

III-107

土砂地山におけるロックボルトの
引き抜きに関する模型実験

東京都立大学 正 西村 和夫

東京都立大学 正 土門 剛

東京都立大学 正 今田 徹

1. はじめに

本実験は3年度から始めたロックボルトの引き抜きに関する模型実験に引き続き行ったものである。研究の最終目的は、現在有効に利用されているとは言い難いロックボルトの引き抜き試験について、模型実験を介して引抜耐力のほか、一般に言われている定着確認、緩みなどの地山状況の把握やロックボルト長さの適否の判断など、また、引き抜き試験の場合とはロックボルトに対する荷重条件が異なるが、システムボルトとして打設されたロックボルトの挙動と関連付けることの可能性を考察することにある。研究は小型模型実験によって行っているが、小型模型実験では実験条件を種々変えて数多くの実験を系統立てて行うことができる利点があるが、規模が小さくなるため多くの困難を伴う。本実験では、昨年に引き続いてこれらの検討を含め、地山条件を変えた引抜実験を行い、軸力分布や引抜荷重-変位と、地山条件や拘束圧との関係などの検討を行った。

2. 模型実験

1) 実験条件 設定条件として今回は土砂地山を想定していることから、ロックボルトは地山に対してかなり剛性が大きい。実験では前回と同様にボルトモデルに樹脂の薄肉パイプ（ $\phi=6\text{mm}$ ）の表面を無処理としたパイプと標準砂を樹脂系接着剤で付着させたパイプを用いた。地山材料には、 ϕ 地山として標準砂とまたガラスビーズを、 $c-\phi$ 地山として硫酸バリウムを主体とした人工地盤を用いた。地盤物性を表-1に示す。

2) 実験概要と結果 図-1に示す実験槽の中心にボルトモデルを吊し、地盤材料を詰める。蓋をした後、空気圧により拘束圧 σ_c を載荷するが、2方向載荷ではボルトモデル周辺に地盤材料の圧縮にともなうフープストレスが発生するため、図のように1方向載荷とした。なお、載荷軸方向からの回転角によってロックボルトモデルに作用する σ_c は異なるが、近似的に方向余弦で換算した。 σ_c 載荷後、ボルトモデルをリニアドモータで定変位載荷で引き上げる。このときの引抜荷重、引抜変位、軸力分布を測定する。実験条件を表-2に示す。○は3年度に、●は4年度に各ケースとも数回ずつ行った。

a) 引抜耐力について 図-2にロックボルトの引抜耐力と長さ L の関係を示す。地盤材料ごとに拘束圧が $\sigma_c=0.5\sim 2.0$

kgf/cm^2 の4ケースをまとめた描いた。各地盤材料とも長さに対してはほぼ線形であるが勾配は異なっている。図-3は拘束圧が 0.5 kgf/cm^2 のときの引抜耐力で無次元化した引抜耐力と、同じく 0.5 kgf/cm^2 で無次元化した拘束圧の関係を示している。標準砂と人工地盤

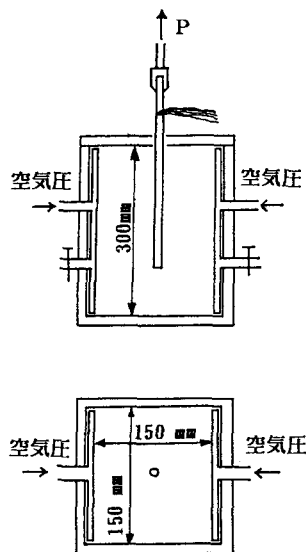


図-1 実験装置

表-1 模型地盤物性

地盤材料	γ (gf/cm^3)	ϕ ($^\circ$)	c (kgf/cm^2)	E_{50} (kgf/cm^2)	締め固め圧 (kgf/cm^2)
標準砂	1.96	40~44	0	—	
ガラスビーズ	1.48	21	0	443	
人工地盤	1.44 1.58 1.61	20~25	≈ 0.43	38 119 117	0.5 1.0 1.5

の条件では引抜耐力は拘束圧に比例しているが、ガラスビーズは引抜耐力に差が生じなかった。

引抜耐力の実験値は、ボルトモデル周面と地山との粗さ角 δ （3種の地盤材料とも近似値として 20° ）を用いて計算した引抜耐力よりガラスビーズの場合を除いて2割から5割大きかった。

b) 引抜荷重と引抜変位について 図-4に引抜荷重と変位の関係の例（ $L=23\text{cm}$ 、 $\sigma_c=1.5\text{ kgf/cm}^2$ ）を示す。各地盤条件ともピークの後に一定荷重を維持し続けた。グラフの立ち上がりが地盤条件に関係なくほぼ同じなのは、ボルトモデルとの δ がほぼ同一であるためと考えられる。また、同図に、

$$\tau = \frac{s}{a s_f} \exp\left(1 - \frac{s}{a s_f}\right) (c + \sigma \tan \delta)$$

を用いて、方向余弦で完算した拘束圧 σ によって上式の τ がボルト全周に作用しているとして計算したグラフを図中の破線と一点鎖線で示した。ここで、 s_f は一面せん断試験でのピーク時変位、 s はせん断変位で、 a はボルト長さを L として $L/1$ の無次元量である。標準砂の場合については、簡便な式であるにもかかわらずピーク強度までを良く表現しているが、人工地盤についてはピーク強度の値がかなり低い。これは、a)の引抜耐力の計算値が全体的に低いためである。しかし、地山物性値を変更した（ $\delta=30^\circ$ 、 $s_f=0.42$ ）結果は実験値を良く表わすことができる。

結論として、まだ問題点が残されているが、土砂地山でのボルトの挙動は地山のせん断に支配され、物性値から簡便な式を用いて引抜挙動を把握することが可能であるといえる。

西村・土門・今田：
ロックボルトの
引き抜きに關する
基礎的模型実験、土木学会第
47回年講、第三
部門、pp.672-
673、1992.

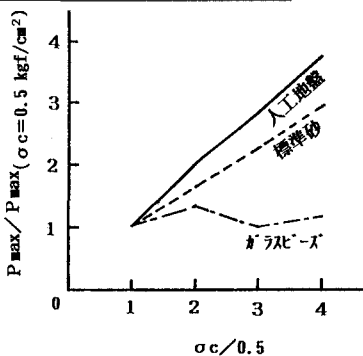


図-3 拘束圧 0.5 kgf/cm^2 を基準とした引抜耐力比と拘束圧比

表-2 実験条件

ボルト表面	地山材料	ボルト長さ (cm)				拘束圧 (kgf/cm ²)
		28	23	18	13	
無処理	ガラスビーズ	○	○	○	○	0.5
		○	○	○	○	1.0
		●	●	●	●	1.5
		●	●	●	●	2.0
	標準砂	○	○	○	○	0.5
		○	○	○	○	1.0
		○	○	○	○	1.5
		○	○	○	○	2.0
	人工地盤	○	○	○	○	0.5
		○	○	○	○	1.0
		○	○	○	○	1.5
		○	○	○	○	2.0
標準砂 接着	標準砂	○				0.25
		○	○	○	○	0.5
	人工地盤	○				1.5

○：3年度、●：4年度実施

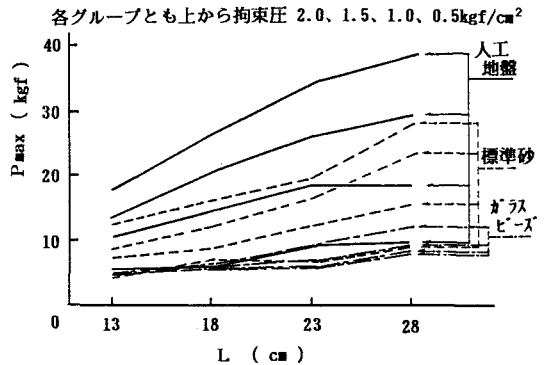


図-2 引抜耐力-ボルト長さ図

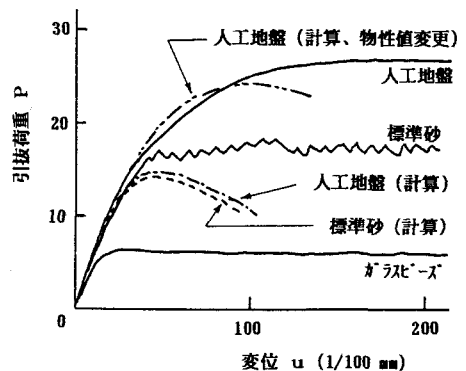


図-4 引抜荷重-変位図