

遠心力鉄筋コンクリートくいの問題点(その2)

—くい先端部の改良—

小 粥 庸 夫
井 上 嘉 信

§ 1. 序 論

著者らは先の報告で、^{1), 2)}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(いわゆるRCくいとPCくいの両方を総称してこのようによぶ。以下もこれと同じ)に関して次のようなことを明らかにした。

「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のくい先端部破壊耐力は、主体部破壊耐力の $\frac{1}{3}$ しかなく、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なく、構造的な欠陥によるものである。……」

本報では、遠心力鉄筋コンクリートくいのペンシル型先端部(以下くい先端部とよぶ。)のこのような構造的欠陥を補うため、従来のくい先端部に改良を施し、これらの破壊耐力を検討するために、これらの改良されたくい先端部(以下、改良型くい先端部とよぶ)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、従来のくい先端部(以下、従来型くい先端部とよぶ)の破壊耐力に比較して、改良型くい先端部の破壊耐力は、各々次に示すように補強された。

- 1) くい先端部の立上りを200mmとしたもの
……2.57倍
- 2) くい先端部の立上りを300mmとしたもの
……2.69倍
- 3) くい先端部を鉄板t=1.2で覆ったもの……2.21倍
- 4) くい先端部にらせん鉄筋φ3@30を巻いたもの
……1.88倍

改良型くい先端部の破壊耐力は、従来型くい先端部の破壊耐力の1.88倍~2.69倍になり、かなりの補強効果を

あげ、くい主体部破壊耐力の $\frac{1}{3}$ を越えたが、さらに今後改良を重ねなければならない。

§ 2. 実験計画

著者らは先の報告で、^{1), 2)}くい先端部の破壊耐力が主体部の破壊耐力に比較して $\frac{1}{3}$ しかなく、その時くい先端部は打抜きせん断破壊することを明らかにした。本報ではその結果に基づき、くい先端部の耐力(具体的には打抜きせん断に対する耐力)を増強させる目的で、従来型くい先端部に改良を施した。そしてこれら改良型くい先端部^{1), 2)}に対し、先の報告と同様な実験を行なった。

2.1 試験体

くい先端部試験体は全部で15体ある。そのうち3体は従来型PCくい先端部でありこれをPC・350とよぶ。残りの12体は改良型くい先端部である。改良型くい先端部は4種類あり、各々PC・350・200, PC・350・300, PC・350・t=1.2, PC・350・φ3@30とよぶ。

2.1.1 PC・350標準試験体：

図-1に示すような、直径350mm厚60mmのPCくい先端部3体(切口は普通ポルトランドセメントでキャッピングしてある。)をメーカーに製作させた。コンクリート強度は表-1に示す。

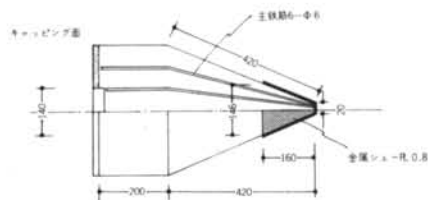


図-1 PC・350標準試験体

製造年月日	1967. 2. 20	
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	477kg/cm ² (材令28日)
	シュミット・ハンマー測定	364kg/cm ² (材令29日)

表-1 PC・350 標準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、PC・350-1, PC・350-2, PC350-3とよぶ。

2.1.2 PC・350・200 試験体:

図-2試験体に示すような、直径350mm厚60mmのPCくい先端部に200mmの立上がりをつけたもの3体(切口は普通ポルトランドセメントでキャッピングしてある。)をメーカーに製作させた。コンクリート強度は表-2に示す。

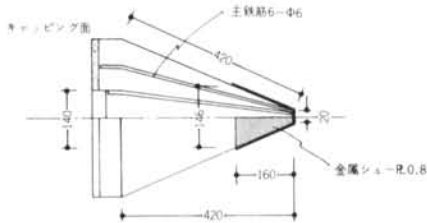


図-2 PC・350・200試験体

製造年月日	1967. 2. 16	
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	504kg/cm ² (材令29日)
	シュミット・ハンマー測定	—

表-2 PC・350・200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、PC・350・200-1, PC350・200-2, PC350・200-3とよぶ。

2.1.3 PC・350・300 試験体:

図-3に示すような、直径350mm厚60mmのPCくい先端部に300mmの立上がりをつけたもの3体(切口は普通ポルトランドセメントでキャッピングしてある。)をメーカーに製作させた。コンクリート強度は表-3に示す。

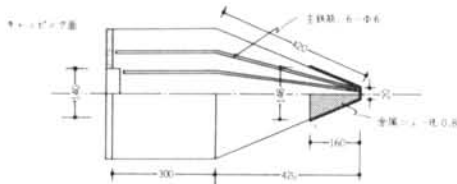


図-3 PC・350・300試験体

製造年月日	1967. 2. 16	
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	504kg/cm ² (材令29日)
	シュミット・ハンマー測定	353kg/cm ² (材令33日)

表-3 PC・350・300 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、PC・350・300-1, PC・350・300-2, PC・350・300-3とよぶ。

2.1.4 PC・350・1.2 試験体:

図-4に示すような、直径350mm厚60mmのPCくい先端部を鉄板で覆ったもの3体(切口は普通ポルトランドセメントでキャッピングしてある。)をメーカーに製作させた。コンクリート強度は表-4に示す。

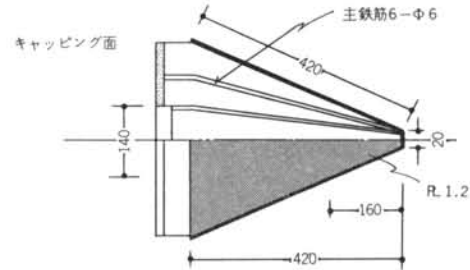


図-4 PC・350・1.2試験体

製造年月日	1967. 2. 20	
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	477kg/cm ² (材令28日)
	シュミット・ハンマー測定	—

表-4 PC・350・1.2 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、PC・350・1.2-1, PC・350・1.2-2, C P・350・1.2-3とよぶ。

2.1.5 PC・350・φ3@30 試験体:

図-5に示すような、直径350mm厚60mmのPCくい先端部の主筋にらせん鉄筋φ3@30を巻いたもの3体(切口は普通ポルトランドセメントでキャッピングしてある。)をメーカーに製作させた。コンクリート強度は表-5に示す。

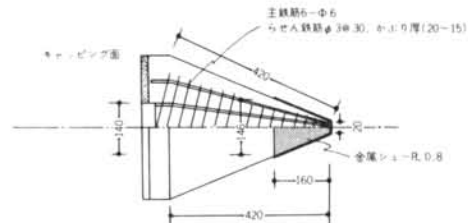


図-5 PC・350・φ3@30試験体

製造年月日	1967. 2. 20	
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	477kg/cm ² (材令28日)
	シュミット・ハンマー測定	376kg/cm ² (材令30日)

表一5 PC・350・φ3@30 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、PC・350・φ3@30-1, PC・350・φ3@30-2, PC・350・φ3@30-3とよぶ。

2.2 先端部台座

試験体を圧縮する時、ペンシル型くい先端部を受けるため、先の報告と同様な鋼製台座を設けた。^{1), 2)}

2.3 切口部加圧リング

試験体はくい先端の部分のみであるため、主体部のついたり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モルタルでキャッピングして、さらにその上に、先の報告と同様な鋼製のリングを用いて加圧した。^{1), 2)}

§ 3. 実験結果

キャッピング面を下にし、切口部加圧リングを敷き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で試験体軸心に乗せて圧縮した。

各試験体の、初亀裂荷重と最大耐力(破壊耐力と同じ。以下もこれと同じ)を表一6に示し、破壊状況を写真一1から写真一10に示す。

PC・350標準試験体は、従来型くい先端部で、改良型くい先端部の耐力補強程度を検討する時の基準となるものである。PC・350標準試験体の最大耐力(PC・350-1は載荷方法が偏心していたと思われるので、PC・350-1を除き、PC・350-2とPC・350-3を平均して求めた。)は、52.5tonである。

PC・350・200試験体は、打抜きせん断破壊面を大きくする目的でくい先端部の立上がりを200mmとしたものである。PC・350・200試験体は、いずれも80.0tonで縦方向に3~4本の初亀裂が生じ、最大耐力(PC・350・200-1, PC・350・200-2, PC・350・200-3, 3体の平均値)は、135tonである。

PC・350・300試験体は、PC・350・200試験体の立上がりをさらに100mm多くしたものである。PC・350・300試験体は、いずれも80.0tonで縦方向に3~4本の初亀裂



写真一1 PC・350-3 破壊状況



写真一2 PC・350-3 破壊状況



写真一3 PC・350-200-1 破壊状況



写真一4 PC・350-200-3 破壊状況



写真一5 PC・350-300-2 破壊状況



写真一6 PC・350-300-2 破壊状況



写真一7 PC・350・φ1.2-3 破壊状況



写真一8 PC・350・φ1.2-3 破壊状況



写真一9 PC・350・φ3@30-1 破壊状況



写真一10 PC・350・φ3@30-1 破壊状況

が生じ、その初亀裂がそのまま大きくなり写真-5、写真-6に示すように割裂破壊に近い状態を示した。そのため、PC・350・300試験体の最大耐力（PC・350・300-1, PC350・300-2, PC・350・300-3, 3体の平均値）は、PC・350・200試験体の耐力に比較して（その立上りが100mm多くなった割には）それほど増大せず、141tonにとどまった。

PC・350・ $\text{H}1.2$ 試験体は、PC・350標準試験体を鉄板 $\text{H}1.2$ で覆ったものである。PC・350・ $\text{H}1.2$ 試験体は、PC・350標準試験体、PC・350・200試験体、PC・350・300試験体と比較すると、破壊にかなりの粘りがあり、変形が大きく進んでも耐力はなかなか低下しない。PC・350・ $\text{H}1.2$ 試験体の最大耐力（PC・350・ $\text{H}1.2-1$, PC・350・ $\text{H}1.2-2$, PC・350・ $\text{H}1.2-3$, 3体の平均値）は、116tonである。

PC・350・ $\phi 3@30$ 試験体は、PC・350標準試験体のくい先端部主鉄筋を直径3mmピッチ30mmのらせん鉄筋で巻いたものである。これは、PC・350標準試験体が打抜きせん断破壊をしながらくい先端部がくい主体部中空部分にめり込むのに伴ない、くい先端部コンクリート斜面

試験体名称	初亀裂荷重 (ton)	最大耐力 (ton)	最大耐力の平均 (ton)	備考
従来型	PC・350-1	17.5	23.0	偏心載荷のため不適
	PC・350-2	不明	54.0	
	PC・350-3	不明	51.0	
改良型	PC・350・200-1	80.0	142	80.0tonで4本の縦亀裂が入る
	PC・350・200-2	80.0	138	
	PC・350・200-3	80.0	124	
改良型	PC・350・300-1	80.0	135	80.0tonで4本の縦亀裂、2本の横亀裂が入る
	PC・350・300-2	80.0	139	
	PC・350・300-3	80.0	149	
改良型	PC・350・ $\text{H}1.2-1$		94.0	80.0tonで3本の縦亀裂、1本の横亀裂が入る
	PC・350・ $\text{H}1.2-2$		107	
	PC・350・ $\text{H}1.2-3$		148	
改良型	PC・350・ $\phi 3@30-1$	不明	87.0	99.5tonから52.0tonに急降下する
	PC・350・ $\phi 3@30-2$	不明	99.5	
	PC・350・ $\phi 3@30-3$	不明	110	

表-6 初亀裂荷重および最大耐力

は、母線と直角な方向に膨張しようとするので、（これは実験中にくい先端部コンクリート斜面に縦方向の亀裂が入ることによってもわかる）主筋に巻いたらせん鉄筋を挿入することによってこのくい先端部の最大耐力を上げようとしたものである。PC・350・ $\phi 3@30$ 試験体は、PC・350標準試験体に比較して破壊に粘りがあり最大耐力も増大する。PC・350・ $\phi 3@30$ 試験体の最大耐力（PC・350・ $\phi 3@30-1$, PC・350・ $\phi 3@30-2$, PC・350・ $\phi 3@30-3$, 3体の平均値）は、98.9tonである。

§ 4. 考察

4.1 破壊の性状

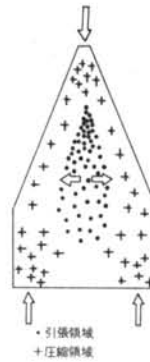


図-6 くい先端部断面の応力分布

初亀裂について、PC・350・200試験体とPC・350・300試験体は表-6に示すように80.0tonでくい先端部コンクリート斜面の中央部に縦方向の初亀裂が生じ、それが上下方向に進展して写真-3～写真-6に示すような破壊状況を示した。これは、図-6に示すようにくい先端部断面のほぼ中央部に引張り領域が生じ、そこに矢印に示すような引張り力が起こり初亀裂が生じ、さらに大きな亀裂に進展するものと思われる。PC・350標準試験体、PC・350・ $\text{H}1.2$ 試験体、PC・350・ $\phi 3@30$ 試験体の初亀裂については、明確なものが得られなかった。

破壊モードについて、試験体は、表-7に示すように打抜きせん断あるいは縦割によって破壊している。PC・350・300試験体は、すべて縦割によって破壊しておりPC・350・200試験体に比較してその立上りを多くした割には、最大耐力も増大していない。くい先端部の立上りを多くして最大耐力を増大させようとする場合、この程度の立上りが有効限度ではないかと思われる。

4.2 破壊応力度

各試験体の破壊応力度は、破壊断面積を著者らが測定して求めた。その結果を表-7に示す。表-7によると、破壊応力度の平均値は、改良型くい先端部の方が従来型くい先端部に比較して23%～105%大きくなっている。これは、改良型くい先端部が従来型くい先端部に比較して補強されたことを示すものだと思われる。

破壊応力度の平均値と、先端部コンクリートの圧縮係

度との関係を表-8に示す。それによると、破壊応力度の平均値と先端部コンクリートの圧縮強度の比は、 $1/4.78$ ^{1), 2)} ~ $1/10.3$ となり、先の報告とほぼ同様な値を示す。

試験体名称	破壊モード	破壊断面面積 (cm ²)	*破壊応力度 (kg/cm ²)	破壊応力度の平均 (kg/cm ²)
従来型	PC・350-1	不完全な打抜き	840	27.4
	PC・350-2	縦割	不明	46.4
	PC・350-3	打抜き	1100	
改良型	PC・350・200-1	4片に縦割	2400	
	PC・350・200-2	打抜き	2300	60.0
	PC・350・200-3	打抜き	2400	51.7
	PC・350・300-1	3片に縦割	1900	71.0
	PC・350・300-2	4片に縦割	2200	63.1
	PC・350・300-3	4片に縦割	1700	87.7
	PC・350・ Φ 1.2-1	打抜き	1500	62.5
	PC・350・ Φ 1.2-2	打抜き	1200	89.2
	PC・350・ Φ 1.2-3	打抜き	1100	134
型	PC・350・ Φ 3@30-1	打抜き	1700	51.1
	PC・350・ Φ 3@30-2	打抜き	不明	64.8
	PC・350・ Φ 3@30-3	打抜き	1400	

* 著者らの測定による

表-7 破壊モードおよび破壊応力度

試験体名称	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	破壊応力度 (kg/cm ²)	破壊応力度 (kg/cm ²)
PC-350	47.7 (H9000)	38.4 (H9000)	$\frac{1}{10.3}$	$\frac{1}{4.78}$
PC-350-200	38.4 (H9000)		$\frac{1}{4.8}$	
PC-350-300	38.4 (H9000)	33.3 (H9000)	$\frac{1}{4.8}$	$\frac{1}{4.8}$
PC-350- Φ 1.2	47.7 (H9000)		$\frac{1}{4.8}$	
PC-350- Φ 3@30	47.7 (H9000)	33.3 (H9000)	$\frac{1}{4.8}$	$\frac{1}{4.8}$

表-8

4.3 最大耐力

各試験体の最大耐力を表-6に示す。表-6によれば最大耐力の平均値は、従来型くい先端部のPC・350標準試験体が最小で52.5ton、改良型くい先端部のPC・350・300試験体が最大で141tonである。各種の改良型くい先端部の最大耐力と従来型くい先端部の最大耐力の比を表-9および図-7に示すが、それによるとPC・350・200試験体は2.57倍、PC・350・300試験体は2.69倍、PC・350・ Φ 1.2試験体は2.21倍、PC・350・ Φ 3@30試験体は1.88倍である。これらの値が示すように、従来型くい先端部は、改良によりかなり最大耐力が増大する。また、くい

試験体名称	各試験体耐力 PC・350最大耐力	各試験体耐力 くい主体部耐力*	
従来型	PC・350	1.00	0.196
改良型	PC・350・200	2.57	0.504
	PC・350・300	2.69	0.526
	PC・350・ Φ 1.2	2.21	0.433
	PC・350・ Φ 3@30	1.88	0.369

*=(標準供試体試験結果の平均値)×(くい主体部断面面積)
 =(477+504kg/cm²)÷2×547cm²
 =268ton

表-9

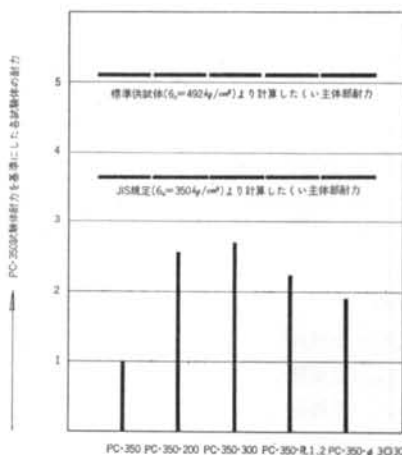


図-7

先端部の最大耐力とくい主体部の耐力の比を表-9に示すが、それによるとPC・350標準試験体は0.196、PC350・200試験体は0.504、PC・350・300試験体は0.526、PC350・ Φ 1.2試験体は0.433、PC・350・ Φ 3@30試験体は0.369となり、改良型くい先端部の最大耐力がくい主体部耐力の $\frac{1}{2}$ を越えた。なお先の報告では、従来型くい先端部耐力とくい主体部耐力の比が約 $\frac{1}{3}$ となっており、本報のそれ(約 $\frac{1}{2}$ である。)と比較するとかなり差があるが、その原因は確かでない。

§ 5. 結論

1), 2) 先の報告に述べたように、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を補強させるために、4種類

の改良型くい先端部を試作し実験した。その結果、次のことが明らかになった。

1) くい先端部の立上りを 200mm にした改良型くい先端部の最大耐力は、従来型くい先端部の最大耐力の2.57倍である。これは、くい先端部の立上りが 200mm になったことにより、くい先端部の破壊断面が増大したことによる。

2) くい先端部の立上りを 300mm にした改良型くい先端部の最大耐力は、従来型くい先端部の最大耐力の2.69倍である。これは、くい先端部の立上りが 300mm になったことにより、くい先端部の破壊断面積が増大したことによる。この改良型くい先端部の最大耐力は、くい先端部の立上りが 200mm の改良型くい先端部の最大耐力に比較して、その立上りの割には（立上りが 200mm から 300mm に増加した割には）増大しないが、これはくい先端部の立上りが 200mm の改良型くい先端部が打抜きせん断破壊したのに対して、くい先端部の立上りが 300mm の改良型くい先端部が縦割破壊したことによる。くい先端部の立上りを多くして最大耐力を増大させようとする場合、この程度の立上りが有効限度ではないかと思われる。

3) くい先端部を鉄板 β -1.2で覆った改良型くい先端部の最大耐力は、従来型くい先端部の最大耐力の2.21倍である。これは、鉄板 β -1.2があることにより、くい先端部コンクリート斜面の母線と直角方向の膨張が阻止され（ペンシル型のくい先端部を取付けた遠心力鉄筋コンクリートくいが打抜きせん断破壊をしながらくい先端部がくい主体部中空部分にめり込むのに伴ない、くい先端部コンクリート斜面は、母線と直角方向に膨張しようとする）、かつ、くい先端部の一部に加わった力が鉄板 β -1.2を介して、くい先端部全体に均等に伝達されるためである。また、この種の改良型くい先端部は、従来型くい先端部および他の改良型くい先端部に比較して、破壊にかなりの粘りがあり、変形が大きく進んでも耐力は、なかなか低下しない。

4) くい先端部主鉄筋を直径 3mm ピッチ 30mm のらせん鉄筋で巻いた改良型くい先端部の最大耐力は、従来型くい先端部の最大耐力の1.88倍である。これは、らせん鉄筋があることにより、くい先端部コンクリート斜面の母線と直角方向の膨張が阻止されるからである。（ペンシル型のくい先端部を取付けた遠心力鉄筋コンクリートくいが打抜きせん断破壊をしながらくい先端部がくい主体部中空部分にめり込むのに伴ない、くい先端部コンクリート斜面は母線と直角方向に膨張しようとする。）この種の改良型くい先端部は従来型くい先端部に比較すると、破壊にかなりの粘りがある。

§ 6. あとがき

^{1), 2)}
著者らは先の報告で、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のくい先端部の耐力に関する問題を提起した。本報は、前報のくい先端部の耐力に関する問題の技術的解明と改良を目的として、従来型くい先端部に改良を施し、それについて行なった実験の報告である。

従来型くい先端部の改良方法は、本報に載げた以外にも種々あると思われる。また、改良型くい先端部の実験計画についても、同種類の改良方法について少しずつ法を変えて定量的に検討しなければならないが、本報では、数種の改良型くい先端部が従来型くい先端部の最大耐力をかなり上回り、くい主体部破壊耐力の $\frac{1}{2}$ を越える結果を得ることができたことにより、前述の目的が半ば達せられたと考える。

今後は、さらに

- 1) くい先端部断面の応力解析
 - 2) くい先端部最大耐力の計算式の誘導
 - 3) 2種類以上の改良を施した、くい先端部の最大耐力の検討
- などを行なわなければならない。

<参考文献>

- 1) 井上嘉信, 小粥庸夫: “遠心力鉄筋コンクリートくい先端部の問題点” 日本土木学会 昭和42年年次学術講演会 講演資料
- 2) 井上嘉信, 小粥庸夫: “遠心力鉄筋コンクリートくいの問題点(その1)” 清水建設研究所報 Vol.9, (1967. 4)