

次世代の道路構想「ダイバーストリート®」の施工試験

粕谷 悠紀 伊藤 剛 椎名 菜摘
 (技術本部) (技術本部)
 伊藤 克也 侯 陳偉 藤井 達
 (土木本部) (土木本部)

Construction Test of Next Generation Road Concept “Diver-Street”

Yuki Kasuya Tsuyoshi Ito Natsumi Shiina
 Katsuya Ito Chenwei Hou Satoru Fujii

Abstract

This study develops a next-generation road concept called “Diver-Street” using above-grade and underground space. Roads are expected to relieve traffic congestion by having two layers of roads. Using sheet-pile eternity, pull-out construction, sidewall construction, and backfilling construction were not necessary. Therefore, cost and construction time are reduced. An abstract method, verification of constructability, and workmanship through a full-size mock-up, field measurements, and car driving tests were conducted. The construction error of the sheet pile, noise, vibration, and height of the underground space satisfied the general permissible values given in the guidelines. The deflection of the PC floor slab during the car driving tests was minute and elastic.

概要

地上および地下空間を利活用した次世代の道路構想「ダイバーストリート®」を開発した。例えば、道路は地上と地下を二層化することにより、効率的な交通網の形成や渋滞解消が期待できる。通常仮設材として用いる鋼矢板を本設利用することにより、鋼矢板の引抜き工事、側壁の躯体工事および埋戻し工事が不要となり、コスト縮減と工期短縮が可能である。本報では、ダイバーストリートの工法概要、実物大のモックアップ構築による施工性や出来形の検証、現場計測、車両走行実験について述べた。鋼矢板の施工誤差、全工程を通じての施工中の騒音・振動、地下空間の内空高さは、いずれも指針類に示される一般的な許容値を満足した。また、車両走行実験中のPC床版のたわみは微小で弾性的な挙動であった。今後は、実適用に向けた検討を継続する所存である。

1. はじめに

著者らは、地上および地下空間を利活用した次世代の道路構想「ダイバーストリート®」を開発した (Fig. 1)。例えば、道路は地上と地下を二層化することにより、効率的な交通網の形成や渋滞解消が期待できる。また、地上は、車道路面に高機能化路版を敷設することにより、自動運転や非接触給電などのモビリティサービスを融合させた道路を整備することで、EV (電気自動車) による自動運転を可能とする。天候の影響を受けない地下は、例えば、歩車分離、自動物流、ライフライン、雨水貯留、防災シェルターなど多目的な利用も可能である。

浅い深度で地下空間を構築する施工法として、一般に開削工法が挙げられる。開削工法は、親杭横矢板方式や鋼矢板方式等で仮設土留めを設置し、ボックスカルバートなどの構造物を構築する工法である。構造物を構築した後は、側部および上部を土砂等で埋め戻し、土留め鋼材を引き抜いた後に施工完了となる。しかし、都市部で建物やインフラ構造物が近接する場合、仮設土留め工を含む施工スペースを確保するのが困難となる場合が

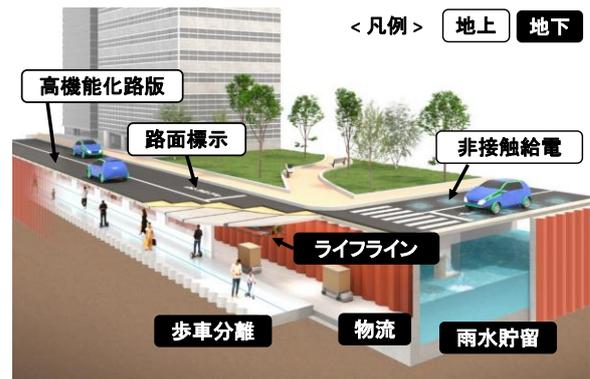


Fig. 1 ダイバーストリートによる次世代の道路構想
 Next Generation Road Concept by Diver-Street

ある。そこで、都市部でも本構想の実現を可能とするため、通常仮設材として用いる鋼矢板を本設利用して地下空間を構築する合理的な施工法を開発し、今般施工試験を実施した。本報では、ダイバーストリートの工法概要、実物大の施工試験による施工性や出来形の検証、鋼矢板などの現場計測および車両走行実験について述べる。

2. ダイバーストリートの工法概要

2.1 概要

ダイバーストリートは、鋼矢板、底版コンクリート、鉄筋スタッド、プレキャストPC床版（以下、PC床版）、PC床版間の目地、床版防水材、高機能化路版から構成される。Fig. 2に構造概要図を示す。鋼矢板は、従来の土留め機能に加えて、路面の活荷重や死荷重等を鋼矢板の先端支持力と周面摩擦力により支持する構造体として使用する。道路床版にはPC床版を採用することにより、工期短縮、品質向上、死荷重軽減および施工性向上を図っている。

底版コンクリートは、現場打ち鉄筋コンクリート造とする。鋼矢板と底版コンクリートは、鉄筋スタッドなどのずれ止めを活用して一体化を図る。鉄筋スタッドは、せん断力のみを負担するものとして必要本数を検討する。PC床版の幅は、運搬性を考慮して長さは2m程度とし、工場で作成する。配筋された型枠内にコンクリートを打設し、硬化後にプレストレスを与えて現場に搬入する。PC床版間の目地には、常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート®」を充填して接合する「スリムファスナー®」を採用した（Fig. 3）。これまで必要だった橋軸直角方向の追加鉄筋も不要であり、迅速に工事を進めることができる。舗装版は、路面標示や非接触給電が可能な高機能化路版とし、時代の変化に合わせてモビリティサービスをアップデートさせる。

2.2 施工手順

Fig. 4に施工手順を示す。

- 1) 施工範囲全体を盤下げした後、圧入工法やパイプロハンマ工法で鋼矢板を地盤中に打ち込む。
- 2) バックホウ等で鋼矢板内部を掘削する。
- 3) 床付け後、碎石を敷き均らして転圧し、均しコンクリートを打設する。鋼矢板と底版コンクリートのずれ止め（鉄筋スタッド）を鋼矢板に溶接する。底版の配筋後にコンクリートを打設する。
- 4) PC床版の台座となる鋼板を、鋼矢板にボルトまたは溶接で接合する。鋼板にはPC床版接合用の頭付きスタッドをあらかじめ溶接しておく。鋼板上部の外周部には、止水型枠材としてソールスポンジを設置する。
- 5) PC床版の両端部に接合用のジベル孔を設けておき、大型クレーンを用いて鋼板の上に架設する。その後、無収縮モルタルを打設し、PC床版と鋼板および鋼矢板を一体化する。PC床版間の目地部に埋設型枠を取り付けた後、常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリートを打設する。
- 6) 床版の表面を塗膜系の材料で防水処理する。その後、高機能化路版を敷設し、側部を埋め戻して施工完了となる。

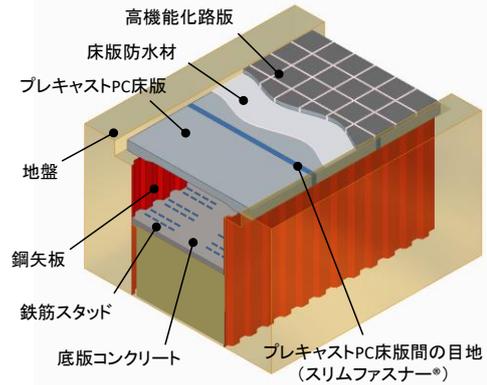


Fig. 2 ダイバーストリートの構造概要図
Structure Outline of Diver-Street

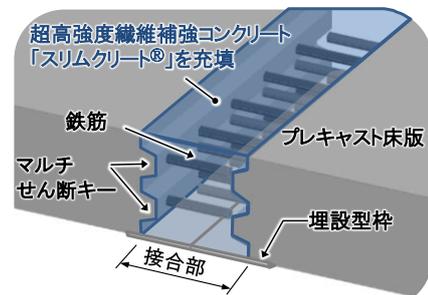


Fig. 3 PC床版接合法（スリムファスナー）
Prestressed Concrete Deck Connection Method
“Slim Fastener”

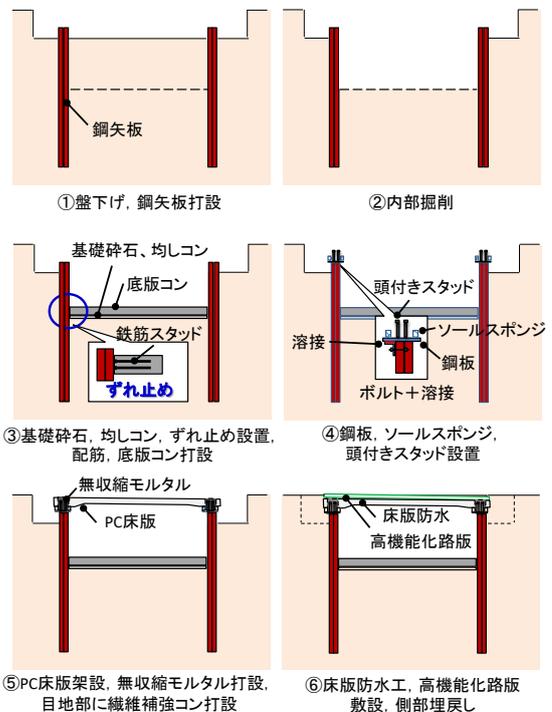
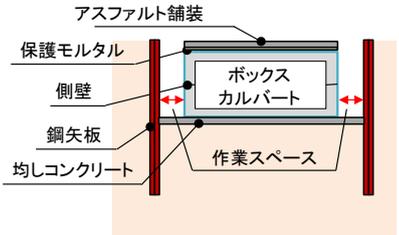
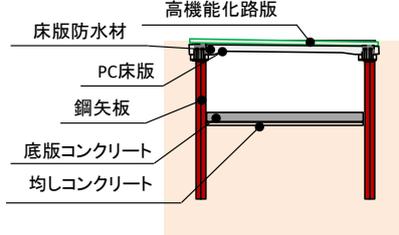


Fig. 4 ダイバーストリートの施工手順
Construction Process of Diver-Street

Table 1 プレキャストボックスカルバートとダイバーストリートの比較

Comparison of Precast Box Culvert and Diver-Street		
項目	従来工法：プレキャストボックスカルバート	新工法：ダイバーストリート
鋼矢板の引抜き工事	必要	不要
側壁の躯体工事	必要	不要
側壁間の作業スペース	必要	不要
建設発生土量	普通	従来工法より少ない
外観図		

2.3 工法の特長

従来は、ボックスカルバート等で地下空間を構築していた。プレキャストボックスカルバートの施工（以下、従来工法）では、まず、地下空間で作業をするために仮設鋼矢板を打設する。次に、工場で製作したプレキャスト製品をトレーラーで現地に運搬し、大型クレーンで設置する。そして、分割されたプレキャスト製品を接続して、側部の埋戻し完了後に仮設の鋼矢板を引き抜く。これら一連の作業のため、周囲の建物や道路など敷地境界から少なくとも1.5m程度は施工エリアとして確保する必要があり、工期とコストに加え、敷地条件の制約が課題であった。

Table 1にプレキャストボックスカルバートとダイバーストリートの比較を示す。以下に従来工法と比較したダイバーストリートの特長を示す。

- 1) 鋼矢板の引抜き工事、側壁の躯体工事および埋戻し工事が不要である。また、工場で製作するプレキャスト部材がPC床版のみであり、同部材の製作費や運送費が大幅に減少する。そのため、従来工法と比較して施工コストが約4割削減できる。
- 2) 仮設材の本設利用により鋼矢板の引抜き工程、側壁の構築工程および埋戻し工程が不要となるため、従来工法より工期を約2割短縮できる。
- 3) 仮設の鋼矢板と躯体の側壁間の作業スペースが不要となり、掘削エリアが縮小できるため、環境負荷を低減できる。

3. 実物大のモックアップ構築事例

3.1 工事概要

Fig. 5に実物大モックアップの平面図を示す。鋼矢板は、幅900mmのハット形鋼矢板SP-25Hを使用した。鋼矢板の長さは8.5mであり、長辺方向に8枚、短辺方向に3枚の計22枚を長形状に配置した。PC床版の寸法は、長辺3.9m×短辺1.6m×厚さ0.3~0.36m（排水勾配2%）であり、計

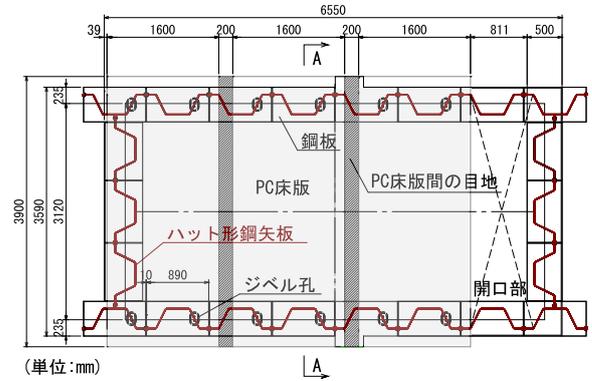


Fig. 5 実物大モックアップの平面図
Ground Plan of Full-Size Mock-up

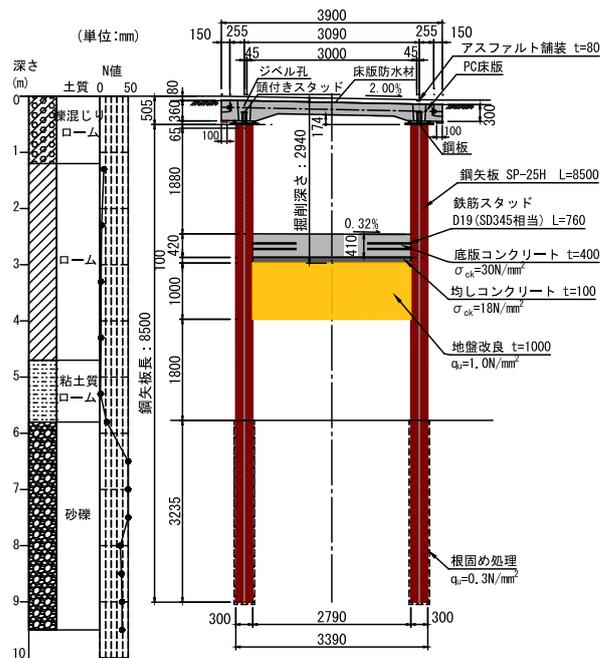


Fig. 6 実物大モックアップのA-A断面図
A-A Cross Section of Full-Size Mock-up

3枚設置した。また、地上から人が出入りできるようにするため、開口部を設けた。

モックアップを構築した地盤は、地表面からGL-5.8mまではN値2のローム層、GL-5.8m以深はN値が40程度の砂礫層が堆積している (Fig. 6)。地盤調査深度内で地下水は認められなかったが、地下水位が浅い場合を想定して鋼矢板の銜合部に止水処理を行い、施工性を確認した。

3.2 鋼矢板打設の補助工法

一般に、N値が25以上の砂礫層に圧入のみで鋼矢板を打ち込むのは難しいといわれている。ウォータージェットを併用して鋼矢板を圧入する場合、その周辺に空隙が生じやすいことから、今回はオーガー併用圧入工法を選定した (Photo 1)。先行掘削後に鋼矢板を打ち込むと、地盤と鋼矢板との間に空隙が発生し、鋼矢板の周面摩擦力が期待できない可能性があった。そこで、鋼矢板打設後 (2.2節の1) の後に砂礫層と鋼矢板間に根固め液を注入した (Photo 2)。根固め液はセメントベントナイトを使用し、文献2)を参考に、設計基準強度は材齢28日で0.3 N/mm²以上に設定した。練混ぜ後に採取した供試体の一軸圧縮強さは、目標強度を満足することを確認した。

3.3 鋼矢板圧入工の出来形検測結果

Fig. 7に鋼矢板の法線出入りにおける施工誤差のヒストグラムを示す。図中には、平均や正規分布も示した。トータルステーションから求めた四隅の計画座標を基準に水糸を設置して鋼矢板平場までの距離を測定し、掘削側への施工誤差を正の値で示した。22枚の鋼矢板の法線出入りを実測した結果、いずれも文献3)における規格値の±100mm以内であることを確認した。なお、法線出入りの施工誤差が最大50mm程度生じた理由として、圧入時に鋼矢板の閉合を優先した影響などが挙げられる。

Fig. 8に高さは是正前の鋼矢板天端高さにおける施工誤差のヒストグラムを示す。計画値に対して上方向の施工誤差を正の値とした。22枚の鋼矢板の天端高さを実測した結果、一部が文献3)における規格値の±50mm以内を超過する結果であった。天端高さの施工誤差が沈下方向に最大66mm生じた理由として、クラッシュパイラーで先行掘りした際における深度方向の余掘りや乱した地盤に圧入した影響により、鋼矢板周辺に空隙が生じたためと推察される。

天端高さの施工誤差が規格値を超過したことから、それらの鋼矢板を引き上げて杭頭部を再溶接し、高さを是正した。本来であれば、鋼矢板を引き上げるとその先端部に空隙が生じるので、鋼矢板の頭部を切断するなどの処理を行うが、今回は先述した根固め液で充填できることから、引き上げることにした。Fig. 9に高さは是正後の鋼矢板天端高さにおける施工誤差のヒストグラムを示す。鋼矢板天端高さの施工誤差を-40mm以内まで是正することができた。なお、後述するように、鋼矢板とプレキャスト床版の接続部で高さ調整できる構造を見込んでいた



Photo 1 鋼矢板圧入状況



Photo 2 鋼矢板根固め状況

Installation of Sheet-Pile Foot Protection of Sheet-Pile

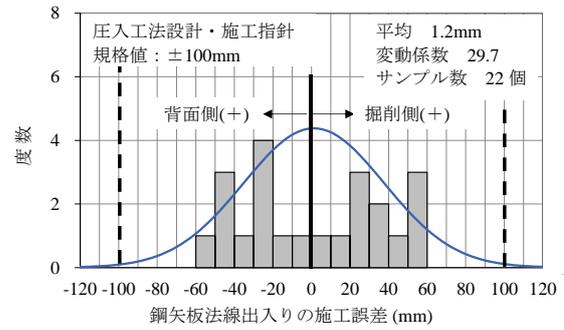


Fig. 7 鋼矢板の法線出入りの施工誤差

Construction Error of Normal differences of Sheet-Pile

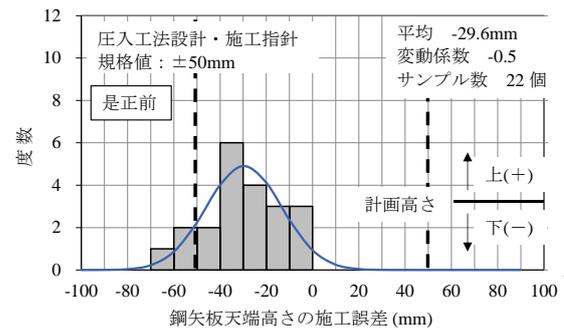


Fig. 8 是正前の鋼矢板天端高さの施工誤差

Construction Error of Crown Height of Sheet-Pile before Correction

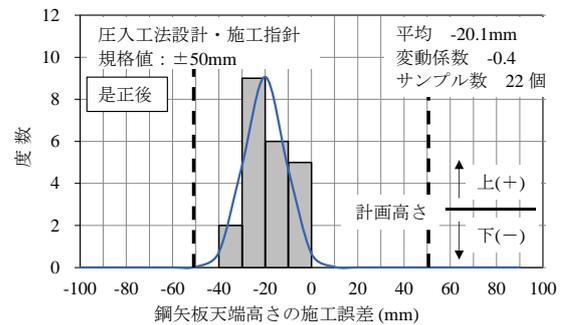


Fig. 9 是正後の鋼矢板天端高さの施工誤差

Construction Error of Crown Height of Sheet-Pile after Correction

ため、当該出来形で工事を進めることにした。

3.4 自立式鋼矢板の変形抑制対策

土留め内部を掘削すると、自立式鋼矢板は掘削側に変

形しようとする。掘削時の水平変形が大きくなった場合、後工程でPC床版を架設できなくなるという懸念があった。そこで、掘削前（鋼矢板根固め後）に掘削底面直下から層厚1mを対象として、Fig. 6に示す地盤改良を行うことにより、先行地中梁として鋼矢板の変形を抑制することとした⁴⁾。

地盤改良工法は、掘削前に施工可能な高圧噴射攪拌工法を選定した（Photo 3）。N値2程度のローム層における地盤改良後の設計基準強度を1.0N/mm²に設定した。直径φ3.5mの地盤改良体を3箇所造成した場合の改良率は、97.1%であった（Fig. 10）。地盤改良体の強度確認を目的として、材齢4日にコアボーリングを行い、端面整形後、一軸圧縮試験を実施した。その結果、目標強度を満足することを確認した。Photo 4に掘削後の改良体天端を示す。

3.5 鉄筋スタッドの設置

鋼矢板と底版コンクリートは、鉄筋スタッドでずれ止めする構造とした。鉄筋スタッドは、D19（SD345相当）とし、長さは40dとなる760mmとした。設計計算上、鋼矢板1枚あたりD19が10本必要であったため、ハット形鋼矢板の平場（ウェブ）に3本、嵌合部（アーム）に1本×2か所とし、それらを2段設置することにより10本とした。実施工では、設計上必要な本数以上の鉄筋スタッドを溶接して設置した（Photo 5）。なお、鋼矢板の隅角部は、鉄筋スタッド同士が干渉しない配置とした。本施工開始前に溶接した鉄筋スタッドの30°の曲げ試験を、施工後に15°の曲げ試験を行った結果、いずれも溶接箇所破断しないことを確認している。

3.6 底版コンクリート打設

底版コンクリートは、単純梁として応力度照査した結果、鉄筋コンクリート厚さを400mmとした。底版コンクリートの上筋はD25@125mm、下筋はD22@125mmまたはD25@125mm、芯かぶりは110mmとした。また、鋼矢板の隅角部の一部に釜場を設けて、ポンプ排水が可能な形状とした。底版コンクリートの配合は「30-15-20N」とし、ポンプ車を使用して打設した（Photo 6）。

3.7 PC床版と鋼矢板の接合

PC床版の台座となる鋼板を、L形鋼を介して各鋼矢板の頭部に1枚ずつ設置した。Fig. 11に施工性の確認を目的とした鋼矢板と鋼板の接合パターンを示す。鋼矢板とL形鋼の接合については、平面図に示す2通りの位置を比較した。いずれも長孔で高さ調整したのち、トルシア型高力ボルトで接合した。接合部は長孔の面積も考慮し、摩擦接合として計算した。L形鋼と鋼板の接合については、ボルト接合と溶接を比較した。Fig. 12にこれら4種類の組合せと配置を示す。

Table 2に鋼矢板と鋼板の接合方法に関する比較結果を示す。加工時間、施工時間、高さ調整のしやすさという観点で比較した。鋼矢板とL形鋼の接合用のボルト本

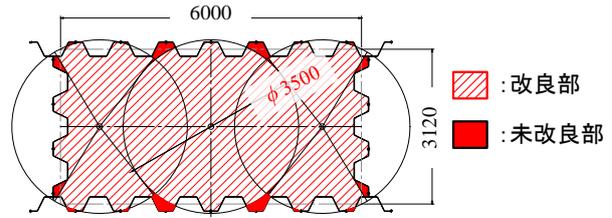


Fig. 10 地盤改良体の配置図
Arrangement of Soil Improvement



Photo 3 地盤改良状況 Soil Improvement
Photo 4 掘削後の改良体天端 Improvement Crown After Excavation



Photo 5 鉄筋スタッド完了 Completion of Reinforcing Steel Stud
Photo 6 底版コンクリートの打設状況 Concrete Placing of Slab

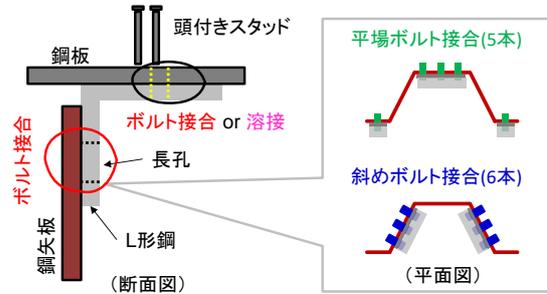


Fig. 11 鋼矢板と鋼板の接合パターン
Joint Pattern between Sheet-Pile and Steel Plate

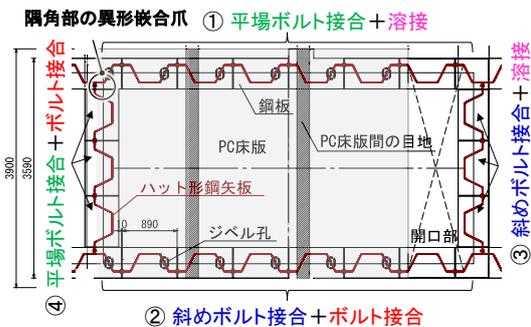


Fig. 12 鋼矢板と鋼板の接合パターン配置図
Layout of Joint Pattern between Sheet-Pile and Steel Plate

Table 2 鋼矢板と鋼板の接合方法に関する比較結果
Comparison of Joint Method between Sheet-Pile and Steel Plate

No.	L形鋼と鋼板	鋼矢板とL形鋼	加工時間	施工時間	高さ調整のしやすさ	総合判定
①	平場ボルト接合	溶接	◎ 加工工数が少ない	◎ 設置箇所が少ない	△ L形鋼と鋼板が一体で重く 高さ調整の作業性が低下	
②	斜めボルト接合	ボルト接合	△ 加工工数が多い	△ 設置箇所が多い	○	隅角部採用
③	斜めボルト接合	溶接	○	○	△ ①と同じ理由	
④	平場ボルト接合	ボルト接合	○	○	○	標準部採用

数は、Fig.11に示すように鋼矢板1枚につき平場で5本、斜めで6本であった。平場のほうが加工工数が少ないうえに、位置出しも容易であった。L形鋼と鋼板の接合は、孔加工とボルト接合よりも溶接したほうが加工手間は少なく、施工時間も短い。しかしながら、工場でL形鋼と鋼板を一体化させた部材を鋼矢板と接合する必要があるため、重量が増して高さ調整の作業性が低下することがわかった。

隅角部は、Fig. 12に示すように鋼矢板の平場の中心に異形嵌合爪を溶接しているため、平場のボルト3カ所のうち中央の1カ所は干渉して接合できないことがわかった。これらを総合的に勘案した結果、一般部は平場ボルト接合を、隅角部は斜めボルトを用いることが最適であることがわかった。ただし、ボルト接合位置が平場中央とならない場合は、すべて④が適しているといえる。

Photo 7に鋼矢板への鋼板設置状況を示す。後工程においてPC床版が架設される箇所の鋼板は平板であるのに対し、それ以外はL型土留め構造とした。これは、鋼板の設置深度がGL-0.5m程度であることから、鋼矢板内部への土砂流入を防止するためである。

3.8 PC床版設置

PC床版は、工場で型枠製作および配筋を行い、ポンプ車を使用して「50-21-20N」のコンクリートを打設した。Photo 8にPC床版におけるコンクリート打設前の状況を示す。PC床版へのプレストレスの導入方法は、コンクリート硬化後にP C鋼棒を設置し、引張力を作用させ、シース内をグラウトで充填する「ポストテンション方式」を採用した。PC床版本体、PC鋼棒付近の後打ち部、シース内のグラウトは、いずれも設計基準強度の50N/mm²を上回ることを確認した。

25tラフタークレーンでPC床版を揚重し、所定の位置に設置した (Photo 9)。PC床版の両端部には接合用の開口部 (ジベル孔) を設け、頭付きスタッドを取り付けた鋼板の上に架設し、無収縮モルタルを打設して一体化した。また、PC床版間の接合部の施工法として埋設型枠とあご付きの2種類を採用し、両施工法を比較した。あご付きのほうがPC床版設置時に時間はかかるものの、型枠を取りつける手間がかからないため、施工性に優れることがわかった (Photo 10)。なお、PC床版をすべて設置したのちに目地間の距離を計測した結果、いずれも設計値



Photo 7 鋼矢板への鋼板設置状況
Installation of Steel Plate with Sheet-Pile



Photo 8 PC床版におけるコンクリート打設前の状況
Installation of PC Floor Slab before Concrete Placing



Photo 9 PC床版設置完了
Installation of PC Floor Slab Completed

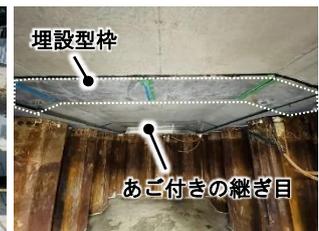


Photo 10 埋設型枠設置完了
Installation of Embedded Formwork Completed

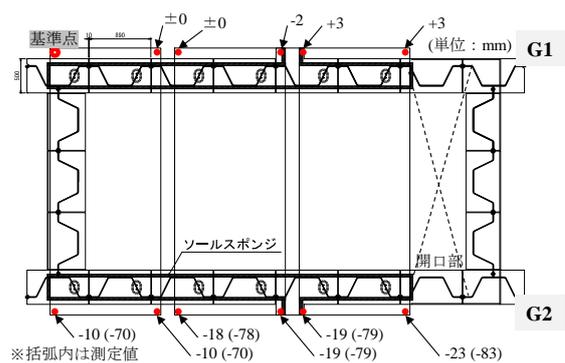


Fig. 13 PC床版天端高さの計測結果
Measurement Results of PC Floor Slab Height

と比較して0～+1mmであった。

Fig. 13にPC床版天端高さの計測結果を示す。PC床版は図中のG1通りからG2通りにかけて2%の排水勾配を設けており、G2通り側の数値は、PC床版厚さの差異 (G1-G2=360-300=60mm) を考慮した後の施工誤差を示す。上記を考慮した基準高さからの各施工誤差は、すべて文献5)



Photo 11 スリムクリート打設状況
Construction of Slim-Crete Placing



Photo 12 スリムクリート研削状況
Construction of Slim-Crete Grinding



Photo 13 床版防水工完了
Construction of Floor Slab Waterproofing Completed



Photo 14 施工完了
Construction Completed

における床版の許容値 (-45~+5mm) を満足することを確認した。

3.9 PC床版間目地部の施工

PC床版間の目地部は、車載型のプラントを設置し、現地で常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」を練り混ぜて打設した。Photo 11にスリムクリートの打設状況を示す。練り混ぜたスリムクリートを攪拌翼付きのパドルホッパーに卸して打設した。打設後は、①蓋養生、②3~4時間放置、③仕上げ(クレーター、気泡の撤去)、④湿潤養生の順にスリムクリート表面の品質を管理した。なお、打設時に採取した各種供試体の強度試験を行った結果、スリムクリートの圧縮強度は180N/mm²以上、ひび割れ発生強度が8.0N/mm²以上、引張強度が8.8N/mm²以上であったことを確認している。

スリムクリート硬化後の表面にバリやあばたが一部生じることが懸念されたため、予め所定の高さより5mm厚く打設し、翌日に研削作業を行った (Photo 12)。

3.10 床版防水工

鉄筋コンクリート製のプレキャスト床版の損傷要因は、舗装を介して直接交通荷重を受ける以外に、床版に雨水が浸透することにより耐久性が低下することも挙げられる。今回は、1年程度存置した後に解体するモックアップであることを踏まえ、文献6)の中で最も要求性能が低い「グレードI防水」を採用した。本施工では、橋梁床版用の加熱型塗膜防水材料を使用した (Photo 13)。

3.11 アスファルト舗装工

アスファルト舗装の仕様は、文献7)の橋面の舗装に準

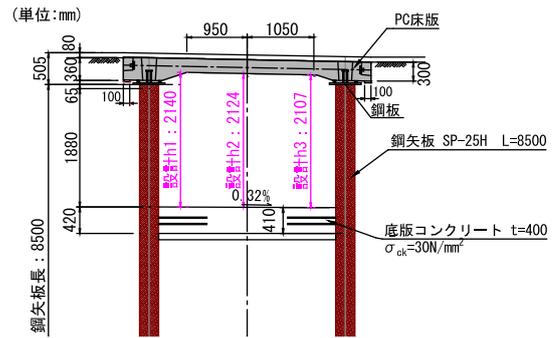


Fig. 14 地下空間における内空高さの計測位置
Measurement Arrangement of Inside Height of Underground Space

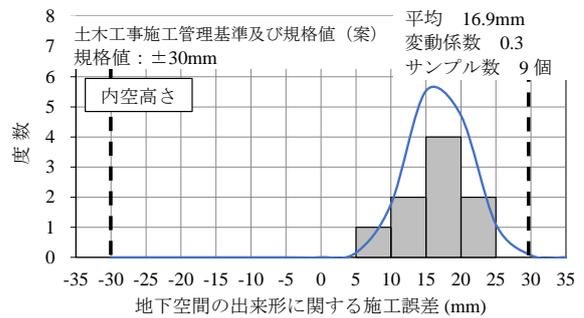


Fig. 15 地下空間の出来形計測結果

As-Built Measurement Results of Underground Space

拠し、基層(橋梁レベリング層)40mm、表層40mmの2層構造とした。なお、アスファルト舗装の品質管理として、出荷元の合材センターの管理目標値である出荷温度(160±10℃)、到着温度(155±5℃)、敷均し温度(150±5℃)、初期転圧温度(145±5℃)、二次転圧温度(130±10℃)を確認している。Photo 14に側部を埋め戻した後の施工完了状況を示す。今回はアスファルト舗装で施工したが、今後、高機能化路版への置換えも検討している。

3.12 地下空間の出来形計測結果

Fig. 14に地下空間における内空高さの計測位置と設計値を示す。内空高さは、PC床版の中央および両端のハンチとの境界部で計測した。計測数は、3カ所×PC床版3枚=9カ所とした。

Fig. 15に地下空間の出来形計測結果を、設計に対する差として示す。なお、本計測は車両走行実験後に計測を行った。内空高さはいずれも文献8)のカルパート工の規格値(設計寸法の±30mm)を満足することを確認した。また、設計と実測の差の平均値は16.9mmであり、変動係数は0.3という結果であった。Photo 15に完成後の地下空間を示す。

4. 現場計測

4.1 施工時の騒音・振動測定結果

施工箇所から約14m離れた位置で騒音と振動を測定し



Photo 15 完成後の地下空間
Completion of Underground Space

Table 3 騒音・振動記録
Records of Noise and Vibration

主な工種	施工機械	最大騒音(dB)	最大振動(dB)
鋼矢板圧入工	圧入機	76.7	54.0
地盤改良工	削孔機	75.7	52.4
底板コンクリート工	ポンプ車	73.4	49.8
プレキャスト床版架設工	50tクレーン	74.4	48.9
スリムファスナー工	攪拌ミキサー	77.2	53.0
アスファルト舗装工	ローラ他	75.4	52.1
(参考) 暗騒音	—	60.3	42.6

※騒音規制法の管理値：85dB・振動規制法の管理値：75dB

た。Table 3に施工時の騒音・振動記録を示す。各施工期間において、10分間平均の最大騒音は74~78dB、最大振動は48~54dBであった。休工日における一般車両の走行等を含む暗騒音時における10分間平均の最大騒音は60dB程度、最大振動は43dB程度であった。なお、工事期間中に騒音規制法の管理値：85dB、振動規制法の管理値：75dBを上回る時間帯はないことを確認した。

4.2 鋼矢板の水平変位・曲げ応力度測定結果

鋼矢板No.1と鋼矢板No.6にひずみゲージと多段式傾斜計を各6深度設置し、曲げ応力度と水平変位を測定した。Fig. 16に実物大モックアップの計器平面配置図を、Fig. 17に計器断面配置図を示す。測定は鋼矢板内側の地盤掘削前からサンプリング間隔1分で行った。なお、鋼矢板No.1における最深部の多段式傾斜計のみ計測深度が浅い理由は、角型鋼管(□75×75×3.2mm)内に根固め液が流入して固化しており、所定の深度まで後挿入できなかったためである。

Fig. 18に鋼矢板の水平変位分布を示す。各工種が完了した日の17時の結果を比較した。掘削完了時点におけるNo.1天端の水平変位は約1.1mm、No.6天端のそれは約0.6mmであった。弾塑性法による土留め壁の設計計算で算出した鋼矢板天端の最大水平変位(31.1mm)と比較すると約2~4%であり、十分に小さい結果であった。設計条件との明確な差異として、設計計算では鋼矢板背面に作用する油圧ショベルの重機荷重を考慮していたが、施工時はNo.1の対面側に油圧ショベルを配置して掘削したこと、掘削前に先行地中梁として構築した地盤改良体の強度が設計基準強度の約1.8倍であったことが挙げられる。

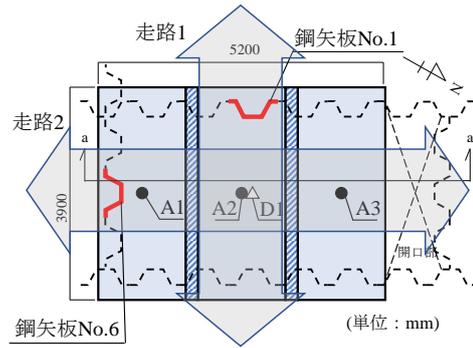
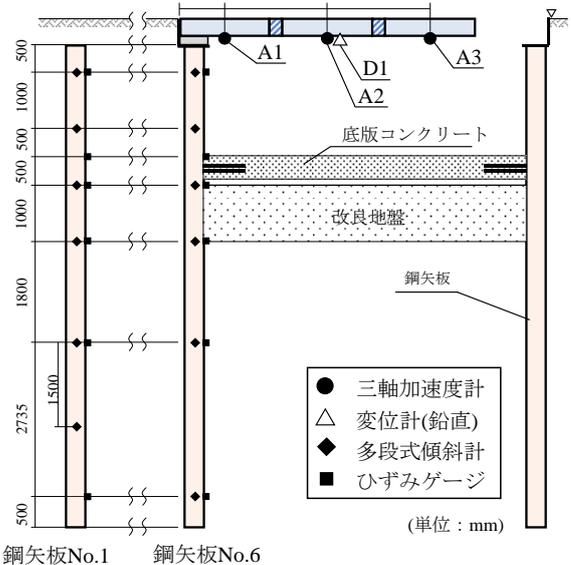


Fig. 16 実物大モックアップの計器平面配置図
Indicator Floor Plan of Full-Size Mock-up



鋼矢板No.1 鋼矢板No.6

Fig. 17 実物大モックアップの計器断面配置図
Indicator Cross Section View of Full-Size Mock-up

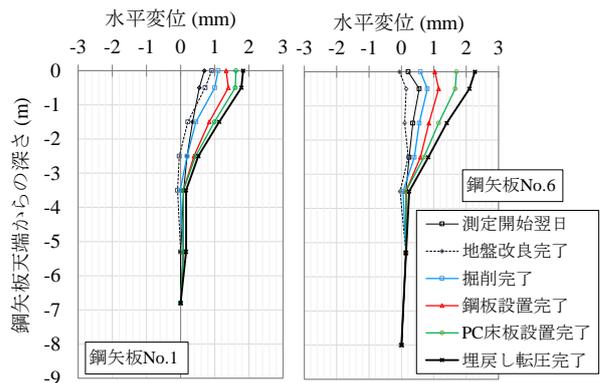


Fig. 18 鋼矢板の水平変位分布

Distribution of Horizontal Displacement of Sheet-Pile

上記を加味して再計算した結果、最大水平変位は7.5mmとなり、やや乖離があるものの弾塑性法による土留め壁の計算は安全側の結果であった。本施工試験の粘性土はN値が比較的小さくても自立する関東ロームであり、側圧が非常に小さいことも影響していると考えられる。なお、埋戻し転圧完了時における鋼矢板天端の最大

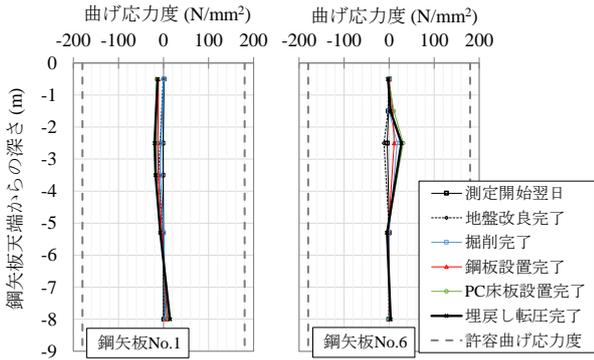


Fig. 19 鋼矢板の曲げ応力度分布

Distribution of Bending Stress Intensity of Sheet-Pile

Table 4 車両走行実験ケース
Case of Car Driving Tests

ケース	車の呼名	車体重量(ton)	走路	備考
1	1t	1.2	1	乗用車
2			2	
3	4t	4.3	1	4tトラック (積載無し)
4			2	
5	7t	7.3	1	4tトラックに土を積載して 車体重量を約7tにした
6			2	
7	11t	11.3	1	10tトラック (積載無し)
8			2	
9	16t	15.7	1	10tトラックに土を積載して 車体重量を約16tにした
10			2	
11	19t	19.4	1	10tトラックに土を積載して 車体重量を約19tにした。 ケース12はケース11の走路より 約1m北にずらして走行した
12			2	
13	22t	22.4	1	10tトラックに土を積載して 車体重量を約22tにした
14			2	
15				

※1ton = 9.8kN

水平変位は2mm程度であった。

Fig. 19に鋼矢板の曲げ応力度分布を示す。鋼矢板の腐食しろとして両面1mmを考慮した。施工時の最大曲げ応力度は、鋼矢板No.6の天端からの深さ-2.5mで31N/mm²であり、図中に併記した本設時の長期許容曲げ応力度(180N/mm²)の約17%と十分に小さいことを確認した。また、この値は設計時の弾塑性法による土留め壁計算結果(97N/mm²)の約32%、前述の再計算結果(39N/mm²)の約80%であり、曲げ応力度についても弾塑性法による計算結果は安全側であることを確認した。

5. 車両走行実験

5.1 実験概要

車両走行実験時にはさらに三軸加速度計と変位計を追加し、ひずみゲージと合わせてサンプリング間隔0.01秒で測定した。加速度計は、Fig. 16, Fig. 17に示すように各PC床版裏面の中央に設置した(A1~A3)。変位計D1(分解能0.005mm)は底版コンクリートを不動点とし、底版コンクリート上に組んだ鉄骨架台に取り付けて中央のPC床版裏面の変位を測定した。



Photo 16 走路1の車両走行状況
Car Driving of Route 1

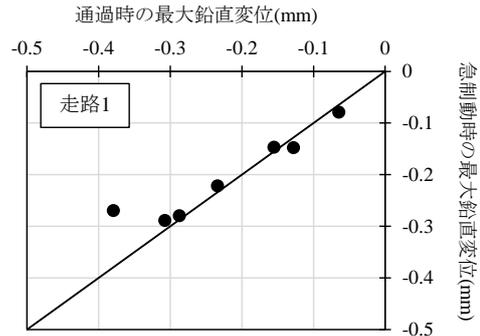


Fig. 20 走路1の通過時と急制動時の最大鉛直変位
Maximum Vertical Displacement of Route 1
between Passing and Hard Braking

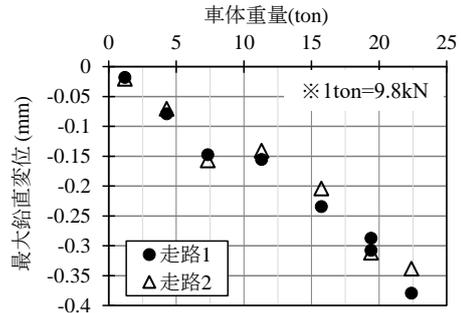


Fig. 21 最大鉛直変位－車体重量の関係
Maximum Vertical Displacement - Auto Weight

Table 4に車両走行実験ケースを示す。ここで、車体重量は車両本体と積載した土の総重量を示す。車体重量は車両と土の積載重量を変化させ、「1t」から「22t」までの呼名を付けた7種類とした。車両の走行方向は2種類(Fig. 16)で、走路1は東西方向に前進と後進で5往復走り抜けた後、PC床版上で急制動にて停止した(Photo 16)。走路2ではPC床版上で南向きに停車させた状態で計測を開始し、PC床版より外まで前進した後に再度PC床版上まで後進して停車する動作を5回繰り返した。車両の最高速度は走路1で時速約15km、走路2で時速5~10kmであった。

5.2 実験結果

Fig. 20に通過時と急制動時に変位計D1で計測された最大変位量を示す。通過時と急制動時でほとんど差はみられなかった。なお、全てのケースで除荷後の残留変位はなく、弾性的な挙動であった。

Fig. 21に最大鉛直変位－車体重量の関係を示す。走路1と走路2ともに車体重量が重いほど変位計D1の最大鉛直変位（PC床版のたわみ）が大きくなったが、車体重量が「22t」でも0.4mm未満とわずかであることを確認した。

Fig. 22に最大鉛直加速度－車体重量の関係を示す。走路1では、全ての加速度計において車体重量が重いほど最大鉛直加速度が大きくなる傾向がみられた。この傾向は加速度計A2、A3で顕著であった。走路2では、車体重量が「7t」のケースで最大鉛直加速度が突出して大きくなる結果であった。その理由として、4tトラックを用いた車体重量「4t」と「7t」では、10tトラックを用いたケースよりも急発進したことや、急加速に合わせて荷台が大きく上下に揺動したことなどが挙げられる。

車両走行実験後に鋼矢板の水平変位と曲げ応力度を測定した結果、いずれの深度分布においてもほぼ変化していないことを確認している。

6. まとめ

地上および地下空間を利活用した次世代の道路構想のダイバーストリートを開発した。通常仮設材として用いる鋼矢板を本設利用することにより、鋼矢板の引抜き工事、側壁の躯体工事、埋戻し工事が不要となり、コスト縮減と工期短縮が可能である。本報では、ダイバーストリートの工法概要、実物大の施工試験による施工性や出来形の検証、現場計測および車両走行実験などについて述べた。各検証結果より得られた知見を以下に示す。

- 1) オーガー併用圧入工法で施工した鋼矢板の法線出入りと天端高さを実測した結果、天端高さの一部に是正を要したものの、文献3)の規格値を満足する出来形を確保できることを確認した。
- 2) PC床版の台座として、鋼矢板頭部にL形鋼を介して設置する鋼板の接合方法を複数試行し、施工性を比較した。加工工数や位置決めのはやすさから、鋼矢板とL形鋼の接合については鋼矢板の平場位置でのボルト接合、L形鋼と鋼板の接合については溶接ではなく、ボルト接合が最適であることがわかった。
- 3) 実物大モックアップ完成後に内空高さを実測した結果、内空高さはいずれも文献8)のカルバート工の規格値（設計寸法の±30mm）を満足することを確認した。
- 4) 工事期間中に測定した騒音と振動は、騒音規制法および振動規制法の管理値を満足することを確認した。
- 5) 鋼矢板の水平変位を測定した結果、施工完了時における最大水平変位は2mm程度であった。施工時の最大曲げ応力度は、本設時の長期許容曲げ応力度の約17%と十分に小さいことを確認した。

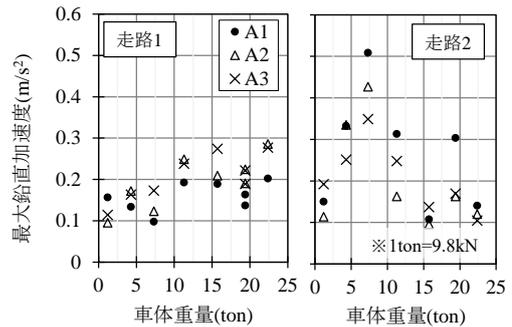


Fig. 22 最大鉛直加速度－車体重量の関係
Maximum Vertical Acceleration – Auto Weight

- 6) 車両走行実験結果より、車体重量が重いほどPC床版のたわみが大きくなったが、最大でも約0.4mm未満であった。また、全てのケースで除荷後の残留変位はなく、弾力的な挙動であった。

鋼矢板の法線出入りと天端高さの出来形精度の向上、PC床版と鋼矢板の接合部材における高さ調整方法に改善の余地があるため、今後の課題とする。

今後は得られた成果を社内外に発信するとともに、実適用に向けた検討を継続する所存である。

謝辞

本開発を進めるにあたって多大なご協力を頂いた共同研究者のトヨタ自動車株式会社未来創生センター、株式会社豊田中央研究所の関係諸氏に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木ら：高耐久・短工期を実現するプレキャスト道路橋床版接合工法「スリムファスナー®」, 大林組技術研究所報, No.82, 2018
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3土工事および山留め工事, pp.84-88, 2022.3
- 3) 国際圧入学会：圧入工法設計・施工指針 2020年版, pp.227-229, 2020.3
- 4) 粕谷ら：自立式鋼矢板の地盤改良体による土留め変形抑制効果の検討事例, 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp.387-390, 2022.12
- 5) 東日本・中日本・西日本高速道路：コンクリート施工管理要領, pp.91-93, 2017.7
- 6) 東日本・中日本・西日本高速道路：構造物施工管理要領（保全編）, pp.126-139, 2016.8
- 7) 東日本・中日本・西日本高速道路：設計要領第一集 舗装編, pp.2-4, 2015.7
- 8) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案）, p. I -162, 2023.3