

III-119

大型三軸セルを用いたボルトの引き抜き試験

フジタ工業（株） 技術研究所 正会員 望月 美登志 福島 伸二 香川 和夫

1. まえがき

これまでの研究により未固結な砂質地山にNATM工法を適用する際に採用されるボルト系の補助工法の補強効果がボルトと地山との間に発生する摩擦によるものであることがわかった。この摩擦によるボルトの地山補強メカニズムを調べるため、二次元土槽におけるボルトの引き抜き試験¹⁾を行なってきたが、同試験においてはボルトの引き抜き中にボルト表面の垂直応力が変化する可能性がある。そこでここでは拘束圧を一定に保つことのできる大型三軸試験機を用いてボルトの引き抜き試験を行なった結果を報告する。

2. 試験方法

本研究に用いた試験装置は図-1に示すような大型三軸試験機（供試体直径30cm、高さ60cm）である。ボルトは直径3cm、長さ65cmの亚克力棒を基準に、その表面に摩擦を発揮させるため2種類の紙やすり（AA-40、CC-1500）をアルダイトで付着させたものと何も付けない場合の3種類のケースを用意した（紙やすりの付着長は46cm）。拘束圧は0.2、0.5、1.0kgf/cm²の3種類について行なっている。供試体はあらかじめボルトをセットした状態から、乾燥状態の豊浦標準砂（Gs=2.64）を塩化ビニールパイプで作った大型ロートより一定高さで自由落下（空中落下法）させて作製した。ボルトの引き抜きについては変位制御で約1.0mm/minで行なっている。本試験においては、ボルトの摩擦および直径

（D=3.0cm、d=1.0cm）、供試体密度の影響を調べている。なお、ボルトの引き抜きにより、底部に空洞が生じ、砂の流動が発生するため、図に示すようなプロテクターを設置している。

3. 試験結果

図-2～図-4にボルト表面がAA-40、CC-1500、亚克力の場合の引き抜き荷重と引き抜き量の関係を示す（拘束圧 $\sigma_c = 0.2, 0.5, 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ ）。

同図より明らかにボルト表面の摩擦特性の相違により、引き抜き荷重と引き抜き量の曲線が異なることが分かる。一番摩擦の大きいAA-40の紙やすりをつけたものは引き抜き荷重にピークが認められない。

試験終了（ $\delta = 30 \text{ cm}$ ）後の供試体の変形を見るとボルトと砂の間のすべりより、ボルト周辺の砂のせん断変形が卓越していることがわかる。

CC-1500の紙やすりをつけたものは、引き抜き荷重に明確なピークが認められる。表面が亚克力の場合には引き抜き直後にピークが現われ、

すぐに荷重が低下することが分かる。以上の傾向を一層明確にしたものがボルトの引き抜き量 δ と相対引き抜き量 δ^* （実際に供試体から引き抜かれた量）の関係を示した図-5である。同試験において供試体は負圧（ -0.5 kgf/cm^2 ）でひいて自立させ、ボルトを引き抜いている。そのときボルトの引き抜き量 δ と同時

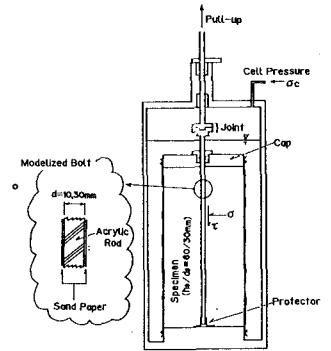


図-1
大型三軸試験機

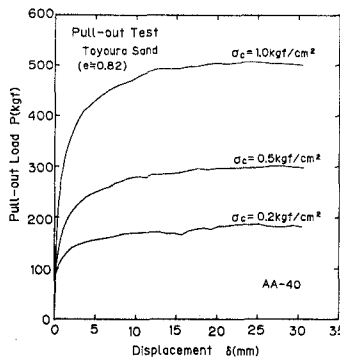


図-2 (AA-40)

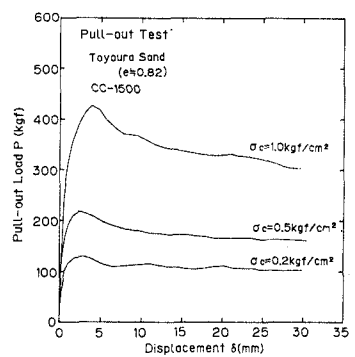


図-3 (CC-1500)

引き抜き荷重と引き抜き量の関係 引き抜き荷重と引き抜き量の関係

にキャップの変形 δ_1 も計測し、実際に供試体から引き抜けている量 δ^* ($\delta^* = \delta - \delta_1$) を求めている。同図より表面がアクリルの場合は完全にボルトがすべっていることがわかる。摩擦係数の一番大きいAA-40ではほとんどボルトの相対変位が生じず、供試体自体が引き上げられている。

摩擦の大きさがアクリルとAA-40の間にあるCC-1500においては、引き抜き量 $\delta = 1\text{mm}$ 程度まではAA-40と同様の傾向を示すが、ピーク荷重をむかえた後、ボルトがすべりだし、アクリルと全く同じ傾向をたどることがわかる。図-6にボルト径を $D=3.0\text{cm}$, $D=1.0\text{cm}$ と変えた場合の引き抜き荷重と引き抜き量の関係を示してある ($\sigma_c = 0.5\text{kgf/cm}^2$, AA-40)。 $D=3.0\text{cm}$ の場合には引き抜き荷重にピークが認められないが、 $D=1.0\text{cm}$ の場合には引き抜き量 $\delta = 3\text{mm}$ 付近で引き抜き荷重がピークに達している。同図においては試験中の供試体の体積変化を同時に示してあるが、 $D=1.0\text{cm}$ の場合、引き抜き荷重ピーク後においてはほとんど体積変化が生じておらず、 $D=3.0\text{cm}$ の場合のように広範囲にせん断変形が生じているとは考えにくい。

以上の結果よりボルト径の大きさによっても変形の影響範囲が異なるものと考えられる。図-7は異なる密度の供試体における引き抜き荷重と引き抜き量および体積変化の関係を示す ($\sigma_c = 0.5\text{kgf/cm}^2$, AA-40)。

密度の違いによる引き抜き荷重の差はそれほど大きくないが、体積変化の傾向の違いははっきりしており、密なものほど大きな体積の膨張を生じ、砂自体をせん断変形させた場合と同様の傾向となっている。

4. あとがき

本研究によって拘束圧一定の大型三軸セルを用いたボルトの引き抜き試験においては、ボルト表面の摩擦係数やボルト径の大きさによってその破壊パターンが異なることがわかった。今後は、ボルト表面の垂直応力およびせん断応力が測定できる二次元土槽のボルトの引き抜き試験や上端部をボルト表面にみためたねじりせん断試験等を行なうことによって摩擦によるボルトの補強メカニズムを調べていくつもりである。

参考文献

- 1) 望月, 福島, 香川: 都市NATMにおけるボルトの地山補強効果, 第24回土質工学研究発表会, 1989.

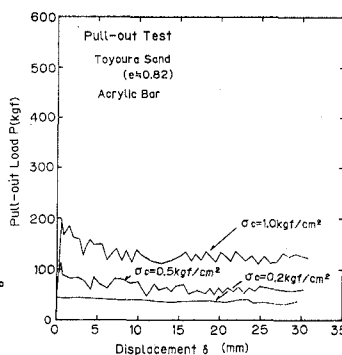


図-4

引き抜き荷重と引き抜き量の関係
(アクリル)

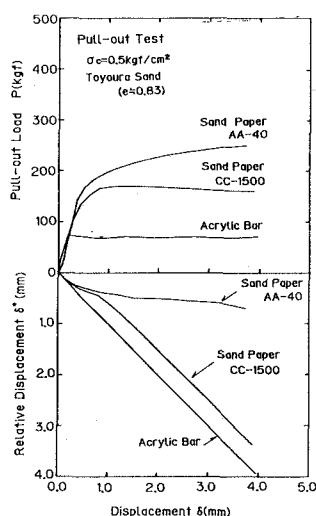


図-5

摩擦の影響

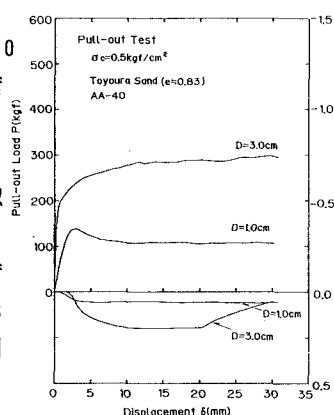


図-6

ボルト径の影響

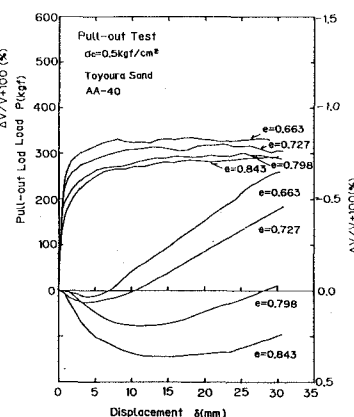


図-7

密度の影響