

## 大口径鋼管ぐいの施工性について

井上 嘉信

### § 1. はじめに

わが国において鋼管ぐいが構造物の基礎に広く用いられ始めてから数年になるが、その間における鋼管ぐい工法の進歩発展にはめざましいものがある。

これまで用いられてきた鋼管ぐいは主として直径 600 mm 以下の比較的径の小さいものが多く、各種の鋼管ぐい工法もこれらのぐいを対象に考えられてきた。

しかし、最近にいたり、わが国においても各種の構造物が大型化する傾向にあると同時に、これらの大型構造物が臨海埋立地などの軟弱地盤に建設される場合が多くなってきた。これら軟弱地盤に建設される大型構造物の基礎に使用されるぐいにおいては、大きな支持力はもとより、特に大きな水平支持力が要求される。

したがって、これらの構造物に使用される鋼管ぐいも次第に直径の大きなものが要求されるようになり、その結果、今日ではすでに直径1200mmおよび1500mmという大口径鋼管ぐいが使用され始めている。

一方、前にも記したように、これまでの鋼管ぐい工法は比較的径の小さい鋼管ぐいを対象としているので、大口径鋼管ぐいの設計施工に際して、全面的に適用できるかどうか疑問があり、今後の詳細な検討を要するのが現状であり、さらには、大口径鋼管ぐい工法が確立される必要があるともいえよう。

現在までに研究所においても、直径 800mm から 1500 mm までの大口径鋼管ぐいの打ち込み試験から各種の支持力試験までを数回行なって、各種の貴重な資料を得ることができたので、これらの実施結果を基にして大口径鋼管ぐいの打ち込み設備、ハンマーの打ち込み能力と打ち込み時の注意などについて紹介し、今後の大口径鋼管ぐいの施工の際の参考に供したい。

なお、大口径鋼管ぐい（または、大径鋼管ぐい）という名称は最近になって用いられ始めたもので、その時々によって若干異なった用いられ方をしている、現在のところ明確な定義といえるようなものがない。それで本論

では一応、直径 800mm 以上の鋼管ぐいを大口径鋼管ぐいとし、従来まで用いられてきた直径 700mm ないし 750 mm 以下のディーゼルパイルハンマー 22 型程度のぐい打ち設備で打ち込みを行っていた鋼管ぐいと区別することにした。

したがって、以下大口径鋼管ぐいとは直径 800mm 以上とし、直径 800mm 未満を小口径鋼管ぐいということにする。

しかし、今日の鋼管ぐいの利用状況を見ると、ぐいの直径が次第に大きくなる傾向があり、今後においては、鋼管ぐいもその大きさによって、次のように分類する方が実情に即したものになると考えられる。

直径 450～800mm：小口径鋼管ぐい  
800～1200mm：中口径鋼管ぐい  
1200以上：大口径鋼管ぐい

### § 2. 打ち込み設備

大口径鋼管ぐいの打ち込みに使用する諸設備は、従来より小口径鋼管ぐいの打ち込みに用いられてきた各種設備と原理的には特に異なるところはないが、後者に比較して、ぐいそのものが大きくなっているため、当然大型の設備が必要である。具体的には、われわれが現在保有している最大級のぐい打ち設備を使用しなければならないということである。

特に、パイルハンマーは大きな打撃力（打ち込み力）をもったものが要求され、実際には現在用いられているうちで最も大型のぐい打ち機である 40 型ディーゼルパイルハンマーとか 200HP パイロパイルハンマーなどが主として用いられているし、やぐらはこれらの大型パイルハンマーを使用することができることと、ぐい自身の重量も大きくなるので、これも必然的に大型のものが用いられ、ほとんどの場合、ディーゼルパイルハンマー 40 型の全鋼製専用やぐら（既製品）をそのまま用いるか、もしくは

は適当に補強(特別注文したり現場で補強を行ったり)して使用しているのが現状である。

しかし、本来これらのパイルハンマーややぐらは、直径1000mm以上の鋼管ぐいを対象としたものとはいえず(メーカーのカタログには対象鋼管ぐいとして、直径800mm以下としている例もある)、その点現状では大口径鋼管ぐいのための十分なくい打ち込み設備はないということにもなる。

以下、主なくい打ち設備について各論的に述べよう。

## 2.1 パイルハンマー

鋼管ぐい打ち込み用パイルハンマーとしては、従来より、

### a) 打撃による衝撃式

ディーゼルパイルハンマー、スチームハンマー、エアハンマー、ドロップハンマー

### b) 振動式

パイプロパイルハンマー

### c) 圧入式

清水式無音無震動圧入機

などが用いられてきたが、これまでの大口径鋼管ぐいの打ち込みに実際使用されたパイルハンマーは、主としてディーゼルパイルハンマー40型とパイプロパイルハンマー100HP、200HPで、いずれも現在使用されている各種のパイルハンマーのうちで最も大型のものである。また特殊な例として直径900mmの鋼管の打ち込み(圧入)に

清水式無音無震動圧入機が使用されたこともある。

打撃による衝撃式打ち込み法で、ディーゼルパイルハンマーの40型が大口径鋼管ぐいの打ち込みに用いられるのは、一般に鋼ぐい打ち込み法において、ディーゼルパイルハンマーが各種の優れた特徴をもっているという以外に、現在わが国において最大の打撃力(打撃エネルギー)をもったパイルハンマーであるということが最大の理由である。

参考までに、表-1に衝撃式パイルハンマーについて主なメーカーの最大級のものの諸元を示したが、この表で明らかのように、各型式のパイルハンマーの最大打撃エネルギーは、単動式気動ハンマーで5,250kg-m、複動式気動ハンマーで7,028kg-mであり、これらに比して、ディーゼルパイルハンマーでは10,000~11,000kg-mで最大である。

なお、ディーゼルパイルハンマーの10,000~11,000kg-mという値は、保証最小ストローク1.25~1.30mに対するもので、実際のくい打ちにおける打ち止り付近ではラムストロークは1.80~2.00m(2.30mという実測例もある)となり、IDH-40でも打撃エネルギーは、14,500~16,000kg-mと非常に大きな値になる。

パイプロパイルハンマーはディーゼルパイルハンマーなどの衝撃式打ち込み法とはその機構を全く異にし、表-2に示すように、打ち込み力(起振力)も比較的小さい(表-6参照)ので、次に記すように、ディーゼルパイルハンマーとは違った目的のために用いられる場合が多い

ハンマー型式	ハンマー名称	全重量 kg	ラム重量 kg	ストローク m	打撃回数 blow/min	打撃エネルギー kg-m
単動式気動ハンマー	日 鍛 OO	8200	4227	0.99	50	4185
	バルカン OR	5117	4218	0.99	50	4231
	マキャナテリー S-14	14391	6356	0.81	60	5250
複動式気動ハンマー	日 鍛 1	6350	2270	0.48	95	2650
	マキャナテリー 11-B-3	6350	2268	0.48	95	2681
	渡 辺 7	8200	2000	0.76	100	4200
	油 谷 O	6350	1919	0.76	100	4580
	バルカンディフェレンシャルアクティング 200C	17713	9072	0.39	98	7028
ディーゼルパイルハンマー	三 菱 M-22	4770	2130	1.30	42~57	5500
	石 川 島 IDH-22	4714	2200	1.25	50~60	5500
	三 菱 M-40	9550	4230	1.30	42~57	11000
	石 川 島 IDH-40	9570	4000	1.25	50~60	10000

注：各ハンマーの仕様はメーカー発行のカタログによる。

：ディーゼルパイルハンマーのストロークは保証最小ストロークを示し、打撃エネルギーはこのストロークを基に求めた値。

表-1 衝撃式パイルハンマー諸元

ようである。すなわち、ディーゼルパイルハンマーは深いところにあるよく締った支持層に十分打ち込むことを主目的としているのに対して、パイロパイルハンマーの場合には垂直に打ち込む（建て込む）ことを主目的にしているときに使用されることが多いようである。それはパイロパイルハンマーでは、打ち込み中にくいの垂直度をきょうせいするために、時々引き抜いてはまた打

ち込むことができるからである。

なお、参考までにディーゼルパイルハンマー IDH-40の概要を図-1に、使用状況を写真-1-(a)に、写真-1-(b)にはディーゼルパイルハンマーM-40を、また、パイロパイルハンマーV-5のそれらを図-2、写真-2にそれぞれ示す。

ハンマー型式	ハンマー名称	全重量 kg	電動機出力 kw	電動機電圧 V	発振機軸数	回転数 cpm	起振力 t
100馬力パイロ パイルハンマー	汽車VPB-100H	8000	75	400/440* 200/220**	4	1000	50
	三菱V-4	8850	75	380	4	980/1180	47
200馬力パイロ パイルハンマー	汽車VPC-200H***	12000	75×2	400/440* 200/220**	6	850	97
	三菱V-5	10600	150	380	2	980/1180	70

注：\* 3相かご形(分子は周波数50 c/s, 分母は周波数60 c/sの場合で、他も同じ)

\*\* 3相巻線形 \*\*\* 現在試作の段階

表-2 パイロパイルハンマーの諸元

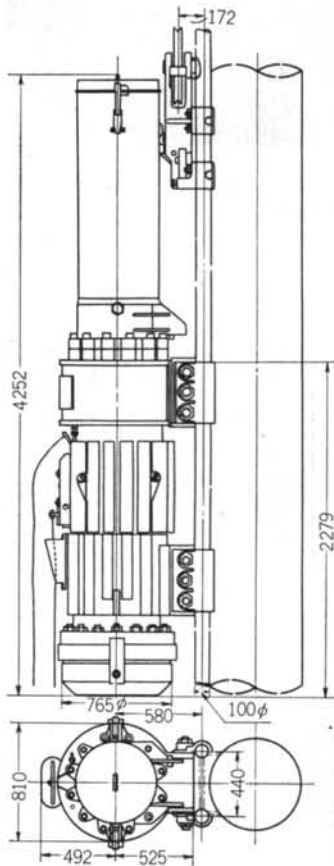
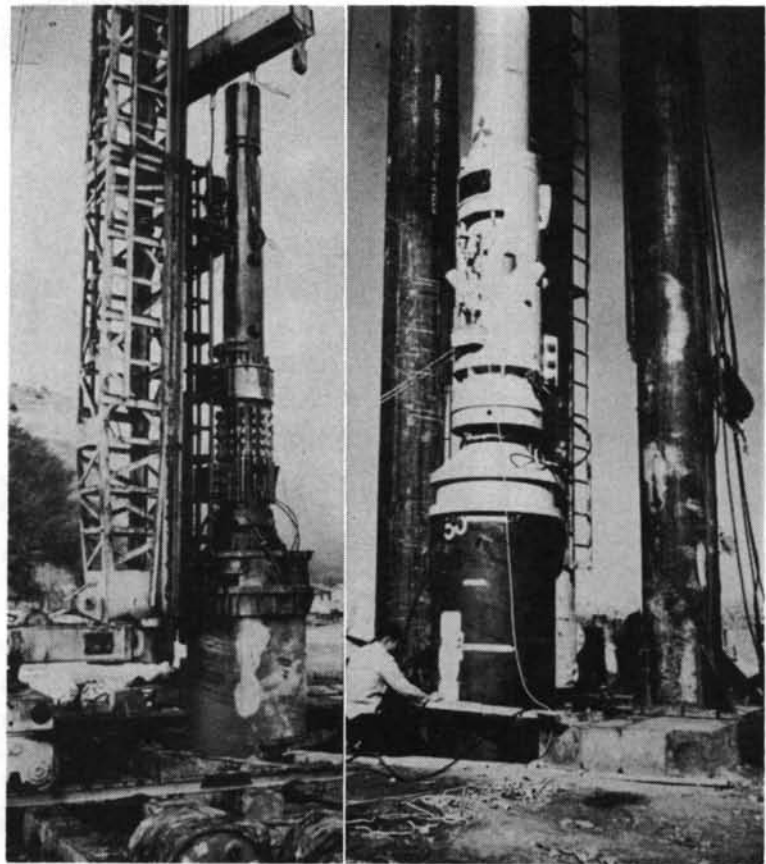


図-1 ディーゼルパイルハンマー IDH-40概要図



(a) IDH-40(くい直径1500mm) (b) M-40(くい直径1016mm)  
写真-1 ディーゼルパイルハンマーにて打ち込み中の状況

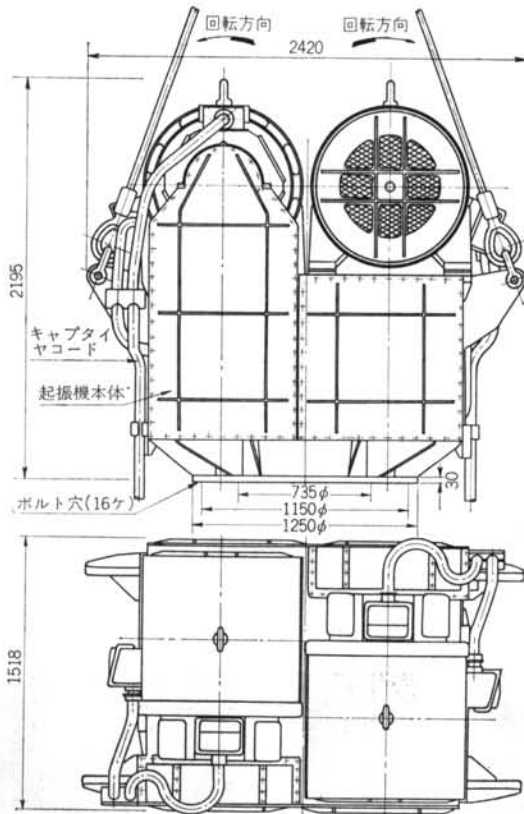


図-2 バイプロパイルハンマーV-5 (200P) 概要図

## 2.2 くい打ちやぐら

従来より鋼ぐいの打ち込みには主としてディーゼルパイルハンマーが使用されてきたが、この場合、くい打ちやぐらとしてはハンマーの施工能率に見合った全鋼製のディーゼルパイルハンマー専用やぐらが一般に使用されてきた。これら鋼製の専用やぐらは移動、旋回、傾倒、スライドなどが自動化されている機動的なもので、施工能率もよく、安定性もよい。

また、これらのやぐらは主に垂直ぐいの打ち込み用であるが、やぐらを後方に約12～15°傾斜させることが可能で、この程度の斜ぐいも打ち込むことができるようになっている(写真-4, 3.1.1 施工例I参照)。

大口径鋼管ぐいの打ち込みにおいても、特殊な場合を除き、ほとんどの場合上に記したやぐらと同じような性能をもったディーゼルパイルハンマー40型専用の鋼製やぐらが用いられている。これまでのディーゼルパイルハンマー22型の専用やぐらに比較して、機高(リーダー長さ)、その他が一様に大きくなっており、特に各部の強度、剛性が大きくなっている。

ディーゼルパイルハンマー22型と40型の鋼製専用やぐ

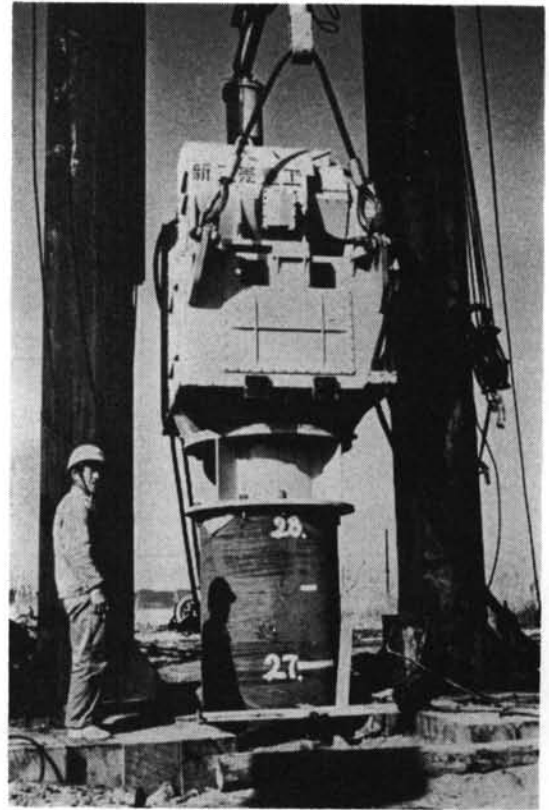


写真-2 バイプロパイルハンマーV-5にて打ち込み中の状況(くい直径1016mm)

らの仕様の一例を表-3に、同40型の概要を図-3に示す。

	単位	KDF22-6	KDF40-5
やぐら全高	m	24.0	29.5
打ち込みぐいの長さ	m	18.0	23.0
旋回フレームの全長	m	7.0	8.0
旋回荷台の幅	m	2.0	2.3
やぐらの全重量(バランスウェイトとも)	ton	約20	約32
傾斜角度(前方)	度	3	5
〃(後方)	度	12	15
マストの前後調整		機械式	同左
旋回方法		電動調整	同左
走行および速度	m/min	電動式 2.3	同左
バランスウェイト重量	ton	2	7
スライド範囲	mm	1000	900

KDF: 北井製作所パイルハンマー

KDF22: ディーゼルパイルハンマー22型用

KDF40: 〃 40〃

表-3 ディーゼルパイルハンマー22型と40型の鋼製専用やぐらの仕様例

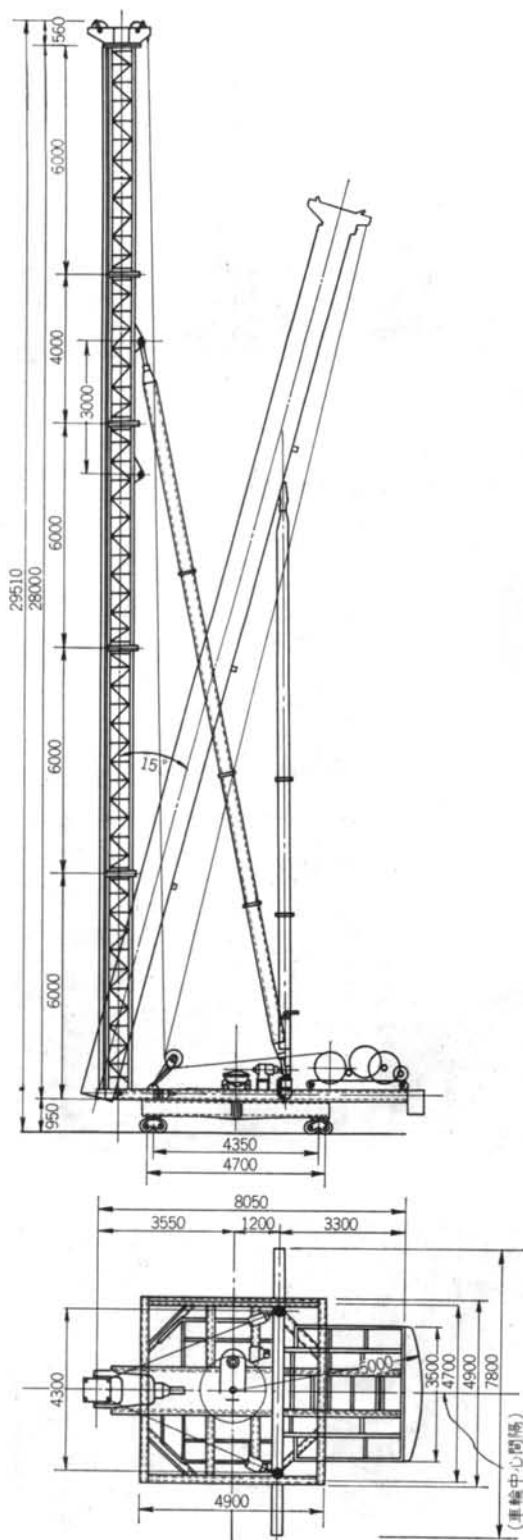
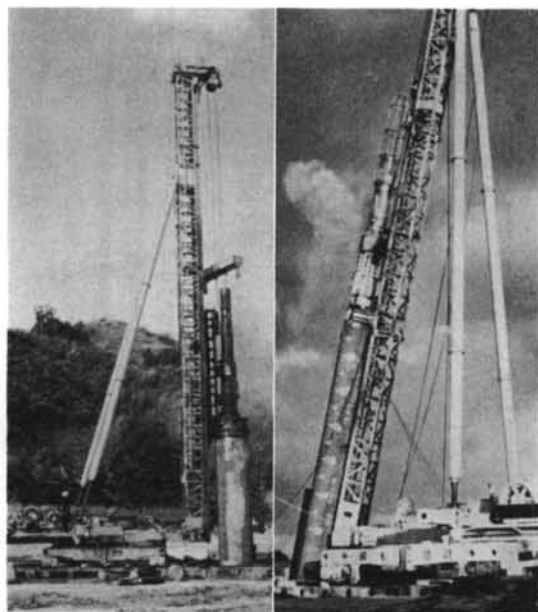


図-3 ディーゼルパイルハンマー40型専用やぐら概要図  
(北井製作所・KDF40)

また、写真-3-(a)にはディーゼルパイルハンマー40型の鋼製専用やぐらを用いた垂直ぐいの打ち込み中の状況を、写真-3-(b)には $12^{\circ}30'$ の斜ぐいの打ち込み状況をそれぞれ示す。



(a) 直ぐい (ぐい直径1500mm) (b) 斜ぐい:  $12^{\circ}30'$  (ぐい直径812mm)

写真-3 ディーゼルパイルハンマー40型専用やぐらにて打ち込み中の状況

パイロパイルハンマーの専用やぐらというのは現在のところまだないので、従来よりディーゼルパイルハンマーの鋼製専用やぐらを転用していた。パイロパイルハンマーV-5もディーゼルパイルハンマー40型の専用やぐらを用いて、一応ぐい打ちを行なうことができる。

しかし、パイロパイルハンマーV-5を用いてぐいを垂直に打ち込むために、打ち込み中に時々引き抜いて垂直度を直すような場合には、やぐらに大きな軸力と転倒モーメントが生じるので、やぐらを補強したり固定したりしなければならず、一般には使用することが非常にむずかしい。

したがって、このような場合には特殊な設備が必要となり、図-4に示すような直径660mmの鋼管を用いた大型の2本構やぐらを製作して大口径鋼管ぐいを垂直に打ち込んだ例もある。しかし、この程度のやぐらでも、ある程度打ち込んだぐいを引き抜くときには、2本構の鋼管が弓形に変形し、十分引き抜き力を作用させることがむずかしかった。写真-4はこの2本構による打ち込み中の状況を示す。



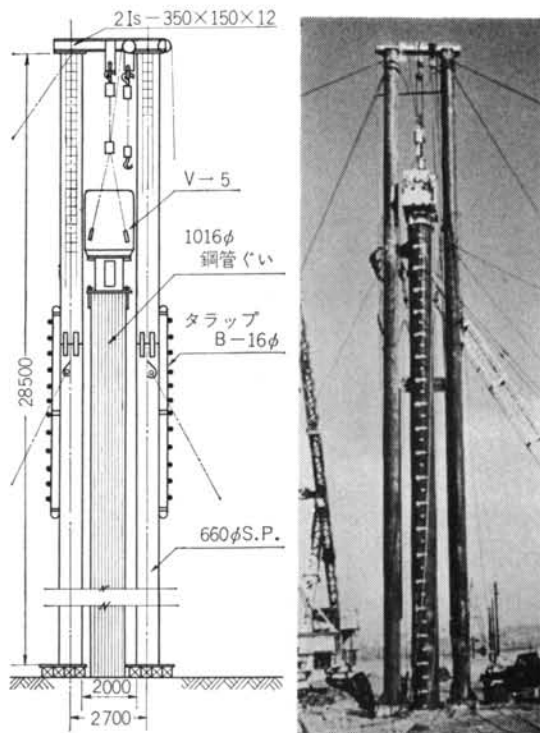


図-4 大型2本構やぐら概要 写真-4 鋼管製大型2本構

また、海上や湖上などではくい打ち船を用いるが、直径1016mmの岸壁用鋼管矢板の打ち込みにおいて、写真-5に示すように、船にディーゼルパイルハンマー40型の専用やぐらを固定してパイロパイルハンマーV-5を使用した例もある。この場合、やぐらはかなり補強したのであるが、実際に引き抜き力をかけると、相当の変形がみられた。

なお、パイルハンマーの項で、くい打ち方法に圧入式があり、特殊な場合であるが、大口径鋼管の打ち込みに使用した例もあると述べたが、この例は鋼管ぐいとして用いたものではなく、清水式地下階工法のプレコラムとなる直径900mmの鋼管を清水式無音無震動圧入機で圧入したものである。その圧入状況を写真-6に示す。この清水式無音無震動圧入機は、やぐらそのものがくい打ち設備の本体であり、全重量(やぐらのみ)は約75tonである。大口径鋼管の圧入においては、圧入力を補助するために、圧入時に鋼管に周方向の運動を与え、周面摩擦力を低減させるための揺動装置(写真-7)と管内土をハンマーグラブで掘さくする装置を装備している。したがって、土質条件にもよるが、一般には大口径鋼管ぐい(直径1000mmまで)の圧入には十分使用が可能であり、この圧入機の最大の特長は、無音無震動であることにより、くいを垂直に打ち込むことができる点である。

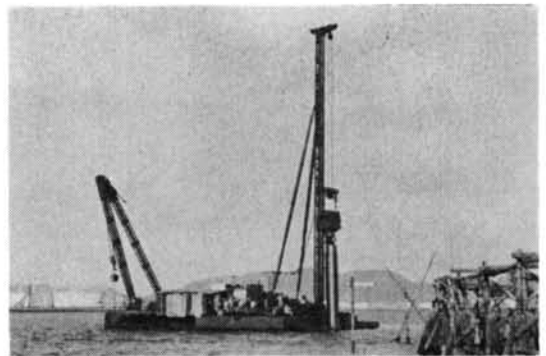


写真-5 くい打ち船による打ち込み状況(くい直径1016mm)

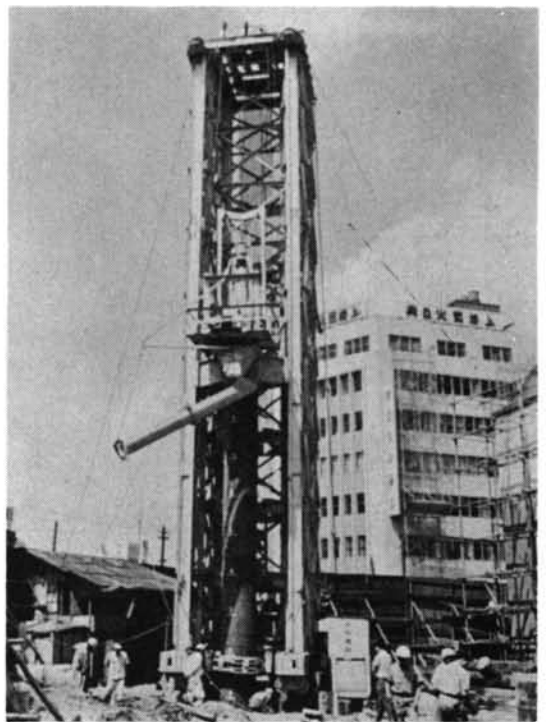


写真-6 清水式無音無震動圧入機による鋼管圧入状況

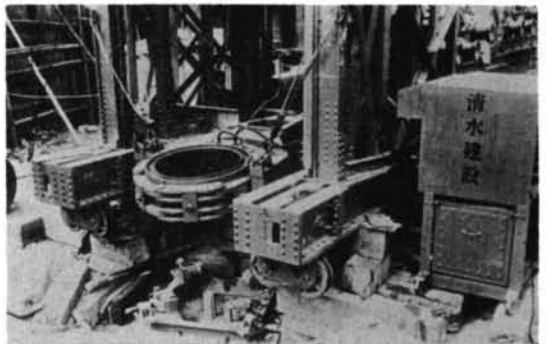


写真-7 清水式無音無震動圧入機の揺動装置

### 2.3 キャップ

鋼ぐいの打ち込みに使用されるパイルハンマーやぐらは工場で作製された、いわゆる既製品を用いるが、キャップは一般に現場で設計製作されることが多い。特に大口径鋼管ぐいの打ち込み用キャップには、現在のところ既製品といわれるものはなく、ほとんどの場合使用する大口径鋼管ぐいに合わせて現場で設計製作されている。

大口径鋼管ぐいの打ち込み用キャップ（主としてディーゼルパイルハンマー用）も、これまでの小口径鋼管ぐいの打ち込みに用いられてきたキャップと本質的に異なるものではないが、ぐいが大口径であり、打ち込み機も大型になって打撃エネルギーが大きくなるので、その設計製作にあたっては、特に注意しなければならない点も多いようである。

以下に、ディーゼルパイルハンマー40型を用いた場合のキャップの設計製作にあたって、注意すべき点を列挙してみよう。

- ① ハンマーの打撃力は、後述の実測例において約 400 ton になっているが、他の報告<sup>1)</sup>では、キャップの設計において打撃力として約 1000ton程度を考慮しておく必要があるとされている。しかし、1000ton という値は大き過ぎると思われるので、打ち込み予定本数にもよるが、一応 500ton 程度を考えて設計しておけばよいであろう。また、大きな打撃力を考えるより、むしろ⑥に注意した方法による方がよいであろう。
- ② 打ち込み時にキャップに作用する加速度については適当な測定結果がないので明確なことはいえないが、一説<sup>1)</sup>によれば、設計には200g程度の加速度を考慮しておく必要があるといわれている。キャップの設計で加速度が問題になるのは、主として何かの突起物を設けるときであろうが、①と同じように、あまり大きな加速度を考えるよりも、強度的には⑥のような点に注意をした方が妥当といえよう。変形やたわみに関する場合でも、ディーゼルパイルハンマー22型の例より推定するに、200gは過大で、100g程度で十分であろう。
- ③ ディーゼルパイルハンマーの直径（40型では約 800 mm）より大きな1000～1500mmの鋼管ぐいでは、キャップのせいを高くし、打ち込み方向の剛性をできるだけ大きくするようにする。キャップの剛性が小さいとその変形にハンマーの打撃力が吸収されて、ぐいに十分な打撃力が伝達されにくくなる。事例図-8-(a)はせいが低く剛性が不足していたようである。
- ④ 大口径鋼管ぐいを多量(数百本程度)に打ち込んだ例がまだないので、事例に示したキャップの耐久度は不

明である。長さ30～40m程度の大口径鋼管ぐいを50～100本打ち込む場合ならば、この程度のキャップで十分であろう。

なお、打ち込み本数が20本以下の少数であっても、キャップの破損は施工能率に大きな影響をおよぼすので、十分な強度をもたせておくようにすべきである。特に、大口径鋼管ぐいの場合には予備のキャップを用意することは経済的にも大変なので、この点十分注意する必要がある。しかし、本数が100本を超えるような場合には、予備のキャップを用意しておいた方がよいようである。

- ⑤ キャップの使用鋼材は、SS41程度のもので十分である。
- ⑥ 設計時の許容応力度は、使用鋼材の長期許容応力度の70～80%程度にする。また、溶接に対しても同じように考え、断面(のど厚)、形状の急変を避け、応力の局部的集中などをおきないようにする。
- ⑦ これまでのキャップの破損例をみると、そのほとんどが溶接部におきているので、溶接長さやのど厚は十分にとることはもちろん必要であるが、製作においては特に入念に溶接を行なうようにする。
- ⑧ キャップの形状は複雑なもの避け、できるだけ単純な形のものにする。
- ⑨ 従来の22型のキャップのクッション(堅木)は図-5-(a)に示すように、キャップの上面よりクッションを出していたが、40型のキャップでは、このようにするとクッションがすぐ破損するので、図-5-(b)に示すように、クッションをキャップ上面より下げておくようにする。

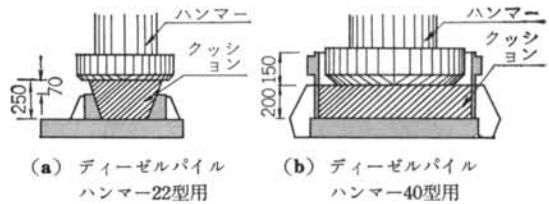


図-5 ディーゼルパイルハンマー用キャップのクッション

- ⑩ クッション材としては一般に堅木(かし、けやきなど)が用いられているが、堅木の場合には厚さ200mm以上が必要であり、一枚物を用いることが望ましい。しかし、大口径鋼管ぐいの場合にはクッションの径も大きくなる(直径800mm以上)ので、堅木の一枚物の入手はむずかしいことが多い。このようなときには、いくつかを合わせて使用する以外に方法はないが、この場合には、くさびなどで十分締めて、ガタのないよ

うにしておく。

- ⑪ クッションとして堅木の代りに硬質合成ゴムの使用も行なわれているが、大口径鋼管ぐいの打ち込みに使用した例はいまのところない。

合成ゴムとしてはウレタンゴムといわれるものがあり、22型の場合に厚さ22mmのものが用いられた例がある。参考までに、脚注(33頁)にこの使用結果を紹介しておく。

なお、このウレタンゴムを堅木クッションの上に敷いて使用することも考えられる。

- ⑫ クッションはある程度打ち込みを行なうと、必ず取り替えねばならないので、クッション部は取り替えが簡単にできる構造にしておく。

これまでの例では、堅木200mm厚のクッションは約 $2.0 \times 10^6$ 回程度の打撃回数(ディーゼルパイルハンマー40型)で取り替えねばならない。

以上、ディーゼルパイルハンマー40型のキャップの設計製作にあたっての注意点を述べたが、次に図や写真に示したキャップについて、簡単に説明しよう。なお、ここに例示したキャップは主として現場で設計製作され、実際のくい打ちに使用されたものである。

図-6には、くい直径812mm用のキャップを示したが、(a)はくい2本(合計打撃回数2本 $\times$ 8000回)の打ち込みで、A部の溶接部が破損して使用不能となったものである。また、クッションを受けている底板Bも少し薄く、全体にきゃしゃであった。(b)は(a)の結果を基に製作したもので、(a)のA部に当たるところをリップCで十分に補強し、底板も50mmプレート2枚を重ねて厚くし、さらに底板の補強もかねてリップDを溶接した。この(b)のキャップでは、くい1本当たり約7000回の打撃回数を要するくいを100本程度打ち込むことができた。写真-8はこの(b)のキャップを示したものである。

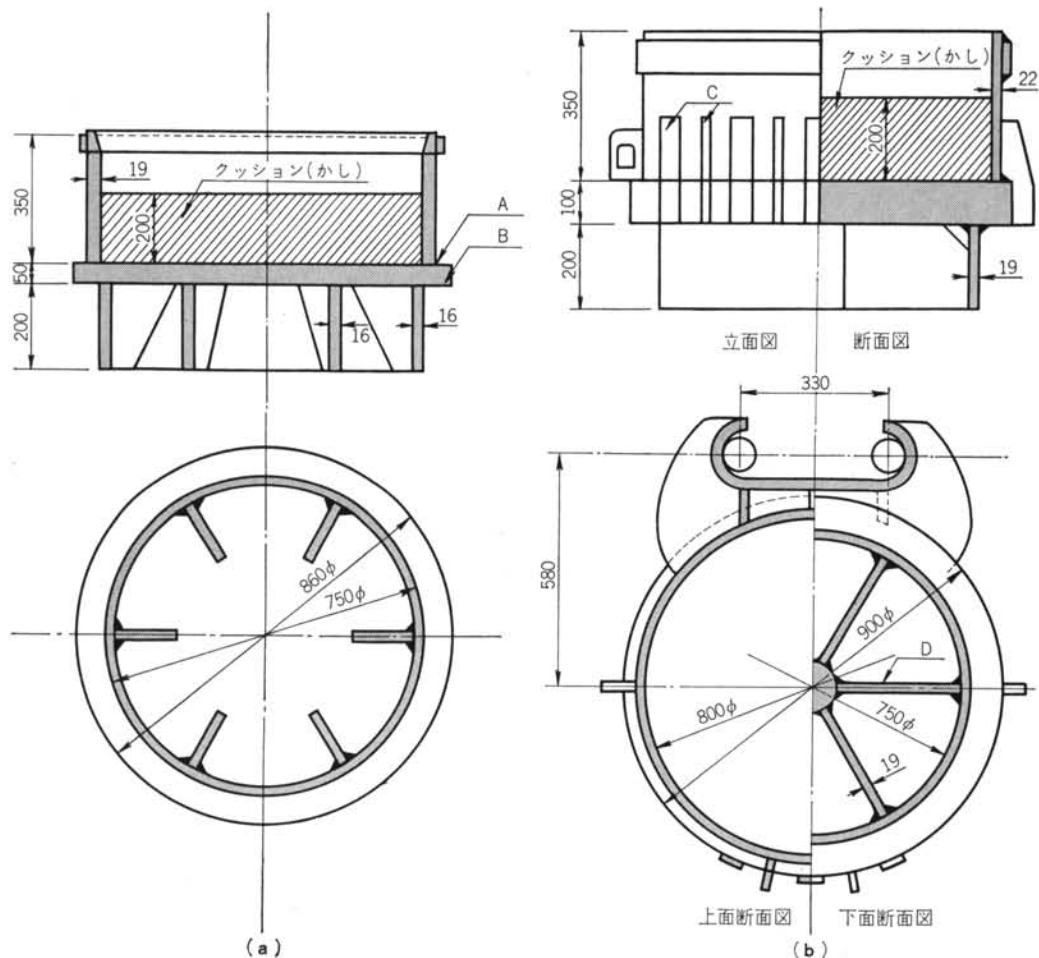
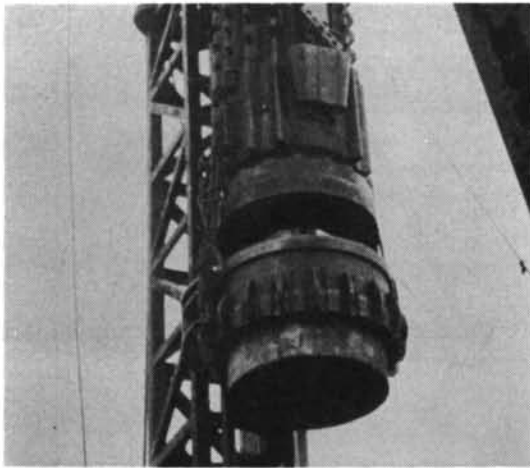


図-6 812φ用キャップ





写真—8 812φ用キャップ：図—6—(b)

図—7 にはくい直径1016mm用のキャップを示した。このキャップは、初め注意⑨で述べた図—5—(a)のようにクッションをキャップの上面より出していたが、くい1本を打ち込むと写真—9 にみるようにクッションが破損してしまうので、その点を改良し、以後相当の本数のくいを打ち込むことができたものである。

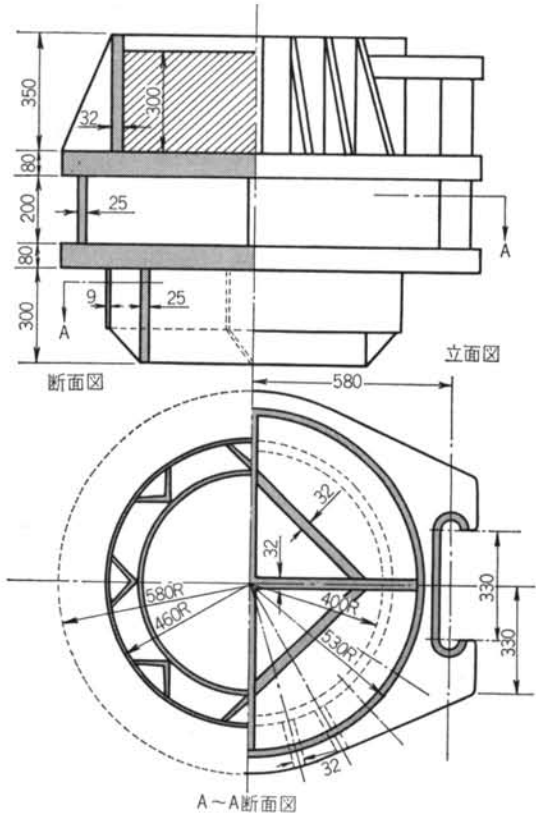
図—8 にはくい直径1500mm用のキャップを示した。(a)に示したキャップは写真—10にみるようなもので、これは注意③に述べたように、キャップの剛性が少し不足していたように思われた。その点(b)は図や写真—11にみるように、(a)に示したキャップよりも剛性が大きく、1500mmの鋼管ぐいではこの程度のキャップが必要であろう。ただし、クッションの厚さが150mmで若干薄いことと、これの納め方に問題があり、写真—12にみるようなクッションの破損が打ち込み中におきた。

なお、図—8—(a)に示したキャップは不動建設が、同図の(b)に示したキャップは北井製作所が、それぞれ設計したものである。

パイロパイルハンマーV-5でも、前記のように現在のところ専用のキャップがないので、100HP パイロパイルハンマーのチャックつきキャップを転用したり、現場で独自に設計製作したものを用いたりしている。図—9と写真—13および写真—14に、現場で設計製作されたものの例を示す。

また、現状ではハンマー(キャップ)にくいを緊結するにはボルトかピンによる方法以外にないが、これらを用いる場合には施工精度に限界があり、進行性の破壊をおこす可能性があるので、十分注意しなければならない。すなわち、ピンでは1本で十分なように、ボルトでは全

数の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度で十分耐え得るようにボルトの断面や溶接を設計しておく。特に、打ち込み中に大きな引き抜き力を作用させるときには、この点を十分注意しておく必要がある。



図—7 1016φ用キャップ



写真—9 1016φ用キャップ：図—7

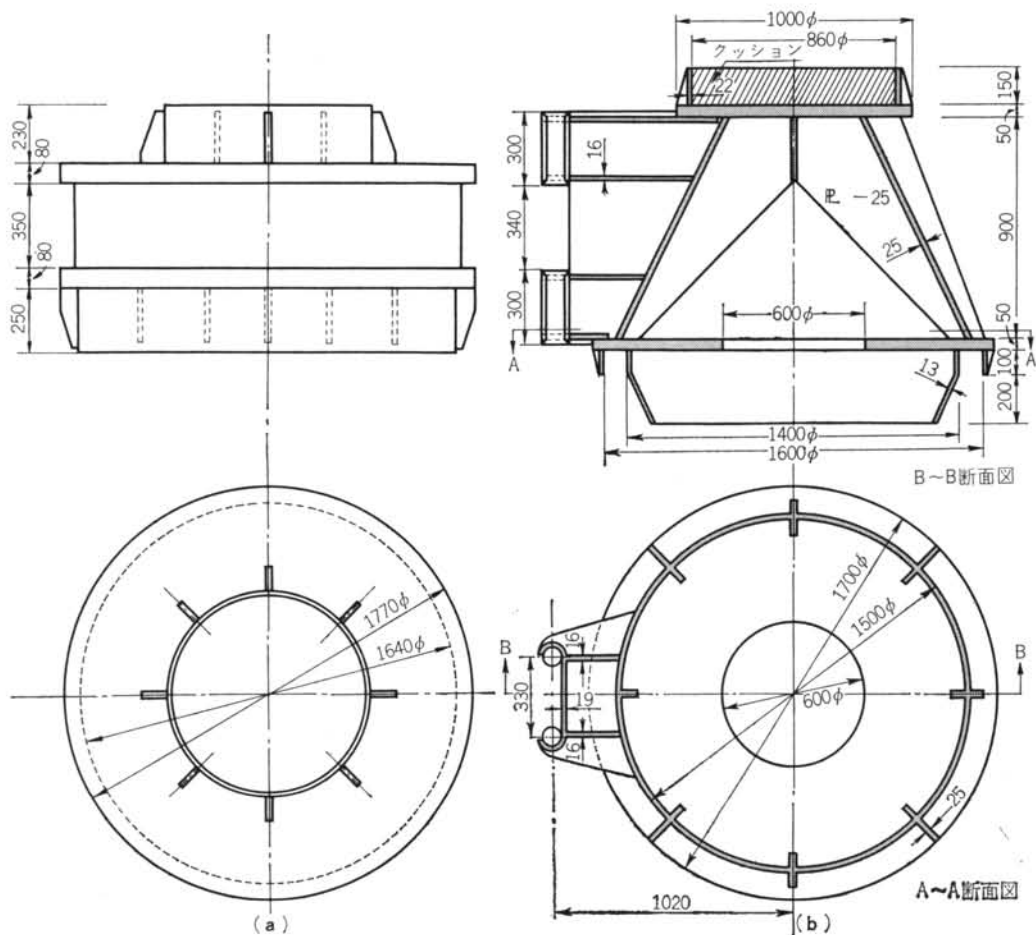


図-8 1500φ用キャップ



写真-10 1500φ用キャップ：図-8-(a)

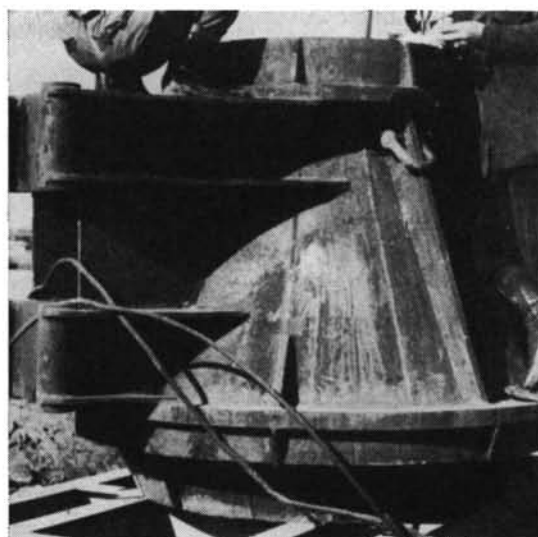


写真-11 1500φ用キャップ：図-8-(b) (石川島播磨重工 営業部撮影。写真-12も同じ)

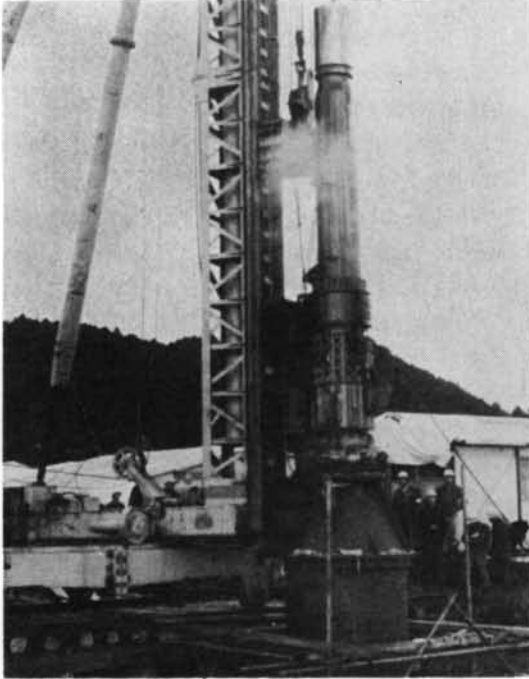


写真-12 図-8-(b)に示したキャップの使用状況



写真-13 V-5, 1016φ用キャップ：図-9



写真-14 V-5, 1200φ, 1500φ両用キャップ

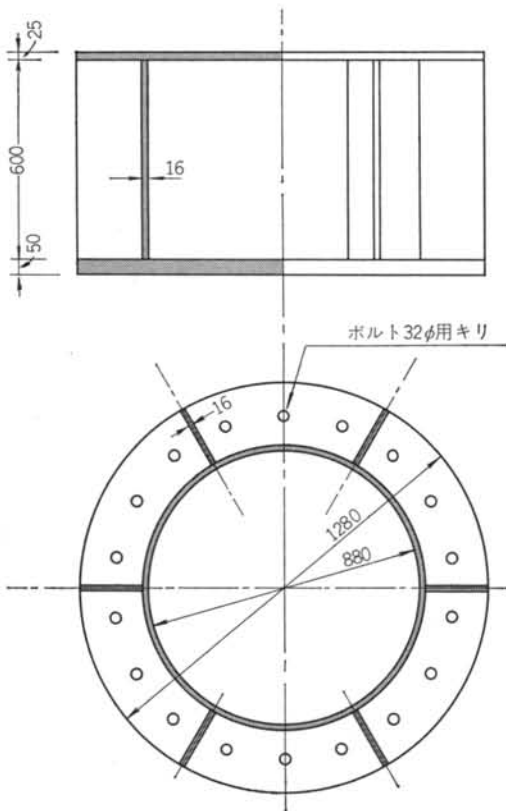


図-9 V-5, 1016φ用キャップ

注) ウレタンゴムのクッションとしての使用結果：

ディーゼルパイルハンマー IDH-12 でコンクリートぐい、IDH-22 で鋼管ぐいをそれぞれ打ち込んだときの堅木クッションとウレタンゴムクッション(厚さ22mm)を用いた場合の結果は、堅木クッションでの打ち込み本数を  $N$ 、ウレタンゴムクッションでの打ち込み本数を  $M$  とすれば、おおよそ次のようになっている。

$$(1.3 \sim 1.5)N < M < 2N$$

くい頭破損については、特に優劣はつけがたい。ウレタンゴムはイグランの商品名で販売されていて、イグランの価格は昭和39年10月現在で、450φ、厚さ 22mm で 1枚約1.2~1.5万円程度である。

### § 3. ハンマーの打ち込み能力と 打ち込み時の注意

大口径鋼管ぐいの施工例は、現在のところ小口径鋼管ぐいに比較して非常に少ない。また、それらのうちでも各種の施工記録が比較的良好ととっているものはさらに少なく、大口径鋼管ぐいの施工性について全般的に論ずるには、いまだその資料が十分であるとはいいがたい。

そこで、今回は施工性のうちでも特に重要と考えられる次の二点について、これまでの施工例を中心に考察を進めてみよう。

- 1) 各ハンマーの打ち込み能力と土質条件
- 2) 大口径鋼管ぐいの打ち込み時の注意

#### 3. 1 大口径鋼管ぐいの施工例

施工例としては表-4 に示すように、直径812, 1016, 1200, 1500mmの各鋼管ぐいについて、それぞれ代表的な例を2~3例示し、まずこれらの例について、土質条件と打ち込み時の状況を簡単に説明しよう。

これらの施工例は、いずれも大口径鋼管ぐいのパイロパイルハンマーV-5およびディーゼルパイルハンマー40型による施工性と支持力特性を調査する目的で、同一地点に数本試験的に施工された例である。したがって、表-4 にみるように、場所、土質条件、施工条件（現場の条件）、ぐいの直径などがそれぞれ異なっているので、ぐいの直径の違いによる施工性の比較などはむしろかしく、先にも述べたように径の相違は特に考えず、大口径鋼管ぐいとして考えていくことにする。

##### 3. 1. 1 施工例 I<sup>2)</sup> (図-10):

本例は橋脚の基礎ぐいに使用する大口径鋼管ぐいの斜ぐいとしての施工性、特にディーゼルパイルハンマー40型の専用やぐらでの12°30'の斜ぐいの打ち込みの可能性

と、ハンマーの打ち込み能力、さらにくいの垂直方向、水平方向の支持力特性などを調査する目的で、試験的に施工した例である。

土質条件は図-10 に示すように、G.L-17.0mまでは砂と砂れき層で比較的ゆるい。G.L-17.0~-33.0mの間は粘土で、土質試験の結果によれば過圧密状態にあって、N値も5~10と比較的大きく、一軸圧縮強度は0.6~1.0kg/cm<sup>2</sup>で粘着力も比較的大きいと考えられる。G.L-33.0m以下は、粘土と砂れきの互層になっていて、砂れきのN値は30程度で、N値からみるとあまり締まった状態ではないが、この砂れき層では被圧水が観測されており、この被圧水のためにN値が相当小さくなっている可能性も考えられる。

打ち込みはIDH-40によって行なった(写真-4は本例の打ち込み中の状況を示す)。図-10に示したAぐい、Bぐいのくい中心間距離は約4.0mで、貫入50cmごとの打撃回数曲線の傾向はほぼ同じであった。

Aぐいの場合にG.L-28.0m付近で打撃回数が増大しているのは、打ち込みを一時中止し、1日放置した後、再打ち込みを行なったためと考えられる。

また、Aぐいでは打ち止り付近ですでに、1打撃の平均貫入量が約0.3mmとほとんど打ち込み不能の状態になっているにもかかわらず、Bぐいでは同じ深度で1打撃の平均貫入量は1.6~2.5mmと、Aぐいに比べて貫入量が大きかった。したがって、両ぐいで総打撃回数に約1300回の違いがあったが、打ち込み可能深度はBぐいの方がAぐいより約2.0m深かった。なお、比較的接近したくいであるにもかかわらず、打ち込み可能深度に上記のような違いがでたことについては、明らかな原因は不明である。

このような打ち込み可能深度のパラツキは、小口径鋼管ぐいの場合にもしばしばみられることであり、逆に、大口径鋼管ぐいの打ち込みにおいても、この程度の差異

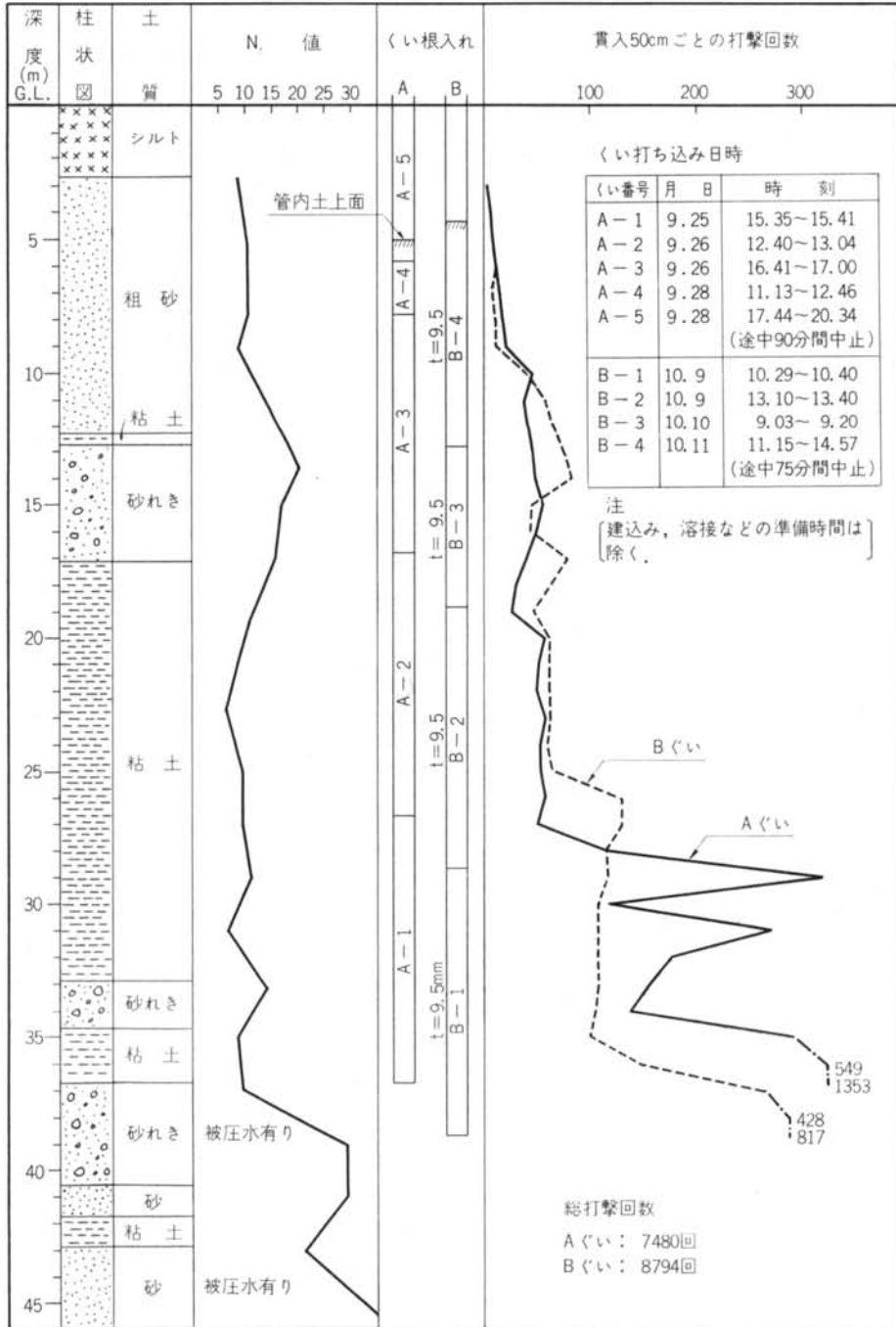
施工例 名称	打ち込み 年月	場 所	地盤種類	くいの形状		打ち込み長さ	くい形式
				直径	肉厚		
I	39. 9	北海道江別市	石狩川河川敷	812.8φ	9.5mm	36.4m, 38.6	斜ぐい (12°30')
II	39. 3	広島県広島市	臨海埋立地	812.8	12.7	37.4, 39.4	直ぐい
III	38. 2	岡山県倉敷市	臨海干拓地	1016.0	10.3	28.8	直ぐい
IV	38. 2	同 上	同 上	1016.0	10.3	21.4, 28.0	直ぐい
V	39. 2,3	広島県広島市	臨海埋立地	1200.0	12.7	42.6, 45.2	直ぐい
VI	39. 3	同 上	同 上	1500.0	12.7	38.0, 38.8	直ぐい

表-4 大口径鋼管ぐい施工例一覧表

が打ち込み可能深度に生ずるものと考えておくべきであろう。特に本例のように、先端部の土層が砂れきと粘土の互層をなしている場合には注意する必要がある、打ち止りの状態の管理を十分行なう必要があるともいえる。

両ぐいの打ち止り付近の状態は、表一5 に示すように

ほぼ同じ状態で、1打撃の平均貫入量は0.3mmであった。しかし、このような状態で打ち止りとするのは、くい的支持力性の点からは望ましいかもしれないが、ハンマーに対しては能力的にかなり無理をしている状態で好ましいことではない。特に、施工本数の多い場合には



図一10 施工例 I (くい直径812.8mm 鉛直軸に対して12°30'の傾斜をもった斜ぐい ハンマー: IDH-40)



ハンマーの故障が続出する可能性があるので注意すべきである。

また、この場合には、くい頭をバンドプレートで補強

していたので、くい頭には局部座屈などの異状が認められなかったが、補強のない場合には、くい頭の破損がおきる可能性もある。

施工例 名称	くい 名称	貫入量 mm/回	リバウンド量 mm/回	ラム落下高さ m	垂直載荷試験結果 ton			備 考
					降伏荷重	最大載荷重	極限支持力	
I	A	0.3	14.2	2.0	400	550	770*	貫入量、リバウンド量は10打撃の平均値である。以下同じ。
	B	0.3	13.2	2.0	—	—	—	
II	A	0.4	16.0	1.8	350	550	700	
	B	0.5	17.1	1.8	—	—	—	
III	①	11.0	5.0	1.5	150	300	300	①: くい先G.L-20.0mで ②: くい先G.L-28.8mで
	②	3.5	11.2	1.7	400	700	700	
V	A	1.5	12.0	1.9	400	600	700*	
	B	1.5	11.0	1.9	—	—	—	
	C	1.0	13.0	1.9	—	—	—	
VI	A	0.2	10.1	—	550	850	950*	ラム落下高さは実測していないが、約2.0mであった。
	B	0.2	12.2	—	—	—	—	

注 (1) \*: 載荷試験によって極限支持力を確認できなかったため、試験結果よりの推定値を示した。

(2) IV例は V-5 のみによる打ち込みにつき省略した。

表-5 各施工例のディーゼルパイルハンマー40型による打ち止り状態

### 3.1.2 施工例 II<sup>3)</sup> (図-11):

本例も I 例と同じく、橋脚の基礎ぐいに使用する大口径鋼管ぐいの施工性と支持力特性、特に軟弱地盤の代表である埋立地における水平方向の支持力性を調べるのが主目的で施工した例である。

土質条件は図-11 に示すように、G.L-30.0m 付近までは砂(れき混り)と粘性土の互層で、N 値も砂で10、粘性土で2~3 とかなり軟弱な地盤である。

G.L-30.0~39.0mは 砂質ロームで、N 値も G.L-35.0m 以深より次第に大きくなり、G.L-39.0m 付近では約45でかなり締まっている。G.L-39.0m 以深は風化花こう岩で基盤層といえるものである。しかし、N 値は78程度で、これからみると上層部は相当に風化が進行しているものと推定される。

打ち込みは A ぐい B ぐいともに G.L-30.0m までは、ディーゼルパイルハンマー M-22 で試験的に行ない、それ以深は IDH-40 にて行なった。

この結果では、M-22 と IDH-40 の替り目において、打ち込み機による顕著な相違はみられない。また、この打ち込み結果によれば、M-22(ディーゼルパイルハンマー22型)でも G.L-35.0m 付近まで打ち込むことが可能で

あったと推定される。

この例でも、A ぐいと B ぐいで打ち込み深度に約 2.0 m の違いがあり、IDH-40 の打撃回数で約 2200 回の差がある。また、A ぐいの打ち止り付近の状態より B ぐいを 2.0m 打ち込むには相当の打撃を行なわねばならず、打ち止り状態を同じようにするには、打ち込み深度にこの程度のバラツキが生ずるものであるともいえよう。

両ぐいの打ち止り付近の状態は表-5 に示す通りであり、I 例と同じように、打ち止り付近 1.0m より急激に貫入量が小さくなっている。また、打撃回数のは半分は打ち止り付近の 3.0~4.0m の打ち込みに費やされている。

### 3.1.3 施工例 III<sup>4)</sup>, IV<sup>4)</sup> (図-12, 図-13):

III 例, IV 例はともに干拓による軟弱地盤に重量構造物を建設するにあたり、その基礎ぐいに大口径鋼管ぐいを使用することとして、その施工性、主としてパイプロパイルハンマー V-5 とディーゼルパイルハンマー40型の打ち込み能力と、砂れき層への打ち込み深度と支持力の関係を調べるために施工したものである。したがって、III 例, IV 例の各ぐいは同じ試験地点(各ぐいの間隔は約 2.3m)に施工されたものである。

以下、III 例, IV 例を一括して説明しよう。

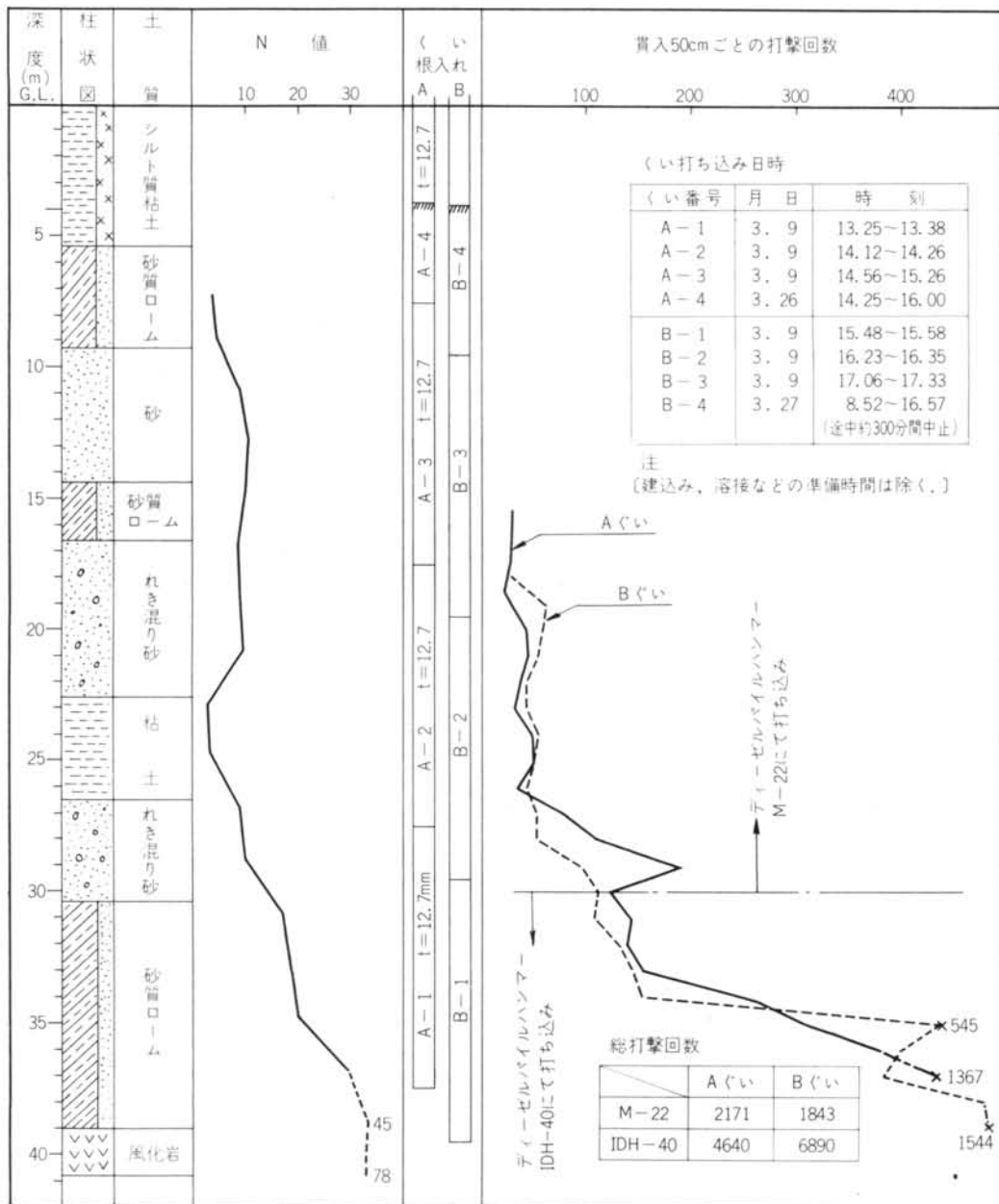


図-11 施工例 II (くい直径812.8mm)

土質条件は図-12, 13に示すように、G.L.-19.0mまでは軟弱な沖積シルト層で、N値も5以下である。

G.L.-19.0m以深はN値が50以上とよく締まった砂れき層で、この砂れき層はG.L.-70.0mあたりまで続いている。また、この砂れき層はG.L.-20.0mで約1.5~1.8 kg/cm<sup>2</sup>の被圧水が観測されている。

Ⅲ例はまずG.L.-19.0mまでV-5で打ち込んだ。約G.L.-5.0mまではぐいとハンマーの自重で貫入させ、次

にくいを垂直に打ち込むためにハンマーを若干釣った状態(ハンマーとくいは図-9に示したキャップによってそれぞれボルトで緊結されていて、ハンマーを釣ってあるワイヤーを完全にゆるめない状態)でハンマーを作動させ、G.L.-12.0mまで打ち込んだ。それ以後は、ハンマーを完全にぐいにあずけて(ハンマーを釣っていたワイヤーを完全にゆるめた状態で)G.L.-19.0mまで打ち込んだ。

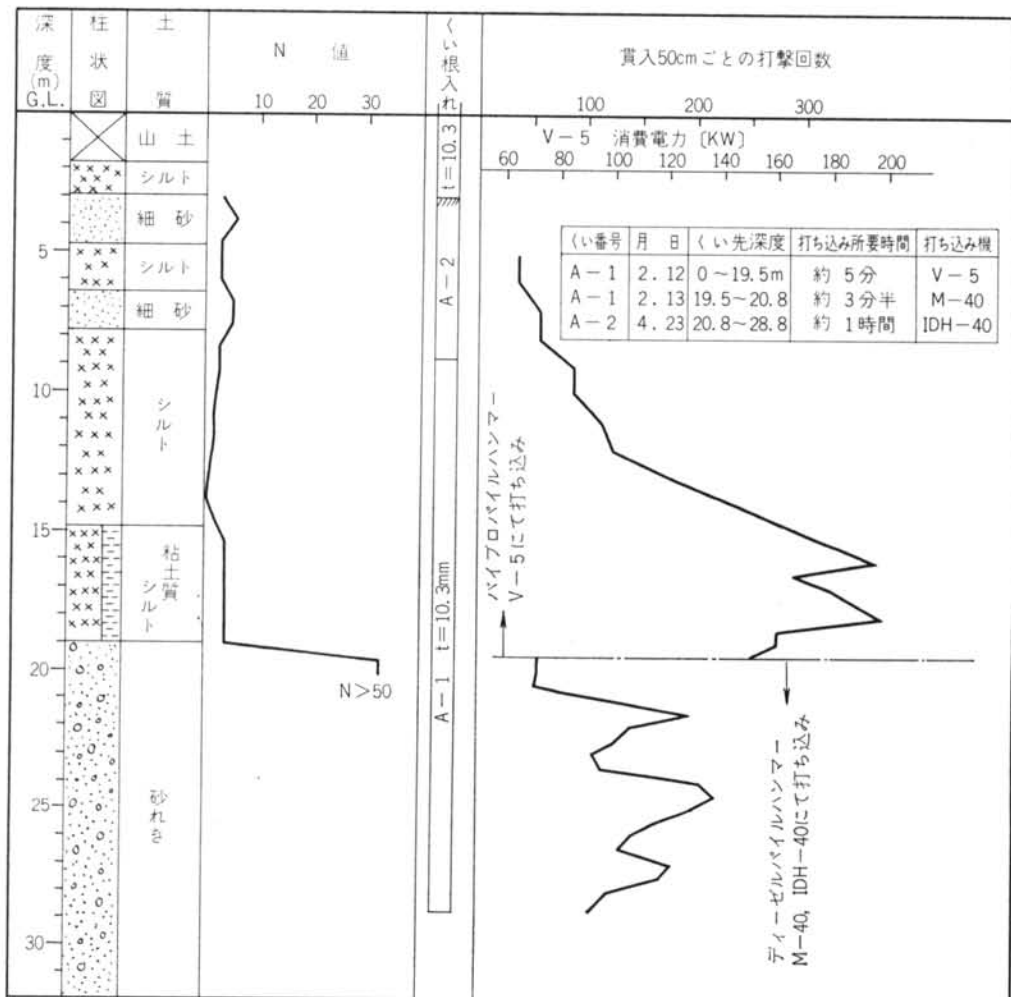


図-12 施工例 III (くい直径1016.0mm)

G.L-12.0mより消費電力は増大し始め、G.L-16.0m付近で、ほぼハンマーの最大能力に達しているが、この間のくいの貫入速度はほぼ一定で、約6.0m/minであった。

これから約 G.L-18.0mまでは消費電力もほぼ最大の状態を続けていたが、貫入速度は2.0~3.0m/minと次第に減少し、G.L-18.0mからは消費電力も低下し始め、貫入速度もそれにつれて次第に小さくなり、1.0m/minより0.4m/min程度になった。この状態はまだ貫入不能の状態ではないが、V-5による打ち込みは次第に困難になりつつある状態であったといえる。

ここでくいの先端が砂れき層に達したので、試験の方針に従って、ハンマーをV-5よりM-40に替えて、さらに1.0m打ち込み、この状態で鉛直方向の載荷試験を実施した。そして上記打ち込みより約70日後にIDH-40

でG.L-28.8mまで打ち込んだ。

この放置後の再打ち込みでは図-12にみるように、若干打ち込み抵抗が増大しているが、その後の打ち込み抵抗の状態からみて、あまり大きな増加ではなかった。

再打ち込みの状況は、これまでの例とかなり異なった傾向がみられた。すなわち、N値が50以上の締まった砂れき層であるにもかかわらず、比較的小きな打ち込み抵抗で貫入している点とか、G.L-25.0m以下より貫入50cmごとの打撃回数が減少している点などであり、これらの点については明らかな原因が不明である。

IV例はAぐい、BぐいともにパイロパイルハンマーV-5によってのみ打ち込んだ例で、約G.L-19.0mまでの打ち込み状況は、両ぐいともにほぼ同じ傾向であると同時に、III例とも同じ傾向であった。また、打ち込み

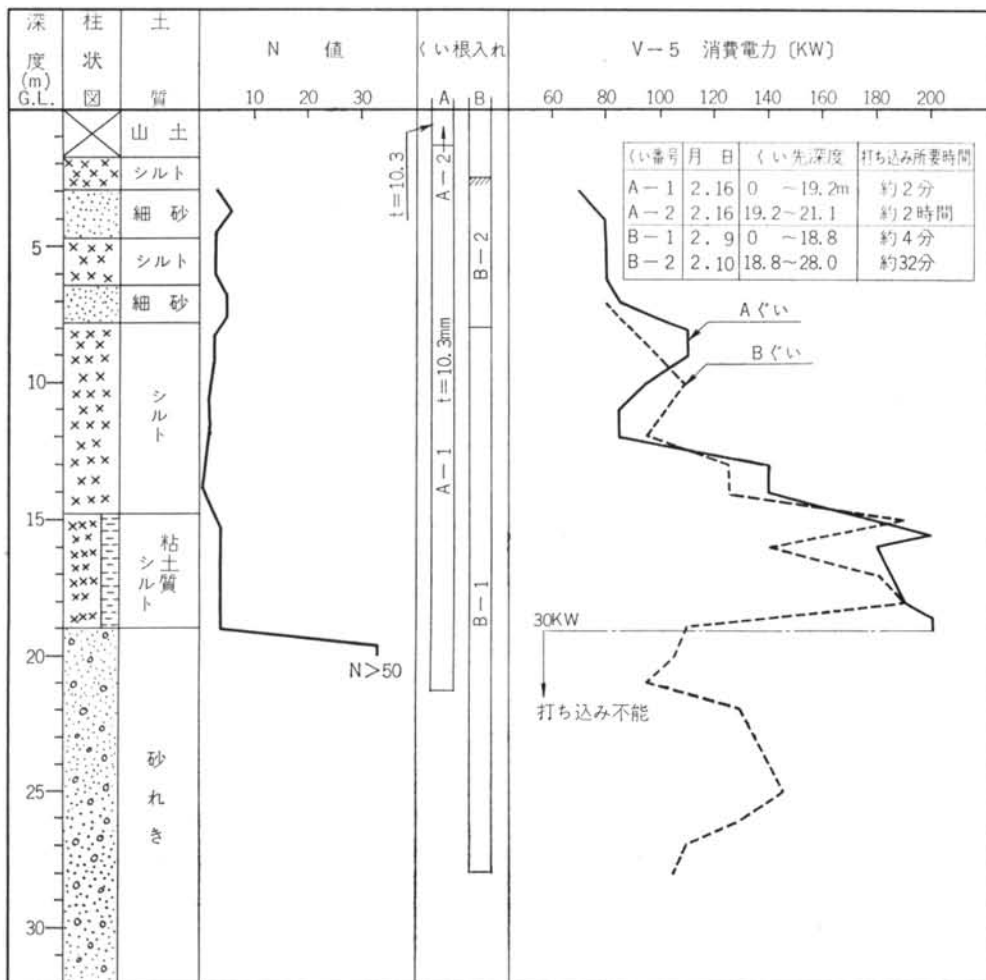


図-13 施工例 IV (くい直径1016.0mm ハンマー: V-5)

法もⅢ例の G.L.-19.0mまでと同じように行なった。

Aぐいは G.L.-18.5mまでは貫入速度も1.0m/min以上で比較的容易に貫入していたが、G.L.-18.5~19.0mで急激に貫入速度が低下して0.25m/minとなり、G.L.-19.0m以下では消費電力も約30kwと極端に低下し、約2時間ハンマーを作動させても貫入量は約2.0mでほとんど貫入させることができない状態になった。

Aぐいに対して、Bぐいではほぼ同じ打ち込み位置であるにもかかわらず、G.L.-28.0nまで打ち込むことができた。G.L.-18.0m付近よりはAぐいと同じように消費電力が低下し始めているが、貫入速度は0.5m/minであり、貫入不能の状態にはならなかった。しかし、G.L.-19.0mより G.L.-22.0mまでは貫入速度も非常に小さくなると同時に、消費電力も90kwまで低下した。G.L.-22.0mでは貫入速度は約0.07m/minと最小になったが、

この深度を越えると貫入速度は約0.2m/minと多少増加し、同時に消費電力も増大し、この状態が G.L.-28.0mの打ち止りまで続いた。なお、G.L.-24.0m付近で消費電力が低下し始めているが、貫入速度には大きな変化がみられなかった。したがって、Bぐいでは、まだ G.L.-28.0m以深への打ち込みが可能であったが、一応予定深度に達したので、打ち込みを中止した。

パイロパイルハンマー V-5の打ち込み不能状態というのは、本例ならびにV例よりみると、貫入量と消費電力に次のような現象がおきたときといえるようである。

- ① 貫入量について：貫入速度が0.3~0.5m/minであった状態より、急激にぐいが1.5~2.0cmの振幅で上下方向に振動するのみとなり、貫入量がほとんど零に近くなってしまう。
- ② 消費電力について：貫入状態が上記ようになる

と、200~220kw の最大の状態になっていた消費電力が急激に低下し、約 30~50kw になってしまった、この状態でハンマーを30分以上作動させても、消費電力が増加しない。

ただ、このような状態になった比較的早い時期に、ハンマーを作動させておいて、20~30秒間程度ハンマーを釣り上げ、次にゆるめるということを数回くり返すと、また貫入量が増大する場合がある。しかし、このような操作を行なうときには、ハンマーの緩衝装置の能力、釣り上げ能力、やぐらの変形などに十分注意することが必要であり、普通の打ち込み設備の状態では、あまり行なわない方がよい。

したがって、パイロパイルハンマー V-5 では上記のような状態になった場合には、それ以上の打ち込みは不可能であるとして、打ち込みを中止すべきである。

なお、ほぼ同じ位置であるにもかかわらず、AぐいとBぐいで V-5 による打ち込み可能深度に大きな差が生じた理由については、現在のところ不明である。

Ⅲ例の打ち込みにおいては、V-5、M-40、IDH-40の打ち込み時に、それぞれA-1ぐいで、打撃応力の測定を行なった。これらの結果を表-6に示す。

この測定結果によると、V-5の最大打ち込み力はほぼ起振力に近い70 ton程度であり、ディーゼルパイルハンマー40型の打撃力は約400 ton程度であった。この例では、ディーゼルパイルハンマーの1打撃の貫入量が1~5 mmの間で変化しているが、打撃応力はせいぜい0.2 t/cm<sup>2</sup>程度の変化で、打撃力にしても100ton以下であった。ただし、この場合でも貫入量が小さいときには、打撃応力は若干大きくなっているが、上記の状況より推定して、貫入量が1mm以下であってもそれほど打撃応力は増加しないと考えられる。

ハンマー種別	測点深度 G.Lよりm	測定最大応力 $\sigma$ : t/cm <sup>2</sup>	最大打撃力 A $\cdot$ $\sigma$ : ton	くい先端深度 G.Lよりm
V-5	0	$\pm 0.21$	$\pm 69$	18.6
M-40	-0.8	-1.10	-360	19.4
IDH-40	-1.9	-1.20	-390	20.5

注) くい直径1016mm 肉厚10.3mm  
鋼材断面積 A=325.4cm<sup>2</sup>

表-6 Ⅲ例 A-1ぐいくい頭部打撃応力測定結果

### 3. 1. 4 施工例 V<sup>3)</sup> (図-14):

本例は橋脚の基礎ぐいに使用する大口径鋼管ぐいの、V-5による打ち込み能力と、支持力性状、特に水平支持

力の調査を主目的として試験的に行なった例である。

土質条件は図-14に示すように、G.L-10.0m 付近まではN値10程度の砂層で、G.L-13.0m 以下はN値3~5以下の軟弱なローム層が、G.L-40.0m まで続いている。

G.L-40.0~44.0m はN値が35~40と比較的よく締まったれき混りローム層となっているが、れきが混入していることによりN値がかなり大きくなっている可能性もあり、ローム自身としては、それほど硬いものではないとも考えられる。G.L-44.0m 以下もローム層で、N値は12程度であり、このN値よりすれば、上部のれき混りローム層のローム自身のN値も、10~12程度と考えられる。N値10~12程度のローム層というのは一般的には、かなり大きなせん断抵抗をもっているといえるし、粘着力もそれに比例して大きく、少なくとも1.0~1.5kg/cm<sup>2</sup>の粘着力があるものと考えられる。

打ち込みはその目的の一つに、V-5の打ち込み能力の調査があったので、A、B、CぐいともにV-5によって打ち込み不能となるまで打ち込んだ。

いずれのぐいもG.L-5.0m付近までは比較的容易に打ち込むことができた。G.L-5.0m以深では消費電力は、ほぼ200kwの最大に達しているが、貫入速度は約1.0~1.5m/minで比較的大きく、G.L-38.0m 付近までは打ち込みがそれほど困難ではなかった。しかしG.L-38.0mを越えると、比較的打ち込みがむずかしくなり、G.L-39.0mよりは3.1.3に詳しく述べたと同じような状態になり、それ以上の打ち込みは不可能であった。

そこで、V-5による打ち込みを中止し、約15日間の放置後、IDH-40によって再び打ち込みを行なった。IDH-40による打ち込みは、いずれのぐいも、打ち込み開始より約2.0~3.0mまでは打ち込み抵抗がかなり大きく、最大で50cm貫入に1600回の打撃を行なって、平均的にも50cm貫入に約600回程度の打撃を行なわねばならなかった。

しかし、その後は貫入50cmごとの打撃回数も急激に減少して、打ち込みが容易になった。このことは、G.L-13.0m以下がローム層であることを考えれば、当然のことといえるであろう。

AぐいのみG.L-42.6mで打ち止めたのは、れき混りローム層にくい先端をある程度打ち込んだ状態で、鉛直方向の支持力試験を実施するためであった。

### 3. 1. 5 施工例 VI<sup>3)</sup> (図-15):

本例も橋脚の基礎ぐいに使用する大口径鋼管ぐいの施工性、特にディーゼルパイルハンマー40型でどの深さまで打ち込むことができるかということ、水平支持力の



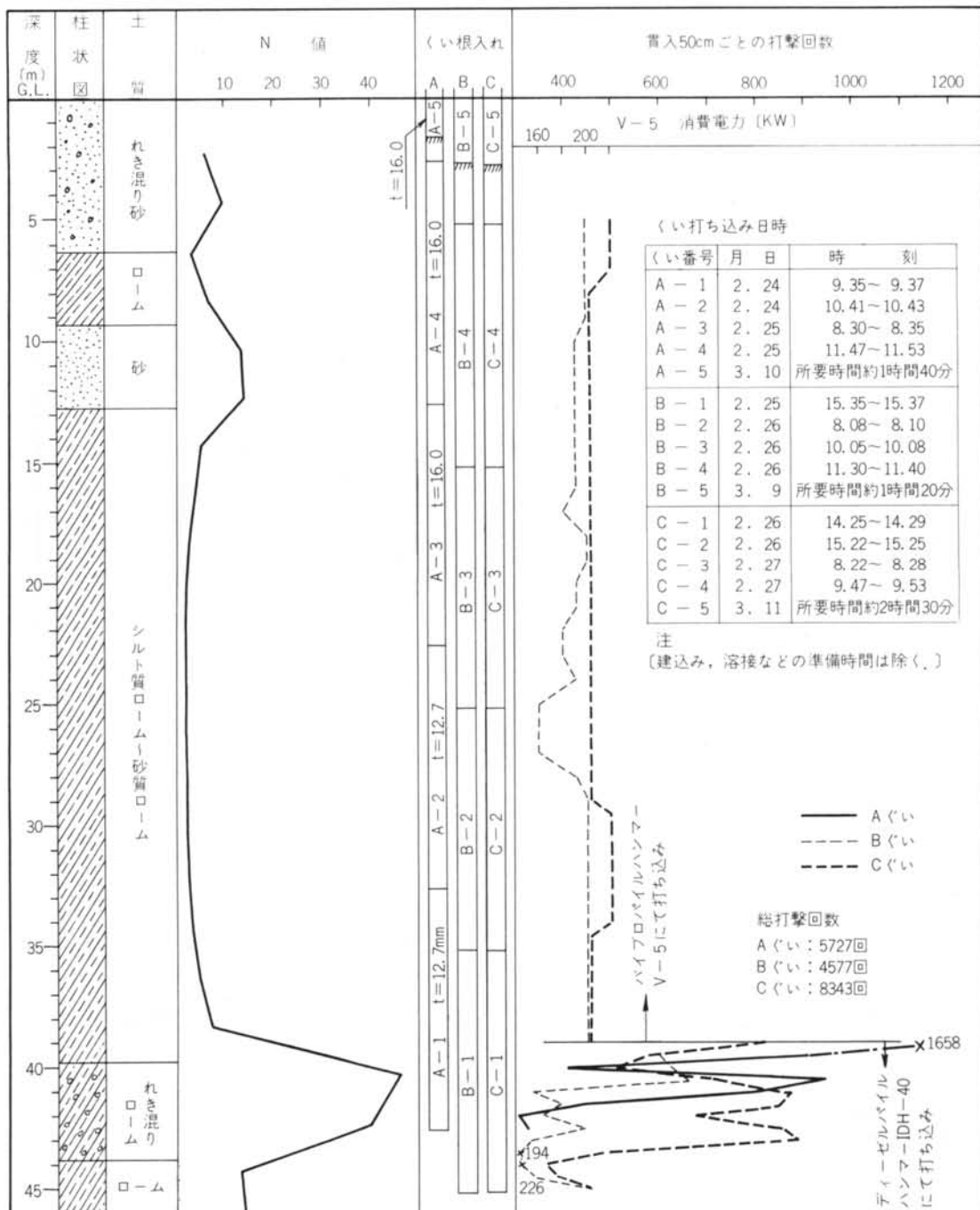


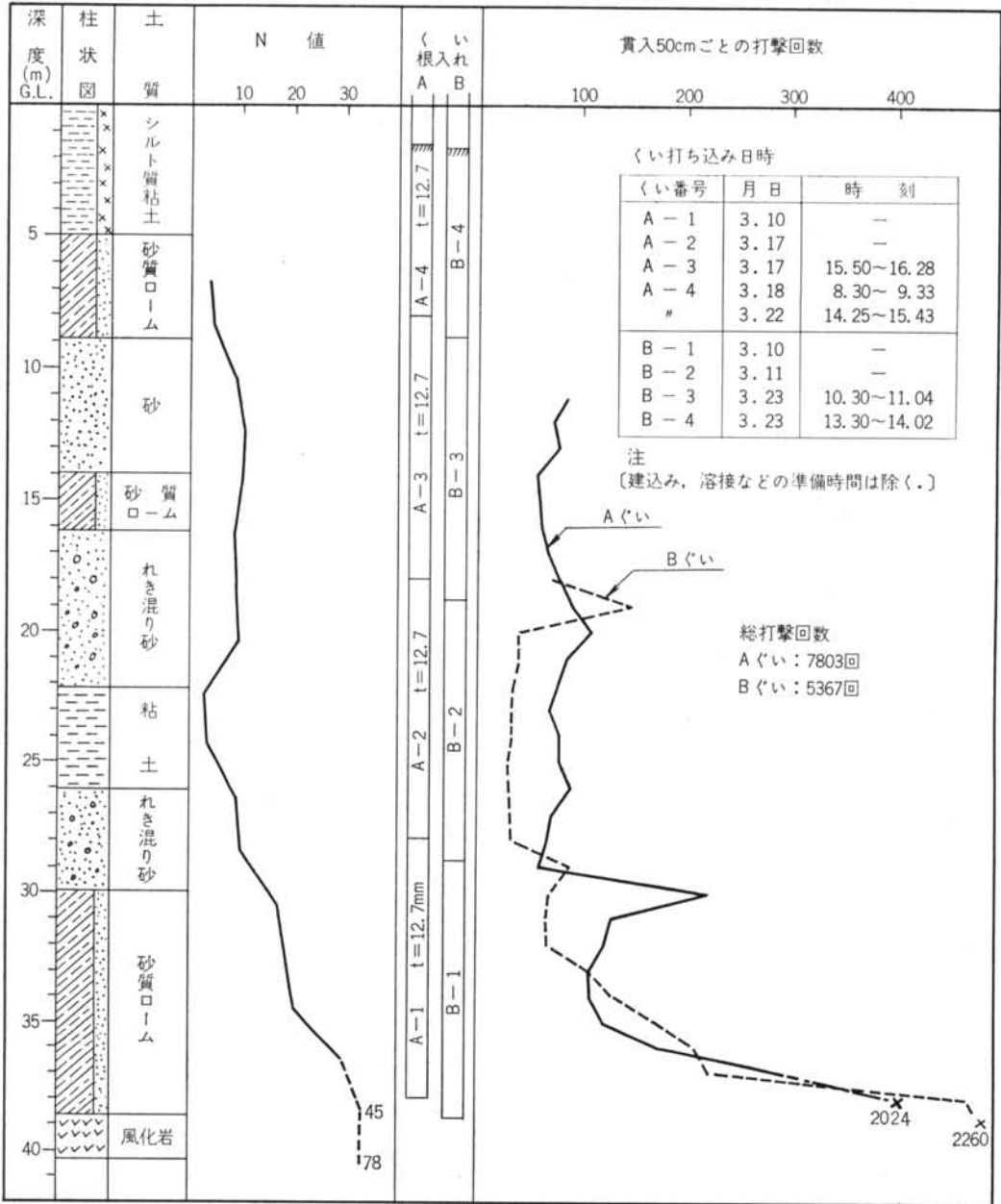
図-14 施工例 V (くい直径1200mm)

調査を主目的として、試験的に施工した例である。

試験地点はⅡ例とほぼ同じであり、土質条件については3.1.2のⅡ例に述べてあるのでここでは省略する。

打ち込み状況は図-15に示すように、Aぐい、Bぐいともにほとんど同じ傾向で、顕著な差異はみられなかつ

た。ただ、AぐいでG.L-30.0m、BぐいでG.L-19.0m付近において、貫入50cmごとの打撃回数が若干増加しているが、これらはその点で、一度打ち込みを中止し、ある時間放置して再打ち込みを行なったためと考えられる。



図一15 施工例 VI (くい直径1500mm ハンマー: IDH-40)

貫入 50cm ごとの打撃回数をみると, G.L.-35.0m 付近より次第に増加し始め, 打ち止り付近では急激に増大し, 2000回以上になっている。したがって, 貫入状況も表一5に示したように, 1打撃当りの貫入量は約0.2mmと非常に小さくなっている。これはくいの先端が風化花こう岩に達したことによるためと考えられるが, この場合の打ち込みに使用したキャップは図一8-(a), 写真一11に示したものであり, 2.3に記したように, 打撃力が

くいに十分伝達されていなかったことによる影響も考えられる。

### 3.2 各ハンマーの打ち込み能力と土質条件

3.1には直径800~1500mmまでの大口径鋼管ぐいの施工例, 主として打ち込み例を数例紹介したが, これらの施工例を中心に, 次の三点について, バイブロパイプハンマー V-5 とディーゼルパイルハンマー40型につ

いて、それぞれ一般的傾向をまとめてみた。

- 1) 各ハンマーでの打ち止り(打ち込み不能)状態の判定
- 2) 各ハンマーの打ち込み能力と土質
- 3) 土質条件および打ち込み条件によるハンマーの選定規準

### 3.2.1 各ハンマーでの打ち止り(打ち込み不能)状態の判定:

各ハンマーの打ち止り(打ち込み不能)状態は原理的には、各ハンマー自身の機械的な限度によって決まるのであるが、試験的施工以外のいわゆる本工事においては、施工能率ということも重要な要素であり、また、くい的支持力性(鉛直方向)の点からみても、開端ぐいの場合には、打ち込み深度にもあるバランスが考えられ、深く打ち込むことがすべての場合に最良であるとはいえない。

各ハンマーの打ち込み能力の許容限界には、かなりの幅があり、定量的にはっきりとした一線を画することは非常にむずかしいようである。

したがって、以下に述べることは、各ハンマーの打ち込み能力に対する一つの限界の目安と考えられるものである。

#### a) パイロパイルハンマーV-5

貫入速度が少なくとも0.3~0.5m/min以上で、消費電力が最大(200~220kw)であった状態より、急激に貫入速度が低下し、ほとんど零に近い状態でぐいが上下方向に1.5~2.0cmの振幅で振動するのみとなり、これと同時に消費電力も約30~50kwまで急激に低下してしまい、さらに、このような状態でハンマーを30分以上作動させても、貫入量の増加する傾向が認められない場合には、それ以上の打ち込みはV-5によって行なうことが非常にむずかしいと判断すべきである。

#### b) ディーゼルパイルハンマー40型

ディーゼルパイルハンマー40型の場合には、V-5におけるような比較的明瞭な打ち込み不能状態というのはいられないが、

- ・ディーゼルパイルハンマー自身の機構的制約
- ・くい頭の連続打撃に対する強度的制約
- ・くいの貫入状況と載荷試験の結果(表-5 参照)
- ・施工能率

などの諸点を加味して、施工例より判断すると、次のようになる。

くいの貫入50cmごとの打撃回数曲線において、打撃回数に明らかに増大する傾向が認められ、しかも、それ以後のくいの貫入1.0~2.0mにおいて、貫入50cmごとの打撃回数が300~500回以上の状態が連続し、ラムの落

下高さも1.8~2.0m以上になっている場合には、一応打ち込み限界と考えてよいであろう。また、1打撃の貫入量(10回の打撃による平均貫入量)が0.5mm以下の状態を20~30分以上連続しても、くいの貫入量が増加しないときには、それ以上の打ち込みはハンマーの限度を越えている状態なので、試験的な場合以外には、打ち込みを中止するようにすべきである。

### 3.2.2 各ハンマーの打ち込み能力と土質条件:

各ハンマーの打ち込み能力は土質によって大きく左右されることは当然であるが、各地層の層序や深度によってもかなり違ふし、くいの大きさによっても異なるもので、土質条件と一義的に結びつくものとはいえないが、一応、施工例について要約すると、次のようになる。

#### a) パイロパイルハンマーV-5

- (1)  $N < 5$  程度のシルト層では、約20.0m程度まで打ち込むことは比較的容易であり、 $N < 15$ の厚さ5.0m程度の砂層は打ち抜くことができる。
- (2) 主として $N < 5$ のシルト質ないし砂質ローム層では、約40.0mまで打ち込むことができる。
- (3)  $N > 40 \sim 50$ の砂れき層に打ち込むことは非常にむずかしい。したがって、支持ぐいをよく締まった支持層へ十分打ち込むことはできないと考えてよい。
- (4) 打ち込みが可能な土質においては、非常に速い速度で打ち込むことができる。

#### b) ディーゼルパイルハンマー40型

- (1)  $N < 5$ のシルト層および深度15m以上の $N < 10 \sim 15$ 程度の砂層では、十分な爆発がおきにくく、打ち込み能率が非常にわるい。
- (2)  $N > 50$ の砂れき層には、径1000mm以下の鋼管ぐいを8.0~10.0m程度貫入させることができる。
- (3)  $N > 25$ 程度のローム層(砂質)では、10.0m程度貫入させることができる。
- (4)  $N > 80$ の風化岩には、ほとんど打ち込むことができないと考えてよい。
- (5) 上層部に $N > 15 \sim 20$ の砂質土(主として砂、砂れきなど)が、10.0~15.0m以上ある場合には、打ち込み抵抗が増大し、目的の打ち込み深度まで打ち込むことがむずかしくなることがある。

### 3.3 土質条件、打ち込み条件による各ハンマーの選定規準

ハンマーの選定条件は、各ハンマーの特性によって決定されるものであろうが、現在のところ十分な施工実績もないので、完全な選定規準とすることはむずかしい。

したがって、以下に述べることは、選定規準の目安と

いう程度である。

a) パイロパイルハンマーV-5

- (1) くいをガイドなしに垂直に打ち込むときに最適である。
- (2) 上層部より比較的軟い( $N < 5$ )地層が一様に続いている場合には、打ち込み速度が大きいので適当である。
- (3) ある期間放置して、再打ち込みを行なうときには不適当である。
- (4) よく締まった( $N > 50$ )砂れき層に1.0~2.0m以上打ち込むときには適当でない。
- (5) 途中で比較的締まった( $N > 25$ )砂層とか、硬い( $N > 10$ )粘性土を打ち抜いて、さらに深く打ち込む場合には不適当である。
- (6) 一般に、支持層に1.0~2.0m以上必ず打ち込まねばならないような場合には不適当と考えてよい。

b) ディーゼルパイルハンマー40型

パイロパイルハンマー V-5 以外で、大口径鋼管ぐいの打ち込みに使用できるハンマーとしては、現在のところディーゼルパイルハンマー40型以外にはないので、一応 V-5 で不適当な場合には、このハンマーが適当といわざるを得ないが、これはあくまでも現状で考えて適当ということであって、十分であるということではない。

- (1) 途中で比較的締まった( $N > 25$ )砂、砂れき層などが厚さ10.0~15.0m程度あったり、地層が変化しているような場合に適当である。
- (2) 支持層( $N > 50$ の砂れき層など)に2.0m以上打ち込むときに適当である。
- (3) ある期間放置して、再打ち込みを行ない、目的の支持層に打ち込むことができる。
- (4) 打ち止り状態を確認し、各ぐいの打ち止り状態を一様にそろえるときに適当である。
- (5) 上層部(G.L.-20.0m以浅)が比較的軟い層である場合には、あまり適当でない。

なお、V-5 と 40 型のハンマーをそれぞれ単独に使用しないで、各ハンマーの特長を生かして併用すると、打ち込み精度とか施工能率の点で、かなりうまみを発揮することができるので、実際の施工にあたっては、この点を考慮する必要がある。

### 3.4 大口径鋼管ぐい打ち込み時の注意

施工時の注意としては、打ち込み設備ならびに段取りなどに対する注意も含まれるのであるが、これらに関するものは省略し、主として打ち込み時の注意について施工例で気付いた点を列挙してみよう。

① 大口径鋼管ぐいの打ち込みにおいては、くいとくい打ち機の全重量が約20~25t程度になるので、これらの重量物を容易に運搬、取扱いができるクレーンが必要である。クレーンとしては、トラッククレーンがよいようである。

② 大口径鋼管ぐいは一般に軟弱地盤に打ち込まれる場合が多いが、このような場合には機材搬入路のトラフィカビリティ、ならびに打ち込み場所の地盤状況を十分に調査しておくこと。これまでの例では、1.0~2.0m砂質土(山砂など)を敷いて仮道路を造り、やぐらを設置したりしている。

③ 鋼管ぐいは一般に開端の状態で、先端部には特殊な加工を行なわないで打ち込むことを原則としているが、大口径鋼管ぐいの場合には、先端の変形防止上、ならびに管内土の閉そく効果に対して有効であるので、先端部に1.0~1.5m程度の十字形などの仕切り板を設けてもよい。

④ 単管の長さは打ち込み能率の点から、状況の許す範囲内(運搬、やぐらなどの制限内)で、最大の長さのものを使用すること。一般には、10.0m以上のものを使用している。

⑤ 大口径鋼管ぐいは直径が大きいため変形しやすく運搬、積み置きにおいては、この点を十分に注意すること。特に、直径1000mm以上のものについては、変形防止のために特別な処置を講じる必要がある。

⑥ また、建て込み時にも、この点を十分に注意すること。

⑦ 建て込み時のぐいの垂直度(鉛直度)は、2方向よりトランシットにより入念に調整すること。特に、下ぐいの垂直度には十分注意して建て込み、打ち込む必要がある。

⑧ 鋼ぐいの特長の一つに溶接継手によることがあるが、大口径鋼管ぐいにおいても、継手の溶接には十分注意して、完全な継手を形成する必要がある。

すなわち、大口径鋼管ぐいでは継手溶接の一般的注意はもとより、次の各点についても、十分注意しなければならない。

- i) 大きな水平力を受ける場合は、地下15.0m以浅にある継手には、あて板などによる補強も考慮する。
- ii) 継手部で下ぐいと上ぐいの断面がくい違うことがあり、このようなときには、十分くい違いを修正して溶接を行なう。
- iii) 継手溶接を請取り制にすることが多いが、この場合には、適正な溶接が行なわれるように十分管理を行なう。

iv) 上ぐいを継ぐときに垂直度の調整を行なうと、しばしばルート間隔のあきが不均等になることがあり、このような状態で溶接を行なってはならない。

⑨ 3.1 に紹介した施工例の、建て込み、溶接、打ち込み(ハンマー作動)の各所要時間は表-7 に示すとうり、この表によると、溶接時間の全体に対して占める割合はかなり大きく、打ち込み能率を上げるためには、溶接時間の短縮を計ることが必要である。

したがって、溶接工は最少限2人は必要であり、特に直径1000mm以上の鋼管ぐいでは、3~4人程度の溶接工を使用する準備をすべきであろう。

なお、表-7 では、建て込み時間も大きい、これは試験的の施工であったため、不慣れによる点が大きく、その後の本工事では、ほとんどの場合単管1本当りの建て込み時間は10分前後となっている。

⑩ 打ち込み能率に大きく影響をおよぼすことに、打ち込み設備の故障があり、これらのうちでも、ディーゼルパイルハンマーの故障は致命的であり、施工例においても、このハンマーの故障のために、2~7日間打ち込みを休止した場合が2~3回あった。

したがって、直接担当者(下請を含めて)は、使用機械(やぐらなども含めて、特にディーゼルパイルハンマー)の使用法や特性を熟知し、十分の保守管理を行ない、適正な使用をするようにする。

ディーゼルパイルハンマーにおいては、20~30分以上の連続運転をやめると同時に、3.2.1のb)に述べた打ち込み限度を越えないようにすること。特に、総打撃回数のは半は打ち止りまでの3.0~4.0mの打ち込みに費やされるので、このあたりでは十分注意すること。

⑪ パイロパイルハンマー V-5 を使用し、ぐいを垂直に打ち込む場合には、第1本目のぐいが5.0m以上貫入するまで、ハンマーを少し釣った状態で作動させ、しかる後にハンマーをぐいに完全にあずける。

⑫ パイロパイルハンマー V-5 を使用する際に、ボルト溶接によってハンマーとぐいを緊結する方法は施工能率や施工精度がわるいので、この方法は改善する必要がある。

⑬ ぐい先端が締まった砂層(砂れき層)や硬い粘土層に打ち込んだときに、次の単管を継ぎ足さないように土質条件によって単管の継ぎ足し位置を考慮する。特に、打ち止り付近で長尺の単管(3m以上)を継ぐと、十分に支持層へ打ち込むことができなくなるので注意すること。

⑭ 打ち込みはできるだけ速やかに行なうようにし、打ち始めたぐいはその日のうちに打ち込みを完了するようにして、できるだけ途中で打ち止めないようにする。

⑮ 次のことは、ぐい打ち工事については当然であるが、特に、大口徑鋼管ぐいの施工例が少ないので、今後

施工例 名称	ぐい 名称	単管 本数	建て込み 単管1本当り	溶 接		所要時間の合計			備 考
				継手1個所当り	人 員	建て込み	溶 接	打ち込み	
I	A	5	36~70 55	68~145 88	1	273	342	222	(1) 所要時間の単位は分 (2) 建て込みおよび溶接時間では、 上段は所要時間の範囲を、下段 は平均を示す (3) 溶接人員で *を付したのは自動 溶接機の台数 (4) 打ち込み時間で *を付したのは V-5 による全所要時間 (5) 溶接は3~4層である
	B	4	25~43 33	67~92 75	1	133	224	205	
II	A	4	7~20 12	20~32 25	2	49	74	212	
	B	4	4~18 12	19~32 24	2	48	71	254	
III	A	2	20~30 —	約 120	1	—	—	5* 63	
IV	A	2	20~30 —	同 上	1	—	—	120*	
	B	2	20~30 —	同 上	1	—	—	36*	
V	A	5	15~48 28	33~85 54	2*	138	217	15* 100	
	B	5	13~60 28	34~60 52	2*	138	208	17* 80	
	C	5	16~25 20	25~38 30	2*	101	118	19* 150	
VI	A	4	10~13 12	40~90 65	2*	—	—	180	
	B	4	— 10	— 50	2*	—	—	100	

表-7 施工例における、ぐい建て込み、溶接、打ち込み所要時間



の資料とするために、少なくとも次の諸測定を行なっておくようにする。

- i) 所要時間と年月日時刻
  - ・ 建て込み(使用機械種別, 台数, 作業員)
  - ・ 溶接(使用機械, 溶接工, 補助員, 溶接仕様)
  - ・ 打ち込み(やぐら, ハンマー, 作業員)
  - ・ 休止(理由)
  - ・ その他(段取り, 準備)

ii) 打ち込み状況

ディーゼルパイルハンマーの場合:

- ・ 貫入50cmごとの打撃回数(総打撃回数)
- ・ 打ち止り付近の1打撃当りの貫入量
- ・ 打ち止り付近のリバウンド量
- ・ 打ち止り付近のラムの落下高さ
- ・ 管内土上面の深度

パイロパイルハンマー(V-5)の場合:

- 各深度における,
  - ・ 消費電力, 電流, 電圧(ノッチ数: 自動, 手動)
  - ・ 貫入速度
  - ・ 振動状況(貫入量, 振幅)

なお, ( )内は併記しておくべき事項であり, 上記以外のくい施工管理上必要な事項は当然記録しておく。

## § 4. あとがき

以上, 大口径鋼管ぐいの施工性のうちで,

- ・ くい打ち込み設備
- ・ 各ハンマーの打ち込み能力と土質条件およびその選定標準
- ・ 打ち込み時の注意

### <参考文献>

- 1) 大口径鋼管ぐい(径1.5m)の打ち込みと工費について: 藤田圭一, 他2名: 土木学会年次学術講演会(第20回)講演概要, 1965.5

### <参照資料>

- 2) 主要道道札幌沼田線江別市地内新石狩大橋架設工事の内基礎ぐい試験報告書: 拙稿: 清水建設研究所報告書, 1965.2
- 3) 広島東洋工業大口径鋼管ぐい試験報告書: 拙稿: 清水建設研究所報告書, 1964.5
- 4) 水島大型鋼ぐい試験報告書: 拙稿: 清水建設研究所報告書, 1963.2

などに関する一般的事項について, これまでの大口径鋼管ぐいの施工例を基にして, できる限り詳しく考察を行なってきたつもりである。

くい打ち込み設備については, 小口径鋼管ぐいの場合と原理的に変るところはないが, 実際には, 現在わが国で用いられている最大級のハンマーとかやぐらが必要である。また, キャップについても, その設計製作において, 小口径鋼管ぐいの場合と同じにできない点もかなりあるので注意する必要がある。

各ハンマーの打ち込み能力と土質条件およびその選定標準については, パイロパイルハンマー V-5 とディーゼルパイルハンマー40型に分けて, それぞれについて述べたが, 結論的には, 特殊な場合を除き, ディーゼルパイルハンマー40型を使用することを原則とし, このハンマーで打ち込み不能の場合には, 一応それが現状における打ち込みの限界であると考えらるべきである。

打ち込み時の注意については, 主として大口径鋼管ぐいの場合にのみ考えられる注意点について述べた。

しかし, 先にもしばしば述べたように, 現状では大口径鋼管ぐいの施工実績が非常に少なく, 十分にその意をつくすことができなかつた点も少なくない。

今後, 臨海工業地帯などの軟弱地盤において, 大型構造物の建設が盛んになるとともに, 大口径鋼管ぐいが使用される機会も急速にふえるものと考えられ, それらの施工に際して, この小論がわずかでも資するところがあれば幸いである。

最後に, 本報告書を作成するにあたり, 貴重な資料のご提示をいただいた北海道支店の鈴木豊太氏ならびに本社土木部の藤井薫氏をはじめ, 試験施工その他において協力いただいた各位に, 付記して謝意を表します。