

報 告

[1109] プレキャストコンクリート杭の先端キャップ打撃工法

正会員 石川 達夫（佐賀大学理工学部）

1. まえがき

プレキャストコンクリート杭の打ち込みは、長い間ディーゼルハンマによって行われてきた。このハンマは作業効率の高いこと、打撃による確実な支持力がえられることなど長期間の実績をもっている。しかしながら、近年その騒音、振動、油煙飛散などが社会的問題となり、使用が大幅に制限されるようになった。これに替わる工法として中掘り杭工法、セメントミルク工法などが開発されたが、杭を打撃しないため先端支持力の低下、地下水汚濁、排出物の処理などが問題である。地中の杭の先端を打撃すれば、騒音、振動が低減でき、打撃効率がきわめて向上することが考えられる。本研究では、先端打撃による杭の支持力算定式を提案し、騒音、振動の低減効果を実測、検討した。さらに、ディーゼルハンマによる打ち込み工法と先端打撃工法とをモデル化し、それぞれの工法で打撃した場合の杭および地盤の挙動を有限要素法により解析した。

2. 先端打撃工法

本工法は、現場で鋼製キャップをプレキャストコンクリート杭の先端にはめ込み、このキャップを杭の軸方向孔内を通したドロップハンマで打撃することである。施工順序は次のとおりである。図-1に示すように、① 杭打設地点の支持層近くまでオーガーで掘削する。② プレキャストコンクリート杭の先端に鋼製キャップを装着し、掘削した孔に建て込む。③ 杭頭部を中空油圧ハンマで絞り込みながら、杭の軸方向内を通したドロップハンマで杭先端の鋼製キャップを打撃し、支持層中に打ち込む。絞り込みとは、ドロップハンマで打撃の際、杭と鋼製キャップとが離れず、一体となるように杭に下向きの力を加えておくことである。

騒音、振動の低減を始めとして、杭先端の地盤を打撃することにより、打撃効率が増加し、確実な支持力がえられること、油煙飛散、地下水汚染、排出物処理の心配が無く、工期短縮などが特徴である。

3. 杭の支持力

動力学的支持力公式は、その適用性に多くの問題を持っているものの、実用性が高いという

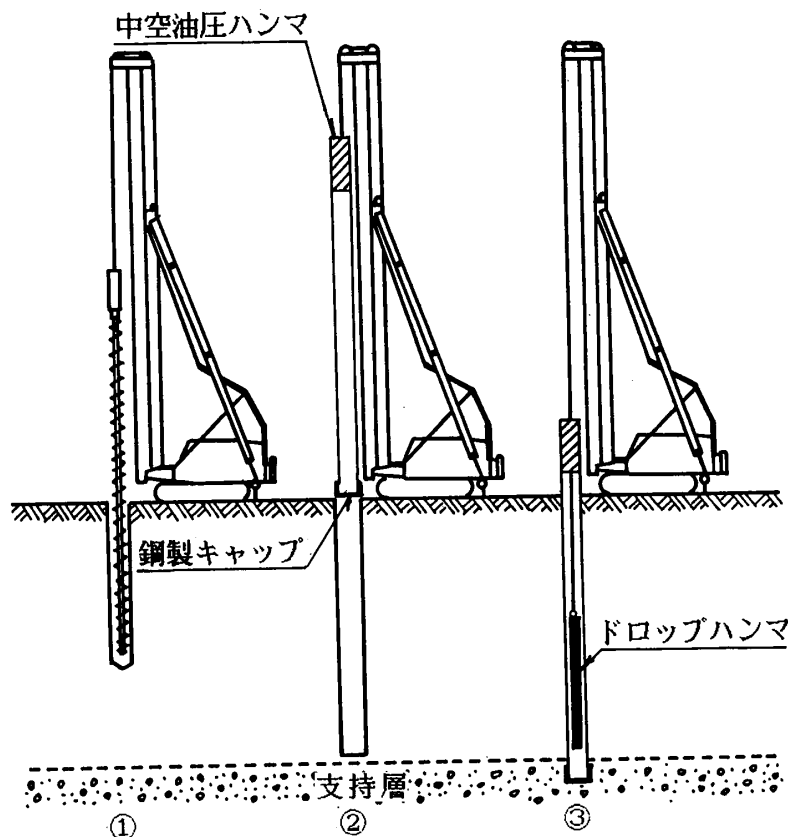


図-1 施工方法

点から、打ち込み杭の支持力判定に広く用いられている。

建築基準法施工令式は、安全率5を採り、許容支持力 R_a を

$$R_a = \frac{1}{5} \frac{E_o}{S + 0.02} = \frac{E_o}{5S + 0.1}$$

としてある。ここで打撃エネルギー E_o はディーゼルハンマの場合は $2WH$ としている。これはディーゼルハンマの打撃エネルギーがドロップハンマのその2倍になるということではなく、載荷試験などの結果より決まったものである。

先端打撃工法の場合には、ドロップハンマであるので $E_o = WH$ とし、リバウンドは観測されないの、杭の弾性圧縮量、地盤の弾性圧縮量は0となり、その項である $0.02(m)$ を無視し、先端打撃工法の許容支持力として

$$R_a = \frac{WH}{5S}$$

許容支持力 R_a :tf, ドロップハンマ重量 W :tf, ドロップハンマ落下高 H :m, 最終沈下量 S :mを提案する。¹⁾

A、B地点における先端打撃工法とディーゼルハンマによる比較試験の結果を表-1に示す。提案式による許容支持力の値

は、従来から用いられていた実績のある建築基準法施工令式ディーゼルハンマの許容支持力とほとんど一致していることが分かる。

表-1 施工記録の一例

場所	打撃工法	ハンマ重量 W (tf)	落下高 H (m)	貫入量 S (mm)	許容支持力 R_a (tf)
A	先端打撃	0.7	2.5	7	50
	ディーゼルハンマ	1.5	2.3	7	51
B	先端打撃	1.5	2.5	15	50
	ディーゼルハンマ	1.5	2.3	5	53

表-2 鉛直載荷試験による長期許容支持力

	荷重(tf)	安全率	長期許容支持力(tf)
降伏荷重	90	2	45
極限荷重	135	3	45
杭材としての軸力			90

先端打撃工法により打ち込んだ $\phi 30\text{cm}$, PC杭について、土質工学会「クイの鉛直載荷試験基準」多サイクル方式にしたがって鉛直載荷試験をおこなった。荷重-沈下量および残留沈下量曲線の折点より90tfを降伏荷重と判断した。載荷後、30分放置する場合の沈下量-対数時間曲線では、150tfで時間経過とともに沈下が累増し始め、次の荷重段階120tfではこれが顕著となり、これからも、限界支持力値90tfを降伏荷重と考えることができる。この載荷試験の最大荷重120tfにおける累積沈下量は13.1mmであった。極限荷重は135tfと推定される。日本建築学会「建築基礎構造設計基準」では、杭の鉛直載荷試験を行った場合の単杭の長期許容支持力を 1)載荷試験による降伏荷重の1/2、2)載荷試験による極限荷重の1/3、3)杭材としての長期許容軸力のうち最小のものと規定されている。これらを表-2に示す。これらの結果、この杭の長期支持力として $R_a = 45\text{tf}$ とする。本試験杭の打ち込み時の施工記録は、ドロップハンマ重量 $W_h = 1.6\text{tf}$ 、落下高さ $H = 1.6\text{m}$ 、最終貫入量 $S = 11\text{mm}$ であって、提案式により計算した許容支持力は $R_a = 41\text{tf}$ となり、載荷試験によって確認されて許容支持力 $R_a = 45\text{tf}$ とほぼ同等であった。

4. 騒音

杭打ち騒音の規制基準は、騒音規制法の「特定建設作業」の中に含まれ、” 特定建設作業の敷

地境界から30m地点における騒音レベルが85dB(A)以下”となっている。²⁾

ディーゼルハンマ打撃工法と先端打撃工法の騒音測定結果を図-2に示す。先端打撃工法では、ディーゼルハンマ工法に比べて騒音が約30dB(A)低いことが分かる。騒音規制法の規制値30m-85dB(A)に比べても、30m-70dB(A)とかなり下回っている。

ドロップハンマと鋼製キャップとの打撃による衝撃音は、地中からほとんど伝わらず、音は中空ハンマと杭頭の接点から出ている。

5. 振動

杭打ち振動の規制基準は、振動規制法の「特定建設作業」の中に含まれ、”特定建設作業の場所敷地境界線における振動レベルが75dB以下”となっている。ディーゼルハンマの振動レベルは、杭打ち地点より30mで75dB程度である。これは加速度に換算すると8 galであり、軽震から弱震に相当する。先端打撃工法による打ち込み時の振動を測定し図-3に示す。敷地境界75dBの規制値を下回り、30m地点で54dBである。これは加速度で0.8 galとなり、人間が振動を感じ始める無感から微震に相当する。

6. 有限要素解析

杭打撃時の杭体から地盤への打撃エネルギーの伝わり方、杭体に生じる打撃時応力などは、弾性波の伝播による動的解析を行わねばならない。一つの解析方法として静的な載荷と考え、有限要素法解析を試みる。杭打ち込み時の杭と地盤の断面をアイソパラメトリック8点要素でメッシュ分割しモデル化した。二次元弾性体として解析しプレキャストコンクリート杭は幅30cm、地中の長さ10mである。要素メッシュ分割した解析モデルを図-4に示す。杭と地盤との間にJOINT要素を導入した。これは杭と地盤とは連続体でなく、ずれを生ずることを考慮したもので、解析モデル図の黒く塗ったところが厚さ0.1cmのJOINT要素である。ディーゼルハンマ工法では荷重を杭頭に、先端打撃工法では荷重を杭先端に与えた。荷重の大きさは1tfであり、荷重応力度は0.33kgf/cm²である。プレキャストコンクリートのヤング係数 30×10^5 kg/cm²、ポアソン比0.16とした。地盤は支持層まで含めて四層に分け、変形係数を10~500 kgf/cm²と変化させた。

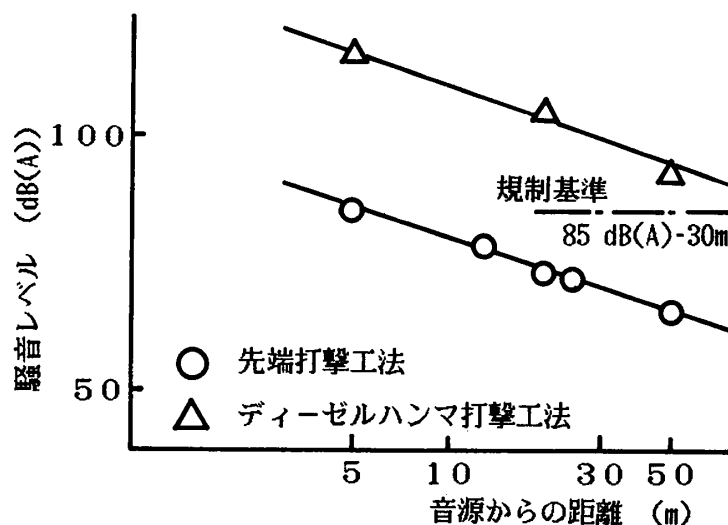


図-2 騒音測定結果

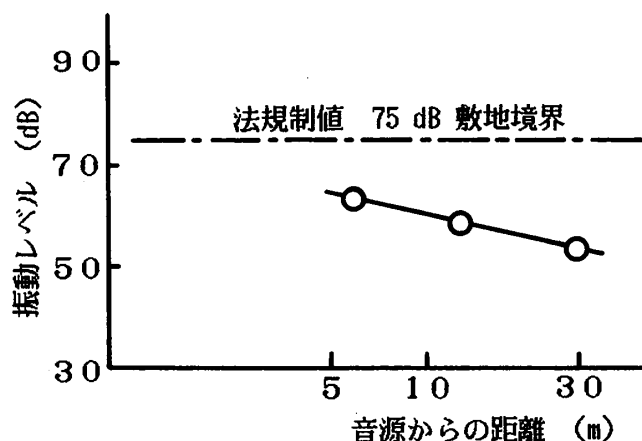


図-3 振動測定結果

第一層 (0~3m)は 10 kgf/cm²、第二層 (3~6m)は30kgf/cm²、第三層 (6~10m)は300kgf/cm²、第四層 (10~14m,支持層)は500kgf/cm²とし、ポアソン比は全層 0.33 である。

JOINT要素のばね定数 K_s 、 K_n の値であるが、 K_n は全層 100 t/m³ とし、 K_s は第一層 10 t/m³、第二層 100 t/m³、第三層 1,000 t/m³ とした。

ディーゼルハンマ工法の場合は、杭先端と地盤とは連続しているの、この部分のJOINT要素を無視し、先端打撃工法の場合は、鋼製キャップが杭から離れて地盤に貫入するので、杭先端のJOINT要素の下部に載荷した。この部分のJOINT要素のばね定数は、 $k_n=1\text{t/m}^3$ 、 $k_s=100\text{t/m}^3$ である。

杭中心部の鉛直方向応力度の分布を図-5に示す。横軸の右方向は圧縮を示す。杭頭載荷の場合、杭中心部の鉛直応力度は、杭先端部では杭頭のその半分程度に減少している。杭先端載荷の場合、杭先端に加えた荷重が、全部地盤に伝わることになる。杭先端より 1 m 付近に引張力が発生しているが、これはJOINT要素のばねで引っ張られたために生じたもので、鋼製キャップと杭は、連結されていないので、実際には発生しない。

7. まとめ

先端打撃工法による騒音、振動の低減は大きく、騒音規制法、振動規制法の規制をクリアできる。これは他の低公害杭打ち工法より優れている。

この工法による施工記録、鉛直載荷試験結果を集め提案式の正当性の検討を行いたい。

- 1) 富岡 浩、石川 達夫、東 隆信：先端打撃によるコンクリート杭の打込み工法、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集 第5部 1987, pp538~539
- 2) 産業公害防止協会：公害防止の技術と法規 騒音編、振動編

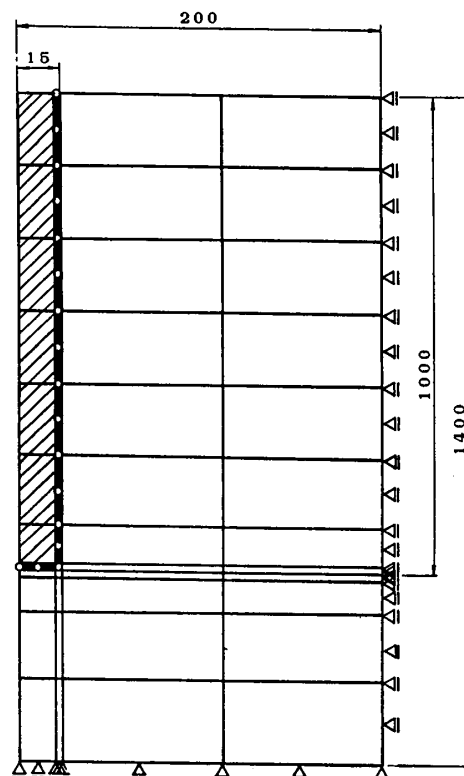


図-4 メッシュ分割解析要素

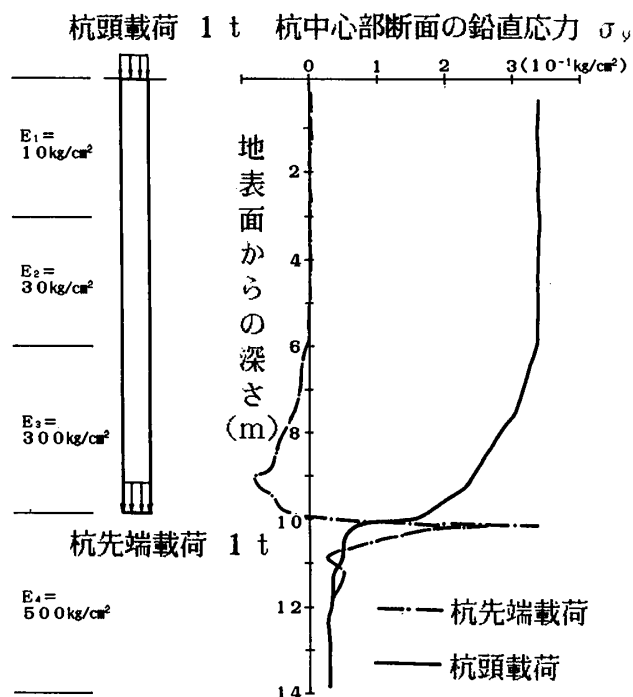


図-5 杭中心部の鉛直応力度分布