

プラントライフサイクルにおける 3次元計測の活用

耐震設計・工事への応用

スーパーポイントリサーチ 河村幸二

1. はじめに

既存設備の耐震改造工事のニーズが増えてきているが、現場の状況は設備の種類や利用状況、経年度合いなどにより、千差万別である。耐震改造工事のための3次元計測技術のプラントへの適用の例はほとんど公表されていないが、土木構造物や文化遺産の保存などでは活用が進んでいる。そこで行われている手法や活用方法は、プラントの耐震設計や改造工事においても参考になるものと思われ、本報ではそうした関連技術を紹介する。

2. 事故現場の3次元計測技術適用の広がり

米国において地震もしくは構造体の劣化およびその相乗原因により、これまで頑強で壊れることなど考えもしなかった建物や橋梁などの崩壊の事件が増えてきている。わが国においても築後数十年を経過した構造物が増えてきており、同様の事故発生の危惧が叫ばれてきて久しい。事故現場の原因究明および復旧対策として3次元計測技術が活用される事例も増えてきている。

1) 事例1

図1は2007年8月に発生したミネソタ州橋梁落下事故で記憶にも新しいが、純粹の技術的な解析というより、裁判問題がからむ証拠採集という意味合いが強く、その詳細や真の原因についてはまだ公開されていない。こうした耐震・劣化にからむ事故は、刑事訴訟、損害賠償、保険などもからむデリケートな問題に発展することを覚悟しなければならない。



図1：ミネソタ州橋梁落下現場での3次元計測

出典：SparView Vol.5 No.23

2) 事例2

図2は、2004年ウェストバージニア州総合病院の1000台収容できる6階建ての駐車場の最上階の10mの部分崩壊し、復旧のために3次元レーザスキャンが大活躍した事例である。事故の分析と構造体の健全度評価のために3次元レーザスキャンで複雑な形状データを収集した。

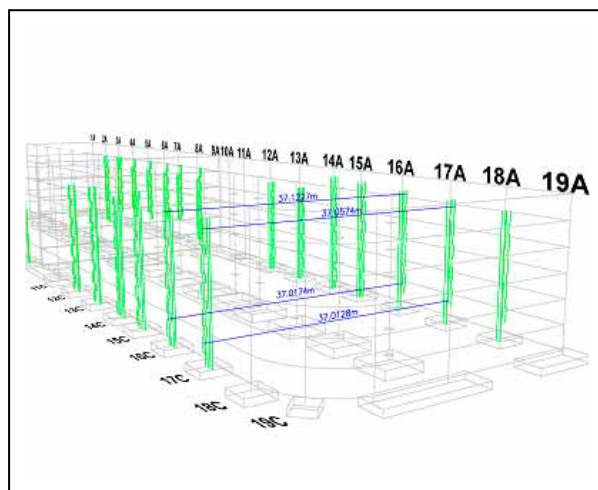


図2：駐車場ビル崩壊現場での3次元計測 出典：SparView Vol.3 No.14

右の図は計測データにCADモデルを重ね合わせたもの

現場測定によるデータからCADモデルを作り上げ、設計計画データと比較し、柱のずれ、傾き、ねじれなどの変位から、健全性を評価し修復作業を行い、短期間に再開にこぎつけた。レーザスキャンは、従来技術であると測定のために現場に近づくのに危険が伴うようなところでも安全に収集できることが高く評価された。

図3：駐車場の支持柱のワイヤーフレームモデルと設計時の線画を重ねて表示



3. 耐震と3次元計測技術の位置づけ

構造物の耐震問題と3次元計測との関わりについて図4のように整理できる。

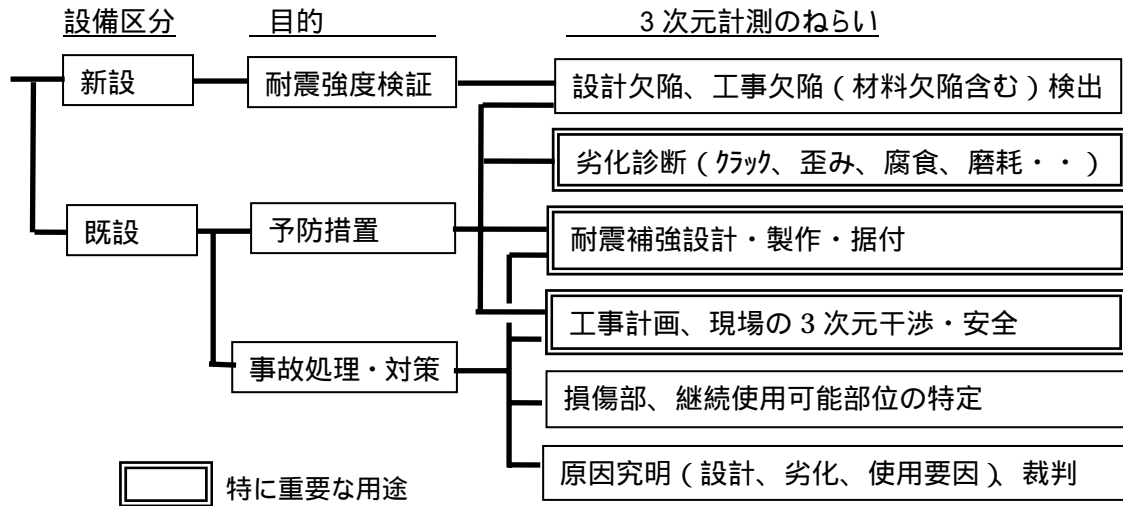


図4： 耐震問題と3次元計測との関わり

- a. 経年劣化に至らない新設においても、耐震性能の問題が起こってきており、外面形状ではなくて、コンクリート内部の配筋の量と位置の計測が行われることがある。
- b. 既設の場合にも同様のニーズもあるが、経年劣化の評価が重要である。外面形状の変化をもたらす劣化については、各種3次元計測技術が適用できる。後述するようにクラックの3次元形状計測技術も実用化されている。
- c. 耐震補強設計には、現場での詳細な取り合い点だけでなく、取得した3次元形状をFEMなどの構造解析に用いることもある。
- d. 補修工事、耐震補強工事は、現場の錯綜した環境で実施することもあり、重機や構造部材の搬入などの3次元干渉、作業員や周辺の人などへの安全問題も重要になることがある。

4. 3次元計測技術活用の手順

4.1 文化遺産の保全

長崎大学 工学部構造工学科 松田研究室では、3次元計測技術を活用した構造物の耐震解析などのさまざまな研究に取り組んでいる。図4,5は、長崎の平和祈念像の管理補修のための3次元計測の事例であり、その手法がプラントの耐震対策にも大いに参考になるものと考え、ここに引用し紹介する。



図4： 3次元計測風景



図5： 平和祈念像のサーフェスモデル

出典：長崎大学 工学部構造工学科 松田研究室 URL より

補修・補強手法を検討するための3Dレーザスキャナは、離れた場所から計測できるため足場が不要になり、作業時間の短縮、計測忘れなどの人的ミス解消、正確で客観的なデータ取得ができ、(a)非接触、(b)高精度、(c)高速、(d)全視野計測が可能など、多くの利点を有している。取得した3Dデータを基に、詳細なFEMモデルを生成し計算力学的な解析と組み合わせて地震応答解析を行うことにより、耐震補強工事時の構造検討を行うことが可能となる。

4.2 現場計測から3Dレーザ計測データ活用の流れ

3Dレーザスキャナを用いた現場計測によって得られるによる3D形状データの活用法のフローは図6に示すように、以下のようにまとめられる。

3Dレーザによる現場計測

土木構造物や建築物などの計測対象物にデータ合成用ターゲットを設置し(平和祈念像などのように特徴点がある場合は省略可能)、3Dレーザスキャナにより複数箇所から3次元計測を実施する。このとき、計測対象物の外観計測には長距離型(Optech 社ILRIS-3Dなど)、室内計測には

近距離型 (IQvolution 社IQSunなど) の3Dレーザスキャナを使用する。従来の方法では10 日程度かかっていた計測作業が1～3日程度の現場作業で終了することができる。

取得データの合成

外観計測, 室内計測とも, 現場において複数箇所から取得した3次元計測データを合成し, 対象計測物の3Dモデルを構築する。ここで合成した3Dモデルは, 計測対象物をありのままに再現するCGモデルである。移動回転, 拡大縮小など任意に操作することが可能で, さらに2点間の距離を計測したり, 任意断面を抽出したりすることができる。3Dモデルの活用事例として, 実測図面の作成, リニューアルの検討, 足場などの仮設物の検討, 耐震補強の検討などが行われている。

8つの点群データの合成から平和祈念像全体の表面3次元点群データを生成し, 点群データの近い点同士を結び三角形(ワイヤフレーム)を作る。この三角形に面を貼ることにより3Dモデル(サーフェイス)を作り上げ, 有限要素のためのメッシュを作成し解析にかける。メッシュ数は(a) 649,229 要素, (b) 53,425 要素, (c) 14,638 要素の3レベルで解析した。線形解析に対しては(a)程度の要素数でも比較的短時間に解析可能であるが, 地震応答解析などの動的非線形解析を想定すると要素数は可能な限り少ない方が望ましい。(a)から(c)への変換は汎用プリポストプロセッサ Mentat のSWEEP 機能を用いて自動分割した。

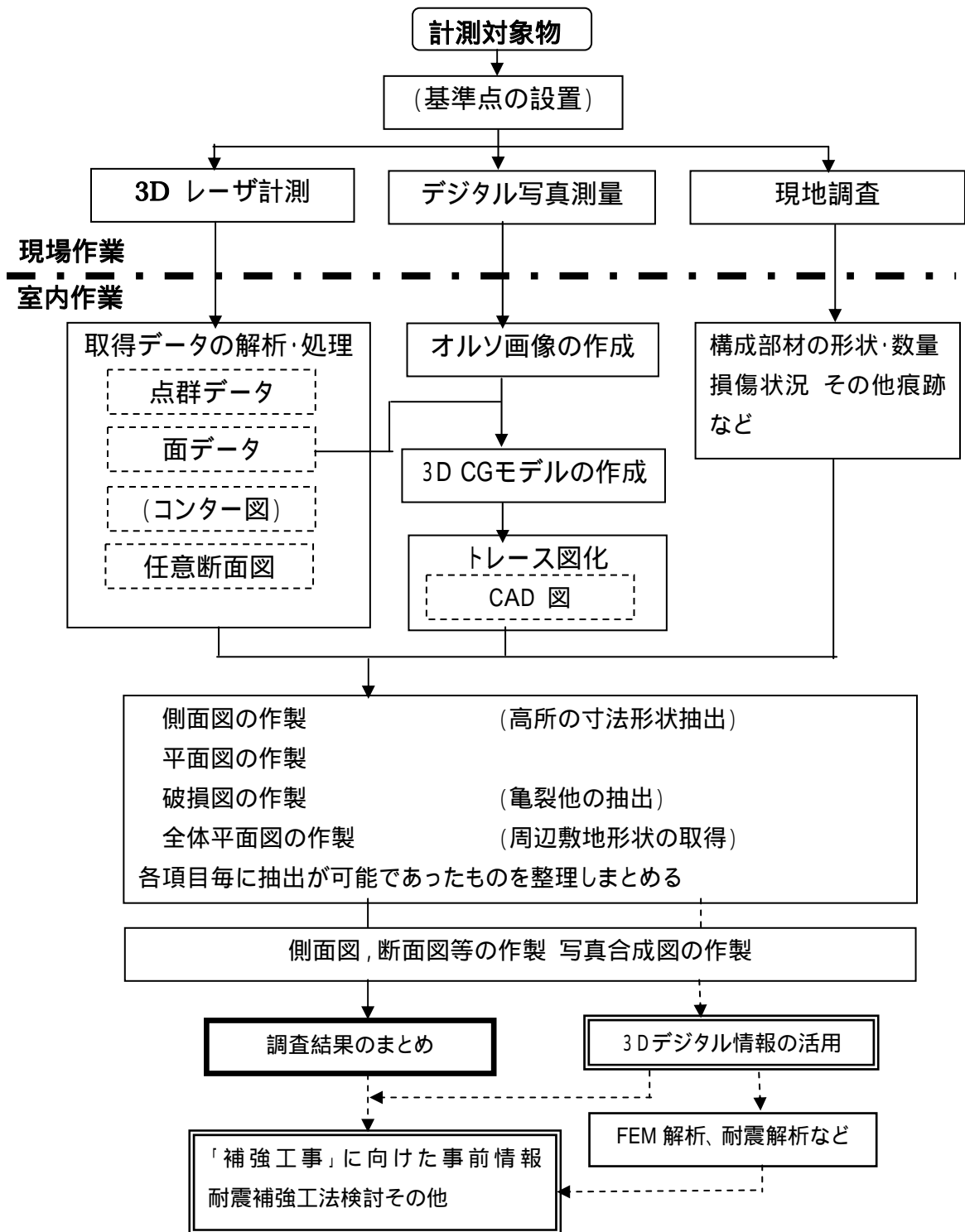


図6: 現場計測から3Dレーザ計測データ活用の流れ

出典: 長崎大学 工学部構造工学科 松田研究室 URL より 一部加筆

5 . 損傷・劣化度合いの 3 次元計測

5.1 クラック検出

(株)地域みらい (URL : <http://www.chiiki.co.jp>) では、さまざまな設備、構造物の 3 次元計測と調査・解析サービスを展開しているが、そのひとつに図 7 に示すような、コンクリート構造物のクラックの計測がある。計測器本体にクラックゲージを実装しており、視準することでクラックの位置を示す 3 次元座標および幅のデータが取得できる。構造物全般のクラック計測に効果的、効率的に使用可能で細かなクラックの場所・幅が把握でき、補強計画にも役立つ。



図 7 : コンクリート構造物の遠隔 3 次元クラックの計測

5.2 トンネル内面変形診断

ロンドンにある Halcrow Group 社が英国鉄道のトンネルの調査に 3 次元レーザスキャン技術を適用し、トンネル壁の変形度合いの調査に有効に活用した。目的はもし膨張が発見されたとき、それが過去のデータと照らし合わせてどこまでの膨張なら補修しなくても破壊に至らないかを判断することと、補修機材や部材を通すときに周りを傷めないで、最低限どこまでクリアランスが必要かを判断することである。

3 次元レーザスキャン方式により、トンネル断面形状を前回のもしくは今後行われるものと比較でき、路線を占有できる限られた時間内で、最低 100m/hr の速度で計測でき、変形解析の検証に十分なる高密度のデータがえられ、壁の膨張やクラックなどの悪化進行状態が“ビジュアルな記録”として正確に把握できるようになる。



図8： ロンドン・クリスタルパレストンネルのレーザスキャンと計測されたトンネル側壁の膨張

出典：SparView Vol.2 No.41 画像は Halcrow 社提供

5.3 スペースシャトルの断熱タイルの損傷解析

NASA スペースシャトルの断熱タイルの損傷解析例を図9に示す。これは国際宇宙ステーションにドッキングする直前に行う機体の検査において、宇宙飛行士により、機体下部の損傷が発見され、大気圏再突入時に損傷が拡大しないか詳細調査と解析が行われたものである。

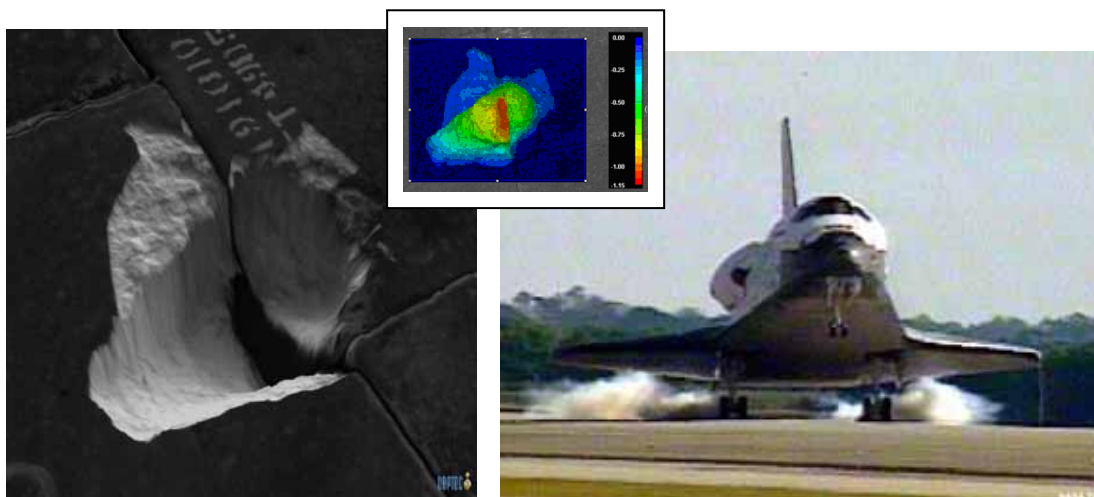


図9： Neptech レーザカメラによるソデバー保護タイル損傷部と解析 画像は Neptech 提供

この損傷部分は重点確認ポイントとして決められていて、そこを中心に宇宙飛行士により高精度レーザスキャンされ、その日のうちに地上に3次元データとともに届けられる。ソフトウェアで処理することにより曲面データNURBSモデルを作り、CAMを駆動させてその形状のタイルを複製製作する。この複製品を、アークジェット加熱炉を用いて大気圏再突入のときの負荷試験を行い、必要に応じその修理のシミュレーション作業も実施している。

特殊な設備例であるが、クリティカルな構造部位についてはこうした手法が適用されることもあるであろう。

6．耐震改造工事現場

既設建物などの耐震補強工事は、空間的に非常に制約のある中で実施せざるを得ず、工事建設機械を含めた 3 次元干渉問題を解決しなければならない。また工場もしくは公共設備の運転中に、如何に安全に短期間で工事を終えるかという命題もあり、ここに 3 次元計測の大きな使命、効用が見出される。



図 10：耐震工事現場の状況事例 出典：旭化成建材 EAZET 工法紹介 URL より

7．おわりに

3次元計測は、計測機器のハードウェアが高価であること、効果的・経済的なデータの活用技術が易しくないことなどから、まだ大きな広がりにはなっていない。しかし、現場の3次元情報が驚異的なスピードで採取できること、目的を限定しデータ処理方法の工夫をすれば大きな業務革新が得られることなどから、より高いレベルの安心・安全が求められる耐震強度を高める検討や改造工事に3次元計測技術が使われる機会が増えてこよう。