

[67] クサビの拡張力を受けるコンクリートの破壊機構に関する基礎的研究

正会員 ○橋 崎 恭一 (名古屋工業大学大学院)

正会員 梅原 秀哲 (名古屋工業大学工学部)

正会員 吉田 弥智 (名古屋工業大学工学部)

1. まえがき

場所打ちコンクリート杭の杭頭部には、施工時にスライムやレイタンスが発生し品質低下をまねく。また、構造物と剛結する鉄筋を保護するためにも、その部分を除去する杭頭処理作業が必要となってくる。この杭頭処理工法の一つとして、孔中にクサビを貫入して、その拡張力でコンクリートに亀裂を生じさせ、杭頭部を引き抜き取り除く工法が、研究、開発されている。

筆者らは、昨年、この工法についてクサビとコンクリートの間の破壊機構を実験的に検討し、直径100cmの杭での最も効率よく破壊させる要因を見い出したが、破壊荷重を算定するまでには至らなかった。¹⁾ そこで、本研究では、クサビの拡張力を受けるコンクリートの破壊におよぼす要因を、モデル実験で検討し、モデル実験の結果と昨年の実物大実験の結果に重回帰分析を適用させて、場所打ちコンクリート杭のクサビの拡張力による破壊荷重の推定式を導くことを試みた。

2. 実験の概要

2-1 実物大実験の概略

昨年行なった実験の概略と実験結果について述べる。図-1に示すよう、半径50cm高さ150cmの円筒型の供試体を作製し、静的に4または8方向から油圧ジャッキによ

り水平にクサビを貫入させて、破壊に至るまで実験を行なった。その結果を表-1に示す。表-1より、クサビ角 $\phi = 4^\circ$ 、載荷長 $I' = 20\text{cm}$ の場合が最も効率よく最小の荷重で破壊する要因であることがわかる。

2-2 モデル実験の方法

昨年の実験結果より、クサビの拡張力を受ける場所打ちコンクリート杭の破壊挙動は、表面方向と内部方向の2方向に分けられ、これら表面と内部の破壊が組合わざしたものだと判断された。そこで、表面の破壊を表わすモデル図-2(b)と内部の破壊を表わすモデル図-2(c)とに分けて実験を行ない、それぞれの影響を調べること

表-1 実物大実験の実験結果

供試体番号	孔深I(cm)	クサビ角 $\phi(^{\circ})$	孔数n	載荷長I'(cm)	圧縮強度 $\sigma_c(kg/cm^2)$	破壊荷重P(kg)	P/σ_c
1			4	20	3.84	9500	29.14
2		4	8	10	3.90	4850	12.44
3	40			20	3.25	3900	12.00
4			8	10	3.43	5800	16.91
5		8	8	20	3.51	5060	14.41

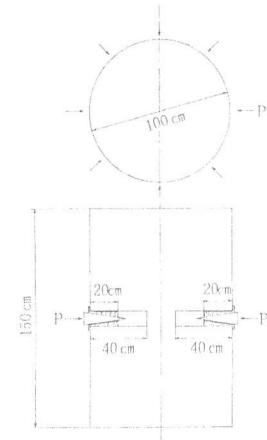


図-1 実物大実験の実験装置

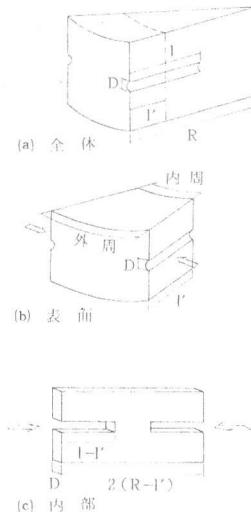


図-2 実物大供試体の分割方法

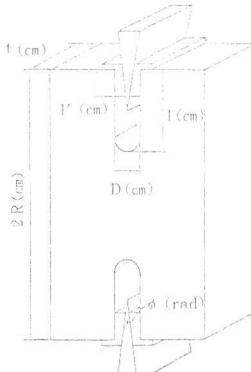


図-3 供試体の形状および変数名

とを考えた。しかし、表面の部分は孔深が小さい場合、また内部は供試体の幅がせまい場合を考えることによって、図-3に示すようなモデル供試体を作製し、その適用方向を変えることでこれらの破壊挙動を同時に把握することができる。したがって、この上下に孔のあいた矩形のモデル供試体を作製し、破壊におよぼす要因を変化させて破壊荷重を測定した。破壊におよぼす要因として、昨年の実験から得られたクサビ角(ϕ)、孔深(l)、載荷長(l')の3個に孔径(D)と供試体の幅(t)を付け加えて、これらの要因を組合わせた20個の実験を行なった。供試体の寸法は、高さ50cm、横30cmで、実験装置の概略を図-4に示す。実験は、上下2本のクサビを同時に圧縮試験機で貫入させて、貫入力を測定し、ひびわれ状況を観察した。

2-3 モデル実験の結果

表-2に供試体の諸元および破壊荷重を示す。コンクリート圧縮強度が、270～350kg/cm²とばらついているため、破壊荷重を圧縮強度で除した値(P/σ_c)を用いて、破壊におよぼす5個の要因について検討を行なった。なお、ここで圧縮強度を用いた理由は、破壊荷重がコンクリートの引張強度に大きく影響され、一般にこの引張強度が圧縮強度の関数で表わされるとされているからである。最初に、孔深(l)を変化させた場合は、図-5より孔深が長くなるにつれて P/σ_c の値が小さくなっている。第2に、載荷重(l')を変化させた場合は、図-6により $D=4.5\text{ cm}$ の場合を除いて、 $l'=7.5\text{ cm}$ の方が $l'=5\text{ cm}$ に比べて P/σ_c の値が小さくなっている。第3に、クサビ角(ϕ)を変化させた場合は、図-7より $\phi=4^\circ$ の方が $\phi=8^\circ$ に比べて P/σ_c の値が小さくなっている。第4に、孔径(D)を変化させた場合は、図-8より $D=4.5\text{ cm}$ の方が $D=3\text{ cm}$ に比べて P/σ_c の値が小さくなっている。最後に、供試体の幅(t)を変化させた場合は、図-9より $t=20\text{ cm}$ の方が $t=40\text{ cm}$ に比べて、 P/σ_c の値が小さくなっている。

以上のことから、最も効率よく最小の荷重で破壊させる要因は、クサビ角 $\phi=4^\circ$ 、孔深 $l=20\text{ cm}$ 、孔径 $D=4.5\text{ cm}$ 、供試体の幅 $t=20\text{ cm}$ である。また、昨年の実物大実験の結果とはクサビ角と載荷長の結果しか比較できないが、どちらも同じ傾向を示しており、実物大供試体の破壊荷重を推定するのにこのモデル実験の結果を利用できる見通しが得られた。

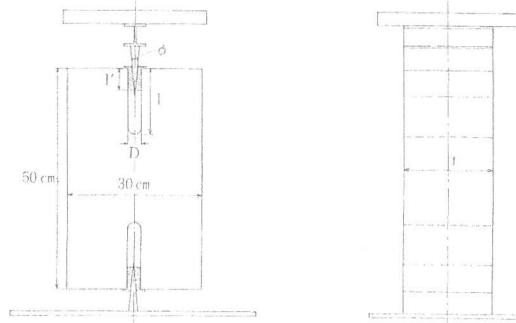


図-4 モデル実験の実験装置

表-2 モデル実験の実験結果

供試体番号	クサビ角 ϕ ($^\circ$)	幅 t (cm)	孔径 D (cm)	載荷長 l' (cm)	孔深 l (cm)	孔径圧縮強度 σ_c (kg/cm ²)	荷重 P (kg)	P/σ_c		
1					10	316	690	2.16		
2				3.0	5.0	285	620	2.18		
3					20	277	330	1.19		
4				20	7.5	15	334	2.12		
5					10	316	425	1.34		
6	4		4.5	5.0	15	334	400	1.20		
7					20	301	245	0.81		
8					7.5	15	277	1.16		
9					10	314	1050	3.34		
10			3.0	5.0	15	351	1040	2.96		
11				40	7.5	15	332	500	1.50	
12					10	346	830	2.10		
13					4.5	5.0	10	338	1225	3.62
14						7.5	15	285	655	2.30
15						10	305	825	2.70	
16				3.0	5.0	15	295	605	2.05	
17	8	20				20	295	500	1.69	
18						10	345	1130	3.28	
19			4.5	5.0	15	275	520	1.80		
20						20	282	245	0.87	

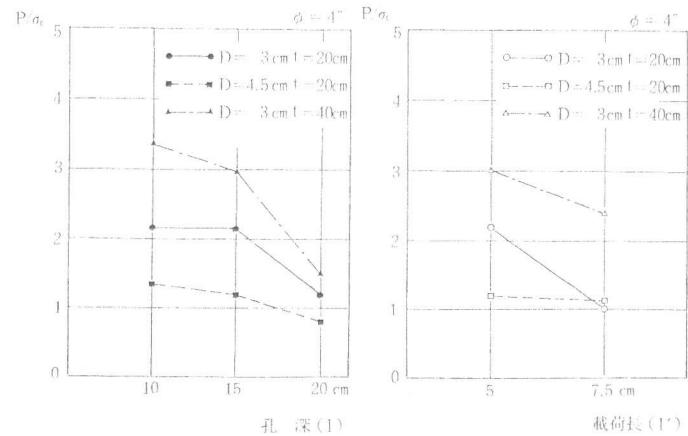


図-5 P/σ_c と孔深の関係

図-6 P/σ_c と載荷長の関係

3. 破壊荷重の推定式の算定

3-1 モデル実験による基本式の推定

モデル実験から得られた5個の要因を組合せて4個の変数を選び、重回帰分析を用いてモデル実験の破壊荷重 P/σ_c を推定する基本式を算定した。なお、4個の変数は、 $\tan(\phi/2 + 0.05)t$, D/R , I'/R , $2(R-I)/R$ である。

表-3に4個の変数と破壊荷重の推定値を示す。得られた基本式は以下に示す通りである。

$$P = \sigma_c \left\{ 0.282 + 0.727 \tan \left(\frac{\phi}{2} + 0.05 \right) t \right.$$

$$\left. - 4.052 \frac{D}{R} - 4.269 \frac{I'}{R} + 3.550 \frac{(R-I)}{R} \right\} \quad \dots \dots \dots (1)$$

推定値は少しばらついているが、この基本式が最も標準偏差の少ないものであった。

3-2 破壊荷重の推定

式(1)と実物大実験の結果を用いて、場所打ちコンクリート杭のクサビの拡張力による破壊荷重の推定式を求める。実物大実験の結果より、杭の破壊が表面の破壊と内部の破壊が組合わざったものであると考えて、図-2に示すように載荷板の作用している位置で、表面と内部に分けた。そして、表面と内部に式(1)を適用させて、それぞれの破壊荷重の推定を行なった。

(ⅰ) 表面の破壊荷重

式(1)を適用するために、モデルに合った変数を決定した。最初に、クサビ角(ϕ)と孔径(D)は、それぞれ実験で使用したクサビ角と孔径を用いる。第2に、供試体の幅(t)は、載荷板の作用している位置で表面と内部に分けたため、図-2に示すように I' とする。第3に、載荷長(I')は、孔径全体にクサビが作用していると仮定して D とする。第4に、孔径(I)は、孔径の大きさだけ横に孔があいていると仮定し D とする。最後に、供試体の高さ($2R$)は、モデルの内周と外周の平均として、 $\pi(2R-I')/n$ とする。ここで R は杭の半径である。したがって、表面の破壊荷重 P_1 は次表で表わされる。

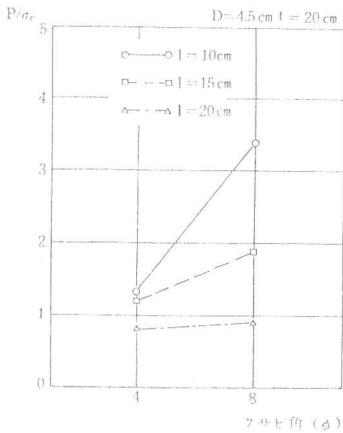


図-7 P/σ_c とクサビ角の関係

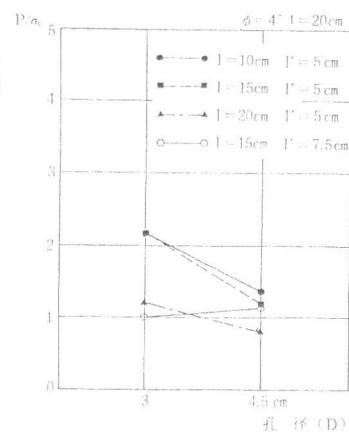


図-8 P/σ_c と孔径の関係

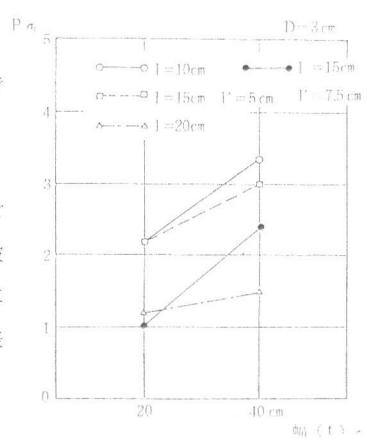


図-9 P/σ_c と供試体の幅の関係

表-3 モデル実験の重回帰分析の結果

供試体番号	$\tan(\phi/2 + 0.05)t$	変数			実験値	推定値	実験値 推定値 標準偏差
		D/R	I'/R	$2(R-I)/R$			
1	-	-	-	1.2	2.184	2.309	0.95
2	-	0.12	0.2	0.8	2.175	1.599	1.36
3	-	-	-	0.4	1.191	0.890	1.34
4	1.702	-	0.3	0.8	1.018	1.173	0.87
5	-	-	-	1.2	1.345	2.066	0.65
6	-	0.18	0.2	0.8	1.198	1.356	0.88
7	-	-	-	0.4	0.814	0.646	1.26
8	-	-	0.3	0.8	1.155	0.929	1.24
9	-	-	-	1.2	3.344	3.547	0.94
10	-	-	-	0.8	2.963	2.837	1.04
11	3.404	0.12	0.2	0.4	1.506	2.127	0.71
12	-	-	0.3	0.8	2.399	2.410	1.00
13	-	-	0.2	1.2	3.624	3.304	1.10
14	-	0.18	0.3	0.8	2.333	2.167	1.08
15	-	-	-	1.2	2.705	2.822	0.96
16	-	0.12	0.2	0.8	2.051	2.113	0.97
17	2.408	-	-	0.4	1.695	1.403	1.21
18	-	-	-	1.2	3.275	2.579	1.27
19	-	0.18	0.2	0.8	1.891	1.869	0.99
20	-	-	-	0.4	0.868	1.160	0.75
			平均		1.03	0.20	
			標準偏差				

(ⅱ) 内部の破壊荷重

表面の場合と同様な考え方で変数を定めた。最初に、クサビ角(ϕ)と孔径(D)は、それぞれ使用したクサ

$$P_1 = \sigma_c \left\{ 0.282 + 0.727 \tan \left(\frac{\phi}{2} + 0.05 \right) I' - 16.642 \frac{nD}{\pi(2R-I')} + 3.55 \frac{2\pi(2R-I') - 2nD}{\pi(2R-I')} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ビ角と孔径をそのまま用いる。第2に、供試体の幅(t)は、図-2(c)に示すように、孔径の大きさだけクサビが貫入していると仮定して D とする。第3に、載荷長(l')は、載荷板の位置で表面と内部とに分けたため、内部では、載荷板が作用していないと考えて0とする。第4に、孔深(l)は、孔深と載荷長の差で $l-l'$ とする。最後に、供試体の高さ($2R$)は、杭の半径と孔深の差で $R-l$ とする。したがって内部の破壊荷重 P_2 は、次式で表わされる。

$$P_2 = \sigma_c \left\{ 0.282 + 0.727 \tan \left(\frac{\phi}{2} + 0.05 \right) D - 4.052 \frac{D}{R-l'} + 3.55 \frac{R-l}{R-l'} \right\} \dots \dots \dots \quad (3)$$

(iii) 破壊荷重の推定

表-4に実物大実験における表面と内部の荷重の計算値を示す。これら P_1 , P_2 は5個の供試体の要因を式(2), 式(3)に代入して求めたものである。次に、 P_1 , P_2 を変数として重回帰分析を行ない、杭の破壊荷重を得る。ここで、破壊荷重はこれまで述べたように、 P_1 と P_2 の和で表わされると考えてきたが、孔数の要因を含んでいない内部の破壊荷重 P_2 に孔数の影響を考慮するために変数 S を乗じ、 P_1 と SP_2 の和であると仮定した。その結果を次式に示す。

$$P = 16.18 + 1.898 P_1 + 0.065 SP_2 \dots \dots \dots \quad (4)$$

なお、 $S = (R-l')^2/n^2$ である。表-4に、実験値と推定値の比を示す。その値は、平均値が1.01で、標準偏差が0.07である。供試体が少ないため、はっきりとは言えないが、破壊荷重を表面と内部に分けその和であるとして求めた式(4)により、杭のクサビによる破壊荷重がある程度推定できるという見通しが得られたと思われる。

4. 結論

今回の研究では、昨年行なった実験結果にモデル実験を付け加えて、クサビの拡張力がコンクリートにおよぼす影響と、場所打ちコンクリート杭の破壊荷重について検討を行なった。それより得られた結論を要約すると以下のようになる。

- 1) 破壊におよぼす要因の中で、クサビ角と載荷長しか今回のモデル実験と昨年の実物大実験とで比較ができないかったが、どちらも同じ傾向を示しており、実物大供試体の破壊荷重を推定するのに、モデル実験の結果から導いた推定式を適用できる見通しが明らかとなった。
- 2) 場所打ちコンクリート杭のクサビによる破壊荷重は、式(4)によりある程度推定できる見通しが得られた。なお、これらの実験結果から判断して、その適用範囲は $R=50\text{cm}$, $l=40\text{cm}$, $4\text{cm} \leq D \leq 7\text{cm}$, $4^\circ \leq \phi \leq 8^\circ$, $0.5 l \leq l' \leq l$ である。

参考文献

- 1) 吉田, 梅原, 深津「場所打ちコンクリート杭のクサビを利用した杭頭処理に関する研究」第5回コンクリート工年次講演会講演論文集 1983。

表-4 実物大実験の重回帰分析の結果

供試体番号	孔深 l (cm)	孔径 D (cm)	クサビ角 ϕ (°)	孔数 n	載荷長 l' (cm)	圧縮強度 σ_c (kg/cm ²)	破壊荷重 P (kg)	表面部分 P_1 (kg)	内部部分 P_2 (kg)	内部荷重 S	推定値 P (kg)	実験値 P (kg)
1			4	4	20	384	9500	1453	450	176.7	95.56	1.01
2			8		10	390	4850	844	395	78.5	52.38	1.08
3	40	4			20	325	3900	812	381	44.2	42.55	1.09
4			8	8	10	343	5800	831	382	78.5	51.49	0.89
5					20	351	5060	1057	448	44.2	49.11	0.97
											平均値	1.01