

幅広い地質環境特性における坑道の安定性と熱影響の評価
仕様書

2024年4月

原子力発電環境整備機構

1. 件名

幅広い地質環境特性における坑道の安定性と熱影響の評価

2. 業務目的・概要

2.1 業務目的

本業務の目的は、わが国に分布する様々な岩種の不確実性の幅を考慮して整理した岩の力学・熱特性に関するデータセットに基づき、坑道の力学的安定性の観点、及び廃棄体の発熱と地温による人工バリアへの熱影響抑制の観点から、地層処分場の地下施設の建設可能な深度や坑道の設置間隔等の諸設定が成立する範囲や条件を明らかにすることである。

2.2 業務概要

本件の主要な業務は坑道の空洞安定解析と熱伝導解析からなる。

(1) 坑道の空洞安定解析

- ・ 包括的技術報告書（以下、「NUMO-SC」という）¹の処分場設計例に適用する等した複数の坑道断面を対象として、岩の静的力学特性に応じた処分深度、坑道設置間隔を検討する。
- ・ メッシュ作成と境界条件の設定は、処分深度の検討では単設坑道をモデル化、坑道設置間隔の検討では接続する処分坑道を考慮したモデル化を行う。
- ・ 坑道周辺岩盤の安全率の幅や支保工の応力度を評価指標として、基準値を満足する設定条件毎の下限深度及び最小の坑道設置間隔を算定する。

(2) 坑道の熱伝導解析

- ・ NUMO-SCに適用した高レベル放射性廃棄物に対する処分坑道（人工バリアを含む）を対象として、廃棄体の発熱及び地温による緩衝材への熱影響を抑制する観点から、岩の熱特性に応じた処分深度、坑道設置間隔、廃棄体定置間隔を検討する。
- ・ メッシュ作成と境界条件の設定は、接続する処分坑道を考慮したモデル化を行う。
- ・ 緩衝材の制限温度を評価指標として、基準値を満足する設定条件毎の下限深度及び最小の坑道設置間隔を算定する。

3. 一般事項

3.1 一般

本仕様書は、原子力発電環境整備機構（以下、「機構」という）が委託する標記業務の実施に際し、受託者の責任において履行しなければならない事項を規定するものである。本仕様書に明記されていない事項については、原則として本業務に適用となる最新の法律・法令・規則・条例・基準・指針等に従う。

3.2 受託者の責務

(1) 機構要求事項

受託者は本仕様書に示す機構の要求事項を確実に実施するとともに、実施内容、結果及び報告内容について責任を負わなければならない。

(2) 法令遵守

本業務に関連する法律・法令・規則・条例・基準・指針等を遵守し、業務の円滑な進捗に努めるとともに、必要な諸手続き（許可、届出等）は、受託者の責任において遅滞

¹ NUMO（原子力発電環境整備機構）（2021）：包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－，NUMO-TR-20-03.

なく処理する。

(3) 遵守事項・禁止事項

受託者は当該委託業務の範囲に関わらず、事業活動において機構の経営理念に反する行為により、機構の社会的信頼性を低下させてはならない。

(4) 再委託

受託者は機構の定めに従い申請し、申請が承認された場合のみ業務の一部を再委託することができる。受託者は再委託先に対して法律・法令・規則・条例・基準・指針及び本仕様書に定める遵守事項・禁止事項等の遵守に関する指導義務がある。

(5) リスクアセスメント

受託者は以下の観点の内、本業務に該当する事項についてリスクアセスメントを実施する。リスクアセスメントの結果は実施要領書に反映させるものとする。

- ・ 業務実施の信頼度（安全管理体制、緊急連絡体制、役割分担、指揮命令系統）
- ・ 作業手順、想定されるリスク、影響の程度、リスクへの対応策とその有効性
- ・ サイバー攻撃を含めた情報セキュリティ（機密性、完全性、可用性）への脅威及び情報セキュリティの完全性が失われた場合でも情報を失わないため、バックアップを実施すること、そのバックアップについても情報セキュリティを確保することへの対応策とその有効性
- ・ 環境への配慮（環境対策、作業環境に対応した作業内容となっているか）
- ・ 各種法規制に対する対応（業務に応じた各種法規制と有資格者）
- ・ 機構の立会・現場確認の時期と内容（安全を確保できるものとなっているかどうか）
- ・ 他の受託会社との連携

3.3 秘密情報に関する事項

(1) 秘密情報の範囲

本仕様書及び業務に関して機構が提供する全ての情報（図面及び電子データ等を含む）及び本業務において作成される全ての情報（図面及び電子データ等を含む）。

(2) 秘密情報の取扱い

- ・ 受託者は本業務期間中及び業務終了後も、業務に関して得られた秘密情報を他に漏らしてはならない。また、本業務によって得られた秘密情報は、本件業務の遂行以外の目的に一切使用しない。
- ・ 秘密情報の取扱いについて下記を参考に、情報管理の徹底を図る。
- ・ 業務用と私用のパソコン等を使い分け、私用パソコン等での秘密情報の取扱いを禁止する。
- ・ 業務用パソコン等にウイルス対策ソフトを導入し更新を維持する。
- ・ 業務用パソコン等へのファイル共有ソフトの導入を禁止する。
- ・ 業務ごとのパスワードの設定、外部記憶媒体の施錠保管等により、第三者への秘密情報流出を防止する。
- ・ 「3.4 品質保証 (5) 及び (6)」に基づく情報セキュリティを確保する（情報・データのバックアップ実施、漏洩・消失保護の実施及び従事者への教育の実施など）。
- ・ これらの秘密情報の取扱いについては、業務着手前及び完了時に受託者の責任で確認し、その記録（様式-4）を業務完了時に機構へ提出しなければならない。

3.4 品質保証

- (1) 受託者は、ISO9001：2015（JIS Q 9001:2015）に基づく品質マネジメントシステムに則って運用する品質保証計画を作成しなければならない。
- (2) 受託者は意図しない結果が成果品に反映されないよう品質確認を行う。受託者が運用

する品質マネジメントシステムに則り実施した品質確認結果の記録の写しを機構に提出する。

- (3) 受託者は委託成果報告書が業務目的を満足した内容であることの確認（妥当性確認）を行う。
- (4) 機構が必要と認める場合は、機構が品質マネジメントシステムの運用状況の検証を行うことがあるため受託者は協力する。
- (5) 受託者は運用する品質マネジメントシステムに則り、適切なインフラストラクチャ及び環境を使用する。
- (6) 受託者は運用する品質マネジメントシステムに則り、機構または外部提供者の所有物を管理する。

3.5 提出書類等

表－1 提出書類等一覧表^{注1)}

提出書類等	提出時期	宛先	種別	提出部数	備考
実施責任者届	契約後直ちに	機構 技術部長	提出	1部	業務経歴書添付
主任技術者届	契約後直ちに	機構 技術部長	提出	1部	業務経歴書添付
実施計画書	契約後速やかに	機構 業務所管グループGM	承諾	2部 ^{注3)}	表－2に基づき作成する。業務要求事項、実施体制、役割分担、工程を定めたもの。
実施要領書	当該作業開始前	機構 業務所管グループGM	承諾	2部 ^{注3)}	計画を実現するための具体的な実施手順、品質管理方法を定めたもの。計算機プログラムを使用する場合は、計算機プログラムの検証方法も含む。実施計画書と実施要領書は分離して作成、提出する。
有資格者名簿・従事者名簿	当該作業開始前	機構 業務所管グループGM	承諾	1部	実施計画書、実施要領書とは分離して作成、提出する。
緊急連絡体制表	当該作業開始前	機構 業務所管グループGM	承諾	1部	実施計画書、実施要領書とは分離して作成、提出する。
議事録	打合せ後速やかに	機構 業務所管グループGM	確認	2部 ^{注3)}	様式－2 押印記名後、日付を入れてPDF化し、メールでの提出を可とする。
協議書	必要の都度	機構 技術部長	承諾	2部 ^{注3)}	様式－3
災害・不適合事象等速報 ^{注2)}	発生の都度直ちに	機構 技術部長	提出	1部	安全品質、業務品質の確保が困難な事象が発生した場合に提出する。事象の内容、事象の範囲、影響の大きさ（業務停止の有無含む）、応急処置、業務再開条件などを記載する。
成果物	5.1 成果物の提出期限のとおりに	機構 技術部長	提出	5.2 成果物の内容のとおりに	
情報の取扱いに伴うチェック票	実施期間完了日	機構 業務所管グループGM	提出	1部	様式－4
品質管理記録の写し	別途指示	機構 業務所管グループGM	提出	1部	3.4品質保証及び4.4業務の内容（要求事項）で定めるもの。

注1) 契約書に定められた提出書類は別途提出する。

注2) 事象発生時にすべての要件を把握できない場合は速報性確保を優先する。

注3) 作成者から提出された2部の両方に受領者が押印した後に、1部を作成者へ返却して両方で保有する。

3.6 個人情報の保護

- (1) 提出書類内に含まれる個人情報は、当業務の管理以外の目的には使用してはならない。
- (2) 機構職員に関する個人情報（緊急連絡体制表等）については本業務以外に使用してはならない。
- (3) 受託者が機構へ報告する個人情報（従事者名簿等）については、事前に本人から第三者提供について同意を確認しておく。
- (4) なお、個人情報とは、個人に関する情報、特定の個人を識別できる情報のことを言う。具体的には以下のようなものを言い、全員から同意を確認しておく。
- (5) 氏名（珍しい名字の場合は、そのみでも個人情報となる）
- (6) 所属名、役職名、住所等と併記された名字
- (7) メールアドレス等（氏名や会社名がアドレスに含まれていなくても、個人を特定できる場合は個人情報にあたる）

3.7 届出を必要とする職員の選任

実施責任者、主任技術者は経歴書を含めた届出書を提出し、機構の確認を得なければならない。機構がその職員を不適格と認めた場合は直ちに交代させなければならない。

3.8 有資格者の従事

業務実施にあたり、有資格者を必要とする作業については、作業ごとに対する有資格者と従事者を示した名簿を提出し、機構の確認を受けた上で、作業を実施するものとする（3.11 実施計画書の作成を参照）。

3.9 業務期間中の不適合

業務期間中に不適合が発見された時は、受託者が運用する是正処置システムに則り、受託者の負担で修正しなければならない。ただし、その対策については、事前に機構の承諾を受けなければならない。

3.10 廃棄物対策

受託者は、廃棄物の発生抑制に努めるとともに、作業で発生する廃棄物を自らの責任において適正に処理しなければならない。

産業廃棄物に当たっては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」、「資源の有効な利用の促進に関する法律」及び「建設副産物適正処理推進要綱」並びに都道府県条例等の関係法規を遵守する。

3.11 実施計画書の作成

- (1) 受託者は、業務開始前に実施計画書を作成し、機構の承諾を受けなければならない。
- (2) 実施計画書は、表-2に示す記載項目に基づき作成する。
- (3) 品質保証計画には、受託者の品質管理の基本姿勢について品質管理フローを含めて記述するとともに、品質管理のしくみとして全体の品質管理体系を記述する。また、業務全体の品質管理方法及び個別作業の具体的な品質管理方法を記述する。
- (4) QC工程表には、各作業段階の品質管理項目、工程、管理基準、検査方法、頻度等を記述し、適切な頻度で品質管理を行わなければならない（様式-1を参照）。

表－２ 実施計画書記載項目

記載項目		記載内容
1. 基本方針	(1) 基本方針	受託者の実施計画の基本姿勢、責務
2. 実施概要	(1) 実施概要	受託者、件名、実施場所、工期、実施内容
	(2) 実施数量	主要業務、仕様、数量
3. 業務管理体制	(1) 業務管理体制	受託者の体制及び機構との関係
	(2) 業務組織図	本業務における受託者、再委託先等の組織図、 秘密情報の取り扱い範囲の指定。 個人情報記載しない
	(3) 職員配置計画	本業務における職員の月次配置計画
	(4) 緊急連絡体制（夜間、土日）	本業務における緊急連絡体制（夜間、休日等） 個人情報記載しない
	(5) 緊急時指揮、命令系統	本業務における指揮命令系統 個人情報記載しない
4. 業務実施計画	(1) 基本方針	業務に対する基本姿勢
	(2) 業務日報（稼働率）	気象条件、祝休日等を考慮した稼働計画
	(3) 業務順序（全体フロー）	本業務全体の実施順序
	(4) 業務別実施計画	業務別の実施計画（要領）及び既設設備（周辺設備）への安全対策
5. 品質保証計画	(1) 基本方針	受託者の品質管理の基本姿勢、管理フロー
	(2) 品質管理のしくみ	全体の品質管理体制、方法
	(3) 施設・設備・材料・計算機プログラム管理体制	使用施設・設備・計算機プログラム・材料の品質管理フロー
	(4) 業務品質管理	本業務の品質管理方法ならびに工種別の具体的管理項目
	(5) QC 工程管理	業務実施段階の工程、品質管理についての QC 工程表（参考：様式－1）
	(6) 実施要領書の体系	各業務で作成する実施要領書の体系、作成方針
	(7) 検査・試験標準書の体系	品質管理に使用する検査項目、手順、規格・水準、頻度等の体系、作成方針
	(8) チェックシートの体系	品質管理に使用する業務実施段階のチェックシートの体系、作成方針
6. 工程管理計画	(1) 基本方針	受託者の業務管理の基本姿勢及び管理フロー
	(2) 工程管理のしくみ	日常管理業務分担と工程検討協議体制ならびに工程管理方法
	(3) 総合工程表	主要業務について全期間についての工程
	(4) 主要業務別工程管理	主要業務についての進捗管理図
	(5) 業務進捗予定表	業務進捗計画書
7. 主要機器使用計画	(1) 主要機械使用計画	主要機器、設備等一覧、管理計画（機構貸与設備を含む）、
	(2) 測定機器の管理計画	計算機、測定機器等の管理計画（日常点検、定期点検、校正計画）
8. 就労人員計画	(1) 必要な資格	業務遂行上必要な資格
	(2) 人員計画	全実施期間の人員計画
9. 官公庁関係の手続き計画	(1) 官公庁関係の手続き計画	業務に必要な届出書類等の計画

4. 業務の内容

4.1 実施場所

受託者にて適切な実施施設を準備して使用する。

4.2 実施期間

契約締結日～2025年3月14日

4.3 業務の項目

- (1) 解析環境の整備
- (2) 坑道の空洞安定解析
- (3) 坑道の熱伝導解析
- (4) 有識者意見の聴取
- (5) 品質管理

4.4 業務の内容（要求事項）

(1) 解析環境の整備

- ・ 本業務の坑道の空洞安定解析と熱伝導解析で使用する解析コードは、それぞれの解析の要求事項に示す条件を満たすことのできるものを受託者にて用意して使用すること。
- ・ 解析コードは検証されており検証結果が技術文書として公表されているか、検証結果未公表の場合は解析コードの検証結果を実施計画書または実施要領書に提示できること。
- ・ 受託者は、本業務で使用する解析コードが正常に動作する情報機器を用意し、本業務での使用前にそれらの動作確認を実施すること。また、解析の前処理や後処理などに補助ツールを使用する場合にも、同様に動作確認を実施すること。これらの情報機器により解析コード及び補助ツールが正常に動作していることを確認した記録を保存し、機構に提出すること。

(2) 坑道の空洞安定解析

1) 解析モデルの条件

空洞安定解析モデルの条件を表-3に示す。

表-3 空洞安定解析モデルの条件

数値解法	FEM 解析 (2次元)	
岩盤物性のデータセット	4種類のモデルタイプのデータセットを機構より提供	
対象坑道	掘削幅 D=3.1m、5.4 m、10 m、14 m	
支保工のモデル化	吹付けコンクリート、鋼製支保工	
力学モデル	岩盤	平面ひずみ要素、降伏規準をモール・クーロン基準とする弾完全塑性モデル
	吹付けコンクリート	トラス要素、弾性モデル
	鋼製支保工	ビーム要素、弾性モデル
初期地圧	鉛直地圧 σ_v $\sigma_v = \gamma h$ γ : 岩盤の単位体積重量、 h : 深度 水平地圧 σ_h $\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v$ K_0 : 静止土圧係数 $K_0 = 164/h + 0.74$ ($h \leq 630m$)、 $K_0 = 1.0$ ($h > 630m$)	

(i) 岩盤物性のデータセット

- ・ 岩盤の物性値は実施時に機構より提示するデータセットを使用すること。
- ・ 空洞安定解析に使用する岩盤の物性値は、飽和密度、静弾性係数、粘着力、内部摩擦角、ポアソン比とする。
- ・ これらの物性値のデータセットは、NUMO-SCにおいて地層処分の観点から国内の地質を分類した5岩種（新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類、火山岩類、深成岩類、変成岩類）を対象として収集した岩石データを、図-1のように一軸圧縮強さとの関係に対して整理して求めた平均的な相関関係と最小の相関関係に基づいている。
- ・ データセットのモデルタイプは、同じ一軸圧縮強さに対して地圧作用下のせん断強度がやや高いタイプ（略称：SH）とやや低いタイプ（略称：SL）に分けられ、それぞれの平均的な相関関係と最小の相関関係に基づく計4タイプ（略称：SH_{ave}、SH_{min}、SL_{ave}、SL_{min}）を設定する。

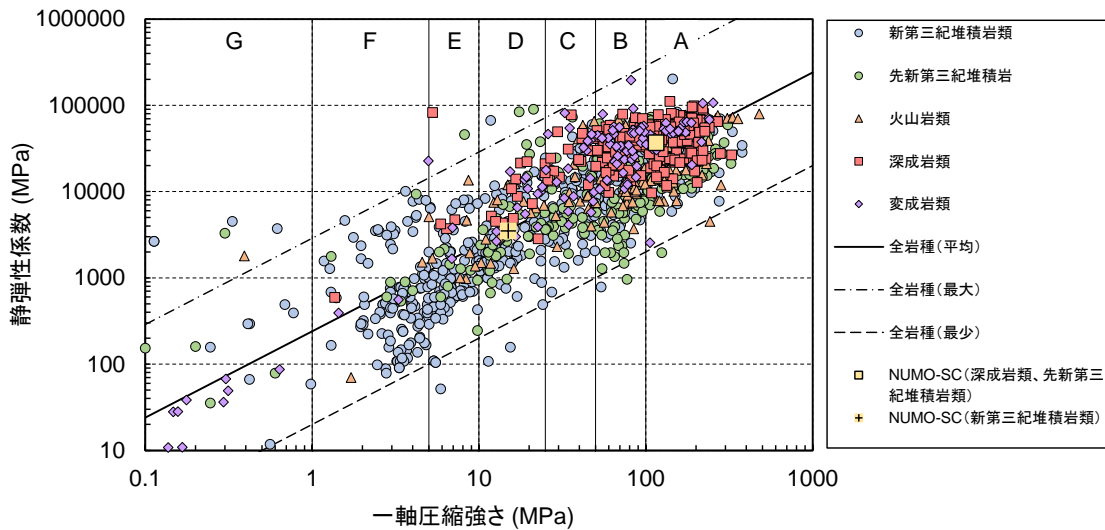


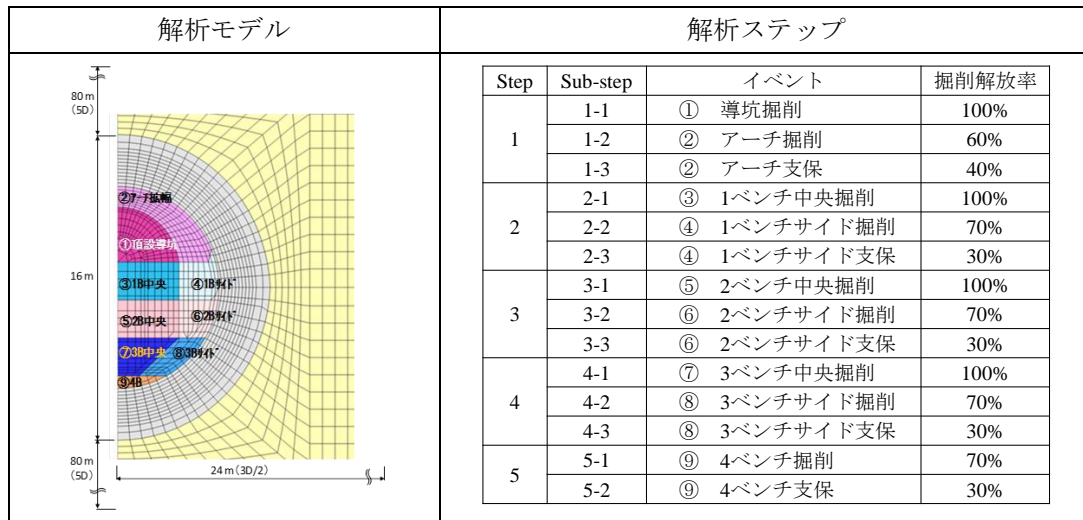
図-1 (参考) 岩石の静的力学的特性に関する物性と一軸圧縮強さとの相関関係の例

(ii) 坑道のモデル化

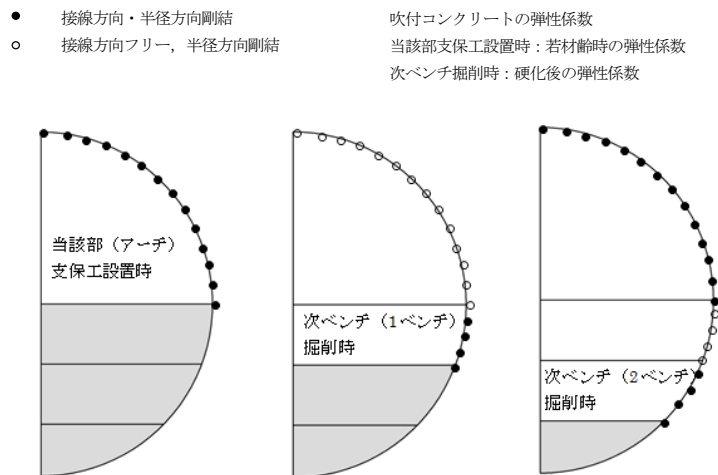
- ・ 地山等級 DII に該当する道路トンネルの標準的な支保パターン² 及び NUMO-SC の高レベル放射性廃棄物処分（以下、HLW）、TRU 等廃棄物処分（以下、TRU）の坑道仕様を参考とする表-4に示す4種類の坑道断面をモデル化すること。
- ・ 小規模断面の坑道は全断面掘削、中～大規模断面の坑道は多段ベンチ掘削による逐次掘削解析を行うこと。多段ベンチ掘削の解析は、適切な加背割りを考慮してモデル化し、アーチ、各ベンチの掘削工程に沿った解析ステップを設定すること（図-2参照）。
- ・ 小規模断面の掘削面は表-4に示すような三心円馬蹄形状、中～大規模断面の掘削面は円形形状とする。
- ・ 解析では支保工要素として吹付けコンクリートと鋼製支保工を考慮し、それぞれを独立してモデル化すること。ロックボルト、覆工コンクリート、インバートコンクリート等はモデル化の対象外とする。
- ・ 支保工要素は解析ステップに応じて坑道壁面に付加するが、掘削境界で実際には

² (社) 日本道路協会 (2003) : 道路トンネル技術基準 (構造編) ・ 同解説.

生じない過大な引張応力が生じないように、岩盤要素と支保工要素の間には適切な境界要素を設けること（図－3参照）。



図－2 （参考）多段ベンチ掘削を考慮したモデル化と解析ステップの設定例



図－3 （参考）岩盤と支保工要素間の境界要素の結合方法の例

表-4 検討対象とする坑道の仕様

廃棄物種別		HLW	HLW	HLW	TRU
掘削幅 (m)		3.1	5.4	10	14
地山等級		DII	DII	DII	DII
断面規模		小	小	中	大
ロックボルト	長さ (m)	2.0	3.0	6.0	6.0
	周方向間隔 (m)	1.0	1.0	1.0	1.0
	延長方向間隔 (m)	1.0	1.0	1.0	1.0
鋼製支保工	種類 (材質)	H-100 (HT590)	H-154 (HT590)	H-154 (HT590)	H-250 (HT590)
	建込間隔 (m)	1.0	1.0	1.0	1.0
吹付コンクリート (m)		0.10	0.20	0.20	0.30
覆工コンクリート (m)		—	—	0.30	0.30
断面図 (参考)					

(iii) 解析領域及び境界条件

- ・ 単設坑道を検討対象とする場合には半断面のモデルとして、水平方向と上下方向に概ね 4D～5D (D：掘削幅) 以上の解析領域を確保すること。
- ・ 連接坑道を検討対象とする場合には、同様に、上下方向に概ね 4D～5D 以上の解析領域を確保し、水平方向については半断面でモデル化する当該坑道と隣接する坑道の中心位置までを解析領域としてモデル化すること。
- ・ 解析領域上辺及び側方境界に等分布荷重を与える等して、坑道位置における初期地圧が鉛直地圧については各解析ケースで設定する地山強度比から換算される当該値に、水平地圧については表－3 に示す初期地圧の設定に応じた当該値になるように、それぞれ等分布荷重等の値を調整すること。
- ・ 処分深度は坑道底版部、土被りはトンネル頂部における値とする。
- ・ その他、解析領域に対する境界条件の設定を実施要領書に明記し、機構の承諾を得ること。

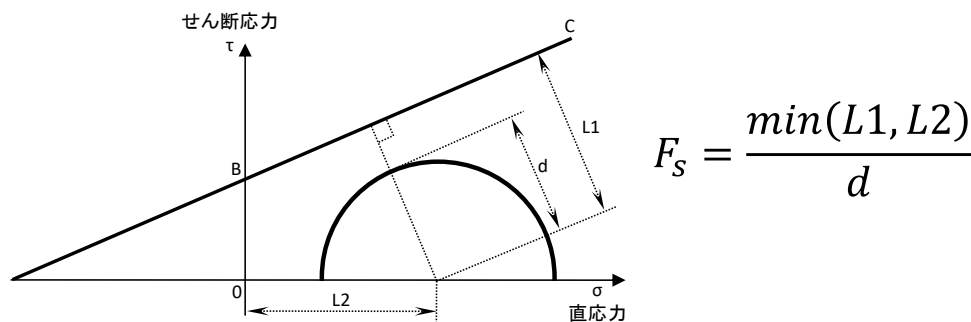
(iv) 評価指標・基準

空洞安定解析結果に対する評価指標と基準は、以下の方法を用いること。

- ・ 地山に対しては、表－5 に示すように坑道周辺岩盤の局所安全率を評価指標に適用し、最大せん断ひずみを参考指標として用いること。局所安全率 F_s は、図－4 に示すモール・クーロンの破壊基準に対するモールの応力円の余裕度で定義する。
- ・ 吹付けコンクリートの材料は、残置物量低減の観点から支保工規模を小さくすることを目的として、高強度コンクリートを使用する。吹付けコンクリートの応力度の評価基準は、山岳トンネル設計施工標準・同解説（鉄道建設・運輸施設整備支援機構，2008）に示されている方法に基づき、表－6 のように設定する。
- ・ 鋼製支保工の評価指標は、山岳トンネル設計施工標準・同解説（鉄道建設・運輸施設整備支援機構，2008）を参照して降伏点強度とし、基準は材質 HT590 においては 440 MPa とする。

表－5 地山の空洞安定性の評価指標と評価基準

評価指標	評価基準
局所安全率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 坑道周辺岩盤の局所安全率 $F_s=1.2$ 以下となる領域が掘削幅の 20% 以下 ・ 局所安全率 $F_s=1.5$ 以下となる領域が隣接する坑道間で連結しないこと
最大せん断ひずみ (参考指標)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空洞周辺岩盤の最大せん断ひずみが限界せん断ひずみ³を超過する領域が坑道掘削径の 20% 以下



図－4 局所安全率の定義

³ 土木学会関西支部（1988）：都市 NATM の設計施工マニュアル，p. 53.

表－6 吹付けコンクリート応力度の評価基準

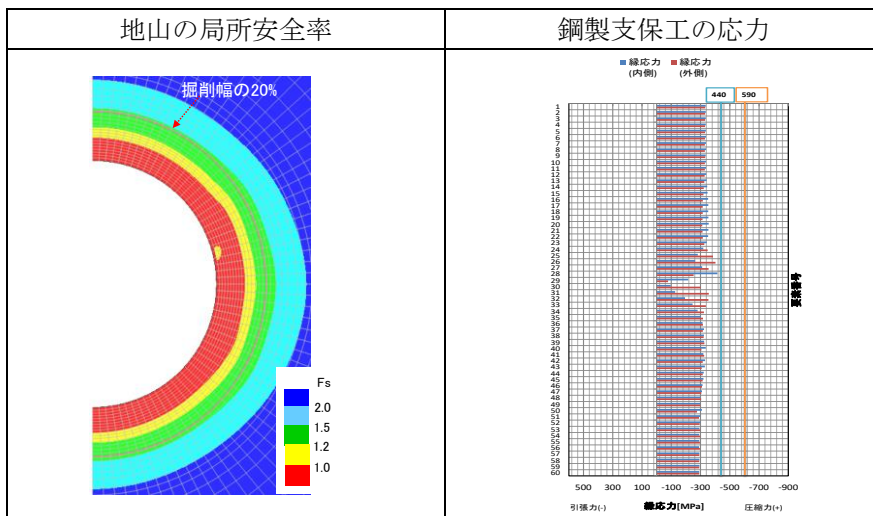
	覆工コンクリート無し	覆工コンクリート有り
支保の扱い	本設構造	仮設構造
安全係数※1	$\gamma_c=1.3, \gamma_b=1.1, \gamma_i=1.1$	$\gamma_c=1.3, \gamma_b=1.0, \gamma_i=1.0$
設計基準強度※2	36 MPa (高強度コンクリート)	36 MPa (高強度コンクリート)
評価基準	19.4 MPa 以下	23.5 MPa 以下

※1：山岳トンネル設計施工標準・同解説（鉄道建設・運輸施設整備支援機構，2008）を参照

※2：吹付けコンクリート指針（案）[トンネル編]（土木学会，2005）を参照

(v) 解析結果の示し方

- ・ 解析結果を確認することのできる各ケースの岩盤及び支保工の諸量を表した分布図を作成すること。この中に、局所安全率、塑性領域、最大せん断ひずみ、支保工応力、内空変位の分布図を含めること（図－5 参照）。
- ・ 解析の設定条件（一軸圧縮強さ、掘削幅、地山強度比等）に対して基準値を満足する下限深度と最小の坑道設置間隔（坑道中心間距離）を、解析結果間の補間等の方法により算定すること。この算定にあたって必要となる図表、解析結果と下限深度、最小の坑道設置間隔の算定結果を取りまとめた一覧表及び設定条件との関係の分かる図を作成すること。



図－5 (参考) 解析結果の表示例

2) 解析ケース

空洞安定解析では、単設坑道を対象とする①処分深度の検討、連接坑道を対象とする②坑道設置間隔の検討を実施する。設定条件数及び想定する解析ケース数を表－7に示す。

- ・ 岩盤物性に関するデータセットは4種類のモデルタイプに対して、それぞれ一軸圧縮強さの設定に応じた数量を機構より提示する。
- ・ 処分深度は300m～1000m程度の範囲（低い一軸圧縮強さのケースでは300mを下回る条件設定もあり得る）において、地山強度比にして概ね0.5、1～2になる深度を目安として、所定数を機構と受託者の双方で協議の上設定する。
- ・ 坑道設置間隔は坑道掘削幅の2倍～4倍程度の範囲を目安に、所定数を機構と受託者の双方で協議の上設定する。

- 本業務の空洞安定解析においては、一軸圧縮強さに対応する岩盤物性のデータセット及び掘削幅の異なる坑道仕様に対して、それぞれ基準を満たす下限深度と最小の坑道設置間隔を算定することができれば目的を達成する。このことから、受託者からの効率的な実施方法に関する提案による場合や所定数に満たない途中段階の解析結果から、下限深度と最小の坑道設置間隔の算定が可能となる場合は、処分深度と坑道設置間隔については、表-7中に記載の所定ケース数に満たなくても良いこととする。

表-7 空洞安定解析の設定条件数と解析ケース数 (想定)

項目		①処分深度の検討				②坑道設置間隔の検討			
設定条件数	岩盤物性のモデルタイプ	SH _{ave}	SL _{ave}	SH _{min}	SL _{min}	SH _{ave}	SL _{ave}	SH _{min}	SL _{min}
	データセット (q _u の設定数)	3	3	2	2	4	4	4	4
		q _u =5, 10, 25 MPa		q _u =10, 25MPa		q _u =10, 25, 50, 100MPa			
	坑道仕様	4	4	4	4	4	4	4	4
	処分深度	5	5	5	5	4	4	4	4
	坑道設置間隔	-	-	-	-	5	5	5	5
解析ケース数	小計	60	60	40	40	320	320	320	320
		200				1,280			
	合計	1,480							
	追加検討が必要になる場合に備えてその他 20 ケースを見込み、計 1,500 ケースを想定								

※q_u：岩の一軸圧縮強さ

(3) 坑道の熱伝導解析

1) 解析モデルの条件

熱伝導解析モデルの条件を表-8に示す。

表-8 熱伝導解析モデルの条件

数値解法	FEM 解析 (3次元)
岩盤物性のデータセット	3種類のモデルタイプのデータセットを機構より提供
対象坑道	HLW 横置き・PEM 方式 (掘削幅 D=5.4 m)
モデル化する部材	ガラス固化体、オーバーパック、PEM 容器、緩衝材、充填材、埋戻し材、地山 (岩盤)、吹付けコンクリート、インバートコンクリート

(i) 岩盤物性のデータセット

- 岩盤の物性値は実施時に機構より提示するデータセットを使用すること。
- 熱伝導解析に使用する岩盤の物性値は、飽和密度、熱伝導率、比熱とする。
- これらの物性値のデータセットは、NUMO-SCにおいて地層処分の観点から国内の地質を分類した5岩種 (新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類、火山岩類、深成

岩類、変成岩類)を対象として収集した岩石データを、図-6のように有効間隙率との関係に対して整理して求めた平均的な相関関係と最小の相関関係に基づいている。

- データセットのモデルタイプは、同じ有効間隙率に対して熱伝導率がやや高いタイプ(略称: TH)とやや低いタイプ(略称: TL)に分けられ、それぞれの平均的な相関関係と全岩種で共通するよう表すことのできた最小の相関関係に基づく3タイプ(略称: TH_{ave}、TL_{ave}、TC_{min})を設定する。

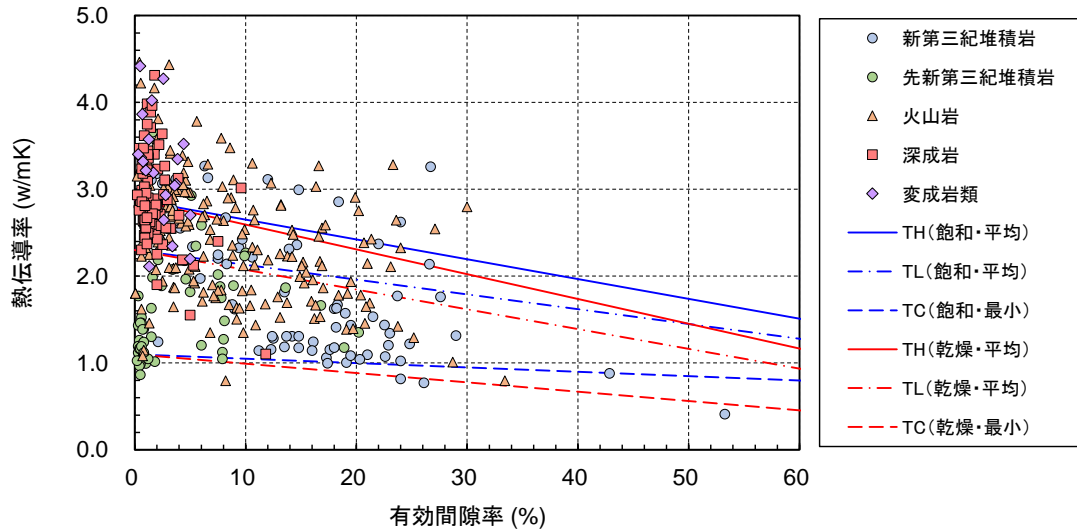


図-6 (参考) 岩石の熱的特性に関する物性と有効間隙率との相関関係の例

(ii) 坑道及び人工バリアのモデル化

- NUMO-SCに設計例を示したHLWに対する横置き・PEM⁴方式の処分坑道を対象としてモデル化すること(図-7参照)。
- モデル化する部材は表-8に示す通りである。
- 坑道及び人工バリアの物性値は実施時に機構より提示するデータセットを使用すること。
- 廃棄体定置間隔は隣接のPEM同士が接触する場合の定置間隔(3.356m)を最小として、その他に定置間隔を上げたケースを設定する(図-8参照)。廃棄体定置間隔を上げたケースのPEM間は埋戻し材で充填された状態とすること。

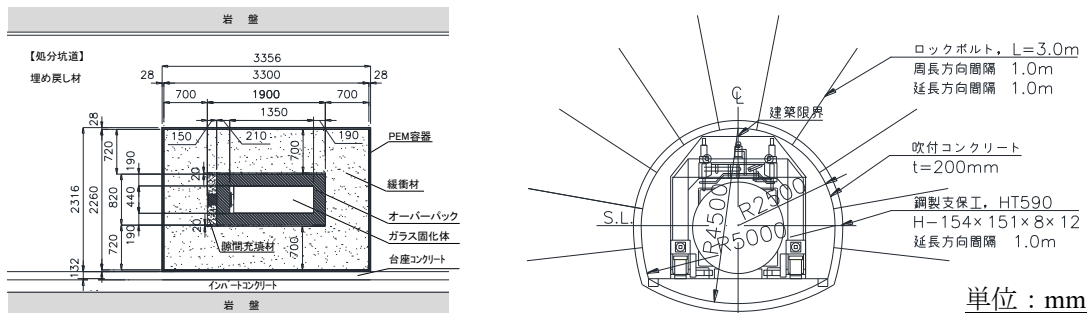


図-7 (参考) 横置き・PEM方式の処分坑道断面

⁴ Prefabricated Engineered Barrier System Module の略: 地上施設で廃棄体を人工バリアと一体化したモジュールを地下施設に搬送し、定置する技術

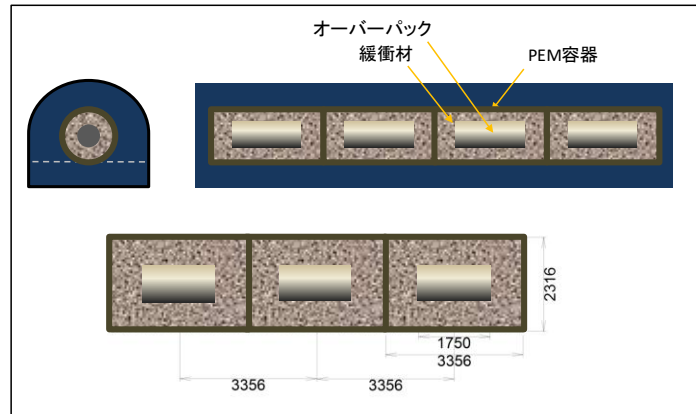


図-8 (参考) 廃棄体定置間隔の設定例

(iii) 解析領域及び境界条件

- ・ 解析モデルの鉛直方向（深度方向）の領域に関しては、境界の影響がない範囲をモデル化することとして、ガラス固化体中心から上下 200 m 以上の範囲をモデル化すること。
- ・ 解析モデルの水平方向は、複数の廃棄体が一定間隔で定置されることを考慮して、処分坑道横断方向及び軸方向にそれぞれ、ガラス固化体の中心から処分坑道の中心間距離の半分まで、ガラス固化体の中心から廃棄体定置間隔の半分までの範囲を解析領域としてモデル化すること（図-9 参照）。
- ・ 解析領域の上面・下面の温度境界条件は、地表の温度を 15°C として、初期の温度分布として解析条件で設定する地温勾配と処分深度の地温に応じて定まる当該深度相当の初期温度で固定とすること。
- ・ 解析領域の側面の境界条件は断熱境界とすること。
- ・ 処分深度は坑道底板部における値とする。

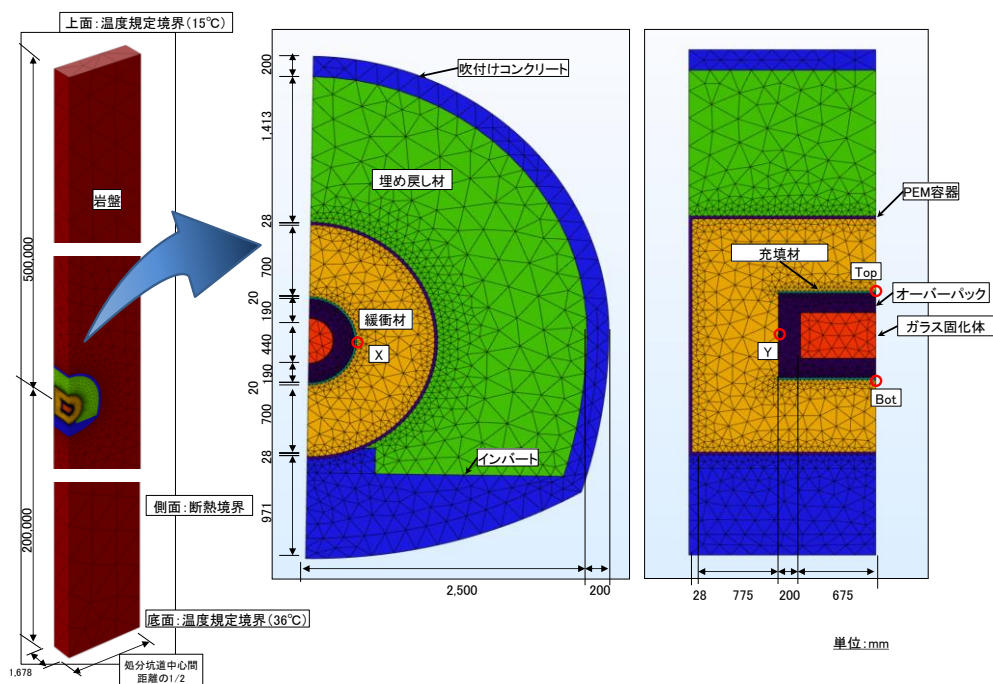


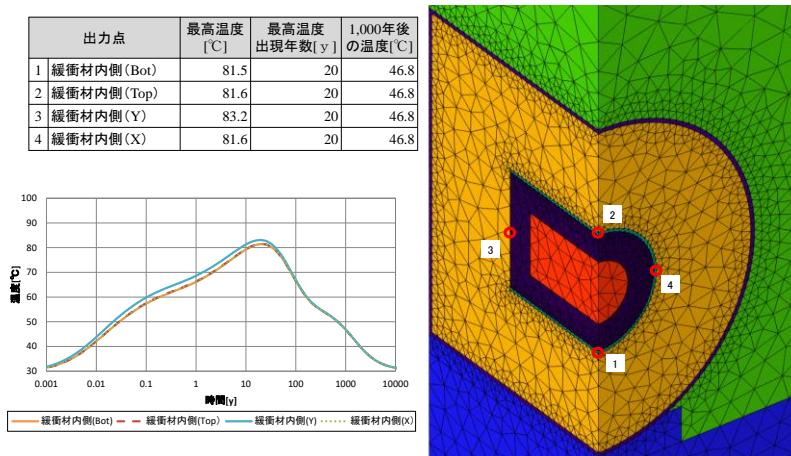
図-9 (参考) 熱伝導解析モデルの例

(iv) 評価指標・基準

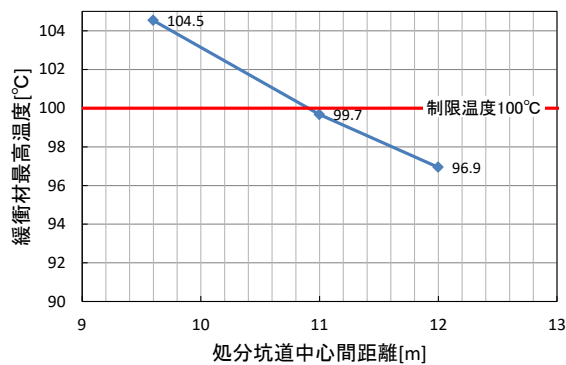
熱伝導解析結果に適用する評価指標は緩衝材の温度とし、その基準を 100°C未滿とする。

(v) 解析結果の示し方

- ・ 各ケースの人工バリア周辺の温度分布図を作成すること。
- ・ 機構より指定する出力点における解析ケース毎の緩衝材温度の時間変化及び最高温度を表す図表を作成すること（図－10参照）。
- ・ 解析の設定条件（有効間隙率、地温、地温勾配）に対して基準値を満足する下限深度と最小の坑道設置間隔（坑道中心間距離）を、解析結果間の補間等の方法により算定すること。この算定にあたって必要となる図表（図－11参照）、解析結果と下限深度、最小の坑道設置間隔の算定結果を取りまとめた一覧表及び設定条件との関係の分かる図を作成すること。



図－10 （参考）緩衝材中の温度変化と最高温度の出現年数の図表例



図－11 （参考）処分坑道中心間距離と緩衝材最高温度の関係の表示例

2) 解析ケース

熱伝導解析の設定条件数及び想定する解析ケース数を表－9に示す。

- ・ 解析に用いるガラス固化体の発熱量の経時変化のデータは 1 種類とし、実施時に機構より提示する（データ提供は 2024 年 9 月を予定）。
- ・ 岩盤物性に関するデータセットは、3 種類のモデルタイプに対して、それぞれ有効間隙率の設定に応じた数量を機構より提示する。
- ・ 地温勾配は、3°C/100m、6°C/100m、9°C/100m の場合を設定する。

- ・地温は概ね 45°C の場合を優先的に設定することとし、その他に 30°C～60°C 程度の範囲において、所定数を機構と受託者の双方で協議の上設定する。
- ・処分深度は地表の温度を 15°C として、設定条件の地温勾配と地温に応じて定まる値として換算する。
- ・廃棄体定置間隔は隣接の PEM 同士が接触する場合の定置間隔を最小として、その他に定置間隔を上げたケースを考慮することとして、所定数を機構と受託者の双方で協議の上設定する。
- ・坑道設置間隔は坑道掘削幅の 2 倍～4 倍程度の範囲を目安に、所定数を機構と受託者の双方で協議の上設定する。
- ・本業務の熱伝導解析においては、有効間隙率に対応する岩盤物性のデータセットに対して、基準を満たす下限深度と最小の坑道設置間隔を算定することができれば目的を達成する。このことから、受託者からの効率的な実施方法に関する提案による場合や所定数に満たない途中段階の解析結果から、下限深度と最小の坑道設置間隔の算定が可能となる場合は、処分深度と坑道設置間隔については、表－9 中に記載の所定ケース数に満たなくても良いこととする。

表－9 熱伝導解析の設定条件数と解析ケース数（想定）

項目		処分深度、坑道設置間隔の検討				
設定条件数	岩盤物性のモデルタイプ	TH _{ave}		TL _{ave}		TC _{min}
	データセット (n _e の設定数)	4	4	4	4	4
	坑道仕様	1	1	1	1	1
	地温勾配	1	2	1	2	1
		3°C/100m	6°C/100m 9°C/100m	3°C/100m	6°C/100m 9°C/100m	3°C/100m
	地温 (処分深度)	4	4	4	4	4
	廃棄体定置間隔	3	1	3	1	3
	坑道設置間隔	4	4	4	4	4
解析ケース数	小計	192	128	192	128	192
		320		320		
	合計	832				
追加検討が必要になる場合に備えてその他 18 ケースを見込み、計 850 ケースを想定						

※n_e：岩の有効間隙率

(4) 有識者意見の聴取

- ・業務項目 (2)、(3) の解析業務の技術的妥当性の確保を目的として、受託者は本解析の実施方法、実施結果についてそれぞれ適切な時期に複数の有識者から意見を聴取すること。
- ・有識者は大学または研究機関等の学識経験者として、意見聴取の実施前に機構の承諾を得ること。
- ・聴取した意見は、本業務で実施する解析の実施要領書、委託成果報告書の作成に反映すること。
- ・有識者への謝金等、この意見聴取に必要な経費を委託金に含めること。

(5) 品質管理

受託者は解析業務が適切に行われていることを確認するために、解析入力ファイルへのデータの誤入力、データ整理及び図表作成における解析結果データの取り違えがないことを、解析担当者及びそれ以外の者で確認し、それを記録すること。

5. 成果物

5.1 成果物の提出期限

2025年3月14日

なお、提出期限の7日前までにドラフト（製本は不要）を提出し、機構の事前確認を受けるものとする。

5.2 成果物の内容

受託者は、成果物として以下を期限内に提出しなければならない。

(1) 事業報告書

(2) 委託成果報告書

- ・ 委託成果報告書は機構より提供する「業務委託及び役務調達における技術報告書作成標準」に従い作成すること。
- ・ 作成した委託報告書については製本1部、及び電子媒体1部を提出すること。
- ・ 委託成果報告書に掲載した図表等のデジタルデータについて、マイクロソフト PowerPoint、Excel 形式等の機構で編集が可能なデータ形式で電子媒体（媒体の種類）に保存し1部提出すること。
- ・ 本業務で実施した解析の入／出力ファイルのデジタルデータを電子媒体に保存し1部提出すること。

5.3 成果物の提出・検収及び補修・保証

- (1) 成果物は4.4の要求事項を全て満たしていること。成果物の内容が5.2の要求事項を全て満たしていること。
- (2) 受託者は成果物の検収に先だって検収方法（成果物の内容、検査基準、提出期限及び提出方法等）について機構技術部と打合せ、円滑な成果物の提出に努めるものとする。
- (3) 受託者は、契約書に定める事業報告書を仕様書に定める成果物（成果報告書を含む）最終提出期限までに機構技術部に提出しなければならない。
- (4) 機構技術部は提出された事業報告書及び成果物（成果報告書を含む）を遅滞なく（実施期間が終了するまでに）検査し、検査結果を受託者に通知するものとする。
- (5) 検査の結果、成果物に欠陥が発見された時は、受託者の負担で補修しなければならない。ただし、その対策については、事前に機構の承諾を受けなければならない。

6. 委託者側実施責任者

原子力発電環境整備機構 技術部長 渡部 隆俊
〔業務所管：技術部 工学技術グループ〕

7. 参考図書

本業務で実施する解析においては、以下の NUMO-SC の付属書を参考にすることができる。

- ・ 付属書 4-33 処分坑道中心間距離の算定方法
- ・ 付属書 4-34 高レベル放射性廃棄物処分場における処分坑道の空洞安定性の評価
- ・ 付属書 4-37 処分坑道の空洞安定性の評価（TRU 等廃棄物処分場）

- ・ 付属書 4-40 処分坑道中心間距離の設定における廃棄体熱影響の検討（横置き・PEM方式）

↓ NUMO-SC のダウンロード先

https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html

8. 特記事項

- (1) 受託者は、本仕様書に記載されている事項について疑義が生じた場合には、機構に協議書を提出のうえ、機構と協議し、その決定に従うものとする。
- (2) 受託者は、機構との協議等においては議事録、協議書を作成し、その内容について機構の確認・承諾を得る。
- (3) 機構が既に行った調査資料で、本業務に必要なものは随時提供する。ただし、受託者は「3.3 秘密情報に関する事項」を遵守しなければならない。
- (4) 「表－2 実施計画書記載項目」に記載された項目のうち、業務上該当しないものについては、該当しない理由を示したうえで、実施計画書に「該当項目なし」と記載すること。

以上

QC 工程表

QC 工程表では、品質管理上要点となる工程を抽出して作成する。抽出する工程は、当該業務範囲を網羅し、業務成果品の品質に大きく影響を与える工程、業務安全管理上重要な工程等を設定する。前工程又は次工程が他部署、他組織になる場合も考慮する。

QC 工程表で管理する工程は、様式に定める各項目が全て記述されるものを選択する。

工程番号などを用いて、QC 工程表で管理する工程と、全体工程の関係が分かるように記述する。

№	作業工程 (業務段階)	適用する仕様、手順書、実施要領書、基準等	確認を行う部署(再委託先担当の場場合は再委託の部署を記載)	検査・確認項目	合格基準	検査・確認方法	検査・確認の結果を記した記録文書	検査・確認責任者	委託先確認方法 (記録確認/立会確認) (委託先担当業務の場合は「一」とする。)	機構による確認	
										確認方法 (記録/立会確認)	確認時期
1											
2											
3											
4											
5											

議事録

機構技術部					受託者					作成年月日
				担当					担当	
										年 月 日
件名					作成者					
日時	年 月 日 () : ~ :				場所					
出席者					添付資料					
議事内容										懸案事項処理
										処理箇所
<p>【決定事項】</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> 決定事項、その対策 がわかるように記載する。 </div>										
<p>【内容】</p>										

受託者は、作成、押印し電子化したものを、メール等にて機構に送付し、機構の確認を得ることを可とする。
 機構はメールにて受領したものを印刷し確認押印したものをメール等にて受託者に送付する

協 議 書

年 月 日

原子力発電環境整備機構
技術部長 殿

受 託 者 :
実施責任者 : ⑩

受託件名 :

件名

回答

原子力発電環境整備機構 技術部		
部長	GM	担当

情報の取扱いに伴うチェック票

機構との契約に係る秘密情報（個人情報、技術開発情報等）の取扱い状況について確認して下さい(枠線の箇所に記入してください。)

件名		契約期間	
会社名		実施責任者または現場代理人	印

【確認欄の記入要領】

- ① 着手前（契約締結時）：本件の関係者に周知した日付を記入してください。
- ・複数回周知する場合は、初回に周知した日付で構いません。
 - ・本件から対象外となる項目は「－」を記入してください（対象外となる場合は、着手前に機構の確認を得た後に備考欄にその理由を記載してください）。

② 完了時

確認項目の実施結果を記入してください。

○：実施した（項目3については、保管期間満了後に削除する予定のものも含む。）

－：対象外

No	確認項目	確認欄	
		①着手前	②完了時
1	本件に係る秘密情報は、執務室の施錠やキャビネットへの施錠保管等の物理的措置を講じて保管できている		
2	SNS を用いて本件に係る秘密情報を不特定多数へ拡散させる行為や、サイバー攻撃に、関係者が関わらないよう、従事者の情報管理教育を含めた必要な処置を講じている		
3	本件に係る電子データは、パスワード設定やシステムへのアクセス権限設定（ID・パスワードの付与）等の技術的措置を講じている		
4	本件に係る情報の目的外利用を防止するために、情報が不要となった時点で、情報の削除または返却する処置を講じている		
5	本件に係るすべての電子データは、ウィルス対策ソフトを最新の状態に更新したパソコン、タブレット端末等で扱うように処置を講じている		
6	個人的に所有するパソコン、タブレット端末、外部記憶媒体（外付けハードディスク、USB メモリ、メモ리카ード、CD-R）等で本件に係るすべての電子データを取扱わない		
7	本件に係るすべての電子データは、ファイル共有ソフトが導入されたパソコン、タブレット端末等では取扱わない		
8	本件に係る秘密情報の漏洩・消失対策、バックアップ対策及びバックアップ情報の秘密保持のために必要な措置を講じている		
9	本件の再委託先に対して、上記と同様の事項について確認する		

本チェック票は業務完了後、機構担当箇所へ提出してください。

備考（対象外の項目がある場合、その理由を記載する）

機構確認欄		
技術部長	GM	担当者

- ・機構は情報を渡す際や打合せの際等、受託者には折に触れて情報管理の徹底をお願いするとともに、受託者の情報管理状況について口頭等で確認する。
- ・機構は技術部長の承認後、本チェック票を当該件名に関する書類とともに保管する。