

トンネル覆工・内装板同時施工法の開発

井 上 博 之 ^{*1} 南 浩 輔 ^{*1}
 足 立 宏 美 ^{*2} 小 西 一 徳 ^{*2}

要 旨

現在トンネル建設工事は、掘削・覆工までをトンネル施工業者に、その後の舗装工事や付帯設備設置工はそれぞれの専門業者に出されている。

内装板の設置は、従来はパネル浮かし張り法が多く用いられてきたが、平成9年からタイルやパネルを覆工コンクリートに直接固定する施工法（＝直張り工法）が認められるようになった。

そこで、覆工コンクリート打設時に内装板を同時に設置できれば、覆工完成後に別業者が直張りする場合に比べ、建設事業として工期短縮とコスト縮減が図れ、また覆工と内装板との密着性が向上するので、剥離なども少なくなり耐久性も向上すると考えた。

今回、加久藤南トンネル避難坑において、覆工・内装板同時施工法を実施し、施工法の問題点および本工法の適用性を検証した。その結果、本工法は十分に実用化可能と判断できることが分かった。

キーワード 内装板 / 覆工 / シートサイズ / シート固定方法 / 目地材料 / 接着強度

目 次

- | | |
|------------|-----------|
| 1．はじめに | 5．タイル接着強度 |
| 2．先付け工法の選定 | 6．施工費 |
| 3．現場施工試験 | 7．おわりに |
| 4．試験結果 | |

DEVELOPMENT OF SIMULTANEOUS CONSTRUCTION METHOD
 OF TUNNEL LINING AND A CLADDING PANEL

Hiroyuki INOUE Kosuke MINAMI
Hiromi ADACHI Kazunori KONISHI

Synopsis:

Now, an excavation and a lining activity in tunnel construction are entrusted to a tunneling supplier. And a pavement construction and equipment work of accompanying are entrusted to other special suppliers.

Conventionally, the paneling that is not contact with tunnel lining has been used as installation of a cladding panel. However, an application method to fix the tile or panel in lining concrete directly became to be recognized since 1997 in Japan.

Thus we regarded a construction method that could establish a cladding panel simultaneously with lining concrete. This method is better than a conventional method for adherence of lining and a cladding panel from the viewpoints of construction cost and period etc.

This time, we executed lining and cladding panel simultaneous construction method in an evacuation tunnel of a Kakutoh tunnel. And, we inspected some problems of this method and applicability of the method of construction. As a result, we understood that we could judge that, the method of lining and cladding panel simultaneous construction could be enough in use.

* 1 本店 技術本部 技術研究所 * 2 九州支店 道路公団加久藤南作業所

1. はじめに

現在トンネル建設工事の発注は、掘削・覆工までがトンネル施工業者に、その後の舗装工事や付帯設備設置工はそれぞれの専門業者に出されている。

付帯設備の中に内装板がある。内装板の設置は、従来はパネル浮かし張り法が多く用いられてきたが、平成9年からタイルやパネルを覆工コンクリートに直接固定する直張りが施工法として認められるようになった。

そこで、覆工コンクリート打設時に内装板を同時に設置できれば、覆工完成後に別業者が直張りする場合に比べ、建設事業として工期短縮とコスト縮減が図れ、また覆工と内装板との密着性が向上するので、剥離なども少なくなり耐久性も向上すると考えた。

今回、加久藤南トンネル避難坑において、覆工・内装板同時施工法を実施し、施工法の問題点を調査し、本工法の適用性を検証したので報告する。

2. 先付け工法の選定

直張り材として、今回はタイルを用いることにした。その理由は、タイルをコンクリート打設と同時に設置する方法が既にビル等の建築構造物で一部採用されており、

参考にできると考えたからである。建築工事でのタイルとコンクリートの同時施工法は、タイル先付け工法と呼ばれており、図-1 のように分類されている。

PC 板先付け工法は、確実性はあるが、PC 板の厚さが最小でも 150mm となるため巻き厚とのかねあいが問題となる。また、曲線製作に伴い高価になると考えられ、重量も重くなるので今回の検討項目からは除外した。

型枠先付け工法には3種類の工法があるが、この中でトンネル覆工との同時施工に最も適していると考えられるのが、タイルシート法である。

タイルシート法とは、タイルを多数個、紙または樹脂フィルム、ベニヤ等で連結裏打ちし、所定の目地幅と目地深さが得られるように加工したタイルユニットを現場で型枠に取り付け、ここにコンクリートを打設し、型枠除去後、ユニットを構成する副資材を引き剥がすと、躯体にタイルが打ち込まれた状態で残るという工法である【写真-1 参照】。

写真-2 に、今回用いたタイルシートを示す。100mm × 200mm のタイルを9枚並べたものを基本形（シートA）として用いた。

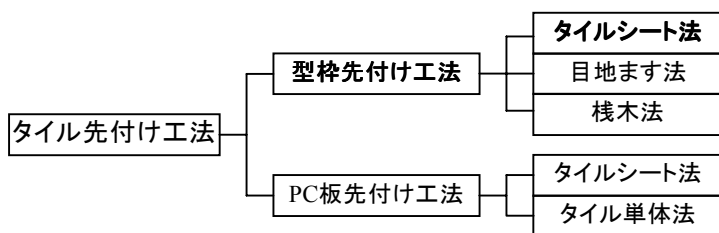


図-1 タイル先付け工法

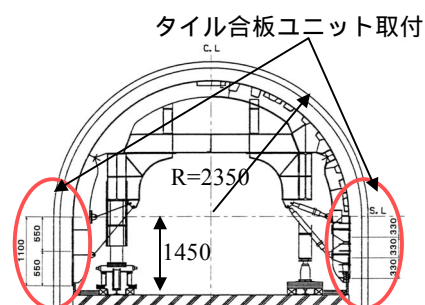


図-2 避難坑標準断面(セントルセット時)



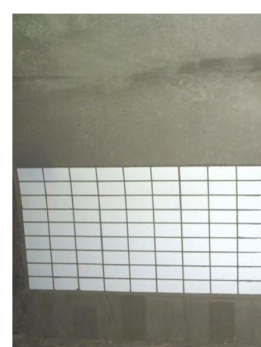
タイルシート設置



覆工打設



セントルダウン(副資材除去)



タイル打ち上がり

写真-1 施工手順

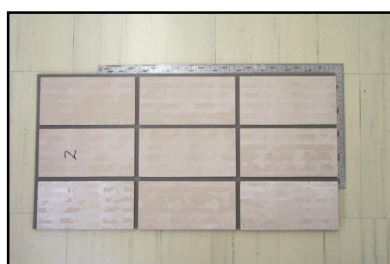


写真-2 タイルシートの概要（左：タイル側,中央：ベニヤ側,右：タイル側<拡大>）

表-1 覆工・内装板同時施工法の試験項目と目的

試験項目	目的	試験内容	測定項目
シートサイズ比較試験	シートサイズ・ベニヤ厚の違いによる施工性と品質の確認	- 縦 330×横 630, t=3(シート A)を用いた試験 打設箇所：右側壁、曲線+S.L.以下直線部分 高さ=0.99m, 幅=9.45m 布設 - 縦 550×横 630, t=5(シート B)を用いた試験 打設箇所：左側壁、曲線+S.L.以下直線部分 高さ=1.10m, 幅=11.34m 布設	- 品質（目地状態） 目地間隔・通し・ノロ等 - 引張り接着強度試験 （建研式引張り試験機） 規格：0.40N/mm²以上
シート固定方法比較試験	セントルへのシート固定法の違いによる施工性と品質の確認	- 木ネジでセントルに固定 [予めセントル外面にコンパネを設置] シート A：高さ=0.99m, 幅=5.67m シート B：高さ=1.10m, 幅=6.30m - 目地の間にワイヤーを這わせセントルに固定 シート A：高さ=0.99m, 幅=3.78m シート B：高さ=1.10m, 幅=5.04m	
目地材料比較試験	目地材料の違いが目地の仕上がり程度に及ぼす影響の確認	- 通常目地使用 シート A：高さ=0.99m, 幅=1.89m - 吸水目地使用 シート A：高さ=0.99m, 幅=7.56m	

3．現場施工試験

施工試験は加久藤トンネル避難坑で実施した。避難坑断面を図-2 に示す。トンネル直径は 4.7m で上半半径は 2.35m と 2 車線トンネルに比べ小さいため、極力 S.L. 以下の直線部を使用して実験を行った。

今回の試験目的を以下に示す。また、各発注機関で内装板について規格があるが、今回は道路公団のトンネル内装工設計要領の規格に基づいて使用タイルや接着強度を設定した。

< 試験の目的 >

実施工におけるトンネル覆工・内装板同時施工法の問題点の把握

タイルシートサイズの違いによる作業性と品質の確認
タイルシートのセントルへの固定方法の違いによる作業性と品質の確認

目地材の違いが目地仕上がり程度に及ぼす影響の確認

表-1 には、試験項目と目的を示すが、今回は大きく 3 つの項目について試験を行い、コンクリート打設区間としては、2 ブロックを用いた。

3.1 シートサイズ比較試験

写真-3 に示すように、9 枚のタイルを貼った基本形（シート A と呼ぶ）と 15 枚のタイルを貼ったやや大きめのタイルシート（シート B と呼ぶ）を準備し、その施工性と品質の確認を行なった。タイルシートは大きい方が設置する枚数が少なく、シート間の目地が少なくなり、美観は向上するが、逆に重量が重くなり、人力での設置が大変で仕上がりが悪くなることが考えられた。この点を検討するために実施した。

用いたシートの詳細を下記に示す。

シート A：タイル 9 枚を 1 枚のシートに貼ったもの。

目地は縦、水平とも 10mm 間隔。

重量：約 4.6kgf / 枚、ベニヤ厚：3.0mm

シート B：タイル 15 枚を 1 枚のシートに貼ったもの。

目地は縦、水平とも 10mm 間隔。

重量：約 8.2kgf / 枚、ベニヤ厚：5.0mm

公団規格では目地は縦目地 5.0mm、水平目地 4.0mm を標準ととなっているが、今回は最初の試験のため、目地幅には拘らないこととした。

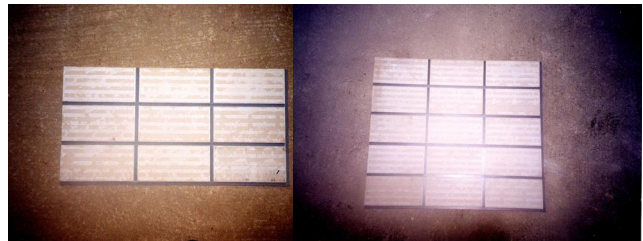


写真-3 タイルシート(左：シート A, 右：シート B)

3.2 シート固定方法比較試験

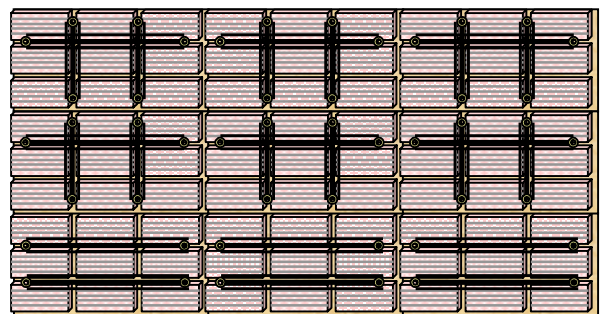


図-3 番線止めによるタイルシートの固定

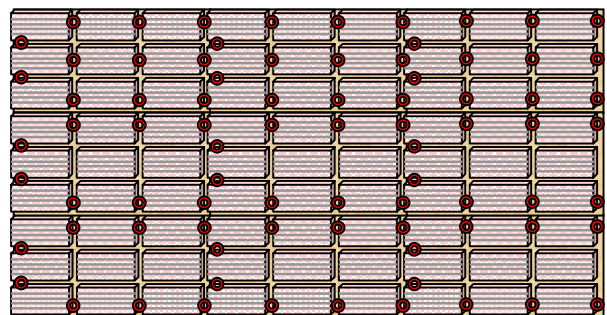


図-4 木ネジ止めによるタイルシートの固定

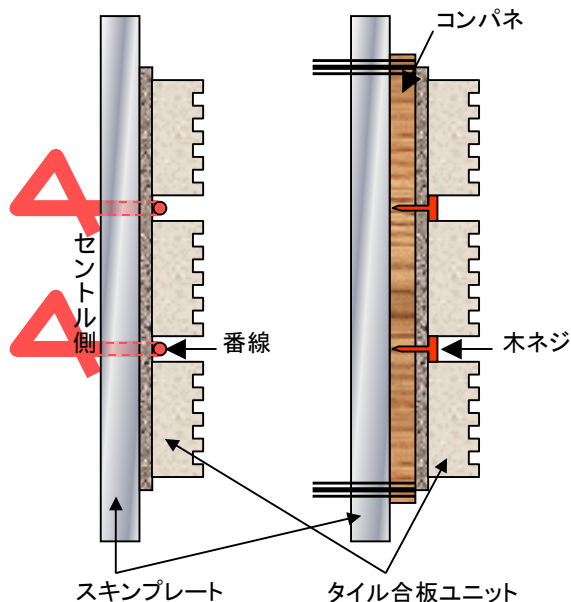


図-5 タイルシート固定方法断面図
(左図：番線止め、右図：木ネジ止め)

番線および木ネジの設置間隔はタイルシートがセントルに密着固定される最低本数とし、設置箇所およびシート状態により適時判断した。

セントルへのタイルシート固定方法は、早く簡単で且つ固定が確保できる方法が望ましい。事前検討で、番線と木ネジによる固定の 2 種類が有望と考えられたので、両者の施工性と固定状況を確認した。

番線による固定【図-3、5 参照】

タイルシート目地部分に線材(番線)を這わせ、セントル内側から番線を引っ張ることでタイルシートをセントル外周面に固定した。

木ネジによる固定【図-4、5 参照】

セントルにコンパネを設置し、タイルシートを目地部分に木ネジを打ち込み固定した。木ネジは縦・水平目地に打ち込むものとした。

3.3 目地材料比較試験

目地部の仕上がりも平滑なことが規格では要求されている。タイルシート法では、目地部にはモルタル分が充填されるので、その水分をはじくか吸うかで仕上がり状況が異なると想定された。そこで、目地材料の違いによる仕上がり具合を確認するため、下記の 2 種類の目地材料を用いた比較試験を実施した。

通常目地材（吸水性なし）

吸水目地材（吸水性あり）

4. 試験結果

今回は、シートサイズの比較試験、固定方法の比較試験、目地材の比較試験を実施した。表-2 には測定項目と設定条件を示す。この表に従って試験結果を評価した。

以下にそれぞれの試験結果を示す。

表-2 測定項目と設定

測定項目	設定	判定
シート継ぎ目	シート継ぎ目の通しが出ている	目視
目地間隔	設定目地間隔 10mm ±2mm 以内	測定 (コンパックス)
目地仕上がり	手張りと同レベルの仕上がり	目視
タイル通し	タイルの通しが出ている	目視
ノロまわり	タイル表面全体にノロがまわらない(脱型可能)	目視
タイル破損状況	90%以上のタイルが打設されている	破損枚数 測定
施工性	実施工を満足する施工性を持つ	作業状況 観察

4.1 シートサイズ比較試験結果

表-3 測定項目と評価

シート A 330 × 630, t=3	測定項目	シート B 550 × 630, t=5
○	シート継ぎ目	○
○	目地間隔	○
○	目地仕上がり	○
○	タイル通し	○
○	ノロまわり	○
打設完遂率 100%	タイル破損状況	打設完遂率 97%
○	施工性	○

表-3 には打設後の観察による 2 種類のシートの評価結果を示す。

表-3 に示すように、シート A はタイルの欠落・破損もなく非常に良い仕上がりとなった【写真-4 参照】。しかし、問題点として、実施工には耐えうるが、シートサイズが小さいため数多く固定作業を行なう必要があり、設置位置にあわせてシートサイズを変更し、作業効率を向上させるような改良が必要と考えられた。

シート B では、数枚のタイルの欠落・破損が若干見られる結果となった【写真-5 参照】。タイルの欠落の原因は、タイルシートの養生状況が悪く、ベニヤとタイルの接着強度が非常に低下していたためと考えられた。

これについては、タイルシートの養生環境を整え（湿気・水から防護）、ベニヤとタイルの接着強度低下を防ぐ対策を取ることにした。

3 枚のタイルの破損が生じたが、セントルの曲線部での破損が 2 枚とパイプレータが直接接触したと思われるものが 1 枚であった。シート B はタイルを止めているベニヤの厚みが 5mm と厚いため、曲線部に固定する際に大きな力が掛かり破損したと考えられた。

対象としている 2 車線トンネルは、曲率がもっと大きい場合実際には問題ないと考えられるが、シートの割付などの工夫が実施工では必要になると考えられた。パイプレータについては、投入を地山側にするなど、オペレータに指導することとした。

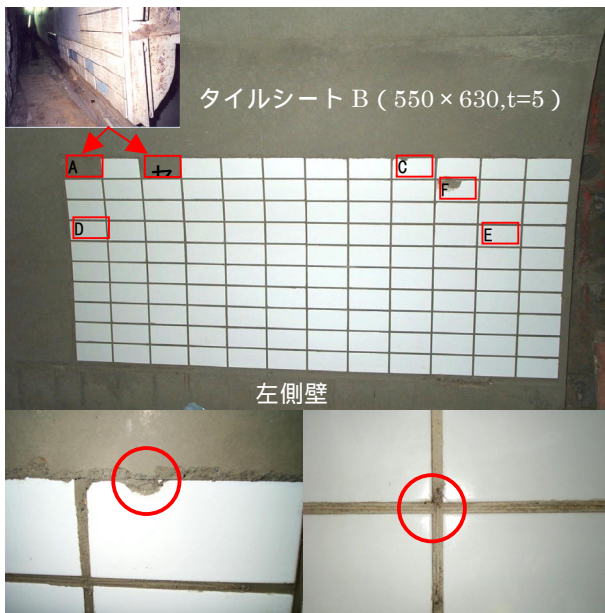


写真-4 シート A 仕上がり状況

写真-5 シート B 仕上がり状況

4.2 シート固定方法比較試験結果

表-4 には打設後の観察による 2 種類の固定方法の評価結果を示す。写真-6 には仕上がり状況を示す。

表-4 や写真-6 に示すように、全体的な仕上がり状況はどちらの固定法とも良かった。しかし、番線止めは確実に固定はできるが設置に時間を要する。また、目地部に跡が残ったり、番線端部処理が生じることがある等の問題点があることがわかった。設置に時間を要することから、実施工では、木ネジで固定する方法を採用することにした。しかし、木ネジ固定でも

目地に木ネジ跡が残る

同じところばかり木ネジを使っているとセントルに貼り付けたコンパネが局部的に破損する

コンクリートのノロ分がコンパネとタイルの間に入りやすい

等の問題点が生じた。

これらについては、木ネジを根元まで打ち込むことや

木ネジの固定間隔、固定位置を変えること等で対処可能と考えられた。

表-4 測定項目と評価

番線止め	測定項目	木ネジ止め
○	シート継ぎ目	○
○	目地間隔	○
○	目地仕上がり	○
○	タイル通し	○
○	ノロまわり	○
打設完遂率 100% × [64 分/m ²]	タイル破損状況 施工性	打設完遂率 97% ○ [32 分/m ²]



写真-6 目地仕上がり状況(左:番線止め, 右:木ネジ止め)

4.3 目地材料比較試験結果

表-5 に打設後の観察による目地材の違いを評価した結果を示す。また、写真-7 には目地仕上がり状況を示す。

表-5 や写真-7 に示すように、吸水目地材では

水跡が残る

仕上がり汚い

乾燥収縮によりタイルと目地の境界線が出ている。等の問題があることがわかった。材料費も通常目地に比べ高いため、実施工では通常目地を使用することにした。

表-5 測定項目と評価

通常目地	測定項目	吸水目地
○	シート継ぎ目	○
○	目地間隔	○
○	目地仕上がり	
○	タイル通し	○
○	ノロまわり	○

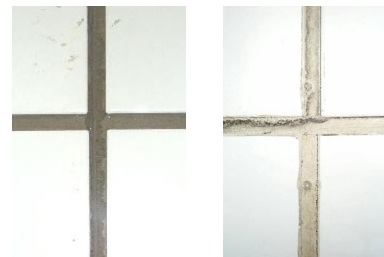


写真-7 目地仕上がり状況(左:通常目地, 右:吸水目地)

5. タイル接着強度

JH規格では、タイルの接着強度として、0.40N/mm²以上あることとされている。そこで、JHS-714 に基づきタイル接着強度試験を実施した。その結果を図-6 及び表-6 に示す。

図-6 や表-6 に示したように、試験したすべてのタイルで規格の 3 倍以上の接着強度を有することが確認さ

れ、接着強度の点では全く問題ないことがわかった。

この工法は、手張りとは異なり覆工とタイルがより強く密着し、同一面に布設できることから、剥離が少なくなり、耐久性の向上が図れるものと考えられる。

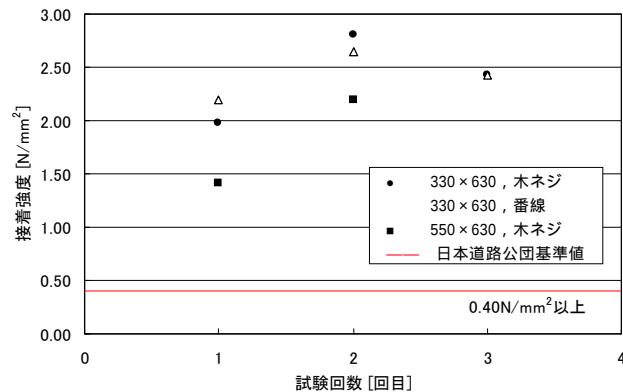


図-6 タイル接着強度試験結果

表-6 タイル接着強度試験結果一覧

シートおよび 固定法	試験体	最大 荷重 [N]	破断 面積 [cm ²]	接着 強度 [N/mm ²]
330×630 木ネジ	A-1	4954	25.0	1.98
	A-2	7014	25.0	2.80
	A-3	6082	25.0	2.43
330×630 番線	B-1	5494	25.0	2.20
	B-2	6622	25.0	2.65
	B-3	6082	25.0	2.43
550×630 木ネジ	C-1	3532	25.0	1.41
	C-2	5494	25.0	2.20

6. 施工費

道路公団の積算基準では、タイル内装工は(1)タイル内装工と(2)シーリング工(タイル上部の端末処理工)から積算される(表-7、表-8 参照)。今回の実験から同時施工法の施工費を試算してみると、通常の方法に対

し、1.04 と直工費はほとんど差がない結果になった。これは、タイルシートが試験用でかなり高く、通常方法の接着剤、プライマー、シーリング費等の費用と相殺したからである。実施工で大量に使用すれば、タイルシート費は下がってくるので、直工費もそれに伴って低下していく、また、施工面でも利点が生じると考えられる。

表-7 タイル内装工(直張り)施工歩掛 (1m²当り)

名 称	規格	単位	数量	摘 要
内 装 板	タイル	枚	69	
接 着 剤		kg	2.1	
プ ラ イ マ ー		kg	0.16	
目 地 材		kg	1.4	
土 木 世 話 役		人日	0.020	
タ イ ル 工		人日	0.105	
内装工機械損料		m ²	1	
雑 品		式	1	上記合計額の 1%

表-8 シーリング工施工歩掛 (1m 当り)

名 称	規格	単位	数量	
シーリング材		kg	0.058	
補 足 材		式	1	シーリング材の 10%
防 水 工		人日	0.025	

7. おわりに

今回は 2 スパンだけの打設試験であったが本工法は十分に実用化可能と判断できる結果を得ることができた。得られた結果をまとめたものを表-9 に示す。

さらに今回の試験での改良点や 2 車線断面での施工を考えた場合の課題をまとめたものを表-10 に示す。

これらの課題を解決し、完成度の高い工法にするためにも打設試験を継続していきたいと考えている。

謝辞：本試験を実施するにあたり避難坑を快く提供して下さった。日本道路公団八代工事事務所の皆様に厚く御礼申し上げます。

表-9 試験結果一覧表

試 験 項 目	試 験 結 果
シートサイズ比較試験	・シート A, シート B とも、施工性および仕上がり状態は同程度である ・曲線部分において、シート B タイルに若干破損が見られる
シート固定方法比較試験	・タイルシートの固定性は両者(番線止め、木ネジ止め)同程度である ・木ネジによる固定の方が、番線止めに比べ短時間でシートを固定できる
目地材料比較試験	・吸水目地材仕様に比べ、通常目地材仕様の方が目地の仕上がりが良い
タイル接着強度試験	・全てのケースにおいて、接着強度規格 0.40N/mm ² を満足する

表-10 今後の課題一覧表

項 目	今 後 の 課 題
シートサイズ	1. 標準 2 車線断面を想定したシートサイズの検討 2. 標準 2 車線断面における割付けの検討(箱抜き位置等) 3. タイルシート製作方法の検討
シート固定方法	1. 固定器具(繰返し使用)材料および耐久性の把握 2. 曲線部および高所での作業方法の確立(サイクルタイム等) 3. 標準 2 車線断面における割付けの検討(通し・ノロまわり等) 4. セントルの加工
タイル目地	1. 材料規格：水平目地 4mm, 縦目地 5mm への展開 2. タイル最上段および最下段など継ぎ目の仕上がり検討
破損タイルの補修方法	1. 打設時破損タイル補修方法の検討 2. 運用時破損タイル補修方法の検討
その他	1. コンクリート打設時の作業方法の明示(バイブレーター・剥離剤塗布等)