

ボアホールジャッキ試験による岩盤応力測定法

安藤ハザマ 正会員 ○川久保昌平

大深度に地下空洞を掘削する場合、空洞の安定性を検討するために岩盤に作用する初期応力を把握することは必須である。現在、主な初期応力測定法としては水圧破碎法や応力解放法がある。本研究ではジャッキ法の原理を応用したボアホールジャッキ試験による新たな初期応力測定法について述べる。

1. はじめに

図1に示すフラットジャッキ法は岩盤中に切削したスリットにフラットジャッキを挿入・加圧し、近傍に設けた標点間の距離が切削前と同じになる時の圧力 p_0 を初期地圧と推定するものである¹⁾。著者はこの原理をボアホールジャッキ試験に応用し、コンクリート材料を用いた模擬実験によって初期応力を測定する手法の妥当性を検証した²⁾。本論文では原位置岩盤を対象とした同様の試験を行い、その妥当性を検証したものである。

2. 初期応力測定理論

図2のように初期応力が作用している無限弾性体内でボアホールジャッキ試験を行った、混合境界値問題としての厳密解³⁾より、初期応力と载荷初期圧 p_0 の関係が式(1)として導出される²⁾。

$$p_0 = A_1(v, \alpha, \beta) \sigma_1^\infty + A_2(v, \alpha, \beta) \sigma_2^\infty \quad (1)$$

ここに、 p_0 は図3に示す载荷圧-変位 ($p-u$) 曲線において、線形を示す初期の点である。また、 v は岩盤のポアソン比、 α は σ_1^∞ の x 軸となす角、 β は载荷角度の1/2で、 A_1, A_2 はこれらを変数とする感度係数である(具体式は参考文献を参照²⁾)。さて、原位置試験において载荷方向を変化させて、 N 個の p_0 が得られたとする。このとき、次式で定義する二乗誤差 Δ が最小となるような α を見出すことにより、 σ_1^∞ および σ_2^∞ の最確値が得られる。上添字は i 回目の測定であることを示す。

$$\Delta = \sum_i^N \{p_0^i - (A_1^i \sigma_1^\infty + A_2^i \sigma_2^\infty)\}^2 \quad (2)$$

3. 原位置試験

日本原子力研究開発機構(JAEA)幌延深地層研究センターの350m調査坑道においてボアホールジャッキ試験を実施した。試験は $\phi 86\text{mm}$ 鉛直孔の3m付近及び6m付近で計8回実施した(図4○)。岩盤は均質な珪質泥岩であった。図5に試験結果における p_0 読み取り例を示す。同図上の $p-u$ 曲線は、勾配によってI,II及びIIIの3区間に区分される。 p_0 は原則II,IIIの境界点 P_2 とする²⁾。一方、 p を u で1回微分した $\Delta p / \Delta p-u$ 関係は理想的には階段状となるが、実際には図5下のようにばらつきを伴う。そこで、シグモイド関数なる階段関数を導入し、不連続点(境界点)及び一定値(勾配)を回帰分析で求めた。そこでのII,III境界点を P'_2 とし、 P_2 との差が十分小さくなるまで区間

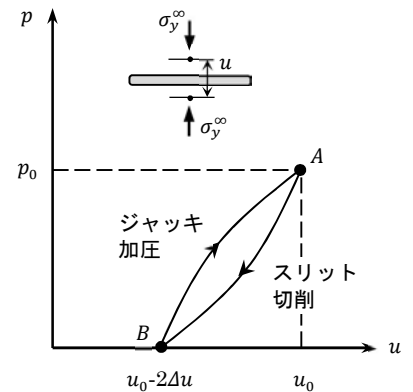


図1 フラットジャッキ試験

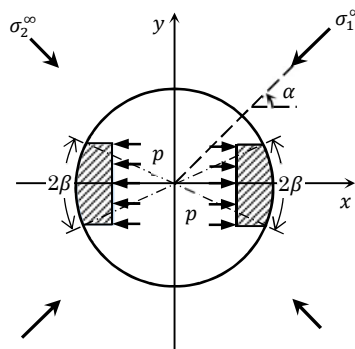


図2 ボアホールジャッキ試験モデル

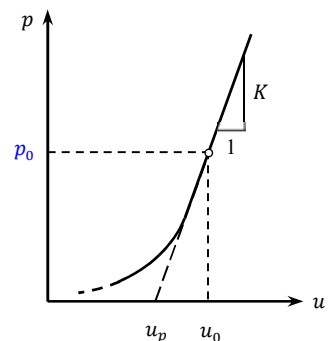
図3 载荷初期圧 p_0 の定義

図4 350m坑道試験位置

キーワード 初期応力, ボアホールジャッキ試験, 混合境界値問題, 厳密解, 载荷初期圧

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 建設本部 技術研究所 原子力部 TEL029-858-8810

区分の修正を繰り返
し、最適値を求めた。
表1に得られた p_0
の一覧を示す。

表1 p_0 値

	GL-m	载荷方向 (°) *	p_0 値 (MPa)
3m シリーズ	2.85	16	5.97
	3.00	-29	10.15
	3.15	-74	10.18
	3.45	61	6.10
6m シリーズ	5.85	23	5.98
	6.45	68	8.64
	6.60	-67	11.11
	6.75	-22	6.20

* x 軸と反時計周りになす角

4. 初期応力解析

式(2) 及び表 6 の
 p_0 値を用い、初期応力
を逆解析した結果を表
2 及び図 6 に示す。

表2 初期応力解析結果

		σ_1^∞ (MPa)	σ_2^∞ (MPa)	α (°)
既往測定 1	(1)	7.14	3.59	-74
	(2)	4.20	3.16	-63
既往測定 2		3.67	2.32	-36
今回測定 3mシリーズ		5.23	3.97	-19
今回測定 6mシリーズ		4.71	3.05	-79

図 6 は試験孔に
直交する平面
上の主応力分
布を示す。比較
のため、図 4 に

□で示した既往測定結果(水圧破砕法)⁴⁾⁵⁾を破線で示す。 ν に
は既往室内試験⁴⁾⁵⁾の平均値である 0.22 とした。今回の測定位
置は既往測定とは異なるため主応力分布はやや異なるが、最大
主応力はいずれも北西方向にあり、大きさは既往測定 1(1) を
除けば 4~5MPa 程度となっている。

5. まとめ

本論文で示した測定法は、オーバーコアを要しない簡易な
応力測定法である。本測定の精度は p_0 の読み取り結果に影響
を受けるため、3章で述べた最適化手法を取り入れた。その
結果、元々ばらつき大きい初期応力測定において、4章に示
した解析結果は概ね妥当な値を与えているものと考ええる。

6. 謝辞

本研究は安藤ハザマと JAEA の共同研究の一環として実施
されたもので、幌延深地層研究センター深地層研究部堆積岩
処分技術開発グループの松井裕哉様並びに大野宏和様には、
計画段階より御尽力頂きました。また、原位置試験では川崎
地質(株)北海道支店の加藤猛士支店長並びに大泉涼氏らの全面
的な御協力を得て実施することができました。皆様方にはこの
紙面をお借りし、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) ベルナル・アマテイ, オーヴァ・ステファンツ: 岩盤応力とその測定, 京都大学学術出版会, pp.361-365, 2012.
- 2) 川久保昌平・村上祐治・長澤寛和・谷和夫: ボアホールジャッキ試験による新たな岩盤初期応力の評価理論の提案, 土木学会論文集 C, 76 巻, 3 号, pp.285-294, 2020.
- 3) 妻木義彦, 山田哲義: 1 円孔を有する無限板の二, 三の弾性混合境界値問題, 日本機械学会論文集 (第 1 部), 31 巻, 232 号, pp. 1786-1792, 1965.
- 4) 青柳和平, 櫻井彰孝, 丹生屋純夫: 幌延深地層研究センターの 350m ポンプ座における初期地圧測定, JAEA-Data/Code 2015-010, 日本原子力研究開発機構, 190p, 2015.
- 5) 青柳和平, 櫻井彰孝, 丹生屋純夫: 幌延深地層研究センターの 350m 周回坑道 (東) における初期地圧測定, JAEA-Data/Code 2016-022, 日本原子力研究開発機構, 91p, 2017.

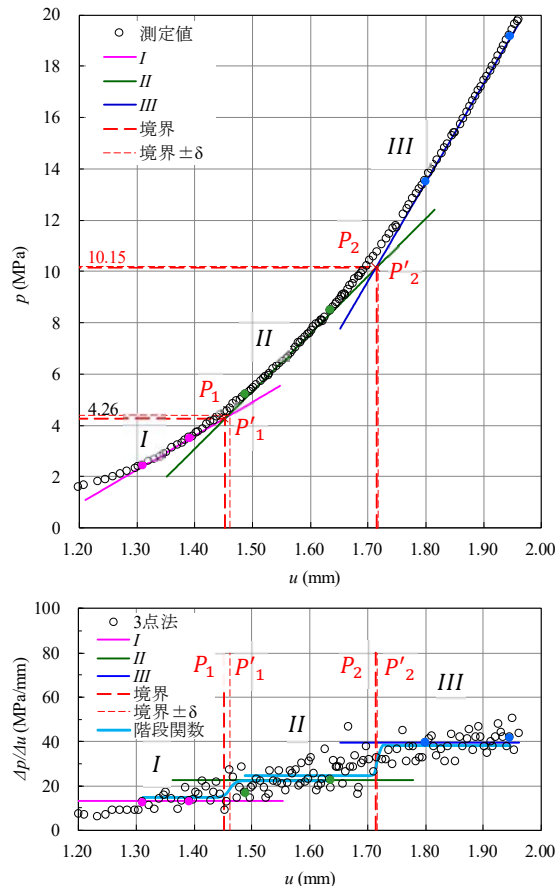


図5 p_0 の読み取り例 (GL-3.00m)

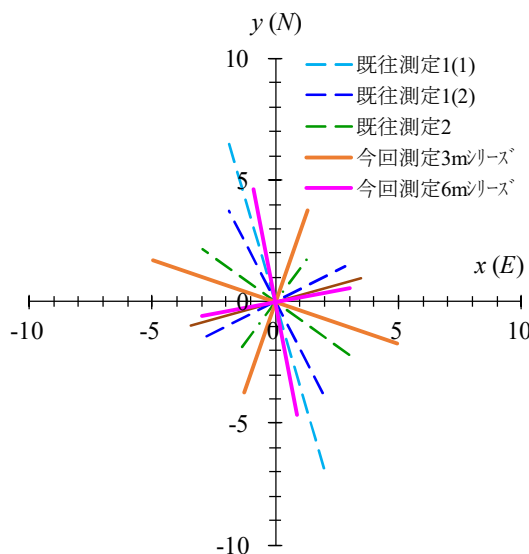


図6 初期応力解析結果 (MPa)