

不連続面を有する岩質材料におけるロックボルトの作用効果に関する研究（その1）

神戸大学工学部 正会員 櫻井春輔 学生員 〇川嶋幾夫

1. はじめに

地下空洞の設計、施工においてロックボルトの作用効果は明らかにすべき重要な課題であるが未だ説明されていない。そこで本研究では、不連続面をもつモデル供試体を用いて全面接着ロックボルトの作用効果を明らかにする基礎的な実験を行った。

2. 実験の概要

実験は図-1に示す2次元の不連続面をもつモデル供試体（寸法 100mm×100mm×200mm）を3タイプ作製し、これを用いて行った。3タイプのモデルは不連続面の位置、方向はランダムに、数及び長さはほぼ均等になるように設定した（図-2参照）。供試体は、型枠内で不連続面となる粘土板を組立て、配合比が早強セメント：豊浦標準砂：水＝1：3：1のモルタルを打設、24時間後脱型、6日間水槽内で養生して作製した。粘土板は配合比が早強セメント：粘土（NSFカーボン）：水＝1：9：4.7の材料を厚さ2mmに延ばし、不連続面の大きさに整形、24時間養生したものを用いた。供試体打設48時間後、供試体の2ヶ所に端面に直角にφ4mmのドリルで穿孔し、φ3mmの総ネジ真ちゅう棒ロックボルトを挿入し、周囲にグラウト（配合比が早強セメント：粘土（NSFカーボン）：水＝1：1：0.5）を注入し硬化させて全面接着ロックボルトの硬化を示すモデルを作製した。

供試体は不連続面に直角な端面の変形を拘束した状態で、油圧式圧縮試験機（載荷能力100t）を用い、定ひずみ（0.1mm/min）で載荷した。計測は、鉛直荷重をロードセルで、変位は縦方向が感度0.001mm/μ、横方向が感度0.0005mm/μのそれぞれ2台の差動トランス変位計を供試体に対して対称の位置に設置して行った。

実験ケースは表-1に示すように各タイプにロックボルトを設けたもの、ロックボルトを設けないものについて設定した。

3. 実験結果及び考察

図-2に最大応力時の変形形状を示す。載荷により、供試体に設けた不連続面はそれに沿ってすべるもの、割れるもの、すべりも割れもしないものに分けられ、また不連続面を設けていないところにもひびわれが発生した。これらは各ケースとも3回の実験でほぼ同じ挙動として観察された。ロックボルトは不連続面でのすべりおよび割れの発生を抑える効果があることがわかった。また、これらの挙動は不連続面の角度に関係すると考えられる。そこで、不連続面の載荷軸となす角度について、その角度がある範囲の不連続面でのすべりおよび割れの発生数のこの角度範囲内の不連続面総数に対する割合を図-3に示した。角度小さい場合には割れ、大きい場合にはすべりの発生が卓越しており、割れとすべりを合わせた不連続面の変形頻度は角度15～45度で大きい。ロックボルトの打設で割れおよびすべりの発生数が減少し、また15～30度では割れの形態がすべりになった不連続面が観察された。図-4に応力～ひずみ関係を示す。各タイプとも載荷当初（～2000μ程度）の段階ではすべりおよび割れは観察されないで、不連続性岩盤の挙動はこの段階以降のだと考えると考えられる。

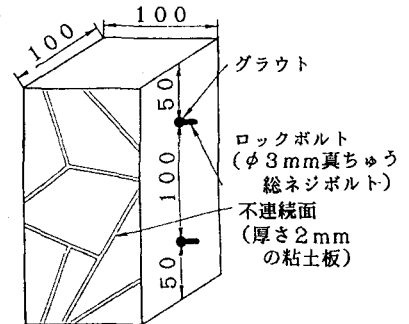


図-1 供試体概観図 (type 3)

表-1 実験ケース

type	ボルト	回数	弾性係数 (kgf/cm ²)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	破壊ひずみ (μ)
1	無	1	2411	24.78	8773
		2	2359	31.36	12273
		3	2536	28.64	13455
	有	1	2724	29.24	9205
		2	3545	34.32	12045
		3	3172	31.40	8352
		4	2748	30.96	11080
2	無	1	758	13.37	13390
		2	1254	14.23	7740
		3	1166	16.14	6384
	有	1	1274	24.03	21091
		2	2203	24.48	14136
		3	3127	26.42	12841
		3	3127	26.42	12841
3	無	1	3273	33.77	9636
		2	3295	36.32	9034
		3	3714	31.15	7841
	有	1	3220	37.16	15000
		2	3864	54.63	12455
		3	4055	51.96	13864
		3	4055	51.96	13864

Shunsuke SAKURAI and Ikuo KAWASHIMA

したがって、弾性係数はこの段階以降で算出した。各タイプともボルトの打設により変形係数、一軸圧縮強度、破壊ひずみおよび残留強度の増加が確認できる。タイプ別にみると、type 1 は割れが卓越したケースで、効果は比較的小さい。type 2 はすべりが卓越したケースで変形係数、強度、破壊ひずみともに約2~4倍になっており効果が非常に大きい。type 3 はロックボルトの打設ですべりおよび割れの発生が抑えられたケースで変形係数よりも強度の増加が著しく大きい。

これより、ロックボルトは特にすべりが発生する不連続面に対して変形係数および強度の改良効果が大きいことがわかった。

4. 結論

- ①不連続面は载荷によりすべる面と割れる面があり、前者は载荷軸との角度が小さい場合、後者は大きい場合に発生しやすいことがわかった。
- ②ロックボルトの打設により変形係数、強度ともに増加し、特にすべりが卓越するケースに有効であることがわかった。
- ③すべりおよび割れの発生頻度が大きい不連続面の角度があることがわかった。

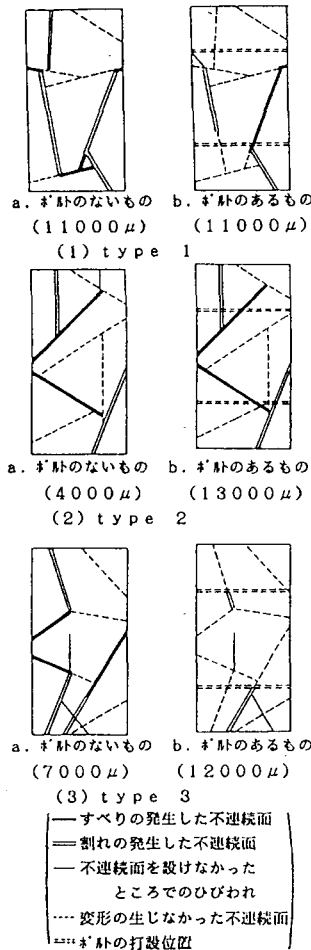


図-2 変形形状 (最大応力時)

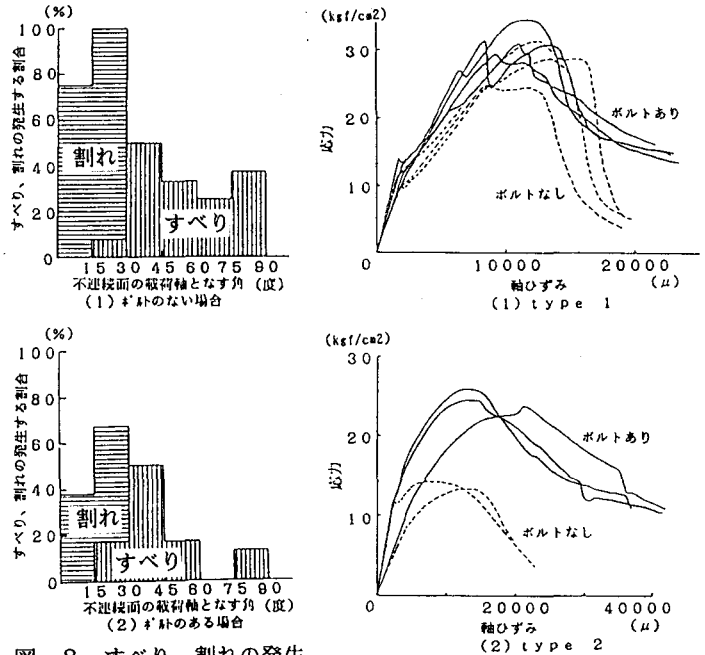


図-3 すべり、割れの発生割合の不連続面の角度との関係

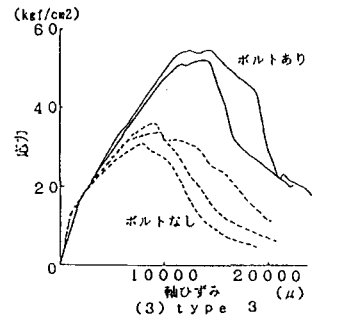


図-4 応力~ひずみ関係