

遠心力鉄筋コンクリートくいの問題点(その1)

— くい先端部の耐力 —

井上 嘉信

小 粥 庸 夫

§ 1. 序 論

遠心力鉄筋コンクリートくいについては、これまでの研究成果を基にすでにJIS¹⁾²⁾も制定されていて、くいの構造そのものには、とくに問題とすべき点がないかのように考えられている。しかし、くいの重要な部分の1つである先端部^{注1)}の構造および強度についてみると、前記のJISにもとくに規定がなく(JIS-A-5310-1965規格本文ではふれていない)、解説に次のような記述があるのみである。

「……クイは、本来地質の異なった種々の地盤に打込まれるものであるから、先端部、継手部の構造は現場における施工方法、土質などを十分に考慮した合理的なものにするのがよい。」

と、非常にあいまいな表現になっている。

しかし、実際には、遠心力鉄筋コンクリートくいの先端部は、とくに地盤条件などを考慮することなく、図-1に示すような、いわゆるペンシル型のものが広く用いられているのが現状である。このペンシル型の先端部がなぜ用いられているのか、その理由については、慣例的にそうしているという他には明確な根拠といえるものがないようである。

また、この形式の先端部の耐力についても、今のところ実験報告もなく、その安全性を判断すべき資料すらみられない。一方、学会規準³⁾やこれまでの研究は、打込み時のくい頭の破損には多くの関心を寄せているが、く

い先端の耐力やその破損については何もふれていない。

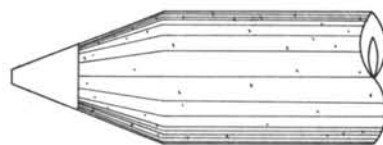


図-1 ペンシル型くい先端部

そこで著者らは、一般に市販されているペンシル型くい先端部の耐力を検討するために、この先端部に対して、くい材軸方向の静荷重試験を行なった。その結果、現在市販されているくいの先端部の耐力が、主体部の耐力の1/3程度しかないことを明らかにするとともに、それが、先端部の構造的欠陥によるものであることを指摘した。なお、この欠陥は、上層が軟弱で、下層が急に締った砂れき層や土丹層などの固い地盤があるところに、くいを打込む場合とくに問題となり、時には先端部の破壊がこの欠陥のために起こり得ることも充分考えられ、これまでのように、地盤条件を考慮せずに全ての場合にペンシル型の先端を用いることは、今後改めねばならないといえよう。

§ 2. 実験計画

くいが固い地盤に打込まれた場合を想定し、ペンシル型くい先端部に破壊を起こさせる実験装置を考えた。

くいの打込み中は、動荷重が加わるのであるが、本実験では、アムスラー試験機の静荷重をもってこれに換えた。

2.1 試験体

くい先端部試験体は全部で6体あり、そのうち3体は普通の遠心力鉄筋コンクリートくいの先端部であり、残

注1) 遠心力鉄筋コンクリートくいは、その名のごとく遠心力を用いて成型されるのであるが、それは、円筒型の主体部のみに限られ、先端部の成型には用いられない。そのため、主体部と先端部の間には圧縮耐力にして100kg/cm²前後の差が生じるのが普通である。本報では、以下、遠心力成型される円筒型の部分を主体部とよび、遠心力成型されない先端の部分を先端部とよぶ。

り3体はプレストレス遠心力鉄筋コンクリート製の先端部である。以下、前者をRC試験体、後者をPC試験体とよぶ。

2.1.1 R・C試験体：

市販品で規格6m-300mm×60mmのR・C製の3体先端から1mのところ、ハツリにより切断し切口を直径300mmの鋼製型枠を使用し、普通ポルトランドセメントでキャッピングして、本社地下実験室で10日間空中養生したものを、R・C試験体として用いた。(図-2参照)

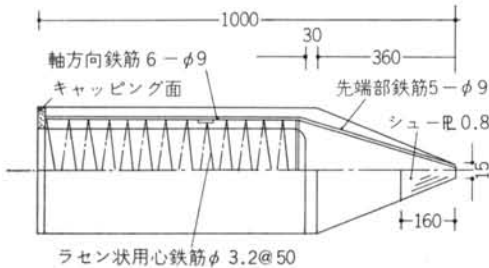


図-2 R・C製の先端部試験体

製造年月日		1966.07.22
プール養生期間		7日
コンクリート圧縮強度	標準供試体試験	493kg/cm ² (材令28日)*
	シュミット・主体部	502kg/cm ² (材令75日)**
	ハンマー測定 先端部	391kg/cm ² (材令75日)**

* メーカー側の測定
** 著者の測定

表-1 R・C製の先端部試験体コンクリート強度

なお、以下これら3体の試験体を、R・C300-1、R・C300-2、R・C300-3とよぶ。

2.1.2 P・C試験体：

直径350mmのP・C製の先端部3体、(そのうち1体は6-φ13鉄筋入り、残り2体は無筋のもの)、をメーカー

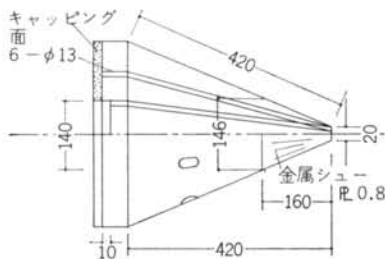


図-3 P・C製の先端部試験体

製造年月日		1966.10.15
プール養生期間		7日
コンクリート圧縮強度	標準供試体試験	442kg/cm ² (材令30日)*
	シュミット・主体部	
	ハンマー測定 先端部	435kg/cm ² (材令30日)**

* メーカー側の測定
** 著者の測定

表-2 P・C製の先端部試験体コンクリート強度

に製作させ、切口をベロセメントでキャッピングして本社地下実験室で5日間水中養生したものをを用いた。(図-3参照)

なお、以下これら3体の試験体のうち、有筋のものをP・C350-1、無筋のものをP・C350-2、P・C350-3とよぶ。

2.2 先端部台座

試験体を圧縮する時、ペンシル型製の先端部を受けるため鋼製台座を設けた。

この台座は、圧縮される試験体の単なる受けの役目をさせるとともに、くいが現場で固い層に打込まれる時の先端支持状態にできるだけ近似させるために図-4に示すような受部を漏斗状のものにした。

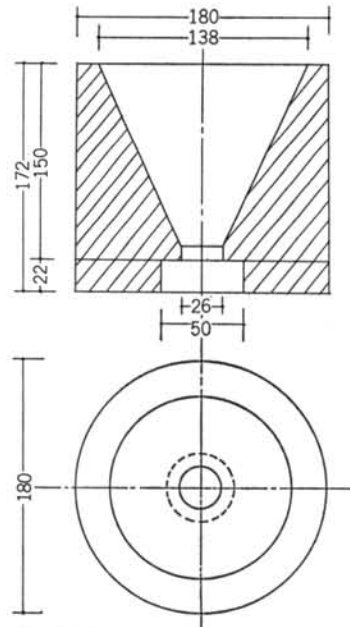


図-4 先端部台座

2.3 切口部加圧リング

P・C試験体はくい先端の部分のみであるため、主体部のつたいくいと同様な条件にするために、主体部に相当する部分として、主体部の肉厚の幅でリング状にモルタルでキャッピングして、さらにその上に図-5に示すような鋼製のリングを用いて加圧した。

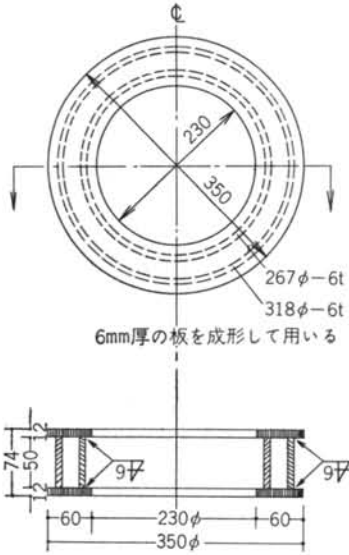


図-5 切口部加圧リング

§3. 実験結果



写真-1 R・C 300-2 セット状況

キャッピング面を下にし、P・C試験体のみ切口部加圧リングを敷き、R・C、P・C試験体とも先端部に台座を載せ、本社地下実験室200ton アムスラー型試験機を最大能力100ton に切換えて試験体軸心によって圧縮した。(図-6、図-7 参照)

実験経過について、R・C試験体は、30~40 ton で先端部金属シューとコンクリート境界線に初亀裂が生じ、さらに荷重が増加すると先端部コンクリート斜面上に縦方向の亀裂が生じそれが次第に大きくなり、最大耐力70~90ton に達したのち亀裂がさらに大きくなり、表面コンクリートがはく離した。

さらになお圧縮を続けると、耐力は急に減少し10ton



写真-2 R・C 300-2 破壊状況



写真-3 R・C 300-1 破壊断面

前後で先端部が主体部中空部分にめり込み、先端部の打抜きせん断破壊が明瞭に観察された。(写真-2, 写真-3参照)



写真-4 P・C 350-1 破壊状況



写真-5 P・C 350-3 破壊状況



写真-6 P・C 350-3 (左), P・C 350-1 (右) 破壊断面

試験体 名称	鉄筋	初亀裂荷重	最大耐力
		(ton)	(ton)
R・C 300-1	5-φ9	40	85
R・C 300-2	5-φ9	30	72
R・C 300-3	5-φ9	40	88
P・C 350-1	6-φ13	44	96
P・C 350-2	無	43	95
P・C 350-3	無	44	95

表-3 実験結果

P・C試験体は、43ton 前後で初亀裂が生じ、有筋試験体P・C 350-1の亀裂が縦方向に進行し明らかに打抜きせん断破壊が観察されたのに対して、無筋試験体P・C 350-2, P・C 350-3の亀裂は先端部金属シューとコンクリート境界線に集中して斜方向に進行し、圧縮破壊に近い状態を示した。(写真-4, 写真-5, 写真-6, 参照)

§ 4. 考 察

4.1 破壊の性状

R・C試験体は全て打抜きせん断により破壊したものであり、破壊時せん断応力度は、表-4のようになる。これらの値は、先端部コンクリートの圧縮強度、

シリンダー供試体試験成績……493kg/cm²(材令28日)
シュミット・ハンマー試験……391kg/cm²(材令75日)
シリンダー供試体試験成績に材令による強度増加分を加味したものの493×1.2……592kg/cm²

の $1/4.3 \sim 1/7.9$ に相当し、コンクリートの打抜きせん断強度としては妥当なものであり、この破壊がくい先端部の構造的欠陥によるものであることを示している。

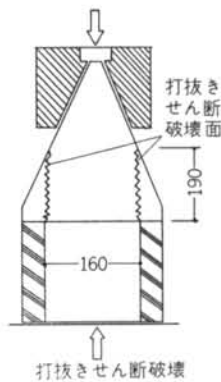
P・C試験体について、P・C 350-1は、打抜きせん断により、P・C 350-2, P・C 350-3は、圧縮により破壊したものである。各試験体の破壊応力度は表-4のようになる。

これらの値のうち、P・C 350-1は、R・C試験体と全く同様な破壊状態を示し、破壊時せん断応力度も、R・C試験体と較べてほぼ同じ値を示している。また、P・C 350-2, P・C 350-3は、先端部のコンクリートの圧縮強度、

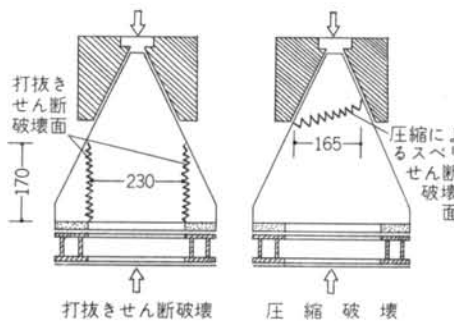
シリンダー供試体試験成績……442kg/cm²(材令30日)

シュミット・ハンマー試験・・・435kg/cm²(材令30日)に、ほとんど等しく、これらの試験体が圧壊したことを示している。わずかに6φ13鉄筋の有無により全く異なった破壊状況を示すことは興味深い。

なお、北海道大学の大野和男博士が、外径30cm、厚6cm先端部鉄筋5—6φの遠心力鉄筋コンクリートくいの先端部1個について行なった同様な実験⁴⁾⁵⁾によれば、打抜きせん断破壊応力度は50.5kg/cm²、くい先端部耐力は主体部耐力の約1/5、打抜きせん断破壊応力度は圧縮強度の $\frac{1}{7.8} \sim \frac{1}{8.2}$ となっていて、われわれの実験結果とほぼ一致している。



図一六 R・C試験体の破壊



図一七 P・C試験体の破壊

試験体名称	破壊モード	破壊断面積 (cm ²)	破壊応力度 (kg/cm ²)	先端部耐力 主体部耐力**
R・C 300-1	打抜きせん断	$\pi \times 16 \times 19$	89.0	0.381
R・C 300-2	打抜きせん断	$\pi \times 16 \times 19$	75.5	0.339
R・C 300-3	打抜きせん断	$\pi \times 16 \times 19$	92.3	0.394
P・C 350-1	打抜きせん断	$\pi \times 23 \times 17$	78.3	
P・C 350-2	圧縮	$\pi \times \left(\frac{16.6}{2}\right)^2$	440	
P・C 350-3	圧縮	$\pi \times \left(\frac{16.6}{2}\right)^2$	441	

* 著者の実測による

** メーカーのシリンドラ供試体成績より計算

表一四 破壊応力度

4.2 打込み時の問題とくい材強度よりみた許容耐力

くいの打込み中に先端部が締った砂れき層や土丹など

のいわゆる固い層に貫入していく場合には、一時的ではあるが、本実験で行なったと同様な応力状態を生じる可能性が大きく、しかもこの様な場合には一般に大きな打撃力が作用することになる。

今、実験により明らかとなった先端部破壊荷重時のくい主体部応力を求めてみると約190kg/cm²となり、この値を越える打撃応力がくい先端部に作用した場合には、打込み中に本実験結果のような打抜きせん断破壊が先端部に生ずることになる。

一方、山本、綾両氏はコンクリートくいの打込み時の応力を数多く測定⁶⁾されているが、これらの実測例によると支持層が比較的締った砂地盤の場合、打込み時の応力はおおよそ150~250kg/cm²となっているし、また打込み時の応力を波動方程式などから推定しても前記程度の値が得られる。

前記先端部破壊時の主体部応力190kg/cm²は、この打込み時の応力範囲にあり、これらの打込み時の応力がほとんど先端部に作用するような場合、たとえば中間層が極めて軟弱であるような場合には、打込中に先端部が破壊する可能性が大きいといえよう。

なお、このような打撃力をくい先端部台座と同様な支持状態で地盤が受けるものとすれば、その地盤の支持力は、約4500ton/m²となるが、その地盤が砂もしくは砂れき層として、Terzaghiの原式⁸⁾

$$q_d = cN_c + \frac{1}{2} \gamma BN_f + \gamma D_r N_q$$

により、そのような地盤のN値を逆算してみると、くい先端部深度10mでN>45程度となる。

また、日本建築学会の基礎構造設計規準⁹⁾に示されているくい体に要求された安全率の考えにしたがって、破壊荷重の1/4をくい体の長期許容支持力とすれば、径30cm、厚6cmの遠心力鉄筋コンクリートくいの長期許容耐力は、おおよそ20tonとなり、これ以上の許容耐力を採用することはできないことになる。

§ 5. 結 論

以上の結果、次のことが明らかになった。

- 1) ペンシル型の先端部を取付けた遠心力鉄筋コンクリートくいが、軟弱層から急にN値45程度の締った砂れき層や土丹層に貫入する時、くいに加わる打撃力のほとんどを、くい先端部の、しかもさらにその一部で受けることになる。このような貫入状態でくい先端部破壊耐力は、主体部破壊耐力の1/3しか

く、非常にアンバランスである。これはくい先端部が打抜きせん断破壊を起こすためであり、単なる材料強度の欠陥によるものではなく、構造的な欠陥によるものである。

- 2) このようなくい先端部の構造的欠陥は、現在一般に市販されている遠心力鉄筋コンクリートくいよりもよりP・C くいペンシル型先端部にも認められ、その耐力も遠心力鉄筋コンクリートくいの耐力にほぼ等しかった。
- 3) 1)の場合、くい先端部のコンクリート部分の打抜きせん断耐力と圧縮耐力(§4, 4.1 破壊の性状を参照)の比は、 $1/4.3 \sim 1/7.9$ である。
- 4) 1)のような貫入状態の場合、くい先端部には圧縮破壊も起こり得る。これは、くいに加わる打撃力のほとんどを、くい先端部の、しかもさらにその一部で受けることになるため、その断面に圧縮耐力を上まわる力が働く場合があるからであり、本報の実験例では、無筋のくい先端部試験体にそれが現われた。
- 5) 1)のような貫入状態の場合、くい先端部が破損する可能性は非常に大きく、一度先端部が破損したくいは、10ton(径30cm厚6cmのR・C くいの場合)前後の耐力しかない。くい頭部の破損は必ず発見されるし、それだけに、それに対する処理も適確に行なわれるので、基礎に与える影響は少ないが、先端部の破損は見すごされる可能性が非常に大きく、見すごされた場合は、その基礎は不完全なものとなり将来に大きな問題を残すことになる。また、くい打ち時に発見されても現状では増しぐい以外に方法がなく、基礎の設計変更をとめない、その処理は簡単にはいかない。
- 6) これまでのように全てくいの先端部はペンシル型というのではなく、今後は地盤条件を十分考慮して先端部を選定する必要がある。
- 7) 現在採用されているくい耐力は、主体部を基準にして決められているのであるが、本報の結果より、くい耐力を先端部を基準にして決めるなら、くいの長期許容耐力は現在の約1/2にしなければならない。
- 8) すでに述べたように、現在用いられているペンシル

型の先端部には構造的欠陥があり、この欠陥がくい体の支持力を支配しているため、今後その改善を行なう必要がある。

§6. あとがき

遠心力鉄筋コンクリートくいが使用され始めて既に40年余りになり、この間に行なわれてきた研究は非常に多く、これらの研究成果は種々の規格¹⁾²⁾規準³⁾に集約されている。これらの規格、規準には、遠心力鉄筋コンクリートくいの、材料、形状と構造、製作、施工、試験、支持力、などに関する詳細な規定があり、これらの規定に準じて製造されるくいが今日では広く用いられている。

しかし、完全に見えるこれらの規格や規準にもくいの構造や強度に関して不明確な規定や、全然規定のない事項があり、くい体そのものの規定に限ってても、

- ① くい先端部の規定……構造や耐力について。
 - ② くい主体のせん断強度の規定……振りせん断強度の規定も含む。
 - ③ 内圧に対する強度……先端オープンの場合に問題になる。
 - ④ 外圧に対する強度……砂層へ打込む場合に問題になる。
 - ⑤ 割裂強度
 - ⑥ 衝撃と繰返し荷重に対する強度
- などに関しては非常に曖昧である。

今後においても、遠心力鉄筋コンクリートくいは広く用いられるとともに、曲げくいとしてのP・C くい出現によりますますその価値が認識され用途も広まってくることと思うが、そのためにも上記の諸事項の検討を急がねばならぬ。

そこで著者らは、従来、検討をおろそかにされてきた遠心力鉄筋コンクリートくいの盲点を明らかにし、その技術的解明と改良を目的として、遠心力鉄筋コンクリートくいの問題点として、まず、くい先端部の耐力に関する問題を提起した。今後も、前記の問題点に関する検討を行なっていきたいと思う。

＜参考文献＞

- 1) JIS-A-5310-1965 “遠心力鉄筋コンクリートくい”
- 2) JIS-A-7201 “遠心力鉄筋コンクリートくいのくい打ち作業標準”
- 3) 日本建築学会 “建築基礎構造設計規準・同解説” A・4章3節 くい基礎の設計 (1962・05・25)
- 4) 大野和男：“遠心力鉄筋コンクリートくいの耐力について” 日本建築学会北海道支部 No. 26 (1966・05)
- 5) 大野和男：“遠心力鉄筋コンクリート杭の杭先の耐力について” 日本建築学会論文報告集 大会号 (1966・10)
- 6) 山本稔、緩亀一：“杭打作業時における鉄筋コンクリート杭の挙動について” 土木技術 Vol. 16.10 (1961・10)