

ケーブルボルトによるき裂面模型のせん断挙動モデルと試験結果の解析

(株)大林組 正会員 丹生屋 純夫、木梨 秀雄
FIR-会員 大内 一

1. 目的

き裂性岩盤の補強工法として注目を集めつつあるケーブルボルトの適用性を検討するためにセメントモルタルを用いたき裂面模型のせん断実験を実施した⁽¹⁾。本報告では、実験に適用したき裂面のせん断挙動特性を明らかにし、評価モデルを構築した上で、実験結果の解析を行なったものである。

2. 実験概要

試験体および載荷等の概念図を図-1、実験ケース一覧を表-1に示す。実験に用いたセメントモルタル強度は、モデル岩石の一軸圧縮強度を基に70MPaとした。また、ケーブル種類および配置は、過去の施工実績を基に約1/10スケールモデルとした。また、実験に用いたき裂形状は想定したサイト周辺地域のき裂面せん断強度より、Bartonら⁽²⁾が提案するラフネスパラメータJRCによるき裂形状タイプの選択を行なった。その結果、Type3の形状を選択し、その波形を用いて写真-1に示すようなき裂面鋳型を作製した。



写真-1 アルミ製き裂鋳型

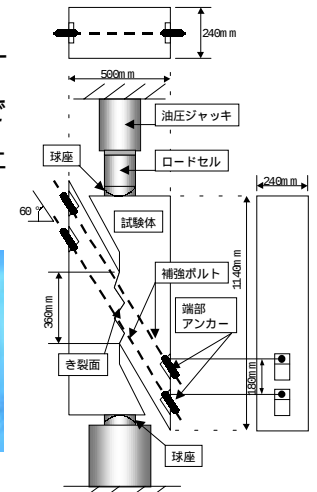


図-1 標準試験体概要図

表-1 試験ケース一覧

ケース	着目点	き裂面長	き裂面幅	き裂形状	補強材料	仕様	打設角度	緊張力	拘束応力
1	打設角度	360mm	240mm	Type3	cablebolt	φ2.9mm 2本より	0°	0tf	0.10MPa 0.23MPa 0.40MPa 1.00MPa 3.00MPa 5.00MPa 7.00MPa
2							60°		
3							30°		
4	補強方法				PS	D10	0°	1.5tf	
5							60°		
6							30°		
7	無補強 き裂拘束				rockbolt	D10	60°	0tf	
8									
9									
10									
11									
12									
13									

注) 打設角度はき裂面の直交方向を基準(0°)としている。

3. き裂せん断特性モデル

ケース1~13の各実験結果より、き裂面の持つせん断負担応力とせん断変位および開口変位とせん断変位の関係を調べると図-2に示すモデルで表わすことができた。 の変曲点 τ_{Y1} は、開口は生じていないが、わずかにせん断が生じ始める点で、 の τ_{Y2} は開口変位が本格的に始まる、いわゆるき裂面の降伏点と考えられる。その後、開口変位はせん断変位 S_Y で飽和する。なお、実験ケース1~6の補強有ケースでは、全せん断応力から、補強材料のき裂面上において得られたひずみから割り出した軸力のき裂せん断方向成分を差し引いたものをき裂面せん断負担応力とした。

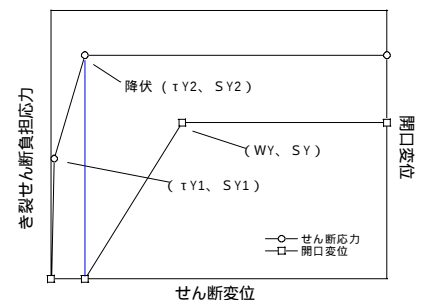


図-2 き裂せん断特性モデル

一き裂に対して図-2のモデルを決定するには、図-3~6のグラフによっ

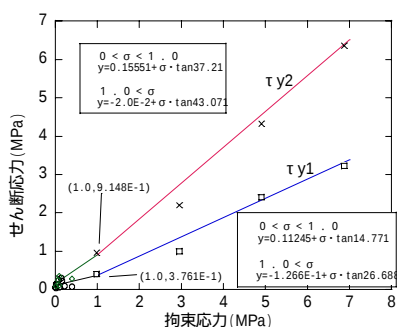


図-3 変曲点算定式

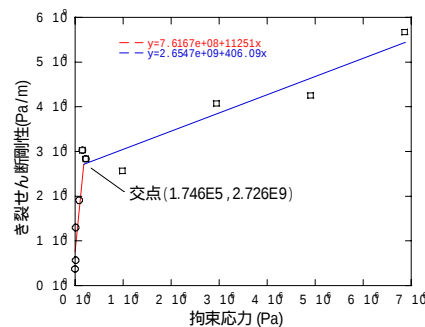


図-4 き裂せん断剛性 算定式

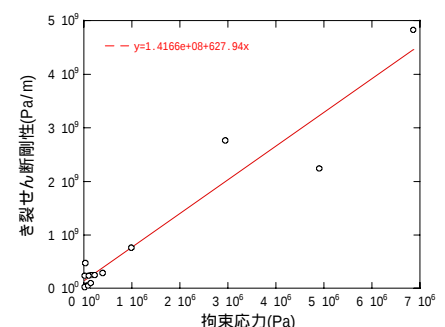


図-5 き裂せん断剛性 算定式

キーワード: ケーブルボルト、せん断試験、き裂性岩盤、不連続体解析

〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 Tel 0424-95-0918 Fax 0424-95-0903

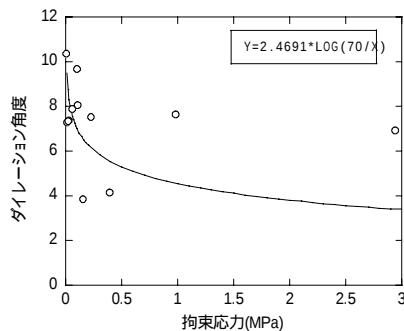


図 - 6 ダイレーション角度算定式

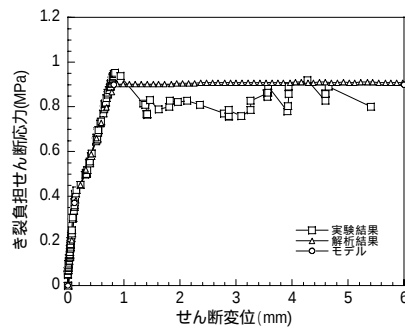


図-7 き裂面せん断解析($\tau - S$)

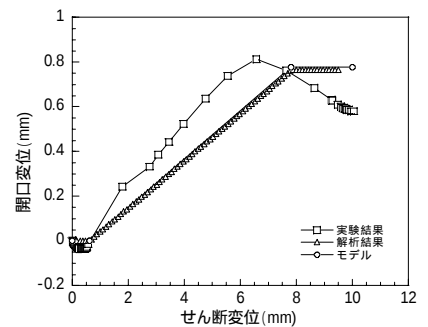


図-8 き裂面せん断解析($W - S$)

て各パラメータを算出する必要がある。これらのグラフは各実験よりそれぞれのデータを抽出、プロットし、直線およびlog曲線近似させたものである。図 - 3より、 $\tau Y1$ と $\tau Y2$ 、図 - 4、5より および 区間のき裂せん断剛性を算出する。また、図 - 6より開口変位の上昇角度を求める。いずれのパラメータもき裂の拘束に依存するものであり、拘束応力を調べるにより全て算出することが出来る。

以上の設定法により不連続体解析UDECを用い、き裂面せん断解析を実施し、実験結果と比較した。一例を図 - 7, 8に示す。●のモデル式より算定した入力値は、の解析値と一致している。また□の実験値とは、データのばらつきにもよるが、概ねよく追従している。

4 .補強解析結果

以上のき裂面せん断特性モデルを用いて、実験ケースの検証解析を実施した。図 - 9にPSアンカー、図 - 10にケーブルボルトの $\tau - S$ 比較結果を示す。各解析におけるケーブル要素の曲げ変形領域深さは、地盤中の杭解析によって予測した。また、補強材料の付着応力については予め実施した引き抜き試験結果より $\tau = 0.76\text{MPa}$ を与えている。

いずれのケースにおいても実験結果に対して解析結果は良く追従していると思われる。ケーブルボルトケースでは、低せん断応力レベルでせん断変位が生じるがその後も、上昇を続け、最大せん断応力はPSアンカーと大差ないことが実験値および解析値からも確認できた。また、図 - 11はケーブルボルトケースにおける破断直前のケーブル上の軸力分布を示している。横軸の50cm位置がき裂直上にあたる。き裂直上は既に降伏しており、その分布を比較すると解析に入力した定着条件はほぼ実験結果と同等であることが分かる。よって、ケーブルボルトは定着が十分取れていれば、最終的には材料の持つ耐力に依存され、同等の強度ならば緊張方式のPSアンカーと同等の補強効果が期待できることが示唆された。

5 .まとめ

定着が十分確保されれば、強度上ケーブルボルトはPSアンカーに比し、同等のせん断効果を与える結果の一例を示した。また、き裂面のせん断挙動特性をモデル化することができ、今後、き裂面の形状によりこのようなモデルを構築すれば検証を的確に行なうことが出来ることがわかった。

(参考文献 X1) 丹生屋、木梨、大内、大西; ケーブルボルトによる岩盤き裂面のせん断補強試験、第54回土木学会全国大会概要集、 - B48、p.96 ~ 97、1999

(2) Barton, N., Choubey, V.; The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mechanics, Vol.10, pp.1-54, 1977

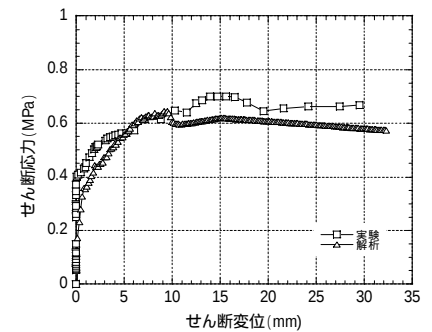


図 - 9 実験結果検証 (PSアンカー)

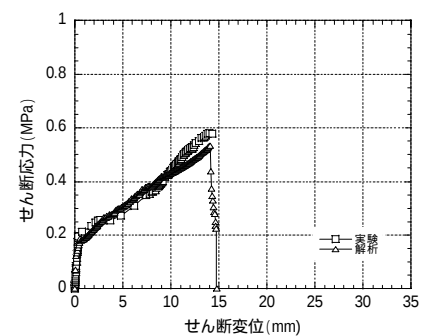


図-10 実験結果検証(ケーブルボルト)

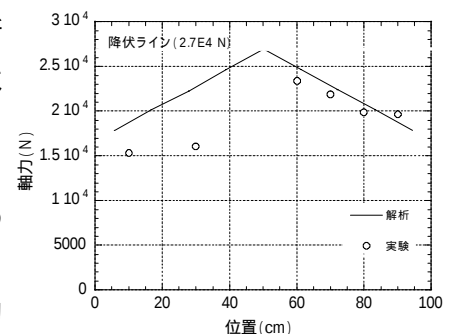


図-11 ケーブルボルト軸力分布(破断時)