電気エネルギーが必要であり、得られたデータを送信するための無線システムも必要となるため、多くの堤防での河川水位と間隙水圧についてのデータを取得することは、きわめて困難と考えています。また、電気的間隙水圧計のもう一つ大きな課題は、間隙水圧センサーの耐用年数が5年程度であり、5年ごとにセンサーを更新することは、地盤内の種々の挙動をモニタリングしようとする社会的な動向に対して、電気的システムは極めてネガティブなシステムと判断しています。

光ファイバセンサーであるFBGセンサーは、髪の毛程度の太さの1本の光ファイバにレーザーによって切込みを入れ（グレイティング）、そこに光を送ってその乱反射から「グレイティング」箇所がどの程度変位（ μm の単位）したかを計測するセンサーです。変位を計測したい場合は、計測したいところにそのままFBGセンサーを設置するだけで、変位を計測できます。1本の光ファイバに数点のグレイティングをしたセンサーを設置することが可能になってきているため、1本の光ファイバで多点の変位計測ができます。

このFBGセンサーを温度変化によって変形する物質に設置すれば、複数点での温度変化の計測も可能になります。従来の熱電対のように何本ものセンサーケーブルを埋設する必要もなく、1本の光ファイバケーブルで複数点の地中の温度計測が可能になっています。150mの光ファイバケーブルで60点近い土中の温度を計測するセンサーも市販されています。

光ファイバセンサーは、数km離れたモニタリング地で、堤防内の温度、堤体の変位が計測できることが理解できたように、間隙水圧の変化によって変位する装置にFBGセンサーを設置すると、地中の間隙水圧が計測できます。この考え方から新しいFBG間隙水圧系を開発して、日本で最初にFBG間隙水圧計を岡山県の高梁川の左岸に設置しました。

豪雨時の堤体の安定を経時的に評価していくには、堤体内の間隙水圧を計測するだけでは、安定性を評価しても住民に避難勧告する十分な時間的余裕がありません。したがって、最近正確になりつつある気象データを外力として、今後堤防内の地下水位がどの程度変化するかの予測を可能にするには、地下水位による上部の不飽和領域の土中水分量（体積含水率）の変化を計測する必要があります。

土中の体積含水率の豪雨時の変化の計測のために、電気的土壤水分測定センサーの設置が最も一般的です。昔はテンションメータによる土壤水分測定が一般的

でした。土の土中水を吸収しようとする負の間隙水圧を計測して、対象とする土の密度を同じにした状態での土壌水分特性曲線を求めておくと、その負の間隙水圧の値から、その時の土壌水分量を求めることが可能になります。しかし、この手法では、テンションメータのカップ内で負圧を計測するための脱気水の管理が重要です。この脱気水を自動的に補給するシステムも開発されました。

しかし現在では、TDR、ADR、FDRのような土壌内の誘電率の変化を、高周波の電気信号によって計測する方向に変化しました。TDR法とADR法は、日本では植木の土壌水分量の計測に用いるまで一般的になっています。また、FDR法による計測装置も、以前は数百万円のオシロスコープを必要とする計測法でしたが、2019年ではドイツ製の1～2万円程度の安価なセンサーが市販されています。

このような土壌水分計を現地に設置して、堤体内でどれくらい長期間計測できるかが、今後の課題です。また、このような電気を用いる土壌水分計は、電気や通信装置が必要となります。したがって、光ファイバセンサーによる土壌水分計の早急な開発を実施する必要があります。

数年前に土壌水分の変化によって変形する材料として木材を用いて光ファイバによる土壌水分計を試作しましたが、木材と周囲の土壌とでは乾燥する際の速度が異なるために、土壌水分計としては乾燥側での計測が困難であることがわかりました。

それに関しては、サイクロメーター法や従来の熱電対による温度測定を、FBG光ファイバセンサーで実施すれば、どのようになるかを検討する予定です。なお、岡山県は、日本で最初に光ファイバによる通信網が設置されていますので、それを用いて地盤内の種々のデータをモニタリングして、県全体の地盤の3次元モデルを構築していきたいと願っています。

5. 今後の研究課題

この大きな3つの課題に対して、私達の研究組織は、現状では上記のように考えています。将来は、以下の課題に挑戦させていただきます。

- (1) 地盤の安全評価法
 - (a) DASによる物理探査法の一般的な普及
 - (b) CPT試験器の軽量化と低価格化
 - (c) 水圧、空気圧トモグラフィ法の普及
 - (d) 3次元での地盤の安定解析手法の普及
 - (e) 地盤の破壊に関する浸透とせん断の物性値のパラメータの試験および調査法の普及

(2) 地盤を強化するための技術開発

(a) 砂質地盤の液状化に関する安価な対策法の開発

- (i) 液状化範囲の3次元での特定法
- (ii) 砂質地盤の安価な液状化対策手法の開発
- (iii) 砂質地盤を強化できる新たな安価な注入材料の開発（極超微粒子セメントから火山灰やゴミスラグを用いたジオポリマー材）
- (iv) 地下水低下工法に対しての新しい排水システムのための材料開発

(b) 斜面崩壊を防止するための技術開発

- (i) 危険な斜面の土砂災害対策のための斜面強化技術の開発
- (ii) 山地の環境を維持しながらの安価な斜面強化材料の開発
- (iii) 斜面内の安価な地下水位低下工法の開発
- (iv) 地下水位低下工法での新たなドレーン材の開発
- (v) 目詰まりが生じにくいドレーンシステムとその維持管理システムの開発
- (vi) 斜面強化工法の健全度を診断するモニタリングシステムの開発

(c) 河川堤防の強化技術の開発

- (i) 堤防基礎の液状化および浸透破壊に関する強化工法の開発
- (ii) 浸透破壊を防ぐ堤防基礎の強化のための安価な注入材の開発
- (iii) 堤防基礎の液状化に対する強化のための安価な注入材の開発
- (iv) 堤体の堤外法面および堤内法面の侵食に対しての安価な新しい強化技術の開発
- (v) 堤体天端の浸透に対しての新しい強化工法の技術開発
- (vi) 堤体内の人工構造物周辺の浸透に対しての強化に関する新しい技術開発
- (vii) 堤体の景観と表面の植生を維持した堤体強化技術の開発
- (viii) 越流しても決壊しない礫と砂を混合した築堤材料による堤体の安定度の確認

(d) 対策施設の維持管理技術の開発

- (i) 液状化対策のためのジオポリマー材の耐久性のモニタリング技術開発
- (ii) 斜面崩壊対策のための地下水排水のドレーン材の維持管理技術と耐久性のモニタリング技術開発

- (iii) 排水施設の日詰まり対策と日詰まり浄化技術開発
- (iv) 斜面崩壊対策のための地表面水排水対策の維持管理技術開発
- (v) 表面水排水施設の老朽化モニタリングシステムの開発
- (vi) 1000年単位での耐久性がある表面排水施設の開発
- (vii) 堤防の堤外地でのドレーンシステムに関する新しい技術開発
- (viii) ドレーンシステムの老朽化のモニタリングシステム開発
- (ix) ドレーンシステムの日詰まりを洗浄するシステムの開発
- (x) 日詰まりがしにくいドレーンシステムの開発
- (xi) ドレーン材中に細粒土が混入しても自然洗浄するシステムの開発

(3) 地盤災害の外力の正確な予測およびモニタリングシステムの開発

- (a) 液状化地盤に対して、日本各地の地盤での地震強度の正確な予測手法の開発
- (b) 斜面崩壊に対してのアメダスや気象台などでの正確な豪雨記録データの入手方法の開発
- (c) 気象台などの豪雨記録に対して、樹間下の斜面にどの程度の降雨があるかを計測できるシステムの開発

降雨浸透：樹林下での降雨強度の計測法

- (i) 二重管を土中に埋設する。
- (ii) 管径は雨量計と同じにする。
- (iii) 内管内に光ファイバによる水圧計を設置して、内管内の水位変化を計測する。
- (iv) 管長は 1.5m程度とする。
- (v) 豪雨の後、雨量計の状況を調査する。
- (vi) 雨量計内の水深を計測して、水圧計の精度を確認する。
- (vii) 二重管の内管を取り出して、内部の降雨を採水する。
- (viii) 内管を再設置し、水圧計を設置して、水圧計の深度まで注水して全てのシステムの作動を確認する。

- (d) 河川堤防の決壊におよぼす正確な外力の調査法の開発

6. おわりに

自然は常に変化していきますので、自然と調和して、自然を守りながら自然災害を少なくする方向が最も大切と考えています。

熊沢蕃山が治山治水を基礎として調和した生き方を、岡山で示しています。自然災害を少なくするには、危険個所をあらかじめ明確にする技術開発がいちばん

です。そのためには、高度な地盤内のモニタリング技術開発と、変化する自然の予知技術開発をして、災害を少なくするために危険な所には人間が近づかないようにする、そして、どうしても人間が近づく必要のある所には、何があっても人間を守る対策をする技術開発と、対策のための材料開発が必要であると、常々考えています。

謝辞

岡山での地盤災害に対して、平素より中国地質調査業協会岡山県支部の会員皆々様の長年にわたってのご支援により、地盤工学会中国支部岡山セミナーはここまで育ってきました。

当セミナーはこれからも社会のために頑張りますので、これからもご支援、ご教授のほど、よろしく願いいたします。

(文責：西垣 誠)

P.S.

多くの人々の前で、大声を出して、自分たちがやるべき仕事を宣言する。これを「言魂」という。このように、一度人前で宣言してしまうと、約束のようになり、宣言した言葉に魂がこもる。また、この言葉が神への誓いになり、宣言した言葉は言魂となると、古来より言われている。その言魂が誤っていたり、言魂を実行できなければ、神より死を授かることがある。したがって、もし一度宣言したなら、その後は命をかけて仕事をする必要がある。