

ハーモニカ工法マルチタイプを採用したアンダーパスの築造

大成建設(株)	東京支店土木部	正会員	○菱田 博之
国土交通省	関東地方整備局	正会員	山田 亨
大成建設(株)	東京支店土木部	正会員	片桐 年弥
大成建設(株)	本社土木設計部	正会員	麻 泰宏

本報告は、圏央道桶川北本地区函渠その1工事のうち、5万台／日の交通量を有する国道17号線の直下に築造する延長42.5mのアンダーパスに対して、非開削工法である「ハーモニカ工法マルチタイプ」をはじめて採用した事例の報告である。この工法は、箱型の大断面を非開削で効率的に築造することができる技術として確立され、今後同様な条件の箱型トンネル建設に採用されることが大いに期待できるものである。

1. はじめに

道路交差部のアンダーパス工事は、一般に開削工法で施工されることが多い。しかし、開削工法では道路上に広範囲に渡って作業帯を設置する必要があること、車線の規制や夜間作業などによる近隣への影響が大きいことなどから、既存の車線や周辺環境への影響をできるだけ少なくする目的で、非開削工法による施工が求められるケースが増えてきている。

埼玉県桶川市および北本市に位置する圏央道桶川北本地区函渠その1工事は、1日に5万台の交通量を有する国道17号線と交差している。この工事のうち、本報告が対象とする工種は、延長42.5mの国道17号線との交差部にアンダーパスを築造するものであり、非開削工法である「ハーモニカ工法マルチタイプ」がはじめて採用された。本工法は、縦2m×横2mの正方形の小型マシンを縦または横に複数個連結させることで、任意の長方形断面のトンネルを掘削するものであり、工事にともなう道路の切り回しや規制を必要としない新しい施工法である。

2. ハーモニカ工法マルチタイプの概要

ハーモニカ工法概要図を図2.1に示す。従来のハーモニカ工法は、大断面のトンネルを格子状に分割し、それぞれの断面を掘削可能な同一形状の小断面マシン1台で繰り返して掘削した後、その内部全体を使ってトンネルを構築する施工方法である。小断面トンネルを積み重ねた坑口の形状がハーモニカの吹口に似ていることから「ハーモニカ工法」と命名されている。

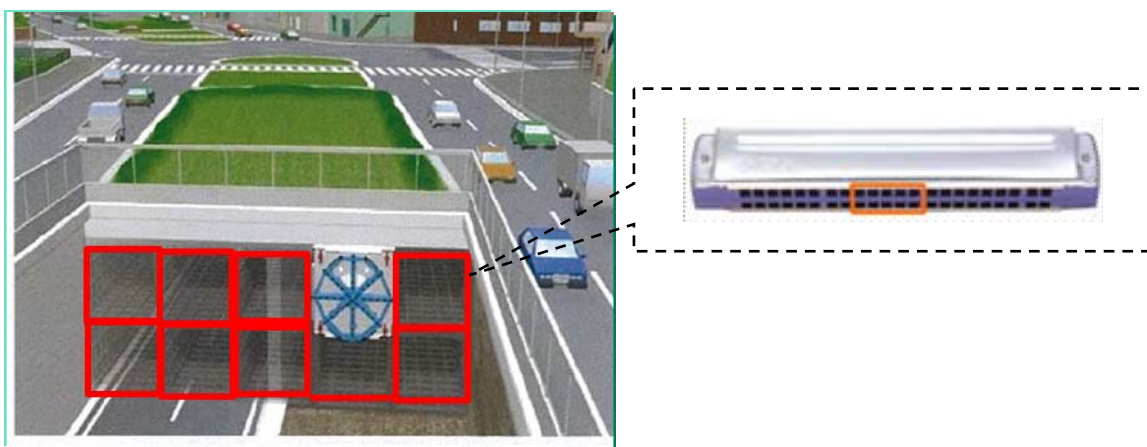


図 2.1 ハーモニカ工法概要図

キーワード ハーモニカ工法マルチタイプ、推進、アンダーパス工事

連絡先 〒163-6008 東京都新宿区西新宿 6-8-1 新宿オークタワー 大成建設株式会社 東京支店 土木本部技術部

TEL 03-5381-5495

一方、本工事で用いた「ハーモニカ工法マルチタイプ」（図 2.2）は、正方形の単体の小型マシンを 3～5 基、縦または横にあらかじめ連結することで、大断面となる道路函体の頂版部、側壁部および底版部のみを掘削するものである。工事では、小型マシンを 8 基用意し、2 組の連結マシンにより両側の立坑から同時に掘削することで工期の短縮を図っている。連結した小型マシンによるトンネルの掘削後、トンネル間を接続する鉄筋を組み、コンクリートを打設することによりトンネル同士を一体化させ、道路函体を先行して構築し、最後にできあがった道路函体の内部をバックホウにて掘削することで、道路トンネルを完成させる工法である。ハーモニカ工法マルチタイプと従来ハーモニカ工法との比較表を表 2.1 に示す。

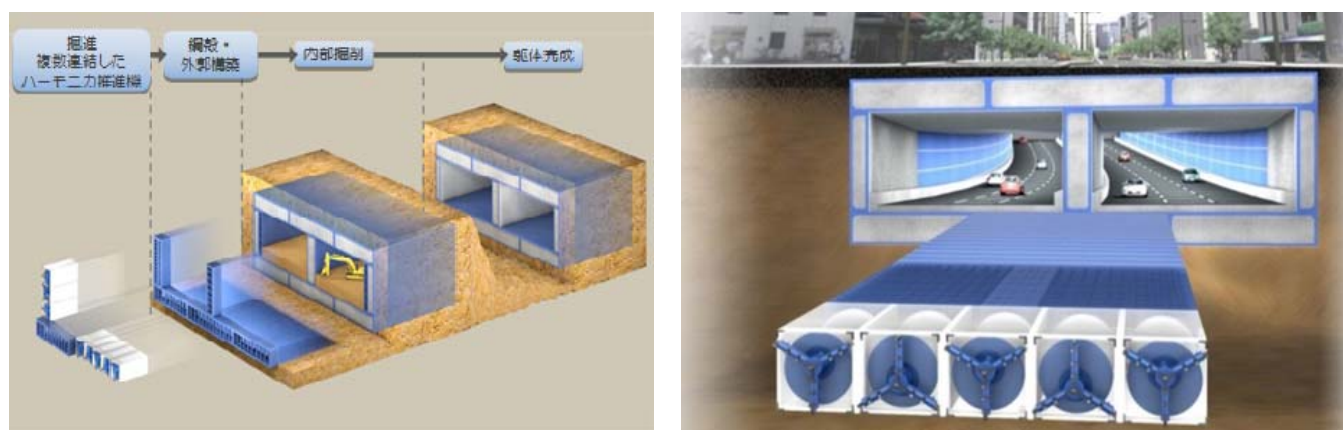
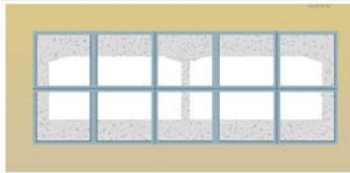


図 2.2 ハーモニカ工法マルチタイプ概念図

表 2.1 ハーモニカ工法マルチタイプと従来ハーモニカ工法との比較表

項目	ハーモニカ工法マルチタイプ	全断面掘削ハーモニカ工法
概念図		
特徴	・複数台の矩形マシンを組み替えて繰返し使う。 ・外郭部のみマシン掘削し、躯体を構築する。外郭内部を掘削することで、大規模な地下空間を構築する。 ・内部の掘削土は、建設発生土となる。	・1台のマシンを繰返し使う。 ・躯体構築断面のすべてをマシン掘削し、大規模な地下空間を構築する。 ・掘削土はすべて建設汚泥となる。

3. 工事概要

3.1. 事業概要

図 3.1に事業概要図を示す。本事業は首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の埼玉県区間の建設事業であり、これにより首都圏の道路交通の円滑化，沿線都市間の連絡強化，地域づくりの支援および活性化，災害時の緊急輸送路の確保，CO₂の排出量の低減などを期待して整備される道路事業である。



図 3.1 事業概要図

3.2. 工事概要

本工事の概要は以下の通りである。

工事名称：圏央道桶川北本地区函渠その1 工事

施工場所：自)埼玉県北本市二ツ家3丁目 至)埼玉県桶川市加納

発注者：国土交通省 関東地方整備局 大宮国道事務所

施工者：大成・三井住友・大豊特定建設工事共同企業体

工期：平成24年8月4日 ～ 平成27年10月30日

図 3.2に工事全体図を示す。本工事は、埼玉県桶川北本 IC から桶川加納 IC までの4.7kmのうち、埼玉県北本市二ツ家から桶川市加納までの道路函体を築造するものであり、開削工法区間の延長1,087.5m，非開削工法区間の延長42.5m からなる総延長1,130mの道路工事である。

図 3.3に非開削区間の平面図を示す。非開削工法による施工延長は42.5m，断面形状としては幅28m，高さ10mの大断面の2連箱型トンネルを築造する。土被りは5～6mと小さく地下埋設物も多数あり，周辺には大型商業ビル，大型鉄塔さらに国道に交差する県道があり，国道の切り回しや路上での工事には多くの制約が考えられた。尚，非開削施工の際，両サイドの開削部を立坑として使用し施工した。

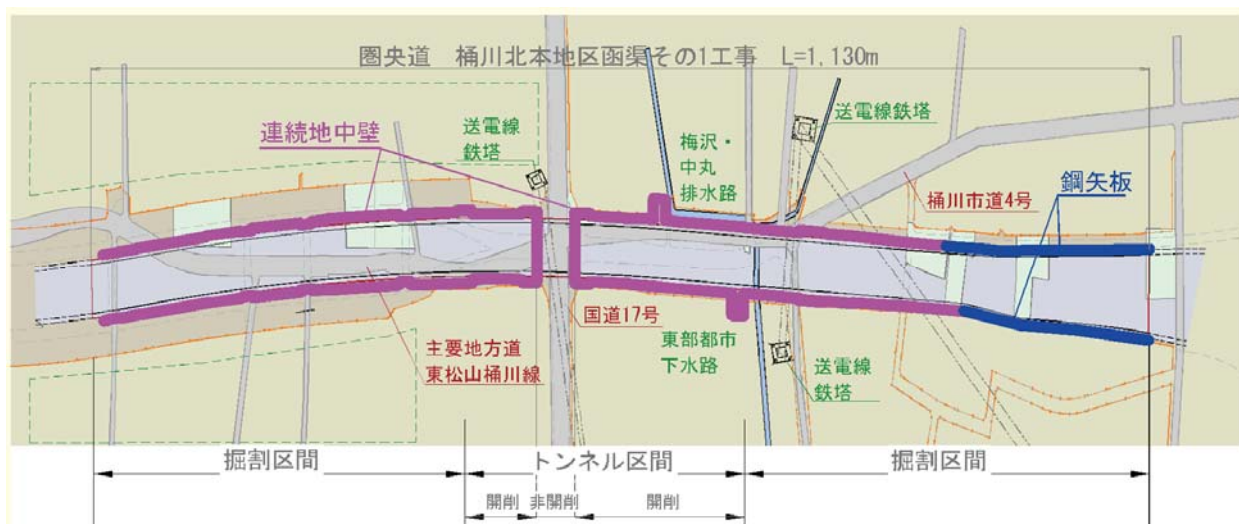


図 3.2 工事全体図

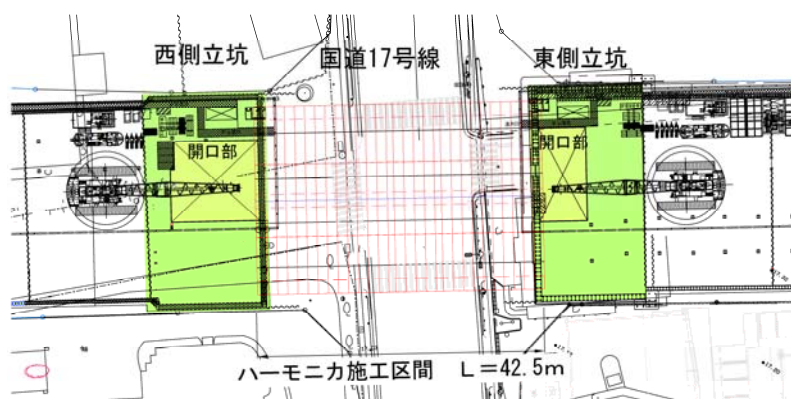


図 3.3 非開削区間の平面図

3.3. 非開削施工区間の土質概要

図 3.4に非開削区間の縦断図を示す。国道 17 号線との交差部の地質は、表層は関東ロームであり、その下は上総層であった。上総層は、砂層（N 値＝17～34）及び粘性土（N 値＝15～17）の互層であり、施工の最小土被りは 5.0m、地下水位は GL-1.5m であった。

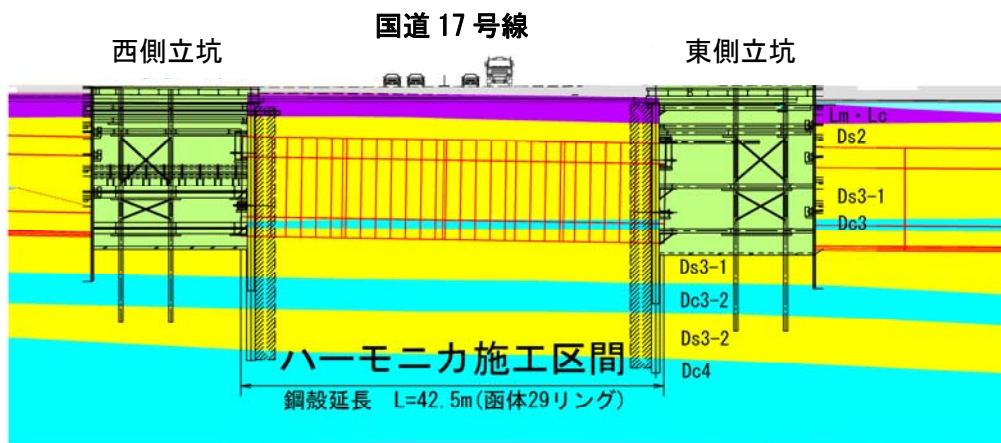


図 3.4 非開削区間の縦断図

3.4. 本工事の取り組み

本工事で用いたハーモニカ工法マルチタイプは、正方形の単体の小型マシンを3～5基、縦または横にあらかじめ連結することで、大断面となる道路函体の頂版部、側壁部および底版部のみを掘削するものであり、従来のハーモニカ工法で課題となっていたコスト削減、工程短縮、環境負荷低減の実現を目指して取り組んだ。

3.4.1. コスト削減について

1) マシンの掘削機構

施工に先立ち、組合せ自由な2m×2mの新型矩形小型マシンを開発した。工場で8基製作し、組合せて使用する。従来のハーモニカ工法は大型のマシン（5×6m程度）であったのに対し、写真3.1に示すように、本工法は新型矩形小型マシン（2×2m）を使用することでコストを抑えることができた。掘削機構は、カッターの回転に加え、軸も周回させることで矩形に近い断面形状で掘削することを可能とした。



写真 3.1 ハーモニカマシン（単体）

2) マシンのユニット化

本工法は、立坑内で想定した断面に合わせて、縦または横に小型マシンを自在に組み合わせて掘削を行う。躯体部分のみ掘削するために、小型マシンを連結して、任意の長方形断面を掘削することでコストを抑えることができた。

函体の頂版と底版は、その中央部と両側部に分け、写真3.2に示すように、中央部は5基の小型マシンを横に連結して1台とし、横10m×縦2mの矩形トンネルを掘削し、両側部は4基の小型マシンを横に連結し横8m×縦2mのものを2台つくり、両側の立坑から同時に矩形トンネルを掘削した。一方、函体の側壁部は写真3.3に示すように、小型マシンを縦に3基連結して、横2m×縦6mとしたものを2台つくり、両側の立坑から同時に掘削することで工期の短縮を図る工夫を加えた。



写真 3.2 ハーモニカマシン横5連結



写真 3.3 ハーモニカマシン縦3連結

3.4.2. 工程短縮について

1) ハーモニカ工法マルチタイプの施工手順

断面の分割数は、アンダーパスの寸法、施工条件、推進マシンや鋼殻の運搬条件などによって決定される。今回は、頂版・壁・底版を各々3分割して、合計9つの単体鋼殻を完成躯体にあわせた形状で掘削した。

図 3.5にハーモニカ工法マルチタイプ施工手順を示す。step①は頂版部中央の U1 の基準函を横 5 連結で施工した。この基準函は後続函の基準となるため慎重な施工が要求される。step②は頂版部両側の U2, U3 を横 4 連結を 2 セットで同時施工した。step③は壁部の M1, M3 を縦 3 連結で同時施工した。step④は壁部 M2 と底版 B1 中央を同時施工した。step⑤は底版部両側 B2, B3 を同時施工した。2 セットのマシンを両立坑から同時施工することで、更なる工程短縮を図ることができた。推進完了後、step⑦では、外殻部の先行構築として高流動コンクリートを打設し、コンクリートの養生後、step⑧では外殻内部をバックホウにて掘削した。

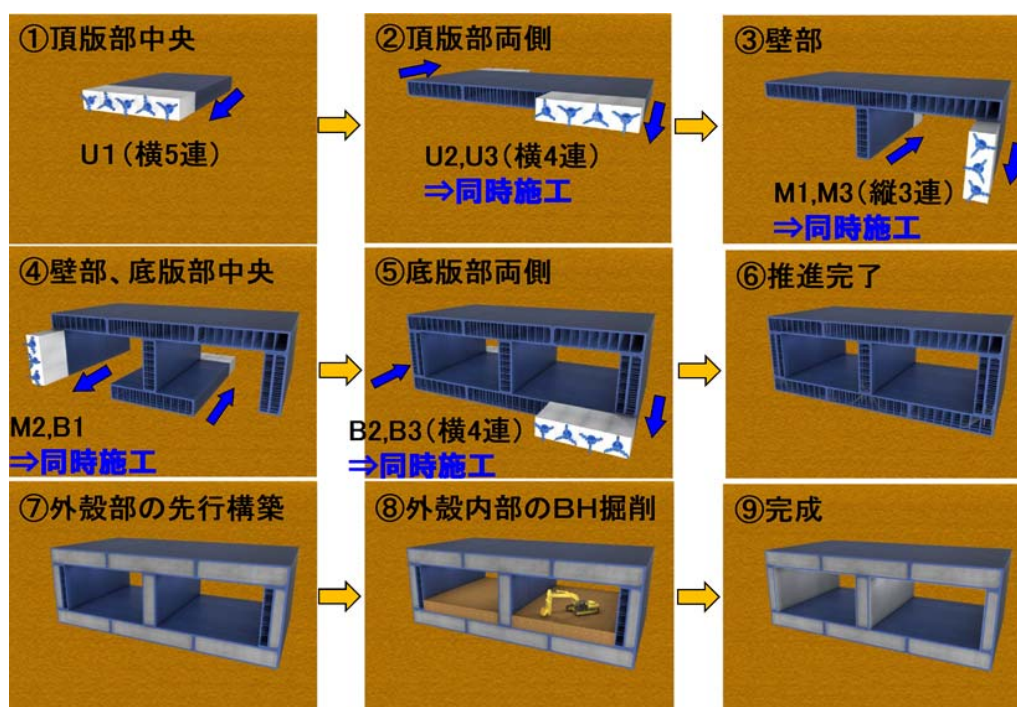


図 3.5 ハーモニカ工法マルチタイプ施工手順

2) 外殻部の先行構築

図 3.6に内部鉄筋イメージ図を示す。外殻部の先行構築として、従来のハーモニカ工法は仮設であったのに対し、本工法は鋼殻を本体利用することで鉄筋組立を大幅に省略することができた。

頂版・底版・側壁それぞれ3本、計9本のトンネルを掘削した後に、隣接する鋼殻の接続部および躯体部の鉄筋を組み立て、自己充填型の高流動コンクリートを打設した。

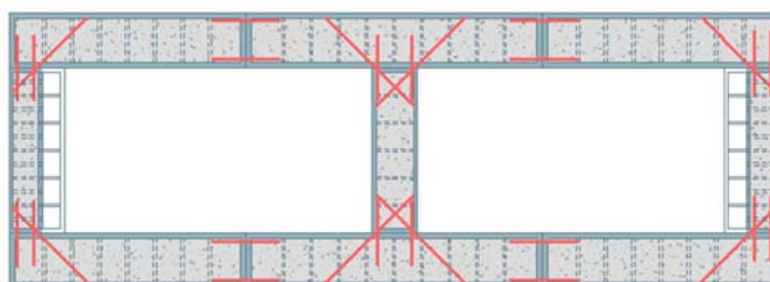


図 3.6 内部鉄筋イメージ図

3.4.3. 環境負荷低減について

内部掘削イメージ図および内部掘削状況を図 3.7 および写真 3.4 にそれぞれ示す。躯体部のコンクリートが十分な強度を発現した後に、バックホウによって函体の内部を掘削し、トンネルを完成させた。この掘削土は建設発生土として取り扱われ、従来のハーモニカ工法のように、すべての掘削土が建設汚泥とはならないため環境への負荷の低減にも寄与することができた。

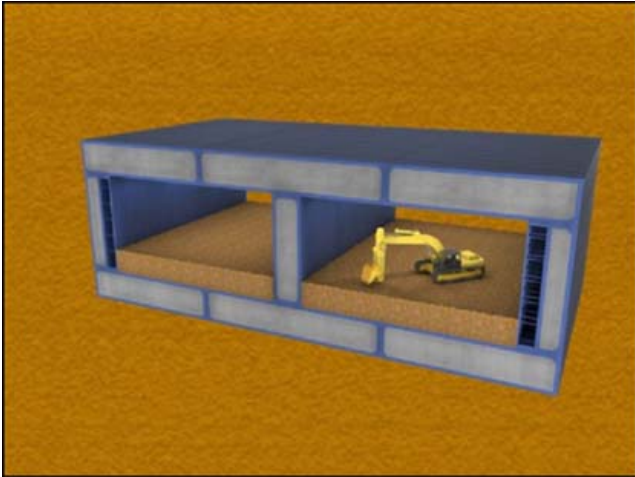


図 3.7 内部掘削イメージ図



写真 3.4 内部掘削状況

4. 施工結果

施工状況を写真 4.1 a)～d) にそれぞれ示す。組み合わせた掘削機が長細いため、横型では左右両端のマシンを、縦型では上下のマシンを、リアルタイムで測量し、推進を行った。ローリング修正を含めた方向修正は、マシンの中折れ装置を用いて行った。その結果、1 函体の推進精度は、 $\pm 30\text{mm}$ 以内を確保し、最終形として完全閉合することができた。

立坑からの発進時、マシンの姿勢を安定させるために、マシン下部に固定ソリを取り付け、マシンの沈下を防止した。また、左右方向への動きについては、立坑においてマシンの両サイドに山留材を組み立て、山留材をガイドにして推進することで、ズレを防止した。

1 函体（延長 42.5m）の発進から到達までは、約 18 日、マシン組立解体や設備の撤去再設置などは、約 32 日、合計約 50 日/函体のサイクルであった。両立坑からの同時推進をすることにより、片側からの推進より大幅な工程短縮を実現した。



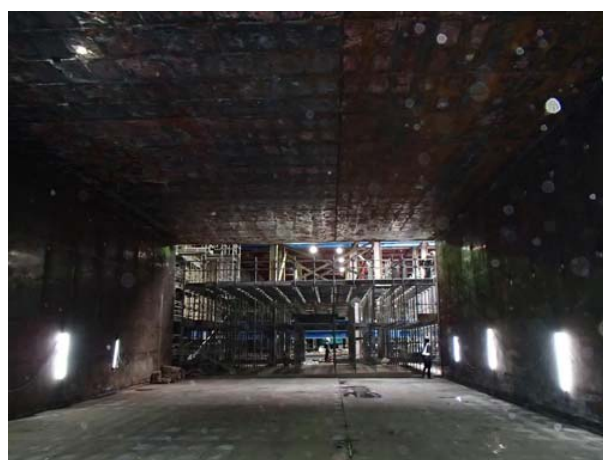
a) 横 5 連結推進機到達状況



b) 縦 3 連結推進機到達状況



c) 外殻内部の掘削状況



d) 外殻内部の掘削完了

写真 4.1 施工状況

5. おわりに

写真 5.1 および写真 5.2 に開削部および非開削部の完成写真をそれぞれ示す。今回の施工により、ハーモニカ工法マルチタイプは大断面トンネルにおいて、コスト削減・工程短縮・環境負荷の低減に有効であることを確認した。今後、ますます施工条件の厳しい現場が多くなると予測されるなか、小型マシンを組み合わせ、形状を変えられる特徴のあるハーモニカ工法マルチタイプの需要が期待される。



写真 5.1 開削部完成写真



写真 5.2 非開削部完成写真