

講座

杭施工の問題点とその対策

2. 打込み杭の破損

あん びる ただ お
安 藤 忠 夫*

2.1 ま え が き

打込み杭というのは、既製杭を“打込み”という作業によって地盤内に設置した杭の一般的呼称であるが、杭の施工法としては最も歴史の古いものである。工法が比較的単純なため、あまり余計な施工上の手数が入らず、信頼性の高い工法であるとの認識が従来からあって、事実これまでの杭に関する各種の支持力公式は打込み杭を対象に考えられたものが大半であった。

それでも過去いろいろと打込み杭の破損の問題はあった訳であるが、最近においても、杭材や施工機械についての改良発展が著しいにもかかわらず、筆者の身近な手応えでは打込み杭の施工に関するトラブルはあまり減少したようにも感ぜられない。むしろその原因は複雑多様化するとともに、考えられる欠陥も大規模化しつつあるように思われる。

たまたま講座委員会が本講座のために募集した杭の施工上の欠陥に関する多数の資料¹⁾の内、打込み杭に関する資料20数例を入手する機会を得た。これらの資料を基に、同委員会より事故例の分析評価を依頼された訳であるが、通覧するに設計条件から始まって、地盤条件、杭材種及び寸法諸元、更には施工法などの組合わせの差異から、生ずる杭の破損も極めて雑多なように感ぜられた。そこで多少とも共通性あるいは類似性を把握するため多少の分類を行い、その結果を考察するとともに、杭の破損防止に対する若干の所見を述べることにした。

2.2 破損事故例の分類

分類に当たっては、破損例について多少の類型化を試みた。また類型化に当たっては巻末に掲載した文献を参考とした上で筆者の主観を加えてまとめた。破損事故調査資料における杭材種は鋼管杭とPC及びAC杭であるので、PC杭とAC杭では本質的にあまり差はないものと考えて、類型化は鋼管杭と既製コンクリート杭の二つに分けている。なお最近は鋼管を巻いたコンクリート杭（鋼管コンクリート杭）も使用されるようになってきているが、本文に用いた資料の中には事故例は報告されていない。

2.2.1 鋼管杭の破損のタイプとその原因

鋼管杭の主要な破損のタイプは次のように考えられる。

- i) ちょうちん座屈
- ii) 円形断面の座屈（閉端杭）
- iii) 杭端部のめくれ
- iv) 継手部の破損

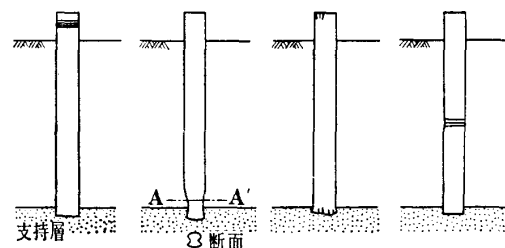
以上の破損のタイプを略図として図-2.1に示すほか、考えられる原因を簡単なコメントで表-2.1に記した。

2.2.2 既製コンクリート杭の破損のタイプと原因

- i) 杭頭部の破損
- ii) 水平ひび割れ
- iii) 曲げひび割れ
- iv) たてひび割れ
- v) 杭先端部の破損
- vi) 継手部の破損
- vii) 杭の圧壊

上に述べた ii)~vi)の現象は地盤中で生じているから、気付かないでそのまま打ち込んでいると破損の部分で杭が圧壊する。この圧壊はどこで生ずるかわからない上、そのまま杭を打ち込んでいると圧壊が進行するので、一見杭の全長を打ち込んだように錯覚する場合がある。

以上の破損のタイプを略図にして図-2.2に示すほか、考えられる原因を簡単なコメントで表-2.1に記した。



1)ちょうちん座屈 Ⅱ)円形断面の座屈（閉端杭） Ⅲ)先端部のめくれ Ⅳ)継手部の破損

図-2.1 鋼管杭の破損事故例

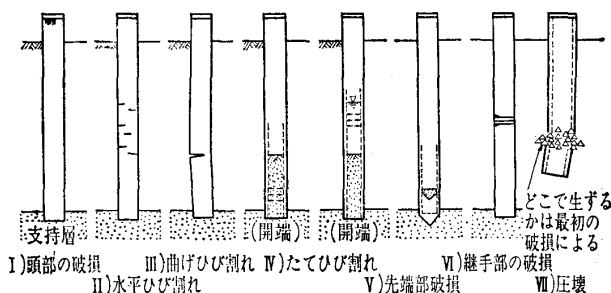


図-2.2 既製コンクリート杭の破損事故例

* 戸田建設(株) 技術開発センター 次長

講 座

さて以上の分類に従って地盤条件をも加え、破損の発生件数を整理したものが表—2.1である。資料数も少なくまた重複している例もあるので一概には断定できないが、施工上からは杭頭部の破損や継手部の破損など、基本的な施工条件が満足されていないと見られる例が比較的多い。一方地盤条件に関しては破損の原因は分散しているが、杭の施工上地盤条件を無視し得ないことを意味しているといえる。そこで破損状況を地盤条件に対応させて頻度を見たのが表—2.2であるが、支持地盤の打撃中の事故が多い他、中間砂層への打撃中の事故も無視できないことがわかる。これらの資料調査を通じて、ある地盤条件及び施工条件を前提とした場合、設計上採択された杭材種及び断面形状が既に問題であるようなものもあるように見受けられたので、多少の主観を交えて設計上の原因と施工上の原因に分けて分類したのが表—2.3で、特に地盤条件によっては杭の施

工が困難な場合のあることを示している。

以上いろいろ見方をかえて杭の破損状況を分析した訳であるが、一言でいえば地盤条件を前提として設計条件及び施工条件を含めて、杭の破損現象及びその原因は種々雑多で根本的な解決は容易でないように感ぜられる。しかしながら、これらの調査を通じて多少の所見を得たので、次章でそれに触れるとともに杭の破損防止に対する多少の対策を述べることにする。

2.3 杭の破損に対する要約と対策

2.3.1 杭の破損に対する所見

前章において杭の破損の実態を調査分析した訳であるが、資料数に限りがある関係上精確な把握は困難ではあるが、ある程度の傾向は反映しているものと考えられる。その調査結果を通じていえるのは、非常に初歩的な施工ミスから、

表—2.1 事故状況と杭及び施工時の条件、地盤条件との関連性（延件数）

	破損事故	杭材料・先端形状・打込み方法	頻度	地 盤 条 件	
					頻度
鋼 管 杭	ちょうちん座屈	頭部補強リングの下に応力集中が起こり座屈する。杭の傾斜、キャップなどの不備による偏打	3	支持地盤、あるいは中間砂層が非常に堅い場合無理に打ち込むと弱い部分で応力集中が起こる	1
	円形断面の座屈	杭の肉厚が薄い場合、ハンマーの容量選定が適さない場合	1	土丹層などを打ち込む時、過剰間隙水圧、あるいは排除した土の圧力により座屈する	
	先端部のめくれ	杭の肉厚が薄い場合、杭頭部とキャップの当りの悪い場合		先端部が転石、流木、浮石などに当たってめくれる	2
既 製 コン クリ ート 杭	頭 部 の 破 損	杭の傾斜、キャップと頭部の当りが悪い場合、ハンマーの容量が適さない場合、クッション材不備	6	支持地盤が傾斜している場合、杭先端部がすべり、杭が傾斜して偏打する	2
	水平 ひ び 割 れ	軟弱層に打ち込む場合に、過大な容量のハンマーを使用した場合	1	軟弱地盤を貫通する際の反射波による引張応力が作用する	3
	曲げ ひ び 割 れ	先端形状がペンシル形シュウの場合、傾斜支持地盤に対してすべりやすく曲げが作用する	3	支持地盤が傾斜している場合、先端部がすべり、それによって杭体に曲げが作用する	3
	たて ひ び 割 れ	先端開放杭の内部に詰った土の内圧によって円周方向引張力が作用する	3	透水層を打ち込む時に、内部の水によるウォーターハンマー現象で円周方向引張り力が作用する	1
	先端部の破損	ペンシル型シュウがパンチングシアーによって中空部へ抜け上がる		先端地盤が非常に堅い場合、杭先端部が圧壊する	3
共 通	継手部の破損	継手部の溶接不備	6	先端部に障害物がある場合、杭がそれをよけて杭体に曲げが作用し、継手部で破損する	2

表—2.2 事故状況と地盤条件との関連頻度（延件数）

	事故状況	支 持 地 盤			小 計	中間層の有無		小 計	支持地盤が傾斜している場合	玉石などの障害物がある場合
		砂 層	砂 礫 層	土 丹 層		中間砂層有	砂層と粘土層の互層			
鋼 管 杭	ちょうちん座屈	2			2	3	1	4	4	
	円形断面の座屈									
	先端部のめくれ									2
既 製 コン クリ ート 杭	頭 部 の 破 損	2		1	3	2	1	3	2	
	水 平 ひ び 割 れ		2	1	3	3		3		
	曲 げ ひ び 割 れ			2	2				2	
	縦 ひ び 割 れ	3	2	1	6	4	1	5		
	先 端 部 の 破 損	1		2	3		1	1	3	
共 通	継 手 部 の 破 損		1		1	2		2		2
	合 計	8	5	7	20	14	4	18	7	4

表一2.3 事故状況と推定される原因との頻度

破損例 34例

杭材料	事故状況	原因		設計上の原因				施工上の原因				どちらともいえない原因						合計
		推定される原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	設計上の原因	
鋼管杭	ちょうちん座屈		1		3		3	1	1	2								11
	円形断面の座屈						1											1
	先端部のめくれ			1			2							2				5
既製コンクリート杭	頭部の破損		1			1	2	2	1				2					9
	水平ひび割れ	4	1									3						8
	曲げひび割れ	1	1			1			1				2					6
	縦ひび割れ		1			1	1								2	1		6
	先端部の破損	2	4			1	1						3					9
共通	継手部の破損					3				6				2				11
合計		6	8	4		13	5	3	4	6		3	7	4	2	1		66

現在の施工技術では消化できないと考えられる杭の使用条件から不可避免的に生じたと見られる破損まで、技術的レベルはさまざまであるが、ここで考えられる重要な問題がある。

基礎工法一般についても同様なことがいえるのであるが、既製杭の打込み工法について考えてみても、最近約20年間の建設材料や建設機械の技術革新が最も急速に発展した時期といえる。杭材種について見るとそれまでの木杭やコンクリート杭に代わり、昭和30年代半ばから鋼管やH形鋼が杭材として積極的に用いられるようになり、材質の均質性や強度上の優位から従来の杭では不可能であった大きな杭耐力で深い杭基礎の設計が可能となった。一方そのころからコンクリート杭にも改良が加えられ、遠心力成形のプレストレスト・コンクリート杭（PC杭）の出現によって、それまでのコンクリート杭（RC杭）の使用分野にとって代わったばかりでなく、鋼杭の使用分野への競合ははかられ、更には圧縮強度が800 kg/cm²以上のオートクレーブ養成によるPC杭（AC杭）の出現によって、現在ではコンクリート系の杭によっても極めて大きな杭耐力で長尺の杭が施工されるようになってきている。

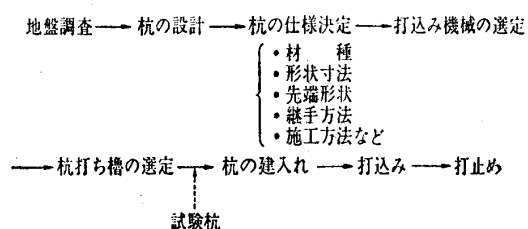
これに対して打込み機械の方も杭材の強度増加と大断面に相応ずるようになり、当初導入使用され始めたころのジーゼルハンマーや振動杭打ち機に比べて、現在では極めて大型の機種まで用意されていることはご承知のとおりである。

一般に一つの基礎工法を考えた場合、使用する材料や機械というようないわゆるハードな技術のほかに、そのような材料及び機械を駆使して、どのような施工の仕方をするによって望ましい品質の基礎を造るかという、いわゆるソフトな技術が組み合わされることによって初めて工

法として完結するものといえる。本題の打込み杭は、工法的には他の基礎工法に比べればはるかに施工手順が簡単で施工ミスの入り得る余地は比較的少ないように見えるが、ハードな技術としての打込み機械や杭材料の進歩が著しいだけに、ソフトな施工技術がうまくかみ合わされないと、それだけその跳ね返りが大きいといえる。打込み杭の施工とは、既製杭をそのあるがままの姿で打込みという手段で地盤内の所定の深さに設置することを理想とすれば、地盤条件及び与えられた設計条件をふまえて、いかに適切な施工技術を駆使することによってその理想に近づけるかが施工上の課題となろう。このような要点をつかんだ施工をすることにより、前章に挙げた杭の破損現象のかなりの部分を防ぐことができると思われるので、次項で施工上の要点を述べることにする。

2.3.2 杭の破損防止に関する施工上の要点

打込み杭の設計から施工までの主要な作業手順は図一2.3のように考えることができる。同図において打込み機械の選定のステップから施工及び施工管理の対象となるステップであるが、他の杭工法に比べれば施工手順はかなり単純であるといえる。試験杭というステップは常に行われるとは限らないが、実施される場合は設計上及び施工上双



図一2.3 打込み杭設計施工上の作業手順

講 座

方の観点から実施される試験といえる。一見単純に見える打込み杭の施工においても、適切な杭材及び打込み機械の選択と施工の熟練が伴わないと重大な杭の破損につながる。このため学会、公共団体などでも例えば文献 5)～9) に示すような施工標準を公開し、各企業もそれらに準拠した施工要領を準備しているところも多い。従って施工に当ってはこれらの原則的な指針をよく理解することが必要であるが、特に重要と思われる施工並びに施工管理上の要点について以下に述べることとする。

施工上のミスで現れやすい破損の原因は表 2.3 にもその関連性が示されており、おおよその傾向を表わしていると考えられる。従って施工及び施工管理上の要点として次の諸点が挙げられる。

- i) 作業地盤の整備
- ii) 適切な杭打ち機を選択
- iii) 適切な杭打ちやぐらの選択
- iv) 適切なキャップ及びクッション材の選択
- v) 建入れ方法及び建入れ打込み精度の保持
- vi) 継手部の施工

施工管理の要点としては上記項目の外

- vii) 打止め深さ及び杭体の健全性の管理方法

- viii) 試験杭と施工管理への利用

などが重要であろう。

以上の諸点のいくつかについて以下に簡単な解説を述べることとする。

- i) 作業地盤の整備について

作業地盤はそのままでは必ずしも地形的に平坦であるとは限らない上、取り壊した建物の基礎などの障害物が残存していることもある。更に軟弱な地盤では杭打ちやぐらの安定性を阻害することもあり得るので、精度の良い打込みをするためにはまず足元を固めること、また残存障害物を事前に撤去することなどは施工上の基本といえる。この辺をおろそかにすると、杭の偏打による頭部破壊やちょうちん座屈あるいは杭先端部の破壊が生じやすいこととなる。

- i) 適切な杭打ち機を選択

既製杭を地盤に打ち込むのであるから、まずその既製杭は打ち込まれる深度の地盤に対して、普通考えられる打込み方法を想定して十分な強度のものを設計上採用する必要があるが、それを受けて杭体を破損させず、かつ妥当な工程内で作業を遂行し得るよう、適当なハンマーの落高で所要の打撃エネルギーの得られる杭打ち機を選定することとなる。換言すれば打撃エネルギーが大き過ぎても小さ過ぎてもいけないということであって、エネルギーが大き過ぎると、一見施工速度が向上するように思われるが、杭頭部や先端の破壊、継手部の破損、鋼管杭ではちょうちん座屈が出やすく、一方エネルギーが過小であると所定深度までなかなか打ち込めないばかりでなく、多数回の打撃による杭頭部の疲労破壊や、過度のリバウンドの発生による杭体の

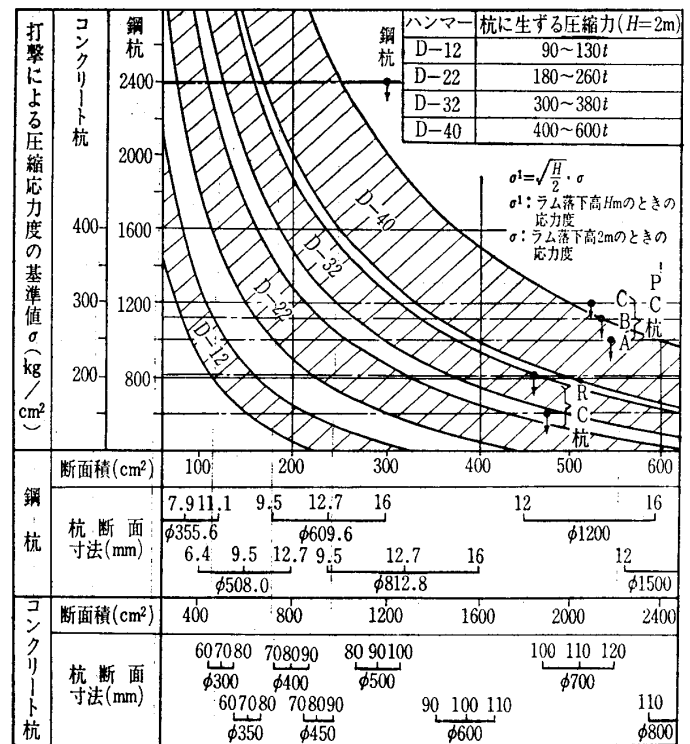


図-2.4 打撃により生ずる杭の応力度とハンマーの選定¹¹⁾

引張りき裂の発生などが考えられる。従って杭材と地盤の双方をにらんで、適切な杭打ち機を選択に関する施工業者としてのノウハウがこの辺にあり得て良さそうなどである。

杭打ち機としてはドロップハンマー、スチームハンマー、ディーゼルハンマー及びパイプハンマーなどが知られているが、最近ではディーゼルハンマーの使用が一般的である。図-2.4は、ディーゼルハンマーの大きさの違いによる鋼杭と既製コンクリート杭の断面積と打撃応力の関係を示したもので、同図から杭断面積に見合う妥当なハンマーを選定することができる。ただし同図の著者は、杭の打込み時に生ずる圧縮応力度は鋼杭ではなるべく 2,400 kg/cm²、PC杭では 300 kg/cm²、RC杭では 250 kg/cm² 以下にすることが望ましいとしている。同図には AC杭は図示されていないが、RC杭の圧縮強度 400 kg/cm²、PC杭では 500 kg/cm² 以上に JIS で規定されており、大体その半分の応力度以下に採っているようであるから、AC杭の圧縮強度 800 kg/cm² 以上から A種では 400 kg/cm² が一つの目安であろう。

- iii) 適切なキャップ及びクッション材の選択

打撃時の杭頭部の破損原因は偏打によるものが多いが、その偏打を緩和し、合わせて杭の貫入効率を高めるためのキャップ及びクッション材の適切な使用は、杭の破損防止と杭打ち作業の効率化の上で重要である。杭頭部の破損は杭打ち作業の継続を困難にするし、場合によっては継手の施工を不可能とする。特にクッション材は、杭材及び杭打ち機双方に対する衝撃緩和による保護材としての役割も

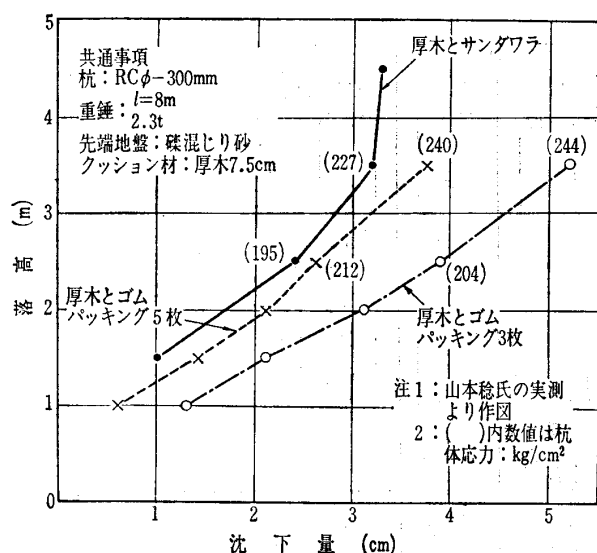


図-2.5 クッション材の差によるハンマーの落高と杭の沈下量の関係¹⁸⁾

もち、看過できないようである。クッション材としては堅木やラワン積層材のような木材やダンボールあるいは強化合成ゴムなどがあるが、最近では堅木の使用が一般のようである。

クッション材の効果を定量的に測定した例は少ないが、図-2.5はその一例で、適切なクッション材の使用は杭体応力をあまり増加させないで貫入量を増加させる効果のあることがわかる。いずれにしてもクッション材は消耗品であるが、あまり劣化しないうちに取り替えることが杭体の保護からも作業効率の上からも望ましい。

iv) 継手の溶接

現在使用されている既製杭の継手はほとんど溶接継手であってしかも現場溶接である。従って溶接の基本である溶接材料、開放形状、溶接工、溶接作業及び作業環境などについて各種の施工標準に準拠して管理することが必要であるが、特に下記の点については一層の注意が必要である。

- 開先形状とルート間隔
- 溶接工及び溶接作業
- 作業環境

まず現場における建入れであるが、開先形状とルート間隔の保持には十分な注意が必要で不良の場合は補修して後溶接する。次は溶接作業が杭打ち作業の一部のため、ややもすると無資格者が大径の溶接棒を用いて一層で溶接する事態になりかねない。更には気温や天候に対する対策に留意することが必要で、いずれの諸点も現場作業という状況をいかに克服し、十分な作業時間を与えるかの配慮が必要である。

v) 打止め深さ及び杭体の健全性の管理

杭の打止めは設計図に指示された深さまで杭先端が到達することで本来は終了する訳であるが、摩擦杭の場合を除いて支持層の深さがほぼ一定であることが事前に分かって

いる場合は、支持層へ一定量貫入させることで確実に支持杭の条件を満足させることができるから比較的問題はやさしい。これに対して支持層と考えられる土層が傾斜していたり、変化しているような場合、あるいはその敷地では地盤調査が行われず、近隣敷地の調査資料から当該敷地の支持層の深さを外挿し、杭打ち試験の結果から杭の打止め深さを定めようというような場合は非常に施工管理が難しくなる。この辺の問題については次号に掲載予定の2.2章打込み限界と打止まりに詳述されると思われるが、打止まりをどこにするかは設計上の問題でもあり設計者と協議するとともに、更に詳細な地盤調査の上で杭の予定打込み深度を事前に相互に確認することが望ましい。

打込み中の施工管理上の最も重要なデータは打撃貫入抵抗に関するものであるから、必要に応じて貫入量1mあるいは0.5mごとの打撃回数を記録し、各杭の施工記録にあまり大きな差異がないかを把握しながら施工することが必要である。この点については次項に簡単に触れているがこの記録からある程度杭体の異常を予知することができる。

vi) 試験杭と施工管理への利用

杭打ち試験は、支持層の確認や動的耐力の決定という主として設計上の目的で行われることが多いが、筆者の判断は杭の打込み深度や設計耐力は、事前の地盤調査で事前に把握されていて、杭打ち試験は設計された杭が、実際の施工法を通じて健全に所定の深さに到達させることができるかどうかの、主として施工試験の意味の方が重要と考えている。従って、試験杭では打止め時の貫入量のみでなく打込み中の貫入量をも記録し、杭体内の異常の有無をミラー、電燈の釣下げあるいはテレビカメラの挿入などによって確認し、本杭の施工要領の規準とする。この試験を通じてタイムスタディーを記録すれば本杭の施工工程の把握にも役立つであろう。

特に本杭にやっここを使用する場合は、是非直打ちとやっここ打ちの試験杭を併用して、同じ土層で直打ちとやっここ打ちで貫入抵抗の差異を把握しておくことが必要である。

2.3.3 杭の破損に関する施工以外の問題

前項で杭の破損防止に関する施工上の要点について述べたが、杭の施工とは実際の地盤に設計図書に定められた材種及び形状寸法の杭を所定の深さに設置する作業であるから、地盤条件及び設計条件の中に施工条件だけでは防ぎ得ない破損の原因もあり得るものと考えられる。端的にいえばくぎよりも堅い木にくぎを打ち込むような問題であって、いい替えれば施工段階以前に杭の破損を招来するような問題が考えられないかという点である。

先にも述べたように、杭材種の多様化と高品質化に伴って杭の形状寸法も大型化し、杭打ち機械も大形化してくると当然杭の使用条件も過酷になってくる。すなわち大きな支持力を得るために密度の高い中間層を打ち抜いたり、あ

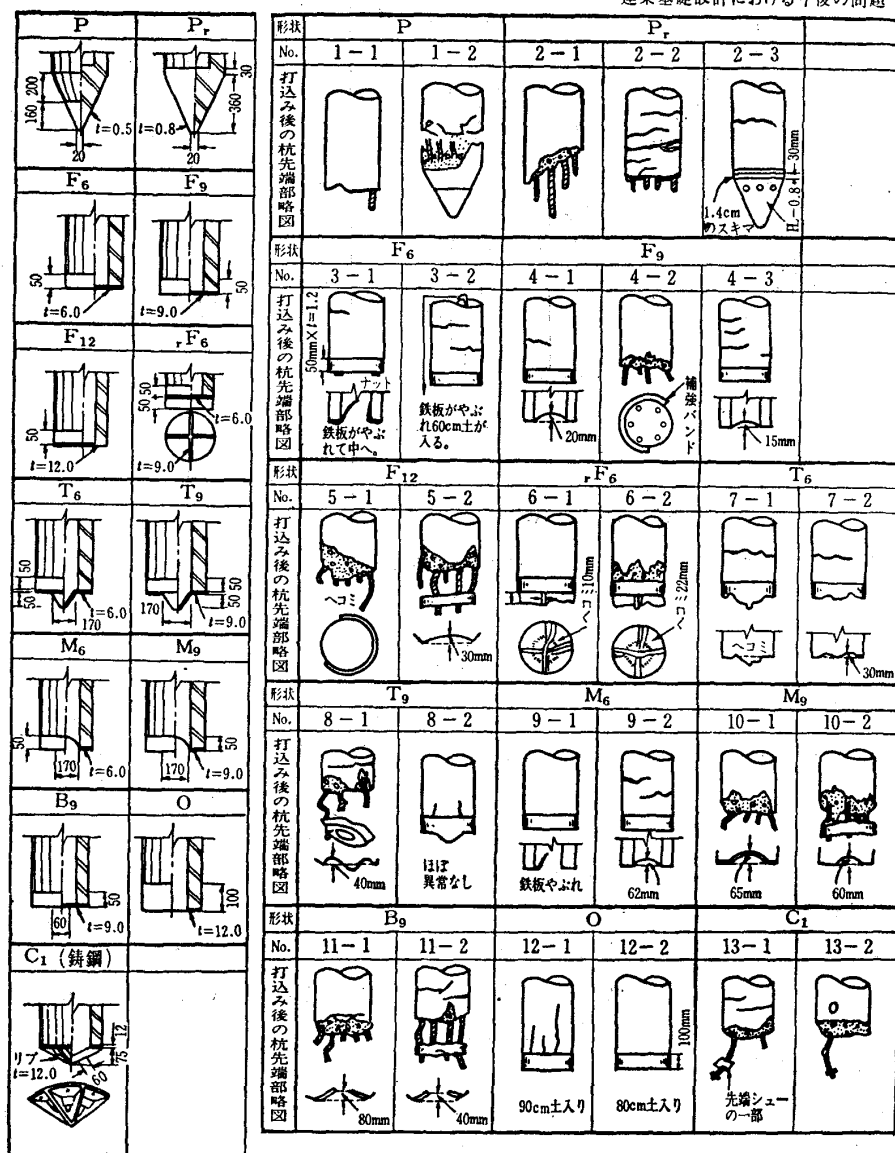
講 座

るいは深い支持層に到達させるため長尺の杭を設計することになる。地盤というのは与えられた条件だから、その条件をふまえて適切な杭材の選択による設計と施工がうまくつながらなければ、杭体の破損なしに地盤中に設置するという理想からはずれることとなる。

そこでまず材料としての杭を取り上げてみると、主要な杭体を構成する材料は鋼杭にあっては鋼材であるから構造材料として力学的に優れているのは言をまたないし、既製コンクリート杭にあっては RC 杭から PC 杭、更には圧縮強度 800 kg/cm^2 の AC 杭の出現と杭本体の圧縮強度は目覚ましく向上してきた。しかしながら杭として使用するには、当然ながら部材に杭先端及び頭部の加工や継手としての機能をもたせないと杭とは言えない訳で、そのような部分的な構造強度を含めて杭としての機能が発揮できなければならない。特に杭先端部は直接地盤の貫入抵抗を受ける位置にあり、また杭頭部は杭打ち機からの打撃力にさらされた上、場合によっては継手としての機能も保存されなければならない。現在の杭の仕様は打込み杭の設計の対象となる地盤及び施工法の中で、どの程度汎用的な性能をもっていると考えるとよいのであろうか。例えば RC 杭の使用が一般であったころの

先端形状は、ペンシル形の尖閉端が普通であったが、PC 杭から AC 杭の使用に移行するにつれて、いろいろな先端形状が考案され、使用されている。図-2.6 はコンクリートパイル製造業者 7 社が自主的に行った種々の先端形状をもつ AC 杭の打込み試験の結果を示したものであるが、打込み地盤は $N > 50$ の砂礫、または砂岩で、打込み深さはよくわからないが総打撃回数は 1,000 回以下である。この結果をどのように見るかであるが、実験者は図中の M6 のような薄肉鉄板による凹閉端が、コンクリート本体への影響も少なく汎用的であるとしている。このようなメーカーとしての自主的努力は、ユーザーサイドから見て歓迎すべきことであり、また敬意を払うものであって、現在の AC 杭の先端部が薄肉の凹閉端が主流となっているのも、この辺の裏付けによるのであろう。閉端杭はユーザー、特に施工管理者にとっては杭体内部が中空であるだけに、打込み

建築基礎設計における今後の問題



(a) 打込み前の形状

(b) 打込み後の形状

図-2.6 AC杭の打込み時先端形状試験¹⁴⁾

精度や杭体の異常などの直接的な確認がしやすい大きな利点をもっている。しかしながら現在の先端形状はどの程度の地盤では十分な強度をもち、どのような地盤に対しては不十分かその辺のノウハウがもう一つ定かでない。ユーザーとメーカーの情報交換が望まれる点である。

最近は大耐力をもたせた長尺杭の設計が非常に多くなっている。これは杭材料及び施工機械の発達もたらした当然の傾向と思われるが、それらを現在の施工技術でつなげた場合多くの問題を含んでいるように思われる。

図-2.7 に示すような地盤に 68m もの長尺の AC 杭が打込みによって施工された。先端形状は初めは凹閉端であったが、施工能率の低下や杭の破損事故があったため、残余の大多数の杭は凹閉端の中央部に $100 \text{ mm} \phi$ の孔をあけ半閉端の状態で施工された。施工管理中打撃回数の外に杭体内部の土砂の侵入状況を観測したところ、ほとんどの杭で

土砂の侵入量から見て先端の鉄板が破れて開端杭の状態になっているのではないかと懸念がもたれ、また打撃貫入抵抗に異常を認めるような杭が数多く出てきた。この状況から懸念される破損は次のようなものである。

- 1) 先端シュー及び近接部分の杭体の破壊
- 2) 杭先端が開端状となることによる杭体のたて割れ
- 3) 杭体の破損

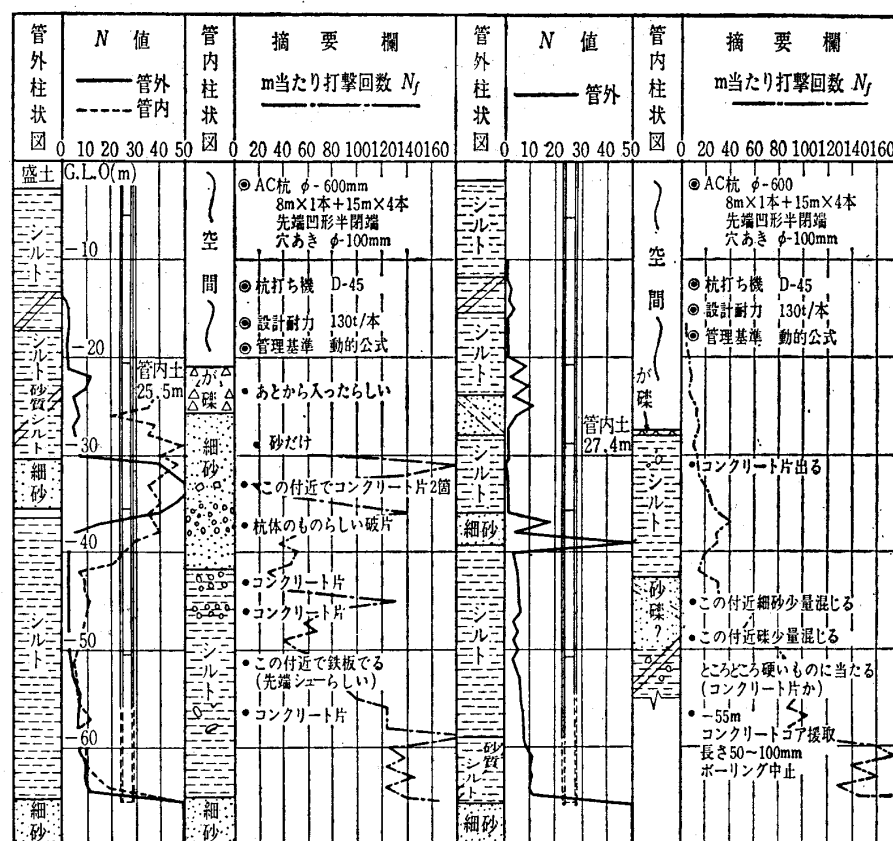
この地盤は GL-30 m ~ 40 m の間に部分的に発達した細砂層があるが、それ以下の粘土層は洪積層と判断され、従って杭体が健全であれば、先端到達荷重はネガティブフリクションを含めて洪積粘土層の正の摩擦力で吸収される見通しであった。また2) のたて割れそのものは調査の仕様が、進行すれば圧壊の形で出てくることを予想して、主として3) の杭体の破損を杭体内の管内ボーリングによって調べることにした。

全数調査は実際上不可能なので、健全と考えられる杭2本と、何らかの不健全と考えられる杭9本を選定してボーリングを実施した。不健全という判断は主として杭の単位長さ当たりの打撃回数の記録から、

- 1) 同一杭群の中で貫入抵抗が異常に異なる
- 2) 粘性土層中で貫入抵抗のピークが顕著に見られる
- 3) 粘性土層中での貫入抵抗の増大の仕方が大きい
- 4) 高止まりしている

などの点について定量的な判断規準を作成した。先の図-2.7はその結果の一部を示したもので(a)は中間砂層の発達した地盤での判断規準は2)に相当し、(b)は中間砂層がほとんどない場合での判断規準は3)に相当する。結局不健全杭9本の内の7本に何らかの杭体異常が発見され、先の判断規準の確度はかなり高いものとして、既設の杭を見直すとともに残余の杭を施工した。この結果約1割程度の増杭となっている。

図-2.8は非常に複雑な土層構成の洪積地盤の打込み杭の施工例を示したものであるが、当初は GL-51 m の洪積砂層への支持杭として各種の杭工法が検討されたが、結局材種としては AC 杭に落ち着き、1本は直打ち、他の1本は35mをオーガー掘りした上で杭を建て込み、打ち込むという、主として施工性に関する杭打ち試験を実施した。直打ちの1本は総打撃回数約4,000回で打込み深さ GL-43.7m、他の1本は約2,000回の打撃回数で GL-42.7m



(a) 中間砂層あり

(b) 中間砂層ほとんどなし

図-2.7 長尺杭の破損と地盤性状

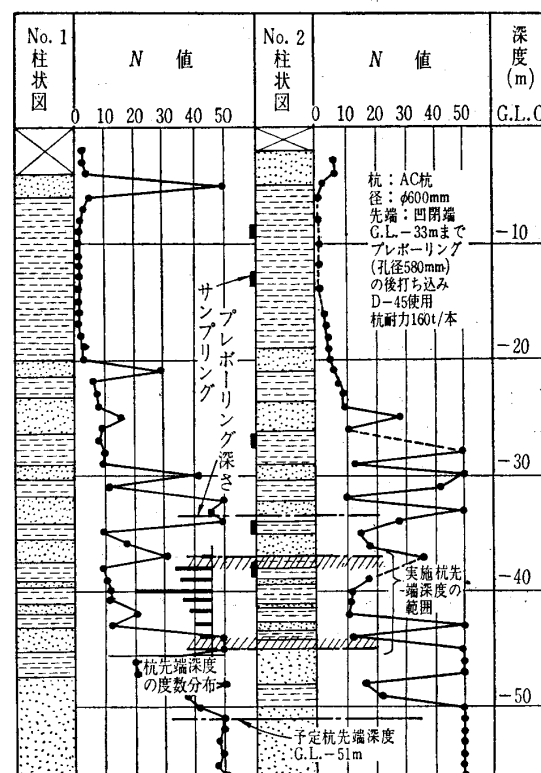


図-2.8

講 座

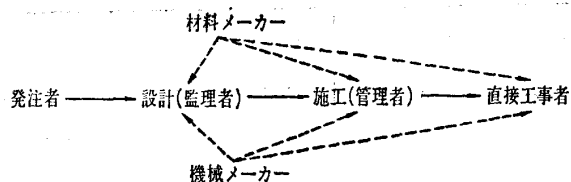


図-2.9 工事の流れ

であった。実施杭は GL-33 m までプレボーリングの上打込みで施工された。打止まり深さの確認は恐らく杭の動的公式によったものと考えられるが、杭の先端深さは図-2.8に示すような範囲にばらついた。この場合打止まり時の最終貫入量はほとんど 1 mm 以内であった。この時実施杭施工当初上杭に引張りき裂が発生し、その対策として A 種の AC 杭をプレストレス量の大きい B 種に変更してその後は問題がなかったとされるが、この結果約 7% の増杭となった。さてこのような地盤の杭基礎工法として打込み杭の場合この結果が妥当であったかという疑問が残る。もしできるだけ確実な支持層に杭を打込みで到達させたいという設計思想であるならば、鋼管杭の方が良さそうであるし、中間層に支持させるという設計思想であれば、それ以深の土層に対する土質調査を十分に行った上で適切な設計が行えそうである。この建屋はかなりの高層ビルで一部の杭に引張り力が作用するが、このような施工法を採った場合の支持力は正負の周面摩擦力を含めてどのように考えたらいのであろうか。

最近杭基礎として長尺杭の採用が多くなっているが、現状では設計条件及び施工条件を含めて技術的に明確な点が多く残されているように思われる。

2.4 結 論

以上に打込み杭の破損の実態を概観した訳であるが、何といっても施工段階でのミスの防止は重要で、それには先にも述べたような基本に忠実な施工を行うことである。このような考え方にたてば、与えられた地盤条件及び設計条件に対して、どの程度のでき映えの施工が可能であるかの見通しが事前にもてるであろう。

もう一つ重要なことは、工事という行為は発注者にある対価で商品を提供する行為であると考えられるが、工事という行為の中の主要な作業は設計とそれを受けた施工であるといえる。従って一般の商品と同様に商品化する過程に

おける材料の品質や製造技術は、すべてある信頼性が保障されている必要がある。換言すれば工事の過程において不確定要素をまき込まないということである。実際の工事には下記にその一例を示したようにいろいろな業種が直接あるいは間接に関係あることになる。この内業種の流れは一般には図-2.9の→印で示した方向に移る訳であるが、この場合それぞれの当事者は自己の両側につながる立場に対して、当事者としての責任が果たせるか否かを判断することが、不確実な基礎を造らず適正な基礎工法の確立していく常道のように思われる。

以上に述べたことは他の基礎工法はもちろん工事全般についての問題ともいえるが、部分的な技術の進歩が急激であればある程、その盲点を把握することが、すべての当事者にとって重要のように思われる。かつて建築家の黒川紀章氏がNHKの日曜対談でエッフェル塔建設にまつわる時代的背景について、当時は人間と機械の対話が可能であった時代で、現代はそれのない時代であると述べておられた。筆者なりに解釈するとハードな技術をソフトな技術でカバーしきれていないということであろう。従って今後とも施工並びに管理技術の向上を計るよう努力するとともに、施工の実態を明らかにして、少しでもそのギャップが関係者の努力を通じて埋まることを期待して結語としたい。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会: クイ施工の問題点とその対策, 講座委員会資料, 昭和53年1月(未発表)
- 2) 藤田圭一: 鋼グイの施工, 基礎工, 1973年10月号
- 3) 山肩邦男他: クイ体破損と対策, 基礎工, 1976年臨時増刊号
- 4) PCパイル工事の失敗例, 基礎工, 1976年10月号
例えば
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS 4 地業および基礎スラブ工事, 昭和49年11月
- 6) 日本工業規格 JIS A7201 遠心力コンクリートクイの施工標準
- 7) 日本道路協会: 道路橋下部構造設計指針, クイ基礎の施工編, 昭和43年10月
- 8) 日本港湾協会: 港湾構造物設計基準
- 9) 日本国有鉄道: 土構造物の設計施工指針, 日本鉄道施設協会
- 10) 安藤忠夫: 建築基礎設計に於ける今後の問題, 基礎工, 1977年2月号
- 11) 藤田圭一: クイ打ち技術ノート, 日刊工業新聞社, 昭和46年
- 12) 吉成元伸: 既製コンクリートクイの打撃応力, 建築技術, 1968年10月
- 13) 柴田道雄: 実用クイ基礎工, 設計と施工, 現代社, 昭和47年改増版
- 14) 吉成元伸: 遠心力コンクリートグイの先端構造の形状と耐力について, 基礎工, 昭和49年8月

(原稿受理 1978. 6. 13)

※

※

※