

偏圧地形部のトンネル掘削における垂直縫地ボルトの作用効果に関する解析的検討

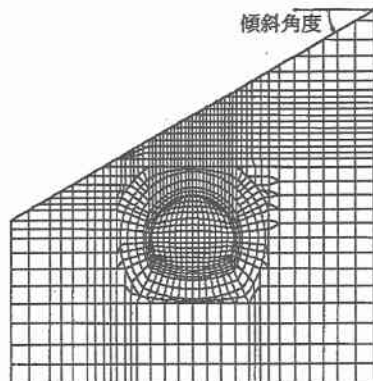
山口大学 ○（学）古谷綾子 （正）寺戸秀和 （正）中川浩二

1. はじめに

垂直縫地ボルト工法とは、比較的土被りが浅く、地質的に恵まれないトンネルを掘削するのに先立ち、坑外からの施工により地山の強度を高める補助工法である。施工方法は、トンネル上部の地表面から削孔径 $\phi 100 \sim 120 \text{mm}$ 程度のボーリングを行い、ボーリング孔の中に必要に応じた太さの鉄筋（一般に $D25 \sim 32 \text{mm}$ ）を建て込み、モルタルあるいはセメントミルクを充填して地中に棒状の鉄筋コンクリート部材をつくる。本研究では、偏圧を受ける土被りの浅いトンネル掘削における垂直縫地ボルトの効果を数値シミュレーションによって検討する。数値シミュレーションは、2次元FEMによる線形弾性解析によって行った。

2. 各物性およびモデルの設定

地山の物性値は軟弱地盤を想定し、ヤング率 $E=5000 \text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.42$ 、比重 $G=2.0$ とした。打設するボルトはヤング率 $E=2.1 \times 10^4 \text{tf/m}^2$ 、直径 32mm の鋼とする。また、トンネル天端での土被りを $1D$ と固定し、地表面の傾斜を $0, 15, 30, 35, 40, 45^\circ$ の6通りを設定した。トンネルの形状や寸法は2車線道路の標準断面を参考に決定した。解析に用いるモデルの要素分割（地表面傾斜角度 30° の場合）を図-1に示す。これらのモデルにそれぞれ垂直縫地ボルトを3, 5, 7, 9, 13本打設してトンネルの掘削解析を行う。縫地ボルトを等間隔に配置した場合の断面配置図を図-2に示す。ボルトの配置は、トンネルを中心に横幅 12m 間に、いずれのモデルにおいても天端部、トンネルの両サイドの3箇所には必ず打設することとした。

図-1 解析モデルの要素分割（傾斜角度 30° の場合）

3. 解析結果および考察

(1) 等間隔に配置した場合（図-2）

図-3、図-4に各ケースの天端、地表面の沈下量をそれぞれ示す。天端沈下は傾斜角度が 30° から 45° までの増加の割合が 0° から 15° に比べて大きく、また、ボルトの打設本数が増えるにつれて沈下が抑制されていることが分かる。地表面沈下は天端沈下と同様に傾斜角度が小さいほど沈下量は全体的に小さいが、ボルトの打設にともなう沈下抑制効果はほとんどみられない。これは、天端沈下はボルトを増すことによってトンネル上部の剛性が高められ、沈下が抑制されるのに対し、地表面における沈下は地山の剛性よりもトンネル上部の地山重量による影響が大きいためと思われる。

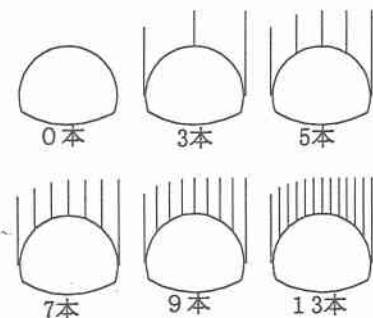


図-2 垂直縫地ボルトの断面配置

図-5はトンネル左側の側壁における水平変位(L)と、右側の側壁における水平変位(R)の変位量の比L/Rを示す。この値は1に近いほど偏圧の影響が小さくなることを表す。傾斜角度が大きくなるとL

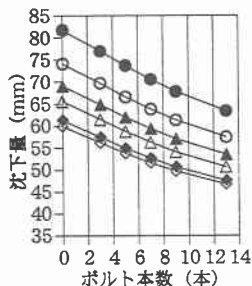


図-3 天端沈下

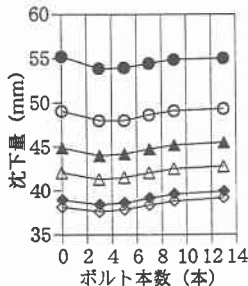


図-4 地表面沈下

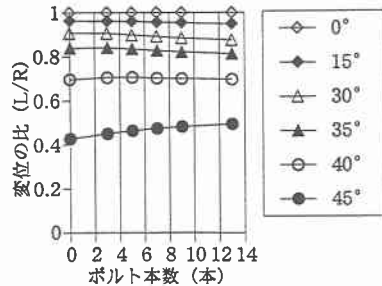
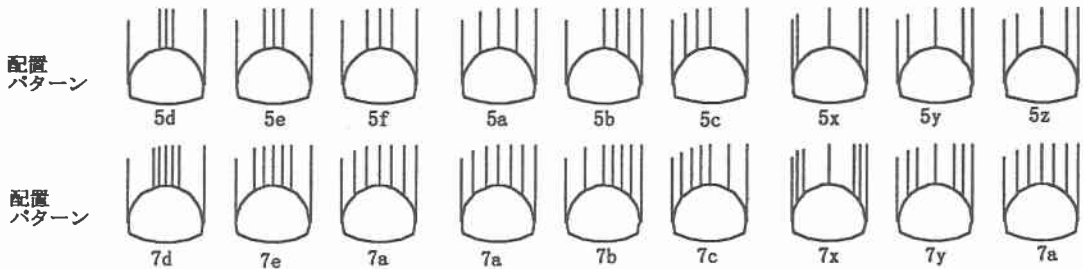


図-5 水平変位(L)/水平変位(R)



(1) 天端を集中的に配置した場合 (2) 左右片側を集中的に配置した場合 (3) 両端に集中的に配置した場合

図-6 配置パターン

とRの変位差は次第に大きくなる事が分かる。また、図によるとボルト本数の変化にともなう変位の比の変化は、ボルト本数の増加にともなう比が小さくなるパターンと大きくなるパターンの2つに分類できるようである。傾斜角度 15, 30, 35° が前者に当てはまり、40° が中間で、45° が後者に当てはまる。前者は変位の比が 0.8 から 0.95 と全体的に大きな値を示している。後者は変位の比が 0.5 未満である。このことから、偏圧が 40° 以下のときは、ボルトを増すことによって偏った変位を抑制する効果は小さいが、45° 以上ではその効果がある程度見られることが示された。

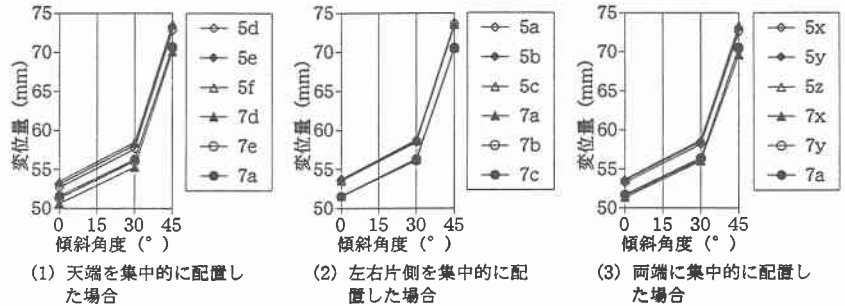


図-7 各配置パターンにおける天端沈下

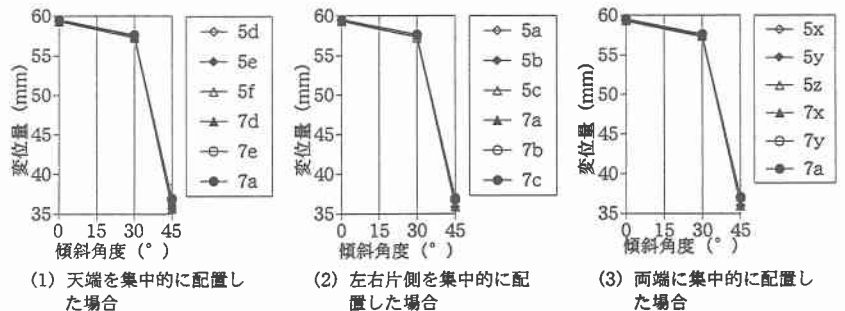


図-8 各配置パターンにおける内空変位

(2) 配置を変えた場合 (図-6)

傾斜角度 0, 30, 45° においてボルト配置を変化させたモデル (図-6) の解析結果を図-7, 8 に示す。図から、天端沈下の抑制効果は、ボルトの配置よりも本数による影響が大きいことが分かる。水平変位では、ボルトの配置と本数の変化による抑制効果の変化はほとんど見られない。このことから打設本数が同じ場合では配置による影響はあまりないと考える。

4. おわりに

本研究では垂直縫地ボルトの効果を検討するために、土被りの浅い偏圧地形部のトンネル掘削の2次元弾性解析を行った。その結果、1) 垂直縫地ボルト工法は天端沈下の抑制に有効である、2) 打設本数が増すことによって沈下の抑制効果は大きくなる、3) 地表面沈下の抑制効果は天端沈下に比べて小さく、打設本数による影響も見られない、4) ボルトの配置の違いによる変位の抑制効果の違いはほとんど見られない、という結果が得られた。今後はさらに弾塑性解析や現場計測結果の考察を行うことが重要であると考えられる。