Ⅲ-B32　垂直縫地ボルトの効果に関する基礎的実験

建設省土木研究所　正会員　鈴木正彦
同　正会員　真下英人
(株)オリエンタルコンサルタンツ　正会員　高根 努
元土木研究所交流研究員

1．はじめに

坑口部や土被りが小さいﾄﾝﾈﾙを掘削する場合には、地表面の沈下や切羽の不安定化への対策工の一つとして垂直縫地工法が用いられることがある。垂直縫地工法の考え方として、滑り面に対して鉄筋をせん断抵抗として評価する方法が一般的であるが、軸力部材としての効果を考えることにより、地表面の沈下防止効果を期待することもある。このように垂直縫地工法は未だ未解明な点も多く残されている。本報告では、垂直縫地ﾎﾞﾙﾄの効果の検討を行うため、砂質地山で土被りが薄い地山を想定した遠心力載荷実験を実施したので報告する。

2．実験概要

実験には、図-1に示すような内寸が140×500×400(mm)で前面が透明なｱｸﾘﾙ板の砂箱を使用した。砂箱にはｱｸﾘﾙ製の半円筒の支保模型とﾄﾝﾈﾙの掘削を模擬するｱｸﾘﾙ製の半円柱の押さえ板からなる径D=80mmのﾄﾝﾈﾙ模型が設置してある。実験は、模型地盤内に垂直縫地ﾎﾞﾙﾄとﾄﾝﾈﾙ模型を設置した砂箱を遠心載荷し、所定の遠心加速度に達した段階でﾄﾝﾈﾙ模型を引き抜いて応力解放を行い、地山の安定状態を確認した。模型地盤は、豊浦標準砂(物性値を表-1に示す。)を所定の単位体積重量となるように2cm毎に締め固めを行い作成し、土被り比H/D (H:ﾄﾝﾈﾙ土被り、D:ﾄﾝﾈﾙ径)は1とした。

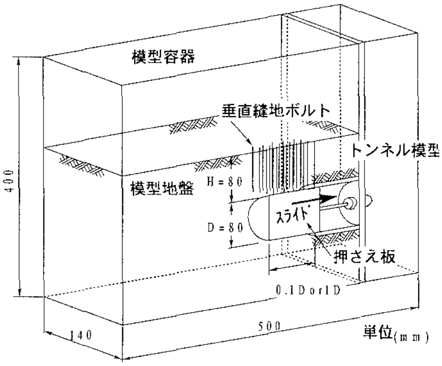
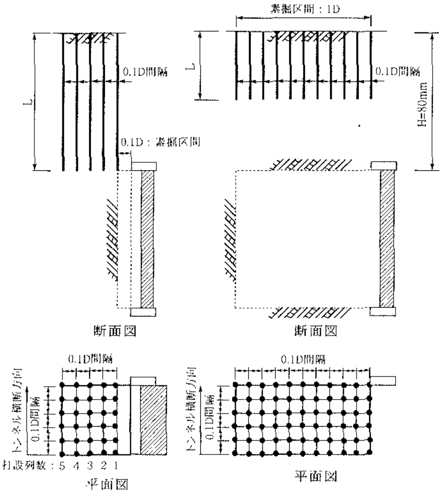


図-1 実験装置装置

実験は、図-2に示すように切羽安定に対する効果を確認する実験と天端安定に対する効果を確認する2種類のものを行った。切羽安定の実験は、0.1D(8mm)の素掘区間を設けたときの切羽安定を調べるもので実験時の遠心加速度を25gとした。また、天端安定の実験は、1D(80mm)の素掘区間を設けたときの天端安定を調べるもので実験時の遠心加速度を20gとした。縫地ﾎﾞﾙﾄには、直径1.0mmのﾘﾝ青銅棒(物性値を表-1に示す。)を使用した。切羽安定の実験では、縫地ﾎﾞﾙﾄの打設範囲をﾄﾝﾈﾙ横断方向に0.1D間隔で固定し、打設長Lを地表面から160mm(切羽底部)と80mm(天端)に変化させ、縦断方向の打設列数を切羽直近の1列と切羽直近から5列とした。また、打設列数を切羽直近の1列に、打設長を地表面から80mm(天端)に固定し、ﾄﾝﾈﾙ横断方向の間隔を変化させた実験を行った。天端安定の実験では、打設範囲をﾄﾝﾈﾙ横断方向に0.1D間隔、打設列数を11列に固定し、ﾎﾞﾙﾄの長さを80mm、40mm、20mmと変化させた。



(a)切羽安定の実験　(b)天端安定の実験
図-2 ボルト配置図

キーワード：垂直縫地ボルト、切羽安定、天端安定、遠心力載荷実験
連　絡　先：茨城県つくば市旭1番地　TEL 0298-64-4689 FAX 0298-64-0178

3．実験結果および考察

3．1　切羽安定の効果に関する実験

実験材料の物性値（実験後試料）

地山材料（標準砂）	単位体積重量 γ_t (kN/m³)	15.1
	含水比 w（%）	6.5
	粘着力 c（kPa）	4.6
	内部摩擦角 φ（deg）	34.5
鏡ボルト（リン青銅）	弾性係数 E（kN/mm²）	117.6
	断面積 A（mm²）	0.785

c, φは一面せん断試験（垂直応力2.9～14.7kN/m³）より求めた。

図-3は、トンネル横断方向の縫地ボルトの打設範囲を0.1D間隔で固定し、打設長および打設列数を変化させたときの実験土槽壁面（アクリル板側）における切羽の安定状況を示したものである。

無対策時は、切羽面から前方0.3D程度、天端から上方0.1D程度の深さをもつドーム状の崩落が見られる。ボルトを天端まで打設した場合（L=80mm）では天端でのドーム状の崩壊が若干小さくなるものの、無対策時と同様の崩壊形状を示している。また、打設列数を5列に増加して無対策時の崩壊範囲をカバーするようにボルトを打設したが崩壊範囲は縮小しない結果となった。一方、ボルトを切羽底部まで打設した場合（L=160mm）には切羽が自立する結果が得られた。このことから切羽の安定には切羽前方に短いボルトを多く打設するよりは、切羽底部までの長さを有するボルトを打設した方が効果があるものと考えられる。

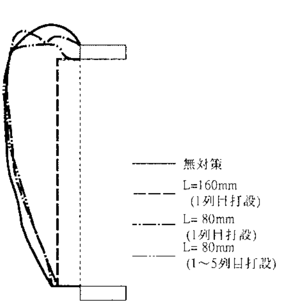


図-3 切羽崩壊図
（打設長の影響）

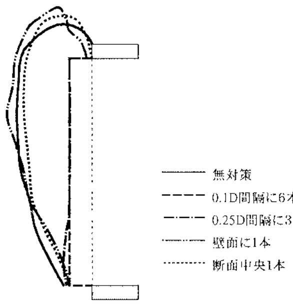
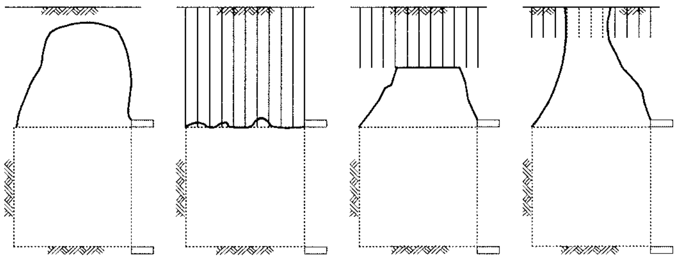


図-4 切羽崩壊図
（打設間隔の影響）

図-4は、切羽直近1列目に縫地ボルトを地表面から切羽底部（L=160mm）まで打設し、トンネル横断方向の打設間隔を変化させたときの切羽の安定状況を示したものである。壁面に1本あるいは中央のみ1本打設した場合は、無対策時と同様な崩壊形状をしているが、縫地ボルトを3本打設した場合の切羽の崩壊形状は6本打設した場合と同様に切羽が自立する結果が得られた。したがって、切羽の崩壊を効果的に抑制するには最適な打設間隔があると言える。

3．2　天端安定効果に関する実験

図-5は、ボルトの長さを80mm、40mm、20mmと変化させたときの天端の安定状況を示したものである。無対策時は、天端部に地山がわずかに残っているもののほぼ崩壊している結果が得られた。これに対して、天端（L=80mm）まで縫地ボルトを打設した場合は初期地山の形状を保っており、地表面から40mmの深さまで打設した場合は縫地ボルトを打設している深度までは崩落は見られない。一方、地表面から20mmの深さまで打設した場合は地表面まで抜け落ちている。これらのことからボルトにはボルト長の範囲までの地山を一体化させて釣り下げる効果が有り、天端を安定させるためには、天端まで打設することが必要であると言える。



無対策　　L=80mm　　L=40mm　　L=20mm

図-5　天端崩壊図（打設長の影響）

4．まとめ

垂直縫地ボルトによる切羽の安定効果は、地表から切羽底部まで縫地ボルトを打設した場合が最も効果的であること、効果を効率よく発揮させるには最適な打設間隔があることが確認できた。また、天端の安定に対しては、地山を一体化して釣り下げる効果が有り、天端を安定させるためには、天端の深さまで打設することが必要であることが確認できた。今後は地山材料、ボルトの密度、配置などの影響を調査していく予定である。