

次世代の道路構想「ダイバーストリート[®]」のモックアップ構築事例

粕谷 悠紀・早川 喜三郎・伊東 裕司

国土が狭い我が国では、地上空間を有効活用するには限度があり、今後は地下空間に着目した街づくりやインフラ整備が期待されている。そこで、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。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、この次世代の道路構想の工法概要、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る。

キーワード：道路，地下空間，鋼矢板，実物大モックアップ，常時測定，車両走行実験

1. はじめに

近年、都市部では駅周辺の再開発事業やインフラ整備が行われており、生活しやすい街づくりが進められている。その一方で、都市部での人口集中、物流量の急激な増大、電気やガスなどのライフラインの煩雑化、激甚化する地震災害・豪雨災害などが問題視されている。国土が狭い我が国では、地上空間を有効活用するには限度があり、今後は地下空間に着目した街づくりやインフラ整備が期待されている。

そこで、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インフラ構想「ダイバーストリート[®]」(以下、本次世代道路構想)を開発した(図-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と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、今般実物大のモックアップを構築した。本報では、本次世代道路構想の工法概要、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、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. 本次世代道路構想の工法概要

(1) 概要

本次世代道路構想は、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。図-2に構造概要図を示す。道路

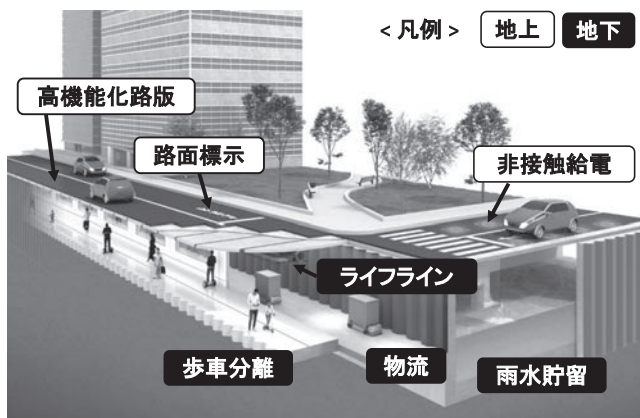
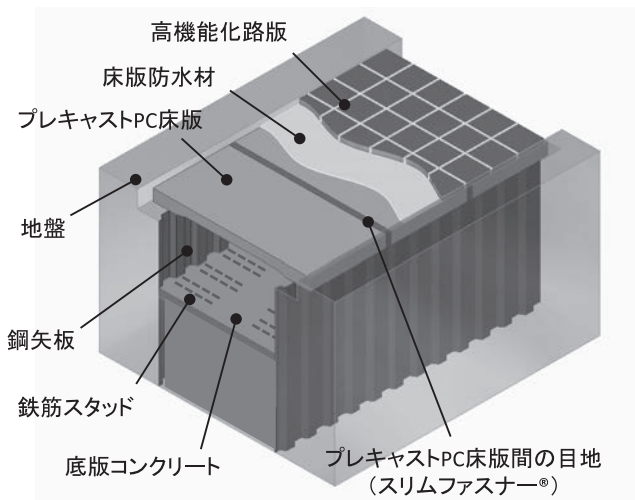


図-1 本次世代道路構想による次世代の道路構想



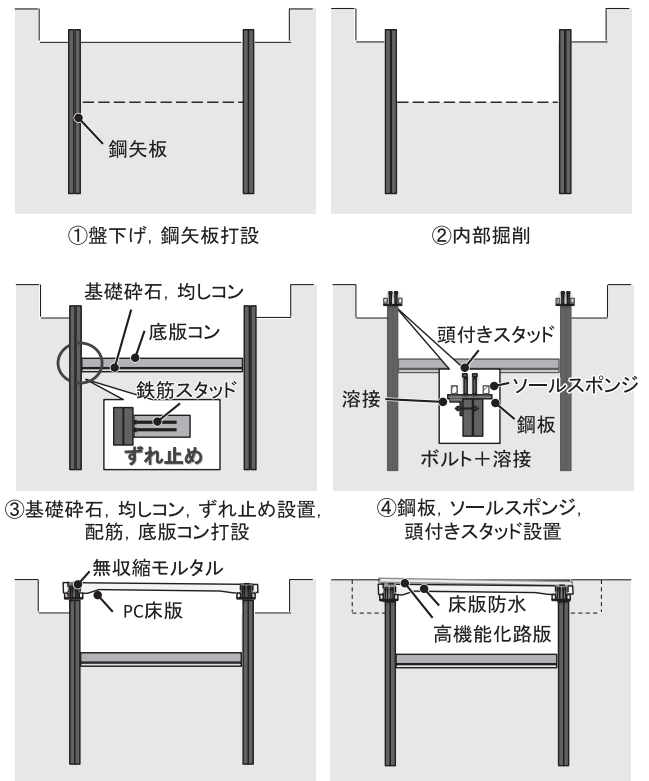
図一 本次世代道路構想の構造概要図

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、工場で製作する。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®」(以下、本高強度モルタル材料)を充填して接合する「スリムファスナー®」¹⁾を採用した。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。本工法の特長については、既報に譲る²⁾。

(2) 施工手順

図一 3 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の内部地盤を掘削する。
- 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



③基礎碎石, 均しコン, ずれ止め設置, 配筋, 底版コン打設

④鋼板, ソールスポンジ, 頭付きスタッド設置

⑤PC床版架設, 無収縮モルタル打設, 目地部に繊維補強コン打設

⑥床版防水工, 高機能化路版敷設, 側部埋戻し

図一 3 本次世代道路構想の施工手順

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。

3. 実物大のモックアップ構築事例

(1) 工事概要

図一 4 に実物大モックアップの平面図を示す。鋼矢板は、幅 900 mm のハット形鋼矢板 SP-25H を使用した。鋼矢板の長さは 8.5 m であり、長辺方向に 8 枚、短辺方向に 3 枚の計 22 枚を長方形に配置した。PC床版の寸法は、長辺 3.9 m × 短辺 1.6 m × 厚さ 0.3 ~ 0.36 m (排水勾配 2%) であり、計 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-5.8 m までは N 値 2 のローム層、GL-5.8 m 以深は N 値が 40 程度の砂礫層が堆積している (図一 5)。地盤

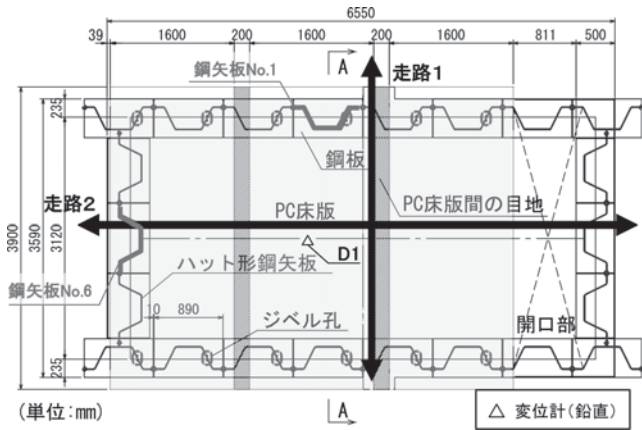


図-4 実物大モックアップの平面図

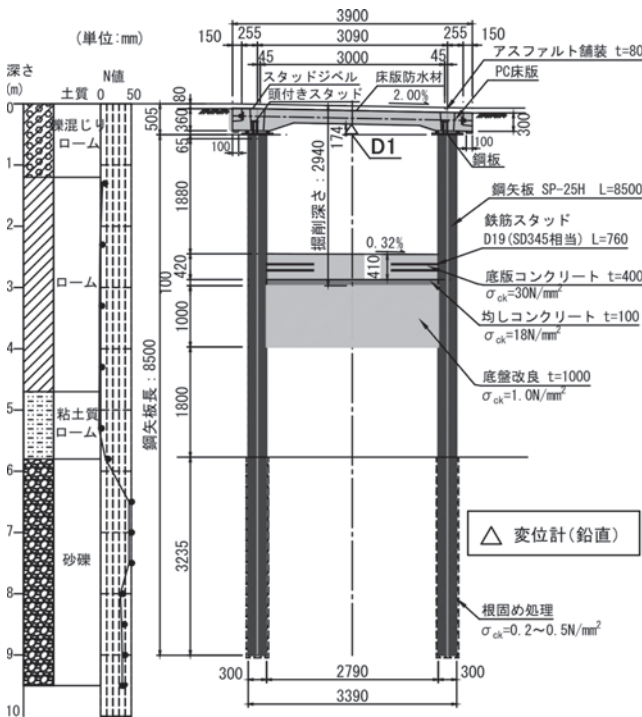


図-5 実物大モックアップのA-A断面図

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継合部に止水処理を行い、施工性を確認した。なお、今回のモックアップ構築で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。

(2) 各工事の詳細内容

(a) 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(写真-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、



写真-1 鋼矢板圧入状況

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、鋼矢板打設後に砂礫層と鋼矢板間に根固め液を注入した。根固め液はセメントベントナイトを使用し、文献3)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。

(b) 鉄筋スタッドの設置

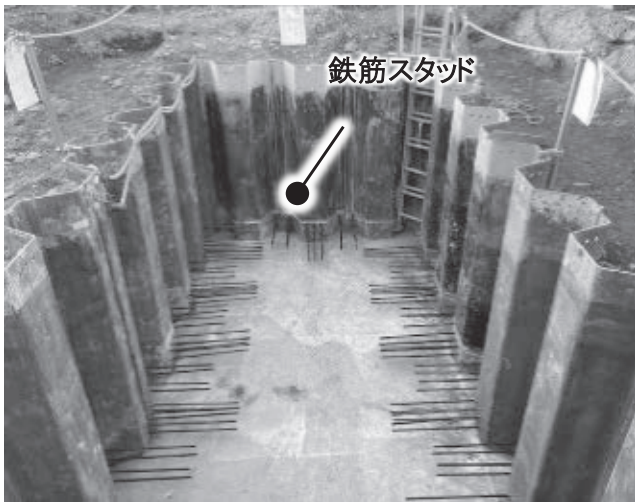
鋼矢板と底板コンクリートは、鉄筋スタッドでずれ止めする構造とした。鉄筋スタッドは、D19 (SD345相当)とし、長さは40dとなる760 mmとした。設計計算上、鋼矢板1枚あたりD19が10本必要であったため、ハット形鋼矢板の平場(ウェブ)に3本、継合部(アーム)に1本×2カ所とし、それらを2段設置することにより10本とした。実施工では、設計上必要な本数以上の鉄筋スタッドを溶接して設置した(写真-2)。なお、鋼矢板の隅角部は、鉄筋スタッド同士が干渉しない配置とした。

(c) 底板コンクリート打設

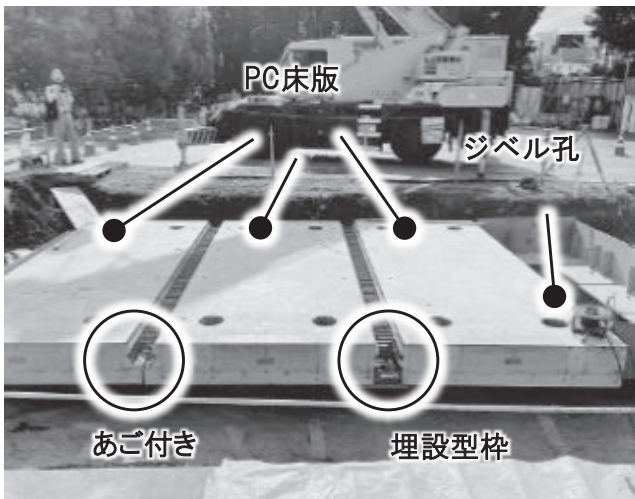
底板コンクリートは、単純梁として応力度を照査した結果、鉄筋コンクリート厚さを400 mmとした。底板コンクリートの上筋はD25@125 mm、下筋はD22@125 mmまたはD25@125 mm、芯かぶりは110 mmとした。また、鋼矢板の隅角部の一部に釜場を設けて、ポンプ排水が可能な形状とした。底板コンクリートの配合は「30-15-20N」とし、ポンプ車を使用して打設した。

(d) 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



写真一2 鉄筋スタッド完了



写真一3 PC床版設置完了

ンプ車を使用して「50-21-20N」のコンクリートを打設した。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（写真一3）。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。

(e) PC床版間の目地部の施工

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を練り混ぜて打設した。練り混ぜた本高強度モルタル材料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湿潤養生の順に本高強度

モルタル材料の品質を管理した。

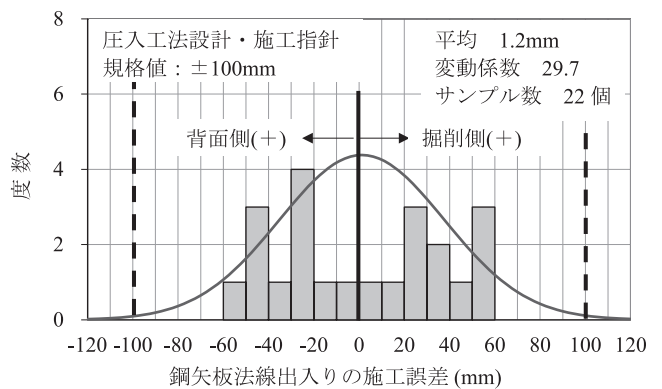
(3) 出来形計測結果の紹介

(a) 鋼矢板圧入工の出来形検測結果

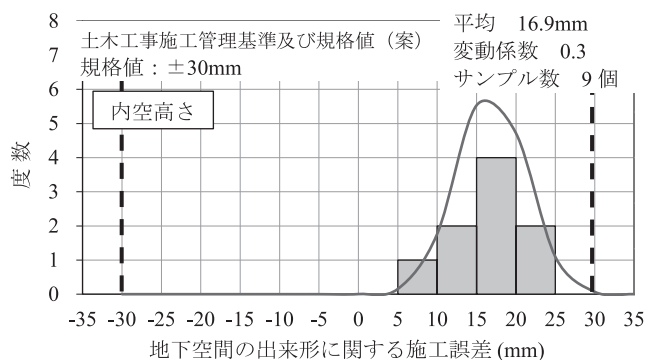
図一6に鋼矢板の法線出入りにおける施工誤差のヒストグラムを示す。図中には、平均や正規分布も示した。トータルステーションから求めた四隅の計画座標を基準に水糸を設置して鋼矢板平場までの距離を測定し、掘削側への施工誤差を正の値で示した。22枚の鋼矢板の法線出入りを実測した結果、いずれも文献4)における規格値の±100mm以内であることを確認した。なお、法線出入りの施工誤差が最大50mm程度生じた理由として、圧入時に鋼矢板の閉合を優先した影響などが挙げられる。

(b) 地下空間の出来形計測結果

地下空間における内空高さは、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。図一7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5)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。また、



図一6 鋼矢板の法線出入りの施工誤差



図一7 地下空間の出来形計測結果



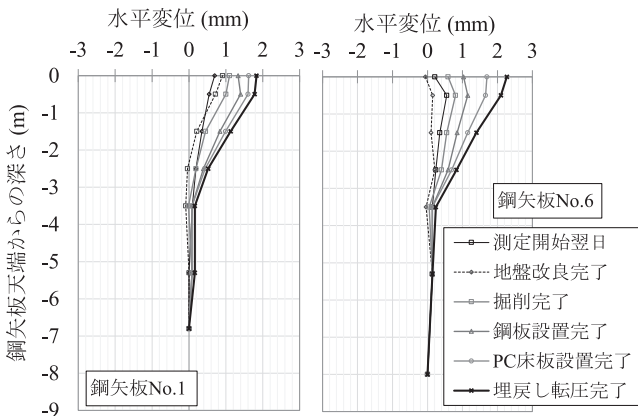
写真一4 完成後の地下空間

設計と実測の差の平均値は 16.9 mm であり，変動係数は 0.3 であった。写真一4 に完成後の地下空間を示す。

4. 現場計測

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。図一4 に実物大モックアップの計器平面配置図を，図一5 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。

図一8 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 1.1 mm，No.6 天端のそれは約 0.6 mm 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 (31.1 mm) 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



図一8 鋼矢板の水平変位分布

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，土留め計算上は奥行き方向を半無限として水平変位を算出しているのに対し，実施工では鋼矢板を閉合しており，その 1 辺も比較的短かったことなどが挙げられる。なお，埋戻し転圧完了時における鋼矢板天端の最大水平変位は 2 mm 程度であった。

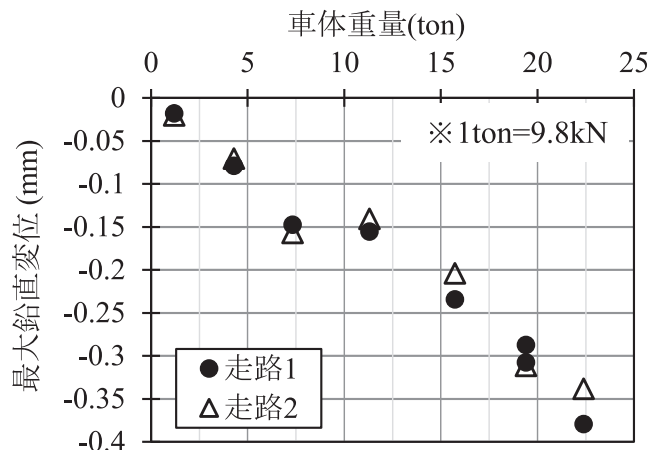
5. 車両走行実験

(1) 実験概要

車両走行実験時にはさらに変位計を追加し，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。変位計 D1 (分解能 0.005 mm) 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。車体重量は車両重量と土の積載重量を変化させ，1 t，4 t，7 t，11 t，16 t，19 t および 22 t の呼名を付けた 7 種類とした。車両の走行方向は 2 種類 (図一4) 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。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 15 km，走路 2 で時速 5～10 km であった。

(2) 実験結果

図一9 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



図一9 最大鉛直変位－車体重量の関係

が、車体重量が「22 t」でも 0.4 mm 未満とわずかであることを確認した。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. おわりに

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。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、現場計測および車両走行実験などについて述べた。鋼矢板の施工誤差、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、更なる実適用を重ね、社会実装を進めていく所存である。

J C M A

《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) 粕谷ら：次世代の交通・物流・人流・防災を見据えた道路構想の展望, 土木施工, pp.104-107, 2024年8月号
- 3) 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

- 4) 国際圧入学会：圧入工法設計・施工指針 2020年版, pp.227-229, 2020.3
- 5) 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

【筆者紹介】



粕谷 悠紀 (かすや ゆうき)
 (株)大林組
 技術本部 技術研究所 地盤技術研究部
 課長



早川 喜三郎 (はやかわ きさぶろう)
 (株)豊田中央研究所
 イノベティブ研究部門 モビリティインフラ研究領域
 リーディングリサーチャー



伊東 裕司 (いとう ゆうじ)
 トヨタ自動車(株)
 未来創生センター
 R-フロンティア部 生産革新研究領域
 リサーチリーダー