U.D.C 624.154/.155

場所打ちコンクリート杭施工における 打設コンクリート高さの自動計測に関する取組み —場所打ちコンクリート杭 ICT 施工管理システムの要素技術—

遠藤　　健

要　約：　本報は場所打ちコンクリート杭の施工管理項目である打設作業中のコンクリート天端高さの自動計測装置に関する開発報告である。現状の計測手法である検尺テープを用いた現行の手ばかり方式を参考に計測装置の仕様を検討し，スタンドパイプの上縁を起点にウェイトを降下させ，ウェイトの着底時に生じる張力の変化を検知することで降下距離を自動計測する装置を試作した。コンクリートの性状を模した疑似モルタルにて試作装置の屋内実験を行い，計測性能を確認した。

ｷｰﾜｰﾄﾞ：　場所打ち杭，コンクリート打設，トレミー管，高さ管理

目　次：

1. 目的
2. 試作装置
3. 屋内実験
4. まとめ

1. 目的

建設業の施工管理において，時短・省力化の推進と品質管理の充実はマンパワーにおいて相反する課題である。本研究は，この課題を解決すると考えられる DX の具体策として提案する「場所打ちコンクリート杭の ICT 施工管理技術」の一要素技術として開発を進めているものである。

場所打ち杭の施工において，コンクリート打設に用いるトレミー管は，打設したコンクリートの天端高さの上昇に伴い徐々に引抜く必要があるが，トレミー管の挿入深さの管理を怠ると，コンクリートに泥水が混ざりこむことなどによって品質事故につながる。このためトレミー管の引抜き作業は施工管理上重要なポイントとなっている[1)]。

現行では，あらかじめセットしたトレミー管の割付け計画をもとに，打設中のコンクリート天端の高さ計測値を読み取ることで引き抜き作業を行うが，測定値の読み違えや記載ミス，勘違いなど作業者のヒューマンエラーによる事故発生のリスクが常に伴う。これらのリスク低減のため，機械システムでの自動計測によりトレミー管の引抜き位置の管理を支援し，ヒューマンエラーの防止や時系列での打設履歴の記録を実現する自動計測装置を開発することとした。

写真 1　手ばかりによるコンクリート天端計測方法

写真 2　作業架台と仮設機材の配置

2. 試作装置

2.1　試作装置の仕様

写真 1 は現行のコンクリート天端計測の様子である。先端にウェイトをつけた検尺テープを口元管上部より吊り下げ，打設中に任意のタイミングで計測する。写真 2 はコンクリート打設作業状況を示す。写真から，作業架台上にものを設置すること，また作業架台面より上部に突起物を生じさせることはいずれも打設作業に支障することがわかる。よって測定の方法はこのような状況下での使用を前提に，公開特許「打設コンクリートの天端計測装置」[2)] に示す方式を参考に，現行方式に倣いワイヤの繰出し・巻取りによるウェイトの上下動で着底を検知する方法を採用した。

図 1 は，試作した巻き取り装置の構成図である。高さの

＊技術研究所　建設 ICT グループ

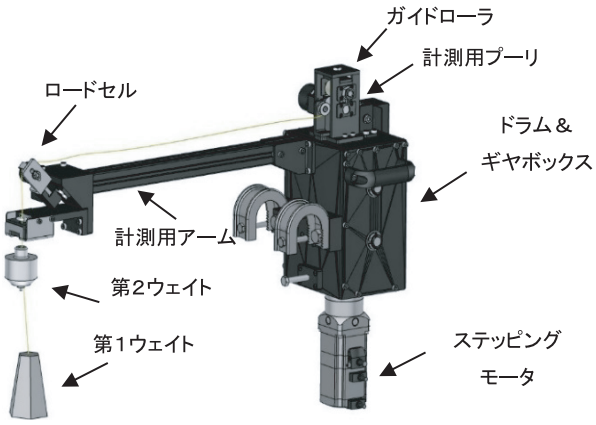

図１　試作した巻取り装置の構成

表１　コンクリート天端計測装置の仕様

測定部	寸法	250×750×500(mm)
	重量	12kg
	ワイヤ径	φ1.2mm
	ワイヤ長	30m
	最大巻上げ速度	0.9m/sec
制御部	寸法	500×500×250(mm)
	重量	15kg
	入力電圧	1φ2W　100v±10%
	最大電流	10A

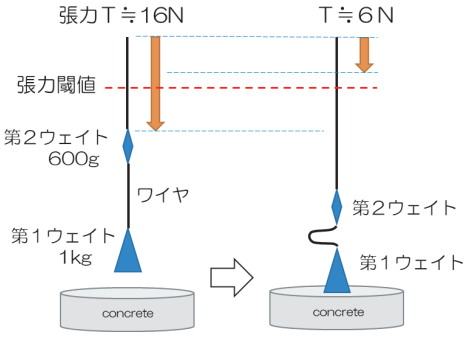

図２　二段ウェイトの効果

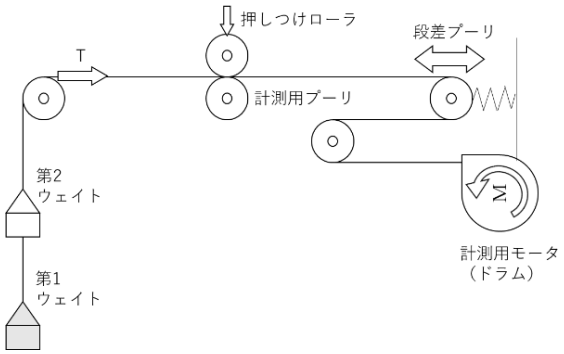

図３　段差プーリの配置

計測は，ウェイト降下用のワイヤをかけた計測用プーリの回転により同軸のエンコーダが出力するパルスをカウントして求める。計測用プーリにはワイヤ軌道を安定させるために逸脱防止用のＶ溝を設け，またワイヤとエンコーダの滑りを防止するために押しつけ力の調整可能なガイドローラにより常時 15 N 程度の静止摩擦力を発生させている（ローラの回転時動摩擦は 3～5 N）。ウェイトが降下中，ワイヤにはウェイトの重量に相当する張力が発生しているが，着底した瞬間に張力が減少する。この張力の減少変化をロードセル（定格 100 N）にて監視し，ある閾値を超えたところで着底と判断，その時の測定距離の演算と巻出し操作の停止を PLC およびモータドライバにて実行する。

なお着底の際にウェイトはある程度沈下すると想定されるため，距離値の演算にはあらかじめ設定した任意の沈下量（図 5）を減算できるようプログラムを組んだ。

制御ユニットは電源・モータドライバ・通信ユニット・表示部・PLC などで構成される。試作したコンクリート天端自動計測装置の仕様を表１に示す。

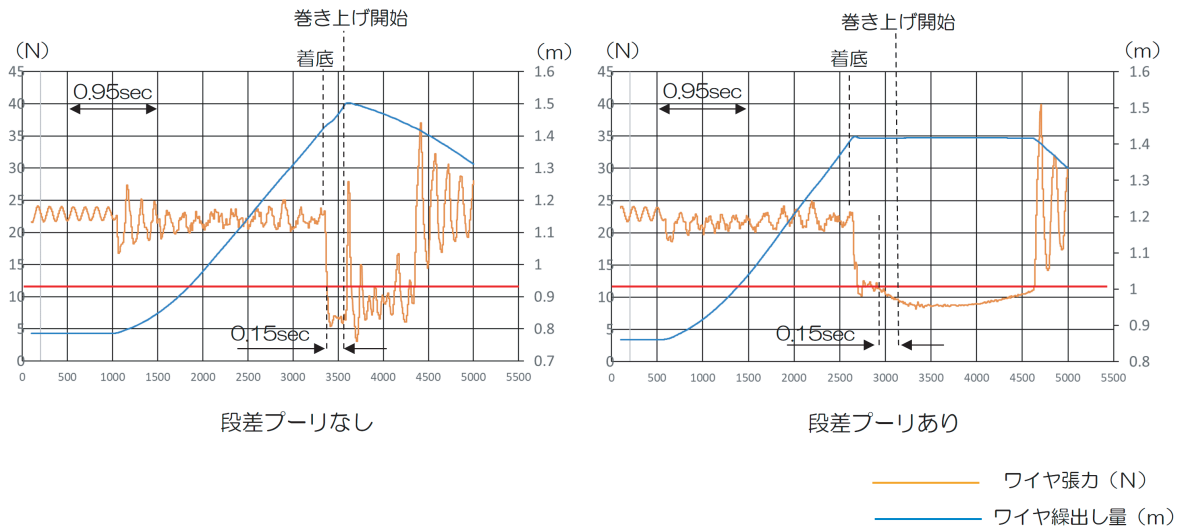

図４　段差プーリの有無によるワイヤの繰出し量と張力の関係

2.2　二段式ウェイトと段差プーリ

ワイヤのたるみは，逆転時に急激な張力変化を生じワイヤと計測用プーリとの滑りの原因となるほか，計測中に設備や鉄筋籠に絡まるなどトラブル要因となる。このため着底検知後もワイヤに張力を残存させる手段として，二段式のウェイトで計測する方法を採用した。

第１ウェイト（1 kg）はコンクリート天端に到達後，自重に相当する張力減を生じさせ，一方，第２ウェイト（600 g）は第１ウェイトの着底後も自重により張力を保ち続けるためワイヤにたるみを生じさせない（図２参照）。

図３は，二段式ウェイトに加え段差プーリを加えた巻き取り構成図で，押しつけローラの手前に配置することで，ドラム～押しつけローラ間で生じるワイヤたるみを除去するとともに，ばね力を適当に選定することで第１ウェイト着底後に判定に要する経過時間（約 150 msec）に生ずる第２ウェイト降下量を相殺することができる。図４は段差プーリの有無によるワイヤの繰出し量と張力変化の相関グラフで，段差プーリを加えることで，着底後のワイヤ繰り出し量を抑えること，判定後の張力変化の乱れを抑える効果が示されている。

3.　屋内実験

3.1　性能検証

試作した装置のワイヤ繰り出し距離の計測性能を確認するためウェイトに替えて光学式測量機のターゲットミラー（写真３）を上下させ，光学式測量機でとらえたミラーの移動距離（ワイヤの繰出し/巻取り距離）とその時の計測機の測定値を比較し表２にまとめた。速度 600 mm/sec にて下降・上昇を 10 回繰り返し，測量値を基準に比較した結果，4.6 m 程度の繰出しにおいては平均で約 0.05～0.1% 程度の測定誤差が生じた。

計測誤差は，ワイヤとエンコーダ用プーリの滑りによって生じるが，滑りの状態はワイヤの繰出し距離によって変わる構造ではないことから，計測誤差も繰出し距離の増加によって比例的に増大するものと考えられる。したがって表２より現時点の計測精度は 1 mm/m 程度であり，30～40 m 程度の計測レンジにおいて誤差は 30～40 mm と推測され，±50 mm の精度要求をクリアしているものと評価した。

写真３　測量装置（左）とターゲットミラー（右）

表２　試作装置と測量機による
ターゲットミラーの移動距離の比較

方向	項目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
下降	測量機	4651	4641	4651	4635	4646	4631	4626	4642	4634	4612	
	計測装置	4658	4646	4655	4639	4650	4635	4631	4645	4639	4617	
	差	7	5	4	4	4	4	5	3	5	5	4.6
上昇	測量機	4640	4649	4634	4644	4630	4625	4641	4633	4611	4634	
	計測装置	4643	4651	4636	4646	4631	4628	4642	4635	4614	4636	
	差	3	2	2	2	1	3	1	2	3	2	2.1

ターゲット速度：600mm/sec，単位：mm

3.2　着底試験

試作した装置がコンクリート打設中に想定通りの着底判定が可能かどうかを確認するため，屋内で杭に見立てた模擬実験装置を用いて計測実験を行った。図５は杭を模擬した模擬実験装置の全体仕様である。装置の基部は，呼び径 300（内径 298 mm）・長さ１m のドレーン付き鉄管，上部は同径の塩ビパイプをフランジ接続した全長約 7.5 m の円筒管である。

実験にフレッシュコンクリートを用いると，時間経過とともに硬化し条件が安定せず繰り返しの実験には向かないため，今回は「疑似モルタル」を用いた。疑似モルタルは，砂，粘土，水，その他添加剤による混錬材で，比重が軽く粗骨材を含まず，実際のコンクリートより着底を検知しにくいと考え採用した。混錬後の実験装置最下層の鉄管内部に約 0.8 m の高さまで疑似モルタルを注入し，上部の管内に水をため施工中のコンクリート杭に見立てた。

疑似モルタルの使用材料と混錬後の性状を表３および表４に，NEXCO 試験法 313 シリンダー法によるフロー試験の状況を写真４にそれぞれ示す。

表３　疑似モルタルの使用材料

成分	物　性
水	水道水／1.0g/cm^3
粘土	笠岡粘土／2.45 g/cm^3
砂	石英砂 No.4，No.5，No.7／2.65 g/cm^3
添加材	Mighty V-10(Pumping aid)／1.02～1.05 g/cm^3

表４　使用した疑似モルタルの性状

比重（g/cm^3）	フロー（mm）	温度（° C）
2.023	105×105	20.8

写真４　フローテストの状況

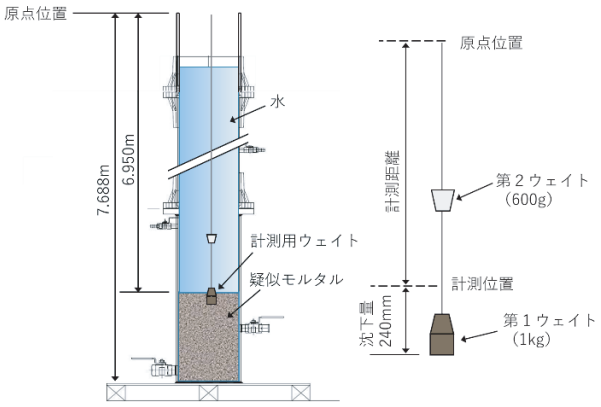

図 5　コンクリート天端計測実験の仕様と計測位置の設定詳細

ウェイト着底の際，疑似モルタルへの沈下の違いを確認するために，異なる配合で 3 種類の疑似モルタルを作成した。このうち実験にはコンクリートの性状に最も近いと考えられる配合 No. 1 を用い，その際の沈下量は，気中における落下試験の結果得られた 240 mm とした。また沈下量を 240 mm と想定した位置を測定位置とした。

図 5 に疑似モルタルを用いた水中での高さ計測実験の諸条件と計測位置の設定を，表 5 に計測結果を示す。10 回の計測値の平均値を 1 サンプルとして 15 サンプル計測し，各サンプルの値と実測した真値である 6.95 m との差を求めた。その結果，計測値が常時高めの値を返し，差の平均は 58 mm，標準偏差は 25 mm となった。

気中のターゲット測定の結果に比べ差の平均や偏差が大きく出ているが，適切な沈下量の設定で差は減少すること，また標準偏差についても実際の用途を考えた場合に許容される範囲内にあるといえることから，疑似モルタルの計測においては，計画性能 ±50 mm をクリアできるものと考えた。

なお，実際の環境におけるウェイトの沈下量は，今後の現場試行データの蓄積により分析することとした。

表 5　疑似モルタルの天端計測結果

単位 :m

回数	計測値	真値	差異
1～10	-6.87	-6.95	0.078
11～20	-6.91	-6.95	0.037
21～30	-6.92	-6.95	0.026
31～40	-6.91	-6.95	0.039
41～50	-6.92	-6.95	0.029
51～60	-6.92	-6.95	0.026
61～70	-6.91	-6.95	0.041
71～80	-6.91	-6.95	0.042
81～90	-6.88	-6.95	0.066
91～100	-6.87	-6.95	0.081
101～110	-6.84	-6.95	0.114
111～120	-6.86	-6.95	0.088
121～130	-6.88	-6.95	0.071
131～140	-6.88	-6.95	0.065
141～150	-6.88	-6.95	0.073
		平均値	0.058

4. まとめ

1）場所打ちコンクリート杭の打設コンクリート高さを自動計測するための手法を検討し装置を試作した。

2）試作した装置の基本性能を屋内実験設備にて検証し，計画性能を満足していることを確認した。

謝　辞

装置開発にあたりご尽力いただいた（株）アビリカの薮下裕司，岩泉良，両氏に感謝申し上げる。

参考文献

1）日本建設業連合会地盤基礎専門部会：場所打ちコンクリート杭の品質管理のポイント，pp. 60-61, 2017.6
2）岡村克己・佐藤英二：打設コンクリートの天端計測装置，公開特許公報，特開平 6-128958, 1994.
3）桑原文夫：最近の場所打ちコンクリート拡底杭の動向と課題，基礎工，Vol37, No. 8, pp. 2-7, 2009.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC HIGHT MEASURING DEVICE FOR CONCRETE PLACEMENT OF CAST-IN-PLACE-PILES

K. Endo

This report is a development report on an automatic measuring device for the height of the top of concrete during casting work, which is a construction management item for cast-in-place concrete piles. The specifications of the measuring device are examined with reference to the current hand-held method using a measuring tape, the weight is lowered starting from the upper edge of the standpipe, and the change in tension that occurs when the weight lands is detected. We made a prototype of a device that automatically measures the distance. An indoor experiment of the prototype device was conducted with a pseudo mortar that imitated the properties of concrete, and after confirming the specified measurement performance.