めがねトンネルにおけるセンターピラーへの作用荷重の設定に関する一考察

前田建設工業（株）正会員　　宮野前俊一，森田篤，松井幹雄，酒井照夫，梨本裕

１．はじめに

近年，めがねトンネルの施工事例が増加している．めがねトンネル中央部には，中央導坑，および２本の本設トンネル掘削により応力集中が生じる．よって，支持構造物となるセンターピラーの安定性が，めがねトンネル施工において極めて重要であるといえる．センターピラーの安定性を事前照査するには，作用荷重の設定が必要となるが，筆者らはこれまで(1)，(2)式で示される設定荷重を提案している [1)]．(1)，(2)式を模式的に示すと**図１**のようである．

$H \leqq D_a$ の場合：$P = \gamma \cdot H \cdot D_b$　　（1）

$H > D_a$ の場合：$P = \gamma \cdot D_a \cdot D_b$　　（2）

ここで，γは地山の単位体積重量である．

また，めがねトンネルの複雑な形状，および施工過程を考慮した照査を行うには，数値解析が有効であると考えられる．筆者らは，2 次元 FEM 解析において，センターピラーへの作用荷重が，設定荷重と同程度となることを確認し，解析の有効性を示すとともに，以下のような結果を得ている [1)]．

・作用荷重は地山の剛性(弾性係数)に依存しない

・作用荷重は地山と支保の負担率(応力解放率)に依存しない

ただしこれらは切羽前方地山の挙動や，めがねトンネル施工の多くで併用される切羽安定対策工による地山の３次元的改良効果を考慮せず得られた結果である．

本検討では，現場計測結果，および切羽安定対策工を考慮した３次元解析により，これまで提案した設定荷重の妥当性について，検討を加えることとする．

２．現場計測結果

図２に施工条件の異なる３つの現場における計測結果を示すが，設定荷重が概ね妥当であることが分かる．ここでセンターピラー荷重比（縦軸）は，作用荷重（計測値）を設定荷重 P で除した値，土被り比（横軸）は，土被り H をめがねトンネル全幅 D_a で除した値である．

３．切羽安定対策工を考慮した３次元解析

都市部の未固結層において施工された３本導坑方式のめがねトンネルである，阿部倉トンネル [2)]において，施工時の地表面沈下や切羽の不安定化が特に顕著であった区間を対象として３次元解析を実施した．当該区間の地質は主に葉山層泥岩（新第３紀層）であり，代表的な物性を**表１**に示す．また，

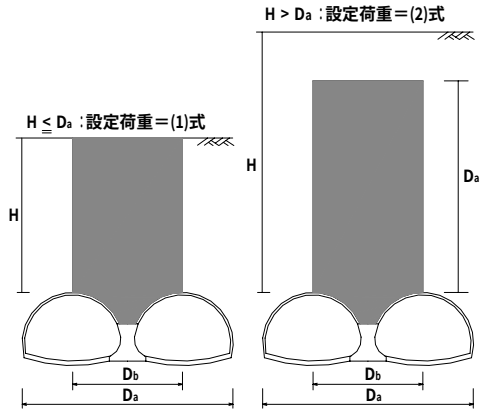

図１　設定荷重

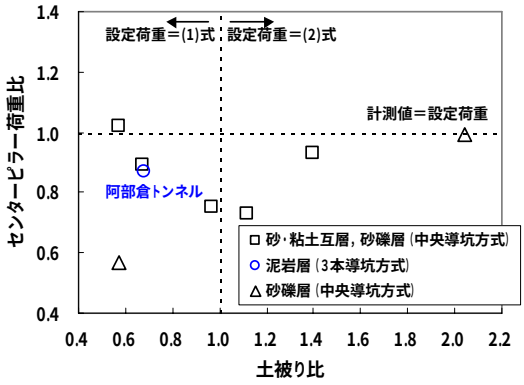

図２　作用荷重計測結果

表１　地山物性

単位重量(kN/m^3)	22
ヤング率(MPa)	10
ポアソン比(－)	0.4
粘着力(MPa)	0.25
摩擦角(°)	10

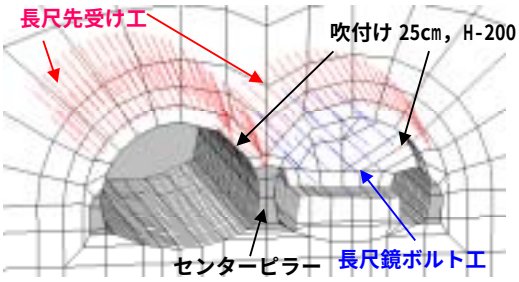

図３　解析モデル

表２　解析ケース

ケース名	長尺先受け工	長尺鏡ボルト工
ケース１	ビーム要素	－
ケース２		ビーム要素

キーワード：めがねトンネル，センターピラー，数値解析
連絡先　　：〒179-8903　東京都練馬区高松 5-8 J.CITY　前田建設工業(株)　TEL(03)5372-4759 FAX(03)5372-4768

当該区間の土被り H は最大で約 1 D_a（D_a：めがねトンネル全幅 28m）である．解析モデルを**図 3** に示すが，切羽安定対策工として長尺先受け工（トレビチューブ，L=18.0m，φ=114.3mm，n=25），および長尺鏡ボルト工（GFRP，L=21.0m，φ=77.6mm，n=14）が併用されている．先進坑上半切羽と後進坑上半切羽の離れは約 4.5D_b（D_b：めがねトンネル片幅 12m），両坑における上半切羽と下半切羽の離れは 0.5D_b である．本検討ではこれらの条件を出来るだけ忠実に再現した解析を行った（土被り H は 28m（H=D_a）とした）．解析ケースを**表 2** に示す．本検討では長尺鏡ボルト工に着目し，ケース 1 は長尺鏡ボルト工による地山改良効果がない場合，ケース 2 はボルトと地山が一体となって挙動するとした場合に相当する．

得られた解析結果のうち，後進坑上半切羽進行に伴う後進坑天端沈下量，および後進坑直上の地表面沈下量の変化を**図 4** に示す．ここでそれぞれの沈下量は導坑掘削後からの相対量である．**図 4** の後進坑天端沈下量を沈下率（沈下量を最終沈下量で除した値）として示すと**図 5** が得られる．**図 5** より，長尺鏡ボルト工により先行変位が抑制され，地山と支保の負担率が異なる結果となることが分かる．次に，後進坑上半切羽進行に伴うセンターピラー荷重比（作用荷重（解析値）を(1)式で求まる設定荷重 P で除した値）の変化を**図 6** に示す．**図 6** より，後進坑上半切羽進行に伴い，作用荷重が設定荷重と同程度となることが，またそれぞれのケースにおいて地山と支保の負担率が異なるのに対し，センターピラーへの作用荷重には差が生じないことが分かる．これらから，切羽前方地山の挙動や，切羽安定対策工による地山の３次元的改良効果を考慮した解析においても，これまで提案した設定荷重が妥当であることが分かる．

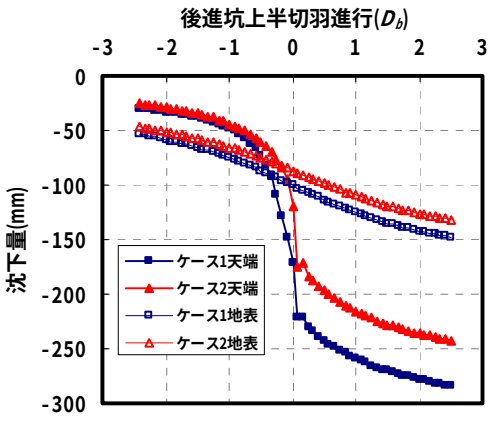

図 4　沈下量の変化

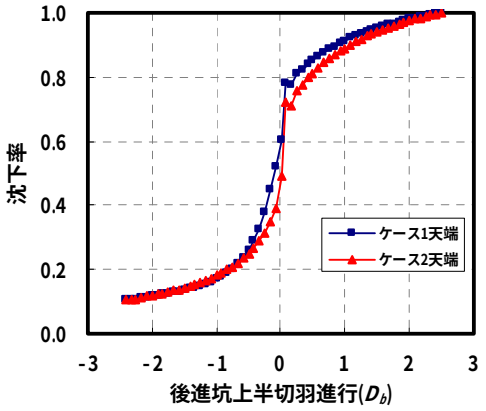

図 5　沈下率の変化

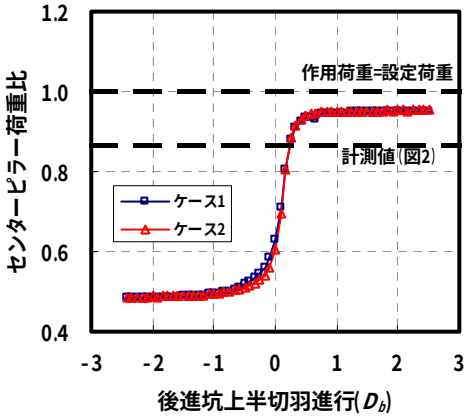

図 6　センターピラー荷重比の変化

４．おわりに

本検討では，これまで提案したセンターピラーの設定荷重について，現場計測結果，および３次元解析により，その妥当性について検討を加えた．センターピラーの安定性は，その形状や支持地盤の剛性に依存すると考えられ，設計段階において作用荷重が設定できれば，センターピラー部分のみに着目し，形状を詳細にモデル化した FEM 解析等による安定性検討[3]が可能となる．また，センターピラーを構築しないめがねトンネルの施工事例[4)5)]が増加しているが，中間地山への作用荷重が設定できれば，中間地山が有する強度と作用荷重の比較により，安定性検討が可能となる．これまで提案した設定荷重は，これらの検討に有効であると考えられる．なお本検討で解析の対象とした阿部倉トンネルにおける計測結果の詳細については，別の機会に報告する予定である．

参考文献　1)松田他：1 本導坑センターピラー共有型メガネトンネルの設計法と検証，トンネル工学研究論文・報告集，1997．2)佐藤他：市街地地すべり地帯のめがねトンネル，トンネルと地下，2003．3)酒井他：めがねトンネルにおけるセンターピラーの補強設計，土木学会論文集（投稿中）．4)上村他：センターピラーを構築しないめがねトンネル工法の実用化と検証，土木学会論文集，2004．5)本藤他：無導坑方式めがねトンネルの設計，トンネル工学研究論文・報告集，2003．