

Ⅲ-523 掘削時の軟岩におけるハイドロリックフラクチャリングに関する検討方法について

○大成建設土木設計第二部 正会員 福浦 尚之
 大成建設土木設計第二部 正会員 津田 勝利
 大成建設土木設計第二部 正会員 山本 平
 大成建設土木設計第二部 坂井 徹

1. はじめに

山留め掘削時においては、掘削解放力による盤膨れの他に、浸透水圧による床付け地盤の破壊、いわゆる浸透破壊の検討が必要となる。本報では、軟岩地山での山留め掘削時の浸透破壊メカニズムの一つとして想定されるハイドロリックフラクチャリング（水圧破碎）について、有限要素法を用いた有効応力解析によって検討した結果について報告する。

2. ハイドロリックフラクチャリングについて

ハイドロリックフラクチャリングは、地盤の間隙水圧が最小主応力と引張強度の和以上に増大した部分において引張亀裂が発生する現象である^{1, 2)}。従来より、石油、天然ガスなどの採取の通路を広げるために岩盤に亀裂を作る方法、地盤の初期応力の測定方法などに利用されているが、これらは間隙水の流れにより発生する浸透力が小さい場合であり、全応力的な解析手法により検討が行われている。

山留め掘削の場合には掘削により地盤の応力が解放され、山留め壁内外の水位差により浸透流が生じることから、地盤の応力・間隙水圧分布が複雑に変化する。この際、間隙水圧が地盤の最小主応力と引張強度の和を越える場合には、間隙水圧による引張亀裂が生じる懸念がある。すなわち、破壊条件は次式で表される。

$$u(\text{間隙水圧}) > \sigma_3(\text{最小主応力}) + \sigma_t(\text{引張強度}) \quad (1)$$

これに、 $\sigma'_3(\text{有効最小主応力}) = \sigma_3(\text{最小主応力}) - u(\text{間隙水圧})$ を代入し、有効応力形で表現すると、
 $\sigma'_3(\text{有効最小主応力}) + \sigma_t(\text{引張強度}) < 0 \quad (2)$

よって、負の有効最小主応力の絶対値が引張応力を越えると間隙水圧による破壊が生じる。これは、間隙水圧によって破壊が生じるという点でハイドロリックフラクチャリングと呼ぶことができる。

以上より、山留め掘削での軟岩におけるハイドロリックフラクチャリングに関する検討は、解析方法として有効応力解析を用い、(2)の有効応力表示の破壊条件に基づき行うことにより引張破壊に対する意味が明確になると考えられる。以下に円形山留めモデルによる試算を行う。

3. 解析条件

検討対象地盤は、地表面より埋土層、沖積層、洪積層であり、その下に軟岩層が続いている。表-1に解析に用いた材料定数を示す。掘削は、図-1に示すように、半径24mで、GL-37mが床付け面である。山留め壁には、地下連続壁（以下「連壁」と呼ぶ）を用い、床付け面から約25m下にある軟岩層（＝難透水層）に根入れしている。

掘削の速さに対して非定常浸透流の影響が少ないと考えられることから検討は、床付け時の定常浸透状態について行う。解析方法は、有限要素法により、掘削土の有効重量の解放力と定常浸透状態での浸透力を掘削による外力の変化と考えた軸対称有効応力解析を行う。なお、連壁と地盤間にはジョイント要素を設け、摩擦による滑りを表現する³⁾。

表-1 解析に用いる材料定数

番号	土層	変形係数 (kgf/cm ²)	ポアソン 比	透水係数 (cm/sec)	連壁と地盤との 摩擦係数 ³⁾
①	埋土層	40	0.3	7×10^{-4}	0.25
②	沖積層(粘)	80	0.4	9×10^{-8}	
③	洪積層(砂)	400	0.3	4×10^{-4}	
④	洪積層(砂)	1000	0.3	2×10^{-4}	
⑤	軟岩層	4400	0.4	5×10^{-6}	0.65
⑥	連壁	3.1×10^5	0.2	5×10^{-8}	—

4. 解析結果及び考察

解析結果にもとづき、軟岩部のハイドロリックフラクチャリングに対する検討を行う。

安全率は、図-2に示すように最小有効主応力の引張強度への接近度で表した。安全率の試算は、軟岩健全部を想定した引張強度を考慮（ $\sigma_t=15\text{tf/m}^2$ ）する場合と、潜在クラックが有る可能性を考慮した引張強度を0とする場合について行う。

図-3に安全率算定結果を示す。これより連壁付近が比較的安全率が小さく、軟岩層の上面と連壁との境界で最小の安全率が生じている事がわかる。

必要安全率としては、検討実績⁴⁾等より引張強度を考慮した場合で1.2~1.5が適切と考えられる。また、引張強度を無視した場合は1.0としてもよいと考えられる。今回の試算では、これらの必要安全率を上回っている。

以上、軟岩のハイドロリックフラクチャリングに関しては、有効応力解析を行い、引張破壊に対する検討を行うことにより合理的な検討ができる事がわかった。

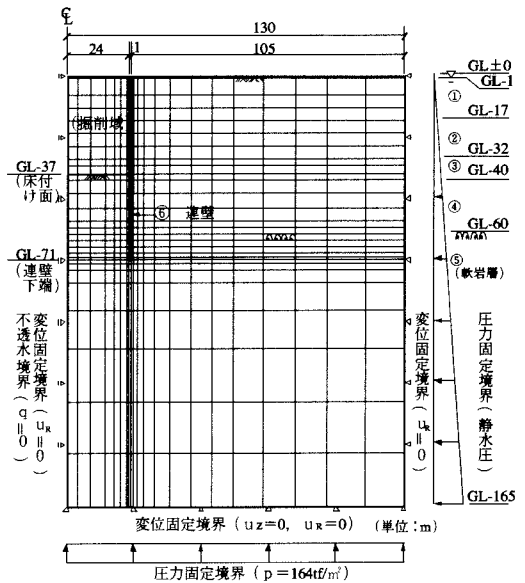


図-1 解析モデル

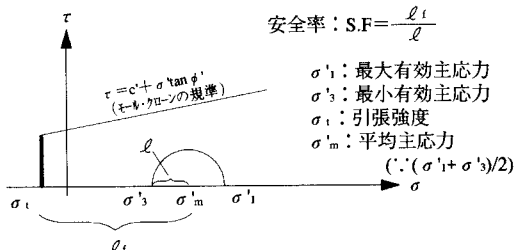
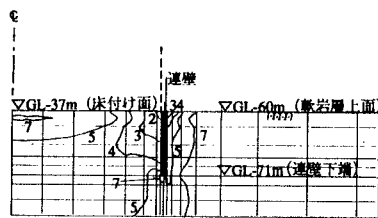


図-2 安全率の設定



1) $\sigma_t=15\text{tf/m}^2$

2) $\sigma_t=0\text{tf/m}^2$

図-3 軟岩部安全率算定結果

5. あとがき

現在、この試算したモデルと同規模の山留め工事を種々の計測を行いながら進行させている。その結果を待ち、続報を行う予定である。また、本検討は円形以外の山留め掘削にも適用可能と考えられる。

最後に、貴重なご意見、ご助言をいただいた埼玉大学吉中龍之進教授をはじめ多くの方々感謝いたします。

（参考文献）

- 1) 仲野良紀：ダム築造によるアバットメント部における亀裂の発生について、第10回ダム技術講演討論会、日本ダム学会、pp.23-31、1978
- 2) 中川加明一郎：ハイドロリックフラクチャリング、地質と調査、pp.49-52、1995年第1号
- 3) 樋口雄一他：地下連続壁と地盤間に介在する泥膜のせん断強度及び付着強度特性、土木学会第50回年次学術講演会
- 4) 「岩盤タンクの安全確保に関する調査報告書」、土木学会、危険物保安技術協会、昭和61年9月