

未固結地山に対する鏡ボルトの作用メカニズムと効果に関する検討

鉄道・運輸機構 正会員 高橋源太郎 湯澤謙一郎
鉄道総研 正会員 小島芳之 岡野法之 ○嶋本敬介
京都大学大学院 正会員 朝倉俊弘

1. はじめに

近年、切羽鏡面の安定や地表面沈下の抑制の目的で、未固結地山部あるいは大変位地山部において長尺鏡ボルトが補助工法として用いられる事例が増加している。鏡ボルトに関する研究は数多く行われているが、現状では鏡ボルトの配置や長さ、本数といった仕様は、トンネル（あるいは各工区）ごとに、地質条件や内空変位等の条件に応じて決められており、統一された設計手法は確立されていない。そこで筆者らは、合理的、経済的な設計法を確立するため、既往の計測データの分析、現地試験、土槽実験、数値解析等により研究を進めている。その中の未固結地山を想定した模型実験とその予備的な数値解析を実施した結果を報告する。

2. 土槽実験

2-1 土槽実験の概要

低土被り未固結地山における鏡ボルトの作用効果および切羽前方地山の挙動を確認することを目的として、1/20土槽実験を行った。

実験装置図を図1に示す。模擬地盤には浜岡砂を使用し、模型の鏡ボルトにはステンレス製ボルト（外径φ=10mm，肉厚t=0.3mm，延長ℓ=625mm）にサンドペーパーを巻いたものを使用した。実験においては、切羽を模擬した面板を、スクリージャッキを回して静的に10mm引き抜くことで掘削を再現しその際の鏡ボルトのひずみ、地表面沈下、切羽前方地山の土圧、

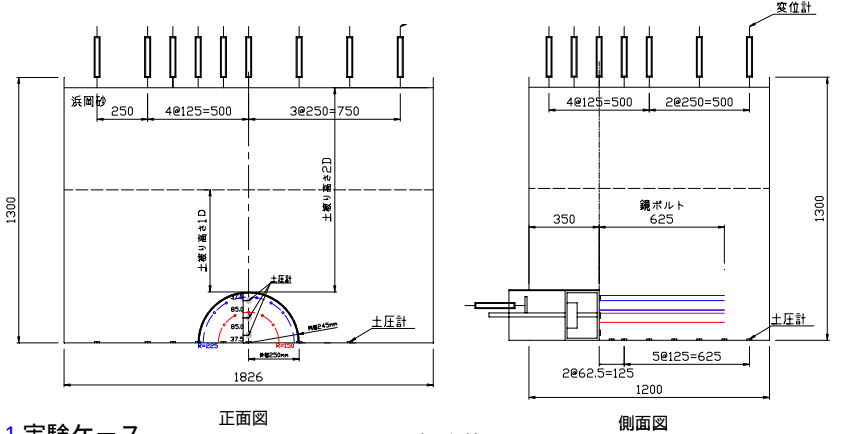


表1 実験ケース

CaseNo.	土被り	鏡ボルト
T0	1D	なし
T1	1D	11本
T2	2D	11本
T3	1D	外側6本
T4	2D	なし

図1 実験装置図

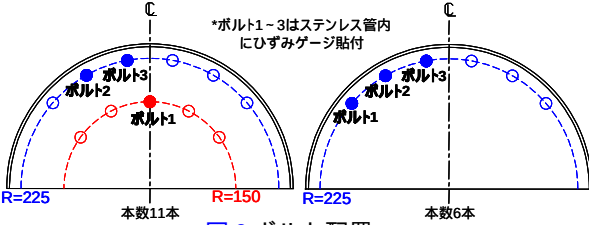


図2 ボルト配置

表2 引抜量と切羽荷重の関係

Case	土被り	ボルト本数(本)	切羽荷重(kgf)	対無対策(T0,T4)比
T0	1D	0	3.88	1.00
T3	1D	6	3.07	0.79
T1	1D	11	2.34	0.60
T4	2D	0	4.19	1.00
T2	2D	11	2.56	0.61

トンネル中心部 縦断方向

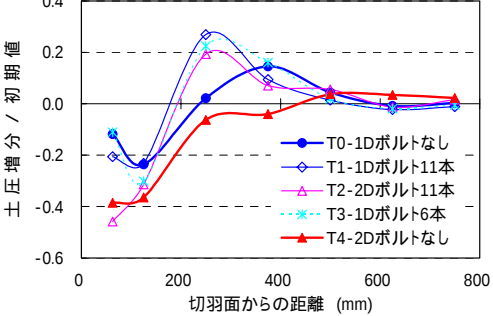


図3 底板に作用する土圧分布

切羽面板に作用する荷重を計測することで鏡ボルトの作用メカニズムと効果の検討を行った。実験ケースを表1に、ボルトの配置を図2に示す。

2-2 土槽実験の結果

表2に各ケースの引抜量と切羽荷重の関係を示す。この表より、切羽板に作用する荷重は1D、2Dともにボルトを設置することで低減することができ、ボルト本数増やすことでさらに低減できることがわかる。

図3に各ケースの底板に作用する土圧を示す。縦断方向の土圧は、鏡ボルトありの場合、切羽前方125mm（0.5D）の箇所で鉛直土圧の増加が見られすべり面がそれより手前にあると考えられる。一方、鏡ボルトなしの場合、鉛直土圧の増加の場所は切羽前方およそ0.75～1Dの箇所で見られる。すなわち鏡ボルトを設置することで、緩みの範囲を切羽前方0.5Dの範囲に抑えることができ切羽の安定性が向上していることが想定される。

図4に各ケースの縦断方向の地表面沈下の分布を示す。これより、ボルトありの場合は、切羽直上でピークを迎え

るのに対して、なしの場合は切羽面から前方125mm離れた位置でピークを迎える

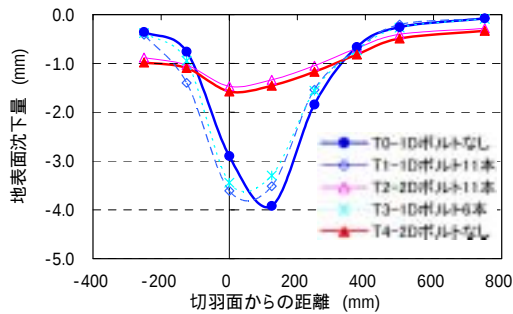


図4 縦断方向の地表沈下分布

ことがわかる。これは、底板土圧の結果と同じく、鏡ボルトにより、緩み領域を切羽近傍に抑えることができたためと考えられる。なお、本実験においては粘着力のない浜岡砂を使用しており、引き戸を引くことで切羽の引き代に砂が満たされるため、鏡ボルトの有無で沈下の絶対量にはほとんど差異が現れなかった。

図5に引き戸を10mm引き抜いたときの鏡ボルトに発生した曲げひずみの分布を示す。切羽から200mm程度のところで曲げひずみがピークとなっていることがわかる。また、ボルト2に発生するひずみが大きいこと、ボルト3に発生する曲げひずみは下に凸となることわかる。これより想定されるすべり線と鏡ボルトの変形の模式図を図6に示す。

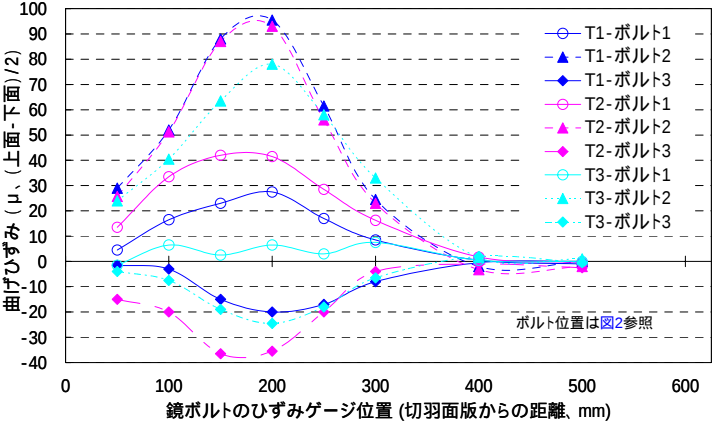


図5 鏡ボルトの曲げひずみ分布

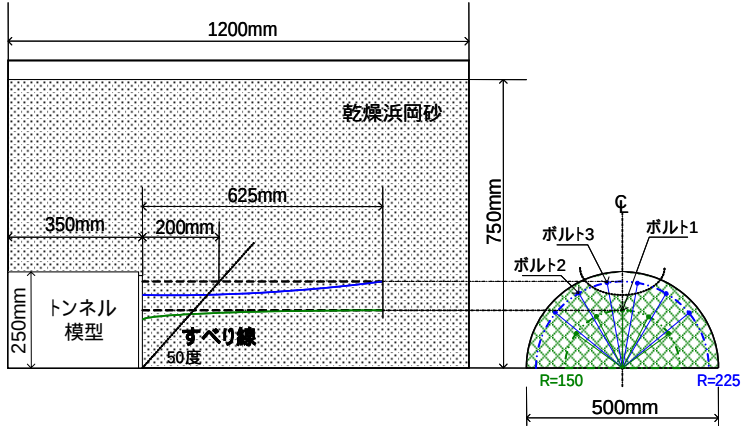


図6 想定されるすべり線と鏡ボルトの変形の模式図

3. 数値解析の解析条件と解析結果

この土層実験を数値解析により再現し、さらなるメカニズムの考察、また、パラメータ解析へと繋げていくため、まずは予備的な再現解析を行った。対象性を考慮し、半断面の解析を行った。解析は、ステップ毎に節点座標が更新される「Large Strain Mode¹⁾」により実施する。初期切羽から10mm離れたところに「引き戸」をモデル化し、押出した切羽が到達すると、引き戸要素の表面にモデル化した「インターフェイス要素¹⁾」が持つ法線バネとせん断バネ等により接触が表現される。筒(トンネル)は x,y,z 方向固定(剛)としている。砂地盤は、モルクーロンの降伏条件に従う弾完全塑性体としてモデル化し、入力物性値は表3に示す通りである。鏡ボルトの入力物性値は実際に行ったステンレス管の引抜き試験の結果とフィッティングして決定した。

表3 解析入力物性値

単位体積重量	1480kg/m ³
せん断強度	0.1kPa
内部摩擦角	30°
弾性係数	20MPa
ポアソン比	0.30
ダイレイタンシー角	3°

結果の一例として、変位量のコンター図について、鏡ボルトなしを図7に、鏡ボルトありを図8に示す。この他、予備的な数値解析の結果、鏡ボルトがあることで緩み範囲が狭くなり、沈下のピークが切羽手前に来ること、土圧分布が切羽付近の土圧を切羽から離れたところで受け持つこと等、おおよその傾向が再現された。

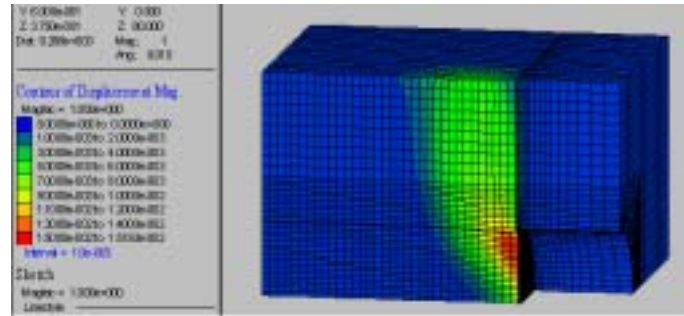


図7 変位量コンター図(鏡ボルトなし)

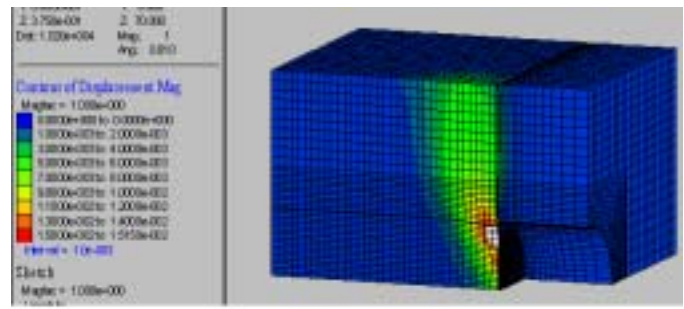


図8 変位量コンター図(鏡ボルトあり)

4. おわりに

今後さらに鏡ボルトの地表面沈下の抑制効果にも焦点を当て、パラメータ解析等により研究の深度化を図る。

参考文献

1) ITASCA Consulting Group, Inc.: FLAC^{3D} User's Guide、2002