

インテグリティ試験結果の活用方法の検討 その1:杭のインテグリティ試験結果により求めた見掛けのヤング係数

正会員 ○山田 宗範* 正会員 小谷 直人* 正会員 久世 直哉*

インテグリティ試験 杭 非破壊試験
既存杭 全数検査 再利用

1. はじめに

インテグリティ試験 (Integrity test, IT) (以下、「IT 試験」という。) は、非破壊試験の一種であり、ハンマーにより杭頭に低ひずみの打撃力を加え、受信センサー (加速度計) により杭先反射波到達時間を測定し、これと杭の弾性波速度と掛け合わせることで杭先端深度を推定することができる。

IT 試験は 40 年以上前に開発され、その簡便性から全数検査¹⁾など、工場における品質管理に活用されている。また、杭に発生した損傷の有無²⁾や既存杭利用の可否を判断する³⁾目的でも多く活用されている。IT 試験結果の活用方法としては、杭形状の推定方法⁴⁾、杭の損傷評価方法⁵⁾、地盤剛性の算出方法⁶⁾など様々な手法が検討されている。一方で、IT 試験における結果の評価には十分な経験が必要とされ、定量的かつ分かりやすい評価方法の開発が望まれている。

今回、既製杭の曲げ試験を実施中に IT 試験を実施した。「その1」ではIT試験の結果から求まる杭体の見掛けのヤング係数と変位および荷重との関係について、「その2」ではインパルスハンマーを用いた波形の振幅を補正する方法について着目し、IT 試験結果の活用方法を検討した。

2. 試験体

試験体一覧を表1に示す。試験体は、PHC、節付きPHC、PRC および節付き PRC に区分される既製杭であり、杭長、杭径、コンクリートの設計基準強度および有効プレストレスが異なる計 18 本である。杭長、径、厚さおよび質量を測定し、式1により、試験体の密度を算出した。

$$\rho = \frac{m}{\frac{L(D^2 - ((D - 2t)^2)\pi}{4}} \quad (式 1)$$

ここで、
 ρ : 密度 (kg/mm³)
 m : 質量 (kg)
 D : 径 (mm)
 t : 厚さ (mm)
 L : 杭長 (mm)

3. 試験方法

曲げ試験の方法は、JIS A 5373 : 2016 プレキャストプレストレスコンクリート製品 付属書E(規定) くい類 に従い、中央4点曲げ加力とした。

IT 試験を実施するタイミングは、試験開始前および加力中 (荷重が短期許容耐力に到達した時点 (PRC 杭) あるいはひびわれを目視で確認した時点 (PHC 杭)) とした。試験体 No.1 から No.7 については、荷重増加時も連続的に IT 試験を行い、荷重および変位と対応するデータを収集した。打撃点および測定点は、試験体片側の端とし、ハンマーで試験体に低ひずみの弾性波を加え、加速度センサーで打撃波および測定点における試験体の反射波を計測した。試験概要図を図1に示す。

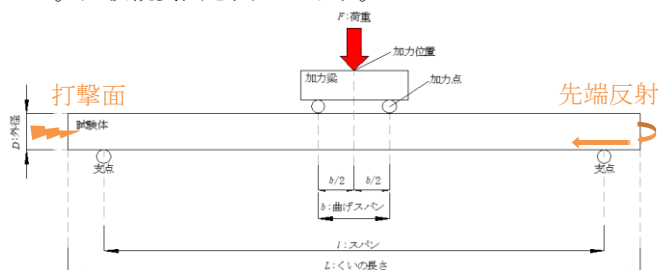


表1 試験体一覧

図1 試験概要図

No.	杭種	杭長 L(mm)		径 D(mm)			厚さ t(mm)	質量 m(kg)		コンクリートの設計基準強度 F _c (N/mm ²)	コンクリートの有効プレストレス σ (N/mm ²)
		規格値	実測値	軸部規格値	節部規格値	軸部実測値		規格値	実測値		
1	PHC-C	9000	8998	350	— ^{※1}	351	64.8	1285	1385	85	10
2	PHC-B	8000	7997	500	— ^{※1}	500	90.9	2203	2384	85	8
3	PRC-IV	8000	8004	500	— ^{※1}	500	92.7	2203	2674	85	5.4
4	PRC-II	6000	5995	400	— ^{※1}	399	73.5	1091	1258	85	5.9
5	PRC-II	6000	5994	400	— ^{※1}	399	75.0	1091	1281	105	5.9
6	PHC-C	6000	5994	400	— ^{※1}	402	73.9	1091	1209	105	10
7	PHC-A	7000	7003	400	550	403	73.2	1540	1632	85	4
8	PRC-I	8000	7996	400	550	402	73.5	1600	1935	85	6.1
9	PRC-I	8000	7996	400	550	402	70.4	1600	1889	105	6.1
10	PRC-I	8000	8005	600	800	600	97.0	3620	— ^{※2}	85	5.8
11	PRC-I	8000	8006	600	800	600	96.4	3920	— ^{※2}	105	5.8
12	PHC-B	8000	8004	500	— ^{※1}	499	85.8	2203	2335	105	8
13	PRC-IV	8000	8008	500	— ^{※1}	499	91.3	2203	2662	105	5.4
14	PHC-B	8000	7999	400	— ^{※1}	401	72.1	1468	1505	85	8
15	PRC-III	8000	7996	400	550	399	78.6	1760	2092	105	5.7

※1 ストレート杭であるため、節部が存在しない。
 ※2 試験の都合上、計測を実施しなかった。

4. 試験結果および考察

代表例として、試験体 No.2 の IT 試験結果を図 2 に、曲げスパンに発生する曲げモーメント(以下、「曲げモーメント」という。)と加力点の変位との関係を図 3 にそれぞれ示す。

見掛けのヤング係数は式 2 により算出した。見掛けのヤング係数と加力点の変位の関係を図 4 に示す。図 4 中の赤の一点鎖線は、試験体のコンクリートのヤング係数の規格値を示す。曲げ試験時の変位量が増大するのに伴い、見掛けのヤング係数が低下する傾向を示した。

試験体ごとの比較を行うため、試験時の荷重を各試験体における最大荷重で除して基準化した値(以下、「荷重比」という。)を算出した。見掛けのヤング係数と荷重比の関係を図 5 に示す。荷重比が増大するのに伴い、見掛けのヤング係数は低下する傾向を示した。

$$E = \rho \left(\frac{2L}{\Delta t} \right)^2 \quad (\text{式 2})$$

- ここで、
- E : 見掛けのヤング係数 (N/mm²)
 - ρ : 密度 (kg/mm³)
 - Δt : IT 試験で得られた伝播時間 (sec) : 図 2 参照
 - L : 杭長 (mm)

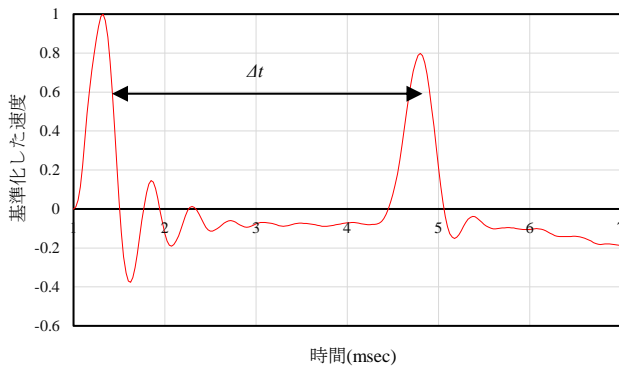


図 2 IT 試験結果の例 (試験体 No. 2)

図 3、図 4 および図 5 を比較すると、杭にひびわれが発生した後に見掛けのヤング係数が減少する。このことから、健全な杭の見掛けのヤング係数と損傷を受けた杭の見掛けのヤング係数を比較することにより、杭に生じたひびわれの有無を把握できる可能性があると考えられる。

一方で、健全な杭の見掛けのヤング係数は試験体ごとに差があった。また、節杭はストレート杭と比較して、見掛けのヤング係数は低い傾向を示した。よって、事前に健全な杭の IT 試験を実施し、見掛けのヤング係数を把握しておくことで、より精度よく損傷の有無を判断できる可能性がある。

5. まとめ

- ・ IT 試験の結果から見掛けのヤング係数を算出し、曲げ試験時における荷重および変位との関係を示した。
- ・ 荷重および変位の増大に伴い、見掛けのヤング係数は低下する傾向を示した。
- ・ IT 試験により求まる見掛けのヤング係数から、杭に発生する損傷の有無を把握できる可能性を示した。また、事前に健全な杭の見掛けのヤング係数を把握しておくことで、損傷の有無の判定精度が向上すると考えられる。

6. 参考文献

参考文献は「その 2」にまとめて記載する。

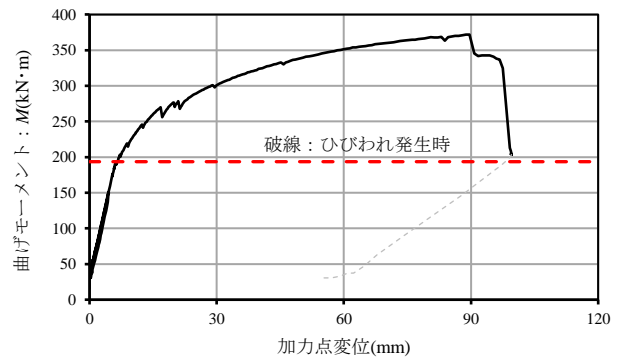


図 3 曲げモーメントと変位の関係の例 (試験体 No. 2)

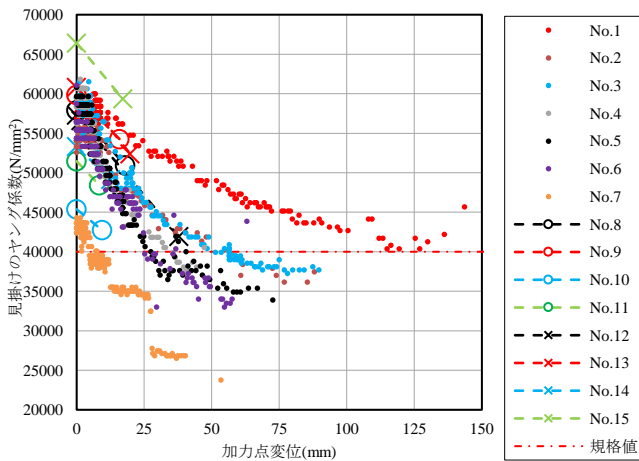


図 4 見掛けのヤング係数と変位の関係

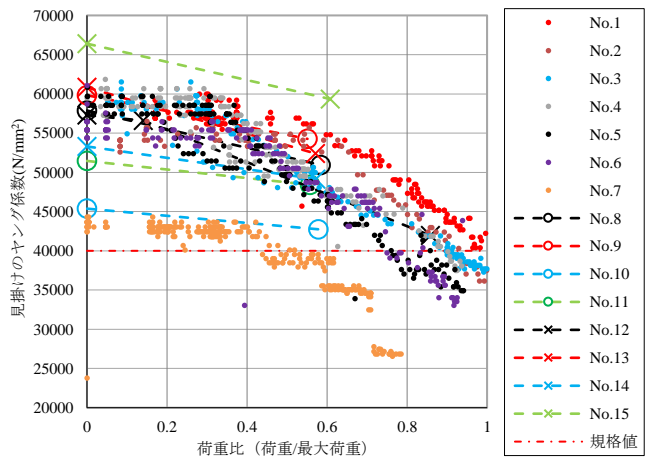


図 5 見掛けのヤング係数と荷重の関係