

# マイスタークリート工法を用いた覆工コンクリート天端部の施工 Construction of tunnel lining concrete at crown part using Meis-tercrete method

岡田 謙吾\* 山田 隆之\*\*  
Kengo Okada Takayuki Yamada  
岡田 弘\*\*\* 椎名 貴快\*\*\*\*  
Hiroshi Okada Takayoshi Shiina

## 要 約

マイスタークリート工法は、山岳トンネルの二次覆工コンクリート施工時における天端部での充填性確保と品質向上を目的に開発された施工技術である。コンクリートの打込み方法や締固め方法および補助工法を組み合わせることで合理的に覆工天端部を施工し、さらに圧力センサーや充填センサーを用いた計測管理を併用している。これにより狭隘な施工環境でも均質かつ高品質なコンクリートの施工が可能であることを実大規模の施工実験で確認している。

本報では、マイスタークリート工法の技術概要を説明し、さらに同工法を初めて適用したトンネル現場での施工結果について報告する。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. マイスタークリート工法
- § 3. 現場適用
- § 4. まとめ

### § 1. はじめに

山岳トンネルの二次覆工コンクリート打込み作業で最も施工に苦勞する箇所は、断面肩部から上方に至るクラウン部（以下、天端部）である。狭隘な条件下で施工する天端部は、人力での棒形振動機による締固め作業がしにくい上、検査窓や棲枠を閉じた後は目視による充填確認を行うことができない。また、施工手順や打込み完了の判断は現場技術者の経験に頼るところが大きい。その結果、コンクリートの充填不良による背面空洞の発生や品質低下などの不具合を生じる場合がある。

そこで、過去の施工実績などから特に覆工コンクリートの施工性や品質向上に寄与すると評価された施工技術を対象に、実大規模の施工実験<sup>1)~3)</sup>でその効果を定量的に把握し、有効な技術を組合せた天端施工方法として「マイスタークリート工法」を開発した。

\* 西日本(支)後呂地トンネル(出)(現:竹筒トンネル(出))  
\*\* 西日本(支)後呂地トンネル(出)(現:京丹波(出))  
\*\*\* 西日本(支)後呂地トンネル(出)(現:休山トンネル(出))  
\*\*\*\* 技術研究所土木技術グループ

本報では、マイスタークリート工法の技術概要について説明し、さらに同工法を初めて適用したトンネル現場での施工結果について報告する。

### § 2. マイスタークリート工法

#### 2-1 工法概要

マイスタークリート工法は、覆工天端コンクリートの充填性確保と高品質化を目的に開発された技術である。図-1および表-1に本工法の概念図および構成技術を示す。なお図中の丸付き数字は表中の数字に符合する。

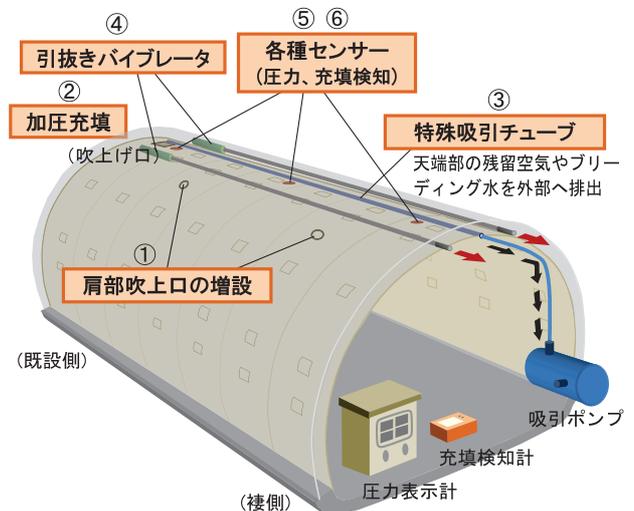


図-1 マイスタークリート工法の概念図

表-1 工法の構成技術

分類	構成技術	技術内容	期待される主な効果
打込技術	① 肩部吹上口の増設	トンネル断面形状に応じて肩部にコンクリート吹上口を増設し、天端吹上げ施工によるコンクリート打込み量を減量化	・吹上げ施工による充填性向上 ・コールドジョイントや材料分離の防止
	② 加圧充填	コンクリート加圧充填時の目標圧力 80 kPa (セントル許容荷重の 8 割程度)	・コンクリートの密実性向上
	③ 特殊吸引チューブ	天端防水シート表面に設置した特殊な吸引チューブにより、ブリーディング水と残留空気を強制排除	・背面空洞の発生防止 ・巻厚品質の均一化
	④ 引抜きパイプレータ	天端部に設置したリール巻取り式引抜きパイプレータ (2 本以上) による締固め	・コンクリートの締固め ・コンクリートへの作用圧力を均質化
計測管理技術	⑤ 充填圧力管理	圧力センサー (3~4 箇所/スパン) をセントル頂部に設置し、コンクリート打込み中の充填圧力をリアルタイム管理	・コンクリート充填圧力の確認
	⑥ 充填管理	コンクリート充填検知センサー (3 箇所以上/スパン) による充填・締固め度のリアルタイム管理	・コンクリート充填状況の確認

(1) 肩部吹上口の増設

大断面トンネルや扁平型断面トンネル等において、天端部での吹上げ施工によるコンクリート打込み量が過大となった場合、コンクリートの材料分離や充填不良による品質低下が懸念される。そこでトンネル断面に応じて、セントル肩部に油圧開閉式の圧入打設孔（吹上口）を適宜増設する。肩部吹上口からの打込みにより、天端検査窓から肩部を確実に目視確認しながら充填・締固めすることができる。また天端吹上げ施工量が減るため、コールドジョイントや材料分離を防止できる。

(2) 加圧充填と充填圧力管理

標準的な手順で天端施工した場合、天端コンクリートに作用する充填圧力は経験的に 40 ~ 20 kPa 程度で、既設側の天端吹上口付近が最も高く、裨側に向かって低くなる。覆工巻厚 300 mm での自重圧は計算上 10 kPa 未満のため、標準的な施工を行った場合でも実際にはやや過圧状態となっている。この状態からコンクリートをポンプでさらに押しつけて加圧充填する。充填圧力の管理にはセントル頂部に 3 ~ 4 箇所設置した圧力センサー（写真-1）を使用し、コンクリート打込み中は制御盤にて圧力値を逐次確認する。充填圧力の目標値は 80 kPa（セントル許容荷重の 8 割程度）で、加圧完了後の圧力値は 80 ~ 40 kPa 程度となり、吹上口付近が最も高くなる。加圧充填による効果として、コンクリートの強度が 6 ~ 9% 増加、密度も 1 ~ 2% 増加し、密実性の向上を実験で確認している。

(3) 特殊吸引チューブ

吹付コンクリート面の不陸や防水シートのたわみ等により、二次覆工コンクリートの背面には少なからず凹凸が生じている。このためコンクリートを打ち込んだ時、背面空洞の発生原因となる空気やブリーディング水が溜まりやすく、特に天端部ではその除去が充填性確保の観点から必要であった。そこでセントルを所定位置に



写真-1 圧力センサー

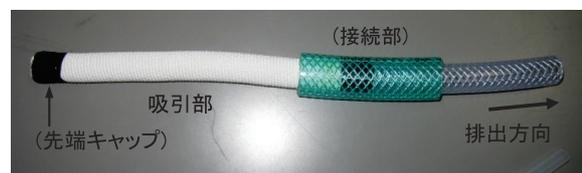


写真-2 特殊吸引チューブ



写真-3 ブリーディング水の排出状況

据え付ける前にあらかじめ天端部の防水シート面に特殊な吸引チューブ（内径 8 mm または 12 mm）（写真-2）を設置しておき、施工中、吸引ポンプを用いて残留空気やブリーディング水を強制的に外部へ排出する（写真-3）。吸引チューブは空気と水のみを通し、それ以外は

基本的に排出できない構造となっている。これにより覆工天端部の狭隘な施工環境でもコンクリートを確実に充填でき、均質かつ高品質なコンクリートの施工を可能とする。

(4) 引抜きパイプレータ

所要の強度、水密性、耐久性を有するコンクリートを施工するには、パイプレータによる締固め作業が必要である。しかし、覆工天端部での打込み作業は極めて狭隘な空間での作業であり、セントル天端の検査窓を閉じた後は吹上口から榑枿方向へコンクリートを流動させるのみで締固め作業を行うことは困難である。そこで、榑側までコンクリートが充填されさらに加圧充填された後、あらかじめ天端部に設置しておいたリール巻取り式引抜きパイプレータを稼働させながら榑方向へ引抜き、天端全体を締固める（写真－4）。引抜きパイプレータで締固めを行う前のコンクリート充填圧力はおよそ 80～40 kPa、締固め完了後の充填圧力は平均 50 kPa 前後となり、圧力値のばらつきが平準化されて既設側と榑側の差が小さくなる。なお、引抜きパイプレータの巻取り装置による引抜き力は 10 kN を有している。引抜き力は鉄筋の有無に関係なく引抜き長さ、つまりパイプの周面摩擦抵抗力に関係し、過去の文献<sup>4)</sup>ではスパン長 12 m の時に 3 kN 以上が必要とのデータがある。これまでの実績上、天端コンクリートが過圧充填された状態でも引抜き力 10 kN でパイプレータは問題なく回収できている。

(5) 充填管理

天端部におけるコンクリートの充填状況を施工中リアルタイムに確認するため、充填検知センサーを用いた充填管理をおこなう。セントル掘付前、天端部の防水シートに充填検知センサーを設置しておき（写真－5）、施工中はロガー本体に表示された充填判定結果を参考に施工を進める。

2-2 期待される効果

当社技術研究所(神奈川県愛川町)内に覆工コンクリート用セントルの天端部分を実物大で再現した模擬型枿を設置し、マイスタークリート工法の効果を従来工法と比較して実験検証した（写真－6）。実験の結果から得られたコンクリートの品質（圧縮強度、水密性、中性化抵抗性、充填性）に関わる知見を以下に示す。

(1) 圧縮強度

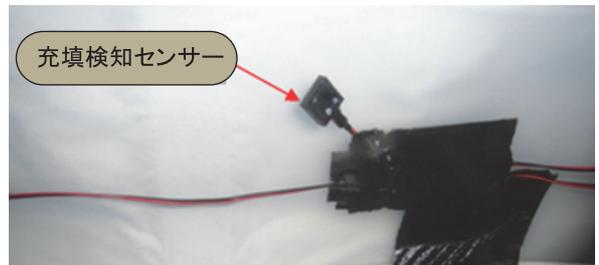
図－2 に示したように、従来工法と比べて、マイスタークリート工法を用いた場合、コンクリートの圧縮強度は平均で約 11% 向上した。また、トンネル覆工断面の地山側に溜まりやすい残留空気やブリーディング水を吸引チューブで外部へ強制的に排出することで、地山側と内空側との強度差が半減し、巻厚方向に均一な強度のコンクリートを構築することができる。

(2) 水密性

トンネル覆工断面の地山側から採取したコア供試体



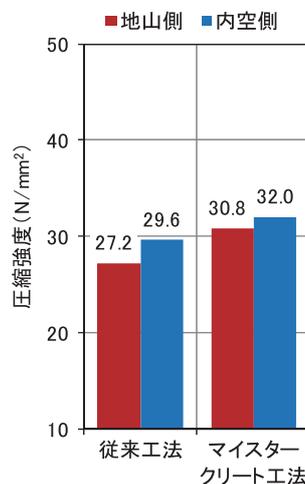
写真－4 引抜きパイプレータの使用状況



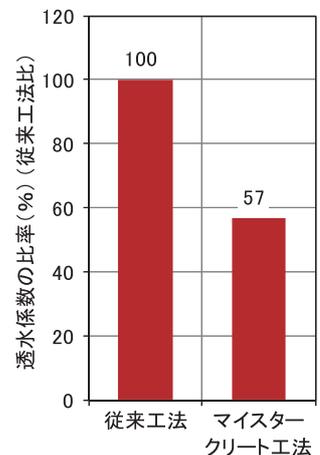
写真－5 充填検知センサー設置状況



写真－6 天端模擬型枿を用いた施工実験の状況



図－2 圧縮強度



図－3 水密性

を用いた透水試験の結果（図-3）、従来工法と比べて、透水係数が43%小さくなり、覆工コンクリート自体の水密性が大きく向上した。

(3) 中性化抵抗性

内空側から採取したコア供試体を用いた促進中性化試験の結果（図-4）、中性化速度係数が従来工法よりも10%小さくなり、中性化抵抗性が向上した。

(4) 充填性

マイスタークリート工法では、背面空洞の発生は確認されず、極めて高い充填性を確保できた（図-5）。

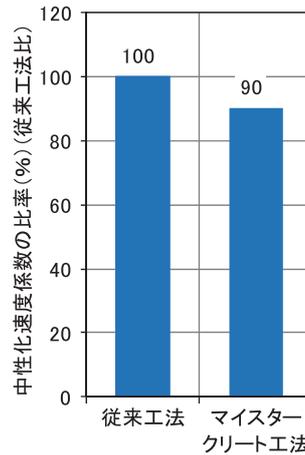


図-4 中性化抵抗性

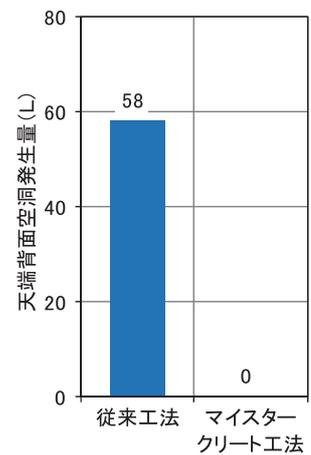


図-5 充填性

§3. 現場適用

3-1 工事概要

近畿自動車道紀勢線の工事は、大阪府松原市を起点とし、和歌山県和歌山市及び田辺市等を経由し三重県多気郡多気町に至る延長335kmの高速自動車国道を整備する。本路線は京阪神と紀南を結ぶ幹線道路として、輸送時間の短縮や一般道路の混雑緩和を図り、地域相互の振興と発展に寄与することが期待される<sup>5)</sup>。

当該整備区間の内、田辺～すさみ区間の田辺市内を通過する全長398mの二車線道路トンネルである後呂地トンネル（図-6）の覆工コンクリート施工に当社技術提案としてマイスタークリート工法を適用した。

- 発注者：国土交通省 近畿地方整備局
- 工事名：近畿自動車道紀勢線後呂地トンネル工事
- 工事場所：和歌山県田辺市上万呂～新庄町地先
- 工事延長：525 m
- トンネル延長：398 m



図-6 トンネル位置図<sup>5)</sup>

3-2 施工手順

図-7にマイスタークリート工法による標準的な天端覆工コンクリートの施工手順を示す。

- ① セントルの据付前、吸引チューブ（内径8mm）と充填検知センサーを天端防水シートの所定位置に防水テープを用いて固定。
  - ② コンクリート打込み開始（脚部から肩部へと順にコンクリートを打ち進める）。
  - ③ 天端吹上げ施工開始後、吸引ポンプを動作させ、天端打込み中の残留空気を吸引して外部へ排出する。また充填検知センサーで充填状況を適宜確認しながら打込む。
  - ④ 標準打設が完了した後、加圧充填のため圧力センサー値を確認しながらポンプでコンクリートを送り込み、最大圧力80kPaに達した時に終了する。
  - ⑤ 引抜きパイプで天端コンクリートの締固め作業を実施する。
  - ⑥ 締固め完了後、配合に応じて約2～4時間吸引ポンプでブリーディング水を吸引し外部へ排出する。
- 以上で本工法による施工を完了する。

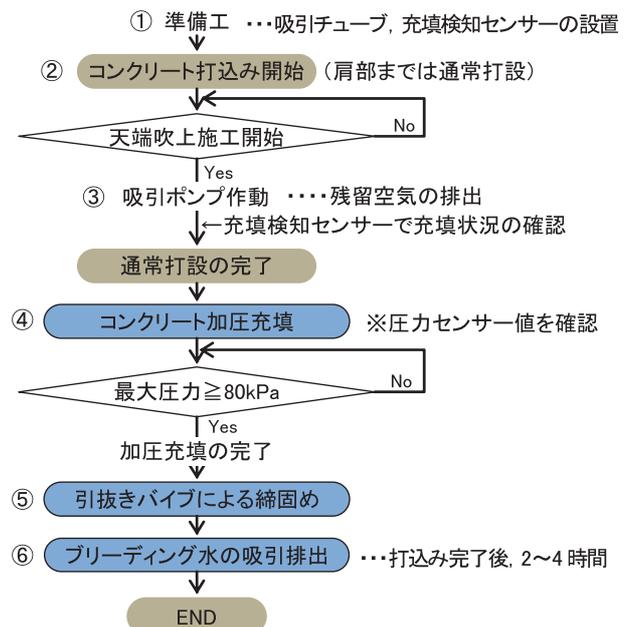


図-7 マイスタークリート工法の施工手順

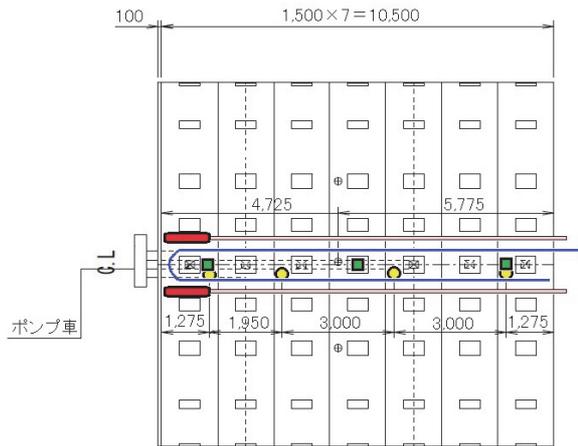
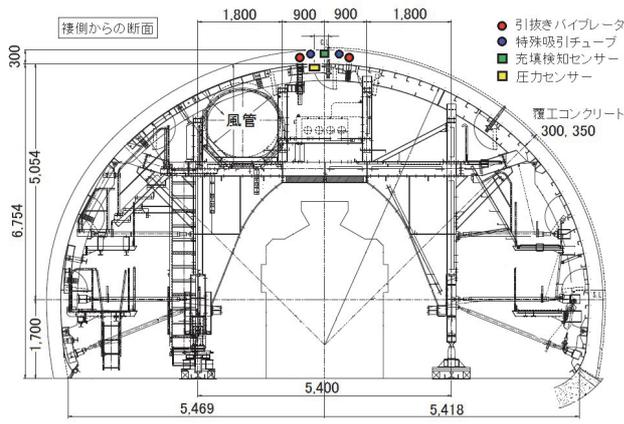


図-8 使用機材の配置図



写真-7 吸引チューブおよび充填センサーの設置状況



写真-8 覆工コンクリート施工状況

### 3-3 使用機材の配置

本現場においてマイスタークリート工法で使用した主な機材は、引抜きパイプレタ2本、特殊吸引チューブ、充填検知センサー3個、圧力センサー4個である。これら機材の配置図(断面図,平面図)を図-8に示す。また、写真-7に天端防水シート面への吸引チューブおよび充填検知センサーの設置状況、写真-8にコンクリート打込み状況を示す。

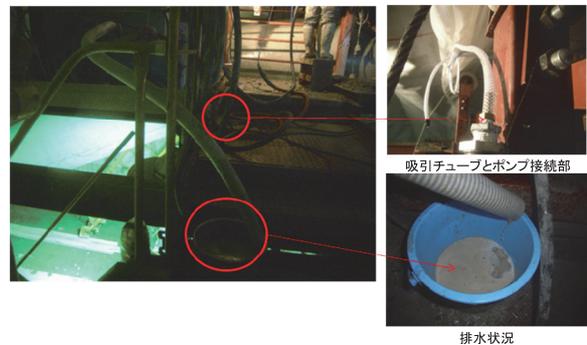


写真-9 吸引チューブによる排水状況

### 3-4 施工結果

#### (1) 吸引チューブによる排水量

本現場における二次覆工コンクリートの施工は、2013年2月から6月の約5ヶ月間である。コンクリートの配合は、坑口部のDIIIw区間(2スパン)が24-12-20BB、それ以外の区間では21-15-40BBである。吸引チューブによる排水状況を写真-9に、各スパンで排出された水量を図-9に示す。同図より、1スパン当りのコンクリート打込み量が多いほど排水量は増加傾向にあり、排水量は1スパン平均10~17L程度で合計0.46m<sup>3</sup>であった。これはコンクリート1m<sup>3</sup>当り0.15kgに相当する。また、当該排水量がすべてブリーディング水とした場合、コンクリート容積2~3.5m<sup>3</sup>相当(条件:単位水量167kg/m<sup>3</sup>,ブリーディング率3%)からブリーディング水を回収したことになる。

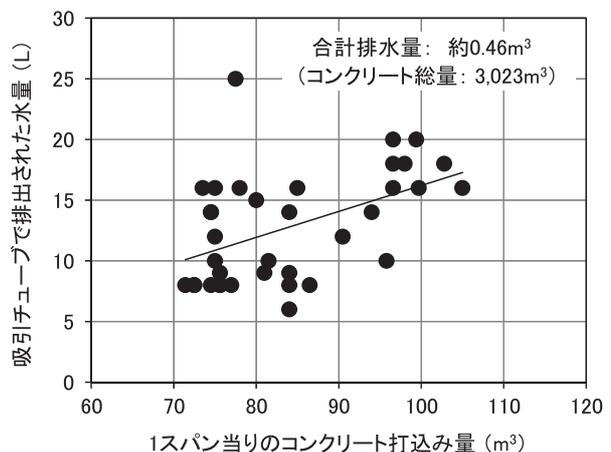


図-9 吸引チューブによる排水量測定結果

(2) 非破壊検査による充填状況の確認

覆工コンクリート内部の欠陥箇所や背面空洞の発生を可視化して推定することのできる超音波トモグラフィー法を用いた非破壊診断を実施した(写真-10)。使用した計測装置は全48個の接触端子を有し、重量約1.5kgで1測点当りの測定時間は約3秒と短時間で調査可能である。本装置は横波方式を採用しており、センサー部とコンクリート面との間にグリース等の接触媒体なしで直接測定ができ、電磁波レーダー探査法のように測定精度



写真-10 超音波トモグラフィー法を用いた覆工コンクリート内部非破壊調査状況

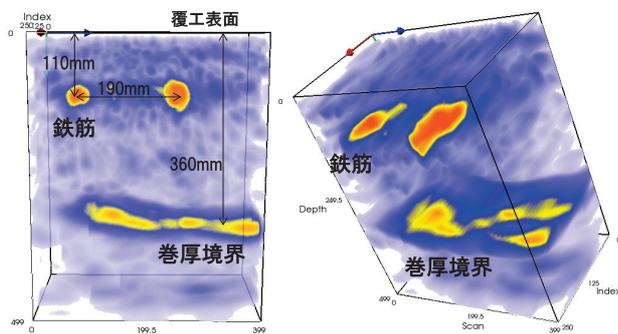


図-10 超音波トモグラフィー法による覆工コンクリート内部調査結果例

がコンクリート内部の含水量によって影響を受けにくいのが特徴である。本調査で得られたデータを3次元可視化画像処理したサンプル画像を図-10に示す。調査の結果、覆工コンクリートの内部欠陥や背面空洞などは検出されず、良好な充填状況を確認できた。

§4. まとめ

今回、マイスタークリート工法を初めて現場に適用し、良好な施工性を確認できた。一方で、コンクリートの品質確認のために現地調査で用いた超音波トモグラフィー法による非破壊検査法は、空洞や亀裂等の欠陥箇所の検知や、コンクリートの均質性が判断可能であるが、その緻密性や強度を定量的に評価することは難しい。マイスタークリート工法は、当社研究所における実物大模型実験にて、コンクリートの緻密性や圧縮強度などの品質が向上する結果を得ている。しかしながら、実施工での効果検証となるとまだ、十分に確立されていない。マイスタークリート工法は従来工法に比べて格段に品質向上を期待できる施工方法であるので、コンクリート品質を定量的に評価できる方法を確認し、今後ほかの現場に水平展開を図っていきたい。

謝辞：ご指導ご協力を頂いた国土交通省近畿地方整備局をはじめ、本社トンネル委員会、技術研究所、土木設計部、その他関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤幸三, 椎名貴快, 高橋雅, 金丸信一:マイスタークリート工法の開発, 土木学会第67回年次学術講演会, VI-011, pp.21-22, 2012.9.
- 2) 椎名貴快, 佐藤幸三, 高橋雅, 金丸信一:覆工コンクリートの天端充てん性と品質の向上への実験取り組み, 西松建設技報, Vol. 35, 2012.
- 3) 椎名貴快, 佐藤幸三, 三戸憲三, 大野幸次:覆工コンクリート打込み方法の違いが天端部の品質と充てん性に与える影響, 土木学会建設技術発表会2012概要集, pp.7-14, 2012.
- 4) 原秀利, 石松栄治, 松山正之, 井上博之, 稲川雪久:高品質トンネル覆工締めシステムの開発, トンネル工学研究論文・報告集, Vol. 12, pp.377-382, 2002.11.
- 5) 国土交通省近畿地方整備局ホームページ: <http://www.kkr.mlit.go.jp/kinan/road/tsukuru/kisei/>