# NGH貯蔵を想定した地下空洞の変形挙動評価

孫 源晙<sup>1\*</sup>·安原英明<sup>1</sup>·木下尚樹<sup>1</sup>

1愛媛大学大学院 理工学研究科生産環境工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

エネルギー消費の増加が予測されている中,環境への負担が比較的少ない天然ガスの利用が進められている。日本では、エネルギー基本計画が策定され、天然ガス消費の増加が予測されている中,従来の液化 天然ガス(LNG)輸送の代わりに、冷凍エネルギーの節約と小規模ガス田採取の経済性向上を目的として 天然ガスハイドレート(NGH)の輸送と貯蔵の研究が近年注目されている。本研究では、そのNGHの岩 盤空洞貯蔵の可能性検討を目的とし、熱・水・応力連成、岩盤の含水飽和度を考慮した解析モデルを構築 し、地下岩盤内空洞にNGH貯蔵をした際の岩盤の変形挙動の評価、岩盤空洞の健全性を精査した。その結 果、飽和環境の岩盤でのNGH貯蔵の可能性を確認できた。

Key Words : NGH, Thermal-Hydro-Mechanical Coupling, Rock cavern, Deformation analysis

# 1. 緒言

先進国のエネルギー多量消費と開発途上国の急激な経 済成長,人口増加に伴って,全世界のエネルギー需要は 年々増加すると予測されている<sup>1,2</sup>. 需要に対するエネル ギー供給現況は天然ガス,石油,石炭などの化石燃料が 大半を占めている<sup>3</sup>.

日本では、エネルギー政策基本法(2002年 6月)を背 景に、エネルギー基本計画が策定された.これにより、 天然ガスの供給占有率が1.6%(1972年)から19.8%

(2010年)まで拡大した<sup>4</sup>. さらに,2011年の東京電力 福島第一原子力発電所事故によって,多くの原子力発電 が操業中止になったことにより,代替エネルギー源であ る天然ガスの供給占有率が25.2%(2014年)まで拡大し た<sup>8</sup>. 今後も,天然ガスの需要が増加する可能性が高く, 天然ガスの輸入量も増加すると考えられる<sup>9</sup>.

天然ガス輸入量増加に伴い,既存の液化天然ガスの輸送方法(以下,LNG輸送方法)より経済性を保つ天然ガ スハイドレート化輸送方法(以下,NGH輸送方法)の 研究が進んでいる<sup>6</sup> <sup>¬</sup>.LNG輸送方法は,常圧と約-162 ℃の低温条件で輸送しなければならない<sup>®</sup>.この輸送方 法は,多くの冷凍保存エネルギーが必要であり,小規模 ガス田からの輸送には経済的に適しない<sup>®</sup>.そのため, 近年ではNGH輸送方法が研究されている.天然ガスは, 常圧と -20 ℃の温度環境で安定していることからLNG輸 送より必要とされる冷凍保存エネルギーが少ない<sup>6 ¬</sup>. 生産,運送,再ガス化された天然ガスの量370万トンを 基準とし,NGH輸送方法はLNG輸送方法より費用が 10.6%程度削減できると言う報告もある<sup>7</sup>.また,NGH 輸送方法は輸送距離6000km以下の範囲以内では経済的 に有利であるとも言われている<sup>8</sup>.事例としては,三井 造船はNGH輸送船研究,ペレット状態NGH生産研究, NGHの陸上輸送実証試験など,LNGに代わる天然ガス 輸送手段として研究が行われている<sup>69</sup>.

天然ガスの経済的輸送方法開発としてNGH輸送方法 が開発されていると同時に,輸送されたNGHの経済的 な貯蔵研究の必要性がある.そこで,今回NGHの地下 岩盤空洞貯蔵に着目した.従来,LNGの貯蔵タンクには, 地上二重設タンクと地下式タンクの2種類がある.しか し,新たに貯蔵タンクを建設するには,敷地問題,経済 的負担が大きい.地下岩盤貯蔵方式は貯蔵槽内部の低温 環境による周辺岩盤の地下水が凍結し,岩盤き裂を閉鎖 させることで気密性が確保できる<sup>ID</sup>.このことから気密 材が不要であり,簡易な支保のみ必要であることで経済 的に建設できると考えられる<sup>ID</sup>.敷地面積も少ないため, 土地利用をより効率的にできると考えられている<sup>ID</sup>.

本研究では、天然ガスの備蓄を実現させるために、従 来手法よりも経済的と考えられるNGH輸送方式と地下 岩盤内貯蔵を融合させ、地下岩盤内NGH貯蔵の適用可 能性を検討した.具体的な研究内容は、地下岩盤内の低 温環境を考慮した、熱 - 水 - 応力連成解析モデルを開発 し、貯蔵・備蓄施設周辺岩盤の伝熱、変形、流体挙動の 長期変動を予測することで対象岩盤の健全性評価を実施 した.

# 2. 地下岩盤内空洞の低温貯蔵モデル

#### (1) モデル概要

本研究では、 NGH の岩盤空洞貯蔵の可能性を検討す ることを目的とし、予察解析モデルを構築した.この解 析モデルを用いて、地下岩盤内空洞に NGH 安定貯蔵温 度-20℃環境を模擬した際の岩盤の変形性状を評価し、 岩盤空洞の健全性を精査した. 健全性評価のためには, NGH の分解に伴う地熱吸収, NGH 貯蔵を行うための低 温環境設定、空隙水、周辺岩盤応力等各々の現象が相互 的に影響し合う,熱(Thermal 以下,T)・水(Hydro 以 下,H)・応力 (Mechanical 以下,M) 連成モデルを構 築した. 本モデルの解析対象は花崗岩で構成される岩 盤とした. 岩盤中では、T→H への作用として、温度変 化による水の密度、熱伝導率、定圧比熱容量の変化を考 慮した. H→T への作用として空隙水の熱拡散率変化に よる熱輸送変化と相転移時の発生潜熱による熱伝導の変 化, T→M への作用として低温環境により周辺岩盤の熱 収縮を考慮した.また, M→T への作用として空隙率変 化による熱伝導の変化, H→M への作用として温度変化 に伴う水の密度変化による周辺岩盤の応力変化を考慮し た. なお, NGH 分解に伴う吸熱作用が応力へ与える影 響は本研究では考慮しない.

#### (2) 解析手順

T-H-M 解析フローは熱輸送, 掘削による岩盤変形, 熱変形で構成され, 支配方程式は, 伝熱方程式, 相変化 方程式, 線形弾性則といった複数の支配方程式によって 構成されている.本解析モデルは, 連成数値解析プログ ラムの COMSOL MULTIPHYSICS 5.2aver を用いて構築し た.解析は, 対象岩盤の伝熱解析, 相変化解析, 構造力 学解析, 熱応力解析の順に実施した.

#### (3) 支配方程式

本解析モデルでは、飽和条件と乾燥条件の岩盤を想定 し、熱伝導方程式、相変化方程式、応力-ひずみ式、熱 応力-熱ひずみ式を用いて各々の環境変化を精査する.

伝熱方程式は、対象岩盤内の温度変化及び温度分布を 計算するために、以下の式(1)~(5)を用いた<sup>11)</sup>.

$$\left(\rho C p\right)_{eff} \frac{\partial T}{\partial} + \rho C p \mathbf{u} \nabla T + \nabla \mathbf{q} = Q \tag{1}$$

$$\mathbf{q} = -k_{eff} \nabla T \tag{2}$$

$$\left(\rho C p\right)_{eff} = \theta_p \rho_p C p_p + \left(1 - \theta_p\right) \rho C p \tag{3}$$

$$k_{eff} = \theta_p k_p + (1 - \theta_p)k \tag{4}$$

$$\theta_p = 1 \quad (\varphi/100) \tag{5}$$

ここで、 $(\rho Cp)_{eff}$ :有効熱容量 [J K<sup>1</sup> m<sup>3</sup>]、 $\rho$ :流体の密 度 [kg m<sup>3</sup>]、Cp:流体の低圧比熱容量 [J kg<sup>1</sup> K<sup>1</sup>]、u:水 の実流速 [m s<sup>1</sup>]、T:温度 [K]、Q:熱源 [W m<sup>3</sup>]、  $k_{eff}$ :有効熱伝導率 [W m<sup>1</sup> K<sup>1</sup>]、 $\varphi$ :岩盤の空隙率 [%]、  $\theta_p$ :岩盤の体積分率 [-]、 $\rho_p$ :岩盤の密度 [kg m<sup>3</sup>]、  $Cp_p$ :岩盤の定圧比熱容量 [J kg<sup>1</sup> K<sup>1</sup>]、 $k_p$ :岩盤の熱伝 導率 [W m<sup>1</sup> K<sup>1</sup>]、k:流体の熱伝導率 [W m<sup>1</sup> K<sup>1</sup>]である.

次に、相変化方程式は、貯蔵空洞の周辺岩盤に存在する空隙水が, NGH安定貯蔵温度 -20 ℃ 環境により、相変化を行う過程で以下の式(6)~(11)を用いた.

$$\rho Cp \frac{\partial T}{\partial t} + \rho Cpu \nabla T + \nabla q = Q + Qp$$
(6)

$$\mathbf{q} = -k \nabla T \tag{7}$$

$$\rho = \theta_w \rho_w + (1 - \theta_w) \rho_i \tag{8}$$

$$Cp = \frac{1}{\rho} \left( \theta_w \rho_w Cp_w + (1 - \theta_w) \rho_i Cp_i \right) + L \frac{\partial \alpha_m}{\partial T}$$
(9)

$$k = \theta_w k_w + (1 - \theta_w) k_i \tag{10}$$

$$\alpha_m = \frac{1}{2} \frac{(1 - \theta_w)\rho_i - \theta_w \rho_w}{\theta_w \rho_w + (1 - \theta_w)\rho_i}$$
(11)

 $\theta_w$ :空隙水の体積分率 [-],  $\rho_w$ :空隙水の密度 [kg m<sup>3</sup>],  $\rho_i$ :氷の密度 [kg m<sup>3</sup>],  $Cp_w$ :水の定圧比熱容量 [J kg<sup>1</sup> K<sup>1</sup>],  $Cp_i$ :氷の定圧比熱容量 [J kg<sup>1</sup> K<sup>1</sup>], L:潜熱 [kJ kg<sup>1</sup>],  $k_w$ :空隙水の熱伝導率 [W m<sup>1</sup> K<sup>1</sup>],  $k_i$ :氷の熱伝 導率 [W m<sup>1</sup> K<sup>1</sup>]である.

次に、応力-ひずみ式は、平面ひずみ状態を想定する 解析モデルに用いた.また、対象岩盤を弾性体と想定し、 地下岩盤に作用する応力、掘削前後の応力変化、貯蔵空 洞内の低温条件による岩盤の熱応力分布を評価する.応 力解析には式(12)~(15)を用いた.

$$0 = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{v}} \tag{12}$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{E}:\boldsymbol{\varepsilon} \tag{13}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} \left[ \left( \nabla \boldsymbol{u} \right)^T + \nabla \boldsymbol{u} \right] - \boldsymbol{\varepsilon}_{inel} \tag{14}$$

$$\mathcal{E}_{inel} = \mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_{th} \tag{15}$$

ここで、ここで、 $\sigma$ :応力テンソル [N m<sup>2</sup>]、 $F_{\nu}$ :物体 力 [N m<sup>3</sup>]、E:弾性係数行列 [N m<sup>2</sup>]、 $\varepsilon$ :ひずみテン ソル [-]、u:変位場 [m]、 $\varepsilon_{inel}$ :非弾性ひずみテンソル [-]、 $\varepsilon_0$ :初期ひずみテンソル [-]、 $\varepsilon_{th}$ :熱ひずみテンソ ル [-]である. また, 塑性変形挙動の指標となる単軸状 態に相当する応力値であるVon Mises応力は次の式(16)で 定義する.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \quad (16)$$

ここで、 $\sigma_{VM}$ : Von Mises応力 [N m<sup>2</sup>]、 $\sigma_1$ :最大主応力 [N m<sup>2</sup>]、 $\sigma_2$ :中間主応力 [N m<sup>2</sup>]、 $\sigma_3$ :最小主応力 [N m<sup>2</sup>]である. Von Mises応力は、岩盤空洞内低温環境が周 辺岩盤を熱収縮させることによる熱応力変化を算出する 時に、必要なパラメーターである.

次に,熱伝導に伴う温度変化に起因する熱ひずみの計算は,以下の式(17)で導出した *ε*<sub>th</sub> を式(18)に代入し,前節の式(14)を用いて表される.

$$\varepsilon_{th} = \alpha(T)(T - T_{ref}) \tag{17}$$

$$\varepsilon_{inel} = \varepsilon_0 + \varepsilon_{th} \tag{18}$$

ここで、 $\alpha$ :熱膨張係数 [K<sup>1</sup>]、T:温度 [K]、 $T_{ref}$ :ひず み参照温度 [K]である.においてひずみ参照温度は、対 象岩盤の293.15 Kである.温度変化により、熱ひずみテ ンソルが変化する.熱ひずみテンソルを適用して表す比 熱容量を以下の式(19)に示す.

$$J_{th} = \left(1 + \frac{1}{3}t\gamma(\varepsilon_{th})\right)^3 \tag{19}$$

ここで, **J**<sub>th</sub> : 熱的体積比 [-], *t* : 任意時間, <sub>γ</sub> : 比熱 比 [-]である.



図-1 NGH地下岩盤貯蔵コンセプト<sup>13</sup>



# (4) 解析条件

解析モデルの NGH 貯蔵空洞は図-1 に表すように,地 表から深度 100 mに設置する.解析対象領域の深度と幅 は図-2 のように深度 300 m,横幅 200 mまでを対象とし ており,地下岩盤内空洞の直径は 15 m の円柱型に設定 する.なお,今回の研究では Case1 は岩盤空隙の飽和含 て水条件, Case2 は岩盤空隙の乾燥条件と分けて解析を 行った.

(5) 境界条件

本モデルで設定した境界条件は温度条件,相変化条 件,応力条件があり,各々を図-3,表-1で表す.表-1 の中で与えた条件の式の項はT:対象岩盤の初期温度 [K],z:地下深度 [m],p: 圧力(側圧) [Pa], $k_0$ : 側 圧係数 [-], $\rho_p$ :対象岩盤の密度 [kg m<sup>3</sup>],g: 重力 [m s<sup>2</sup>], $k_0$ は0.5である.また,相変化条件においては,図-3の境界番号⑥に,温度が273.15 Kになると潜熱 333.5 kJ kg<sup>1</sup>を考慮して相転移するように条件を与えた.

# 3. 解析結果

#### (1) 評価対象

本解析モデルで得られた結果から,空隙水の有無に よる貯蔵空洞周辺岩盤の伝熱経時変化,相転移経時変化, 掘削前後の応力変化,熱応力経時変化の影響を評価する. 解析対象期間は100年間であり,本文では0日,10日,30 日,60日,365日(1年),1825日(5年),3650日(10 年),18250日(50年),36500日(100年)の結果を抽出



表1 解析の境界条件

境界番号	温度境界条件	応力境界条件
1	253.15K固定温度境界	自由境界
2	断熱境界	対称境界
3	293.15Kの固定温度境界	自由境界
4		
5	T = 293.15 + 0.05z	$p = -k_0 \rho_p gz$
6	T = 293.15 + 0.05z	水平方向ローラ条件
$\bigcirc$	T = 293.15 + 0.05z	自重条件

#### (2) 温度分布変化

本節では、本モデルで導入した熱伝導方程式、相変化 方程式の解析結果の妥当性を確認するために、用いた方 程式と解析結果について述べる.

最初に, Case 1 (飽和条件)の温度変化分布図を 図-4 に示す. Case2 の温度変化分布図については 図-5 に示 す. Case1 の方が Case2 より温度変化発生範囲が狭いこ とが確認できた. これは, 岩盤内空隙水が相変化時の潜 熱で岩盤に対し保温材としての働きをしていると考えら れる.

次に, 飽和花崗岩の空隙内に存在する空隙水が, 時間と供に水から氷へ相転移する経時相分布を 図-6 に表す. -20 ℃ の貯蔵空洞に接している部分から徐々に相転移され, 3650 日目は空洞壁面から約 2.5 m まで氷相が形成されている. 18250 日目では空洞壁面から約 3 m, 36500 日目では約 5 m まで氷相が形成されることが分か

った.

#### (3) 応力分布

本項では、対象岩盤内の NGH 貯蔵空洞掘削前後の応力 変化を検証する.分布図は2次元解析であることから、 掘削後の Von mises 応力分布図、x軸に対する圧縮応力分

布図, y 軸に対する圧縮応力分布図を図-7 用いて説明 する. 花崗岩は圧縮強度が 638 MPa 以上,引張強度が 640 MPa以上になると亀裂が生じる設定となっている<sup>10</sup>. 掘削直後両者とも x 軸で引張応力は約 0 MPa,圧縮応力 は最大約 40 MPa, y 軸で引張応力は約 0 MPa,圧縮応力 は最大約 80 MPa であった.空洞周辺の応力に関しては, 掘削後の x 軸は圧縮応力が作用し,最大約 1.74 MPa であ った. y 軸も圧縮応力が作用し,最大約 6.70 MPa である. 本モデルの解析結果では,NGH 貯蔵空洞の掘削直後で は,周辺岩盤の損傷が生じる可能性が低いと考えられる.



(4) 熱応力分布





本項では伝熱方程式,相変化方程式,応力方程式を 複合的に考慮した熱応力ついて Casel の飽和条件と Case2の乾燥条件に分けて説明する.

Casel の x軸応力分布図を, 図-8 に示す. 10, 30, 60, 365, 1825, 3650, 18250, 36500 日目の結果において, 最大引張応力値はそれぞれ, 14.7, 12.3, 11.9, 11.9, 11.9, 11.9, 11.8, 11.6, 11.5 MPa である. 岩盤に作用する引張応力が 6.40 MPaを超えると損傷し始めることから,実際には 10 日以内から岩盤の損傷が生じ始めると考えられる. 30 日目の結果では,空洞下部の引張応力値は 12.3 MPa で 10 日目と変わらないが,引張応力が作用する領域は 徐々に広がっている. ここで損傷が生じると想定される範囲を, 図-9 に示す. 10, 30, 60, 365, 1825, 3650, 18250, 36500 日で損傷想定範囲はそれぞれ, 0.3, 0.4, 0.42, 0.7, 1.1, 1.2, 1.5, 1.5mであることを確認した.

Case2 の x 軸応力分布を 図-10 に示す. 10, 30, 60, 365, 1825, 3650, 18250, 36500 日目の空洞内上部の最大 引張応力値はそれぞれ, 10.6, 10.1, 10.0, 10.0, 9.97, 9.91, 9.61, 9.37 MPa であり Case1 よりも低い値であるが, Case2 の場合も Case1 同様 10 日以内に岩盤の損傷が生じ 始めることを確認した. 30 日目の結果では, 空洞の下部に引張応力値は 10.1 MPa で 10 日目より約 0.5 MPa 低い 値であるが, 引張応力が作用する領域は徐々に広がって いる. 60 日目では, 最大引張応力値が 10.0 MPa であり, 30 日の最大引張応力値とほとんど差はない.

損傷が生じると想定される領域を、図 11 に示す. 10, 30, 60, 365, 1825, 3650, 18250, 36500 日で損傷想定範 囲はそれぞれ, 0.4, 0.7, 0.8, 1.2, 1.5, 1.6, 1.5, 1.4 mであることを確認した. 損傷範囲は最大 1.6 m を示し ていることから, 損傷が生じる範囲は 1.6 m 以上進展し ないことが考えられる. さらに, Case1 と Case2 を比較 すると, 乾燥状態である Case2 の方が損傷領域が拡大す る結果となった. これは, Case1 で空隙水が保温材の役 割として働いており, 熱伝導速度が遅いため生じる熱応 力も相対的に小さくなるためと考えられる. また, 空隙 水がない Case2 の方は相対的に伝熱度が高いため, 低温 境界への熱吸収が起こす引張応力が空洞壁面から遠い地 点まで分布している. 飽和条件である Case1 は伝熱度が



低いため、空洞壁面から遠い地点まで引張応力が分布で きない.しかし、空隙水の相変化により、貯蔵空洞に接 している面付近で熱エネルギーが凝縮されている.その ため、貯蔵空洞周辺で熱応力が大きくなり、Casel(飽 和条件)の最大引張応力値が Case2 より大きいと考えら れる.

# 4. 結言

本研究では、地下岩盤内空洞の中で NGH が安定的に 保存できる条件を適用する際に、周辺岩盤において生じ 得る T-H-M 連成作用を考慮したモデルを構築した.ま た、T-H-M 連成モデルを用いて、周辺岩盤の伝熱、相変 化、応力、熱応力を予測した.本研究で得られた知見は 下記の通りである.

NGH 貯蔵空洞壁面の温度-20 ℃が周辺岩盤の熱を吸収 し、周辺岩盤が熱収縮る.この際に、対象岩盤内空隙水 の存在により、周辺岩盤の温度変化が乾燥条件岩盤より 遅く、穏やかになることが判明した.これは、空隙水の 相変化時に発生する凝固熱によるものである.穏やかな 温度変化により、周辺岩盤に作用する引張応力の範囲も 乾燥条件岩盤より小さくなる.岩盤の損傷が生じ始める 引張応力 6.5 MPa 以上の範囲については、乾燥条件岩盤 の方が大きくなった.また、空隙水で飽和されている地 下岩盤は、貯蔵空洞の壁面に集中的に損傷が発生すると 想定される結果が得られた.解析より得られた損傷想定 範囲から、飽和条件岩盤が乾燥条件岩盤より高い安全性 を示すと考える

今回の研究では、考慮されてない現象がある.本来で あれば、熱・水・応力・化学連成のモデルを構築し、空 洞内に NGH が貯蔵される過程で周辺岩盤へ与える影響 を予測評価する必要がある.その影響とは、NGH が再 ガス化する過程で周辺の熱を吸収する現象が岩盤の引張 応力を増加させ、それに伴う損傷及び亀裂の影響が考え られる.それらの現象については今後考慮する予定であ る. 参考文献

- 1) IEA : ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2015 EDITION, 8pp., 2015.
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁:平成 27 年度エネルギーに関する年次報告, pp.194-196, 2016.
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁:平成 27 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2016), pp.194-196, 2016.4) 経済産業省資源エネルギー庁:エネルギー基本計画, 65 pp., 2010.06.5)経済産業省資源エネルギー庁:エネルギー方:エネルギー基本計画, 78 pp., 2014.04.
- 6) 財団法人 日本船舶技術研究協会: 天然ガスハイドレート (NGH) 輸送船の研究開発,研究成果概要報告書, 40 pp., 2009.03.
- 7) Seolin Shin, Yongseok Lee, Kiwook Song, et al.: Design and economic analysis of natural gas hydrate regasification process combined with LNG receiving terminal, CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH AND DESIGN 112, pp.64-77, 2016.
- 8) Hee Jin Kang, Yongsoon Yang, Min Seok Ki, et al. : A concept study for cost effective NGH mid-stream supply

chain establishing strategies, Ocean Engineering 133, pp.162-173, 2016

- 9) 水林博,新井敬,渡邊茂,ほか:天然ガスハイドレート(NGH)陸上輸送実証試験,三井造船技報, No.203, pp.1-9, 2011.
- 米山一幸,宮下国一郎,石塚峰夫,ほか:DME 地 下低温貯蔵システムの成立性に関する検討,清水建設 研究報告書,第82号,pp.7-14,2005.10
- COMSOL, 2016.COMSOL MULTIPHYSICS. Version 5.2a, Available from : <u>www.comsol.com</u>.
- 12) C.H.Wei, W.C.Zhu, Q.L.Yu, et al. : Numerical simulation of excavation damaged zone under coupled thermal-mechanical conditions with varying mechanical parameters, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science 75, pp.169-181, 2015
- 13)国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構: www.jaea.go.jp
- 14)
- 15)

# STABILITY EVALUATION OF UNDERGROUND ROCK CAVERN FOR NGH STORAGE

# Wonjun SON, Hideaki YASUHARA, Naoki KINOSHITA

Demand of energy such as LNG has increased more than before in the world. The use of natural gas with less burden on the environment has been promoted. Japanese shipbuilding companies are researching on the transport of NGH to acquire more economical than the conventional transport LNG. In this study, for the purpose of confilming the possibility of the NGH storage in the rock cavern. We developed analytical model which considers water saturation environment, Heat-Water-Stress coupling. And we evaluate deformation behavior of rock masses by storage NGH by developed analytical model. As a result, it could confirm the possibility of NGH storage in rock of saturated moisture environment.