

九州産業大学 〇正員 宮川 邦彦
九州産業大学 亀井 頼隆

1 まえがき

現在、既製パイルの施工法としては打撃法、振動法等種々開発されているが、特に市街地では騒音公害、振動公害等の問題を抱え、その施工に対し場所的、時間的制限を受けている現状にある。この問題の防止対策として、近年、プレボーリング方式、中掘り方式、ジェット方式、あるいは圧入方式等、多くの無騒音無振動工法の新技術導入を見ることが出来る。だが、これら工法も地盤の強みによる支持力低下等の問題を含み、今後、更に改良すべき点を有するものと考えらる。

筆者等もこの無騒音無振動工法の一環として、パイル自体を回転させ貫入施工する方式（以下、ねじり貫入工法）を考案したが、しかし、国内の特許、実用新案にもすでに二、三同様な施工法を見ることが出来る。だが、筆者等の工法はそれらとは多少相違する点もあり、また、最近のPCパイルの品質高上等を考慮すれば、 $\phi 400\text{mm}$ 以下の小径パイルで、施工深さ10～15m程度の浅い基礎グイ（施工地盤にも関係するが）には十分適用できる工法ではないかと考える。

そこで、本工法開発のための基礎実験として、実験〔Ⅰ〕--- コンクリートのねじり耐力、実験〔Ⅱ〕--- 砂尺におけるPCパイルねじり貫入模型実験、の二題について行なったので、以下簡単に実験概要、結果について報告する。

2. 実験〔Ⅰ〕--- コンクリートのねじり耐力

2-1 実験概要

近年、矩形断面のねじり破壊に関しては数多くの実験研究を見ることが出来るが、円筒断面に関してはほとんど行われていないのが現状である。そこで筆者等はPCパイルと同様な中空円筒断面の供試体を製作し、三配合のプレシ、およびプレストレストコンクリートに関するねじり破壊実験を行なった。本実験の使用材料、コンクリートの諸性質を表-1、表-2に、実験装置を図-1に示す。供試体は打設後、空中養生し、石令91日でねじり試験を行なった。なお、プレストレスは試験時にポストテンション方式で導入し、その後、10ton

万能試験機でねじり試験した。導入プレストレス量、ならびに単位ねじれ角は供試体に貼付したヒズミゲージを用い、静ヒズミ計で測定した。また、ねじり試験時、腕取付け部の応力集中による端部破壊防止のため、 $\phi 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ モールドを端部に付け、供試体中央部でのねじり破壊に成功した。

表-1 使用材料

ポルトランドセメント		細骨材			粗骨材		
比 重		高質島海砂			久山砕石(最大寸法20mm)		
普通	早強	比重	吸水量	粗粒率	比重	吸水量	粗粒率
3.14	3.11	2.53	1.31	2.54	2.94	0.45	6.61

表-2 コンクリートの諸性質

配 合	W kg/m ³	W/C %	S/A %	圧縮強度 kg/cm ²		引張強度 kg/cm ²		弾性係数 10 ⁵ kg/cm ²		ポアソン比	
				σ_{28}	σ_{91}	σ_{28}	σ_{91}	E_{28}	E_{91}	μ_{28}	μ_{91}
Ⅰ	200	65	41	186	202	23.7	23.2	2.43	2.59	0.163	0.143
				166	192	18.5	21.5	1.96	1.99	0.124	0.183
				252	281	26.6	28.4	2.60	2.55	0.189	0.194
Ⅱ	195	52	40	240	272	25.1	26.3	2.51	2.55	0.157	0.171
				348	381	32.5	33.0	2.77	2.87	0.160	0.173
Ⅲ	212	51	41	354	—	35.6	—	2.47	—	0.112	—

2-2 実験結果

本実験のプレーン、およびプレストレストコンクリートのねじり破壊モーメント (T)、破壊が主引張応力面で引張破壊したと考えて弾性理論式から求めた値 (T_0) と T/T_0 を表-3 に示す。

本実験の結果からは、プレーン、プレストレストコンクリートのどちらにも弾性理論値が十分適用できるものと考えられる。また、単位ねじり角もその破壊モーメントの 80% 程度までは弾性理論値に近似するし、破壊面も写真-1(a),(b) に示すように主引張応力面で破壊することが観察できた。



(a) プレーンコンクリート

配合 --- III $T = 6640 \text{ kg-cm}$



(b) プレストレストコンクリート

配合 --- II プレストレス量 = 48.2 kg/cm^2

$T = 9300 \text{ kg-cm}$

写真-1 ねじり破壊供試体

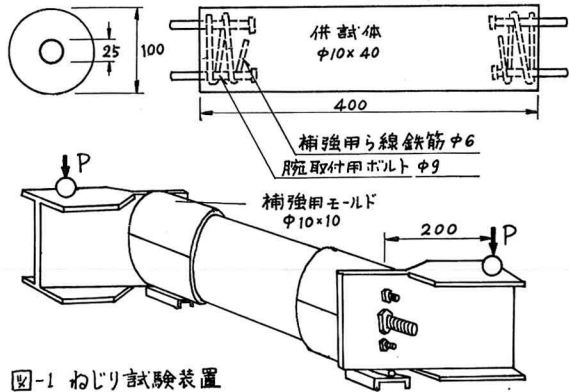


図-1 ねじり試験装置

表-3 ねじり耐力

プレーン・コンクリート				プレストレスト・コンクリート			
配合	破壊モーメント (T) kg-cm	理論値 (T_0) kg-cm	T/T_0	プレ ス ト レ ス 量 kg/cm ²	破壊モーメント (T) kg-cm	理論値 (T_0) kg-cm	T/T_0
I	4780	4542	1.05	17.1	6680	5639	1.18
				19.9	6900	5835	1.18
	5420	4542	1.19	41.8	7750	7225	1.07
				42.8	8100	7225	1.12
	4380	4209	1.04	44.0	8800	7714	1.14
				55.4	8850	8341	1.06
II	5760	4209	1.37	57.2	8800	8439	1.04
				77.2	9450	9437	1.00
	6200	5560	1.12	19.9	7850	6833	1.15
				20.7	8950	7303	1.23
	5480	5560	0.99	25.2	9000	7205	1.25
				34.4	10150	8262	1.23
III	3950	5149	0.77	40.0	9800	8184	1.20
				48.2	9300	8674	1.07
	5680	5149	1.10	48.5	9850	9143	1.08
				74.0	10750	10553	1.02
	6360	6461	0.98	19.4	6100	7890	0.77
				27.3	7750	8478	0.91
	6880	6461	1.06	28.4	9600	9359	1.03
				36.1	9800	9085	1.08
	6640	6970	0.95	43.2	10650	10396	1.02
				49.0	9750	9907	0.98
	6800	6970	0.98	64.2	11250	11689	0.98
				69.2	11900	11982	0.99

3. 実験III---砂床におけるPcパイル貫入模型実験

3-1 実験概要

ねじり貫入工法の施工性を判断する時、貫入時のパイルに生じるねじり抵抗モーメントを知ることが是非とも必要である。だが、現在の土質試験におけるねじりの応用例としてのスエーデン式サウンディング、ベンセン断試験等から直接施工時のねじり抵抗モーメントを推測することは不可能である。また、筆者等の考えるねじり貫入工法はそれら試験法と本質的に相違するものである。そこで、筆者等は下記に示す簡単な模型実験により、浅い砂床のねじり抵抗モーメントを予測することにした。

実験はヒズミ測定の関係上、模型パイルとして塩化ビニールパイプを用い、また、実際の場合とは逆に砂床を回転させ、パイプに貼付した主応力方向のヒズミゲージを動ヒズミ計で連続測定し、抵抗モー

ントを逆算する特殊な方法を用いた。

実験装置、パイル先端部の概略を図-2に、実験材料の諸性質を表-4、表-5に示す。貫入試験は砂尺、載荷荷重等の試験条件を変え、計16種類について行ない、さらに、比較のため押込み貫入試験も行った。

3-2 理論計算式

土質状態から貫入時のねじり抵抗モーメントを算定する計算法として、パイル先端部と周面部とに分けて求める。

先端部の抵抗モーメントを求めるため、先端部に垂直応力(σ)とせん断応力(τ)が生じたすると、地盤反力(P)は

$$P = \frac{1}{4} \pi D \sigma (2H \tan \phi + D) \quad \text{---(1)}$$

となる。また、先端部の最大抵抗モーメント(T_a)は式-2となる。

$$T_a = \frac{PD\sqrt{D^2 + 4H^2} \tan \phi}{3(2H \tan \phi + D)} \quad \text{---(2)}$$

周面摩擦による抵抗モーメントはパイル周面にランキン土圧が作用するものと仮定し、求めると式-3となる。

$$T_b = \frac{1}{4} \pi R^2 d^2 \tan \phi' K \quad \text{---(3)}$$

ただし ϕ : 内部摩擦角 ϕ' : 壁面摩擦角 K : 土圧係数

全抵抗モーメント(T)は $T = T_a + T_b$ となる。

3-3 実験結果

実験結果の一部を表-6表-7表-8表-9に示す。 P は実測抵抗モーメント(T)から式-2を用い、逆算した値であり、 P_0 は押込み貫入値である。なお、周面摩擦に関する実験の結果、その抵抗モーメントは実験誤差程度の微小値であった。そこで、抵抗モーメントは全て先端部で生じるものと考え P を計算した。 $P/P_0 = \alpha$ は実験の結果 0.2~0.3程度になった。ただし、 $\tan \phi$ は一面せん断の実測値を用いており、実際とは相違するものと考えらる。

本実験は深さ50cm程度の浅い貫入時の試験であり、深い基礎地盤中での抵抗モーメントを推測することは困難であるが、一応の結果として抵抗モーメントはパイル直径に比例し、押込み貫入力(P_0)から式-2を用い推定できるものと考えらる。なお、載荷荷重と抵抗モーメントの関係は表に示すように載荷荷重の増加に伴ない抵抗モーメントが多少増大する。筆者はこの載荷荷重の影響が貫入速度に関係するものと考え、押込み貫入試験の際、押込み速度を10倍程度変化させて判定したが、砂尺の場合、貫入速

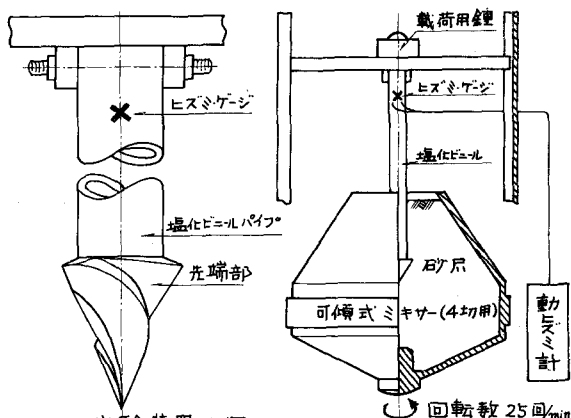


図-2 実験装置略図

表-4 砂の諸性質

状態	単位容積重量	内部マツ角	備考
絶 乾	$\gamma = 1.70$	$\phi = 50^\circ$	内部マツ角は一面せん断実測値
7%含水	$\gamma = 1.60$	$\phi = 36^\circ$	

表-5 横型パイルの形状と性質

種類	先端部直径	先端部高さ	外径	内径	弾性係数	ポアソン比
φ40	55 mm	52 mm	38 mm	31 mm	32,000 kg/cm ²	0.34
φ50	59	53	48	40	34,600	0.40
φ60	77	71	60	57	41,700	0.43

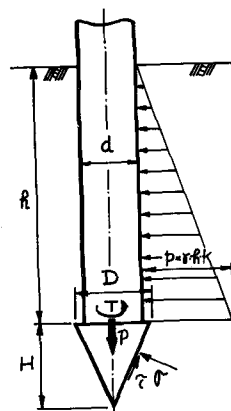


図-3 PCパイル略図

度と費入力(P_0)とはほとんど関係なく、この問題に対し、本実験の結果からはその原因を推定することはできなかった。

以上の結果から、筆者等は今後実際の施工を考える場合、ねじり抵抗モメントと標準費入力試験のN値との関係を判別することが必要であるものと考えらる。

表-6 パイル径40mm 絶乾状態砂

載荷荷重 5 kg						載荷荷重 10 kg					
費入力深さ	費入力時間	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	費入力深さ	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	
10cm						10cm					
15	20	22.4	16	105	.15	11	49.7	35	105	.33	
20	38	41.2	28	154	.19	25	64.1	45	154	.29	
22	49	45.7	31	175	.18	33	71.1	50	175	.28	
24	1'02	52.7	37	204	.18	42	81.0	57	204	.28	
26	15	58.2	41	228	.18	50	87.4	61	228	.27	
28	29	62.6	44	247	.18	1'01	87.9	61	247	.25	
30	43	67.6	47	288	.17	12	110.4	77	288	.27	
32	2'00	81.5	57	305	.19	25	115.2	81	305	.26	
34	16	89.4	63	340	.18	38	121.1	85	340	.25	
36	32	103.9	73	368	.20	52	141.6	99	368	.27	
38	51	116.8	82	399	.20	2'07	157.7	110	399	.28	
40	3'11	124.8	87	434	.20	24	172.4	120	434	.28	
42	33	147.1	103	468	.22	40	184.6	129	468	.28	
44	54	169.0	118	506	.23	58	195.3	137	506	.27	
46	4'14	183.4	128	554	.23	3'15	199.2	139	554	.25	

表-7 パイル径40mm 7%含水状態砂

載荷荷重 5 kg						載荷荷重 10 kg					
費入力深さ	費入力時間	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	費入力深さ	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	
10cm	10	22.2	17	56	.31	3	20.1	16	56	.28	
15	20	26.2	21	106	.19	7	34.8	27	106	.26	
20	38	32.1	25	148	.17	16	43.6	34	148	.23	
22	51	35.1	28	173	.16	22	48.6	38	173	.22	
24	1'07	39.5	31	195	.16	29	52.0	41	195	.21	
26	32	45.9	36	213	.17	41	59.3	47	213	.22	
28	58	49.4	39	224	.17	54	64.7	51	224	.23	
30	2'31	53.3	42	260	.16	1'10	72.1	56	260	.22	
32	3'03	58.8	46	288	.16	20	74.1	58	288	.20	
34	39	58.3	46	317	.14	44	77.0	60	317	.19	
36	4'17	61.2	48	345	.14	2'05	81.9	64	345	.19	
38	55	67.1	53	370	.14	25	88.8	70	370	.19	
40	5'47	71.1	56	369	.15	53	97.1	76	369	.21	
42	6'43	72.1	57	420	.13	3'23	107.9	85	420	.20	
44	7'41	74.1	58	449	.13	55	114.3	90	449	.20	
46	8'52	70.6	55	470	.12	4'30	114.3	90	470	.19	

表-8 パイル径50mm 7%含水状態砂

載荷荷重 10 kg						載荷荷重 20 kg					
費入力深さ	費入力時間	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	費入力深さ	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	
10cm	9	50.8	40	70	.57	5	62.7	49	70	.70	
15	20	67.1	52	131	.40	9	77.2	60	131	.46	
20	38	92.0	72	184	.39	15	99.3	78	184	.42	
22	46	97.7	76	215	.36	19	111.9	87	215	.41	
24	55	102.5	80	242	.33	23	125.4	98	242	.41	
26	1'03	104.4	82	264	.31	27	128.3	100	264	.38	
28	11	106.3	83	278	.30	30	130.2	102	278	.37	
30	19	108.3	85	322	.26	34	136.0	106	322	.33	
32	27	111.1	87	357	.24	38	138.9	109	357	.30	
34	36	115.0	90	393	.23	43	147.6	115	393	.29	
36	49	129.3	101	428	.24	50	165.9	130	428	.30	
38	2'03	141.8	111	459	.24	58	187.1	146	459	.32	
40	17	158.1	124	458	.27	1'06	200.6	157	458	.34	
42	31	167.7	131	520	.25	15	209.3	164	520	.31	
44	46	171.5	134	557	.24	25	215.1	168	557	.30	
46	3'01	172.4	135	583	.23	34	222.8	174	583	.30	

表-9 パイル径60mm 7%含水状態砂

載荷荷重 10 kg						載荷荷重 20 kg					
費入力深さ	費入力時間	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	費入力深さ	T (kg/cm)	P (kg)	P_0 (kg)	α	
10cm	9	52.9	36	119	.30	5	47.7	33	119	.28	
15	25	80.2	55	223	.25	16	116.5	80	223	.36	
20	48	101.2	69	313	.22	31	141.3	97	313	.31	
22	1'01	114.8	79	366	.22	39	157.5	108	366	.30	
24	11	130.3	89	412	.22	48	171.8	118	412	.29	
26	31	145.8	100	449	.22	57	190.0	130	449	.29	
28	46	153.1	105	473	.22	1'07	199.5	137	473	.29	
30	2'02	163.1	112	548	.20	17	206.2	141	548	.26	
32	18	167.4	115	608	.19	28	211.0	145	608	.24	
34	34	175.5	120	669	.18	40	224.5	151	669	.23	
36	48	176.4	124	729	.17	53	241.5	165	729	.23	
38	3'07	191.6	131	780	.17	2'06	273.0	187	780	.24	
40	29	213.1	146	779	.19	22	288.3	197	779	.25	
42	52	235.5	161	886	.18	38	305.5	209	886	.24	
44	4'16	257.8	177	948	.19	52	316.0	216	948	.23	
46	41	284.7	195	993	.20	3'07	330.3	226	993	.23	

4. むすび

本実験はまだ基礎的段階にあり、本工法の可能性を判断する場合、今後、さらに実験Ⅲに関しては線鉄筋、軸方向鉄筋等によるねじり耐力の増大程度、実験Ⅱとしては粘土土、実際の深い基礎地盤中での抵抗モメントの実測結果等、多くの実験データが必要ではあるが、施工法としては無騒音無振動工法であり、また、現在の施工法と比較しても地盤を弛めたり、乱したりすることが少なく、施工機械の面においても現在のアーム式法等に使われている機械を改良すれば十分適用できるものと確信する。

最後に、本実験に際し、御指導、御協力を頂きました丸産大、石堂裕助教授、野間口明義副手に対し、厚く感謝の意を表します。