

塩害による鋼製支保工の減耗が処分坑道の安定性に及ぼす影響に関する解析的検討

松江工業高等専門学校	正会員	○岡崎	泰幸
山口大学	非会員	糸川	茉友子
株式会社マシノ	非会員	西原	直哉
株式会社マシノ	非会員	宮崎	浩樹
西日本工業大学	正会員	林	久資

1. はじめに

現在、わが国では、原子力発電所の使用済み燃料を再処理した際に発生する高レベル放射性廃棄物を処分する方法として、地下 300m 以深の安定した岩盤内に処分する方法である地層処分が検討されている。この地層処分を行うために必要な地下施設の平面的な占有領域は、数 km×数 km 程度と想定されており、建設・操業・閉鎖までにかかる期間は約 70 年程度になることが見込まれている。そのため、作業従事者の安全性を確保するためにも、坑道の長期安定性について十分に検討する必要がある。

一方で、近年、廃棄物の輸送時の安全性の観点などから、地層処分施設を沿岸部に建設することの妥当性について検討がなされている。地層処分施設が沿岸部に建設される場合、坑道周辺地山や湧水（地下水）に塩分が含まれていることから、坑道内の金属に塩害が発生することが懸念される。特に、処分坑道の壁面に露出した鋼製支保工に塩分が継続して付着すると、腐食に伴う鋼製支保工の減耗により、坑道の安定性が損なわれる可能性がある。

そこで、本研究では塩害による鋼製支保工の減耗が処分坑道の安定性に及ぼす影響を把握することを目的とし、軟岩地山内に建設される処分坑道を模擬した坑道の掘削解析を行い、その解析を基に、鋼製支保工の減耗を考慮した解析を実施した。

2. 数値解析

以下に示す本研究の解析には、有限差分解析コード FLAC3D ver5.0 を用いた。

(1) 処分坑道を模擬した坑道の掘削解析

図 1 に、本研究の解析モデルにおける解析領域と境界条件を示す。本解析は三次元解析であるが、平面

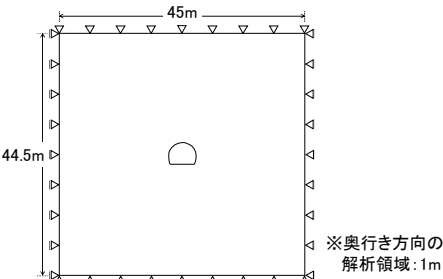
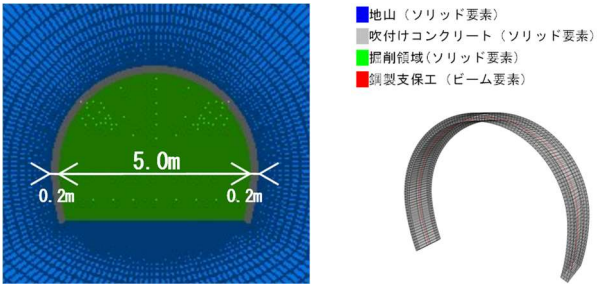


図 1 解析領域と境界条件



(a) 坑道周辺の拡大図 (b) 支保工モデル

図 2 解析モデル

ひずみ状態を仮定し、疑似二次元解析としている。また、図 2 に解析モデルの坑道周辺の拡大図と支保工モデルを示す。図中の解析モデルについては、軟岩地山内への建設が検討されている処分坑道を模擬している¹⁾。地山と支保工の材料構成則や物性値については文献^{2),3)}を参考に表 1、表 2 に示すとおりに設定した。ここで、解析に使用する地山物性値は、岩石強さ・割れ目・ヘアークラック Hr（潜在的な割れ目）に着目して設定された 5 ケースの軟岩地山（稚内層）の物性値²⁾とした（表 1 参照）。

解析時の初期応力については、土被り 350m 相当の応力を作用させた等方応力状態とした。また、掘削解析手順については、初期応力の 68.9%²⁾を解放させた全断面掘削を行った後に支保工モデルを設置して

キーワード 地層処分，坑道，鋼製支保工，減耗，数値解析
連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4
松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 岡崎泰幸 TEL0852-36-5224

表 1 解析地山物性値

地山(弾完全塑性体)					
岩盤等級	ヤング係数(MPa)	ポアソン比	粘着力(MPa)	内部摩擦角(°)	引張強度(MPa)
CM-H	2500	0.186	5.2	25	1.6
CM-H Hr	2000		1.6		0.5
CM-M	1500		3.1		1.0
CM-M Hr	1350		1.6		0.5
CM-L	500		1.0		0.3

表 2 解析支保工物性値

	吹付けコンクリート (t=200mm, 線形弾性体)	鋼製支保工 (HT590, 線形弾性体)
ヤング係数(MPa)	6000	210000
ポアソン比	0.2	0.3
断面積(cm ²)		46.64
断面二次モーメントIx(cm ⁴)		1978
断面二次モーメントIy(cm ⁴)		689

初期応力を 100%解放させる解析手順とすることで、坑道の全断面掘削の過程を考慮することとした。

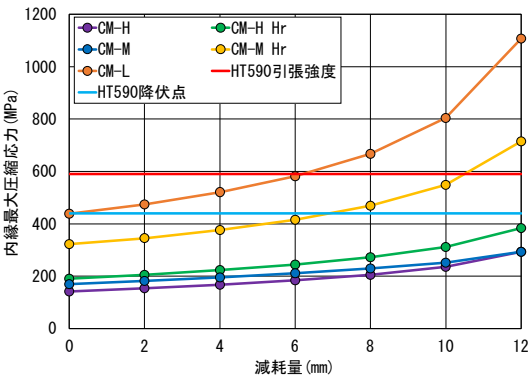
(2) 鋼製支保工の減耗を考慮した解析

鋼製支保工の減耗については、掘削解析後の鋼製支保工を模擬したビーム要素の物性値を低下させることで考慮した。具体的には、鋼製支保工の坑道内空側のフランジを 2mm ずつ 12mm まですり減らした際の断面積および断面二次モーメントを各解析ステップで用いた。

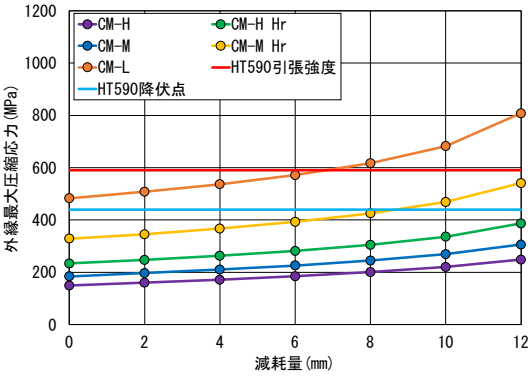
3. 解析結果

鋼製支保工減耗時の鋼製支保工の安定性を評価するために、解析結果より得られた軸応力と曲げ応力から鋼製支保工に生じる最大の内縁圧縮応力と外縁圧縮応力を算出した。図 3 に、解析により得られた鋼製支保工の内縁・外縁最大圧縮応力と減耗量の関係を示す。図 3 から、鋼製支保工の減耗に伴い鋼製支保工に生じる内縁最大圧縮応力と外縁最大圧縮応力が大きくなることがわかり、図 3 の(a)と(b)の比較から、鋼製支保工に作用する応力が HT590 の引張強度を超過する際、同じ減耗量では外縁最大圧縮応力より内縁最大圧縮応力の方が大きくなることわかる。したがって、内縁最大圧縮応力の方が危険側の値をとると考えられるため、以下では内縁最大圧縮応力に着目して鋼製支保工の安全性の評価を行う。

図 3(a)から、岩盤等級 CM-H, CM-H Hr, CM-M では、鋼製支保工の減耗が 12mm 生じた（鋼製支保工の坑道内空側のフランジがすべてなくなった）としても、内縁最大圧縮応力が HT590 の引張強度を超過しないことがわかる。一方で、岩盤等級 CM-M Hr で



(a) 内縁最大圧縮応力



(b) 外縁最大圧縮応力

図 3 内縁・外縁最大圧縮応力と減耗量の関係

は 12mm, CM-L では 8mm の減耗で、鋼製支保工に生じる内縁最大圧縮応力が HT590 の引張強度を超過することがわかる。これらの結果から、地山の硬軟によっては鋼製支保工の減耗により坑道（鋼製支保工）の安定性が損なわれることがわかった。したがって、地層処分施設を沿岸部に建設する場合、地山の硬軟によっては塩害による鋼製支保工の減耗の影響を処分坑道の設計に考慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、軟岩（新第三紀堆積岩）地山内に建設される処分坑道を模擬した坑道の掘削解析を行い、その解析を基に、鋼製支保工の減耗を考慮した解析を実施した。その結果、地山の硬軟によっては鋼製支保工の減耗により坑道（鋼製支保工）の安定性が損なわれることがわかった。

参考文献

1) 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告：我が国における安全な地層処分の実現－最適なサイトの選定に向けたセーフティーケースの構築－, NUMO-TR-20-03, 2021.
2) 岡崎泰幸他：トンネル掘削時のトンネル支保工 応力に地山の不均質性が与える影響, 土木学会論文集 F1, Vol.72, No.3, pp.1-15, 2016.
3) 森岡宏之他：幌延深地層研究計画における地下施設の支保設計(実施設計), JAEA-Research 2008-009, 2008.