

# 薄肉鋼板補強工法による 地下鉄シールドトンネル二次覆工補強

横田孝雄\* 相見秀毅\* 川端淳司\* 森 康雄\*\*

近年、地下鉄営業線シールドトンネルにおいて、経年劣化あるいは近接交差工事の影響により、トンネル二次覆工の剥落が懸念されている。従来のトンネル覆工剥落対策としては繊維シート接着などの内面補強工や、鋼製アーチ支保工、吹付モルタル工や二次・三次覆工となる内巻工が標準的施工であるが、内面覆工として薄肉鋼板パネルを組立て補強する工法を地下鉄営業線内で初めて施工した。以下に各種検討、試験工事および本工事施工について報告する。

キーワード：トンネル、覆工、補強、鋼板補強

## 1. はじめに

近年、地下鉄営業線シールドトンネルにおいて、経年劣化あるいは近接交差工事の影響により、トンネル二次覆工の剥落が懸念されている。トンネル覆工はく落対策としては繊維シート接着などの内面補強工や、鋼製アーチ支保工、吹付モルタル工あるいは内巻工などが標準的施工である。

当社においても、トンネル覆工のはく落防止工や覆工内面補強工について、これまでに無い新しい工法として、①ダクトル覆工板、②吹付けモルタル（アラミド繊維補強ネット併用）、③薄肉鋼板補強工法、④支保工＋内巻工について開発を行ってきた。吹付けモルタルや支保工＋内巻工についての詳細は他の論文<sup>1),2)</sup>に譲るとして、ここでは、薄肉鋼板補強工法の開発、試験施工（3章）及び本施工（4章）について報告するものである。

## 2. 開発の概要

### 2.1 コンセプト

以下に、開発した工法のコンセプトを示す。

#### ①人力施工

地下鉄シールドトンネル内での施工は、終電～始発までの間の3時間程度であり、大型の専用機械の導入は困難である。したがって、補強部材は、人力で運搬、組立てができるように、25～30kg以下とする。

#### ②補強厚さ

建築限界、車両限界を侵さず、支障物の移設を最小限にするように覆工の補強厚さをできるだけ薄く（目標は

10cm以下）する。

#### ③安全性の確保

補強体の構造線形をアーチ状にする（補強体の脚部を線路敷きに接地させる）。

#### ④経済性の確保

要求される機能に対して費用対効果が最大となる工法（材料、施工法）とする。

### 2.2 ダクトル覆工板

まず、補強部材の材質として、高強度で耐久性の良いダクトル（超高強度補強繊維コンクリート）覆工板を使用した工法について開発を試みた。詳細については既往論文<sup>3)</sup>に譲るとしてここではその概要について述べる。

ダクトル覆工板の形状をPhoto.1及びFig.1に示す。幅40cm、長さ1m、厚さ4cmで、質量約25kgである。

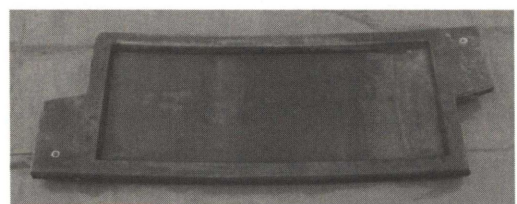


Photo.1 ダクトル覆工板

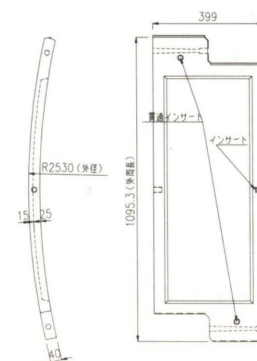


Fig.1 ダクトル覆工板構造

\* 首都圏支店 土木事業部 土木部

\*\* 本社 土木事業本部 土木技術部

また、覆工板はピース間をボルトで接合して断面を併合後、隣接して覆工板を千鳥配置で組み立てる構造である (Fig.2 参照)。覆工板組立て後、既設覆工面との隙間に裏込めグラウトを注入する。

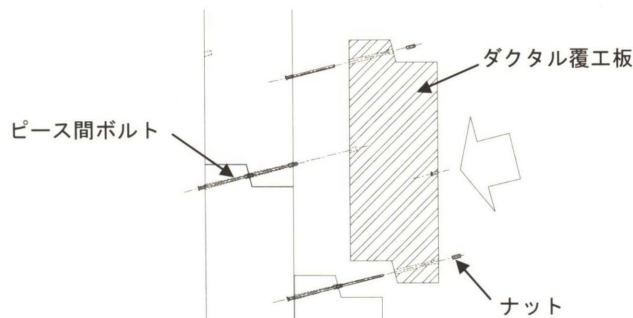


Fig. 2 ダクタイル覆工板組立て概要図

トンネル覆工のはく落荷重に対する補強設計は2リング梁バネモデルにより計算を行うものとし、リング間のせん断バネの値を求めるために、添接曲げ試験を行った。さらに、模擬トンネルを使った載荷試験及び仮組みによる施工性確認試験を行った。

その結果、開発した構造、施工法では、リング間のせん断バネ効果を十分に評価できないという問題が判明した。

## 2. 3 薄肉鋼製覆工板

### 2. 3. 1 概要

上記検討結果を受けて、覆工板の材質をダクタイルから鋼 (SS400) に変更して構造、施工性について検討を行った。平面形状は、ダクタイル板と同様幅 40 cm、長さ 1m、とし、厚さは、溶接ひずみの影響を考慮して 8mm とした。配置もダクタイル板と同様、千鳥配置とし、リング間のせん断力を確実に伝達できるように、覆工板の継手構造をリブの噛み合わせによる嵌合継手構造とした。向かい合うリブが一对となって正負どちらでもせん断力を伝達できる構造となっている。

覆工板を Photo. 2、組立て概要図を Fig. 3 に示す。

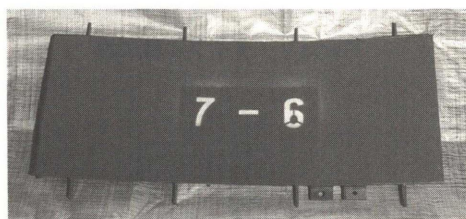


Photo. 2 薄肉鋼製覆工板

### 2. 3. 2 性能確認試験

リング間の継手はトンネル断面方向のせん断バネとしてモデル化する。せん断バネ定数は、荷重 P によるトンネル縦断方向の変形によるたわみ  $\delta$  により  $K=P/\delta$  から求める。ダクタイル覆工板同様添接曲げ試験、施工性

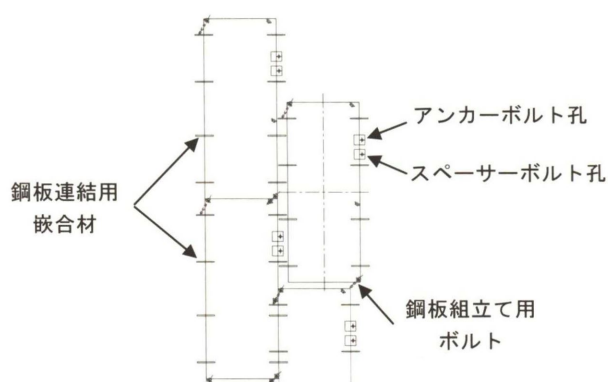


Fig. 3 薄肉鋼製覆工板組立て概要図

確認試験、載荷実験を行った。添接曲げ試験の概要図を Fig. 4 に、結果を Fig. 5 に示す。実験結果からリング間のせん断バネ定数を 1000kN/m とした。

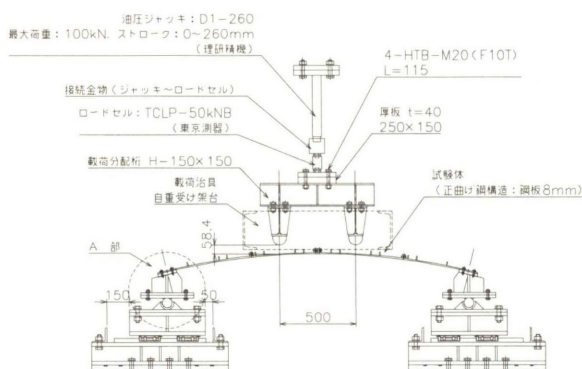


Fig. 4 添接曲げ試験概要図

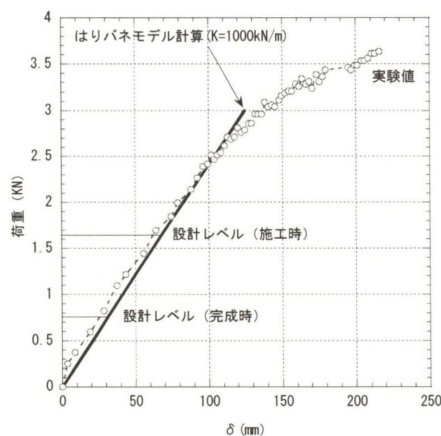


Fig. 5 添接曲げ試験結果

### 2. 3. 3 設計方法

#### (1) 設計荷重

施工時と供用時の設計荷重の組み合わせを Table 1 に示す。

#### (2) 材料物性

使用材料等の物性を Table 2 及び Table 3 に示す。

#### (3) 反力バネ

既設シールドトンネル周辺の地山、トンネル覆工、



裏込めグラウトを合成し、38MN/m<sup>2</sup>とし、引張力は負担しないノンテンションパネとした。

Table 1 薄肉鋼製覆工板の物性

荷重の種類	施工時 (短期)	供用時 (長期)
覆工板自重	○	○
裏込めグラウト注入圧	○	—
列車走行時風圧 (負圧)	○	○
裏込めグラウト自重	—	○
はく落荷重	—	○

Table 2 薄肉鋼製覆工板の物性

材質	許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )		静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
	長期	短期		
SS400	160	235	2.1 × 10 <sup>5</sup>	785

Table 3 裏込め充填材等の物性

材料	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	比重
裏込め充填材	—	6.6 × 10 <sup>2</sup>	2.14
既設覆工コンクリート	σ <sub>ck</sub> = 18	2.4 × 10 <sup>4</sup>	2.35

(4) 解析モデル

解析モデルは2リング梁パネモデルとし、覆工板を梁に、リング間継手をせん断パネに、ピース間をピン結合とした。(Fig. 6 参照)

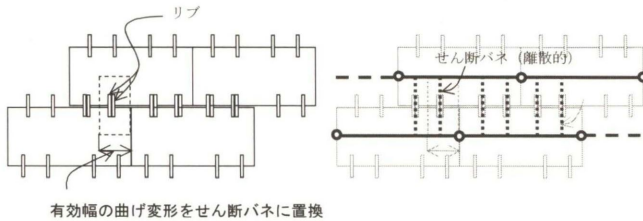


Fig. 6 覆工板の解析モデル化

薄肉鋼板補強工の施工フローを Fig. 7 に示す。

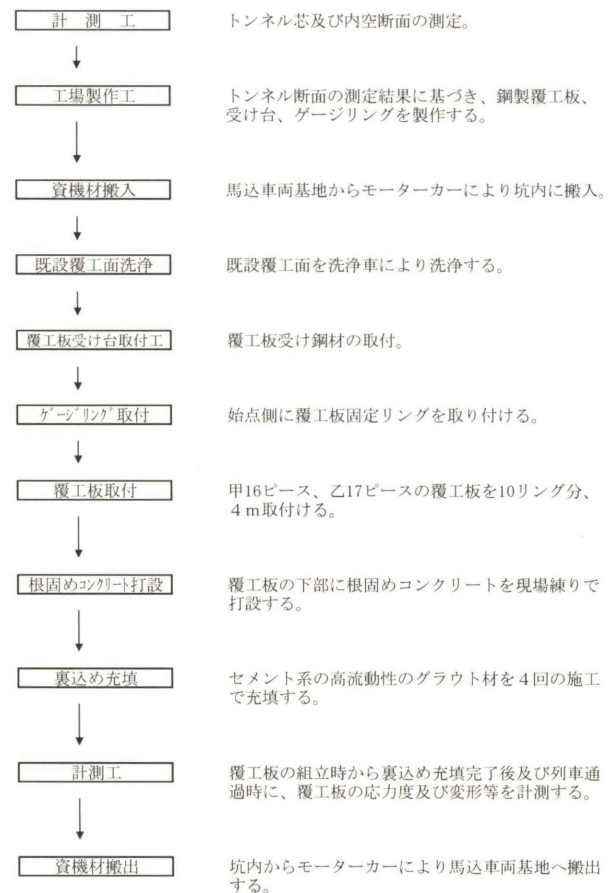


Fig. 7 薄肉鋼板補強工 施工フロー

3. 1 試験工事概要

試験工事を行う高輪シールドは旧名二本榎シールドトンネルと呼ばれ当社施工による都営地下鉄初のシールド工事 (1968 年竣工) であった。

以下に本工事の薄肉鋼板補強工概要を説明する。

この工法はシールドトンネル二次覆工の内面に薄肉鋼製覆工板を組立て3次覆工を形成する工法である。



Photo. 3 試験工事全景

3. 試験工事

都営地下鉄シールドトンネルの二次覆工ははく落防止対策として、浅草線高輪シールドトンネルにおいて試験的に

薄肉鋼板補強工法が採用され施工を行った。

ここでは本工法の施工性や所要性能などを実証することを目的とした。

以下に試験工事の概要ならびに施工フローを示す。

工事件名：高輪シールド強化工事

工事場所：都営地下鉄浅草線高輪シールド南行線  
五反田駅～高輪台駅間

発注者：東京都交通局

工期：平成 14 年 12 月 4 日～平成 15 年 3 月 14 日

試験工法：薄肉鋼板補強工 (覆工板取付工)

施工延長：4 m

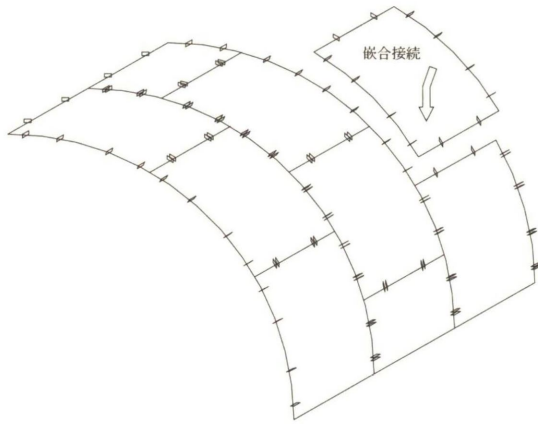


Fig. 8 薄肉鋼板組立図

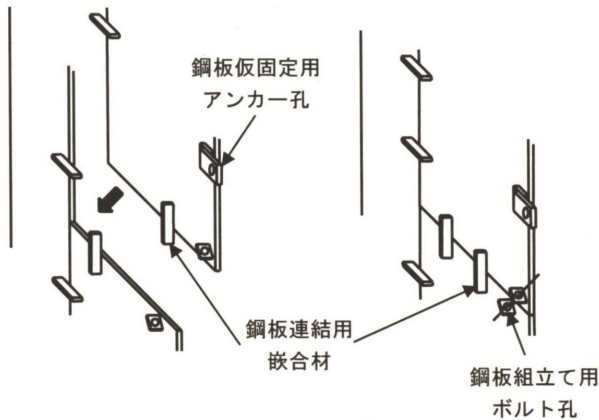


Fig. 9 薄肉鋼板組立詳細図

地下鉄営業線内の制約条件下での施工のため、人力施工を前提とした構造とした。

作業時間は電車架線の送電が停止する時間内であり、準備片付け時間を除くと、概ね1時30分から3時30分頃までの2時間足らずが作業時間である。

薄肉鋼製覆工板は板厚8mmで幅400mm長さ1,000mmで1枚あたり重量は27kgで人力組立ができる大きさとし、覆工板を千鳥配置リングを形成する。

継手は嵌合継手とし組立用にリング間とピース間を兼ねた仮設ボルトと、既設二次覆工にアンカーボルトにより仮固定する。また、アンカーボルトの隣に既設覆工との離隔調整を目的とするスペーサーボルトを設置する。

最後に覆工板背面に裏込グラウト材を注入し、覆工板を一体化する。

### 3. 2 試験工事施工

#### 3. 2. 1 測量工

既設シールドトンネルは真円構造でなく水平方向に扁平しているため、覆工板製作に先立ち施工区間の測量を行い、既設二次覆工の内空断面形状及び縦断勾配を測定した。

覆工板取付区間両端の軌道中心を基準測線とし測定間

隔は縦断方向に間隔1m以下、周方向に約5°ピッチ間隔とした (Fig. 10 参照)。

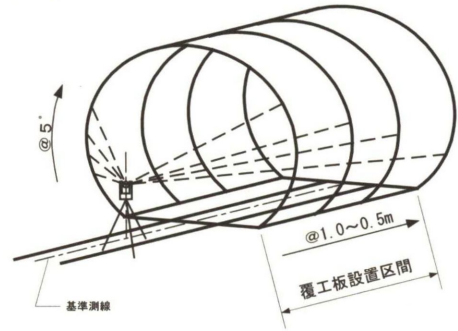


Fig. 10 トンネル測量略図

#### 3. 2. 2 計測工

覆工板組立完了時に変位計測機器を取り付け、裏込めグラウト充填時における覆工板の応力度ならびに変形等を計測した (Table 4, Fig. 11 参照)。

Table 4 計測項目及び時期

計測項目	使用機器	計測時期
鋼板の応力	ひずみゲージ	グラウト充填前・中・後、列車通過時
鋼板の内空変位	変位計 光波測距儀	グラウト充填前後
鋼板に作用する裏込めグラウト注入工	圧力計	グラウト充填中
裏込め注入材の水和熱による鋼板表面温度	熱電対	グラウト充填前・中・後列車通過時

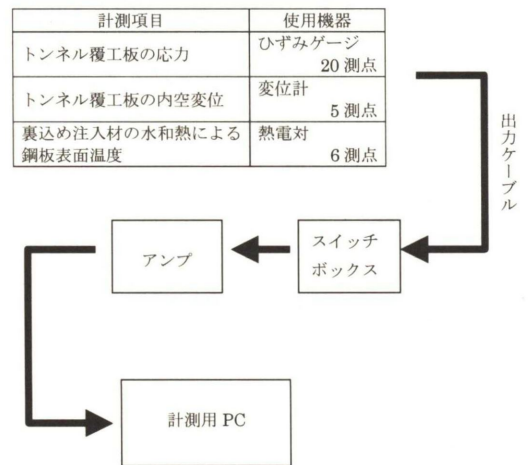


Fig. 11 計測システム

#### 3. 2. 3 薄肉鋼製覆工板取付

施工はすべて軌道用高所作業車上で行ったが、覆工板パネル重量が軽く (27kg) 嵌合継手と組立用ボルトでの固定で組立てるため高所作業車上での施工性は良好であった。高所作業車で作業できない箇所 (スプリングライン付近) については補助的に足場を組立てて施工した (Photo. 4 参照)。





Photo. 4 覆工板取付状況

### 3. 2. 4 裏込めグラウト注入

裏込めグラウト注入は覆工板製作時に設置した1インチの注入孔より自然流下方式により充填を行った。

中央部の注入孔のほか両端に点検孔を設置し裏込めグラウト注入材の充填溢流を確認した。

裏込めグラウトは地下鉄営業線内施工という条件下で、注入完了後から始発電車通過時までの時間内に硬化する早強性とグラウト硬化後の無収縮性を備えた材料を選定した (Table 5, Table 6 参照)。

Table 5 裏込めグラウト材料

使用材料	名称	性質
主材	エッセイパー-F2	フレックス無収縮グラウト材
硬化促進剤	コンプラストNC	淡黄色透明水溶液 pH: 10±1、塩化物: なし

Table 6 裏込めグラウト 1m3 あたり配合 単位:kg

水	エッセイパー-F2	コンプラスト NC
337.5	1875	112.5

グラウト注入は1回の充填高さを1.5m以下に設定し4回に分けて裏込めグラウト注入を行ったが、懸念された覆工板の変形、目地部からの裏込め材料の流出は確認されなかった (Fig. 12 参照)。

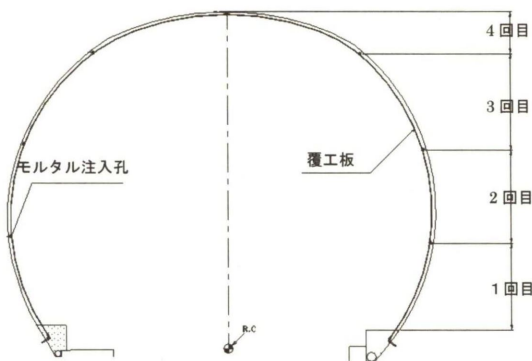


Fig. 12 裏込めグラウト注入打設リフト

覆工板の応力度については、計測した最大応力度が  $32.8\text{N/mm}^2$  であり、覆工板の短期許容応力度  $240\text{N/mm}^2$  と比べ十分安全であることを確認した。列車通過に伴う発生応力度は最大  $0.8\text{N/mm}^2$  であり、振動や風圧による影響は殆ど無い事を確認した。また覆工板表面温度の測定結果をもとに測定ひずみ補正を行った。

覆工板の最大内空変位は裏込め注入時に  $3\text{mm}$  であり事前検討の最大変位  $2.4\text{mm}$  と良い一致を示した。

裏込めグラウト注入時の注入圧は作業中  $0.0\text{MPa}$  を指したままであり、安全に無圧充填を行うことができた。

### 3. 3 試験工事まとめ

この試験工事は延長4mの施工であったが、薄肉鋼製覆工板の取付けや裏込めグラウト材注入など全般を通して良好な施工ができ、営業線内という制約条件下で人力施工による薄肉鋼板補強工法が有効であることを確認した。

また、各計測工の結果より、事前検討の解析値と施工時の計測値について良い一致を示しており、薄肉鋼板補強工法の解析に用いる構造モデルの妥当性を確認した。

次に同工法を本格施工する場合の残された課題点について以下の点が挙げられた。

<今後の課題点>

- ① 薄肉鋼製覆工板の最大応力度に余裕があるため裏込めグラウト注入の打設リフトを見直しする。
- ② 裏込めグラウト材の配合条件は冬季で外気  $5^\circ\text{C}$  を前提としているため、施工時期や諸条件により配合を見直しする。
- ③ 平面曲線区間や縦断勾配区間にわたって施工延長が伸びる場合の薄肉鋼製覆工板設計・製作時の工夫が必要となる。(テーパー等の調整など)
- ④ 薄肉鋼製覆工板と既設覆工との離隔調整用のスペーサーボルトは、仮固定のアンカーボルトにより機能が代用できるため廃止する。
- ⑤ 覆工板の幅を広くし施工リング数を減ずる。

## 4. 本工事

営業線である都営新宿線新宿シールド真上に新線建設工事である地下鉄13号線新宿三丁目駅の開削工事が斜めに交差し、現在施工が進められている。新宿シールドは建設時に地下鉄13号線交差部について補強二次覆工が施工されており構造的な問題は無いものの、13号線構築と新宿シールドとの最小離隔は  $113\text{mm}$  であり、築造後30年近く経過した新宿シールドの二次覆工剥落対策が求められた (Fig. 13, 14 参照)。

このため前述の試験工事实績を踏まえ、新宿シールドの覆工剥落対策工として薄肉鋼板補強工法が採用され当社施工に至った。



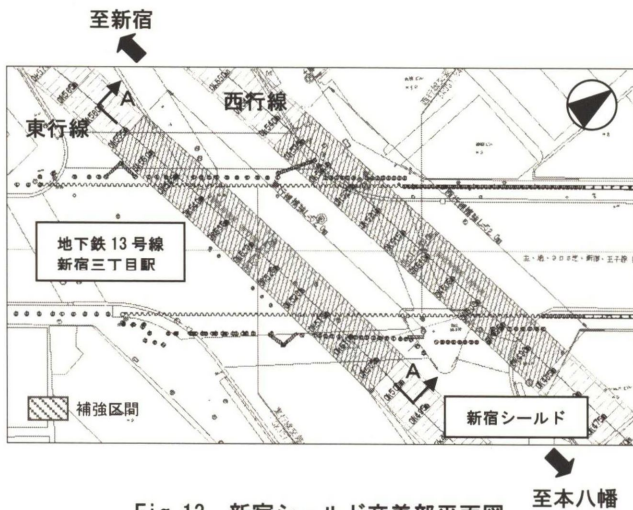


Fig. 13 新宿シールド交差部平面図

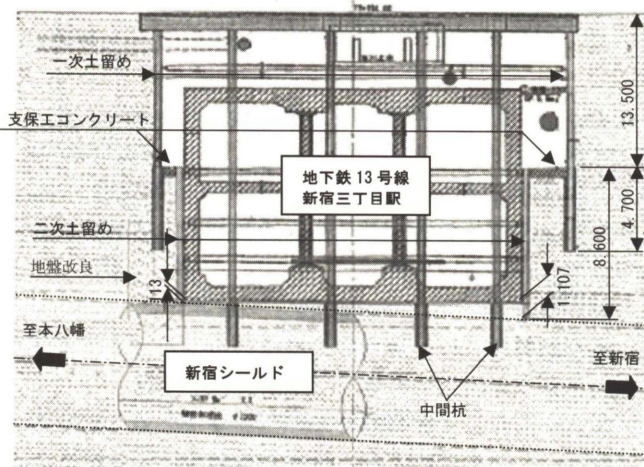


Fig. 14 新宿シールド交差部標準断面図 (A-A断面)

#### 4. 1 本工事概要

工事件名：地下鉄13号線交差に伴う新宿シールド覆工板設置工事

工事場所：都営新宿線新宿シールド東行線・西行線 新宿駅～新宿三丁目駅間 延長104m

発注者：東京都交通局

工期：自)平成16年6月30日

至)平成17年8月31日

本工事の薄肉鋼板補強工法の特徴は以下の通り。

- 薄肉鋼製覆工板を組立てる構造で接合ボルトや溶接が不要のため営業線内の制約条件下における人力施工で組立が可能。
- 事前の縦横断面測定の結果を基に工場製作するため曲線区間や急勾配区間のトンネルにおいても組立精度が高く信頼性がある。
- 薄肉鋼製覆工板との間に裏込めグラウト材を注入することにより、周辺が拘束された自立アーチ構として高い耐荷力を有する。
- 既設二次覆工内面に鋼製の三次覆工を形成し将来にわたり維持管理が不要となり耐久性の高い補強

対策として機能する。

また、試験工事を受けて本工事を以下の点について改善見直した。

- 裏込めグラウト注入の打設ステップを3回として1回あたり注入打上がり高さを増した。
  - 新宿線トンネル内は強制換気設備により季節期間を問わず気温がほぼ一定(25℃前後)であるため裏込めグラウト材の配合条件を見直した。
  - 縦断勾配及び平面曲線に対応するため、外回りの西行線側で1リング分、内回りの東行線側で4リング分のテーパリングを設けた。
  - 組立進行に伴う精度誤差やズレ量を吸収するため、スライド式調整リングを東西行線に各2リングずつ設けた。
  - 薄肉鋼製覆工板パネル単体について、覆工板幅を400mmから500mmに変更した。
- また、スペーサーボルトを廃止し施工性を高めた。

#### 4. 2 構造計算概要

薄肉鋼製覆工板組立後のアーチ構造体についてFig. 15のような梁ばねモデルを想定し解析を行った。アーチ構造体のうちピース間継手はピン構造とし、リング間継手は相互の嵌合継手をばね構造に置換えた(Fig. 16)。

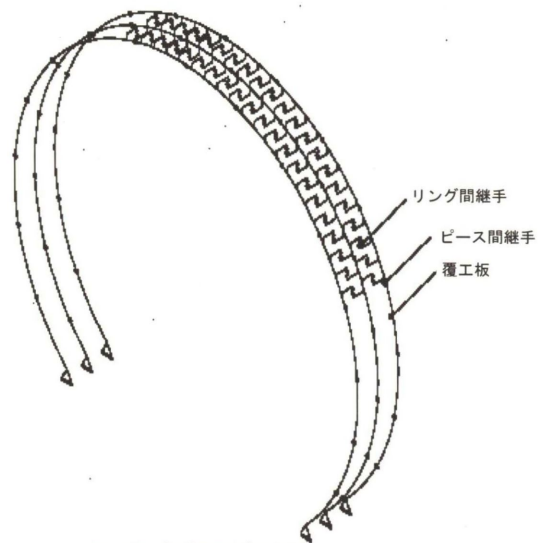


Fig. 15 解析モデル図

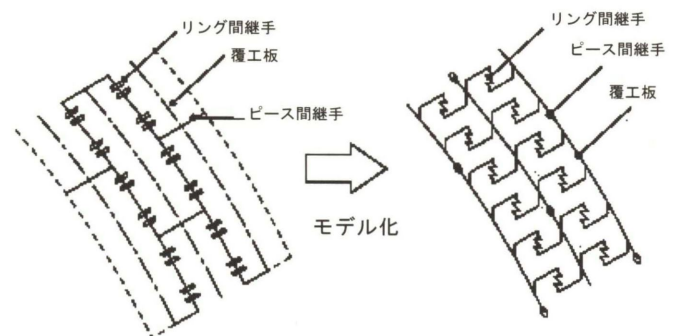


Fig. 16 アーチ構造体の梁ばね解析モデル



また支点条件について、施工時においては二次覆工に取付けたアンカーボルトにより引張及び圧縮の反力を受け持つ構造とし、裏面グラウト充填完成後においては圧縮反力のみ受け持つアーチ構造体を拘束する等価反力ばねにより支持される構造とした (Fig. 17 参照)。

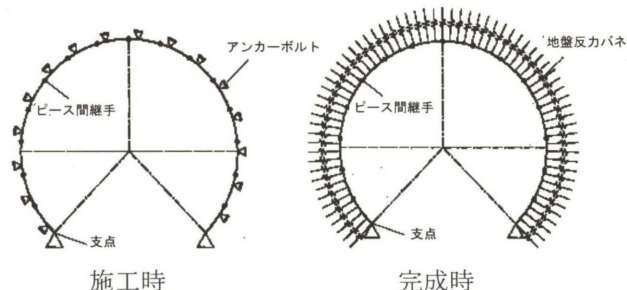


Fig. 17 解析モデル支点条件

下記の解析ケースについて以下の検討を行った。

・施工時 3 ケース

- ①裏込めグラウト注入時 1 段目 (0m~2.158m 間)
- ②裏込めグラウト注入時 2 段目 (2.158m~4.186m 間)
- ③裏込めグラウト注入時 3 段目 (4.186m~4.676m 間)

・完成時 2 ケース

- ④覆工部分剥落発生時 (幅 1m 周長 2m 厚 25cm) 中央
- ⑤覆工部分剥落発生時 (幅 1m 周長 2m 厚 25cm) 偏心

検討の結果発生最大曲げ応力度 (施工時ケース①) において  $208.6\text{N/mm}^2$  となり短期許容曲げ応力  $240\text{N/mm}^2$  を下回った。

またリング間継手部において嵌合継手溶接箇所許容耐力に対しての照査、ならびにアンカーボルト部の支点反力及び引抜力の照査を行ったが発生応力は許容値未満であったことから、薄肉鋼板補強工のアーチ構造体について安全性を確認できた。

### 4. 3 薄肉鋼板補強工概要

薄肉鋼製覆工板アーチ構造体は、厚  $8\text{mm}$  × 幅  $500\text{mm}$  × 長さ  $1,000\text{mm}$  の覆工板により甲組 14 分割、乙組 13 分割で構造体を形成する。

また、試験工事後の見直し事項を受けてテーパリングならびに調整リングを設置している。既設二次覆工と覆工板との間に  $50\text{mm}$  の離隔を設け、その隙間に裏面グラウトを充填することにより覆工板の密着性を確保し、既設二次覆工の剥落防止、補強を施す構造である。

### 4. 4 施工前性能確認試験

裏込めグラウト注入時における覆工板目地の止水性ならびにグラウト注入時の充填性確認のため実証試験を行った。

覆工板目地を模した試験装置内にグラウト材を加圧注入し目地止水スポンジの止水性を確認した。加圧はグラウト注入時の最大液圧 (充填高  $3\text{m}$  × 比重  $2.1$ )  $0.063\text{MPa}$  ( $61.7\text{kN/m}^2$ ) を上回る  $0.1\text{MPa}$  ( $98\text{kN/m}^2$ ) まで実施した。

この結果、スポンジより微量の滲出が確認されたが目地止水スポンジ性能に問題なしと判定された。

また、幅  $30\text{cm}$  × 長  $50\text{cm}$  × 高  $40\text{cm}$  の水槽に、側面の隙間が  $10\text{mm}$  となるよう内型枠を設置した試験器具の片側からグラウトを流し込んで、流動性能を確認した。この結果から、グラウトの可使用時間内であれば注入孔からの流動性は良好でセルフレベルリング性は確保できると判定された。

## 4. 5 本工事施工

### 4. 5. 1 測量工

試験工事と同様に覆工板製作に先立ち、施工区間の測量を行い、既設二次覆工の内空断面形状及び縦断勾配を実測した。覆工板取付区間両端の軌道中心を基準測線とし測定間隔は縦断方向に  $5\text{m}$ 、周方向に約  $5^\circ$  ピッチ間隔とした。新宿シールドは、1977 年竣工とトンネルで内空出来形はほぼ真円であるため、縦断方向の測量間隔を  $5\text{m}$  ピッチとした。

また、施工箇所は急勾配区間 ( $35\%$ ) 及び曲線区間 ( $350\text{R}$ ) があるため、覆工板製作精度及び組立精度が要求されることから測量結果を検討し設計と製作に反映させた。

### 4. 5. 2 薄肉鋼製覆工板取付

作業は下図のようにトンネル構内軌道上にて枠組足場を日々組立・解体し作業床を確保した (Fig. 18 参照)。

覆工板取付けは覆工板取付範囲の中央部より両端部に向かって取付けを進行させた。最初の覆工板取付けは、定規リングとして機能するゲージリングを取付けた。

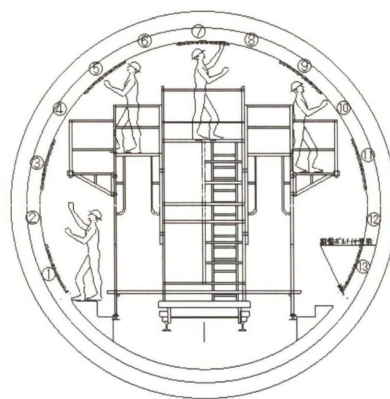


Fig. 18 作業足場図

ゲージリング以後の覆工板取付けは、組立て完了している覆工板リングアーチ部に沿って内面を平滑に保ちながら順次組立てを行った。

また、測量成果を基に、取付ける覆工板と既設二次覆工との離隔を計算し、組立て精度の向上に役立てた。

覆工板は新宿線大島車両基地にて、軌道モーターカーにて牽引されたトロ貨車に積み込み、電車架線送電停止



後の深夜に運搬し施工現場に搬入仮置きした。

工期確保及び作業効率化を図るため、1基の足場上に2班の作業班を配置し、覆工板リングアーチを1日2リングずつ組立てた(Photo. 5 参照)。



Photo. 5 覆工板取付施工状況

覆工板取付範囲のうちアーチクラウン部の一部に電車架線の吊金物が添架されており覆工板をアーチ状に組立てられない箇所が存在する。このような場所ではリングアーチ効果を補完し長期的な安定性を確保するため、開口部裏面に補強鉄筋を配置した(Fig. 19 参照)。

また、架線開口部の補強については、アラミド繊維シート接着による補強工を実施した(Photo. 6 参照)。

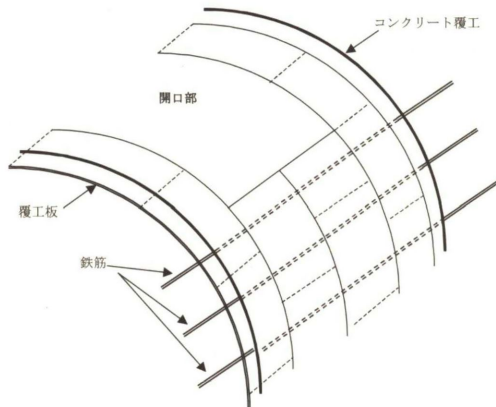


Fig. 19 開口部補強鉄筋配置概要図

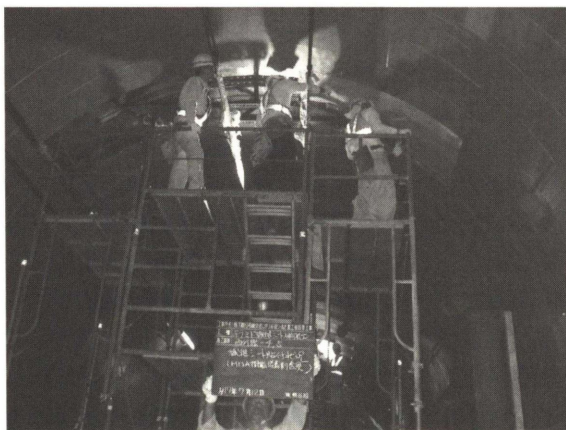


Photo. 6 アラミド繊維シート補強施工状況

#### 4. 5. 3 根固コンクリート打設

薄肉鋼製覆工板取付完了後、覆工板リングアーチ受梁及び受梁用アンカーボルトを保護する根固コンクリートを打設した。

コンクリートは工場供給のレディーミクストコンクリートの使用が困難であるため、軌道モーターカーに牽引されたトロ貨車上に車上プラントを設け、現場練りにてコンクリート練混と打設を行った(Photo. 7 参照)。

1日あたり打設量は1.0m<sup>3</sup>~1.5m<sup>3</sup>程度であった。

コンクリート配合は早強コンクリート( $\sigma_{ck}=18N/mm^2$ )とし、硬化時間を早めて列車通過時の風圧や振動による悪影響を低減した。

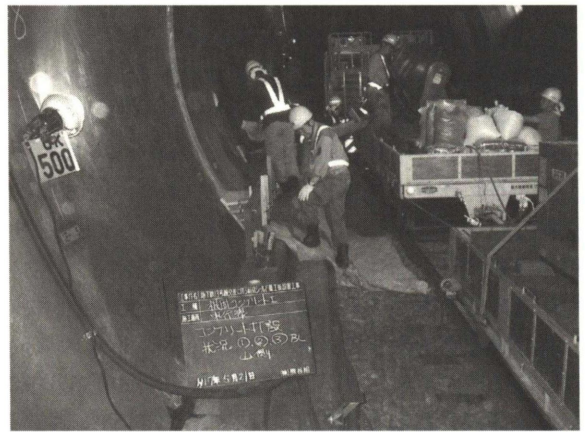


Photo. 7 根固コンクリート練混・打設状況

#### 4. 5. 4 裏込めグラウト注入

根固コンクリート打設硬化後、裏込めグラウト注入を施工した。

グラウト材は地下鉄営業線内施工という制約条件により可使用時間が60分以下と早強性の配合となっている。可使用時間内でグラウト注入の打設高さ管理を確実に行う必要があるため、裏込めグラウト注入を東西行線それぞれに注入範囲を9ブロックに分割した。覆工板裏面の注入ブロックの仕切りは、発砲ウレタンのバックアップ材に樹脂系止水ボンドにより妻止めを施工した。

また、グラウト材配合は試験工事時と比較して外気温が常時25℃前後のため硬化促進剤を減じた配合とし試験練りにてその性能を確認した(Table 7 参照)。

Table 7 裏込めグラウト配合 単位: kg

	水	エセイパーF2	コンプラストNC
試験工事	337.5	1875	112.5
本工事	345	1800	54

裏込めグラウト注入は軌道モーターカーに牽引されたトロ貨車上に車上プラントを設け、袋体のグラウト材(1m<sup>3</sup>あたり20kg入×72袋)所要注入量分を、新宿線車両基地内にて毎日積み込み、施工現場まで運搬し練混ぜ注入を行った(Photo. 8 参照)。



1日あたり注入量は最大で2.0m<sup>3</sup>程度であった。

グラウト注入作業中は、注入液圧による覆工板リングアーチの変形の有無を確認するため、レーザー式測距器にて常時測定を行い監視した。

覆工板裏込めグラウトの注入充填性確認は以下の各段階にて確認作業を行った (Photo. 9 参照)。

- ①グラウト注入時の点検ハンマーによる打音確認
- ②最上部のエア抜ホースよりグラウトの溢流確認
- ③グラウト硬化後の点検ハンマーによる打音確認
- ④グラウト硬化後の注入孔及び点検孔の目視確認



Photo. 8 裏込めグラウト注入状況



Photo. 9 裏込めグラウト硬化後打音確認状況

グラウト硬化後の打音確認の際、覆工板の歪みや微小な変位によって局部的に覆工板裏面とグラウト材との肌離れ現象によって異音を確認される箇所があったが、電動ドリルにて覆工板に直接孔明けを行い充填を目視確認した。

以上の作業の結果、薄肉鋼板裏面と既設覆工との間は、空隙は無くグラウトが確実に充填されていることを確認した。

本工事の施工前後の全景を Photo. 10, 11 に示す。

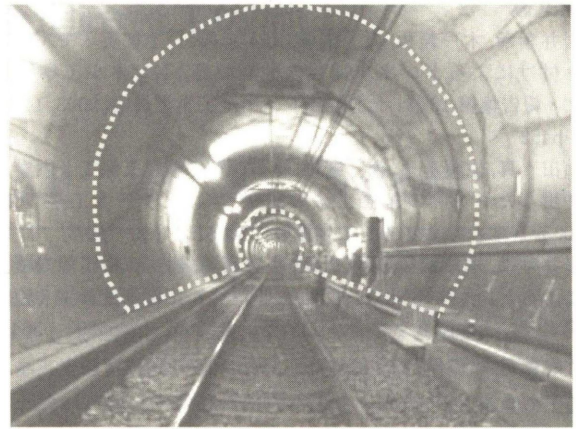


Photo. 10 本工事施工前



Photo. 11 本工事施工完了時

## 5. おわりに

地下鉄営業線内工事で制約条件が多く施工も長期間にわたったが所定の性能品質を満足する成果が得られ発注者からも高い評価を受けた。

本工事のように高度経済成長期に築造された土木構造物が更新時期を迎え、供用年数の向上や劣化抑制のための補修補強工事は今後増大することが予想されるが本報文が類似工事の参考になれば幸いである。

## 6. 謝辞

東京都交通局大島保線管理所には適切な指導を頂き無事に工事完了できた事を、また地下鉄13号線交差に伴う新宿シールド補強工事技術検討委員会委員長を始め委員の方々には、工事全般にわたり多大な助言を頂戴した事を、厚く御礼申し上げます。

また計画、設計、施工に至るまでご協力いただいた関係者の皆様に心より感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 岩井孝幸, 木戸義和, 森 康雄, 山本忠典, 戸上郁英: モルタル吹き付けによるトンネル補強の性能評価, トンネル工学研究論文・報告集第 13 巻, 土木学会トンネル工学委員会, 2003. 11, p447～p452
- 2) 濱田 真, 佐藤孝一, 森 康雄, 緒方昭彦: 鋼製支保工と内巻工を併用したトンネル補強工法の開発, コンクリート工学 VOL. 43 NO. 3, 日本コンクリート工学協会, 2005. 3, p19～p27
- 3) 岩井孝幸, 木戸義和, 森 康雄, 小寺 満, 菊 広樹: 薄肉覆工板によるトンネル補強工法の開発, トンネル工学研究論文・報告集第 12 巻, 土木学会トンネル工学委員会, 2002. 11, p559～p564  
竹内貴司, 広沢規行, 今福健一郎, 桐山和晃: 構成薄肉トンネル補強工の開発と施工事例, トンネルリニューアルのトータルエンジニアリング, 日本プロジェクト・リサーチ, 2003. 11, p69～85
- 4) トンネル保守マニュアル (案) 平成 12 年 5 月 財団法人鉄道総合技術研究所
- 5) 高輪シールド強化工事工事報告書 平成 15 年 5 月 東京都交通局建設工務部保線課・(株)熊谷組
- 6) シールドトンネル二次覆工補修工法の検討 報告書 (東京都交通局殿委託) 平成 15 年 3 月 財団法人鉄道総合技術研究所

---

## Reports on construction of reinforcement at the subway shield tunnel lining by the thin steel board panel

Takao YOKOTA, Hideki AIMI, Junji KAWABATA and Yasuo MORI

### Abstract

Recently, old subway shield tunnel is feared by flaking and partial falling of the second lining (made by concrete) influences of the aged deterioration or the adjacent and intersection of new subway line construction. The typical measures to prevent flaking and partial falling are inner reinforcement with carbon fiber sheet or by steel arch or mortar, etc. This paper reports newly developed thin steel panel reinforcement method applied for operating subway system. Concept of development, testing work and actual construction work is introduced herein.

Keywords : Tunnel , Lining , Reinforcement , Steel board panel

---