

## 24. 船上杭打ち作業における光学式 リバウンド計測方法

五洋建設(株)：\*田中 潔・斉藤 勉

### 1. まえがき

海上や陸上の構造物構築の基礎工事として杭打ち工事がある。杭打ち工事の打ち止め判定は、地質調査をもとに設計深度に杭先端が近づいた時や、杭の貫入速度が著しく低下した時点において、ハンマーの打撃ごとに杭のリバウンド（リバウンド量および貫入量）を測定、その結果を支持力算定の公式に代入し、支持力を求め打ち止めの是非を決定している。

このリバウンド測定方法は、作業員が打撃稼働中のハンマー直下において作業を行うため、次のような問題点がある。

- ①ハンマー直下に入るため、上からの落下物などによる危険を伴う。
- ②打撃騒音・衝撃が身体障害の起因となり易い。
- ③ディーゼルハンマーの場合、油飛散などで汚れる。
- ④十分な足場を確保し難いので墜落事故のもとになる。
- ⑤作業員の個人差や船の動揺などから、測定データの不揃いや誤差を生じ易い。

本装置は、港湾工事で施工される杭打船による杭打ち工事を対象とし、上記の問題点を解消するために開発した、非接触の計測装置である。本稿では、計測装置の概要について紹介する。

### 2. 装置の概要

#### 2. 1 構成

本装置は、打設杭に反射テープを貼付け杭打船上に設置したCCD（電荷結合素子）カメラで一定時間連続撮像し杭変位を測定し、採取したデータをコントローラを介して計測演算装置に取り込みコンピュータ処理（船体動揺補正）後、手動計測と同様な記録表示でペンレコーダに記録する。なお、ハロゲン光源は、反射テープの反射信号をCCDカメラで捉え易くするためのものである。

本装置の機器の構成を図-1に、機器配置を図-2に、機器の仕様を表-1に示す。



写真-1 現状のリバウンド測定状況

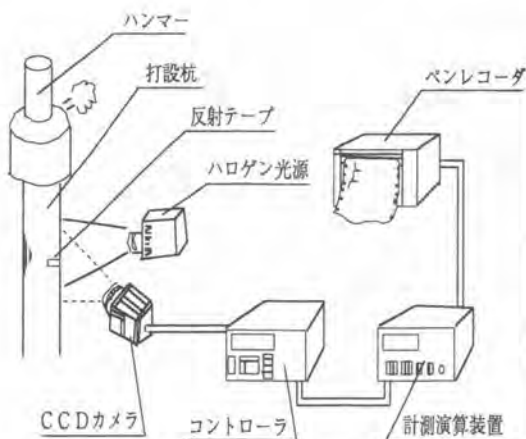


図-1 機器の構成



写真-2 CCDカメラ設置状況

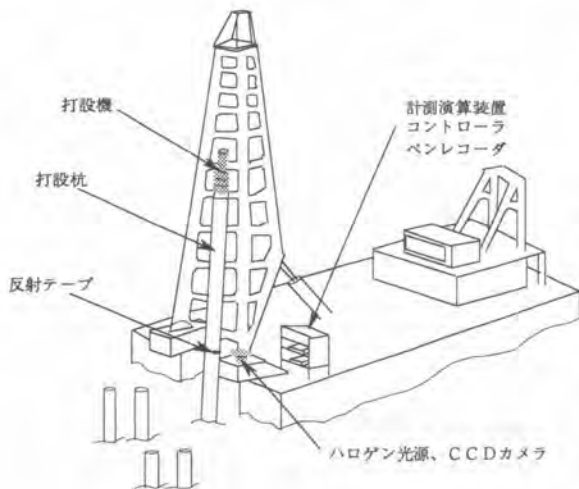


図-2 機器配置図

表-1 機器の仕様

品名	メーカー・仕様	数量
CCDカメラ	IX-20 2048bit 走査時間1msec<サンクス>	1
同上望遠レンズ	100mm F2.8 <ペンタックス>	1
ハロゲン光源	IX-PH100 AC100v 100W <サンクス>	1
コントローラ	IX-C100-3 入力:2, 出力:2 <サンクス>	1
計測演算装置	パソコン PC-9801vx21 <NEC> 各設定部 BCDデジスイッチ	1
ペンレコーダ	R301 測定レンジ:0.5~200v<理化電機> 1インチ幅 ペンスピード:1600mm/sec	1

## 2.2 原理

### 2.2.1 杭変位検出

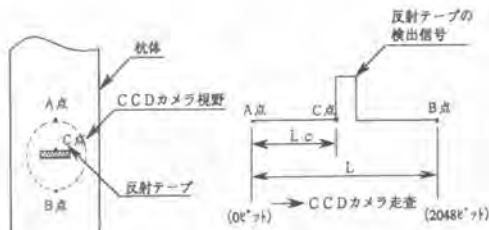
CCDカメラは、結像面の光の強さを電気信号の大きさに変換する素子が等間隔で一直線上に並んでいて光の像を電気信号として捉えるカメラで、本装置はこのCCDカメラを用いて反射テープからの光を受けた素子の配列位置によって杭変位を計測するものである。

図-3にCCDカメラによる反射テープの位置検出を示す。

図のA点からB点まで走査すると(走査時間1msec)反射テープC点に相当する処では強い信号が得られ、図のような出力となる。C点の位置(A点からの長さ)を式のように求めることができる。

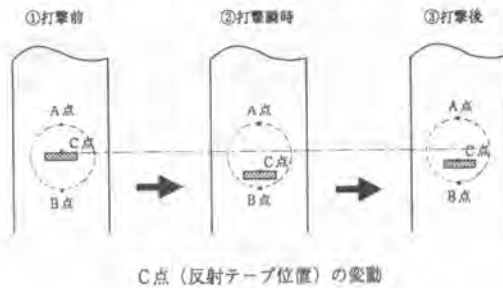
瞬時に発生する杭変位であるリバウンドは、このC点位置に相当する電気信号を一走査、つまり1msecごとにCCDカメラから演算装置に出力し、その時間変化を杭変位として記録表示する。

ハンマー打撃前後の杭変位検出状況を図-4に示す。

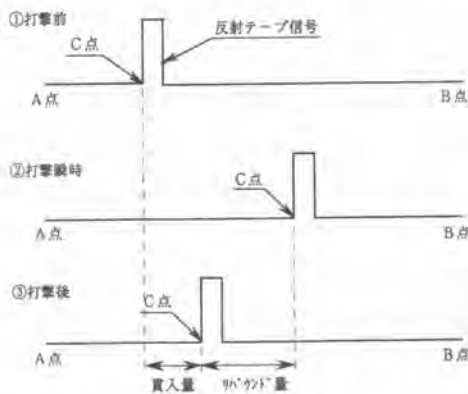


C点の位置 (杭A・C間の長さ) = (杭A・B間の長さ) × (Lc/L)  
 (L:全策子長, Lc:検知素子までの配列長)

図-3 CCDカメラによる杭変位検出



C点 (反射テープ位置) の変動



C点変位の検出信号 (CCDカメラ走査)

図-4 ハンマー打撃前後の杭変位検出状況  
 図-4は、ハンマー打撃前後の杭変位検出状況を示している。打撃直前データ（杭変位がないデータ間）と打撃後安定データ（杭変位がないデータ間）を取り、この2つの安定データから次式の平均手法で、打撃間データのカメラ設置点（破線）を算出し、A点からの差分を補正值としている。

$$\Delta H_n = (\Delta F_n + \Delta R_n) / 2$$

$\Delta H_n$ : 打撃間データの時間 ( $\Delta t$ ) 間の船体動揺値

$\Delta F_n$ : 打撃直前データの時間 ( $\Delta t$ ) 間の船体動揺値

$\Delta R_n$ : 打撃後安定データの時間 ( $\Delta t$ ) 間の船体動揺値

$\Delta t$ : サンプルングタイム (1 msec)

## 2.2.2 船体動揺補正

杭打船に設置したCCDカメラの基準点は、船の動揺によって変化するので、CCDカメラで捉えた杭変位は船体動揺を含んだ値となる。従って、杭変位のみを取り出すために、ソフト処理により船体動揺分を補正している。

図-5は、船体動揺時のデータの一例で、データ1は船体上昇時の杭変位、データ2は船体下降時の杭変位を示す。前者では、CCDカメラ位置が上がることで

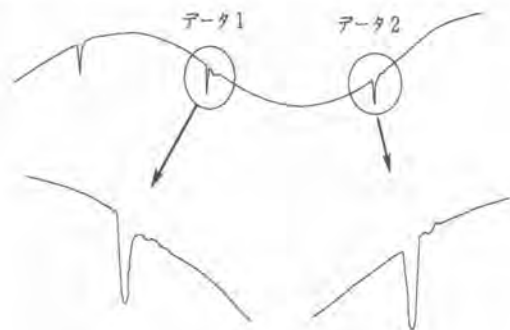


図-5 船体動揺時のデータ例

により測定値は真値より大きく、後者では、小さくなる。

図-6は、船体が上昇しているときの打撃による杭体および船体の変位である。動揺補正は、船体動揺分の破線位置を割りだした後、打撃開始点 (A点) を不動点としてその差分を計測データに加算補正する手法で行う。

その基本は、杭変位のデータ [打撃間データ] を挟

なお、補正対象時間を450msec（データ数=450個）としているのは、これまでの実験をもとに設定したものである。

船体動揺補正の具体的手法について以下に述べる。

・船体動揺分の算出

船体動揺補正値は、サンプリングタイムの1msec毎に式から算出した $\Delta H_1, \Delta H_2 \dots \Delta H_{n-1}, \Delta H_n$ である。このときカメラ設置点の軌跡は、この値を結んだ破線となる。

・データ補正

補正は、打撃開始点A点を通る基準ラインと破線との差分（補正値 $\Delta H$ ）を補正係数として、1msec毎の時間に対応した打撃間の生データに加算して行く。図において、ある瞬時の計測データD点の補正は、船体

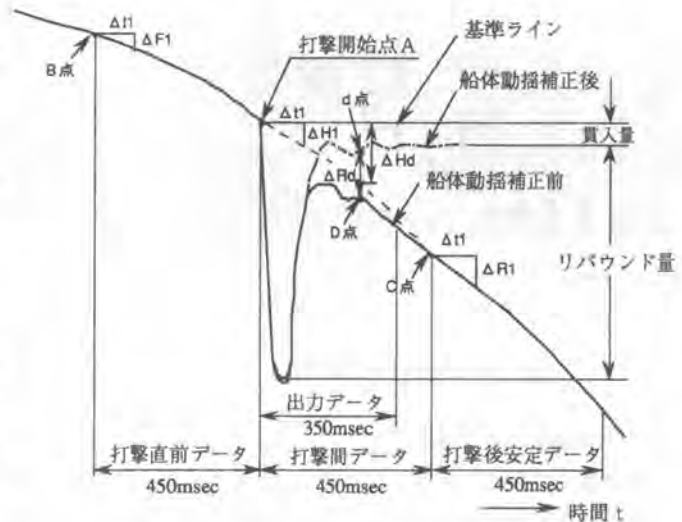


図-6 船体動揺補正図（船体上昇の場合）

動揺分の $\Delta H_d$ をその時の計測データに加算して行く。その結果、船体動揺補正後のD点の計測データはd点に補正される。

船体動揺補正後の打撃間データは、1msec毎に補正分 $\Delta H$ を算出補正した値をつなぐことにより、図の鎖線ようになる。図は、船体動揺上昇分の補正であるが、下降分の場合も同様の手法で可能である。

2. 2. 3 記録表示

本装置は、杭1本あたりの全データ採取時間が約30秒と短いこともあって全データを一旦収録するが、船体動揺補正後、そのまま出力すると杭打止め判定に必要な「杭変位の記録部」に比べて「杭変位のない部分の記録部」が著しく長いため、コンピュータ処理により変位のない部分をカットし、人為計測の表示に似た形となるようペンレコーダに記録表示させている。

人為計測の記録表示例を図-7に、また、本装置計測の記録表示例を図-8に示す。

3 特徴および技術的ポイント

3. 1 装置の特徴

- 1) 非接触の遠隔式自動計測装置のため、作業員の安全が確保できる。
- 2) 計測個人差や船体動揺の影響がないため、計測データが均一化される。
- 3) 記録表示は、公知である人為計測記録と同様のため扱い易い。
- 4) 計測、記録およびデータ収録が自動であり、操作が簡単である。

3. 2 技術のポイント

- 1) 船上に設置したカメラ固定点を不動点とするための船体動揺補正の採用。
- 2) 計測データ高速処理のためのマシン語の採用。

3) 人為計測記録と同性能で、かつ、データ収録、記録の再現が可能。

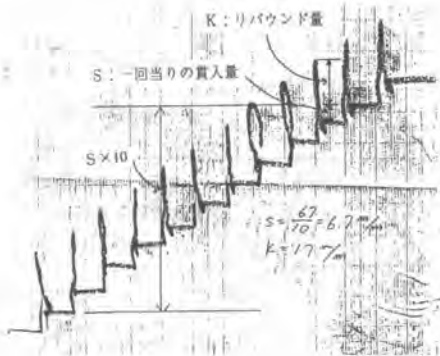


図-7 人為計測記録例



図-8 本装置計測記録例

#### 4. 現場実証および運用について

本装置の開発は87年から手掛け、当社施工の5つの海上杭打ち現場において、従来方法である人為計測と比較する方法で実験を行い、装置の性能を確認した。確認方法は、陸上基準点に据えたレベルによる計測とそれぞれの計測結果の貫入量(s)との比較により行った結果、装置計測の方がレベル計測値に近い値であった。それぞれの計測データを表-2に、杭打ち工事の仕様概要を表-3に、またレベル計測状況を写真-3に示す。

なお、装置導入時には、機装を兼ねて測定の校正を必要とするが、測定においては杭打ち止めに近づいた時点で、杭体に幅2cm、長さ20cm程度の反射テープを1枚貼付け、その後、計測演算装置の計測開始ボタンを押すだけで計測できるので、操作は比較的簡単である。

表-2 計測データ

計測場所：横浜大黒埠頭工事 単位：mm

杭番号	計測値						差						
	手動計測データ			計測装置データ			レベル計測		装置-手動		手動-レベル		装置-レベル
	貫入量(s)	リバウンド量(k)	(s)+(k)	貫入量(s)	リバウンド量(k)	(s)+(k)	(s)	(s)	(k)	(s)+(k)	(s)	(s)	(s)
D-45	1.0	9.7	10.7	1.8	11.0	12.8	1.0	0.8	1.3	2.1	0	0.8	
-46	1.1	9.6	10.7	2.6	10.9	13.5	2.0	1.5	1.3	2.8	-0.9	0.6	
-47	5.6	9.3	14.9	3.2	10.7	13.9	3.4	-2.4	1.4	-1.0	2.2	-0.2	
-48	4.4	10.8	15.2	4.4	10.4	14.8	4.3	-0.4	-0.4	-0.4	0.1	0.1	
-49	3.5	11.9	15.4	3.3	11.5	14.8	3.4	-0.2	-0.4	-0.6	0.1	-0.1	
-51	4.8	10.7	15.5	3.2	11.0	14.2	3.1	-1.6	0.3	-1.3	1.7	0.1	
-52	4.5	11.2	15.7	5.3	10.7	16.0	5.0	0.8	-0.5	0.3	-0.5	0.3	
A-31	6.5	8.2	14.7	7.1	7.9	15.0	8.3	0.6	-0.3	0.3	-1.8	-1.2	
32	6.4	7.4	13.8	7.6	6.9	14.5	7.1	1.2	-0.5	0.7	-0.7	0.5	
33	4.9	10.4	15.3	5.8	9.9	15.7	5.3	0.9	-0.5	0.4	-0.4	0.5	
34	4.6	9.2	13.8	5.4	8.3	13.7	5.3	0.8	-0.9	-0.1	-0.7	0.1	
35	5.3	7.3	12.6	6.2	7.1	13.3	5.9	0.9	-0.2	0.7	-0.6	0.3	
36	5.0	7.2	12.2	6.0	8.4	14.4	5.9	1.0	1.2	2.2	-0.9	0.1	
37	5.4	11.3	16.7	7.5	8.9	16.4	7.1	2.1	-2.4	-0.3	-1.7	0.4	
40	5.1	6.6	11.7	5.0	7.8	12.8	5.3	-0.1	1.2	1.1	-0.2	-0.3	
41	7.3	7.9	15.2	7.5	8.4	15.9	7.7	0.2	0.5	0.7	-0.4	-0.2	
45	5.0	8.5	13.5	6.6	8.1	14.7	6.3	1.6	-0.4	1.2	-1.3	0.3	
平均値	4.7	9.2	14.0	5.2	9.3	14.5	5.1	0.5	0.0	0.5	-0.4	0.1	

表-3 杭打ち工事仕様概要

計測場所	大分	川崎	四日市	広島	横浜
工事名	LNG棧橋工事	岸壁築造工事	堤防築造工事	岸壁築造工事	大黒埠頭工事
杭打船	前神	第五芳飛	第十御在所号	—	第一大都
ハンマー	MRB-1500	KB80	MH72	M-33	KB80
型式	エア式	ディーゼル式	油圧式	ディーゼル式	
ラム重量	15 (ton)	8 (ton)	7.2 (ton)	3.3 (ton)	8.0 (ton)
杭の長さ	96m	45m	49m	51m	43m
杭径	φ1000mm	φ1000mm	φ900mm	φ500mm	φ1600mm
計測時期	88年7月	88年8月	89年3月	92年5月	92年9月



写真-3 レベル計測状況

### 5. 今後の展開

陸上における杭打ち工事は、騒音、振動などが周囲環境に影響を与えることから、ディーゼルや油圧のハンマーなどを使った打撃による打設工法はあまり採用されない方向にある。しかし、港湾工事ではまだまだ頻繁に行われている。

杭打ち工事における管理項目を整理すると図-9のように、測量（位置出し）と打止め管理に大別される。当社では、杭打船による杭位置出しシステムを既に開発し、運転支援として大きく貢献している。

今後は、本装置を位置出しシステムに組み込み、全体管理の省力化・自動化を狙いとして展開していきたい。

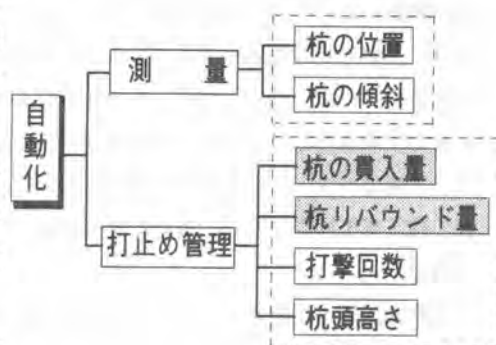


図-9 杭打ち工事管理項目

### 6. あとがき

本装置は、5現場で実証実験を行い、杭リバウンド計測装置の実用化の展開を図るため、93年4月に建設省の認定機関である（財）国土開発技術研究センターにおいて技術審査証明（技審証第0403号）を取得した。杭打ち工事におけるハンマー直下での危険作業の改善は重要な課題であり、今後はできるだけ多くの杭打ち施工現場に本装置の導入を図る予定である。

最後に、本装置の開発にあたり、各現場をはじめ関係各位の御協力、御支援を賜り、紙上をかりて謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 城原、田中：光学式杭リバウンド量計測装置の開発、（社）日本測量協会応用測量論文集、1990.6、Vol.1、No.1、pp.29～36.
- 2) 高江、田中：杭打ち工事におけるリバウンド計測装置、（社）日本測量協会月刊『測量』、1992.11、No.11、Vol.42、pp.67～72.
- 3) 技術審査証明報告書：船上杭打ち作業における光学式リバウンド計測方法、（財）国土開発技術研究センター。