

# 生産施設建屋の維持保全業務における、現場の3次元可視化

## 効果と今後の展望

### 3D Visualization Effect of the Site and Prospects on the Field of Maintenance Work of a Production Facility

○地脇 未帆\*<sup>1</sup>, 三井 直紀\*<sup>1</sup>, 松山 祐樹\*<sup>2</sup>  
Miho CHIWAKI\*<sup>1</sup>, Naoki MITSUI\*<sup>1</sup> and Yuki MATSUYAMA\*<sup>2</sup>

\*1 株式会社 構造計画研究所 構造設計1部  
Structural Design dept, KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

\*2 株式会社 構造計画研究所 NavVis 事業室  
NavVis Business Section, KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

キーワード：デジタルスキャニング；点群；耐震性評価；耐震補強設計；生産性向上

Keywords: Digital Scanning; Point Group Data; Seismic performance evaluation; Seismic retrofit design; Productivity enhancement.

## 1. はじめに

製造業は持続可能な発展のために、生産施設建屋（以下、工場建屋）を継続利用することが望ましい。しかし、1981年以前に建設された旧耐震基準の場合、耐震診断・補強が必要となる。工場建屋の耐震診断・補強においては、整合性や変状に加えて、設備配置などの現況把握が求められる。

近年、建物や設備の現況把握を、3次元レーザースキャナーを用いた点群データの取得により効率化することが期待されている。しかし、従来の地上型3次元レーザースキャナー（以下、TLS）では、工場建屋など設備が多い環境を計測する場合、1地点からでは点群データに影が生じるため、計測地点を何度も置き換えるなど、点群データ取得に膨大な時間を要するという課題がある。また、取得した点群データは容量が大きく、そのため閲覧のために高性能な専用PCを要するなど、データ利活用性にも課題がある。

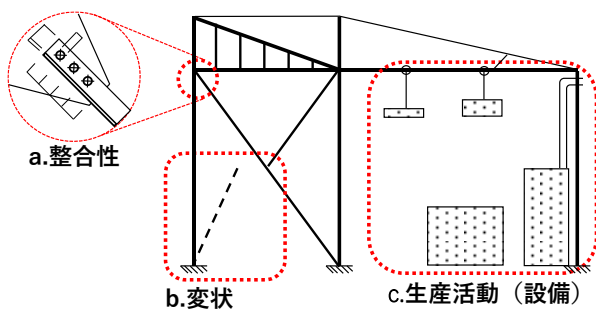


図1. 工場建屋における現地調査の内容

これらの課題を解決するツールとして、構造計画研究所が日本総代理店を務める「NavVis（ナビビズ）」がある。NavVisは、歩き回るだけで点群データを取得することにより従来の計測時間を大幅に削減可能な移動式計測デバイスと、スマホや通常PCのWebブラウザからストリートビューライクに現場の3次元情報が閲覧可能なビューワという2つの機能をもつ。つまりNavVisは、3次元データの取得と利用の両面で汎用性が高く、業務効率化に寄与できる可能性が高いツールと考えられる。

そこで本報告は、耐震診断・補強設計業務の上流フェーズにおいて、NavVisを用いて現場の3次元データを取得することによる生産性向上効果について、一事例を取り上げ、検証結果を紹介する。

## 2. 工場の耐震診断・補強設計の概要

### 2.1. 工場建屋の耐震診断・補強設計の特徴

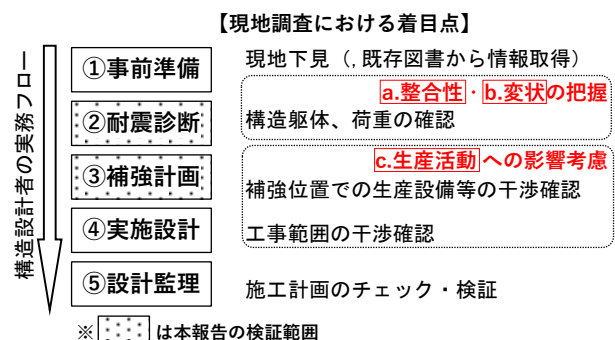


図2. 工場建屋の耐震診断・補強設計の実務フロー

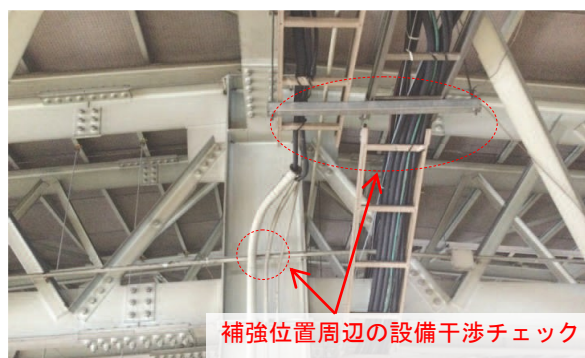
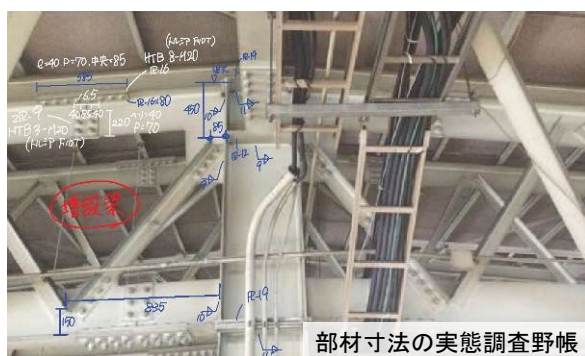
本報告では、旧耐震基準年代の一般的な工場建屋として、鉄骨造の大スパン架構を指すこととする。

現地調査で取得する情報を図1に示す。当該年代の工場建屋は、架構形式や形鋼の種類、接合方法が多様であり、【a.整合性】の調査結果が耐震性能を大きく左右する。また、躯体の劣化や損傷の修繕が実施されていない場合や、生産ラインを優先した躯体改造・増築がされている場合があるため、それらの【b.変状】を把握して反映する必要がある。更には、補強計画に対する建物所有者の要求事項として、補強工事期間中および完了後の生産活動への負荷・影響を極力小さくすること、という点があり、計画上の制約として重要である（【c.生産活動】への影響考慮）。

工場建屋の耐震診断・補強設計業務においては、これらの状況を網羅的に把握することが特に重要である。

## 2.2. 現地調査結果の活用

構造設計者の実務フローと、現地調査より取得する情報との相関性を図2に示す。ここでは、業務フェーズ毎に必要な情報の着目点が異なることを示している。図3で例示するように、同じ位置対象とした調査でも、耐震診断時の取得する情報（寸法計測）と、補強計画時の情報（設備配管等の配置確認）は着眼点が異なる。そのため、従前の実務においては、その都度必要な情報を得るために、繰り返し現地調査を実施している。



耐震診断時（上） / 補強計画時（下）

図3.業務フェーズによる調査内容の違い

現地調査は持ち帰った情報の整理作業も煩雑である。調査結果は写真に必要な情報を付加して整理することが一般だが、工場建屋の躯体は見かけが一義的なものが連続するため位置（通り軸）の誤認を生じやすい。

実務の上流工程で3次元データを取得し、これを下流工程の現地調査に替えて必要な情報を取得することができれば、業務の生産性向上への寄与が期待できる。

## 3. NavVis の概要

### 3.1 移動式計測デバイス NavVis VLX

NavVis の計測デバイス NavVis VLX は、点群データと360度パノラマ画像を歩くだけで同時に取得することができる（図4左）。肩と腰の3点で支えて持ち運ぶため、移動式計測デバイスに分類される。

デバイスの頭部と腹部に計2台搭載されたLiDAR装置からレーザー光が常時照射され、遮蔽物も迂回して連続的に計測できるため、狭く入り組んだ空間でも影の少ない点群データを短時間で取得可能である。また、計測時間を削減しつつも、精度8mm(1σ)の点群データを出力可能である。従来のTLSの合成処理済みデータと遜色ない品質を有している。

計測の随所でデバイスの頭部に前後左右計4台搭載された魚眼カメラから、360度パノラマ画像を生成する。360度パノラマ画像は、ストリートビューライクな3次元データの生成と、点群への色付けに利用される。

デバイスの自己位置推定にはSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いている。そのため、GNSSや2Dデータの事前入力不要で、工場のような屋内環境でも計測可能である。

### 3.2 Web ブラウザベースのビューワ : NavVis IVION

NavVis のビューワは、点群データと360度パノラマ画像をストリートビューライクに表示し、あたかもその場にいるかのような現況把握を可能にするWebブラウザベースのビューワである（図4右）。Webブラウザが稼働する端末であれば、パソコン、タブレット、スマートフォンを問わず、アプリやアドオン不要で利用することができる。視点や視線ごとにURLが自動で割り当てられるため、例えば「X1 通りから10,000mmの躯体の高さ3mの位置」という指示を、URLひとつで代替することができる。

また、付箋紙を貼るように、情報（テキスト、画像データ、PDFなど）を場所に紐づけて登録することにより、関係者間での情報共有を円滑化する。さらに、寸法・面積計測や点群データ高速表示への切り替え、点群ダウンロードといった3次元データの活用も、Webブラウザひとつで実現する。

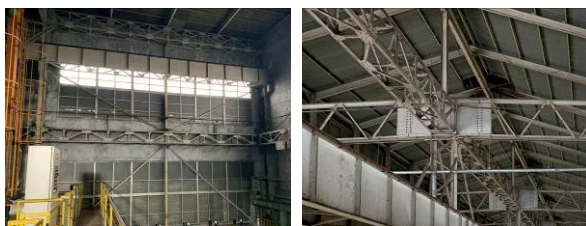


図 4. NavVis VLX と NavVis IVION

## 4. 検証事例の概要

### 4.1. 建物概要

- 所在地:千葉県某所
- 建物用途:工場
- 階数:平屋(一部、設備構台中 2 階有)
- 建築面積:約 11,000 m<sup>2</sup>、延床面積:約 11,800 m<sup>2</sup>
- 軒高さ:約 11m、最高高さ約 15m
- 設計年:昭和 38 年、竣工年昭和 39 年
- 構造種別:鉄骨造
- 柱:CT 鋼及び山形鋼によるトラス断面
- 梁:山形鋼を用いたトラス断面
- 既存図書の有無:意匠図有 構造図 有 構造計算書 無



(左)桁行方向ブレース構造 (右)梁間方向ラーメン構造

図 6. 対象建物 写真

### 4.2. 3 次元データの計測実績

延面積約 11,800 m<sup>2</sup>の対象エリアに対して、NavVis VLX を使い、下記の内容で計測を実施した。

- 総計測時間: 350 分
- 使用台数: 2 台
- 360 度パノラマ画像取得枚数: 2,326 枚
- 気象条件: 日中・晴天

処理済みデータを、クラウド上の NavVis IVION 環境にアップロードし、ユーザーID とパスワードによって、設計者および事業者に関連可能とした。

- 計測～データ閲覧までの所要時間: 4 日

### 4.3. 3 次元データ活用による定量評価

検討対象は図 2 に示す実務フローの②耐震診断、③補強計画 とする。実務導入が初事例にも関わらず、3 次元データを活用することで、現地調査の所要時間、調査結果の整理作業における工数削減として、表 1 に示す業務生産性向上の効果をえた。

表 1 現地調査における作業工数の削減<sup>※1</sup> 効果

	作業内容	削減工数 (述べ人日)
1	現地調査結果の整理作業	-1
2	内部検討会の準備 <sup>※2</sup>	-0.5
3	耐震診断のための現地調査 <sup>※3</sup>	-1
4	補強計画策定のための現地調査 <sup>※3</sup>	-2
	合計	-4.5

※1: 比較事例として、同工場別の建屋の耐震診断・補強設計業務の実績を用いた。

※2: 準備とは現地未訪問の社内関係者からレビューを目的とした、現地状況説明のための資料作成

※3: 事務所から現地までの移動時間 0.4 人日×人数を含む

### 4.4. 3 次元データ活用の定性評価

3 次元データの有用性について構造設計者の主観において、定性評価を行った(表 2)。評価の凡例は以下の通りである。

- ◎:過半の場合で現地立会いに代替可
- :現地調査結果を補完して記録整理に有効
- :データ精度が改善すれば○となる展望有り
- ▲:現地調査への代替困難

表 2.3 次元データの有用性の定量評価

☆は利用データ(画:パノラマ画像/点:点群)

分類	項目	☆	評価	備考
P 整合性	部材配置	画	○	
	部材長(スパン・階高)	点	○	
	部材断面:幅、せい	点	●	※※1
	部材断面:板厚	点	▲	
	部材断面:ボルト本数	画	○	
	部材断面:ボルト径・ピッチ	点	▲	
	部材断面:溶接長さ・品質	点	▲	
	材種(文字の確認)	画	▲	

分類	項目	☆	評価	備考
変状	鉄骨の発錆	画	◎	
	柱脚の損傷	画	◎	
	ボルトの抜け（屋根部）	画	○	※※2
	屋根ブレースの破断	画	○	
	コンクリートのひび割れ	画	●	※※3
	補修履歴	画	○	
生産活動	床置き設備の配置把握	画	◎	
	床置き設備の寸法把握	点	◎	
	吊り設備の配置把握	画	○	
	吊り設備の寸法把握	点	●	※※4
	ダクト・配線の配置把握	画	○	
	動線の把握	画	◎	
その他	伏図・軸組図のトレース	点	未実施	
	構造解析モデルの生成	点	▲	
	補強部材と設備干渉確認	画	◎	
	関係者への状況説明資料	両	◎	

※※1: 定型鋼を対象とする。

※※2: 自然採光と天井照明により十分な明るさがある場合。

※※3: 至近で計測している場合。概ね 1mm 以上を視認した。

※※4: 設備規模が大きい場合、地上からの計測のみでは影が発生するため、上面や接合状況等の確認は困難。

## 5. 考察

前章の定量・定性評価の結果から、NavVis を用いて現場を 3 次元データ化することにより、耐震診断・補強計画において、構造設計者にとって「現地調査にかかる工数削減」「検討に必要な情報精度の向上」「情報共有精度の向上」の効果があつた。3 次元データ作成のコストを踏まえると、構造設計者だけの利用に留まると費用対効果は十分ではない。しかしながら、工場の耐震診断・設計業務における NavVis の 3 次元データは、「利用するステークホルダー」と「適用フェーズ」の両面で拡張性がある（図 7）。

ステークホルダー拡張の例としては、建物調査会社に委託して高所作業や溶接部の超音波探傷検査を実施する

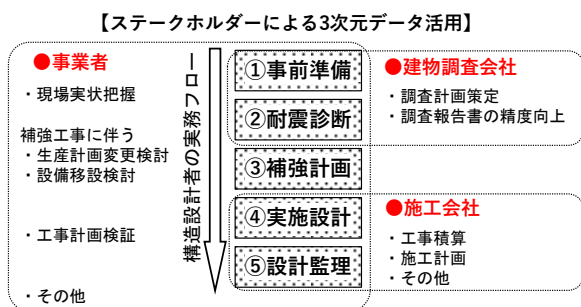


図 7. 耐震診断・補強設計のステークホルダー

場合に、現地下見を省略して作業計画を策定できる他、調査報告書作成時の情報補完に有用であると考え。

また、適用フェーズ拡張については、実施設計で、補強部材の納まり検討・非構造部材との干渉確認などを点群データからシミュレーションすることができる（図 8）。

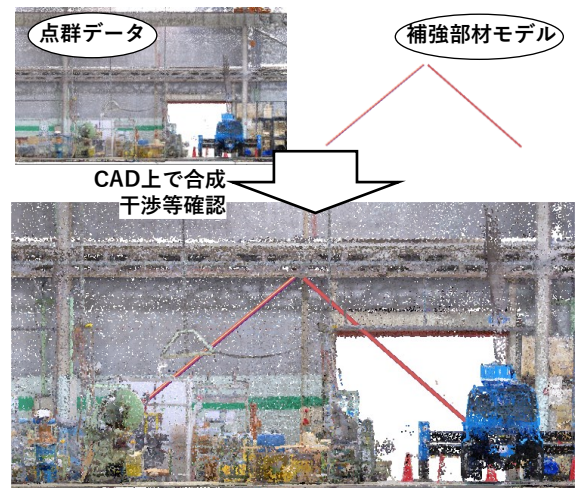


図 8. 点群データへの補強部材挿入例

予め現場状況や施工手順を考慮した部材設計とすることが望ましいが、施工図を作成した時点で設計図書通りの施工が困難であることが発覚することも多く、設計監理の中で設計変更に対応する必要がある。NavVis の 3 次元データを用いることで、工事に精通した技術者を交えながら、フロントローディング的に現場確認し、設計や施工の手戻りを大幅削減することが期待される。

## 6. おわりに

生産施設建屋の耐震診断・補強設計業務における 3 次元データ活用による生産性向上効果を検証した。本件は引き続き、実施設計・設計監理・施工検討等での活用が期待される。

### 【参考文献】

- 『2011 年改訂版 耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説』一般財団法人日本建築防災協会
- 『屋内運動場等の耐震性能診断基準（平成 18 年度版）』文部科学省大臣官房文教施設企画部
- 『RC 耐震診断基準の改訂等を踏まえた 2017 年改訂版 実務のための耐震診断マニュアル』一般社団法人 東京都建築士事務所協会