

螺旋状地下構造物の3次元レーザ計測による 現状把握 ～エスカ地下駐車場を例として～

THREE DIMENSIONAL LASER SCANNING OF PARKING RAMPS OF HELICAL SHAPE IN UNDERGROUND PARKING LOT AND COMPARISON TO AS-BUILT DRAWINGS

中村 栄治¹・山本 義幸²・成澤 守³・沼川 清久⁴

Eiji NAKAMURA^{1*}, Yoshiyuki YAMAMOTO², Mamoru NARUSAWA³,
Kiyohisa NUMAKAWA⁴

This report describes quantitative results obtained by comparing the difference between point cloud data of parking ramps of double helical shape and their as-built drawings. The parking ramps, which are part of an underground mall called ESCA located in the west region of Nagoya Station, consist of two helical ramps, one for entrance and the other for exit routes. From an aspect of formwork, highly trained skills are required to realize such a double helical shaped concrete object with good accuracy. To acquire its shape in 3D, the parking ramps were laser scanned by a 3D scanner and their point cloud data were generated by registering individual scanned data via reference spheres which were placed in a scanning process for minimizing registration error. The obtained data were compared to polygon models of ramp surface created based on the as-built drawings. It is found that averaged distances between the point cloud data and polygon models are 18mm for the entrance ramp surface and 19mm for the exit ramp surface.

Key Words : *underground mall, underground parking lot, spiral ramp, 3 dimensional laser scanning, facility operation and maintenance,*

1. はじめに

都市部での駐車スペースの確保といった公共性の観点から、地下街には駐車場が併設されていることが多い。名古屋駅新幹線ホームの西側に隣接するエスカは1971年に開業し、3万㎡に及ぶ総床面積を持つ地下街（地下1階）と、直下（地下2階）に車両を295台収容できる地下駐車場から構成される商業施設である¹⁾。その地下駐車場には、できる限り少ない空間で地上の道路と地下の駐車場を車両が行き来できるよう、螺旋状になった車両スロープが設置されている。図-1は名古屋駅西側に広がる商業地区を計測した航空レーザ点群からの抜粋である。破線で囲まれた領域の地下にエスカが位置し、円で囲まれた

領域が螺旋をした車両スロープの地上部に該当する。

この螺旋スロープは、地上から地下へと向かう入庫専用スロープと、地下から地上へと向かう出庫専用スロープから成っているが、それらスロープが垂直方向に互いに入れ子となるように二重螺旋を描いている。この様に、エスカの螺旋スロープは、直線や平面を基調とする一般的な地下構造物とは大きく異なる複雑な構造をしている。型枠の設計や施工²⁾において、高度で熟練した技が要求される地下構造物である。構造物としての現状を形状の点から把握するために、螺旋スロープの3次元レーザ計測を行うとともに、得られた点群データと竣工図（構造図）との差異を量的に検証した。

キーワード：地下街，地下駐車場，螺旋構造，3次元レーザ計測，維持管理

¹正会員 愛知工業大学教授 情報科学部情報科学科 Professor, College of Information Science, Aichi Institutional of Technology,
(E-mail: eiji-nakamura@aitech.ac.jp)

²正会員 愛知工業大学准教授 工学部土木工学科 Associate Professor, College of Engineering, Aichi Institutional of Technology,.

³正会員 株式会社エスカ 施設部 Facilities Department, ESCA Co., Ltd.

⁴非会員 株式会社日建設計シビル CM防災部 Construction Management & Disaster Prevention Department, Nikken Sekkei Civil Engineering Ltd.



図-1 名古屋駅西側商業地区（航空レーザ点群提供：中日本航空株式会社、破線：エスカ、円：螺旋スロープ）

2. 3次元レーザ計測と点群

(1) 螺旋スロープの概要

螺旋スロープの3次元構造が把握しやすいようにするために先廻りをして、3次元レーザ結果で得られた点群を用いて説明する。図-2は螺旋スロープの入庫路についての点群を真横から見た場合のスナップショットである。図-2の右上隅が入庫路への入口となり、図-2の左下隅で地下駐車場へと接続している。



図-2 入庫路の点群スナップショット

図-3は螺旋スロープの出庫路についての点群を真横から見た場合のスナップショットである。図-3の右下隅が駐車場から出庫路への入口となり、図-3の左上隅で地上の道路へと接続している。

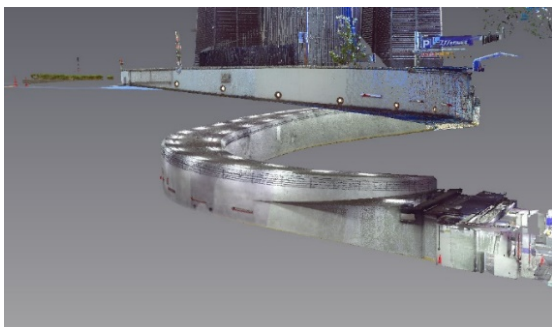


図-3 出庫路の点群スナップショット

図-4は、入庫路の点群と出庫路の点群を同時に表示させて得られたスナップショットである。図-4から、螺旋スロープは入庫路と出庫路が垂直方向に入れ子になって作られていることがわかる。

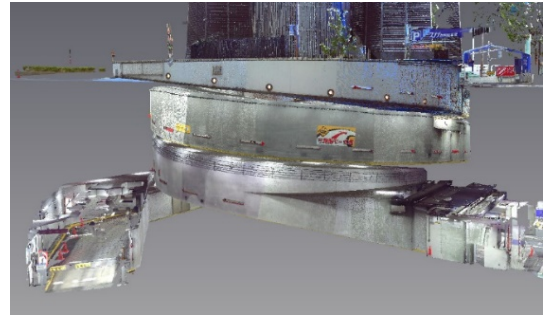


図-4 螺旋スロープの点群スナップショット

図-5は螺旋スロープの点群を下部から見上げて得られるスナップショットである。図-5の右上の斜めに折れ曲がった車路が入庫路の駐車場への入口であり、図-5の下方へとラップのように広がった車路が駐車場から出庫路への入口である。

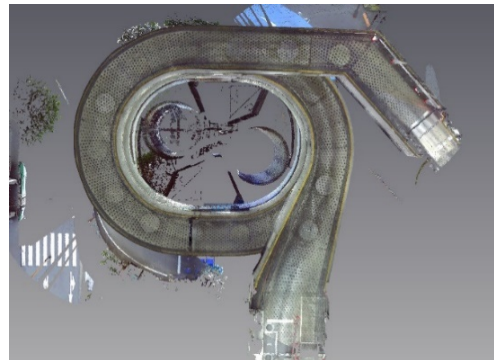


図-5 螺旋スロープを下から見上げた場合

(2) レーザ計測作業

据え置き型レーザスキャナであるFAROのFocus 3D S120を使い、駐車場の営業時間外の時間帯（深夜24時～翌朝5時半）を利用して計測を行った。計測条件は分解能を1/4、品質を3xに設定した。この条件では、1回の計測に要する時間は、色付き点群を生成するための写真撮影込みで約8分である。計測の準備と後片付けに時間が必要のため、実際に計測に使用できる時間は5時間しか確保できなかった。このような事情により、入庫路と出庫路の計測を別日に行った。

図-6に示すように、点群の位置合わせ精度を高めるために、真球（直径145mm）を使って計測を行った。計測機は5m間隔で移動させた。隣接する計測において、4個の真球が共有されるように真球を配置した。一般的に計測結果の上下方向が既知の場合、点群の位置合わせには3個の真球で十分であるが、真球間の距離を少しでも長

くして結合精度を高めるために真球を4個使い、同一平面内にないように配置した。



図-6 レーザ計測機と真球の配置

(3) 点群の生成

レーザスキャナによる計測で得られる点群は、6次元ベクトルの集合体と考えることができる³⁾。各ベクトルは、レーザスポットが照射された計測対象のスキャナ本体を原点とするローカル座標の値（3次元直交座標：X, Y, Z）と、スキャナに搭載されたカメラが撮影した計測対象の写真の輝度値（三原色：R, G, B）である。

一例として、入庫路の中間地点付近に計測器を置き、1回の計測で得られた点群を図7に示す。レーザ計測機は図7の中央付近に設置されている。レーザ光の直進性により、外周壁面はレーザ光が照射される幾何学的関係にあるため、壁面全体に渡り点群が生成されている。内周壁面については、レーザ光が描く直線進路から乖離していくように面が曲がっているために、レーザ光で照射される面はレーザ計測機の近辺に限定される。よって、内周部の壁面の多くの部分が点群が生成されず抜けていくのがわかる。一方、路面と天井は全面に渡ってレーザ光でとらえられる幾何学的関係になっているために、それらの領域の点群が生成されていることがわかる。

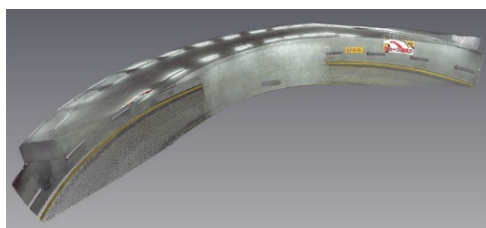


図-7 1回の計測で得られる点群の一例

レーザ計測機の中心から半径120mの範囲まで計測することができるが、計測距離が増すにつれ、レーザ光の計測対象面におけるスポット半径が拡大してしまうこと、さらには計測点密度が低下してしまうことにより、計測精度が劣化してしまう。この点を考慮して、今回の計測では、半径15m以内の計測結果のみを採用して点群化した（図-7）。

3. 螺旋スロープの図面構造

(1) 壁面

地下1階の平面図を図-8に示す。螺旋スロープの壁面は円筒を長手方向に2分し（実線①と②）、左右に分割された半円筒を平面（破線③）で連結した構造になっている。外側壁面の円筒（実線①）の半径は12,000mmであり、内側壁面の円筒（実線②）の半径は7,500mmである。

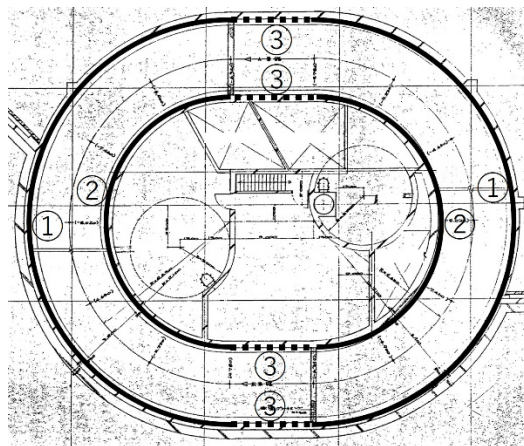


図-8 地下1階の平面図

(2) 路面

路面は壁面に比べて複雑な構造をしている。路面の半径方向の断面図を図-9に示す。図-9の実線は路面を表しており、破線は水平を表している。路面の外周部（①）は内周部（②）に比べて230mm高い構造になっている。路面は内側に1000分の51の割合で半径方向に傾斜しながら螺旋を描いている。

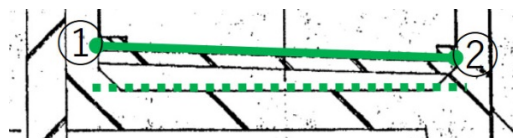


図-9 路面の断面図

路面の中心線（長さ87,146mm）に沿って展開した縦断面図を図-10に示す。実線（①）が入庫路であり、破線（②）が出庫路である。路面は入庫路と出庫路において、共に1000分の110の割合の勾配で地上と地下をつないでいる。

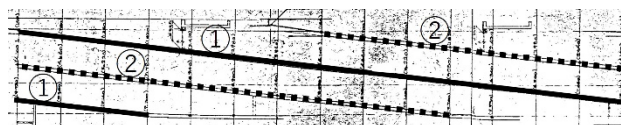


図-10 路面の縦断面図

4. レーザ計測結果と竣工図面との比較

螺旋スロープの路面に対して、レーザ計測で得られた点群と図面に基いて作成した3次元CADのポリゴンモデル（図-11）とを、点群処理ソフトであるInfiPointsを使い比較した。構造図でZ値を確認できなかった駐車場への接続部（直線状のスロープ）、および路面の外周部と内周部に設けられている縁石についてはモデルから除外した。



図-11 ポリゴンモデル（左：入庫路面 右：出庫路面）

図-12は入庫路面での比較誤差を表し、図-13は出庫路面での比較誤差である。図-12と図-13の中央に示すように、誤差を8段階（0cmから8cmまで1cm間隔）に量子化して異なる色で表した。入庫路と出庫路において、共に1cm以下の誤差である領域が大勢を占めていることがわかる。ただし、路面の外周部と内周部の縁石についてはモデル化されていないため、それらの領域の誤差が7cm以上になっている。

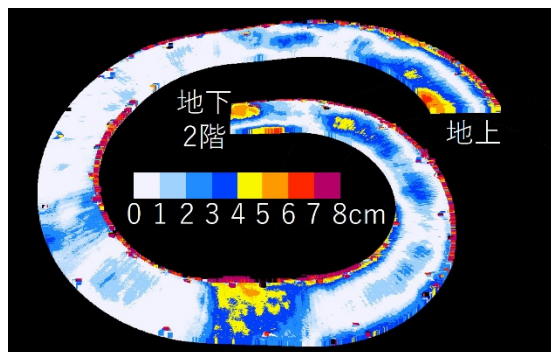


図-12 入庫路面における誤差

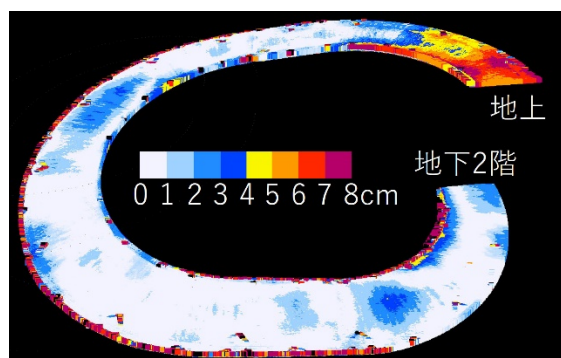


図-13 出庫路面における誤差

路面誤差のヒストグラムを図-14に示す。左が入庫路面、右が出庫路面のヒストグラムである。横軸が誤差（8段階）であり、縦軸が該当誤差範囲に収まる点群の数である。入庫路と出庫路ともに、10mm以下の誤差が最も多く、誤差の拡大にしたがって急激に度数が減少していることがわかる。入庫路面誤差の平均は18mm、出庫路面誤差の平均は19mmである。

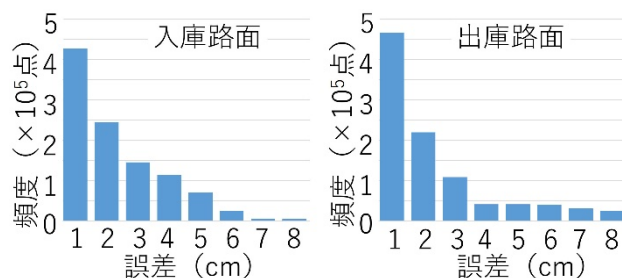


図-14 誤差のヒストグラム

5. おわりに

名古屋駅新幹線ホームに隣接するエスカの地下駐車場に設置された二重螺旋構造をした車路の3次元レーザ計測を行った。個々の計測から得られる点群の位置合わせ（レジストレーション）において結合誤差を最小にするために、参照のための真球を4面体の頂点を形成するように配置して計測を行った。

車路の路面は外周部が内周部より230mm高く、バンクをしながら螺旋を描いて地下駐車場と地上とをつないでおり、型枠の設計と施工において、高度で熟練した技術が要求される構造物である。竣工図（構造図）に記載された情報を基にして3次元のポリゴンモデルを作成し、路面の点群と比較した。入庫路面と出庫路面において、誤差が10mm以下である領域が大半を占めていることがわかった。平均誤差は、入庫路面において18mm、出庫路面において19mmであった。二重螺旋構造という複雑な形状をした構造物が、精度よく図面に忠実に建設されていることを確認することができた。

参考文献

- 1) 廣井悠，地下街減災研究会：知らされる地下街，河出書房新社，2018.
- 2) 大久保孝昭他：図解型枠工事（第2版），東洋書店，2011.
- 3) G. Vosselmand and H. Maas ed. : Airborne and Terrestrial Laser Scanning, CRC Press, 2010.