

## 令和3年度 第1回 基礎地盤の変形評価に関する研究小委員会 議事録

1. 日時：2021年10月5日(火) 9:00~12:10
2. 場所：WEB会議 (Cisco Webex Meetings)
3. 出席者  
委員長： 谷 (東京海洋大)  
委員： 今林 (九電)、大鳥 (東京都市大)、岡田 (電中研)、小野 (鳥取大)、  
金戸 (東電)、河井 (東北大)、篠田 (防衛大)、高尾 (原エネ協議  
会)、橋 (中電)、堀 (海洋機構)、松島 (筑波大)、三橋 (構造計画)、  
山田 (東北大)、吉見 (産総研)、若井 (群馬大)  
幹事長： 澤田 (電中研)  
幹事： 石丸 (電中研)、泉 (北海道電)、伊藤 (九電)、及川 (東電)、大内  
(東北電)、家島 (中国電)、工藤 (日本原燃)、小早川、沢津橋 (電  
中研)、下口 (四電)、徳永 (九電)、中村 (電中研)、中村 (電源開  
発)、西本 (北陸電)、羽場 (大成建設)、山口、吉田 (電中研)  
常時出席： 蒲池 (関電)  
オブザーバー：坂本 (電中研)、伊藤 (原電)
4. 議事：
  - (1) 委員長あいさつ、委員の自己紹介
  - (2) 小委員会の活動について
    - ・ 設立趣意
    - ・ 検討項目と検討方法
    - ・ スケジュール
  - (3) 話題提供
    - ・ 高性能計算による断層変位評価
    - ・ JEAG4601-2020 における地盤安定性評価の概要
  - (4) その他

※配付資料

資料 R3-1-1 議事次第

資料 R3-1-2 委員名簿

資料 R3-1-3 活動案

資料 R3-1-4 話題提供 1：高性能計算による断層変位評価

資料 R3-1-5-1 話題提供 2：JEAG4601-202X における地盤安定性評価の概要

資料 R3-1-5-2 話題提供 2：伊方発電所 3 号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の  
安定性評価について

資料 R3-1-5-3 話題提供 2：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG-202X ドラフト（公衆審  
査用）

## 5. 議事内容

### (1) 委員長あいさつ、委員の自己紹介

谷委員長：この委員会は原発に関わるということで、大きな地震が発生した時の基礎地盤の揺れとずれ、つまり連続と不連続な変形や動的と静的な変形などの難しい課題に取り組む委員会であると認識している。人数が多いオンライン形式の委員会で審議をすることが容易ではないが、活動方針や具体的な活動内容について、皆様のご意見をいただきたい。

各委員：(あいさつ、自己紹介)

各幹事：(あいさつ、自己紹介)

常時出席者：(あいさつ、自己紹介)

各オブザーバー：(あいさつ、自己紹介)

### (2) 小委員会の活動について

小委員会の活動について、澤田幹事長より説明があった。主な質疑、コメントについて以下に示す。

岡田委員：変形量の話を進めていくというところで、基礎地盤だけで斜面は対象としないのか？

澤田幹事長：この小委員会での対象は基本的には基礎地盤の変形と考えている。地盤の変形評価全般でこういった研究があることを委員には紹介していただきたいと思う。

岡田委員：基礎地盤の場合は、基本的には岩盤なのか？原子力立地は基本的には岩盤なので、岩盤だけに特化するのかわかりきりさせた方が良く思う。

澤田幹事長：基本的には岩盤と考えている。

三橋委員：ハザード評価の体系化の際、ハザードまでいれると建屋など重要構造物への損傷確率みたいなものまで踏み込まざるを得ないと思うが、どこまで対象とするつもりか？

澤田幹事長：基本的には決定論的な流れで、その中で不確実さを考慮し、そのやり方を体系化するという事を考えている。その際に確率論的なやり方も参照する。

三橋委員：確率論的な評価の土台にのるような解析手法を整理するイメージで良いか？

澤田幹事長：それぐらいが目標と今は考えている。

三橋委員：確率論的な評価に対するアウトプットとしては、変位のばらつきみたいなものを出すということか？

澤田幹事長：そうである。一つのアウトプットがスライド P.6 右下に見えているような形で考えているところである。

三橋委員：建屋のほうにはあまり踏み込むつもりは今のところないということか？

澤田幹事長：ない。ただし、建屋に入力した検討事例について、紹介したいと思っている。

谷委員長：関連技術を網羅的にまとめた報告書は、最適な手法を選択する判断や説明に資する。P.6のフロー図の真ん中赤枠「数値解析に基づく $\delta a$ の検討」を中心に多様な技術を記述し、それぞれの事例（ケースヒストリー集）も後ろの付録に紹介されていると良いと思う。また、活断層を回避できない重要なインフラとして鉄道などがあり、アンケートの他にインタビューという情報収集のやり方もある。

澤田幹事長：幹事団で議論し、そういった内容を取り込めるよう検討したい。

篠田委員：鉄道総研の知り合いがおり、協力できると思う。技術文書のカテゴリー分けについては、次の原子力土木委員会の臨時の幹事会で内規案をあげていて、その中に今の記載が書いてあり、問題ない。

澤田幹事長：マニュアル的な内容にするのであれば、「技術資料」は適さないという意見もあるので、カテゴリー分け、目次の形は多少整合をとることが必要になるかもしれない。

羽場委員：JEAGの設定とロジックツリーの設定のところはこの委員会だけで行うとかなり大変で、解析している側がこれを完璧に作り上げるのは難しいと思う。本委員会でどれだけやるのか、例えば原子力学会で取り組まれていることをどこまで取り込んでいくのか、というようなところも具体的に議論していったほうが良いと思う。

澤田幹事長：これに真剣に取り組むとすると本委員会の専門を超えている。例えば、PFDHAの流れだとこの辺は取り込まれている。現状技術を取り込む形でやってもよいと思う。

羽場委員：数値解析をやろうと思うと、パラメータの設定がかなり多くて、扱わない不確実性が大きいと思う。それが具体化できれば良いと思う。

澤田幹事長：逆に言うと、扱うべきパラメータがこれというのが言えればなお良いと思う。シナリオの設定のところは、PFDHAや地震動で検討する時にどう考えるかを参考にしはどうかと思う。

岡田委員：断層変位のことに関心を持った委員会とを感じる。この委員会は基礎地盤の変形評価である。目次の2章と3章について、変形評価の中に揺れの変形と断層のずれに伴う変形という構成になっていないとおかしいのではないかと思う。JEAGの構成にしたがったようなものがあって、揺れによる変形はこれまでやってきたのだが、ずれによる変形ももっとやりましょうというのが私のイメージであった。

澤田幹事長：承知した。特に体系化の観点から言うと、どうしても断層変位が中心になるところはあるが、全体として基礎地盤を扱うので、大局的にもっと上の概念があり、断層変位はそのひとつとして考えたい。

河井委員：断層変位がメインに見えてしまう内容で、2.1から2.4のどこを見ても変形の話がなく、変位しかない。

澤田幹事長：構造物と絡めないとなかなか変形という概念に落とし込めないところはある。

河井委員：事例として計算とかしているし、載せられるならそこまで入れないと変形評価にはならない。さきほどの揺れの変形とずれの変形という構成案に賛同する。

澤田幹事長：断層変位に伴う地盤の変形については、先生方で取り組まれている方もいらっ

しゃると思うので、そういったところも是非報告書に入れていきたいと思う。

### (3) 話題提供 (前半) 「高性能計算による断層変位評価」

高性能計算による断層変位評価について、電中研 澤田委員長から話題提供があった。主な質疑、コメントについて以下に示す。

松島委員：副断層も含め、断層は基本的にはジョイント要素で表現しているのか？

澤田幹事長：副断層も含め、ジョイント要素で表現している。基本的には原子力サイトの重要構造物、岩盤上であれば、少なくとも地表からは副断層や破碎帯などの分布は把握できていると考えられるので、それをジョイント要素でモデル化する考え方を取っている。

松島委員：新しく副断層が出るというのは想定しないということか？それはこの委員会全体の前提と考えてよいか？

澤田幹事長：想定せず、出るところは予めいれておく。また、必ずしも前提でなくとも良いと考えている。

松島委員：摩擦角 25 度の値は低い感じがする。これは  $\tau_{\max}$  を規定する値であるか？

澤田幹事長：2、3 の原子力サイトでの破碎帯の物性をみると、これくらいの数字が出ている。それを念頭に決定した数字である。また、 $\tau_{\max}$  を規定する値である。

松島委員：滑ったあとの剛性にはあまり関係ないということか？

澤田幹事長：そうである。立てる構成則、特に静・動せん断剛性比ということで、どこからどこまで落ちるかの比がこの部分に結構効いてきて、解析結果に一定の影響を与える。

松島委員：予測解析の時に、普通のレシピの入力であれば、副断層の変位が出ないという話をしてしたが、それはレシピだと入力小さすぎるからか？

澤田幹事長：これくらいだと出ない。

松島委員：それは長野北部や熊本より小さいのか？

澤田幹事長：分布で言うと、これよりも大きいずれ変位が主断層に出ている。これは平均的に一様に与えた場合である。長野県北部や熊本だと、1.5 m などの数字が出ていて、また分布があり、まわりの大きいところと小さいところの差で地盤に歪が生じたりということもあるかもしれない。ずれ変位の大きさとともに分布のコントラストが影響を与える。

松島委員：その与え方も予測解析をする時に確立していないという理解で良いか？

澤田幹事長：そうである。一提案として、ここで示した方法があるのではないかと思う。

吉見委員：主断層の変位を入力して、それによる基盤変位を入力しており、どちらの副断層もモデル化範囲よりも浅いところにしか存在しないという仮定をしていると思う。そこは観測や調査で確かめられたり、簡単に確かめられるという前提で行っているのか？

澤田幹事長：反射法などの手法によって、確認ができると考えている。熊本のモデルに関しては、傾斜が立っているところもあり、実際にはもう少し深いところまでいっている可能性はあると考えている。

吉見委員：追加だが、熊本に関しては、主断層布田川、副断層木山盆地の北側をとっているが、恐らくもっと深いところで分岐しているはずである。今回の入力条件が副断層 1,2 に対しては危険側、変位が出ない側なのかと見えたので、質問させていただいた。

澤田幹事長：P.21 の底面で変位を規定しているので、議論があるところだと思う。

河井委員：副断層 1,2 の底面での変位の規定について、それは入力条件にしたのか？

澤田幹事長：食い違い弾性論の結果を入れている。ずれ変位は主断層では生じているが、この部分は滑らかに入るような形になる。

河井委員：食い違い弾性論というのは食い違うところ以外に副断層にジョイントみたいに入れているのか？

澤田幹事長：食い違い弾性論は入れていない。

河井委員：弾性体の変形だから滑らかになるのか？

澤田幹事長：そうなる。

河井委員：主断層が動いた時に、副断層が動くという全体を含めてモデル化しないと、境界条件で恣意的に副断層の変位が決まってしまう、境界条件の設定がものすごく難しいと思っていた。食い違い弾性論で弾性変形しかしない変位をその下に入れるのは、塑性や破壊の話をしている時に違和感があると感じた。また、スライド P.14 の物性の話で、ピークから残留までの物性設定のところ、粘着力の 0.025 MPa がどのくらいなのか分からないが、図の縦軸で粘着力の影響は小さいのか？

澤田幹事長：影響は小さい。

河井委員：ピークと残留の差を 1/100 ぐらいに落とすことになっているが、摩擦角が小さくて破碎帯が粘土のようにもまれて摩擦角が小さいのならば、本当に 1/100 まで落ちるのか？粘着力がなくなった分ぐらしか落ちないような気がする。摩擦角と粘着力、静・動せん断剛性比というのは連動して考えないと、一律に 1/100 などと決めてしまうと、物理的に変な値にならないかと思った。

澤田幹事長：1/20,1/100,1/1000 などでの影響の程度は見ているが、最近 1/100 で固定している。改めて検討する必要があると思っている。

河井委員：そこをデータで見せてもらえると、ものすごく面白いと思う。残留自体も 1/100 ぐらいというデータがあって決めているなら、大変形する時にはものすごく滑らかになってしまう、本当に摩擦角が落ちる結果になるかもしれない。粘土の摩擦角ぐらいはないのかなと思った。

澤田幹事長：断層の構成式がどう影響してくるのかというのを議論する機会を設けさせていただいたらと思う。

大鳥委員：2つあり、1点目は、断層変位量が 0.1 m や 0.5 m のオーダーなのだが、使っている要素の大きさはだいたいどれくらいで、要素分割の影響はどの程度あるのか？2点目は、物性の不確実性の扱い方について、空間相関の考慮をしているのか？関連して、ばらつきがある場合に破壊があると、ちょっとしたばらつきが影響する。変形のように

累積的なものだと影響はあまり出てこないが、断層変位の場合はどちらのタイプか？

澤田幹事長：メッシュサイズは断層付近 25 m ぐらいでモデルを作成している。空間相関については考慮していない。先ほどの多ケースの例でもそうである。

大鳥委員：物性値の影響がものすごく断層変位に敏感に影響するのか？

澤田幹事長：地表にずれが発生する入力ずれ変位についてはかなり影響がある。副断層の地表でのずれの大きさはあまりばらつかない、また、副断層のどの位置にずれのピークがくるかはあまり影響を受けない、といった傾向を得ている。

大鳥委員：空間的なばらつきがあった時に、副断層の最終的な変位は変わらないなどそのあたりが明確になると非常に良いと思う。

堀委員：重要な点だと思っているが、未知の副断層の設定やモデル化は、是非この委員会でしっかり議論をした方がよいと思う。特に今の構成則では、滑らないうちは普通の弾性体と同じなので、滑らない限り答えは大きく変わらない取り扱いになっていると理解しているので、未知の断層を入れることは十分可能である。未知の断層を入れると、計算の数が増えてしまうので、量子コンピューティングを今から考えるのも悪い話ではないと思う。もう一点、物性のところも非常に重要で、静摩擦と動摩擦だけでどこまで説明できるのかというのは、研究開発で検討するところかと思う。

澤田幹事長：未知の断層とさらに進んだ計算手法は大変興味のあるところ。それも含め、ここで議論できると確かに良いと思う。

谷委員長：除荷の構成関係が原点を通る構成関係に沿っているのか、それとも剛性が回復するのか？副断層にずれが発生したときに主断層のずれが逆向きに動く。

澤田幹事長：原点を通る構成関係に沿っている。結果について、我々も気にしている。

谷委員長：岩盤の中の不連続面のせん断実験では、除荷時はやはり剛性が高くなっていると思う。

澤田幹事長：ずれがいったん止まると剛性が高まるのではないかということと、それを考慮した動的解析に現在取り組んでいる。今回の静的解析でも、ご指摘のようにこういった影響が出てしまっていると考えている

谷委員長：もしかしたら主断層の変位を少し過小評価しているかもしれないと思った。

澤田幹事長：その可能性はある。

### (3) 話題提供 (後半) 「JEAG4601-2020 における地盤安定性評価の概要」

JEAG4601-2020 における地盤安定性評価の概要について、電中研 岡田委員から話題提供があった。主な質疑、コメントについて以下に示す。

河井委員：スライド P.5 のフローのところ、変形量の基準値があいまいみたいな話があった。フローの大部分が斜面と共通になっていると、変形量で破壊が決まらないと思う。変形量が小さくて落ちる時もあるれば、大きくてすべり線方向に落ちる時もある。基礎地

盤だけにしかこのフローを使わずに、基礎地盤だけについての照査限界値を求めるのであれば、周囲の接続している構造物との許容変位みたいなもので決めてしまえば良いと思う。地盤がどうだろうが建屋や中の機器が守られればよいだけなので、地盤自体の許容変位はあいまいな書き方にならざるを得ないと感じた。もう一つは、地殻変動による変位と揺れによる変位を両方足すのはおかしいのではないかという話について、揺れの解析をするモデルを切った時に、モデル全体が傾くこととそのモデル内で揺れることは別問題で、足し合わせて両方で満足するというのが最初の段階として正しいと思う。その後、両者を考慮した全体の解析ができるのであれば、例えば、P.5 スライドのフローで真ん中の列の簡単な解析を行って NG になった後、すぐ対策工にいかずに詳細な解析を行う、簡単な解析でクリアできるのであれば、両方足し合わせて考えておけばよい。詳細な検討をするのであれば、サイトの特性とかを考えて広域に断面を切ってきちんと全体を解析する。学会の方はそれに耐えられる方法をいろいろ考えるという話になるかと思う。現状の JEAG としては、足し合わせはまっとうな考え方だと思う。

岡田委員：変形量で照査する評価基準値の②であるが、重要な点は、変形量で照査する時に安全率をどう考えるかだと思う。応力は例えば 1.5 なので、0.5 分安全率を考えている。しかし、変形量の照査を使えるものにするためには、変形量という時の安全率の考え方が必要になるのではないか。あと、斜面と基礎地盤は別ということだが、変形量で評価できるのであれば、斜面の場合は変形量が大きくなるだけなので、大きくなれば NG ということで良い気がする。必ずしも分ける必要はないのではないかと思う。

河井委員：変形、すべり面上の変位について、原因が変わってくる。地震動が生じている間だけ揺れるという話と、重力により岩盤の一部が破壊してしまうと力の釣り合いにたえられなくなって後は重力につかまって動き続けるということで、変形の原因が変わってくる。このため、斜面の方を変形の限界を設けて考えるのは難しいかと思う。基礎地盤の場合は、ほぼ水平のところは無理やり斜めの線を引っ張ってすべり安全率を計算しているだけなので、地震動が止まれば、重力に引っ張られて動くということもない。その場合だと地震動の最中に動いた分だけの変形量でかつその建屋等に接続していてそれ以上動くと切れる、隙間が空くとかいった限界の値も決めやすいので、基礎地盤に関しては具体的に決めてしまえば良いかと思う。斜面の方は、落ちるかどうかということと、それまでにすべり線上にどれだけ動いたかということが力学的に無関係なので、それは無理もしくはいろいろな割り切りを入れていかないといけない。斜面の場合は、対策工の許容変位などなら可能だと思う。

岡田委員：ある程度の変位が大きくなった時には、ここからは重力で落ちるかどうかを評価のところに組み込めば良いのではないか。

河井委員：その時に変形量だけでいくのか、単純にすべり線の角度的に重力では絶対に落ちないという話であれば、どれだけ変形が出て落ちないから大丈夫だと思う。高角度のものは落ちる。ただし、だんだん地震動が大きくなってくると、かなり低角度で深いと

ころにいくので、それはたぶん落ちない。

岡田委員：変形の評価の体系の中で落ちないものはよいのではないか？

河井委員：それはよいと思う。その時に何を限界とするのかは、先っぽが突き出て先っぽに高角度の落ちる部分ができないかなど、そのような話が考える対象となると思う。

岡田委員：程度問題になると思う。足し算して評価するのは合理的ではないかということについては、一義的には合理的だと思う。ただし、動的解析を行うと、揺れている時の傾斜と残留傾斜が両方でできて、断層変位によって出てくるのが同時に起こる現象であれば揺れのほうに足す必要があるし、断層変位によって出てくる変位が永久変位のことを言っているなら残留変位に足しこめば良いから、そこはやはり別々に定義していかないと使えないと思う。

河井委員：詳細検討に進んだ後の話で、たとえばモデル化スケールについて副断層を境界面で切っているような規模であれば、切った3次元モデル全体が傾くことと、その中で揺れたり動いたりすることとを区別しないといけない。活断層全体を飲み込んだモデルを作るのであれば全部込みで計算するので、それで良いのではないかという話になる。量子コンピューティングなどでそのスケールのモデルで切れるのなら、それは理解できる。

吉見委員：数値計算で断層の挙動に対してパラスタをすると、ふっているパラメータの中には動いていないと思っている副断層を動かしてしまうものも生じると思う。その時にそのパラメータが正しいかどうかを評価する目を持つべきだと思う。どこに解をもたせるかを考えると広域応力場ということになると思うが、そのような数値計算でもって地質や地形の方々が言っているところを説明してしまおうといったことも今回含むのか？

岡田委員：パラメータの不確実性も含め、議論の中心は解析でそもそもずれを評価できるのかということに帰着すると思う。個々のパラメータの合理性などをこの委員会の中で議論していく主要なテーマの一つになると思う。

澤田幹事長：パラメータが取りうる範囲については、一般的に検討することがあるし、個々のサイトでも、地質学の方を含めた専門家によってこの範囲は妥当であると確認する必要があると考える。

吉見委員：私の意図は、地質学をさらに超えて、地震学的なことを考えての広域応力場が今出ている。地質学者の言う、露頭とか破碎帯が止まっている・動くかもしれないなどをさらに担保する、地球物理学的な地殻応力があり、活用を考えているのかどうか？

澤田幹事長：例えば、断層がどの方向にすべりうるのかといった範囲を決めるなどのことがあり得る。そのあたりを是非教えて頂きたい。

吉見委員：承知した。この他、地理院の地殻変動と食い違い弾性論の比較のところ、広域で見ると弾性体で仮定しても合うとしか思えない。近い場所でもしっかり再現したことをもって再現というのではないかと感じた。そういった検討も規格の中で行うのか？

岡田委員：この規格の中ではしていない。食い違い弾性論はマクロで挙動が合っているかどうか、傾斜がたいしたことがないかどうか調べる手法である。先ほどの説明のとおり、

食い違い弾性論の後に、敷地内とか建屋近くの詳細モデルを別途定義し、ここに境界条件として入れるだけなので、ある程度合っていれば良いというセンスだと思う。

吉見委員：フローの説明で、ほとんどはなしで終了です、とのことなので、図にあるような詳細検討はされていないと認識していた。

岡田委員：詳細検討は実施していない。食い違い弾性論で、傾斜  $1/28000$  なので、もう影響がないという判断で詳細検討にっていないということである。

吉見委員：地盤もよいし、断層も横ずれでしかも北側に傾いているので、そんなに影響は出ないと思ったのだが、違うサイトでは関係するのもありそうなので、フローのところで詳細検討へいかないというのも少し驚いたということをお伝えする。

岡田委員：この詳細検討が必要な部分がある。ここをもう少し定量的なものにしていくのが、この委員会の課題になるのかなと私自身は思う。

#### (4) その他

澤田幹事長：メールでも何でもよいので、ご質問、ご意見あれば話題提供者のほうへ送っていただきたい。特に断層変位の解析については、もう少し論点を絞った形で話題提供、審議、議論をこの後何回か機会を設けることになると思う。そこでの論点整理なども含め、今日の話提供などについても質問していただくと参考にできると考えている。

澤田幹事長：今年度の第2回は12月を目途に開催したいと考えている。日程調整をこの後にさせていただき、早い段階で話題提供についてご相談させていただきたいと思う。また、アンケートやワンスルー解析のワークグループについての話をしたが、何名かの委員かの方にそれに対して参加できないか、どういった内容が考えられるかについて、第2回までの間にご相談させていただくかもしれない。その際はよろしくお願ひしたい。

以上