

III-106

未固結土砂地山におけるロックボルト引抜試験

（株）鴻池組 正 岩田文吾 正 嶋村貞夫 篠田淳二
大阪府富田林土木事務所 岡本和久

はじめに

一般国道（新）170号道路改良工事は関西新国際空港へのアクセス道路を構築する工事で、このうち河内長野市に位置する天野山トンネルでは、大阪層群最下部の砂礫層を主とする未固結土砂地山で掘削断面積 145m^2 の偏平大断面を4分割中壁式NATMで施工する。このような土砂地山にロックボルトを施工する場合、削孔内の孔荒れが原因となる定着材の充填不足や定着材と地山とのせん断強度不足等により、ロックボルトの耐力が十分には期待できない場合が生じる。そこで、トンネルの施工に先立ち本地山で各種ロックボルトの引抜試験を実施し、引抜耐力、施工性および定着材充填状況を確認したので、その結果を報告する。

1. 地質概要

試験はトンネル掘削対象地山に類似した地質の明り工事切土部で実施した。地質は大阪層群最下部の粘土混じり砂礫で部分的に最大径 20cm 程度の礫を含む。N値は $40\sim 50$ 以上であり、別の位置での同層に対する孔内載荷試験による変形係数は $650\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、締固め法で作成した試料での三軸試験では $C=0.13\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $\phi=20^\circ$ であった。

2. 試験概要

試験に供したロックボルトは①ツイストボルト（モルタル充填）②自穿孔ボルト（モルタル圧入）③ウレタン圧入式自穿孔ボルト（ウレタン圧入）④スウェレックスボルトの4種類で、各ケースとも 4m のボルトを3本施工した。穿孔には1ブーム油圧クローラドリルで 45mm のビットを使用し、ほぼ水平に水グリーした。引抜試験は定着材充填後材令1日で実施した。引抜荷重は 30tf ロードセルで、ボルト頭部の変位量は三脚に固定した電気式変位計で測定した。また、ツイストボルトのNo.3にはひずみゲージ式軸力計を採用し軸力分布を測定した。なお、ロックボルトへの載荷方法は図-1に示すように、引拔反力を地山の引拔抵抗力が作用する影響範囲外にとり、ボルトと定着材を一体に引き抜く方法で行った。

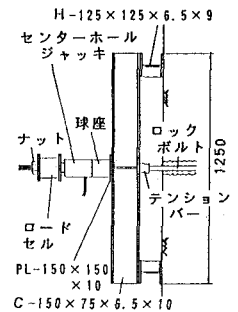


図-1 載荷装置

3. 試験結果

(1)ロックボルトの施工状況と引拔耐力

表-1,2に各ボルトの引拔耐力と掘り出し状況を、図-2に引拔荷重とボルト頭部の変位量の関係を示した。

ツイストボルトは 45mm のビットで穿孔後、パイプで孔奥からモルタルを充填しボルトを挿入した。孔荒れのためモルタル径は $50\sim 120\text{mm}$ となった。引拔耐力は、No.1とNo.3は 20tf 以上を確保できたが、ボルト先端約 1m がモルタル未充填となったNo.2が 14tf となった。

自穿孔ボルトは直接削岩機に取り付けて打設するため孔荒れが多い当該地山でも短時間で施工でき、モルタルの圧入を $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度で行ったため充填が確実に行った。掘り出し結果では、ビット径 52mm に対して $80\sim 120\text{mm}$ で滑らかなモルタル柱が形成されており、引拔耐力も全て 20tf 以上確保できた。

ウレタン圧入式自穿孔ボルトはビット径 45mm で穿孔し、注入圧 $25\sim 30\text{kgf}/\text{cm}^2$ で1本あたり $156\sim 302\text{kg}$ のウレタンを圧入した。ウレタン固結体は、いずれのボルトも口元から $1\sim 1.5\text{m}$ の区間は $100\sim 150\text{mm}$ 径の円柱状で、その奥のボルト先端までは砂礫を含んだ $400\sim 800\text{mm}$ 径の塊状であった。施工箇所の土被りが 1.3m と小さかったため、地表にクラックが発生し一部が地上に噴き出した。引拔耐力はNo.1とNo.2が 20tf 以上を確保し、No.3は 18.3tf であった。No.3は載荷装置の不備が原因で結果的に6回の繰り返し載荷したため、小さな値を示したと思われる。

スウェレックスは45mmのビットで穿孔後、径37mmに畳んだボルトを挿入し水圧で径54mmに加圧膨張させた。孔荒れのため穿孔径が50mm以上となったため孔壁への定着が不十分となり、引抜耐力は5.5~10.9tfであった。

(2) ロックボルトの軸力分布

ツイストボルト(No.3)の各载荷段階における軸力分布を図-3に示す。口元から1m区間のボルトと地山間のせん断抵抗は引拔荷重が増加しても約1tf/mと一定値を示し、初期の载荷段階から地山とモルタルとの間にすべりが発生している。これは、穿孔時の地山の緩みや自由面に近いため孔奥に比較して拘束が小さいためと考えられる。また、ボルト素材の降伏耐力18tfを超えて20tfを载荷した段階では口元から1m~4m区間のせん断抵抗力は約6tf/mあり、モルタル柱自体が抜け出すことはなかったが、ボルト自体が塑性化し伸びだし、口元の地山が径80cm深さ20cmの円錐状で崩落した。

4. まとめ

大阪層群粘土混じり砂礫層で長さ4mのロックボルトの引抜試験を実施した結果、当該地山でのボルト孔の削孔に際し孔荒れがあり、モルタルを充填後ボルトを挿入するツイストボルトの場合には定着材の充填不良が生じ、またスウェレックスボルトでは孔壁への定着が不十分となっが、モルタル圧入式自穿孔ボルトはボアホール内のモルタル充填性に優れ、全て20tf以上の引抜耐力を示した。また、ウレタン圧入式自穿孔ボルトではボアホール内を完全に充填するとともに地山に浸透してφ60～80cm程度の改良体が形成されることが確認された。

表-1 引き抜き耐力と掘り出し状況

ボルトの種類	ボルト品名	定着材品名	No.	引抜耐力	掘り出し状況
ツイストボルト	SNワイド本 [®] 外径 TD24 耐力18.3tf	SNT [®] ライモ [®] 40	1	21.3tf	60~120mm の径
			2	14.0	70~120mm 45~90mm の径 1.5m 1.5m 保水層
			3	20.0	50~120mm と直径2=12=
モルタル圧入式 自穿孔ボルト	1807ソ [®] - 外径31mm 耐力20.3tf	1807 [®] ライモ [®] 40	1	21.7	60~70mm 80~100mm の径 1m 2=18~47=2=
			2	21.1	100~80mm 20~100mm の径 1.5m 2=18~47=2=
			3	20.0	60~110mm 2=18~47=2=
ウレタン圧入式 自穿孔ボルト	NT0 [®] ク [®] 本 [®] 外径31mm 耐力19tf 以上	9 [®] ソ [®] N [®] SARC	1	23.5	150mm 750 100
			2	20.9	150mm 100 500 200 4.2m 750 100
			3	18.3	150mm 500 800 700 4.8m 750 100
スウェルックス ボルト	ス [®] ン [®] -スウェルックス 外径 膨張前27mm 膨張後54mm 耐力18.4tf	—	1	5.5	
			2	10.1	
			3	10.9	

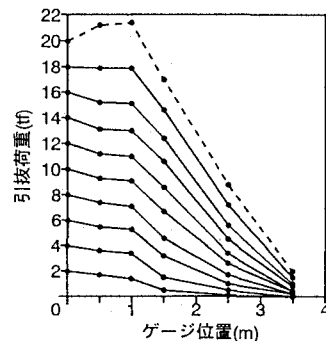


图-3 軸力分布图

表-2 ボルト掘り出し状況

ボルトの種類(No.)	掘り出し状況
ツイストボルト (No. 2)	
モルタル圧入式 自穿孔ボルト(No. 1)	
ウレタン圧入式 自穿孔ボルト(No. 1)	
スウェレックス (No. 1)	

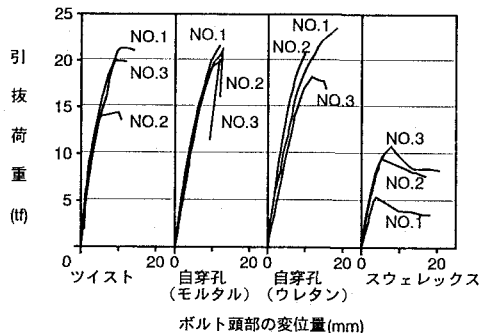


図-2 引抜荷重とボルト頭部の変位量