第Ⅲ部門　　トンネル切羽周辺地山の変形挙動に関するモデル実験

神戸大学　学○小川　清貴　学　川嶋　幾夫　正　桜井　春輔

① はじめに　NATM工法によって未固結な土砂地山の土被りが浅いところに大断面のﾄﾝﾈﾙを施工する例が、最近増加してきている。このようなﾄﾝﾈﾙを掘削する場合には、切羽の安定性が重要な課題になっている。これまでに、未固結な土砂地山の土被りが浅いところにﾄﾝﾈﾙを掘削する場合に発生する地山挙動の解明を目的として、ﾓﾃﾞﾙ実験が数多く行われているが、ﾄﾝﾈﾙ縦断面を対象にしたものは非常に少ない。前報[1]では、ﾍﾞﾝﾁの長さの影響について報告してきた。ここでは、切羽の安定性と、切羽から覆工までの距離の関係、および切羽傾斜あるいは切羽の補強などの補助工法の効果について検討する。

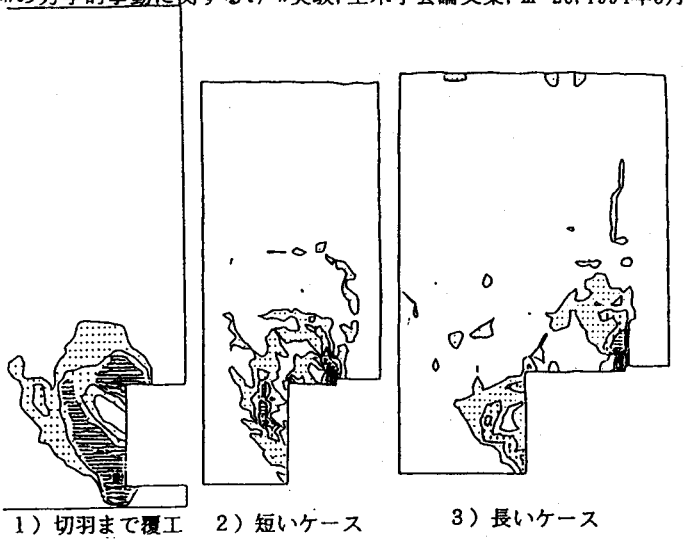
② 実験の概要　この実験において、地山材料は、村山ら[2]の開発したｱﾙﾐ棒の積層体を用い、この積層体の内にﾄﾝﾈﾙの縦断面ﾓﾃﾞﾙ(ﾄﾝﾈﾙの直径は10cm)を設けた。このﾄﾝﾈﾙの縦断面ﾓﾃﾞﾙは、ﾄﾝﾈﾙの掘削部分にｴｱｰﾊﾞｯｸを設けたものである。前報において行った実験では、ﾄﾝﾈﾙの天端および底盤は変形しないものとしたが、ここでは覆工をしていないところにおいては、変形することが考えられるので変形を拘束しないﾓﾃﾞﾙとして、ﾍﾞﾝﾁの長さと切羽の安定性の関係について調べた。実験はｴｱｰﾊﾞｯｸの周囲に型枠を設けた状態で、積層体を積み立てて、ｴｱｰﾊﾞｯｸの圧力を土被り圧に等しくして型枠を外し、積層体に標点を記した後、ｴｱｰﾊﾞｯｸの圧力を低下させて掘削をｼﾐｭﾚｰﾄした[3]。このとき、変形の各段階で写真撮影をし、それを用いて標点の変位を求めた。ここでは切羽と覆工の距離が短い(ﾄﾝﾈﾙ直径の1/2)、長い(ﾄﾝﾈﾙ直径と等しい)ｹｰｽおよび切羽まで覆工のあるｹｰｽについて実験を行い検討した。また、切羽が前方に凸の形状をもつﾓﾃﾞﾙについても考察した。さらに補助工法である切羽傾斜および鏡の補強の効果についても検討した。

③ 実験結果と考察　ﾓﾃﾞﾙ地山に描いた標点の変位をもとにして、標点が節点となるような要素を設定して内部の変位を補間し、最大せん断ひずみの分布を求めた。図-1に土被りが深い場合の切羽まで覆工があるｹｰｽ、切羽から覆工までの距離が長短の両ｹｰｽについて、掘削によりﾄﾝﾈﾙ周辺地山に発生した最大せん断ひずみの分布を示す。切羽まで覆工のあるｹｰｽでは、切羽の天端および下部からそれぞれ切羽の前方上方に向かう最大せん断ひずみが集中した領域の発生がみられる。このとき、切羽から覆工までの距離が短いｹｰｽにおいては、切羽の半ばから最大せん断ひずみの集中している領域が発達していることがわかる。このとき、覆工の先端を基準にしてみると、これらのｹｰｽにおいてはほぼ同じところに最大せん断ひずみの分布が集中している領域が現れていることがわかる。一方、切羽から覆工までの距離が長いｹｰｽにおいては、切羽から覆工までの距離が短いｹｰｽと異なり、ﾄﾝﾈﾙ切羽の上方の広い範囲にわたる変形が発生している。図-2に、切羽が前方に凸の形状を持つｹｰｽについて示す。覆工の先端を基準にしてみると、このときも切羽まで覆工のあるｹｰｽと同様の変形挙動が発生していることがわかる。これらより土被りが深い場合には、切羽から覆工を少しだけ離したり、切羽に前方に凸の形状をもたすことにより、切羽まで覆工を施工するｹｰｽに比べて、変形領域を小さくすることができるものと考えられる。つぎに、土被りの浅いｹｰｽについて、切羽から覆工までの距離の異なる各ｹｰｽを図-3に示す。切羽まで覆工のあるｹｰｽおよび切羽から覆工までの距離が短いｹｰｽでは、覆工の断面を基準にしてみると、変形領域がほぼ等しいことがわかる。一方、切羽から覆工までの距離が長いｹｰｽにおいては、変形領域の広がりがそれらより大きくなっており、覆工のしていない天端が崩落する挙動が発達しているが、切羽下部からの最大せん断ひずみの集中した領域の発達は抑えられていることがわかる。この土被りの浅い場合において切羽傾斜あるいは切羽の上部および下部に補強したｹｰｽについて図-4に示す。切羽を傾斜させることにより変形が切羽のごく近傍にとどめられていることがわかる。また、切羽の上部を補強した場合には、切羽の下部からの集中した領域の発達を抑え、変形を分散させる効果があり、下部を補強した場合には切羽の下部における変形の発生を抑え、あたかも切羽を小さくする効果があることがわかった。

Kiyotaka Ogawa, Ikuo Kawashima and Shunsuke Sakurai

④ まとめ　ここでは、切羽から覆工までの距離の影響を中心にして、切羽の形状とその安定性との関係について示した。その結果、覆工から切羽をやや離すことにより、変形領域を小さくする効果があることがわかった。一方、土被りの浅いｹｰｽにおいて覆工から切羽を離す量が大きい場合は、天端の崩落する挙動が現れるが、切羽下部から発達する変形が抑えられることがわかった。また、補助工法については、変形挙動に及ぼすﾒｶﾆｽﾞﾑを明らかにした。

参考文献　1)小竹剛，川端康祝，川嶋幾夫，桜井春輔：ﾄﾝﾈﾙの切羽の縦断面形状とその安定性について，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，Ⅲ-36，1993年　2)村山朔郎，松岡元：粒状土地盤の局部沈下現象について，土木学会論文報告集，第172号，PP.31～41，1969年　3)桜井春輔，川嶋幾夫，川端康祝，Ⅲ海章雄：土被りの浅いﾄﾝﾈﾙの力学的挙動に関するﾓﾃﾞﾙ実験，土木学会論文集，Ⅲ-26，1994年3月(掲載予定)



1）切羽まで覆工があるケース　2）短いケース　3）長いケース

図-1　切羽から覆工までの距離の影響（土被りが深い場合）

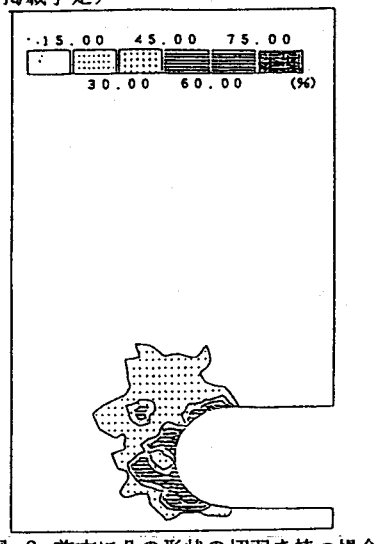
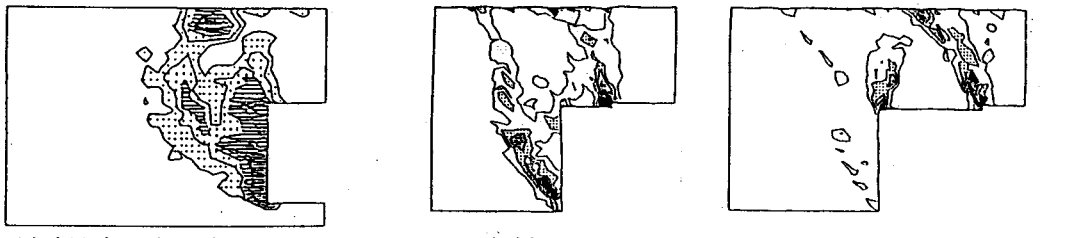
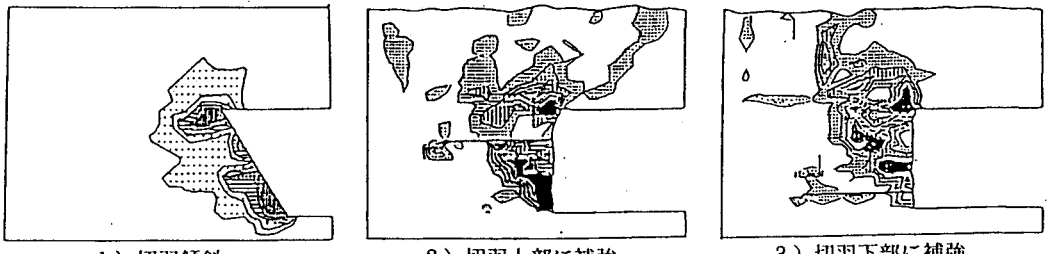


図-2　前方に凸の形状の切羽を持つ場合（土被りが深い（４Ｄ）の場合）



1）切羽まで覆工があるケース　2）短いケース　3）長いケース

図-3　切羽から覆工までの距離の影響（土被りが浅い（１Ｄ）の場合）



1）切羽傾斜　2）切羽上部に補強　3）切羽下部に補強

図-4　補助工法の効果（土被りが浅いケース）