

(67) 深部地中タンクの無人工法の岩盤力学的考察

—水没式タンクの試論—

電力中央研究所 林 正夫

Rock Mechanics Aspects of Automatic
Construction of Submerged Underground Cavern
in Deep Soft Rock —Provisional Discussion—

CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY

Masao Hayashi

Abstract: Advanced design concept of underground submerged spacing is presented to construct the storage tank of compressed air energy in soft rock. Two methods of construction are discussed on stress, deformation and local safety factor : the Full Excavation Method and Perimetral Wal Construction Method.

Some construction devices are considered , for examples , : pantograph Trench Cutter, Uplifting Dome Type Membrane and Hydraulic Mud Supporting of constructing cavern.

Ratio of lateral stress to vertical stress is discussed on the previous observations , and required mud density to support the excavating cavern. This provisional proposal should be assessed in more detail by colleagues before going to experimental study at the test field .

1. 目的 深さ600mに水没地下タンクをつくり60気圧の空気を深夜電力を利用して貯蔵し静水圧で定圧にしその圧力と含有酸素でピーク発電に地上のガスタービンのLNGと混ぜ燃焼させ都市での激しい負荷変動に対応できる分散型の発電を行うとして,そのための軟岩での無人工法での水没タンクの可能性を研究する^{2, 3)4)}。水没タンクは1万~10万 m^3 (球半径15~30m) を考える。

2. 従来の研究 岩塩層で700m深さに水ジェットで30万 m^3 の乾式タンクわり70気圧のガスタービン用空気を貯めるのに西独で1978年に成功した¹⁾軟岩での水没タンク³⁾⁴⁾は未だない。

3. 堆積軟岩の想定 東京湾での上総・三浦層, 大阪湾での大阪層など深部では q_u が20~50 kg/cm^2 程度で側圧は特に研究されたことはすくない。今後, 調べたい (写真1は三浦層泥岩)

4. 拡幅掘削機 東京湾ベイブリッジに使われた旋回式 (ブーム方式) か, より広げるには溝切り式 (パンタグラフ方式) が考えられる。写真2は筆者が土曜の講義の大学生の教材に作つてみたパンタグラフ拡幅溝切り機の模型である。

5. 浮揚式メンブレン 水没空洞の天井部の水和反応による崩落防止用の一次的吹き付けの他に例えば写真3のように立坑から圧縮空気を送りドーム状メンブレンを天井部に浮揚させ, 圧着し, ウレタンで接着する工夫をガラス瓶のなかで確かめてみた。規則正しく圧着するには傘の骨組を内装するとよいことが分つた。

6. 工法に関するいろいろな構想 (例) 表1はとりあえず筆者の気の付いたものを例示してみた。今後沢山出てくる発想の踏み台にしてもらえば幸いである。大別して比較的均質な地質での全断面工法と非均質な場合の部分断面工法 (連続 地中壁工法) が考えられる (詳しくは最下欄の説明資料参照)



写真1 シルト質泥岩
(三浦層)

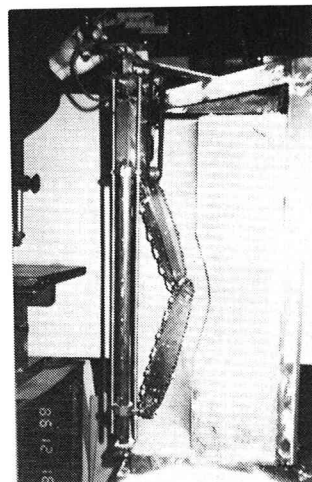


写真2 パンタグラフ掘削機
溝切り掘削機の部分模型

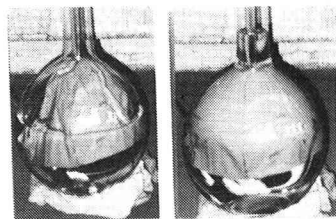


写真3 浮揚式メンブレンの天井への圧着 (模型)

表 1 軟岩での深部地中水没タングの無人工法 (構想) の諸例
容 積 1万m³~10万m³
掘定の深さ300m~700m

工 法		全 断 面 工 法		(灌 統 地 中 曲 面 掘 工 法)			
方 式	水 没 掘 掘 -メソッド型	水 没 掘 掘 -エアドーム	曲 掘 立 坑 方 式	曲 掘 レー -セグメント	弓 型 レー -セグメント	水 平 リング スライダ カッター	2 ヒンジ弓型 レー -スライダ カッター
記 号	A-1	A-2	B-1	C-1	C-2	D-1	E-1
地 質	均 質 な 堆 積 岩	均 質 な 堆 積 岩	砂 層	ど を 含 む	堆 積 岩	堆 積 岩	堆 積 岩
略 図							

7. 水没した地下タンクの安定性 軸対象FEMで掘削解析を筆者等が発案、実用化した逐次非弾性変形解析の手法によりCRCのプログラムで行った。図1と図2に逐次掘削E₁, E₂ ~ 覆工Cで0良い安定状態を示す。全断面工法では泥水比重1.5としたが結果的には1.3でよかったかもしれない(10.で再論)(連壁工法では 泥水比重は1.0)。(側圧係数はともに1.0の場合)

8. 深部軟岩での側圧係数Kの実測土圧からの推定例

文献からつぎの考察が出来るように思われる。

(1) 東京湾パイブリッジ(首都公⁵⁾)土丹基礎での深さ120mまでの孔内載荷での静止土圧は図3ようであり、単純にK値をごく近似的に 参考に推定すると、図中に記したように浅い所で2, 7, 深くなると1.0になっている。さらに深くでは1.0より小さくなるかもしれない。

(7) (8) (9)

(2) 海外での石油開発でのデータの総括は図4のよう 浅いところではK値は大きく、深くなると小さくなっている。

(3) Serata, S⁶⁾⁷⁾は 図5のように地層のせん断強度と側圧の大小の関係に付き傾向を論じている。

(4) 以上の傾向から、深くなると、また弱い岩盤では、側圧数は1.0に近いが、より小さいと推測される。

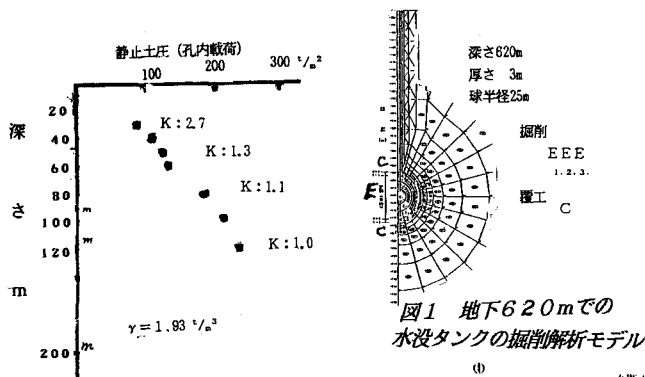


図3 東京湾の土丹での静止土圧の測定例(首都公⁵⁾)

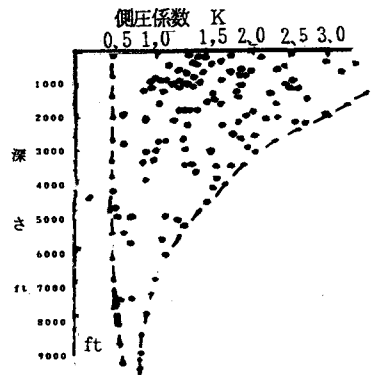


図4 海外での石油開発における側圧係数の深さ方向の変化 (6), (8), (9)

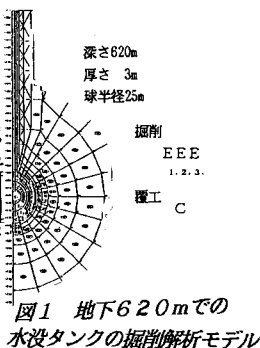


図1 地下620mでの水没タンクの掘削解析モデル

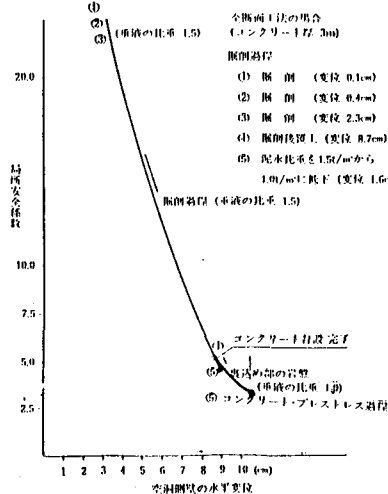


図2-1-b 掘削と覆工における中高部での変位と局所安全係数の変化(全断面掘削-覆工-泥水比重の低下)

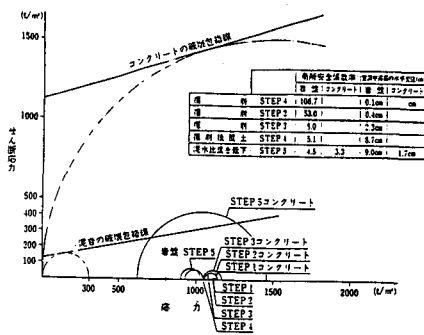


図2-1-a 掘削と覆工におけるMohrの応力円と破壊の包絡線(全断面掘削-覆工-泥水比重の低下)

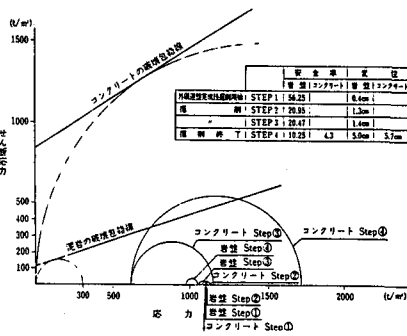


図2-2-a 連続地中壁工法におけるMohrの応力円と破壊の包絡線

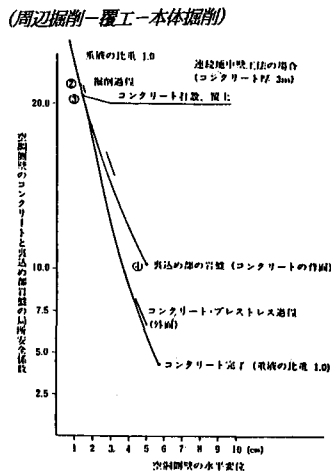


図2-2-b 連続地中壁工法における中高部での変位と局所安全係数の変化

結び このタンクは実用までには 少なくとも10年はかかるがその可能性を期待し、まず課題の拾い出しの段階の報告を行ってみた。

1) 深部地中空間は側圧係数より、球型・だ円体¹²⁾(たて、よこ)、泥水比重、覆工厚さ、応力緩和孔などの設計を的確に判断する必要がでるだろう。しかし深くなるとその判断はゆらぎが少なくなると思われる。

2) ごく深くでの全断面工法では、球形空洞は応力集中が 少なく泥水比重も1.2~1.3で済

む可能性がある。それは地圧に比べ弱い泥岩ではごく深くなると等方的地圧で 平衡していると考えられるからである

3) 工法についてはまず共通課題を探ってみた。今後のプロジェクト化のときに役立てば幸いである。深部での初期地圧を計ることは先決と思はれる。電中研では幸にも深部軟岩の物性チームができた。各方面との交流も期待される。(1989年1月5日)

表3 軟岩での深部地中水没タンクの建造に関する研究・開発の課題案

開発目標		研究課題	項目	内 容 と 方 法
事前調査	深部地中空間の調査	地層・地質	地層構造の検出	地層構造の走向・傾斜、規模、分布、弾性波、浅層反射、電磁波
	地層軟岩の連続性	構造の把握	岩 質	ボーリングコア、孔内観察、孔内変形
	地質調査法の開発		地 質 特 性 (採 掘 性)	初期地圧の異方性、採掘層における透水性、透気性、被圧水圧
設計	ボーリング	泥岩、砂岩、頁岩	変 形	三軸圧密、非排水、排水、圧密降伏、クリープ、くり返し変形、異方性
	孔内での軟岩の力学	の 変 形 と 強 度	強 度	一軸、三軸圧密、非排水、排水、圧密降伏、クリープ、疲労、異方性
	物性調査法の開発		初 期 地 圧	側圧係数、三次元、異方性
			重泥水	水和抑制、ソリッドコントロール、耐セメント性、比重安定性、泥泥防止
	設計法と	軟岩の安定性評価	非 線 形 変 形	過圧密、自然圧密、低粘性
	工法の開発	空洞覆工の安定性評価	粘 性 変 形	クリープ、くり返し応力、水和反応、局所安全係数の所要値、透水性、透気性
施工	無人建設機械	地中掘削機	粘弾塑性変形解析	絶対対称解析、非絶対対称解析、三次元解析、動的解析
	システムの開発	泥水中コンクリート	高強度ポリマーコンクリート	耐泥水性、ファイバコンクリート、高強度用骨材、型枠、ストッパー、泥水、メンブレン型枠、打継目処理、骨材冷却、クーリング
		最速構造と工法	最速設計	掘削と覆工のタイミング、形状の適正化、地圧の抑制
		立坑機械	水没立坑	鉄筋コンクリート、鋼製立坑、アクアヘッド
		空洞掘削機	拡張掘削機	パンタグラフ機(溝切りが主)、ブーム掘削機(旋回掘削)
		曲り掘り機	連壁掘削機	(MHD)曲りレール掘削機
維持管理	地中空間の保全	小型水中掘削機	仕 上 げ 用	ベンチカット、スライドカッター、水中吹付け
		連壁地中壁	曲面コンクリート壁	曲りレール、スライドカッター、圧気用バック、エアリフト
		排土システム	高効率化	エアリフト、バケット
		形状管理	泥水中計測・制御	形状、方向、速度、距離、傾斜、接触、水質
維持管理	地中空間の保全	環境保全	地中・地中の変状	地下水管理計画、変形のモニタ、泥水管理、排土処理

参考文献

- 1) Haddenhorst H.G., Lorenzen H., Meister, F., Schaumberg G. and Vicanek J. "Hochdruck-Erdgas Speichern ung in Salzkavernen" Erdöl Erdgas Zeitschrift, Sonderdruck aus Heft 5/6, 1974, Seite 154-161/197-204
- 2) 林正夫: 新構想の圧縮空気貯蔵—ガスタービン発電方式の経済性の概念 — ピーク・ミドル兼用発電方式の提案、電力土木—1989年 1月。
- 3) 林正夫: 圧縮空気貯蔵—ガスタービン発電の新方式の構想、第7回岩の力学連合シンポジウム, 1987。
- 4) 林正夫: 大電力を貯蔵する—圧縮空気貯蔵—ガスタービン発電の新技术構想、地中空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, 1988-10。
- 5) 富沢, 長谷川, 池内, 大西: 東京港連絡橋の基礎地盤となる土丹の物性、土と基礎35-3, 1987。
- 6) Serata S. "Integration of field instrumentation and computer simulation : Development and application of SPDR method" Paper in 2nd International Symposium on Field Measurement in Geomechanics, Kobe, April, 1987.
- 7) Serata S. "In Situ Measurement of Stress States in Salt and Associated Sedimentary Rock in Relation to Depth. SERATA GEOMECHANICS, INC., 1988.
- 8) Brown E. T. and Hoek E. "Trend in relationship between measured in situ and depth" International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanical Abstracts, Vol.15, 1978.
- 9) Jamison D.B. and Cook N.G.W. "An Analysis of Measured Values for the State of Stress in the earearth crust, Report, LBL 7071, SAC-07, Science Devisionand Mineral Engineering, University of Californial, Berkley. 1978.
- 10) Southwell R.V. Geogh H.J. "On the concentration of the stress in the neighbourhood of small flaw, and on propagation of fatigue in statiscally isotropic materials" Phil. Mag. ser., Vol.1, No.1, pp71-97, 1926.
- 11) 西田正孝「応力集中」森北出版, 1988.
- 12) 宮本博「三次元弾性論」裳華房, 1967