

ハイスピードカメラを用いた急速载荷試験における杭の鉛直変位の補正方法（その2：補正方法と結果）

杭，急速载荷試験，変位計測  
Pile, Rapid load test, Displacement measurement

|          |      |                    |
|----------|------|--------------------|
| 地盤試験所    | 正会員  | ○吉國 将大             |
| 地盤試験所    | 国際会員 | MANDAL Ram Krishna |
| 地盤試験所    | 国際会員 | 林 世峻               |
| 地盤試験所    | 国際会員 | 亀井 秀一              |
| 地盤試験所    | 国際会員 | 山本 伊作              |
| 金沢大学名誉教授 | 国際会員 | 松本 樹典              |

1. はじめに

本稿では，（その1）で述べた急速载荷試験(RLT)でハイスピードカメラを用いて計測した杭の変位データについて，補正方法を報告する。

2. 補正方法

本稿では，カメラで計測した変位データについて，二つの補正方法によって杭の鉛直変位量を算出した。

2.1 補正方法 1：カメラの鉛直方向変位およびロッキング変位を利用した補正

この方法では，カメラの先端と後端の鉛直加速度  $\alpha_h$  と  $\alpha_t$  を用いて補正を行う。カメラの先端と後端の鉛直変位  $w_h$  と  $w_t$  は，時間  $t$  に関する  $\alpha_h$  と  $\alpha_t$  の2階積分から得られる。図-1 に示すように，カメラの先端と後端の間の距離は  $l_c=350\text{ mm}$ ，カメラの中心から杭までの距離は  $d_p=10\text{ m}$  である。カメラ本体の鉛直変位  $w_{vc}$  は式(1)より求める。ロッキング運動によるカメラ前後の鉛直変位差  $w_{Rc}$  は式(2)より求める。したがって，カメラ傾斜角  $\theta$  は式(3)で与えられる。

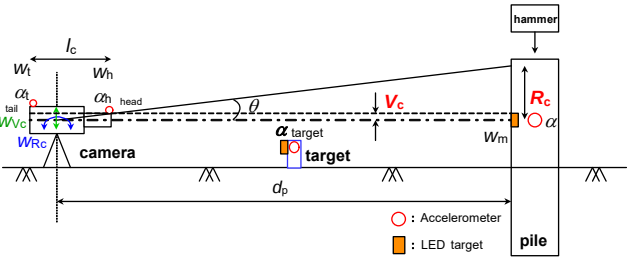


図-1 変位計測概略図

カメラの鉛直運動に対する補正值  $V_c$  は，式(1)で得られた  $w_{vc}$  と等しい（式(4)）。ロッキング運動に対する補正值  $R_c$  は式(5)より求める。カメラで計測した杭の変位を  $w_m$  とすると，補正された杭の変位  $w_c$  は式(6)より求めることができる。

$$w_{vc}(t) = \frac{w_h(t) + w_t(t)}{2} \tag{1}$$

$$w_{Rc} = w_h(t) - w_t(t) \tag{2}$$

$$\tan \theta(t) = \frac{w_h(t) - w_t(t)}{l_c} = \frac{w_{Rc}(t)}{l_c} \approx \theta(t) \tag{3}$$

$$V_c(t) = w_{vc}(t) \tag{4}$$

$$R_c(t) = d_p \tan \theta(t) = d_p \theta(t) \tag{5}$$

$$w_c(t) = w_m(t) + V_c(t) + R_c(t) \tag{6}$$

ここに，

$w_{vc}$  = カメラの鉛直変位

$w_{Rc}$  = カメラのロッキング運動による前後の鉛直変位差

$l_c$  = カメラの先端と後端の間の長さ(350 mm)

$\alpha_t$  = カメラ後端の加速度， $\alpha_h$  = カメラ先端の加速度

$w_t$  = カメラ後端の変位， $w_h$  = カメラ先端の変位

$\theta$  = 傾斜

$\alpha_{\text{target}}$  = 地表面ターゲットの加速度

$V_c$  = カメラの鉛直方向変位に対する補正值

$R_c$  = カメラのロッキング運動に対する補正值

$w_m$  = 測定された杭の変位

$\alpha$  = 杭の加速度

$d_p$  = 杭とカメラの間の距離(10 m)

図-2 の上段は， $w_{vc}$  と  $w_{Rc}$  である。中段はカメラの傾斜角  $\theta$  である。下段はカメラの鉛直方向変位に対する補正值  $V_c$ ，カメラのロッキング運動に対する補正值  $R_c$ ， $V_c + R_c$  を示している。 $V_c$  は， $R_c$  に比べて極めて小さい。

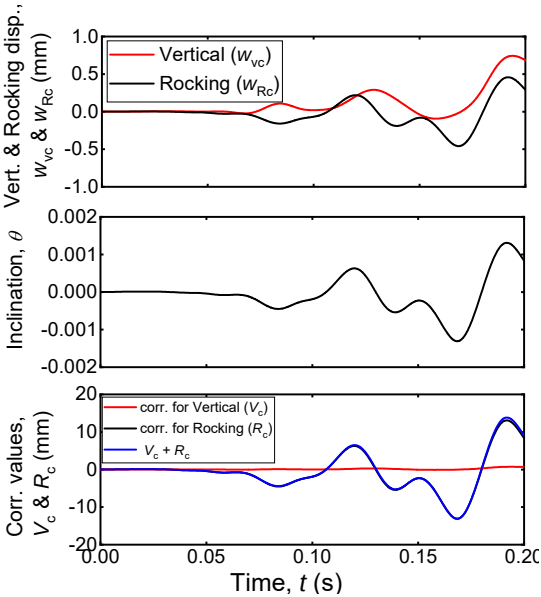


図-2 カメラ本体の動きおよび補正值の算出

Correction method for vertical displacement of a pile using a high-speed camera in rapid pile load tests (Part 2: Correction methods)

Yoshikuni M., Mandal R.K., Lin S., Kamei S., Yamamoto I. (Jibanshikenjo Co.), Matsumoto T. (Kanazawa University)

## 2.2 補正方法2：地表面ターゲットの変位を利用した補正

この方法では、カメラ本体の動きは計測せず、図-3に示すように、地表面に設置したターゲット板の変位量を用いて補正を行う。カメラにより杭とターゲットの両方の変位を同時に測定することにより、補正された杭の変位  $w_c$  を、式(7)で求める。式(7)で、 $w_m$  は誤差を含むカメラで測定した杭の変位量であり、 $w_{\text{target}}$  は地面に設置されたターゲットの測定変位である。

$$w_c(t) = w_m(t) - w_{\text{target}}(t) \quad (7)$$

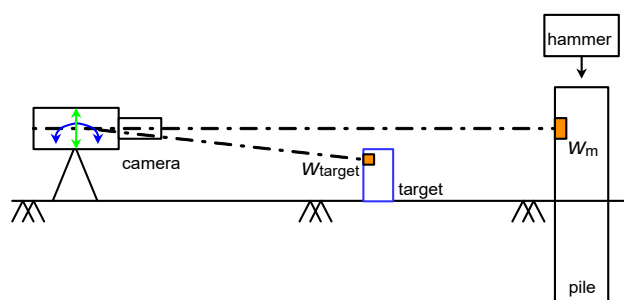


図-3 変位計測概略図（補正方法2）

## 3. 補正結果

### 3.1 加速度計とカメラで計測した杭変位の比較

図-4 は、加速度計から求めた杭頭変位、カメラで計測した杭頭変位（緑色）およびターゲットの変位（紫色）、補正方法1より求めた杭頭変位、補正方法2より求めた杭頭変位を示している。（その1）で述べたように、変位のピーク付近までは加速度から求めた値（青色）とカメラで計測した値（緑色）は一致している。カメラで計測した0.1秒以降の値は、せん断波の影響を受けている。補正方法1（赤色）および補正方法2（黒色）による変位は、加速度から求めた変位にほぼ一致している。特に、補正方法2（黒色）の曲線が一定の残留変位を示していることから、この手法が最も有効であると考えられる。

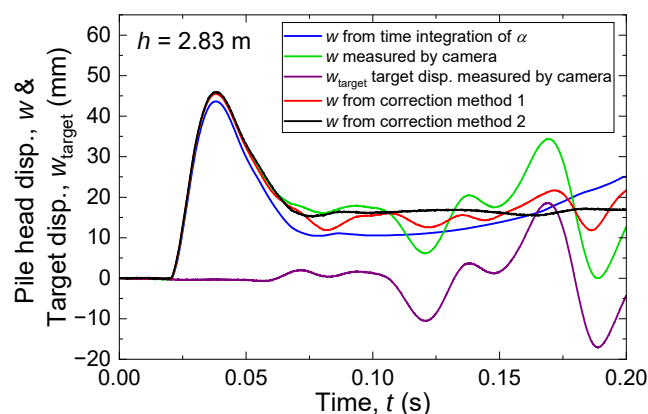


図-4 変位量補正結果の比較

### 3.2 オートレベルとカメラで計測した残留変位の比較

補正方法2で求めた変位の妥当性を確認するために、オートレベルで測定した杭の残留変位量と比較を行った。図-5 は、カメラで計測した杭頭変位（緑色）およびターゲットの変位（紫色）、補正方法2より算出した杭頭変位

（黒色）、オートレベルで測定した残留変位を示している。オートレベルはせん断波の影響を受けにくいように杭から20 m離れた位置に設置した。

補正方法2より算出した杭の残留変位量は、オートレベルで測定した値と一致している。また、本試験ではハンマーが落下した後、跳ね返りによりさらに5回の打撃が図-5 上段の荷重の計測データから読み取れるが、補正方法2の変位データからも打撃ごとの変位のピーク時刻を読み取ることができる。通常、加速度から算出した変位は、加速度計の特性上複数の打撃や残留変位量を正確に算出することが難しいため、本稿で提案したハイスピードカメラを用いた補正手法を活用することで、杭の鉛直変位挙動を正確に把握することが可能となる。

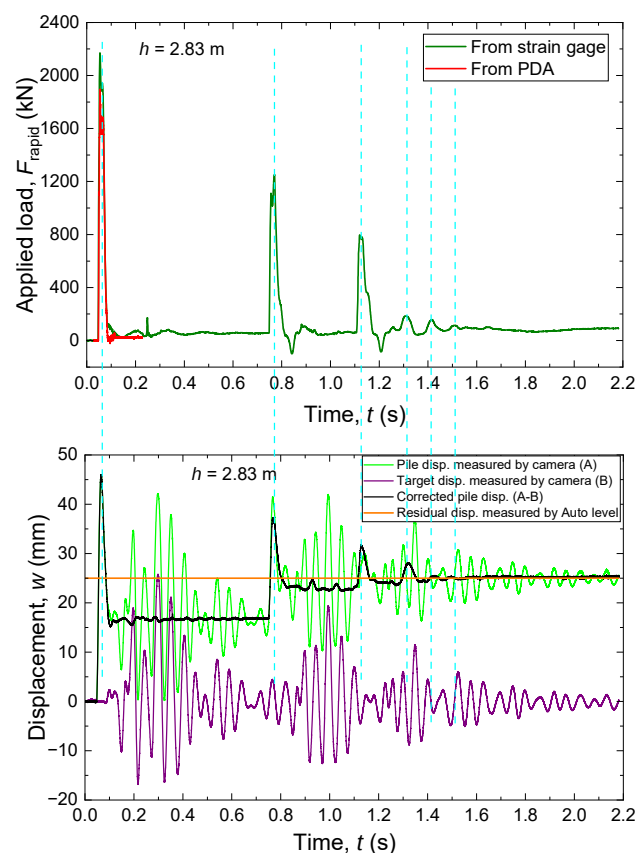


図-5 カメラとオートレベルで測定した残留変位の比較

## 4. おわりに

本稿では、RLT の変位計測においてハイスピードカメラを用いた計測および補正方法を報告した。補正方法2で求めた杭の変位量は、試験時に発生する地盤のせん断波の影響を最小限に抑えることができ、信頼性の高い結果を得ることができた。これらの計測方法はRLTの精度向上に寄与すると考える。提案した変位の補正方法を用いると、杭とカメラ間の距離を短くすることが可能となる。

### 参考文献

- 1) JGS 1815-2002 杭の鉛直載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）杭の急速載荷試験方法，地盤工学会。
- 2) 吉國，Mandal，亀井，山本，松本（2025）：急速載荷試験におけるハイスピードカメラを用いた杭の鉛直変位の補正方法（その1：概要と計測結果），第60回地盤工学研究発表会