

土木学会 原子力土木委員会 地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会

第 1 回技術文書審議タスク 議事録案

日時：2023 年 5 月 15 日(月) 9:30-12:00

形式：オンライン

出席者(順不同)：丸山主査(長岡技術科学大学)、酒井副主査(法政大学) 石橋忠良(JR 東日本コンサルタンツ)、一井康二(関西大学)、坂井公俊(鉄道総合技術研究所)、上田恭平(京都大学)

以下オブザーバー

原子力土木委員会：中村委員長(日本大学)、岡田幹事長(電中研)

地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会：河井正(幹事長)、山口和英(幹事)、宮川義範(幹事)

資料：

資料1-1 審査における「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」の位置付け

資料1-2-1 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針2021の概要

資料1-2-2 コンクリート工学6月号解説_屋外重要土木構造物2021年版

資料1-3 技術文書の基本方針

1. 原子力発電所の審査における「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」の位置付けの説明

資料 1-1 に基づき、山口オブザーバーより原子力発電所の耐震設計に関する規制体系、設工認審査ガイドとその参照民間規格/規準との関係およびその規格と原子力土木委員会の策定指針との関係について説明が行われた。

2. 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 2021 の概要の説明

資料 1-2-1 に基づき、山口オブザーバーより、審議いただく技術文書の基本となる「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 2021」の概要について説明が行われ、以下の質疑・応答があった。

一井：土木学会から送られてきた指針 2021 年度版は、JEAC4601 (2021 年度) に記載の 2018 年度版とどのような係わりがあるのか？

中村：JEAC4601 (2021 年度) には、時期的に指針 2021 年度版の一つ前である指針 2018 年度版が参照されている。

山口：資料 2-2 は参考のために添付したので、適宜参照いただきたい。

3. 審議対象とする技術文書の基本方針について

資料 1-3 に基づき、山口オブザーバーおよび宮川オブザーバーより、審議いただく技術文書の基本方針とこれまでの研究概要について説明が行われ、以下の質疑・応答があった。

丸山：タスクの役割を確認したい。結果として、この小委員会が実施していることは技術文書として適切であるか、確認することか？ 今回の意見の締切は何時頃か？

中村：タスクの役割は、その通りである。意見は 1 週間程度でお願いしたい。

河井：技術的な審議は小委員会でも行っているのですが、最終的に、その実験、そのケースで、そのような文章を書くことが出来るのかということが重要である。

一井：本検討は密な地盤を対象としているということがキーポイントということによろしいか？。液状化はセンシティブなワードで、ゆるい地盤の液状化をイメージされる人もおり、誤解を受ける可能性もある密な地盤でも過剰間隙水圧が上昇するということはその通りであるが、変形の様相は密な地盤と緩い地盤とで大きく異なり、おなじ「液状化」という言葉でひとくくりにすることが適切かどうかは疑問である。文章や目次構成などを丁寧に議論すべき。

山口：承知した。ご指摘を踏まえて技術文書を取り纏めていく。

酒井：変形量が大きくなるのは側方流動の時だと考える。今回の実験・解析とも地盤を水平でモデル化しているが、実際には傾斜がある場合などがあるので、水平なモデルでの検討は危険側ではないか。

山口：遠心载荷実験で盛土による偏土圧が作用するケースで側方流動の影響を検討する計画である。この検討結果を踏まえて、ご指摘についても検討したい。

上田：過剰間隙水圧比が1.0付近まで上がっているが、対象は洪積層ではないという認識でよいか？また、実験材料である珪砂は現場からすると特殊な土になるので、原位置との対応関係を明確にすべき。

山口：今回の遠心载荷実験では、解析の適用性検討を目的として、実験で一般的に用いられる珪砂を使用している。この実験と再現解析より解析の適用性が確認できれば、原位置の地盤条件については解析で検討できるものと考えている。ご指摘を踏まえて、原位置との対応関係が分かるよう技術文書を取り纏めていきたい。

一井：今回対象としているのは、洪積層ではなくて、埋戻土という理解で良いか？ 原地盤は対象外ということで良いか？また、埋戻土もきちんと施工管理しているので密な地盤となる、という理解で良いか？

山口：ご理解の通りである。

坂井：今回対象とする範囲について確認したい。岩盤位置での入力地震動は確定していて、その上の地盤や構造物の挙動が分かっていないので、これを解く問題と考えて良いか？

山口：ご認識の通りである。原子力発電所では、耐震設計用の入力地震動が別途定められる。

坂井：原子力分野では当然のことだと思うが、技術文書としては「何が分かっていて何が分かっていないのか、どこを解きたい問題として考えているのか」が明確になるように整理した方が良い。

山口：承知した。ご指摘を踏まえて技術文書を取り纏めていく。

坂井：液状化については、二次元の有効応力解析で構造物に作用する荷重を算定し三次元の静的解析で構造物損傷を評価する方法など色々な方法を検討されている。他にもフル三次元動的解析で評価する方法もある。最終的に技術文書に記載する解析手法は、どういう観点で記載したかを残すこ

とが重要と考える。どのように考えてるか？

山口：2021年版の耐震照査にも採用されている二次元解析から構造物に作用する荷重を算定し、構造物の三次元静的解析で損傷を評価する方法を主にしたいと考えている。種々の解析ケースは第3章の諸検討に記載することを考えている。なお、三次元の有効応力解析はFLIP等の解析プログラムが一般ユーザーが使用できる状況となっていないことから、現時点で対象構造物の性能評価に活用できないと考えている。これらの経緯についても技術文書に記載することとしたい。

坂井：その辺りの説明があると分かり易い。また、技術文書に纏める時のレベル感（世界最先端の技術を持って評価、整理するのか、それとも実務的な観点で整理するのか等）も整理しておいた方がよい。

山口：承知した。

石橋：断層変位は事前に与えている。破砕帯の変位も入力条件が与えられているのか？

宮川：対象領域（解析領域）の端部に対する強制変位は無いことを前提にしている。つまり入力条件は、通常の耐震性能照査と同じく地震動である。その上で、地震時に対象領域（解析領域）中の弱層に生じる相対変位は検討の対象にしている。

石橋：限界状態としては、内空を保持すればいいのか、そうでなくてピークを超えてはいけないということなのか。この問題では、ピークはすぐに超えてしまっても照査の意味がないように思われる。

宮川：2021年版を含めてこれまでの指針・マニュアルに記されているとおり、性能としての要求は「内空を保持すること」であり、その基本方針に変わりはない。しかし、最大耐力点を超えた場合に、それに代えて、どういうシナリオがありえて、何をもってチェックするかという問題が難しいので、ひとまず最大耐力点を評価できるようにして足がかりにしたいと考えている。

一井：破砕帯の幅や岩盤の剛性に関して、試験・調査の方法と調査結果、それらの調査結果からパラメータ設定につながる筋道、物性等の設定の既往資料や、その充実度を示してほしい。つまり、技術文書として参照される場合、方法のみならず設定された物性値そのものも利用される可能性があるから、根拠が必要であるし、根拠となりえるような情報が十分かどうかとも吟味が必要である。その観点から、実際にどれくらいの相対変位が生じたという観測事例などがあるのか？観測データとの照合も重要である。

宮川：幅に関して、破砕帯は数 cm～数 m またはそれ以上の角礫の層と、mm～cm オーダーの薄い粘土状の層から成る。角礫層の厚さは千差万別だが、(既往の解析事例で) 相対変位は主に弱い粘土層の方で発生しており、今回の実験で可能な範囲で薄めのスリットを設けているのはそうした背景にも寄っている。破砕帯や周辺岩盤の剛性に関して、実際の解析の場面では、電力事業者が調査を行っているので、それを反映させることになるだろうが、今回の実験では実験自体の実現性の観点からコンクリートを用いた。

一井：例えば、実験のスリット部は完全に拘束がない状態となっているが、健全部より剛性が低くても角礫層による拘束があれば、ガチッと変形を止める効果があるので、損傷が大きくなる可能性もある。もちろん、幅のある角礫層であれば、そこで変形が緩和される場合もあるので、先に述べたように、実際の破砕帯の状況のデータに応じて、解析的な検討を行っておくことが必要である。

う。

宮川：もう1つの指摘である相対変位の観測データについて、既往事例は見当たっていない。もしもの想定なので悩ましいところである。

河井：どの分野でもそうだが、原子力分野では特に、分からないこと・既往例が見当たらないことに対して、安全側の判断をもってよいとする。したがって、どのような条件が危険か、という点について適切な想定が必要である。今回の破砕帯の問題も、そうした背景から来ている。先の意見の例で言うと、破砕帯幅が狭いほど厳しいということを確認して、技術文書にはそれを書き残していく。

酒井：断層変位は考えていない、断層の上には構造物は造れないという前提で良いか？

山口：ご認識の通りである。

酒井：2021年度版で断層変位に対する照査について記されている。その場合、今フェーズの破砕帯の照査というのは必要ないのではないか。

宮川：断層変位の問題として扱うか否かについて、前段階で一旦判断がある。断層変位の問題になるのであれば2021年版別冊の対象になる。そうでなくて、“断層変位は生じないと判断したけれども（解析のモデリング上）弱層がそこにある”ケースが今回の対象である。実施するのはどちらかであって、重複はしない。

河井：断層変位は別途検討されており、断層変位が懸念される場合には構造物の設置が許容されないため、2021版の断層変位に関する検討は、確率論的に残余のリスクを評価する場合にしか使われない。逆に、そこで断層変位として除外されたもの以外は、強制変位が生じないものとして扱われるので、不連続面が存在する場合に構造物に不利な挙動が現れることも懸念されるので今回の検討となっている。

丸山：断層があってもRC構造物はこういう挙動をして、現在の鉄筋コンクリートの構成則が使える、ということをおおよそこれまで地中構造物の小委員会では示してきて、その点は前フェーズまでに或る程度達成されたと認識しているが？

河井：断層変位は一方向の入力、今回の問題は震動なので、一方向とは限らない点異なる。

宮川：どちらの認識もその通りである。構造寄りの観点から問題を見た場合、現在の鉄筋コンクリートの構成則が使える、ということはおおよそ分かっているものの、変位の方に関する議論があるのと、加えて、周辺の岩盤が硬くてよりギロチンに近いケースを補足するような内容である。

丸山：これまでは矩形の取水路などを対象としていたが、今回、円形のトンネルとしたのはなぜか。事例があるからか。

宮川：そうである。

山口：特に、特定重大事故対処施設（特重）で開削トンネルよりも経済的かつ迅速という理由で採用する例が増えている。

坂井：スライド25（破砕帯・照査例）について、2段階の手続きになっているが、応答値と限界値とい

うのはどういう意味か。地盤だけの解析で応答値が出るのが理解できない。

宮川：その部分の用語は、見方次第だと思っている。解析を担当している方が地盤寄りなので、地盤の解析から出力されるのが「応答」、構造物のプッシュオーバーで求めるのが「限界」変位という意味で書かれている。一方、構造寄りの観点から見ると、地盤の解析から出力されるのも「作用」であって、それを与えた構造物の解析で「応答」が出てきて、それを「限界」と比較するとも言える。

坂井：「応答」と言うと、構造物の指標まで落とし込んだもの、という印象がある。

坂井：さきほど「断層変位と違って一方向でない」という議論があったが、静的強制変位解析は一方向ではないのか。また、解析上でも交番させるのか。

宮川：静的強制変位解析は今のところ単調一方向というイメージを持っているが、そう言えるようにするためのデータは研究の中で整えたいと思っている。

丸山：一体のフルモデルで解析して要素の出力をチェックすればいいのではないか。

宮川：それも（選択しうる幾つかのうちの）一つのルートとして記述したい。しかし、計算負荷は大きいので、標準的な内容（照査例）としては3番目（地盤の動的解析と構造物近傍の静的解析の2段階に分ける）を例示しようと考えている。

一井：やはり、技術文書としては、ターゲットをクリアにすることが重要である。断層変位も当然配慮すべきなのに、「破碎帯を交差する構造物の耐震性能照査」の中で「断層変位は無いことを前提にする」ではミスリードを招く。

石橋：地盤の強制変位が無いことを明記するなどが必要だと思う。強制変位が大きい場合、構造物は持たないのではないか。

宮川：文書の冒頭などで記述しておくべき重要な事柄と認識した。ただ、目次のタイトルレベルで上手く伝えるのはやや難しい気もする。

一井：必ずしもタイトルを変える必要は無い。ただし、一般論としては検討すべき項目として断層変位が含まれる場合もあり、その時は何を参照するべきかといった情報を明記しておくことが肝要ではないか。

中村：最初に設計の位置づけを説明している。

一井：一般論としては、破碎帯がある場合には断層変位が生じえるなど、前置きをきちんと記載しておくことが重要である。

中村：実験で用いている地震動の位置づけも大事なのではないかな？

丸山：鉄筋コンクリート構造物側から言えば、数値解析モデルの適合性を実験で確認することが目的なので、どんな波を選んでも良い。

山口：実験で用いた神戸波は短周期成分が多く構造物に影響が大きい地震動として、十勝沖波は長周期成分が多く地盤に影響が大きい地震動として採用している。

中村：原子力発電所の基準地震動も同様の考え方で策定されていると思うので、基準地震動との関係も

示した方が良いのではないかと？

山口：遠心載荷実験の入力地震動と基準地震動との関係の記載については検討させていただくが、少なくとも遠心載入力地震動の選定理由は技術文書に記載することとしたい。

酒井：液状化ではFLIPで検討しているが、そのような指示があるのか？

山口：特に指示がある訳ではない。審査実績からFLIPを使用している。

河井：審査側としては、FLIPでなければならないということはなく、FLIPだから無条件でOKという訳ではないと聞いている。

石橋：限界状態は定義されていないのか？

山口：2021年版に、限界状態が定義されているので、今回はそれを踏襲することを考えている。

4. 今後のスケジュールについて

第1回技術文書審議タスクの資料1-3の示された小委員会の活動スケジュールをふまえ、中村オブザーバーより、意見・評価シートの提出期限、議事録案の確認および次回審議タスクの日程の基本案をしめし、審議タスクメンバー内で確認が行われた。以下に確認事項を示す。

＜第1回技術文書審議タスクへの対応＞

- ・意見・評価シートは1週間程度で作成し、主査、副査に送る。
- ・議事録と意見・評価シートをあわせて、1ヶ月以内に、原子力土木委員会委員長、幹事長へ送る。
- ・議事録と意見・評価シートは記名にて公開。

＜次回技術文書審議タスクへの日程＞

- ・技術文書の原案がある程度出来上がった段階、概ね1年後を想定。

以上