

CFT 圧入施工管理システム「CFTpro Σ[®]」 Monitoring system for CFT Pump Injection “CFTpro Σ[®]”

神代 泰道
金子 智弥

Yasumichi Koshiro
Tomoya Kaneko

1. はじめに

コンクリート充填鋼管構造（Concrete Filled Steel Tube, 以下 CFT）は、鋼管内部にコンクリートを充填して柱として使用する構造形式である。S 造に比べ地震等による変形や火災に強く、RC 造よりも施工現場での作業工数が少ない等の特徴がある。CFT 造のコンクリート充填方法には、落とし込み充填工法と圧入工法とがある¹⁾。落とし込み充填工法はバケット等を用いて柱頭部から落とし込む方法である。圧入工法は柱脚部に設けた圧入口からポンプにより高流動コンクリートを数十 m の高さまで一気に打込む方法である。圧入工法はクレーン等の揚重設備が不要で、鉄骨建方等の他の作業と並行して行え、工期短縮につながるため、主流となっている。一方、打込み状況の目視確認が不可能で、圧入速度および鋼管に作用する圧入圧力の管理が重要となる²⁾。そこで、CFT 造の圧入工法を安全かつ確実に実現し、施工の信頼性向上に資する CFT 圧入施工管理システム「CFTpro Σ[®]」を開発した。本報ではシステムの機能および適用事例について紹介する。

2. CFTpro Σ[®]の概要

2.1 圧入工法における圧力管理の重要性

Fig.1 に示すように CFT 造の圧入工法においては鋼管柱にフレッシュコンクリートの単位容積質量と打込み高さの積（以下、液圧）に相当する圧力が作用する。実際はポンプ車の圧送による脈動やダイアフラムなどの鋼管内部の鋼材が抵抗となり、圧入圧力は小刻みに変動し、コンクリートの液圧の 1.1~1.3 倍の圧力が作用する。このとき鋼管が内圧により降伏する限界値 P_y (N/mm²) は、鋼管形状により次式から求められる。

$$\text{角形鋼管柱の場合: } P_y = 2 \cdot \sigma_y \cdot (t/B)^2 \dots\dots(1)$$

$$\text{円形鋼管柱の場合: } P_y = 2 \cdot \sigma_y \cdot (t/D) \dots\dots(2)$$

ここで、 σ_y は鋼管の降伏応力度 (N/mm²)、 t は鋼管の板厚 (mm)、 B は角形鋼管の幅 (mm)、 D は円形鋼管の外径 (mm) である。特に角形鋼管の限界値 P_y は円形に比べ 1/20~1/30 程度と小さく、降伏する恐れがあるため、圧力が最大となる最下部において、作用する圧力が限界値を超えないよう 1 回の打込み高さを計画する。さらに施工管理においては、Fig.2 に示すように打込み高さの変化に伴う圧力の推移を常に監視し、異常が認められた場

合は①圧入速度を下げる、②中断するなどの対応を即座にとる必要がある。

2.2 システム開発のねらい

従来の圧入工法における施工管理においては、Photo1 に示すように工事管理者がデータロガーの圧力計の指示値を目視で確認し、高さの測定結果と合わせて、高さー圧力の関係を手書きでプロットして記録していた。このため工事管理者は常に測定・記録作業に拘束された。これに対し本システムは、安全確実にコンクリートを充填するため、以下のようなねらいで開発した。

- (1) 圧入圧力と打込み高さをリアルタイムで計測し、ビジュアル化して工事管理者に情報を提供する。
- (2) 施工現場の管理体制に応じて、打込み高さの計測方法、管内カメラ映像の共有、柱頭側と柱脚側の通信方法等のシステム構成を自由に組替えられる。
- (3) 施工後の報告書作成を自動化し工数削減を図る。

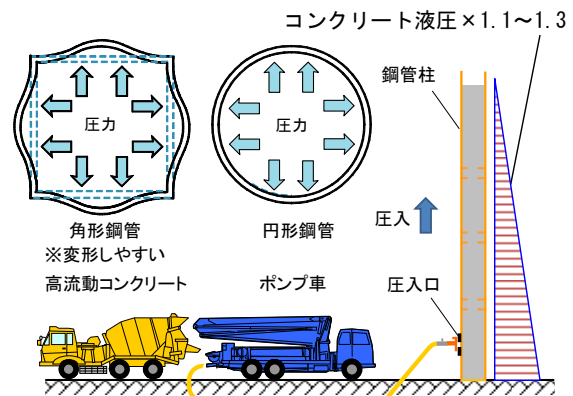


Fig.1 CFT 造の圧入工法の概要
Pump Injection Method of CFT

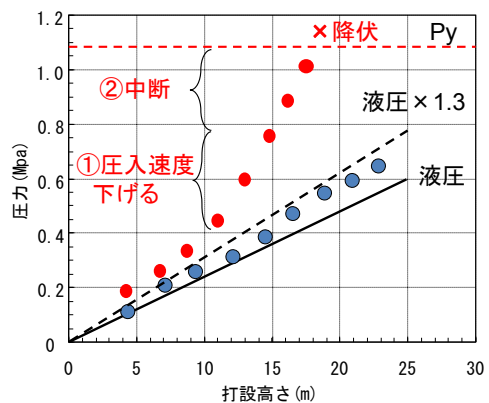


Fig.2 打込み高さと圧力の関係
Relation between Placing Height and Pressure



Photo1 従来の圧力管理方法
Conventional Pressure Measurement Method

2.3 システムの構成

本システムの構成を Fig.3 に、構成機器を Table1 に示す。以下、それぞれの機能について述べる。

2.3.1 圧入圧力の計測 圧入圧力の計測は、Fig.4 に示すように圧力計とデータロガーを用いる。圧力計は、圧入口の閉鎖弁(スライドバルブ等)の手前の測定用配管に設置する。データロガーとパソコンを接続し、シリアル通信(RS-232C)を介して圧力値を得る。柱の最下部の圧力値を得るためには圧力計の設置高さ分を補正する。

2.3.2 打込み高さの計測 打込み高さは柱頭側に設置したレーザー距離計で計測する。レーザー距離計の設置方法は、Photo2 に示すように鉄骨建方の進捗状況に応じて圧入口に設置する場合と柱頭部に設置する場合がある。レーザー光が最下部まで到達するように、距離計を鋼管柱の中央に鉛直に設置する必要がある。圧入口に設置する場合は専用のアームを利用して微調整を行う。パソコンとはシリアル通信や Bluetooth で接続できる。

2.3.3 パソコン 管理用パソコンには専用の圧入施工管理プログラムを導入する。このプログラムは圧力計とレーザー距離計で得られた圧力と高さを約 3 秒間隔で更新し、Fig.5 に示すように圧力・打込み高さ・高さ・圧力の 3 種類のグラフで表示する。圧入圧力の上昇の度合いをシグナルで知らせ、事前に鋼管の形状、予定高さを入力することで施工管理に必要な圧入速度(m/分)・打込み量(m³)・打込み速度(m³/時)などを計算して施工情報として表示する。

2.3.4 管内映像 Photo3 に示す管内カメラを併用することで、目視が不可能な鋼管内部のコンクリートの打込み状況をリアルタイムで確認することができる。

2.3.5 報告書作成 圧入施工管理プログラムは、得られた圧力と高さデータを CSV ファイルに記録する。報告書作成プログラムによって CSV ファイルから Fig.6 に示すようなグラフを含む報告書を自動的に作成できる。

2.3.6 LAN による拡張性 本システムの各種機器を LAN でネットワーク化することにより、データの共有を図ることができる。シリアル通信で得られる各種データはプロトコルコンバータを用いて TCP/IP に変換するこ

とで LAN 経由でデータの取得ができる。管内カメラの映像は、デジタル変換してパソコンの映像送信プログラムで表示させる。同時に LAN 上の表示用パソコンで映像受信プログラムを実行すると、管内映像を共有できる。また、表示用パソコンで表示プログラムを実行すれば、管理用パソコンと通信し、完全に同じ情報を画面に表示することができる。

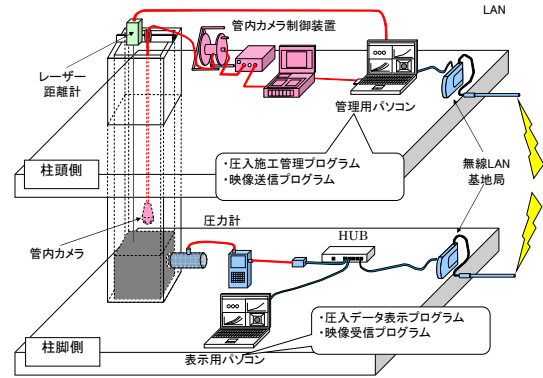


Fig.3 システムの構成
Configuration of the System

Table1 システムの構成機器
Composing Apparatus of the System

機器名称	主な仕様
管理用パソコン	ノートパソコン ・圧入施工管理プログラム ・映像送信プログラム
表示用パソコン	ノートパソコン ・圧入データ表示プログラム ・映像受信プログラム
圧力計	測定容量 1MPa～10MPa 測定速度 0.25 秒/点 データロガー AC100V または電池
レーザー距離計	測定可能距離約 40m 測定精度±1.5mm 電池
管内カメラ	照明付き CCD カメラ コード長 65m
工事事務所内パソコン	・報告書作成プログラム

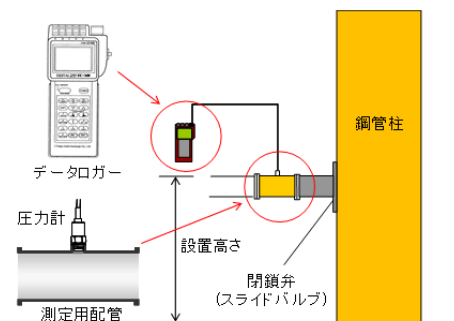


Fig.4 圧力測定の方法
Installation of Pressure Measurement System



(a)圧入口設置の場合 (b)柱頭部設置の場合
Photo2 レーザー距離計の設置
Installation of Laser Range Finder

カメラの映像も LAN 経由で表示用パソコンに配信する。通信におけるデータ容量は大きくなるが、高さや圧力のデータを設定した間隔で取得できる。Photo 4 にレーザー距離計の設置状況を示す。圧入口の内部へ専用のアームを用いて設置している様子である。Photo5 に示すように管内カメラの操作は作業員 1 もしくは 2 名で行う。データ通信は、補助的に有線 LAN を用いることによって確実にすることができる。



Fig.5 CFTproΣ[®]のパソコンの画面例
Example of Screen of the CFTproΣ



Photo4 レーザー距離計の設置
Installation of Laser Range Finder



Photo5 管内カメラの操作
Operation of Cable Camera

3.2 タイプ B

機器の構成を Fig.7 に示す。管理用パソコンを柱脚階に配置し、圧力計と接続する。レーザー距離計のデータは Bluetooth を介して送信する。Bluetooth 通信機器を複数配置するが、LAN を構築しないこと、管内カメラの映像を共有しないことからタイプ A よりも使用機器数が減少し、導入は簡易である。



Photo 3 管内カメラ
Cable Camera

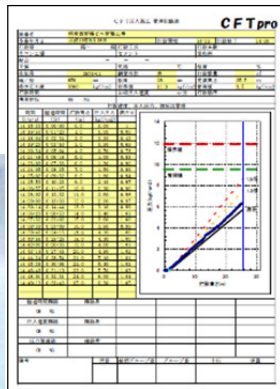


Fig.6 報告書作成例
Example of Report

3. 適用事例

本システムを 2007 年に初適用して以来、現在までに事務所ビルをはじめ、工場、病院など 60 件以上の CFT 建造物へ適用した。ここでは主な適用事例をタイプ別に紹介する。タイプ A は LAN を構築してデータ共有を主眼としたものであり、タイプ B は LAN を構築せずに本システムを適用したものである。タイプ C はより簡易版としたものである。

3.1 タイプ A

機器の構成は Fig.3 と同じであり、パソコンを柱頭階と柱脚階の 2ヶ所に配置し、パソコンと計測機器を無線 LAN によりネットワーク化しデータを共有する。管内

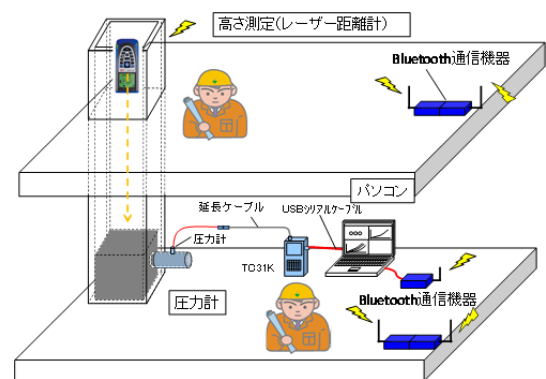


Fig.7 システムの構成(タイプ B)
Configuration of the System(TypeB)

3.3 タイプ C

機器の構成を Fig.8 に示す。管理用パソコンは圧力計のみと接続し、高さは、①各階の鋼管側面に設けられた蒸気抜き孔をコンクリートが通過するのを目視確認し連絡する方法、②最上部から検尺して所定の高さごとに連絡する方法(Photo6)、③管内カメラを併用し、ダイヤフラムの通過をモニターで確認する方法(Photo7)のいずれかにより記録する。Fig.9 に示すように管理用パソコンに事前に蒸気抜き孔やダイヤフラムの設置高さを入力することで、工事管理者はクリックのみで高さを記録できるよ

うにした。タイプ A や B に比べ無線 LAN や Bluetooth を用いないため、安定した計測が可能であり、かつ、使用機器数が少なく、最も簡易に本システムを利用できる。なお、管内カメラのモニターで高さを記録する場合、事前に鋼管柱の製作図面をよく確認しておけば、補強板とダイアフラムを見分けることができる。

4. システムの効果

本システムの適用による主な効果としては次のとおりである。(1)パソコン画面上にリアルタイムに圧力と高さの関係、圧入速度が表示され、従来の方法より工事管理者の測定・管理作業を軽減できる。(2)上下階で情報を共有することにより、ポンプ工および生コン配車員に対してもリアルタイムの施工状況を提供できる。(3)管内カメラを使用する場合は視覚的に施工状況を示すことができる。

本システム使用後に利用者へアンケートを実施した。その回答の概要を以下にまとめる。機器の設置の所要時間は5~10分程度であった。データ通信については有線であればスムーズである。今後も CFT 造の施工管理には必要との意見がほとんどだった。なお、システムとしては最も簡易に導入できるタイプ C の形態の採用が多かった。実際に圧力の異常な上昇を検知し、圧入速度を遅くしたあるいは途中で中断したという回答があり、本システムにより CFT 造の圧入施工を安全かつ確実に実施できることを確認できた。また、CSV データで作成される報告書により圧入速度や圧入圧力が管理値以内で実施されたことを工事監理者へ即日報告でき、施工計画書に基づいた施工管理が確実に実施されていることを示すことができた。

5. まとめ

CFT 圧入施工管理システム「CFTproΣ[®]」の機能と適用事例について述べた。CFT 造の圧入工法は難易度が高く、コンクリートの品質管理に加えて、圧入速度や圧入圧力の管理が重要となる。本システムはすでに 60 件以上の適用実績があり、今後も安全確実に信頼性の高い CFT 造の施工管理に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 新都市ハウジング協会:コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説,(2012)
- 2) 神代泰道, 大池武, 川口徹:高強度・高流動コンクリートによる C F T 構造柱の充填施工, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20,No.2, pp.481-486,(1998)

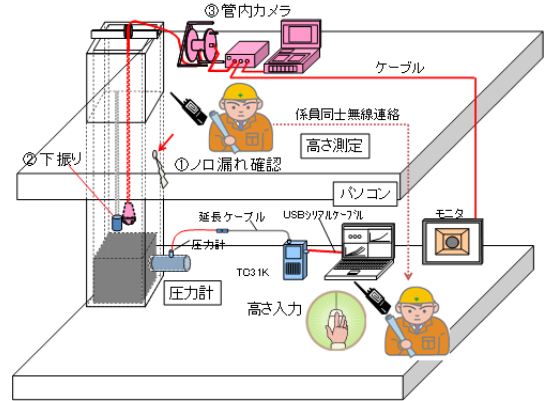


Fig.8 システムの構成(タイプ C)
Configuration of the System(Type C)

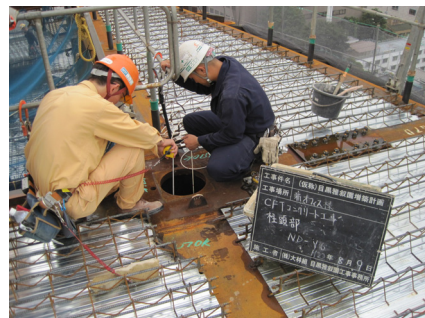


Photo6 下振りによる高さ測定
Placing Height Measurement by a Rope



Photo7 管内カメラによる高さ記録
Placing Height Measurement by Image of Cable Camera



Fig.9 パソコンへの高さの記録方法
Record of the Placing Height to the Personal Computer