

複雑な地形形状における 覆工設置工事への3次元地形データの適用

太田 啓介・小島 文寛・池田 直広

渋谷駅前の再開発工事において、国道246号線部では、東口地下広場から地上への出入口構築工事が行なわれている。工事箇所は、昼夜通して交通量が多く、縦横断勾配を持つ幹線道路であり、地下構造物施工中の路面覆工には、騒音、振動防止のため、段差のない覆工の施工が要求されていた。そこで、移動式3次元レーザースキャナーで、正確な現地地形データを取得し、作成した3次元モデルを活用することで、合理的な路面覆工の設置高、勾配の計画策定を行なった。また、3次元モデルを活用した、構造物の干渉確認、施工検討を行なった。

キーワード：3次元レーザースキャナー、CIM、仮設工、路面覆工、舗装、測量

1. はじめに

現在、技能労働者の高齢化、若年者の入職が少ないことから、今後十数年を見通した場合、技能労働者数の減少が続く見込みであり、建設業に従事するものとして、生産性を向上させることが求められている。近年推進されてきた、CIM、IoT、そして今年度から開始されたi-Construction等、建設業の技能労働者の減少に対して、3次元データを活用した、設計、施工計画、および、情報化施工やICT活用による現場施工の効率化・省力化が進められている。本報文は、渋谷駅周辺再開発に伴う、東口地下広場出入口構築工事における路面覆工、および仮舗装において、3次元レーザースキャナー測量を行い、路面覆工設置計画、および施工計画の策定を行ったものである。

2. 3次元地形データを用いた覆工設置工事の計画策定

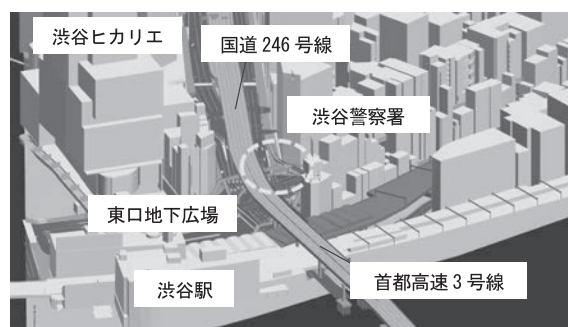
(1) 渋谷駅周辺再開発の概要

渋谷駅は、東急、JR、東京メトロ、京王の4社8線が結節している主要交通ターミナル、そして、渋谷駅周辺の商業地区への玄関口として、交通、商業の拠点となっている。現在、交通アクセスの利便性向上、駅前広場の拡充、周辺の駅ビルの解体・新設を含めた渋谷駅街区の再開発、また、降雨時の浸水対策を含めた渋谷駅前都市基盤の整備のため、複合的な大規模再開発工事が行われている。渋谷駅周辺再開発事業で

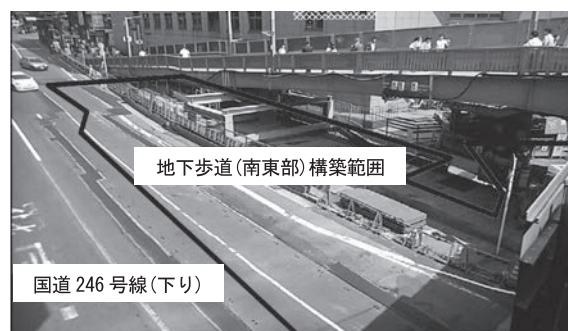
は、東口駅前広場整備の一環として、東口地下広場が計画されている。東口地下広場は、地上に整備される東口・西口駅前広場と合わせて、再開発後における渋谷駅前の歩行者ネットワークの中心的な施設となる。

(2) 現場概要

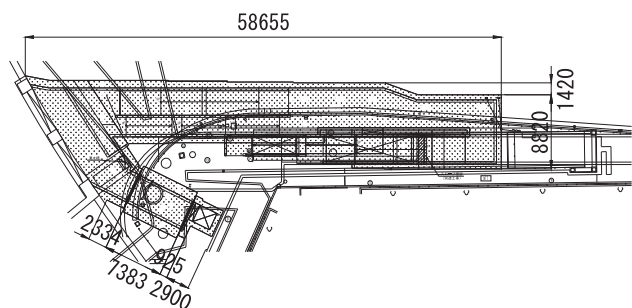
渋谷駅東口地下歩道（南東部）構築工事は、国道246号線と明治通りとの交差点付近に、東口地下広場



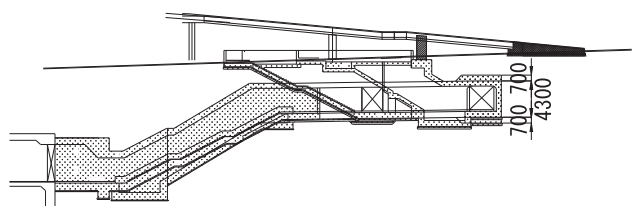
図一 東口地下広場出入口構築位置



写真一 東口地下広場出入口工事箇所（着工前）



図—2 現場平面図 (単位: mm)



図—3 現場縦断面図 (単位: mm)

から地上への出入口を構築する工事である (図—1, 写真—1)。当工事では、国道 246 号線直下に深さ 8 ~ 16 m の掘削を行ない、出入口躯体を構築するため、約 700 m² の路面覆工を行なう (図—2, 3)。

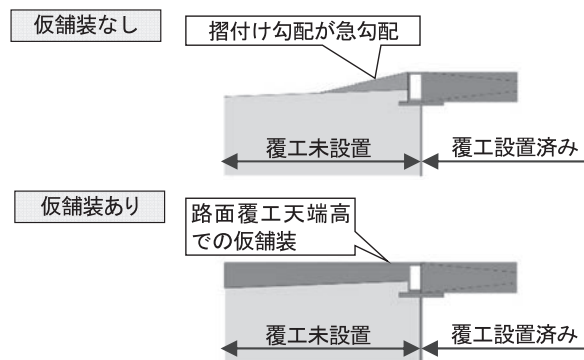
(3) 現場の特徴と問題点

出入口の構築に伴う路面覆工範囲は、片側 4 車線の国道 246 号線と明治通りとの交差点付近に位置しており、3% 以上の縦断勾配に加え横断勾配によるねじれを含む複雑な形状をしている。

また、国道 246 号線は、昼夜を通して交通量の多い主要幹線道路であり、交通車両による騒音・振動を最小限とするため、段差のない路面覆工を施工することが求められた。

路面覆工範囲は、最大設置幅約 15 m、延長約 60 m に渡る約 700 m² であるため、覆工作業は夜間分割での作業となる。しかし、覆工設置箇所はねじれを含む複雑な路面形状をしているため、覆工設置作業の際、覆工設置済み箇所と未設置箇所との摺りつけ舗装が急勾配となる恐れがあった。そこで、本工事では、事前に路面覆工天端高で仮舗装を行い、その後、順次覆工板を設置することで、路面覆工施工中の段差をなくす計画とした (図—4)。

設計段階の覆工計画では、車道の単勾配のみを考慮した概略設計となっており、覆工設置作業中の段差については考慮されていない。路面覆工高を決定するにあたり、覆工位置毎での横断測量を行うのが理想的である。しかし、トータルステーションによる測量では、夜間のみの交通規制の中で、すべての断面の測量を行うには多大な時間と労力が必要とされるため、現実的



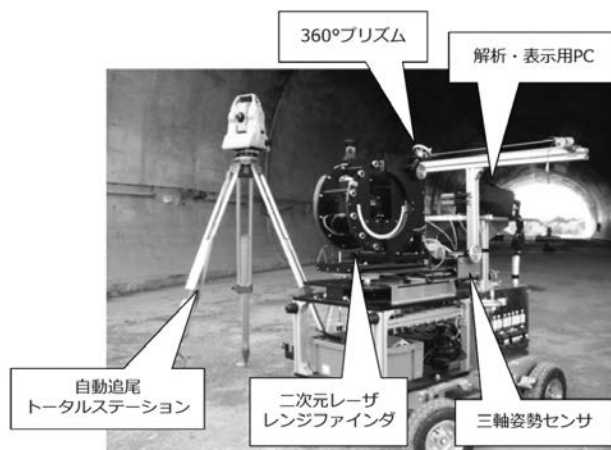
図—4 覆工天端高での仮舗装

には、ポイントを絞っての測量となる。そこで、本工事では、比較的短時間で、広範囲を面的に測量することのできる 3 次元レーザースキャナーによる現況測量を採用した。

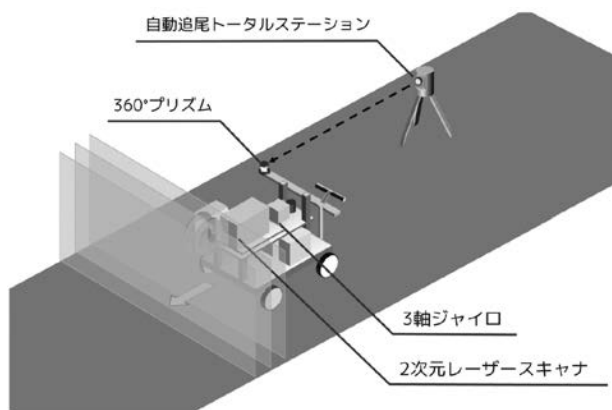
(4) 3 次元レーザースキャナーによる現況測量

3 次元レーザースキャナーは、対象物を短時間で、面的に測量することのできる比較的新しい測量方法であり、トータルステーションによる測量の代替として、土木工事においても、起伏や変化の激しい地形で、工事区域全体の面的把握を行う際に、使用される機会が増えている。i-Construction に関わる基準が整備されたことを受け、今後はさらに普及すると考えられる。

本工事では、現地での測量時間の低減による道路規制期間の短縮のために、一般的に使用されている定置式の 3 次元レーザースキャナーではなく、自社開発した移動式の 3 次元レーザースキャナーである、移動計測型形状計測システム「RaVi (Real-time architecture Visualizer)」¹⁾ (以下「本計測器」) を使用した (写真—2)。本計測器は移動架台に搭載したレーザースキャナーと、自動追尾機能付きトータルステーションで構成されており、二次元レーザーレンジファインダを搭



写真—2 本計測器の構成



図一五 本計測器の計測原理概念図

載した移動式架台位置を、自動追尾トータルステーションにより常時計測するシステムである(図一五)。移動式である本計測器では、計測器の真下から±95°の範囲を計測でき、自動追尾トータルステーションと通信可能な範囲であれば、トータルステーションを盛替えることなく連続的に、広範囲の3次元形状を計測することができる。そのため、トンネルや道路等の細長い空間の計測に効果的であり、計測時間の短縮、連続した面的データの取得による、施工管理、および、品質管理の高度化、効率化を図ることができる。また、計測中に手元の解析・表示用PCに計測データがリアルタイムに表示され、設計データを予め用意することで、計測と同時に設計との比較・評価を行なうことも可能である。

本現場のように、周囲に構造物や段差による死角の多い現場条件においては、定置式の測量器械では、器械を盛り替える回数が多くなり、測量時間が増加するが、本計測器を使用することで計測は連続した1回で完了することができる。一般的なトータルステーションによる従来の測量方法では、計画に必要な範囲の計測には、夜間3日間で18時間程度の時間を要する。一方、本計測器による計測時間は6時間程度であった。さらに、覆工範囲の路面標高データだけでなく、摺り付けに必要となる、周辺形状も計測しており、従来方法と比べ、短時間で、より多くのデータを取得することができる。

3次元レーザースキャナーによる測量では、数mmピッチの密度で面的な地形データの取得が可能であり、路面にねじれを有する本工事箇所においても、追加計測を行なうことなく路面覆工計画に必要な任意の断面を再現することができた(写真一三)。

また、3次元レーザースキャナーでは、非接触のレーザーにより測量を行うため、測量に伴う道路規制範囲を最小限に留めることができ、また、大幅な測量時間

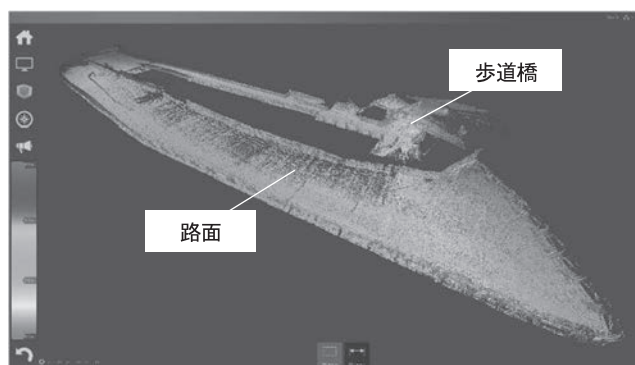


写真一三 本計測器による測量状況

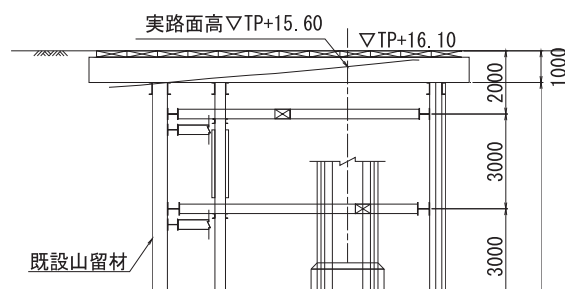
の短縮により、道路規制期間を短縮することもできた。加えて、3次元レーザースキャナーは、機械的にレーザーによる対象物からの反射波を計測するため、夜間での光源の少ない状況での測量に適しており、現地測量における準備作業、測量時間の短縮にも寄与した。

(5) 覆工計画への3次元データの適用と効果

3次元測量により得られた路面覆工範囲の地形点群データは路面の縦横断勾配を再現できており、この計測データに基づき、路面覆工計画の変更を行なった(図一六)。現地測量により得られた実路面高は、設計段階での路面高に比べて低く、交差点付近では、500mm程度低い値であった(図一七)。覆工計画高



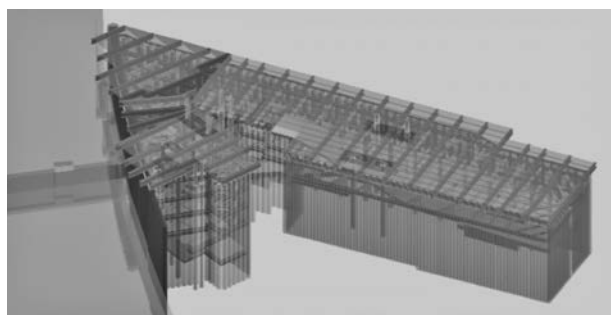
図一六 3次元地形点群データ



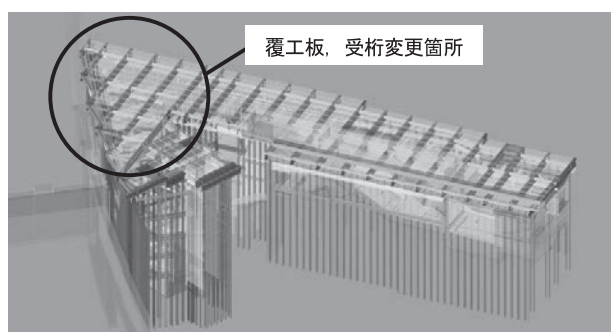
図一七 設計路面高と実路面高の比較例(単位:mm)

は実路面高に合わせて修正し、計画した覆工天端高で予め仮舗装を行うことで、路面覆工設置期間中の段差をなくすことができた。

また、路面覆工は、定型の覆工板（ $3 \times 1 \text{ m}$ ）と異形特殊覆工板を組み合わせで使用している。そこで、3次元計測により得られた、現況の路面データに、位置情報を付与した覆工板の3次元データを重ね合わせ、現地に適合した路面覆工計画を立案した（図—8, 9）。特殊覆工板は別途工場での製作となるが、製作図面作成にも3次元モデルからの情報を活用した。3次元モデルを使用することで、整合性を確保しつつ、2次元図面上では煩雑となる検討を容易に行なうことができ、微細な高さ調整検討の省力化にも寄与した。



図—8 覆工計画図（変更前）

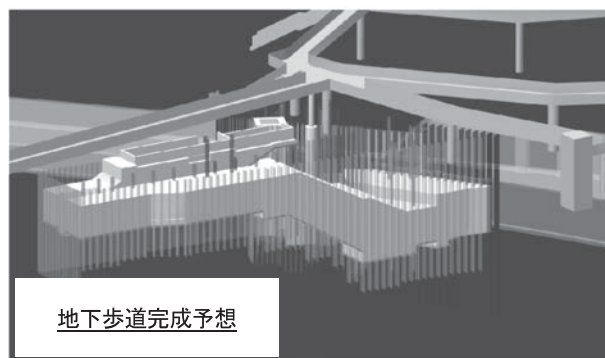


図—9 覆工計画図（変更後）

3. 3D データを活用した仮設構造物の施工検討

本工事で構築する東口地下広場出入口躯体は、地下広場との接続通路、中間踊場、地上接続通路等により、複雑な形状をしている。また、明治通りに沿って既設の土留め杭が存在していた。加えて、工事箇所の直上には歩道橋が位置しており、覆工板を含む、土留め支保工などの仮設構造物の形状や設置位置は、本体躯体、および、周囲の構造物との干渉を確認し、施工の作業性を考慮して決定する必要があった。

そこで、現地測量による地形データ、覆工板に加え、覆工桁、桁受、覆工桁を受ける土留め壁（地中連続壁、



図—10 仮設構造物と周辺構造物の干渉確認

鋼矢板、場所打ち杭）、既設歩道橋等を含めた工事区域全体の3次元モデルを活用することにより、構造物同士の干渉、クレーンによる吊り込み作業時の歩道橋との取合いを確認し、覆工受桁の位置を変更した（図—10）。

加えて、本現場では、作成した3次元データを元に、3Dプリンターで模型を製作し、施工検討に利用した。模型は、3次元データと違い、誰でも直感的に把握することができるため、現場でイメージの共有ができ、施工検討に効果を発揮した（図—11）。



図—11 3D プリンタによる製作模型

4. おわりに

今回、渋谷駅周辺再開発に伴う、東口地下歩道構築工事において、3次元地形データを利用した、路面覆工計画の策定、および、施工検討を行なった。以下に本工事により得られた知見を示す。

- ①縦横断勾配を有する複雑な地形での路面覆工計画において、3次元レーザースキャナーによる現況測量を用いた路面覆工計画の策定、および、計画に基づく覆工板製作により、施工中も含めて、段差なく路面覆工を設置することができた。
- ②現況の舗装面を測量する際、移動計測型形状計測システム（RaVi）を使用することにより、測量時間の短縮、道路規制期間の縮小を図ることができた。

③現況データを含めた3次元モデルを活用することで、構造物の干渉確認、工場製品作成時の省力化を図ることができる。

現状、設計段階での3次元データの活用は十分には普及していない。本案件のような、現況地形との整合性が重要となる工事では、3次元データを活用した設計が効果を発揮することが確認できた。また、現況の3次元測量についても比較的容易に行うことができた。今後、本工事のように制約条件が多い都市土木工事や、全体把握が重要となる広大な土工事において、3次元データを活用することにより、設計の合理化、そして、生産性の向上に効果が発揮されることを期待する。

謝 辞

移動計測型形状計測システム「RaVi (Real-time architecture Visualizer)」の開発は、平成21、22年度国土交通省建設技術研究開発助成制度から補助金を受けて実施したものである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 池田直広ほか：3次元形状計測システム「RaVi」の現場活用事例の紹介，電力土木，2013.11

【筆者紹介】

太田 啓介（おおた けいすけ）
東急建設㈱
土木本部土木技術設計部



小島 文寛（おじま ふみひろ）
東急建設㈱
土木本部土木技術設計部
チームリーダー



池田 直広（いけだ なおひろ）
東急建設㈱
技術研究所
グループリーダー

