

模型実験による地下立穴空洞群の構造安定に関する一考察

奥村組技術研究所 正○蛭子 清二
同 正 寺田 道直 同 正 篠原 茂

1. まえがき

今回対象にした空洞群は、図-1に示すように、地下に円あるいはだ円状の横断面を持つ筒状の空洞を空間的に複数基配置した石油地下備蓄用の貯油槽群である。立穴空洞群は、狭い領域に貯油槽群を集中できるため、わが国のような良好な岩盤にめぐまれない自然環境下では、横穴式に比較して、立地上、構造上有利であることが予想される。¹⁾

本報では、軟弱な岩盤を想定した模型材料を用いた三次元模型の三軸試験を実施し、空洞の配置および水平方向の地圧が空洞群の巨視的な破壊（主に空洞間の岩柱部の破壊）に及ぼす影響を調査した。

2. 模型の三軸破壊実験

(1) 模型材料および模型の形状

実験に使用した材料は石コウ、石灰の混合材で、配合を石コウ：石灰：水＝1：1：2（重量比）とし、3日間気乾した後試験に供した。模型材料の物性値を表-1に示す。これは第三紀末～第四紀の軟岩にほぼ対応している。

模型の形状を図-2に示す。ここにDは空洞の直径、hは空洞の高さ、bは空洞の中心間距離、tは空洞の間隔、h₁は模型の高さである。同図に示したように、空洞間の要素は隣接する三つの空洞に囲まれた正三角形部分になる。しかし、要素相互間の拘束による影響を考慮し、模型を4要素の正三角柱形状にした。また、空洞隅角部の半径Rをすべて $R = D / 2$ の同一条件にした。

(2) 実験方法

模型の巨視的な破壊に影響する要因として、空洞の形状、配置（D、h、t）および水平方向の地圧（側圧： $\sigma_1 = \sigma_2 < 0$ なる応力）を取りあげる。これらをDおよび一軸圧縮強度 S_c で無次元化すれば、 h / D 、 t / D 、 σ_1 / S_c の3つの要因を得る。しかるに h / D の影響が小さいこと²⁾から、本実験では、 h / D を2に固定し、 t / D を4水準、 σ_1 / S_c を6水準に設定した。

載荷には容量3tの土の中型三軸試験機を使用し、側圧を水圧により作用させた。なお、模型の空洞に側圧が作用しないように模型

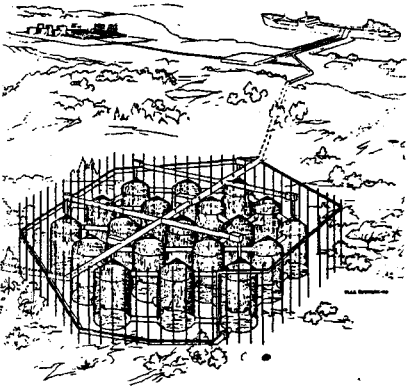


図-1 地下立穴空洞群の概念

表-1 模型材料の物性値

	Model IV
一軸圧縮強度 (MPa) S_c	0.843
引張り強度 (MPa) S_t	0.205
破壊ひずみ (%) E_f	0.723
割断ヤング率 (GPa) E_{30}	0.150
	E 0.114
ポアソン比 ν	0.243
内部摩擦角 (deg) ϕ	6.036
粘着力 (MPa) c	0.384
単位体積重量 (kN/m ³) γ	14.31
含水比 (%) w	63.13

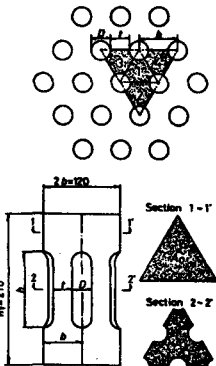


図-2 模型の形状

の三つの側面に厚さ 5mm のアクリル板を貼付し，その外側を厚さ 0.2mm のゴムスリーブで覆った。

(3) 実験結果とその考察

模型の三軸試験から得られた軸差応力-軸ひずみ曲線の一例を図-3 に示す。同図から，側圧の増加に伴い降伏応力および模型の見かけ剛性がともに大きくなり，曲線の形状も軟化型から硬化型へと変化することがわかる。

一方，アクリル板を介して側圧を作用させたことから，実際に模型側面に作用した側圧と機械的に設定した側圧とが 1 : 1 に対応しないことが考えられる。そこで，有限要素法による三次元弾性解析を実施し，単位の側圧をアクリル板に作用させた時の模型側面の水平方向の応力集中率を求め，これを側圧の補正係数とした。この係数を用いて側圧を補正し， t/D と等価な断面積比 A/A_0 (A および A_0 はそれぞれ模型の最小断面積，空洞のない模型の断面積) をパラメータとし，模型の降伏応力 (σ_3/S_c) を主応力空間の Rendulic 面に表示すれば，図-4 のようになる。

次に， A/A_0 および σ_1/S_c が σ_3/S_c に及ぼす影響を分散分析により検定した。その結果，両要因と模型の降伏応力との間には高度に有意な関係が認められるが，二因子交互作用は認められないことが明らかになった。そこで，データの構造を式 (1) のように仮定して重回帰分析を行ない，回帰性を検定し，係数 $k_1 \sim k_3$ の最確値を最小二乗法により推定すれば式 (2) のようになる。

$$\sigma_3/S_c = k_1 + k_2 (A/A_0) + k_3 (\sigma_1/S_c) + \epsilon \quad (1)$$

ϵ : 正規分布する誤差変数

$$\sigma_3/S_c = 0.393 + 0.637 (A/A_0) + 1.074 (\sigma_1/S_c) \quad (2)$$

3. 結論

軟弱岩盤を想定した三次元模型の三軸試験を実施し，式 (2) に示した巨視的降伏条件を提案した。建設地点の地圧 (一般には，土かぶり荷重: τZ) から， $\sigma_1 = \tau Z \nu / (1 - \nu)$ を式 (2) に代入し，得られた降伏応力が $\sigma_3/S_c > \tau Z/S_c$ ならば，空洞群は巨視的に安定であることが考えられる。

4. あとがき

今回の模型実験によって軟弱岩盤を対象にした地下立穴空洞群の概略設計の目安が得られた。今後は，異なった地質への適用や，掘削過程および支保方法を考慮した詳細な設計法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) I. Sagefors, 「POLYTANK UNDERGROUND LIQUID STORAGE」, SUBSURFACE SPACE, 1980
- 2) 小林他, 「POLYTANK 式地下貯油槽について (第 3 報)」, 奥村組技術研究年報 68, 1982

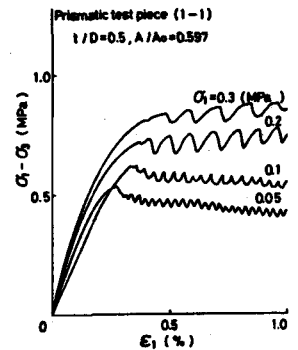


図-3 応力-ひずみ曲線

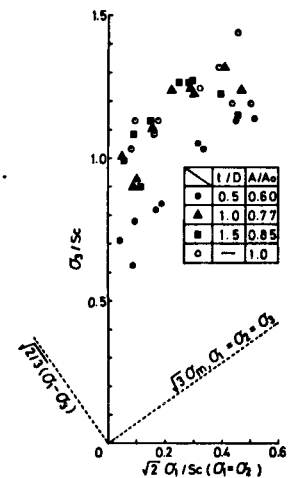


図-4 結果の Rendulic 面表示