

めがねトンネルにおけるセンターピラーの補強設計

酒井照夫¹・宮野前俊一²・黒木繁盛²・森田浩二²・櫻井孝臣²・梨本 裕³

¹正会員 前田建設工業(株) 台湾高雄工務所

²正会員 前田建設工業(株) 土木本部 土木技術部 (〒179-8903 東京都練馬区高松 5-8 J.CITY)

³正会員 工博 前田建設工業(株) 土木本部 土木技術部 (〒179-8903 東京都練馬区高松 5-8 J.CITY)

都市部における離隔距離 1m程度の近接トンネルでは、ほとんどの場合めがねトンネルが適用されている。しかし、その設計手法は確立されていないのが現状である。めがねトンネルはその形状から中央部に応力集中が生じる問題を有している。重要な支持構造物であるセンターピラーには、掘削に伴う応力再配分により大きな荷重が作用すると考えられるが、その荷重の設定法はまだ確立されていない。そのため、センターピラーの補強設計において内部発生応力が注目されることはほとんどなかった。

本研究では、現場計測結果と FEM 解析により、過去に提案されたセンターピラーに作用する荷重の設定法を見直し、センターピラーの補強設計法を提案する。

Key Words: twin-bored tunnel, center pillar, finite element methods, design

1. はじめに

近接トンネルは、先行トンネルと後行トンネルの相互影響を考慮し、トンネル中心間隔をトンネル直径の 3 倍程度確保するのが一般的である。しかし、立地条件等の制約によりトンネル中心間隔を接近させる場合もある。このような近接トンネルの内、図-1に示すように離隔距離がなく、中央壁（以下、センターピラーと称す）を共有しためがね型の形状のトンネルで、トンネルがほぼ同時に施工されるものをめがねトンネル^{1), 2)}と称する。

図-1において明らかなように、めがねトンネル中央部は、中央導坑、および 2 本の本設トンネルの掘削により応力集中が起こる。よって、支持構造物であ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だといえる。

しかし、めがねトンネルの施工事例は少なく、センターピラーの具体的な設計手法が確立されていない。設計において最大の課題は、センターピラーへの作用荷重の設定である。過去に設定法が提案されている³⁾が、施工事例が少なく、計測事例が少ないため、広く認知されたものとはなっていない。そのため、センターピラーの内

部発生応力に注目した検討がほとんど行われていないのが現状である。

本研究では、現場計測結果、およびFEM解析により、過去に提案されたセンターピラーに作用する荷重の設定法を見直し、センターピラーの補強設計法を提案する。

2. センターピラーに作用する荷重

(1) 現場計測結果

表-1 に示す地山の弾性係数が比較的小さな 3箇所の現場において計測されたセンターピラーへの作用荷重を図-2 に示す。図は縦軸をセンターピラー荷重比（センターピラーへ作用する荷重の計測値を、設定荷重（P）で除した値）、横軸を土被り比（土被り（H）をめがねトンネル全幅（D_a）で除した値）として示した。ここで、計測値は、センターピラーに埋設した応力計により、後進坑下半掘削後に得られた値である。また、設定荷重（P）は、小束山トンネル³⁾で得られた知見に基づき、式(1)、および式(2)で設定した。式(1)、および式(2)を模式的に示すと図-3 のようである。

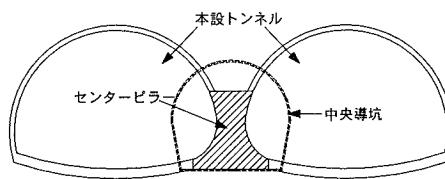


図-1 めがねトンネル

$H \leq D_a$ の場合

$$\begin{aligned} P &= \gamma \cdot H \cdot D_b \\ &= \text{全土被り荷重} \end{aligned} \quad (1)$$

$H > D_a$ の場合

$$\begin{aligned} P &= \gamma \cdot D_a \cdot D_b \\ &= 1 D_a \text{相当分の土被り荷重} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 γ は地山の単位体積重量、 D_b は2本のトンネルの中心間距離である。図-2より、地山の弾性係数が比較的小さなめがねトンネルにおいて、式(1)、および式(2)で設定した土被り荷重相当の荷重がセンター ピラーに作用することが分かる。よって、式(1)、および式(2)で設定したセンターピラーへの作用荷重は、地山の弾性係数が比較的小さなめがねトンネルにおいて概ね妥当であると判断できる。

センターピラーへの荷重作用は、掘削に伴う応力再分配によるものであるが、式(2)のように上限があることが現場計測結果から推察される。その原因の解明は今後の課題である。

表-1 センターピラー作用荷重計測現場

名称	地質	弾性係数(MPa)	特徴
小東山	砂・粘土互層、砂礫層	200	中央導坑方式
阿部倉	泥岩層	100	3本導坑方式
戸吹	砂礫層	90	中央導坑方式

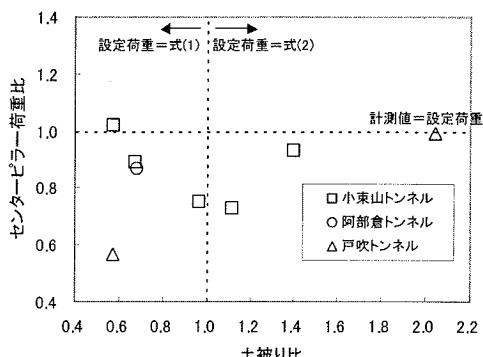


図-2 センターピラー作用荷重計測結果

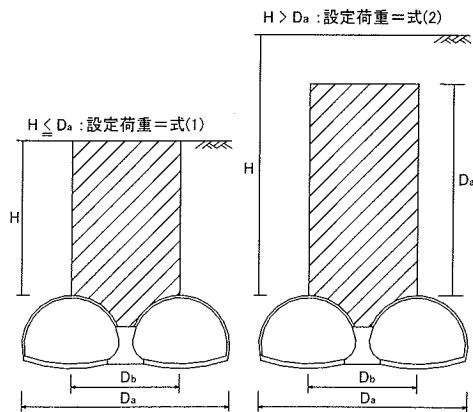


図-3 作用荷重の設定

(2) FEM 解析

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設計を行うには、FEM 解析（例えば^{4)～8)}に代表される数値解析が有効である。

ここでは地山の弾性係数、応力解放率、および土被り比（土被りをめがねトンネル全幅で除した値）をパラメータとしたシミュレーションを行い、FEM 解析のめがねトンネル設計への適用性を確認する。解析は2次元平面ひずみ状態とし、施工過程を出来る限り忠実に再現⁹⁾することを試みた。地山は線形弾性体とした。解析ステップは表-2に示す通りである。

また覆工は、めがねトンネルの施工において最終工程となる場合が多いことから、本解析では考慮しなかった。ここでは、後進坑下半掘削時におけるセンターピラーへの作用荷重に着目した結果について述べる。

図-4において縦軸はセンターピラー荷重比、横軸は地山の弾性係数であり、各掘削ステップにおける応力解放率を40%と設定した場合の結果である。なお、ここでのセンターピラー荷重比は、センターピラーへ作用する荷重の解析値（センターピラー内部応力に断面積を乗じた値）を、設定値（式(1)、および式(2)）で除した値である。地山の弾性係数が大きくなるに従いセンターピラー荷重比が小さくなる傾向となる。

図-4の横軸を、地山の弾性係数から土被り比に変更すると図-5が得られる。図は地山の弾性係数が比較的小さい場合（20MPa、および200MPa）の結果を示す。土被り比が1.0より小さな場合、土被り比が大きくなるに従い、センターピラー荷重比は小さくなる。一方、土被り比が1.0より大きな場合、土被り比が大きくなるに従い、センターピラー荷重比は大きくなる傾向を示す。

図-6において縦軸はセンターピラー荷重比、横軸は応力解放率であり、地山の弾性係数が200MPaの結果である。応力解放率が大きくなるに従い、センターピラー荷重比は小さくなるが、その変化は小さい。地山の弾性係数が20MPaの場合も同様の結果が得られた。

これらより、FEM 解析が、前節で述べた現場計測結

表-2 解析ステップ

1	中央導坑掘削*	
2	センターピラー打設 (及びセンターピラー上部空間のモルタル充填)	
3	先進坑	上半掘削**
4		下半掘削**
5		インバート打設
6	後進坑	上半掘削***
7		下半掘削***

*吹付けコンクリート15cm+鋼製支保H-150

**吹付けコンクリート30cm+鋼製支保H-250

***吹付けコンクリート25cm+鋼製支保H-200

果と一致するのは、次に示す2つの条件を満たす場合であることが分かる。

①地山の弾性係数が比較的小さい（200MPa程度以下）

②土被り比が1.0以下

これまでめがねトンネルの多くは、これら条件を満たす都市部で施工されていることより、FEM解析が有用な手法の一つであると言えるが、適用に際し、十分な配慮が必要であることが分かる。うち②を満たさない場合における解析上の工夫については、4章で提案する。

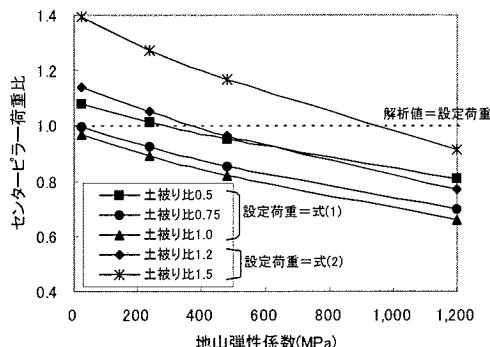


図-4 センターピラー荷重比と地山弾性係数の関係

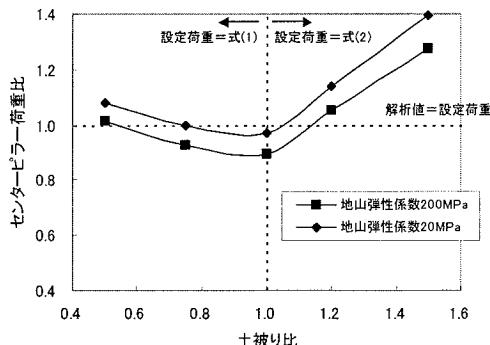


図-5 センターピラー荷重比と土被り比の関係

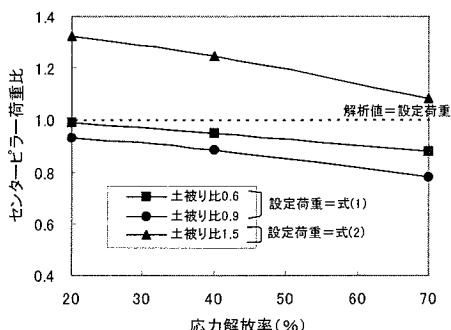


図-6 センターピラー荷重比と応力解放率の関係
(地山弾性係数 200 MPa)

3. センターピラーに発生する応力

(1) 現場計測結果

ここでは、阿部倉トンネル¹⁰⁾における計測結果より、センターピラーに発生する応力について検討する。

阿部倉トンネルにおけるセンターピラーアー底盤部の応力計測位置を図-7に、計測結果を図-8、および図-9に示す。図-8、および図-9の縦軸は応力値（正値が圧縮応力、鉄筋計による計測値）を、横軸は切羽進行を示し、図-8は先進坑上半掘削に伴う変化を、図-9は後進坑上半掘削に伴う変化を示す。ここで、応力値は先進坑上半切羽が計測断面より手前2.5D (D=12m:めがねトンネル片幅)にある時点での値を初期値とした。また切羽進行は、切羽進行長をめがねトンネル片幅Dで除した値であり、図-8においては先進坑上半切羽進行を、図-9においては後進坑上半切羽進行を示す。

計測結果より、先進坑上半掘削に伴い、先進坑側底盤部に2MPa程度の引張応力が、後進坑側底盤部に2MPa程度の圧縮応力が発生していることが分かる。その後、後進坑上半掘削に伴い、先進坑側底盤部では最大4MPa程度の引張応力が発生し、切羽進行に伴い安定へと向かう。一方、後進坑側底盤部では、切羽進行に伴い徐々に圧縮応力が除荷され、最終的に引張応力が発生する。計測結果より、センターピラーアー底盤部において引張応力が発生することが明らかとなった。

一方、センターピラーアー頭部において、先進坑側頭部の鋼製支保（H-200）設置箇所が、後進坑上半切羽の接近に伴い破損した。破損部の模式図を図-10に示す。破損部のおよその形状は、幅0.2m、高さ0.7m、奥行きは鋼製支保設置箇所を中心とした0.6mであった。この際、先進坑の鋼製支保脚部軸力の計測値は約1.6MNであり、H-200を採用していることから作用面積を0.04m²とすると、約40MPaの応力が局所的にセンターピラーアー先進側頭部に発生したことになる。センターピラーアーコンクリートの設計基準強度が18MPaであったことを考慮すると、後進坑上半切羽の接近に伴い、先進坑鋼製支保に大きな荷重が作用し、強度を上回る応力がセンターピラーアー先進側頭部に発生し、せん断破壊したものと推察される。この対策として、センターピラーアー先進坑側頭部にアンカーボルトを設置し、拘束圧を作用させ補強した。また、未施工区間ににおいては、鋼製支保脚部をワイングリブ構造とし、設置面積増加によるセンターピラーアーへの作用応力低減を図った結果、以降の破損は見られなかった。

これらの結果より、土被り比が0.7で地山弾性係数が100MPaである阿部倉トンネルにおいては、前章で述べたとおりセンターピラーアーに全土被り相当の荷重が作用し、またセンターピラーアー底盤部においては引張応力が発生したと考えられる。しかし、センターピラーアー底盤部の応

力測定結果は、鉄筋計によるものである。計測値はひずみであり、これに鉄筋の弾性係数を乗じて応力としている。この妥当性について次節で検討する。

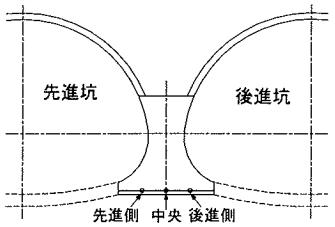


図-7 センターピラー底盤部応力計測位置（鉄筋計）

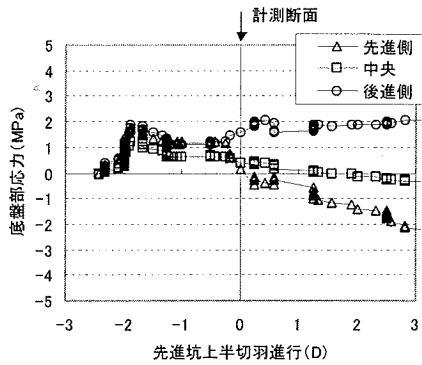


図-8 先進坑上半切羽進行に伴うセンターピラー底盤部応力の変化

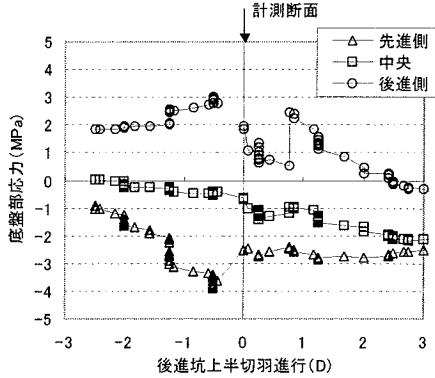


図-9 後進坑上半切羽進行に伴うセンターピラー底盤部応力の変化

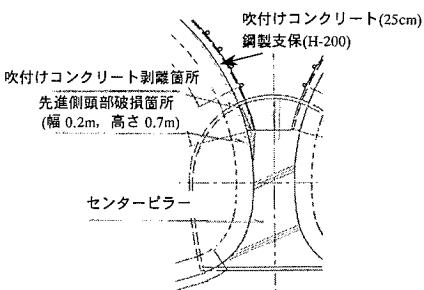


図-10 破損部模式図

(2) センターピラーに着目したFEM解析

ここでは阿部倉トンネルにおける計測結果を踏まえ、FEM解析によりセンターピラーに発生する応力について検討する。

センターピラーには水平方向の拘束が作用しないため、上部に荷重が作用すれば一軸圧縮状態となり、水平方向に引張ひずみが発生する。その大きさはセンターピラーの上部面および下部面が滑らかで、かつ支持地盤が剛で変形せず、センターピラーが矩形であれば、弾性理論より鉛直方向の圧縮ひずみにポアソン比を乗じた値に等しくなる（図-11）。この場合、水平方向に引張ひずみは発生するが引張応力は発生しない。しかし、一般に採用されるセンターピラー形状は矩形ではなく、地盤支持力不足の解決、および転倒防止を目的とした、阿部倉トンネルと同様のくびれ型の形状である。これらより、センターピラーに発生する応力状態の検討に際し、形状依存性および支持地盤依存性についてふれる必要があると考え、2種のセンターピラー形状を考慮するとともに、2種の支持条件を与えた。解析に用いたセンターピラーのモデル、および解析ケースを表-3に、解析条件を表-4に示す。解析は2次元平面ひずみ状態で行った。本解析で用いた一般型（くびれ形）のセンターピラー形状（頭部幅：1.8m、底盤幅：3.5m、高さ：3.9m）は阿部倉トンネルで採用されたものである。また、矩形のセンターピラー形状は、一般型との比較のため、幅2.7m、高さ3.9mとした。地盤ばねは支持地盤が剛でなく、その弾性係数が比較的小さい場合を、水平ローラーは支持地盤が剛である場合を想定した。センターピラーへの作用荷重は、事前に別途実施したFEM解析結果より設定し、集中荷重として作用する場合、および分布荷重として作用する場合を考慮した。全てのケースにおいて作用荷重の合計は5.4MNである。

解析より得られる水平方向のひずみ分布を表-5に、水平方向の応力分布を表-6に、主応力ベクトルを表-7に示す。ひずみ分布および応力分布においては負値が引張を示す。また、主応力ベクトルにおいては細線が圧縮応力を、太線が引張応力を示す。表-5より、いずれのケースにおいても前述のとおり、水平方向に引張ひずみが生じていることが分かる。また表-6より、一般型で支持条件を地盤ばねと設定したケース（case1-1、およびcase1-2）においてセンターピラー底盤部に引張応力（4MPa程度）が発生していることが分かる。底盤部の引張応力は形状が矩形である場合、および支持条件が水平ローラーである場合において発生していない。よって、都市部のめがねトンネルにおいて最も一般的な条件であると考えられる、支持地盤が剛でない一般型のセンターピラーでは、鉛直方向の荷重が作用した際、その形状からセンターピラー底盤部において下方にたわむ曲げが発生し、引張応

力が発生することが分かる。図-12において縦軸はセンターピラー底盤の鉛直方向変位量を示し、底盤端部の鉛直方向変位量を0とした場合の、底盤面における相対変位量である。センターピラー形状が矩形である場合(図-12(b))に比較し、一般型(図-12(a))は変形が大きいことが分かる。センターピラー底盤部における引張応力の発生については、支持地盤が水平方向へ変形し、センターピラーが支持地盤に引張られることによるとも考え得るが、センターピラー底盤部要素と支持地盤要素の間にジョイント要素¹¹⁾を設けたケースについても解析を実施し、検討したが、同様の結果が得られた。また、例としてcase1-1のセンターピラー底盤部における水平方向の引張応力を図-13に示すが、鉛直方向の圧縮ひずみにセンターピラーのポアソン比、弾性係数を乗じて求まる水平方向の引張応力 σ_x' は、解析より得られる水平方向引張応力 σ_x に比較し十分小さい。これらから、センターピラー底盤部において引張応力が発生する原因是、鉛直方向応力によるポアソン効果としてではなく、主に支持力不足の解決、および転倒防止に有効な形状によるものであると推察される。すなわち、センターピラーには大きな荷重が作用するため、その反力も大きくなる。支持地盤の鉛直方向応力分布(正値が圧縮)を表-8に示す。

一般型のセンターピラーは下方ほど幅が広い形状であるため、反力により下方にたわむ曲げが発生し、引張応力が発生する。よって、補強の検討が必要であると考えられる。

また一般型のセンターピラー頭部において、支保部材による集中荷重が作用するケース(case1-1、およびcase1-3)では、水平方向に引張応力が発生している。センターピラー頭部において、上方にたわむ曲げが発生し、引張応力が発生すると推察される。前述した阿部倉トンネルにおける破損事例と同様に、実際の施工においては鋼製支保からの荷重伝達が支配的になると考えられるため、集中荷重に対する解析結果を重視し、センターピラーの底盤部同様、補強検討の必要があると考えられる。

これらFEM解析結果は、前節で述べた阿部倉トンネルにおける計測結果と似た傾向を示しており、FEM解析がセンターピラーに発生する応力について詳細に検討する際の有効な手法の一つであることを示している。また、一般的なセンターピラーの設置条件(一般型、剛でない支持地盤、支保部材からの集中荷重作用)においては、センターピラー頭部および底盤部では水平方向に引張応力が発生することが明らかとなり、設計段階において補強検討が必要であることが推察される。

表-3 センターピラーのモデル、および解析ケース

ケース	case1-1	case1-2	case1-3	case1-4
モデル				
形状	一般型	一般型	一般型	一般型
荷重	集中荷重 (2.7MN×2箇所)	分布荷重 (3.0MPa)	集中荷重 (2.7MN×2箇所)	分布荷重 (3.0MPa)
支持条件	地盤ばね	地盤ばね	水平ローラー	水平ローラー
ケース	case2-1	case2-2	case2-3	case2-4
モデル				
形状	矩形	矩形	矩形	矩形
荷重	集中荷重 (2.7MN×2箇所)	分布荷重 (2.0MPa)	集中荷重 (2.7MN×2箇所)	分布荷重 (2.0MPa)
支持条件	地盤ばね	地盤ばね	水平ローラー	水平ローラー

表-4 解析条件

	弾性係数	ポアソン比
センターピラー	22GPa	0.2
地盤	100MPa	0.4

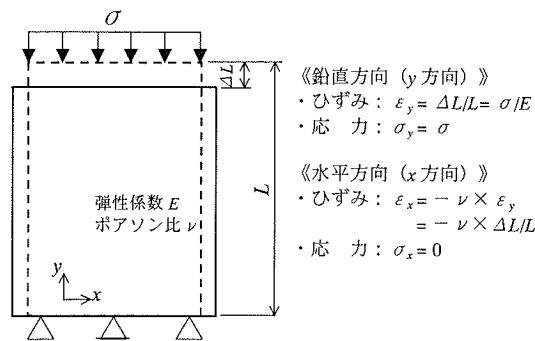


図-11 矩形センターピラーに発生するひずみ、応力

表-5 水平方向ひずみ分布

単位 (%), 負値: 引張ひずみ

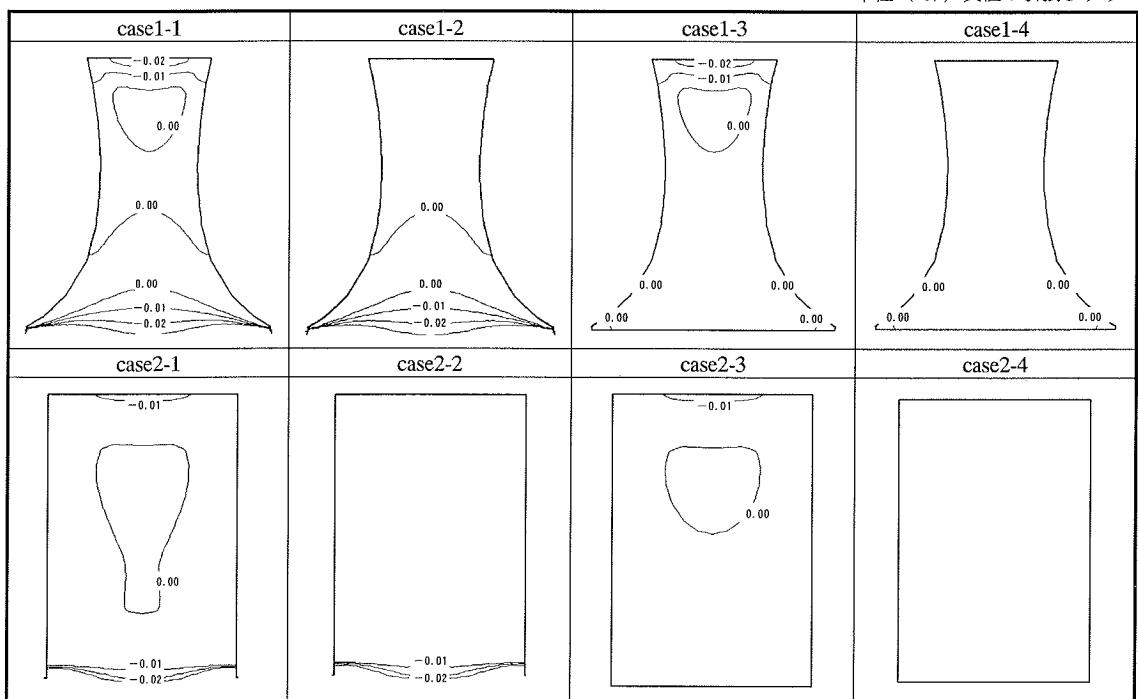


表-6 水平方向応力分布

単位 (MPa), 負値 : 引張応力

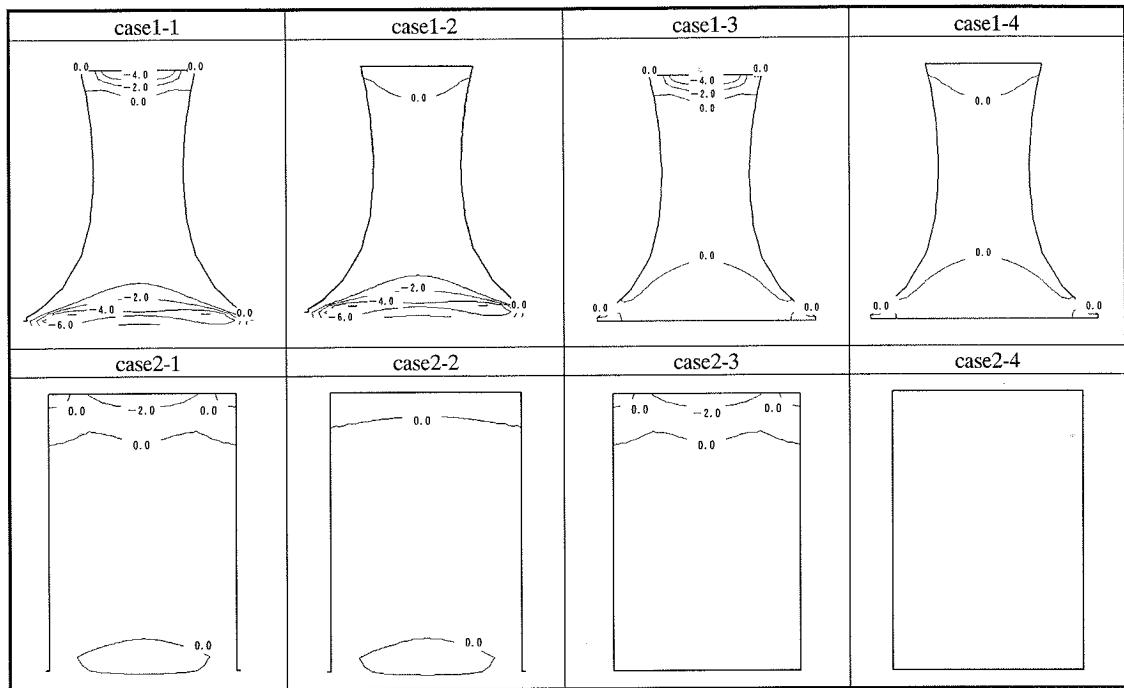
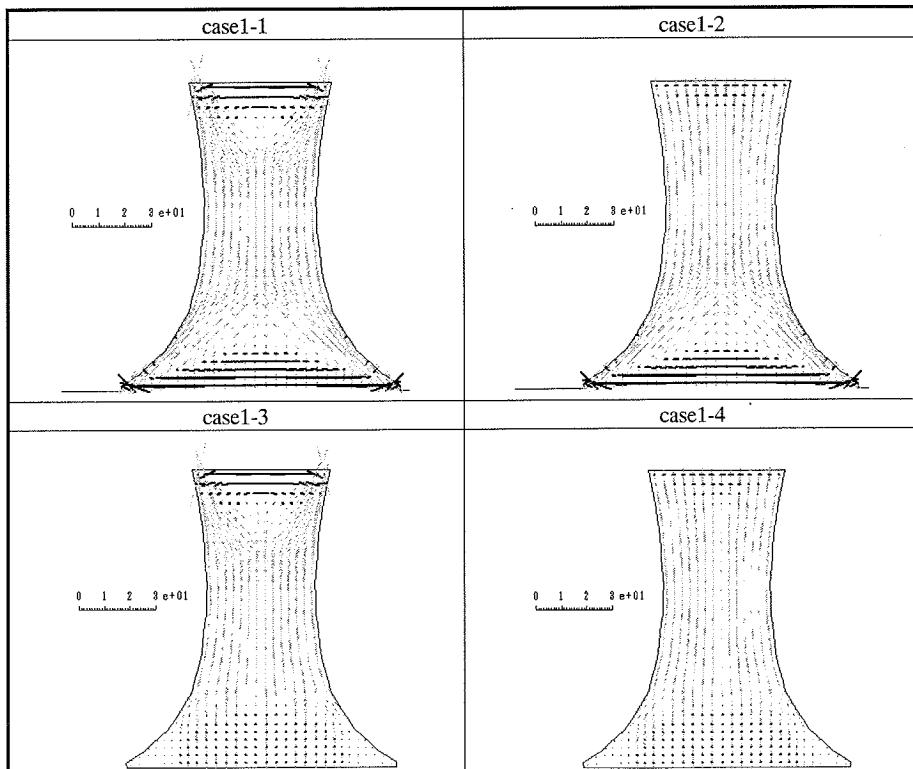
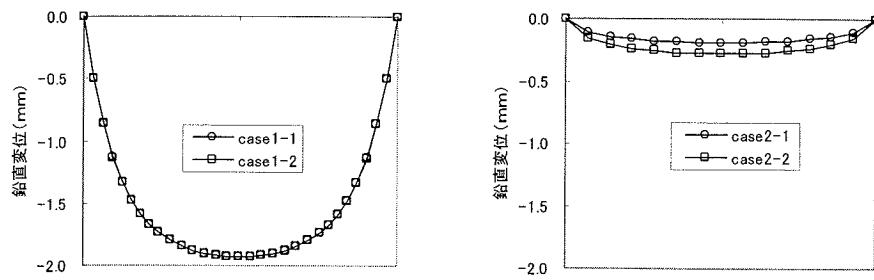


表-7 主応力ベクトル

単位 (MPa), 細線 : 圧縮応力, 太線 : 引張応力





(a) case1-1, case1-2

(b) case2-1, case2-2

図-12 センターピラー底盤変形状態

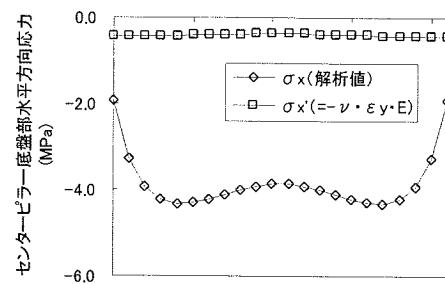
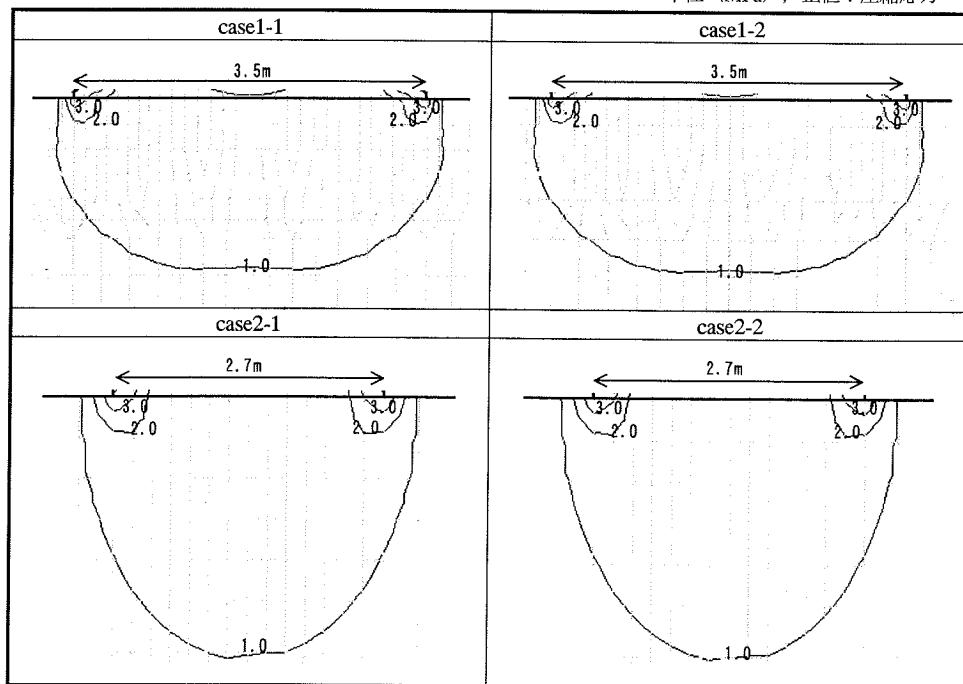


図-13 センターピラー底盤部水平方向応力 (case1-1)

表-8 支持地盤の鉛直方向応力分布

単位 (MPa), 正値: 圧縮応力



4. センターピラー補強設計法の提案

ここでは、FEM 解析により、センターピラーに発生する引張応力の分布から、対応する必要鉄筋量を算定する方法について述べる。

(1) FEM 解析における解析領域の提案

地山の弾性係数が比較的小さな（200MPa 程度以下）めがねトンネルにおいては、センターピラーには式(1)、および式(2)で評価した荷重が作用すると考えられる。めがねトンネルの複雑な形状、施工過程を考慮するにはFEM 解析が有用な手段であり、当該地山の物性値、および当該センターピラーコンクリートの物性値を考慮した解析を実施し、施工最終段階において設定荷重がセンターピラーに作用することを確認するとともに、センターピラーの安定性が最も損なわれる施工段階において照査を行う。これは3章で示した阿部倉トンネルにおける計測結果より明らかなように、施工段階によりセンターピラーに発生する応力状態が複雑に変化するためである。なお、土被り（H）がめがねトンネル全幅 (D_a) より大きな場合においては、トンネル天端から $1D_a$ までの領域をモデル化し、以浅の地山部分については考慮しないのが現実的である（図-14）。これは、土被りがめがねトンネル全幅より大きな場合のセンターピラーへの作用荷重には上限があると推察され、式(2)で与えられる $1D_a$ 相当分の土被り荷重と設定するのが妥当であるためである。2章で示したように、FEM 解析では、土被りが $1D_a$ より大きい場合、 $1D_a$ 相当分の土被り荷重より大きな作用荷重となるので、過度の安全側の設計とならないよう配慮する必要がある。

また、3章で示した解析結果より明らかなように、センターピラーの形状、支持地盤の状態、およびセンターピラーへの作用荷重の状態によっては、センターピラーに引張応力が発生する。その際、3章で述べたようにセンターピラーおよび支持地盤から構成される詳細モデルを作成し、再度FEM 解析を実施し、補強法に関する詳細な検討を行うことが重要である。ただし補強法の検討にあたり、センターピラーが覆工の一部となる形式か（例えば小東山トンネル）、あるいは覆工がセンターピラーを巻き込む形式か（例えば阿部倉トンネル）について十分な配慮が必要となる。

(2) 鉄筋による引張応力に対する補強設計法

ここでは、FEM 解析により得られた引張応力に対応する必要鉄筋量を求める方法¹²⁾について例示する。FEM 解析により引張応力に対する補強が必要であると判断される箇所を抽出（図-15）し、必要鉄筋量を求める（図

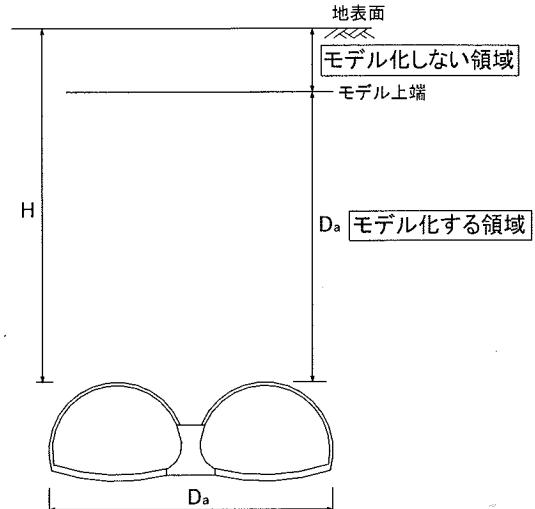


図-14 土被りがめがねトンネル全幅より大きな場合のモデル化領域

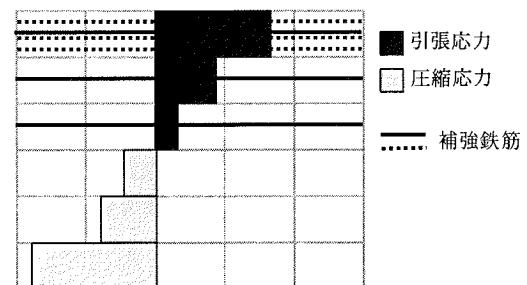


図-15 補強部の断面力算出方法（文献¹²⁾に加筆）

中において実線）、ただし、引張縁に集中させて鉄筋を配置する場合（図中において破線）には、鉄筋配置位置が引張応力の合力作用位置より外側にある場合は、引張応力の合力に見合う必要鉄筋量を求めてよいが、合力作用位置より内側にある場合は、中立軸回りのモーメントを考慮した必要鉄筋量の算出が必要である。

なお必要鉄筋量の算出に際し、センターピラーの役割（本設か仮設か）に応じ、鉄筋の許容応力度を設定する必要がある。

5. おわりに

本研究では、過去に提案されたセンターピラーに作用する荷重の設定法を見直し、式(1)、および式(2)で示される荷重の設定が、地山の弾性係数が比較的小さな（200MPa程度以下）めがねトンネルにおいて妥当であることを現場計測結果との比較により示した。また、めがねトンネルの施工過程を考慮したFEM解析が、都市部（地山の弾性係数が比較的小さく、土被り比が1.0以下）

のめがねトンネルのセンターピラーの設計に十分適用性がある手法であることを確認した。

次に、センターピラーの内部に発生する応力を現場計測結果に基づき照査した。土被り比が0.7で地山弾性係数が100MPaである阿部倉トンネルにおいては、応力測定結果より、センターピラー底盤部において水平方向に引張応力が生じていることが分かった。また、センターピラー頭部において破損が生じ、全土被り相当の荷重が実際に作用していることが分かった。同時に、この計測結果の妥当性をFEM解析により検討した。地盤支持力不足の解決、およびセンターピラーの転倒防止に有利な形状が原因で、センターピラー内部に引張応力が発生することが明らかとなった。

最後に以上の知見に基づき、FEM解析によるセンターピラーの補強設計法を提案した。

めがねトンネルの設計手法は未だ確立されていない。本研究で提案したセンターピラーの補強設計手法が、一助となれば幸いである。

謝辞：本研究の実施工への適用に当たり、今田徹・東京都立大学名誉教授、西村和夫・東京都立大学教授をはじめとする皆様から、終始貴重なご指導を頂きました。心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説、1996.
- 2) 青木宏一、上村正人、河原幸弘、中川浩二：わが国におけるめがねトンネルの現状、トンネル工学研究論文・報告集、第10巻、pp.161-166、2000。
- 3) 松田哲夫、豊里栄吉、五十嵐瑞穂、梨本裕、楢山孝司：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、第7巻、pp.1-6、1997.
- 4) 豊里栄吉、岩倉保、五十嵐瑞穂、梨本裕：土かぶりの薄いメガネトンネルを掘る 第二神明道路（改築）小東山トンネル、トンネルと地下、第28巻、9号、pp.27-40、1997.
- 5) 新井克己、塚原悌二、東田清一、宮脇潔：土砂地山での大断面メガネトンネル 阪神高速道路北神戸線 井吹トンネル、トンネルと地下、第16巻、6号、pp.35-43、1985.
- 6) 小泉光政、中島康昭：大断面めがねトンネルの施工 横浜横須賀道路のトンネル、トンネルと地下、第12巻、7号、pp.9-18、1981.
- 7) 石川靖治、上村正人、米田裕樹、中川浩二：斬新な設計・施工のめがねトンネルで市街地に挑む 北九州市 下到津ランプ連絡道路トンネル、トンネルと地下、第34巻、5号、pp.35-44、2003.
- 8) 栗山廣志、古賀徳治、緒方隆哉、中村秀光、上林武司：併設トンネルにおけるピラー部補強の設計と施工、トンネル工学研究論文・報告集、第10巻、pp.125-130、2000.
- 9) 宮野前俊一、森田篤、梨本裕、関順一、高森貞彦：FEM解析によるめがねトンネル施工法の検討、トンネル工学研究論文・報告集、第8巻、pp.151-156、1998.
- 10) 佐藤映、松長剛、小島正人、酒井照夫：市街地すべり地帯のめがねトンネル（トンネル編）久里浜田浦線阿部倉トンネル、トンネルと地下、第34巻、8号、2003.
- 11) Goodman, R. E., Taylor, R. L. and Brekke, T. L.: A model for the mechanics of jointed rock, Proc. ASCE, vol.94, SM3, pp.637-659, 1968.
- 12) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン、1989.

(2003.8.11 受付)

A DESIGN METHOD FOR REINFORCED CENTER PILLARS OF TWIN-BORED TUNNELS

Teruo SAKAI, Shunichi MIYANOMAE, Shigemori KUROKI, Kouji MORITA,
Takatomu SAKURAI and Yutaka NASHIMOTO

The number of twin-bored tunnels has been increasing despite a lack of established design methods. In particular, the mechanism of stress concentration to center pillar caused by the excavation of tunnels is not obvious yet. Therefore, few study of stress condition of center pillar has been carried out so far. In this report, the design procedure of center pillar proposed in past times has been modified based on the results of in situ measurements and analysis using finite element methods. In addition the design procedure of reinforced center pillar has been introduced.