

地下空間形状の感性評価結果と力学的感度の関係について

山口大学工学部 学○今泉暁音 正 清水則一
広島工業大学 正 櫻井春輔

1. はじめに

地下に対するイメージや理解を目的として様々な調査・研究が行われている¹⁾⁻⁵⁾。それらの成果をさらに発展させ、人々の持つ地下に対する感性的なイメージや評価を積極的に取り入れ、安全かつ快適で魅力ある地下空間を設計する手法を検討することが課題と考えられる。本研究では、地下空間の形状に対して感性と力学を融合した設計の可能性を検討することを目的としている。これまで、地下空間の快適性評価と力学的安全性評価をそれぞれ行い、それらの結果を用いて地下空間形状の総合評価を試みてきた⁶⁾⁻⁹⁾。そこでは、力学評価が初期応力などの岩盤条件によって異なるため、感性評価結果との関係を一般的に検討することが難しいということが問題点であった。ここでは、岩盤条件によらない力学的指標として、空間の掘削時の変形（ひずみ）の力学的感度を取り上げ、感性評価との関係を検討する。

2. 地下空間形状の快適性評価⁶⁾⁻⁹⁾

図1に示すように、実写真を画像処理し作成した、様々な形状の地下空間に対して、250人を対象に、快適性評価のアンケートを行った。「快適 - 不快」という評価基準に対して、快適側を7、不快側を1として7段階で被験者に評価を求めた（図1の数値 M_p ）。上半円形、矩形、アーチ形が快適性の値が高く、斜めにゆがんだ形状の値は小さくなっている。

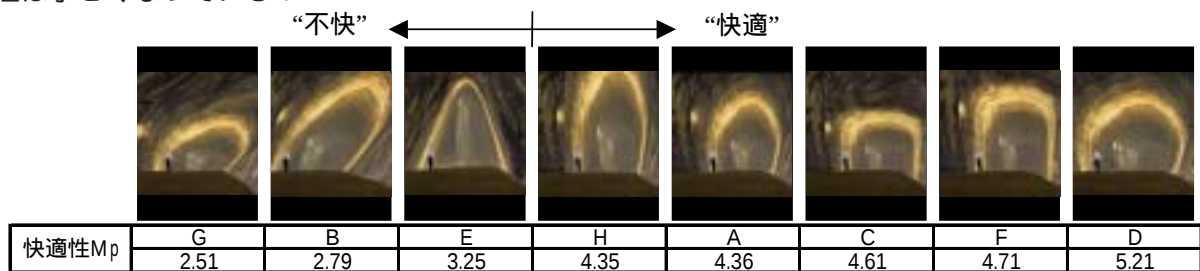


図1 快適性評価

3. 力学的感度について

岩盤を等方質の弾性体（平面ひずみ問題）とすると掘削による変位は次のように表せる。

$$u(x, y) = f_1 \cdot \left(\frac{\sigma_x^0}{E} \right) + f_2 \cdot \left(\frac{\sigma_y^0}{E} \right) + f_3 \cdot \left(\frac{\tau_{xy}^0}{E} \right) \quad \text{—式(1)}$$

ただし、 $u(x, y)$ は座標における変位、 σ_x^0 、 σ_y^0 、 τ_{xy}^0 は初期応力、 E は弾性係数、 f_1 、 f_2 、 f_3 は空洞形状とポアソン比から得られる係数である。なお、 σ_x^0/E 、 σ_y^0/E 、 τ_{xy}^0/E を初期応力パラメータと呼ぶ。

ここでは、空間内空の変形を表す指標として、掘削による断面の平均的なひずみを考える。壁面の3点 i, j, k （図2）の変位を $\{u\} = \{u^i \ v^i \ u^j \ v^j \ u^k \ v^k\}^T$ として、次の式で断面の平均的なひずみを求める。

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\} \quad \text{—式(2)}$$

ただし $\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \gamma_{xy}\}^T$ 、 $[B]$ は三角形 $i \ j \ k$ を有限要素と考えたときのひずみ-変位マトリックスである。式(1)を式(2)に代入すると、次式を得る。

$$\{\varepsilon\} = \{s_1\} \cdot \left(\frac{\sigma_x^0}{E} \right) + \{s_2\} \cdot \left(\frac{\sigma_y^0}{E} \right) + \{s_3\} \cdot \left(\frac{\tau_{xy}^0}{E} \right) \quad \text{—式(3)}$$

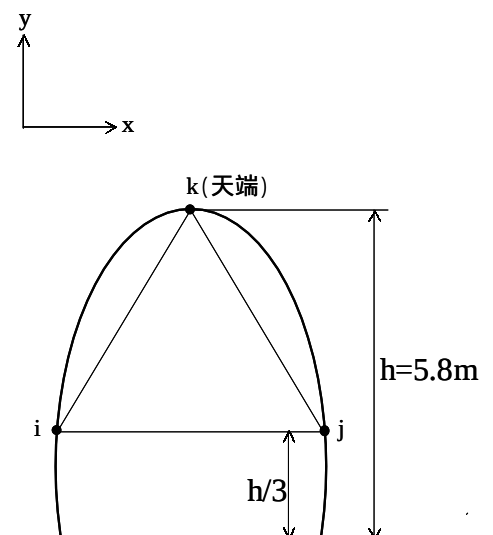
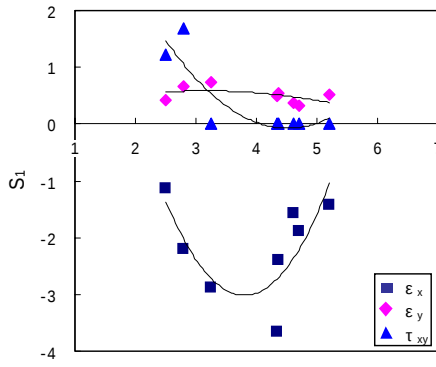
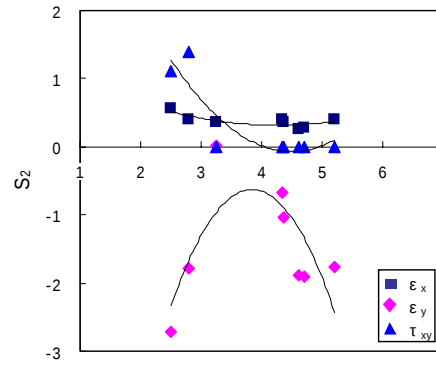
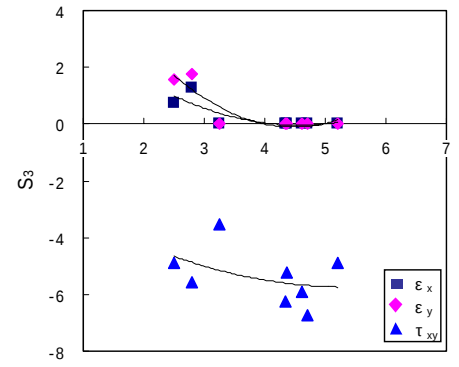


図2 壁面の3点(形状A)

keywords : underground space, perception, rock mechanics, pleasant, mechanical sensitivity

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科社会建設工学専攻 今泉暁音

TEL 0836-85-9334 FAX 0836-85-9301

図3 快適性と力学的感度: Mp- $\{s_1\}$ 図4 快適性と力学的感度: Mp- $\{s_2\}$ 図5 快適性と力学的感度: Mp- $\{s_3\}$

$\{s_1\}, \{s_2\}, \{s_3\}$ はひずみ-変位マトリックス[B]と f_1, f_2, f_3 で構成される初期応力パラメータに対する感度となる。これは、初期応力と弾性係数によらない特性がある。

4. 感性指標と力学的感度の関係

図1に示す8種類の形状に対する快適性の評価指標 Mp と、式(3)に示す空洞断面のひずみに対する力学的感度 $\{s_i\}$ の関係を図3～図5に示す。同図には、快適性指標 Mp に対応するひずみ感度 $\{s_i\}$ の成分 $\{\varepsilon_{xi}, \varepsilon_{yi}, \gamma_{xyi}\}$ がプロットされている。快適性と関係のある感度の成分がいくつか見られるが、明瞭な関係を見出すことは難しいようである。

そこで、最大せん断ひずみの感度 γ_i 、および、体積ひずみの感度 e_i を次のように求め、

$$\gamma_i = \sqrt{(\varepsilon_{xi} - \varepsilon_{yi})^2 + \gamma_{xyi}^2} \quad \text{—式(4)}$$

$$e_i = \varepsilon_{xi} + \varepsilon_{yi} \quad \text{—式(5)}$$

さらに、総合的なせん断ひずみ感度 γ 、および、体積ひずみ感度 e を次の式で定義する。

$$\gamma = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_3^2} \quad \text{—式(6)}$$

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2} \quad \text{—式(7)}$$

図6および図7にそれぞれ、総合せん断ひずみ感度、および、総合体積ひずみ感度と快適性指標の関係を示す。これらの図から、快適性は総合せん断ひずみ感度とは明確な関係は見られないが、総合体積ひずみ感度とは負の相関が見られる。すなわち、快適性指標が小さい(不快な)空間形状の総合体積ひずみ感度は大きい。このことは、体積ひずみの収縮が大きくなる(断面が大きく、あるいは、小さくなりやすい)可能性がある空洞形状に対して、人は不快感をもつこと示唆して興味深い。一方、せん断ひずみの感度(形状の変わりやすさ)の大小は、この例では、快-不快とは関係しないようである。

4. むすび

地下空間形状の快適性と力学的感度の関係を調べた結果、空間断面の大きさが掘削によって変化しにくい形ほど快適性を高く、断面の大きさが変化しやすいほど不快性が増すことが示された。もちろん、この結果はここで示した限られた形状から得られたものであり、一般性があるかどうかについては今後の課題である。

<参考文献>1) 櫻井春輔: 土木工学の新しい挑戦 - 地下空間におけるアート創造の可能性に向けて -, 土木構造・材料論文集, 第17号, 2000.12 2) 渡辺与四郎: 地下建築物のデザイン手法, 丸善株式会社, 1987. 3) 中田金太, 近久博志, 吉元 洋, 小林 薫: 国内初の岩盤地下美術館, トンネルと地下, 土木工学社, 1996.3. 4) 川本眺万(監訳): ロックエンジニアリングと地下空間, 鹿島出版会, 1990. 5) 山本伸二: 地下空間の力学的挙動を考慮した意匠設計に関する基礎的研究, 神戸大学工学部建設学科 卒業論文, 1997.2 6) 今泉暁音, 清水則一, 櫻井春輔: SD法に基づく地下空間の快適性評価に対する研究, 平成13年土木学会中国支部研究会発表要集pp.401~402, 2001.6 7) 今泉暁音, 清水則一, 櫻井春輔: 地下空間設計における感性評価と力学解析の融合の試み, 平成13年土木学会全国大会発表会, 2001.10 8) 今泉暁音, 清水則一, 櫻井春輔: 地下空間の形状評価における感性と力学解析の融合について, 平成14年地下空間シンポジウム, 2002.1 9) N.Shimizu, A.Imaizumi, S.Sakurai: An approach using human perception together with rock mechanics to design the shape of underground space, NARMS-TAC.2002 (投稿中)

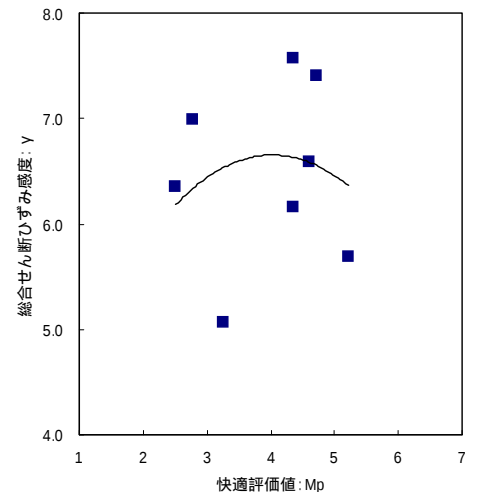
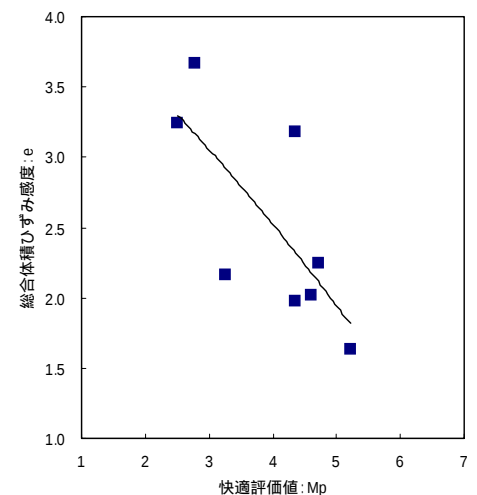
図6 快適性と力学的感度: Mp- γ 

図7 快適性と力学的感度: Mp-e