

鉄筋コンクリート ポールおよびくいに用いる コンクリートの施工方法に関する研究

杉木六郎*

要旨 本文は、鉄筋コンクリート ポールおよびくいに用いるコンクリートの施工方法についての研究成果を述べたものである。まず、遠心力締固めについて、小型遠心機を用いて実験的に研究し、その成果を確かめるために工場で製品について調べ、ポールおよびくいの実物について強度試験を行ない、なお、コンクリートの硬化促進の目的とする高温養生および製品に発生したひびわれの耐久性におよぼす影響についても実験し、遠心力締固め方法、高温養生方法、コンクリートのひびわれと耐久性、遠心力締固めコンクリートの強度および試験方法、などについて実用的な結論を得た。

1. 緒論

近時、鉄筋コンクリート ポールおよびくいの需要の増加にはいちじるしいものがある。ポール パイル協会が会員工場について調べた結果によれば、昭和 35 年の生産高は、ポールが 164 000 t、くいが 880 000 t で、これは昭和 32 年の生産高のそれより 160% および 296% に相当する。

これら鉄筋コンクリート ポールまたはくいの製造方法には、現場で製造する場合打ちコンクリート工法と工場生産によるプレキャスト コンクリート工法とがあるが、わが国ではくいにおいて、一部、現場打ち工法が用いられるほかは、ほとんどプレキャスト工法により製造されている。

ポールやくいのような棒状のものを工場で製造するには、コンクリートの締固め方法として振動によるものと遠心力によるものとあるが、後者の方が i) 中心軸に対し対称に締固められる、ii) 成形断面は中空円筒となり、曲げをうけるポールに対しても、軸方向力を受ける基礎くいに対しても都合のよい形となる、iii) 締固め効果が振動締固めにまさる、などの利点から多く採用されている。

日本で遠心力鉄筋コンクリート ポールやくいが、木柱、木ぐいに代って大量に生産され利用されるようになったのは比較的新しいことなので、その製造に関する基礎的研究は少ない。

本文は、遠心力鉄筋コンクリート ポールおよびくいの製造を目指して、遠心力締固め方法、製品用コンク

リートの養生方法、コンクリートに生じるひびわれの影響、などについて行なった基礎的研究の結果を述べたもので、これら製品の実物試験を行なった成績についても記している。

本研究については、故吉田徳次郎博士ならびに国分正胤博士の懇意など指導を受けた。ここに恩師 吉田、国分両先生に深く感謝の意を表する。なお、本研究をご支援下さった国鉄構造物設計事務所 川口輝夫次長、鉄道技術研究所 多田美朝研究室長、三浦一郎技師、樋口芳朗技師、国鉄電気局電化課ならびに鉄道電化協会のかたがた、日本コンクリート工業 KK 三浦 尚技術部長、同 内山 実技師長、日本曹達 KK 吉田清二試験室長、小野田 セメント KK 浅野 忠中央研究所長、それに実験を手つだつてくださった同所 波木 守研究員、そのほかのかたがたに厚く感謝するものである。

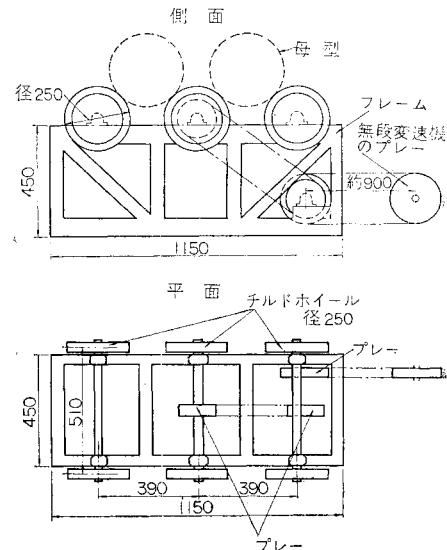
2. 遠心力締固めを行なうコンクリートにおよぼすコンシスティンシー、回転速度、回転時間の影響

(1) 実験装置および実験方法

遠心力締固めの実験は、つきの 2 種類の遠心成形機(以下、遠心機と略記する)を用いて行なった。

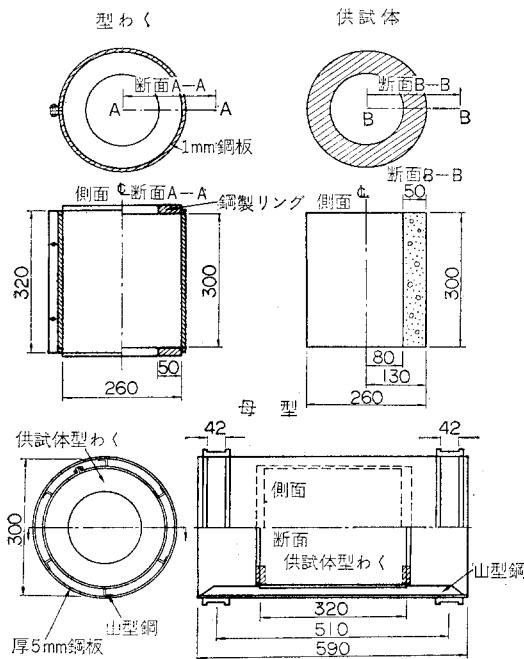
a) 車輪式遠心機(図-1) 遠心成形用型わく(図-

図-1 車輪式遠心成形機



* 正員 工博 小野田セメント KK 中央研究所 主任研究員

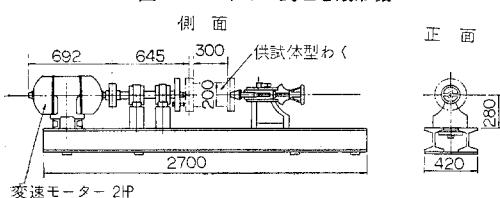
図-2 供試体と型わく(車輪式遠心成形機用)



2) を鋼製母型に入れ、これを遠心機の車輪に載せモーターにより回転させる。回転速度は無段变速機を用いて連続的に変えた。この遠心力締固め方式は、ポール、くい、あるいはヒューム管の製造工場で一般に用いている方式であるが、金属車輪の上に型わくの金属タイヤが載っているので、回転中金属輪のふれ合いによる微細な振動が型わくに与えられる。ただし、回転速度が速くなりすぎると型わくがおどり始める傾向がある。本実験では回転速度が 800 rpm 以上になるとこの傾向が現われたので、高速回転をするときには、上から別の車輪でおさえた。回転中、型わく両端面はあいているので、遠心力により中空円筒コンクリートの内側面にしぶり出されたペースト水は飛散した。

b) ジャイロ式遠心機(図-3) 型わくは、内径 200 mm、高さ 300 mm 鋼製円筒で、これに所定量のコンクリートを入れたのち、型わくの両端面に鋼製円板を締めつけコンクリートを密封する。この状態で図-3 に示すように、円板の中心をピボットでおさえ遠心機に取りつける。回転は軸に直結した分巻形可変モーターにより与えた。この方式は、ちょうど工作機の旋盤の回転方式

図-3 ジャイロ式遠心成形機



で、回転速度を高めても、型わくは振動することなく、また密閉されているのでしぶり出されたペースト水の飛散はなかった。

c) 遠心成形および強度試験 車輪式遠心機を用いるときは、型わくを回転させながらコンクリートを投入し、遠心力によりコンクリートが全体にはば等厚にゆきわたるのを待って次第に回転速度を増し、所定時間締固めを行なった。ジャイロ式遠心機を用いるときも、はじめ約 150 rpm の低速度で 1.5~2 分間回転してコンクリートを型わく内にゆきわらせたのち回転速度を増した。

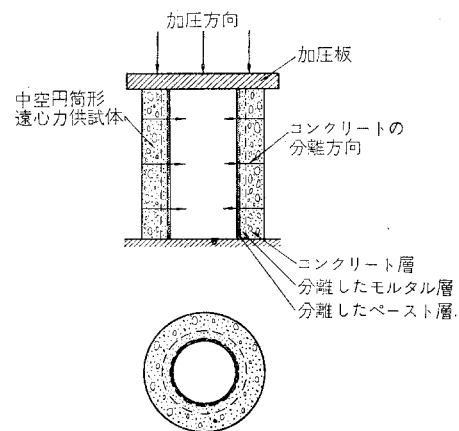
遠心成形を終った供試体は、材令 1 日で脱型し試験材令まで水中で養生した。成形した遠心力中空円筒供試体の寸法はつきのとおりである。

○車輪式遠心機で成形したものー外径 260 mm、厚さ 50 mm、高さ 300 mm

○ジャイロ式遠心機で成形したものー外径 200 mm、厚さ 45 mm、高さ 300 mm

遠心力供試体は容量 200 t アムスラー型試験機により、図-4 に示すように荷重を加え圧縮試験をした。

図-4 遠心力供試体の圧縮試験



d) 遠心力締固めについて 遠心力締固めの効果は、遠心力の大きさに関連があるはずである。この場合、遠心力の大きさを重力の加速度 g の倍数で示すのが都合がよいと考えられる。回転半径および回転速度と遠心力との関係はつきのようになる。

$$f = m \cdot \frac{(2\pi r n)^2}{r} \cdot \frac{1}{mg} = \frac{4r\pi^2n^2}{g}$$

ここに、f: 遠心力 (g の倍数で示す), m: 質量, r: 回転の半径, n: 回転速度 (単位時間あたり回転数), g: 重力の加速度

(2) コンクリートのコンシスティンシーの影響についての実験¹⁾

この実験は、埼玉県のY工場に出張し、工場の遠心機(車輪式)を用いて行なった。型わくは図-2 のものを用いた。

a) コンクリート セメントは普通ポルトランドであるが、長く貯蔵されたもので、強度試験成績は表-1に示す。細骨材は入間川産砂で、粗粒率 1.61、比重 2.59、粗骨材は荒川産砂利で、比重 2.62、最大寸法 10 mm として用いた。

表-1 セメント強度試験成績

フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm²)			圧縮強度 (kg/cm²)		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
220	23.2	37.3	57.4	68	145	270

表-2 コンクリートの示方配合

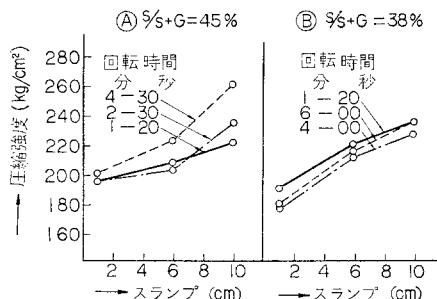
細骨材率	(A) 45%			(B) 38%		
	スランプの範囲 (cm)	水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)
0.5~2	45	440	198	801	961	252
5~7	45	472	212	779	937	270
8~11	45	503	223	759	910	232
0.5~2	45	415	187	692	1 106	252
5~7	45	445	200	675	1 080	267
8~11	45	467	210	664	1 059	269
σ_{28} (kg/cm²)						
	252	270	232	252	267	269

注：スランプはバッチごとに測定したが、表の範囲にあった。

コンクリートの配合は水セメント比を一定とし、細骨材率を2通りに、スランプを3通りに変化した。表-2に示方配合を示す。

b) 遠心成形および強度試験結果 遠心力締固め時の回転数を 560 rpm に、回転時間を 1 分 20 秒～6 分の間に変化して成形した。供試体は脱型後工場内にねれむしろをかけて 5～10 日養生したのち運搬し、実験室の水そうで養生し、材令 4 週で試験した。

試験結果を図-5 に示す。水セメント比を一定に保てば、スランプを 1～10 cm 程度の範囲に変化しても、通常の締固め供試体では圧縮強度差の傾向は現われない。

図-5 コンステンシー(スランプ)
と遠心力供試体圧縮強度

が、遠心力締固め供試体においてはスランプが大きいほど圧縮強度は大となった。これはスランプの大きいものほど単位水量が多いので、遠心力によりしづり出される水の割合が大となり、したがって、締固め後におけるコンクリートの水セメントの減少の割合が大きくなるためと考えられる(表-9 参照)。細骨材率の相違による影響は明らかでなかった。

(3) 回転速度および回転時間についての実験

車輪式遠心機およびジャイロ式遠心機を用いて実験した。

a) 使用材料 用いた材料は表-3 および 4 のとおりである。

表-3 普通ポルトランドセメントの試験成績

用いた実験	曲げ強度 (kg/cm²)			圧縮強度 (kg/cm²)			フローアル (mm)
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
車輪式遠心機による実験	26.0	44.2	64.5	95	193	344	235
ジャイロ式遠心機による実験	28.9	43.0	68.7	113	206	402	225

表-4 細骨材および粗骨材

用いた実験	細骨材	粗骨材
車輪式遠心機による実験	相模川産砂 粗粒率 2.90 比重 2.64	相模川産砂利 比重 2.65 最大寸法 15 mm
ジャイロ式遠心機による実験	相模川産砂 粗粒率 2.76 比重 2.61	安倍川産砂利 比重 2.64 最大寸法 15 mm

表-5 締固め回転速度と遠心力供試体
コンクリートの圧縮強度

締固め回転速度 (rpm)	回転時間 (分)	遠心力 (g)	圧縮強度 (kg/cm²)	標準偏差 (%)
(1) 車輪式遠心機による実験結果				
600	5.5	43	303	
600	10.0	43	289	
800	5.5	75	261	
800	10.0	75	289	
1 000	3.5	117	258	
(2) ジャイロ式遠心機による実験結果				
400	5.5	14	384	—
500	5.5	22	380	1.6
600	5.5	31	387	7.7
700	5.5	42	382	0.0
800	5.5	55	358	2.0

注：1) 回転時間は遠心力締固め工程の時間

2) 遠心力は壁厚中央部における値

b) 車輪式遠心機による実験²⁾³⁾ 下記の配合のコンクリートを用い、型わくの回転数を 600, 800, 1 000 rpm に変化して遠心成形し、材令 28 日で圧縮試験した結果は表-5 に示す。

① コンクリートの配合：スランプ 7.5 cm、単位水量 177 kg、単位セメント量 365 kg、水セメント比 48%，絶対細骨材率 48%。

なお、この実験で、回転数を 250 rpm (壁厚中央の遠心力 7.5 g、内壁面の遠心力 5.6 g) としたところ、回転時間を 20 分としてもコンクリートは形を保つ程度にまで締め固まらなかった。回転を 300 rpm (遠心力 11 g) としてようやく成形できた。

つぎに下記の配合のコンクリートを用い、型わく回転速度を 400 rpm (遠心力 19 g) とし、回転時間を 3～30 分の間に変化して試験した。試験結果は表-6 に示す。

② コンクリートの配合：スランプ 6 cm、単位水量 177 kg、単位セメント量 400 kg、水セメント比 42.5%，

表-6 回転時間と遠心力供試体コンクリートの圧縮強度

回転時間	3分	6分	12分	30分
圧縮強度(kg/cm ²)	366	356	380	353
コンクリートの比重	2.51	2.52	2.52	—
分離の状態	分離なし	わずかに分離の傾向を認む	内側はセメントペーストの分離層約3mm	分離いちじるしいペーストおよびモルタル層8~9mm

注：締固め回転速度 400 rpm

絶対粗骨材率 47%。

圧縮試験を終った供試体は、これを破壊して材料の分離状態を調べたが回転時間の増加につれて分離はいちじるしくなり、粗骨材が外周に集まり、内周にモルタル層が、一番内側にセメントペースト層ができていた。

c) ジャイロ式遠心機による実験 下記の配合のコンクリートを用い、締固め時の回転速度を 400~800 rpm の間に変えて成形し、材令 14 日で試験した。試験結果は表-5 に示す。

① コンクリートの配合：スランプ 5 cm、単位水量 180 kg、単位セメント量 400 kg、水セメント比 45%，絶対細骨材率 47%。

(4) 2. の実験結果について

本実験の範囲でわかったことは、つぎのようなことである。

① コンクリートのコンシスティンシーは、遠心力締固めに対してもある程度必要で、スランプ 2 cm 以上であれば締固めが容易となる⁴⁾。

② 型わく全体にコンクリートをゆきわたらせるため最初に低速で回転し、その後、回転速度を増していくことが大切である。

③ 回転速度および回転時間の圧縮強度におよぼす影響を、一義的に求めることは非常にむずかしいようである。回転速度、または時間を増せば遠心力締固め効果は上昇するが、反面コンクリートの分離は増大する。圧縮試験を図-4 のように材料分離に直角方向に加圧して行なうと、コンクリート壁厚の平均強度となって現われる。これが遠心力締固め効果の差異が現われにくい原因と考えられる⁵⁾。

④ コンクリートぐい、またはポールは荷重により軸方向の圧縮応力または曲げ圧縮応力を生じるものであるから、遠心力供試体に軸方向荷重を加えて圧縮強度を求めることは実用的と考えられる。このような圧縮試験の結果では、回転速度をかなり広い範囲に変化させてもコンクリート供試体の圧縮強度への影響は小さいようである。

⑤ 締固め回転時間が長過ぎるのは効果がない。30 分にもおよぶと分離が増大するからよくない。

⑥ 型わくは円滑に回転することが大切で、車輪の踏

面の不整や型わくのアンバランスのために、回転中おどるような場合、いちじるしく遠心力締固め効果の害されることを経験した。ただし、車輪式遠心機において金属輪の触れ合いによる細かい振動は、締固めに好影響をもたらすようである(7. (2) c) 参照)。

3. 遠心力締固めを行なうコンクリートにおける水セメント比および混和材料の影響

遠心力締固めを行なうと、かなり多量の水がしぶり出されるので、成形後のコンクリートの水セメントは練り混ぜ時のものとかなり相違してくる。それで練り混ぜ時の水セメント比と遠心成形したコンクリートの圧縮強度との関係について実験した。なお、AE 剤、分散剤、その他の混和材料を用いたコンクリートに対する遠心力締固め効果についても実験した。

実験装置、実験方法、それに使用材料は 2. におけるものと同じである。ただし、AE 剤はビンゾールレジンを、分散剤はポゾリス No. 5 を用いた。フライアッシュは常盤火力 KKK のもので試験成績は表-17 に示す。なお、遠心力供試体を成形するコンクリートからは、それぞれ径 15 cm、高さ 30 cm または径 10 cm、高さ 20 cm の円柱形標準供試体を作製した。

(1) コンクリートの水セメント比の影響についての実験

a) 車輪式遠心機による実験²⁾ コンクリートの単位水量を一定とし、水セメント比を 36~75% の間に変化した配合をもって実験した(表-7)。遠心力締固めは型わく回転速度を 550 rpm とし、6 分間行なった。供試体は材令 28 日で圧縮強度を試験した。なお各供試体について水中重量および空中重量をはかり、それぞれの比重を求めた。試験成績は表-7 および図-6 (1) に示す。

b) ジャイロ式遠心機による実験 コンクリートの単位水量および単位粗骨材量を一定とし、水セメント比を変化した配合について実験した(表-8)。遠心力締固めは回転速度 600 rpm で 4 分間、または 800 rpm で 7 分間行なった。遠心力締固め中にしぶり出されたペースト水は、その量を計ったのち分析して、ふくまれているセ

表-7 コンクリートの水セメント比と圧縮強度

(車輪式遠心機による実験結果)

水セ比 メ ン タ ン (%)	コンクリートの配合				コンクリートの比重と 材令 28 日圧縮強度			
	単位セ メント 量 (kg)	単位 水 量 (kg)	絶対粗 骨 材 率 (%)	スラ ン プ (cm)	遠心力供試体		標準供試体	
					比重	強度 (kg/cm ²)	比重 (kg/cm ²)	
36	492	177	45	6	2.50	438	2.38	479
40	443	177	46	9	2.49	388	2.33	406
46	385	177	47	10	2.46	310	2.36	358
53	334	177	49	8	2.45	265	2.33	273
63	281	177	51	6	2.43	208	2.33	190
75	236	177	53	4	2.40	157	2.30	124

注：比重および強度は、遠心力供試体においては 4 個の、標準供試体においては 6 個の平均値を示す。

メント分と水分とを求める、これより練り混ぜ時のコンクリートの水セメント比が締固め後どのように変化したかを調べた(表-9)。供試体は材令14日で圧縮強度を試験した。試験成績は表-10および図-6(2)に示す。

以上の実験から遠心力締固めにより、かなりの水がしぶり出されるが、遠心成形したコンクリートの圧縮強度は、一般的のコンクリートにおけると同

表-8 コンクリートの配合
(ジャイロ式遠心機による実験)

水セメント比 (%)	絶対細骨材率 (%)	材料の単位量 (kg)			スランプ (cm)	
		水	セメント	細骨材		
36	44.5	180	500	750	948	4
43	46.5	180	419	817	948	6
53	48.5	180	340	883	948	6
70	49.5	180	257	951	948	5

表-9 練り混ぜ時の水セメント比と遠心力締固め後の水セメント比

練り混ぜ時の水セメント比 (%)	しぶり出されたペースト水の量 (%)	ペースト水中のセメント対水 C : W	締固め後の水セメント比 (%)
36	1.6	19 : 81	30
43	2.0	14 : 86	34
53	2.5	13 : 87	39

- 注: 1) ジャイロ式遠心機により 600 rpm で締固める。
2) コンクリートの単位水量は、各配合とも 180 kg。
3) しぶり出されたペースト水の量はコンクリートの全量に対する % を示す。

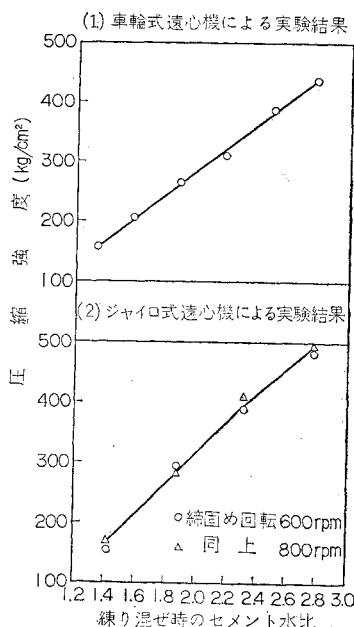
表-10 コンクリートの水セメント比と圧縮強度
(ジャイロ式遠心機による実験結果)

水セメント比 (%)	遠心力供試体				標準供試体	
	比重		圧縮強度 (kg/cm²)		比重	圧縮強度 (kg/cm²)
	600 rpm	800 rpm	600 rpm	800 rpm		
36	2.45	2.47	482	498	2.39	521
43	2.42	2.45	390	411	2.36	455
53	2.39	2.41	295	288	2.34	329
70	2.32	2.32	155	169	2.32	165

注: 1) 圧縮強度は供試体 3 個の平均値

2) 標準供試体は直径 10 cm, 高さ 20 cm

図-6 遠心成形コンクリートのセメント水比と圧縮強度



様に⁶⁾、練り混ぜ時のセメント水比にだいたい比例する結果が得られた。

(2) 混和材料の影響についての実験

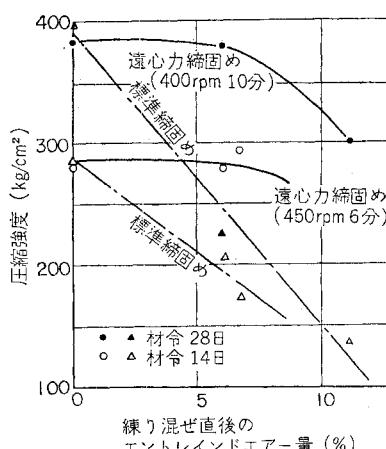
a) 車輪式遠心機による実験⁷⁾ 用いたコンクリートの配合は表-11 のとおりである。遠心力締固めは、材令 14 日で試験するものは 450 rpm (遠心力 24 g) 6 分間、材令 28 日試験のものは 400 rpm (遠心力 19 g) 10 分間とした。遠心力供試体を成形する一方、同じバッヂのコンクリートから標準供試体(径 15 cm, 高さ 30 cm)を作製した。所定材令に達した供試体は養生水をうよう取りだし、比重を測定したのち強度試験をした。試験成績は表-11 および図-7 に示す。本実験では工

表-11 AE コンクリートに対する遠心力締固めの影響

試験	コンクリートの配合						圧縮強度 (kg/cm²)	比重	
	A スラ ッシュ ドエア ー量 cm	E レイン ジル ビング ー量 %	セメント 単位 kg	水 量 kg	セメント 比 %	絶対 細骨 材率 %			
(1) 材令14日で試験したもの	なし	7	C	165	375	44	47	280	2.46
	ピンゾール	8	7	143	325	44	47	292	2.44
	ピンゾール	8	6	143	325	44	47	278	2.47
(2) 材令28日で試験したもの	なし	13	0	180	375	48	48	381	2.35
	ピンゾール	13	6	160	335	48	48	376	2.45
	ピンゾール	14	11	143	300	48	48	298	2.41

注: 圧縮強度、および比重は、遠心力供試体は 2 個、標準供試体は 4 個についての平均値である。

図-7 エントレインド エアーアー量と圧縮強度



ントレインド エアーアーは、その量が 6% 程度までは遠心力締固めにより追出され、したがって AE 剤を用いない同一水セメント比のコンクリートにくらべ強度の低下はなかった。遠心成形により空気の追出されたことは、遠心、標準両供試体コンクリートの比重の差から明らかである。

b) ジャイロ式遠心機による実験 用いたコンクリートの配合は表-21 の中の A, D₁, F の 3 種である。遠心力締固めは 600 rpm (遠心力 31 g) 4 分間、または

800 rpm (遠心力 55 g) 5 分間で行なった。標準供試体は径 10 cm, 高さ 20 cm である。

供試体は材令 14 日で圧縮強度および曲げ引張強度を試験した。遠心力供試体（中空円筒形）の曲げ引張強度は、供試体を横にすえ上下から荷重を加えて試験し、7. (3) 式 (6) により算出した。試験結果は表-12 に示す。

表-12 混和材料を用いた遠心力供試体の
圧縮および曲げ引張強度

配合 記号	混和材料	遠心力供試体強度 (kg/cm ²)				標準供試体 圧縮強度 材令28日 (kg/cm ²)	
		材令 14 日					
		600 rpm	800 rpm				
A	なし	387 (87)	44.2	387 (85)	44.9	445 (100)	
D ₁	フライ アッシュ	338 (95)	41.8	348 (97)	33.3	358 (100)	
F	分散剤	424 (91)	43.6	409 (88)	46.7	467 (100)	

注：1) 強度は供試体 3 個の平均値

2) 圧縮の欄の () の数字は標準供試体圧縮強度を 100 とした値
本実験の結果から、標準供試体の圧縮強度と遠心力供試体の圧縮強度とをそれぞれ比較すると、フライ アッシュあるいは分散剤を用いたコンクリートに対しても遠心力締固めは無混和コンクリートの場合にくらべ、むしろ有利な結果が得られた。フライ アッシュを混和し、800 rpm で成形した場合、曲げ引張強度が低下しているのは、円筒内面にフライ アッシュが分離した影響と考えられる。混和材料を用いたコンクリートに対する遠心力締固めの効果は、車輪式とジャイロ式とでは相違するものと思われる。これについては、7. (2) で述べる。

(3) 実験結果について

本実験の範囲でわかったことは、次のようなことである。

① 遠心力締固め中にペースト水がしぶり出されるが、プラスチックでウォーカブルなコンクリートを用いるかぎり、遠心成形したコンクリートの圧縮強度は練り混ぜ時のコンクリートの水セメント比により定まり、水セメント比 36~70% ぐらいの範囲では、セメント水比と圧縮強度との関係はほぼ直線である。

② 遠心成形中にしぶり出されるペースト水の量は、コンクリートの水セメント比の大きいほど多い。したがって、遠心力締固め効果は水セメント比の大きい方が現われやすい。

③ AE コンクリート中のエントレインド エアーは、振動締固めでは比較的抜けにくいが、遠心力締固めによるとペースト水とともにしぶり出される。それで、AE コンクリートを遠心力締固めすれば、エントレインド エアーによる強度の低下は、通常の締固めを行なった場合にくらべ少ない。

④ フライ アッシュを用いたコンクリートに対して、も、回転速度、回転時間が適当であれば、遠心力締固め効果はフライ アッシュを用いないコンクリートの場合にくらべて劣らない⁷⁾。

⑤ 遠心成形したコンクリートの比重および圧縮強度から、車輪式遠心機の方がジャイロ式遠心機にくらべ締固め能率の高いことが認められた。

4. 高温養生がコンクリートの性質におよぼす影響

遠心力鉄筋コンクリート ポール または くいの製造に用いるコンクリートには、高強度と早期強度とが要求される結果、きわめて富配合のコンクリートが用いられる。高強度を得るために単位セメント量をいちじるしく多くしても強度は増さず⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、遠心成形するとセメントペーストの分離量は増大する傾向がある。この場合、分散剤を用い単位セメント量を減じる方法が考えられる。早期強度は、成形から脱型までの時間を短縮し型わくの利用率を高めるために要求されるもので、ポール、くいそのほかコンクリート製品の製造に対し大切な問題である。

早期強度を得る目的には、通常、高温(蒸気)養生が用いられていて、既往に多くの研究があるが¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、分散剤その他の混和材料を用いた場合についての実験報告は少ないので、実験を行なうこととした。

(1) 富配合コンクリートにおける養生温度と分散剤混和の影響についての実験¹⁷⁾

a) コンクリート セメントは普通および早強ポルトランドを用いた。試験成績は表-13 に示す。細骨材は相模川産砂で粗粒率 2.78、比重 2.58、粗骨材は安倍川産砂利で比重 2.62、最大寸法 25 mm として用いた。分散剤はポゾリス No. 5, No. 8, No. 10 を用いた。

コンクリートの配合は、水セメント比を一定とし、スランプがほぼ等しくなるように単位水量を定めた。表-14 に示方配合を示す。

表-13 セメントの試験成績

セメント	粉末度 88 μ比表 ふるい残 い残 % cm ² /g	凝結 始発 終結 時分 時分	安定性 mm mm	曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)									
				1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日						
				普通	2.2	300	2.484	25	良	243	—	30.6	49.1	72.2	—	136	252
早強	1.3	3974	2.40	4.01	良	243	23.6	47.6	65.8	79.4	96.3	244	368	481			

表-14 無混和コンクリートおよび分散剤
混和コンクリートの配合

使用セメント	混和剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	w/c (%)	s/a (%)	材料の単位量 (kg)			
						セメント 水 細骨材 粗骨材	セメント 水 細骨材 粗骨材		
普通セメント	なし	2.5	2.0	35	37.5	451	158	663	1120
	分散剤	2~2.5	2.6 ~2.8	35	37.5	389	136	694	1170
早強セメント	なし	2.5	1.9	35	35.5	474	166	610	1130
	分散剤	2.5~4	2.5~4	35	35.5	403	141	645	1190

注：分散剤はボゾリス No. 5, No. 8, No. 10 を、それぞれセメント量の 0.5%, 0.25%, 1.0% 使用した。

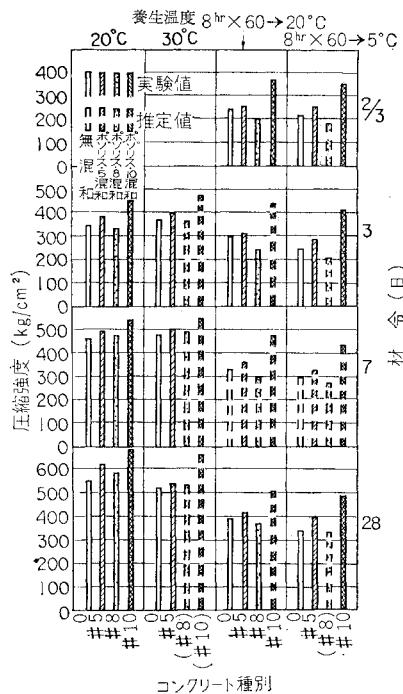
b) 養生および強度試験 供試体は径 15 cm, 高さ 30 cm 円柱形で、成形後 20°C の室に 4 時間静置したのち、所定温度の養生を開始した。ただし、練り上がりコンク

リートの温度は7~10°Cであった。

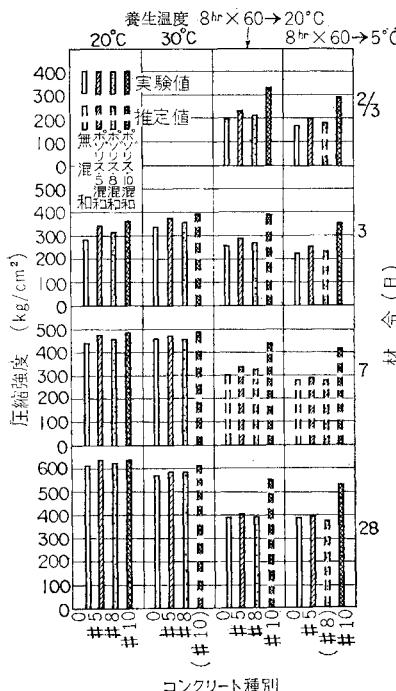
養生温度は、20°C, 30°C, 8時間 60°C のうち 20°C, 8時間 60°C のうち 5°C, の4通りとし、それぞれの温度に保った水そうに浸して養生した。養生中の水温の偏

図-8 圧縮強度試験結果

(a) 普通セメントを用いたコンクリート



(b) 早強セメントを用いたコンクリート



差は各水そうとも ±1°C 以内であった。供試体は材令 2/3 日 (60°C 養生のもののみ), 3 日, 7 日, 28 日で圧縮強度を試験した。試験結果は 図-8 に示す。

(2) 練り混ぜ後, 給熱するまでの時間および給熱方法についての実験

コンクリートの高温養生を行なう場合, 練り混ぜ後給熱を開始するまでの時間および温度上昇速度が強度に大きな影響があるようである¹²⁾¹⁸⁾。4. (1) の実験において, 60°C 養生を行なったコンクリートの材令 3 日以降の強度が, 標準養生のものにくらべかなり低くなった。これは, 練り混ぜ後 4 時間経過したコンクリートを型わくのまま直接 60°C の温水に浸して高温養生をしたためであって, 直接温水に入れたことが, 同じ温度の蒸気室に入れる場合よりはるかに急激な温度上昇をコンクリートに与えた結果と考えられる。それで, 給熱方法の影響について実験した。

a) コンクリート 使用材料は 4. (1) のものと同じで, 用いた配合は 表-15 のとおりである。

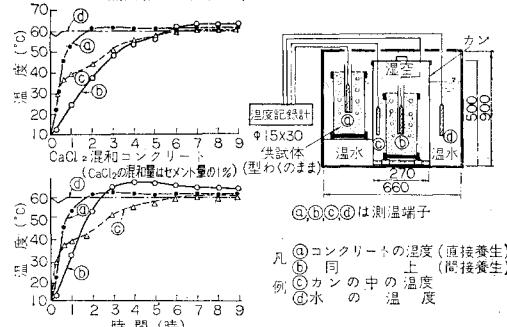
表-15 コンクリートの配合

コンクリート	普通セメントを用いたもの		早強セメントを用いたもの	
	無混和	塩化カルシウム	無混和	ボブリス No. 10
粗骨材最大寸法 (mm)	25		25	25
スランプ (cm)	3		3	3
空気量 (%)	1.5		1.5	3.5
単位水量 (kg)	154		153	135
単位セメント量 (kg)	440		443	386
水セメント比 (%)	35		35	35
混和剤量 (セメントに対する %)	—	1	—	1

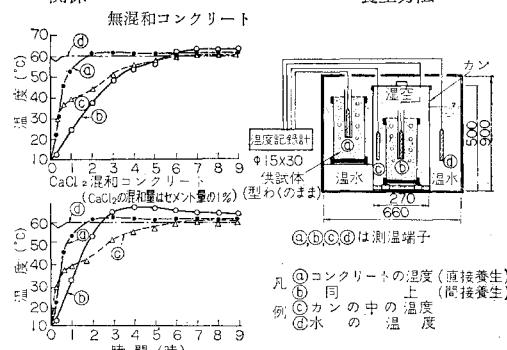
図-9 直接または間接養生したコンクリート供試体の温度上昇

(a) 経過時間と温度上昇との関係

無混和コンクリート



(b) 直接および間接養生方法



b) 高温養生中のコンクリートの温度上昇についての実験結果 図-9 に示すように温水中に直接浸した場合と, 間接に浸した場合について, コンクリートの温度上昇の状態を比較した。温度は電気抵抗温度計を用いて測定した。実験の結果は 図-9 および 表-16 に示す。これより直接法と間接法とで, コンクリートの温度上昇にかなりの相違のあること, 塩化カルシウム混和により

表-16 直接高温養生または間接高温養生したコンクリートの圧縮強度

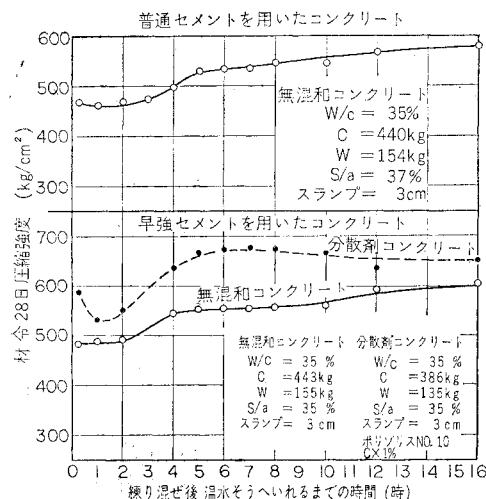
養生方法	材令28日圧縮強度(kg/cm²)		
	普通セメント		早強セメントコンクリート
	コンクリート	無湿和	ボゾリスNo.10混和
a) 直接高温養生	390	395	510
b) 間接高温養生	498	543	637
a/b	78%	73%	80%

注: 圧縮強度はそれぞれ供試体3個の平均値

温度上昇が早くなること、養生開始後2~5時間でコンクリートの温度がまわりの温度より高くなること、温度上昇勾配がゆるやかな方が強度が高くなること、などが確かめられた。

c) 高温養生を開始するまでの時間を変えた実験結果
コンクリート供試体を成形後、いったん20°Cの恒温室に静置し、練り混ぜ後所定の時間経過したものから高温養生を開始した。高温養生は60°Cに保った湿空カンに8時間入れて行ない、カンより取り出し1昼夜恒温室においていたのち、試験材令まで20°Cの水中で養生を続けた。実験の結果は図-10に示す。

図-10 練り混ぜ後の経過時間と圧縮強度



(3) 種々のセメントを用いたコンクリートの高温養生についての実験

a) コンクリート用いたセメントは普通、早強および高炉セメントで、フライアッシュセメントとしては、普通セメントにフライアッシュを所定量混和して用いた。それぞれの試験成績は表-17, 18, 19に示す。骨材は表-4に示すシャイロ式遠心成形実験に用いたものと同じである。コンクリートの配合は、各セメントまたは混和剤を用いたものに対し、単位セメント量および単位粗骨材量を一定とし、ほぼ同じスランプが得られるようにこれを定めた。表-20にその配合を示す。

b) 供試体の製作、高温養生および実験結果 供試体

表-17 セメントおよびフライアッシュの化学成分(%)

セメント フライ アッシュ	強熱 減量残分	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	MnO	計
セメント									
普通	0.73	22.26	4.83	3.13	65.02	1.63	1.66	—	99.48
早強	1.30	20.78	4.24	3.06	66.60	1.28	2.36	—	99.88
高炉	0.43	21.26	9.40	2.15	55.30	2.68	1.68	0.65	98.70
フライ アッシュ	1.24	—	61.22	26.55	4.09	4.73	1.21	—	99.04

表-18 セメントの物理的性質

セメント ト種別	比 重 cm³/g	粉末度		凝結		安定性		曲げ強度 (kg/cm²)		圧縮強度 (kg/cm²)		フロ mm		
		ブレ ーン 残 分 % %	88μ 残 分 % %	水 量 始 発 終 結 時 分 分 時 分	定 性	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日			
		ブレ ーン 残 分 % %	88μ 残 分 % %	水 量 始 発 終 結 時 分 分 時 分	定 性	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日			
普通	3.15	3360	1.4	25.9	2~50	4~40	良	28.9	43.0	68.7	113	206	402	225
早強	3.12	4620	0.2	28.2	2~20	3~30	良	46.3	59.1	71.6	220	310	449	235
高炉	3.07	3820	2.3	27.6	5~30	2~20	良	22.3	31.5	59.3	77	138	322	224

表-19 フライアッシュの物理的性質

比 重	粉 末 度		单 位 水 量 (cm³/g)	单 位 水 量 (%)	压 缩 强 度 比 (%)		28 日	91 日
	ブレ ーン 残 分 % %	88μ 残 分 % %			28 日	91 日		
2.21	2870	1.5	90.0	90.0	80.8	96.4		

表-20 コンクリートの示方配合

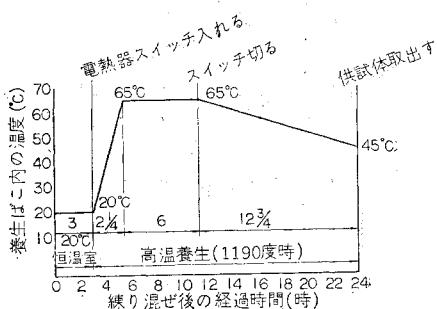
記 号	使用セ メント	スラ ンプ (cm)	空氣 量 (%)	水セ メント 比 (%)	細骨 材率 (%)	材料の単位量(kg)		单 位 AE 剤量 (g)	
						水	セメント		
A	普通	4.5	—	45	47	180	400	833	948
B	早強	4.5	—	45	47	180	400	830	948
C	高炉	4.5	—	44.2	47.1	177	400	833	948
D ₁	フライア ッシュB	4.5	—	42	47.4	168 (C 340) (F 60)	843	948	
D ₂	フライア ッシュC	4.5	—	40	47.4	160 (C 280) (F 120)	843	948	ビンゾール 37 g
E	普通(AE)	5.5	5.0	41	45.1	165	400	768	948 ボゾリス 2.000 g
F	普通(分散)	4.5	4.5	40	45.6	212	400	804	948

注: 1) フライアッシュBは、普通セメント85にフライアッシュ15を混合したもの。フライアッシュCは、普通セメント70にフライアッシュ30を混合したもの。

2) 水セメント比は、フライアッシュB,Cにおいて、フライアッシュをセメントの一部と考えて求めた。

の寸法は径10cm、高さ20cm円柱形で、成形時のコンクリートの温度は21°Cであった。養生は80×50×60cmの木箱で、底に水を入れ電熱器で蒸気を発生させ、そう内を湿度100%で所定の温度に保った。温度偏差は調節器により±2°C以内に保つことができた。供試体は型わくのまま、養生そう内に入れた。高温養生は、成形後3時間経過したのち開始し、最高温度は65°Cである。

図-11 高温養生温度と時間



°Cとした。その状況は図-11に示すとおりで、高温養生温度と時間との相乗積は1190度時となった。練り混ぜ後高温養生開始までの時間、温度の上げ方、および最高温度は遠心力鉄筋コンクリートポール(JIS A 5309)の蒸気養生を行なう場合の規定によったものである。

高温養生を終った供試体は試験材令に達するまで20°Cの水中養生を行なった。圧縮強度試験成績、それに高温養生を終った直後の圧縮強度と材令28日における圧縮強度との比を表-21に示す。

表-21 高温養生したコンクリートの圧縮強度(kg/cm²)

記 号	使用セメント その他の 種類	高温養生した コンクリート			標準養生した コンクリート			圧縮強度比 (%)
		(a) 1日	3日	7日	(b) 3日	28日	(c)	
		(a)/ (b)	(a)/ (c)	(b)/ (c)				
A	普通 セメント	257	323	370	448	215	449	57
B	早強 セメント	377	416	443	516	321	506	76
C	高炉 セメント	204	211	261	382	108	388	56
D ₁	フライアッシュB	229	257	315	423	161	446	54
D ₂	フライアッシュC	188	220	255	396	151	418	45
E	普通(AE剤)	207	262	296	367	143	336	56
F	普通(分散剤)	294	344	336	446	238	470	66

注: 圧縮強度は供試体3個の平均値

(4) 4. の実験結果について

本実験の範囲でわかったことは、

① 単位セメント量の特に多い配合のコンクリートに対し、水セメント比を変えることなしに、良質の分散剤を用いて単位セメント量、単位水量を減じると、強度は増す。

② 分散剤に混合された硬化促進剤は、高温養生を行なうとき早期強度を高めるのに有効である。

③ 高温養生は、練り混ぜ後3~4時間以上経過してから開始するのがよい。3時間以内に高温養生を開始したものは、4週圧縮強度で10~20%低い値を示した。

④ 温度の上げ方はゆるやかな方がよい。コンクリートを直接高温水に浸すような急激な上げ方をすると、材令28日で、標準養生したものより30~35%も低下した。

⑤ 遠心力鉄筋コンクリートポールまたは基礎くいの日本工業規格に示されている高温養生の規定によって行なえば、下記のいずれのセメントおよび混和剤を用いたコンクリートに対しても、材令28日で、標準養生したものより大きく低下することはない。

普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメントB種およびC種、AE剤または分散剤の混和。

⑥ ごく早期の強度をえるための高温養生の効果は、早強セメントが大で、ついで普通、高炉、フライアッシュセメントの順となる。早強セメントは早期強度の発現に対し、低温時に他のセメントより有効とされているが、高温養生を行なう場合にも有利なことがわかった。

⑦ 養生温度(°C)×養生時間(時)が1200度時程度

の高温養生をしたコンクリートでは、まだ未水和のセメント部分が残っていて、水中養生を続けることにより水和は続行し、強度は増進する。

⑧ 高温養生を行なったのちに行なう水中養生の温度の影響は、比較的小さいようである。

5. 遠心力鉄筋コンクリートくいおよびポールの強度について

遠心力締固めに関する研究の一環として工場に出張し、遠心力締固めの実施状態を調べる一方、遠心力コンクリート製品について実物試験を行なった。くいの圧縮試験には鉄道技術研究所呉実験所の容量3000tまたは400tの大型試験機を使用した。ポールの曲げ試験には、同研究所構内の設備を用いた。

(1) 鉄筋コンクリートくいについての実験

a) 実験 I^{19) 20)} A, B, CおよびDの4工場で製造されたくいについて試験した。製造条件は表-22に示すとおりであるが、当時はまだ遠心力鉄筋コンクリートくいに関するJISは制定されていなかった。遠心力締固めコンクリート、あるいは鉄筋コンクリート供試体は写真-1に示すように、くいの型わくに隔壁板を入れ、製品と同じ条件で製作した。

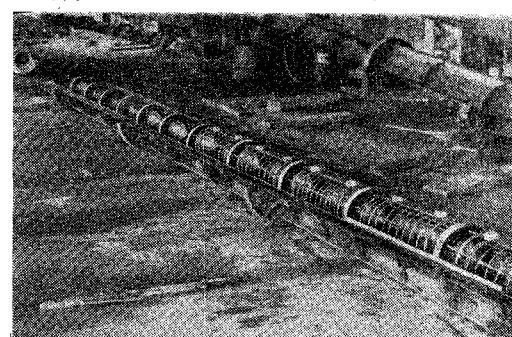
くいの試験は写真-2に示すように水平に中心軸方向荷重を加えて行なった。載荷端部には図-12に示すようなヒンジ装置を用いた。くいの中央付近のささえは、荷重が20tに達したとき取りのぞいた。くいおよびくいと同一条件で製造した遠心力供試体(短柱)の圧縮試験

表-22 くいの製造条件

	工場	A	B	C	D
コンクリート	粗骨材最大寸法(mm)	20	20	20	
	単位セメント量(kg)	433	360	386	
	水セメント比(%)	37	49	37	
	スランプ(cm)	0.5	2.5	1.0	
遠心成形	低速回転(rpm・分)	135-5	200-5	225-5	140-5
	中速回転(〃)	259-3	325-5	278-2	262-3
	高速回転(〃)	376-7	463-5	556-13	360-20
蒸気養生	最高温度(°C)	71	76	75	
	温度×時間(度時)	336	528	500	

注: 遠心成形の回転速度、時間は外径300mmのくいに対するもの

写真-1 くいの型わくを用いて遠心力供試体を作成



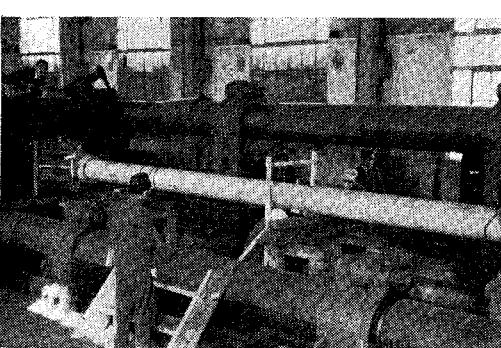


図-12 くい端部ヒンジ装置

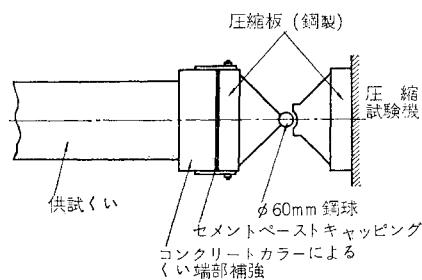


表-23 くいおよび遠心力供試体強度試験結果

工場	A	B	C	D		
試験体の形状	遠心力供試体	遠心力供試体	遠心力供試体	くい	くい	遠心力供試体
寸法 外径(内径)×長さ(cm)	(20/13)×30	(25/14)×50	(25/14)×50	(30/18)×600	(30/18)×800	(25/15)×32
軸方向鉄筋(mm×本)	—	φ9×6	—	φ13×12	φ13×8	—
らせん状鉄筋(mm~ピッチmm)	—	φ3~50	—	φ6~100	φ5~80	—
コンクリート断面積(cm ²)	177	331	335	436	441	305
破壊荷重(t)	77	147	138	187	192	98
破壊状態	短柱として圧縮破壊	短柱として圧縮破壊	長柱として圧縮破壊	長柱として圧縮破壊	短柱として圧縮破壊	短柱として圧縮破壊
短柱とした場合の破壊荷重(t)	—	—	—	220	275	—
コンクリートの破壊強度(kg/cm ²)	436	417	412	404	544	311
試験時のコンクリートの材令(日)	28	55	55	50	61	28

注: 遠心力供試体は1組3~4個で、表の値はその平均値である。

表-24 標準供試体と遠心力供試体との圧縮強度比較

工場および供試体	A		B		C	
	標準	遠心力	標準	遠心力	標準	遠心力
供試体寸法(cm)	φ15×30	(φ20/φ13)×30	φ15×30	(φ25/φ12)×30	φ15×30	(φ20/φ10)×30
圧縮強度(kg/cm ²)	388	436	371	412	314	409
標準対遠心力供試体強度比(%)	100	112	100	111	100	130

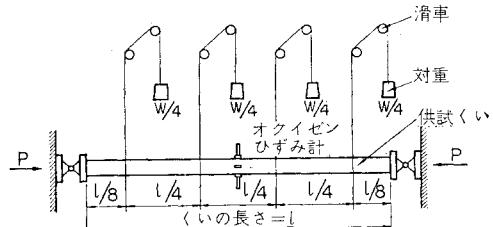
注: 1) 標準、遠心力両供試体は、それぞれ同じコンクリートをもって製作し、材令28日で圧縮試験した。

2) 遠心力供試体の寸法の欄に、たとえば $\phi 20/\phi 13$ とあるのは、外径20cm、内径13cmの意味である。

成績は表-23に、また標準供試体と遠心力供試体とを比較した試験結果は表-24に示す。

b) 実験II²¹⁾ 実験Iにおいて、くいの長さが6.5m以上(細長比約65以上)になると座屈破壊するらしいことがわかった。ただし、この実験ではくいを水平にして試験するので自重の影響が入った。それで、実験IIでは図-13に示すように対重を用いて自重の影響をのぞき、座屈の有無を確かめるとともに鉄筋コンクリート柱くいとしての特性を調べた。

図-13 くいの圧縮試験

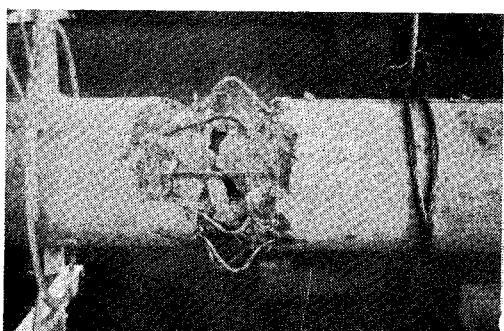


供試くいはEおよびF工場製品より16本を抜きとり、先端部を切削し、長さ5~6mとして試験した。くいの製造条件は表-25に、くいの寸法、配筋および圧縮試験結果は表-26に示す。破壊部の一例を写真-3に示す。

表-25 くいの製造条件

工場	E	F	
セメントの種別	早強	普通	
粗骨材最大寸法(mm)	25	25	
単位セメント量(kg)	370	440	
水セメント比(%)	45	43	
スランプ(cm)	3	1.5	
標準供試体強度(kg/cm ²)	425~496	380~450	
遠心成形	低速回転(rpm・分) 中速回転(〃) 高速回転(〃)	220~5 325~5 460~5	200~3 280~4 500~6
蒸気養生	最高温度(°C) 温度×時間(度時)	70 350	60 400

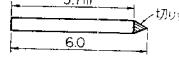
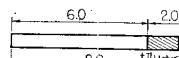
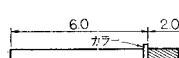
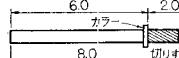
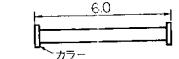
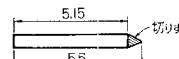
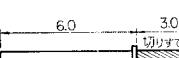
写真-3 くいの圧縮破壊



c) 実験III 実験IIは抜き取り製品について行なったが、実験IIIは試験を目標に製造条件を明確に記録しつつ製造したくいについて行なった。なお、くいと同じバッヂから標準供試体をとり、供試くいと同一条件で養生した。用いたコンクリートの配合は表-27に示す。

供試くいは、遠心機により低速170 rpm 1分間、中速

表-26 供試くいと圧縮試験結果

製造社 供試くい番号	試験令 (日)	原くい寸法 長×径 (mm×mm)	軸方向鉄筋 径×本数 (mm×本)	らせん状鉄筋		供試くいの加工	破壊荷重 (t)	破壊点
				径 BWG	ピッチ* I_1, I_2, I_3 (mm)			
E工場	1	68	6-300	9-6	# 10	30, 50, 100		140 中間部
	8	69	"	"	"	"		203 "
	2	68	"	"	"	"		153 右端
	7	63	8-300	9-10	# 10	30, 50, 100		189 右端
	16	64	"	"	"	"		166 "
	9	50	8-300	9-10	# 10	30, 50, 100		210 中間部
	11	51	"	"	"	"		222 "
	10	50	"	"	"	"		195 "
	6	30	6-300	9-8	# 8	30, 50, 100		234 中間部
	5	"	"	"	"	"		232 "
F工場	3	57	5.5-300	9-6	# 10	30, 50, 100		158 中間部
	13	"	"	"	"	"		175 左端
	15	"	"	"	"	"		177 中間部
	12	68	9.0-300	9-12	# 10	30, 50, 100		155 左端
	14	"	"	"	"	"		155 中間部

*らせん状鉄筋のピッチの変化区間

供試くい番号	区間長 (cm)		頭部	くいの主体	くいの長さ
	I_1	I_2			
1, 8, 2, 6, 4, 5	30	50			
3, 13, 15, 12, 14,					
17, 16, 9, 11, 10	40	60			

表-27 コンクリートの配合

材料の単位量 (kg)	水セメン	絶対細骨	スランプ	材 料					
				セメント	水	細骨材	粗骨材	ト比(%)	材率(%)
423	184	779	1 013	43.5	43				8

注: セメント—普通ポルトランド、細骨材—砂、粗粒率 2.76、粗骨材—砂利 最大寸法 15 mm

表-28 くいの圧縮試験成績

くい	外径 (mm)	壁厚 (mm)	軸方向鉄筋 径一本数 (mm一本)	破壊荷重 (t)	くいのコン クリートの 圧縮強度 (kg/cm²)	くいの養生条件	①コンクリート供試 体の材令 28 日圧縮 強度 (kg/cm²)		②鉄筋コンクリート 柱としての圧縮強さ の計算値 (t)	
							くいと同 一養生	20°C の 水中養生	(I)	(II)
a 1	300	60	6-9	201	188	蒸気養生後 7 日間水中, 以後空中	449	491	187	202
	"	"	"	215	202		373	491	175	220
	"	"	"	212	199		373	491	157	202
b 1	300	60	6-20	188	158	蒸気養生後ただちに空 中	373	491	175	220
	"	"	"	189	159		373	491	157	202
c 1	300	60	6-9	167	154	b くいと同じ	373	491	157	202
c 2	"	"	"	172	159					

注: 1) 供試体の寸法は $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 円柱。2) 土木学会鉄筋コンクリート標準示方書 145 条、帶鉄筋柱の破壊荷重を求める式より算出した値で、(I) は式中の σ_{28} に、くいと同一養生した供試体の強度を、(II) は標準養生した供試体強度を入れて、それぞれ計算したもの。

270 rpm 1 分間、高速 430 rpm (遠心力 25 g) 4 分間の回転を与え成形した。成形後、蒸気養生室に入れ、JIS の規定にしたがって高温養生を行ない、材令 20 時間で養生室より取り出した。そして脱型したのち、くい a は

7 日水中養生し、くい b, c は空中に放置し、いずれも材令 29~30 日で、実験 II 同じ方法により圧縮試験を行なった。くいの寸法、配筋、圧縮試験成績、供試体の圧縮強度は表-28 に示す。

圧縮試験の結果を見ると、くいbはくいaより軸方向鉄筋が多いにかかわらず破壊荷重は低く、くいcは同一配筋でaよりかなり低い。この点について検討しよう。

コンクリートのひずみ能力(最大圧縮ひずみ)を 26×10^{-4} と仮定し²²⁾²³⁾、これよりくいが破壊するときの鉄筋の圧縮応力度を求め、軸方向鉄筋の分担する荷重を計算して破壊荷重より引きさり、くいのコンクリートの圧縮強度を算出すると表-28のようになり、この値は、各くいの標準供試体の強度の相違と一致する。すなわち、くいaの破壊荷重がくいb,cにまさった原因は、蒸気養生後引続いて行なった水中養生の効果によりコンクリートの強度が大きくなったためと結論できるようである。

d) 遠心力締固めコンクリートのヤング係数について

て²⁴⁾ 遠心力締固めコンク

リートは通常の締固めをしたコンクリートにくらべ、水しぶき出され圧縮強度が増加しているので、ヤング係数も大きくなるはずである。2種の配合のコンクリートにつき遠心力締固め(2.(1)車輪式遠心機による)と棒突き締固めと比較した結果は表-29のとおりである。高桑氏の実験結果も遠心力締固めたものがヤング係数は高くなっている²⁴⁾。

表-29 遠心力および標準両供試体のコンクリートのヤング係数

締固め方法	水セメント比(%)	ヤング係数(kg/cm ²)
遠心力	43	424 500
	66	234 000
棒突き	43	331 500
	66	221 000

注: 1) 供試体3個の平均値

2) コンクリートは試験時において湿潤状態

表-30 遠心力鉄筋コンクリートくいのコンクリートのヤング係数

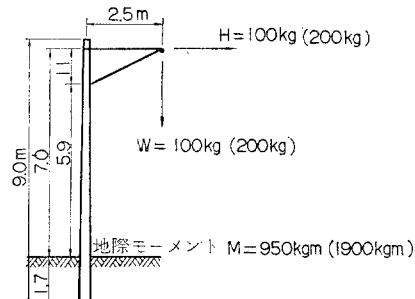
製造工場	E	F	G
供試くい本数	8	5	4
コンクリートの材令(日)	30~69	57~68	30
ヤング係数($\times 1000 \text{ kg/cm}^2$)	294~482 平均 359	318~442 378	417~480 445

注: 1) ヤング係数の相違は、コンクリートの配合、成形ならびに養生条件、材令などの相違によるものである。

2) くいのコンクリートの圧縮応力度の算定には、 $n = E_s/E_c = 6$ と仮定した。

前述の実験ⅡおよびⅢにおいては荷重の増加とともにくいの圧縮ひずみを測定した。荷重の大きさが破壊荷重の60%程度までは、荷重-ひずみ線図はほぼ直線を示した。これよりコンクリートのヤング係数を求めた結果は表-30のようになった。

図-14 供試ポールの設計荷重



④常時荷重: 風速 28m/s相当, $H, W = 100\text{kg}$, $M = 950\text{kg}\cdot\text{m}$

⑤異常時荷重: 風速 40m/s相当, $H, W = 200\text{kg}$, $M = 1900\text{kg}\cdot\text{m}$

表-31 供 試 ポ ー ル

記 号	寸 法	設 計		製 造	
		許容応力度 (kg/cm ²)	ポール地盤の抵抗モーメント (kg·m)	材 料	成 形, 養 生
I	テーパーなし, 末口 260 mm, 長さ 9 m	$\sigma_{sa} = 4800$ $\sigma_{ca} = 200$ $\tau_a = 8$ $\tau_{ta} = 8$ ($n = E_s/E_c = 15$)	2 230	コンクリート: $C = 463 \text{ kg}$ $W = 208 \text{ kg}$ $w/c = 45\%$ $\sigma_{28} = 380 \text{ kg/cm}^2$ 鉄 筋: $\phi 6 \text{ mm 鉄線}$ $\sigma_t = 5600 \text{ kg/cm}^2$	遠心力成形 (445 rpm 5 分) 蒸気養生 (最高温度 65 °C) 水中養生 7 日 以後空中
	1/75 テーパー付き 末口 250 mm, 長さ 9 m	1 800			

注: σ_{sa} =鉄筋の許容引張応力度、 σ_{ca} =コンクリートの許容曲げ圧縮応力度、 τ_a =コンクリートの許容せん断応力度、 τ_{ta} =許容付着応力度、 σ_t =鉄筋の引張強度

(2) 鉄筋コンクリートポールについての実験²⁵⁾

a) 供試ポール ポールは電車線に用いるプラッケット柱として、荷重はつぎの2種を想定して設計したものである²⁶⁾ (図-14)。

A荷重(常時荷重): 風速 28 m/sec の場合、ポール、プラッケット、電線に加わる風圧から算出したもので、水平荷重 $H = 100 \text{ kg}$ 、鉛直荷重 $W = 100 \text{ kg}$ がこれに相当。

B荷重(異常時荷重): 風速 40 m/sec の場合、 $H = 200 \text{ kg}$ 、 $W = 200 \text{ kg}$ がこれに相当。

地盤曲げモーメントは、A荷重に対し $950 \text{ kg}\cdot\text{m}$ 、B荷重に対し $1900 \text{ kg}\cdot\text{m}$ となる。

供試ポールは、表-31に示すとおりである。すなわち、B荷重を目標に、鉄筋およびコンクリートの許容応力度を比較的高くとり設計した。応力計算は、円環断面を持つ鉄筋コンクリートはりとして通常の鉄筋コンクリート部材の計算式²⁷⁾²⁸⁾によった。

b) ポールの曲げ試験 写真-4に示すようにポールを鉛直に立て、プラッケット先端に設計荷重 W に相当する重錘をつり下げ、水平荷重 H を加えて試験した。ポールの圧縮側コンクリート表面にはワイヤーストレングゲージをはって圧縮ひずみを測定し、また、ひびわれの発生状況を観察し記録した。試験成績は表-32, 33に示す。曲げを受けたときコンクリートに生じる圧縮応力度

写真-4 ポールの曲げ試験

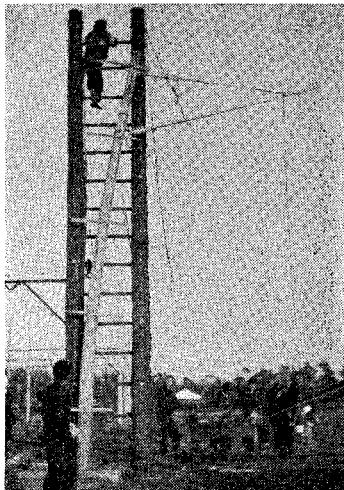


表-32 ポールの曲げ試験成績

項目	ポールⅠ (テーパーなし)	ポールⅡ (テーパーつき)
A(常時)荷重(kg)	$W=100, H=100$	$W=100, H=100$
A荷重による地盤曲げモーメント(kg-m)	950	950
B(異常時)荷重(kg)	$W=200, H=200$	$W=200, H=200$
B荷重による地盤曲げモーメント(kg-m)	1900	1900
ポールの地盤設計抵抗モーメント(kg-m)	2230	1800
破壊荷重(kg)	$W=200, H=550$	$W=200, H=440$
破壊曲げモーメント(kg-m)	4350	3580
破壊状態	地盤より15cm上でコンクリート圧縮破壊	地盤より200cm上で鉄筋引張破壊
ひびわれを発見したときの荷重とその状態	$W=200, H=150$ ひびわれいっせいに発生	$W=100, H=100$ ひびわれいっせいに発生
A荷重による載荷点のたわみ 計算値(mm) 実測値(mm)	50 61	77 157

表-33 ポールの曲げ試験におけるコンクリートの応力度

A(常時)荷重、B(異常時)荷重を加えたときの実測値と計算値

		コンクリートの曲げ圧縮応力度(kg/cm²)							
		0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
ボルタルなし I	A 常時	74	63	53	69	61	42	26	8
	実測値 計算値	74	67	61	54	50	38	28	0.4
ボルタル付き II	B 異常時	165	162	149	144	125	101	42	10
	実測値 計算値	167	154	144	139	133	128	101	0
ボルタル付き III	A 常時	105	115	119	115	133	142	105	7
	実測値 計算値	105	105	117	118	133	126	111	0
ボルタル付き IV	B 異常時	238	244	279	260	272	275	213	19
	実測値 計算値	215	216	204	243	273	265	222	0

注: コンクリートの実測ひずみから圧縮応力度を算出するにあたり、コンクリートのヤング係数はつぎの値を用いた。
コンクリートのヤング係数はつぎの値を用いた。

A荷重を受けたとき: $E_c = 350\,000 \text{ kg/cm}^2$ B荷重を受けたとき: $E_c = 300\,000 \text{ kg/cm}^2$

で、計算したものと実測ひずみから推定したものとがかなり一致したこと、鉄筋およびコンクリートの許容応力

度をそれぞれの破壊強度の約1/2にとって設計した結果、曲げ破壊に対し約2の安全率が得られたことは、遠心力成形ポールに対しても一般の鉄筋コンクリート部材計算方法が適用できることを示すものと思う。

(3) 5. の実験結果について

本実験の範囲でわかったことは、

① 遠心力鉄筋コンクリートくいの圧縮強さを知るには、くいと同一方法で製作した遠心力締固め供試体によるのがよい。

② くいに用いるコンクリートからとった標準供試体から、くいの圧縮強さを推定するには、標準供試体はくいと同じ方法で養生しておく必要がある。

③ 土木学会鉄筋コンクリート標準示方書145条の帶鉄筋柱の破壊荷重を求める式において、 σ_{28} に②に述べた供試体圧縮強度を、 σ_{sy} に用いた軸方向鉄筋の降伏点応力度を代入し、くいの破壊荷重を計算したところ、実験結果とある程度一致した。この関係はいつでも成立するとは限らないが、遠心力成形くいの短柱としての破壊荷重の目安をつけるには、本式を用いるのが便利と思われる。

④ 遠心力鉄筋コンクリートくいを柱として用いる場合、細長比65程度(通常長さ対外径の比20程度)までは短柱と考えてよい。

⑤ 遠心力鉄筋コンクリートくいの端部は、衝撃荷重にも静荷重にも弱点となりやすいが、らせん状鉄筋は端部の補強に効果なことが認められた²⁹⁾。

⑥ 遠心力鉄筋コンクリートポールの曲げ応力度の計算には、一般の鉄筋コンクリート部材の計算方式によって支障ないようである。

⑦ 日本工業規格により製造された遠心力鉄筋コンクリートポール、またはくいのコンクリートのヤング係数は、通常、許容応力度付近で $350\,000\sim450\,000 \text{ kg/cm}^2$ くらいのようである。

6. 鉄筋コンクリートポールの耐久性について

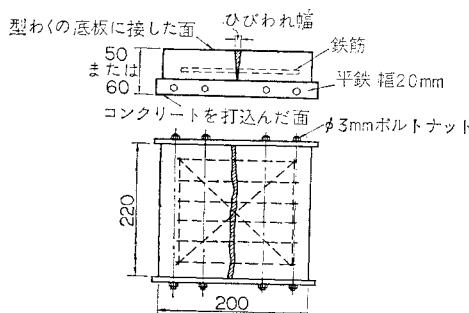
鉄筋コンクリートポールは、工場内の取り扱い中や、運搬の途中においてひびわれを生じることが少なくなっている。諸外国の実例や実験データによると、コンクリートのひびわれ幅が0.25mm以下であれば、常時開いていても中の鉄筋の腐食の心配は一般になく、ひびわれ幅が0.1mm以下であれば、湿気の吸引はおこらないから、かなり悪い気象条件に対しても害はないとしている^{30)~34)}。日本の気候は諸外国と異なるであろうし、さらに野外に建てられたポールのひびわれに水が浸透し、凍結融解のくり返しがなされると、氷結の際の膨張でひびわれが発達することも予想されるので、実験を行なったのである。

(1) 供試体の製作

表-34 供試体の製作

供試体種別		A型	B型
コンクリート	粗骨材最大寸法 (mm)	10	20
	スランプ (cm)	4	3
	単位水量 (kg)	204	197
	単位セメント量 (kg)	453	460
	水セメント比 (%)	45	43
	絶対細骨材率 (%)	50	50
埋込み鉄筋	主鉄筋	軟鋼線 φ6 13本 2段26本	軟鋼棒 φ13 6本
	主鉄筋のかぶり (mm)	15	15
	供試体の寸法 (mm)	220×200×60	220×200×50
供試体の成形		テーブルバイプレーターにより 締め固め	
供試体の養生		蒸気養生、最高温度 55~75°C, 5~6時間保持、継いで水中養 生 7日	

図-15 ひびわれを入れた供試体



供試体は、鉄筋コンクリートポールを対象に考えて、表-34 に示す条件で製作した。水中養生を終えた供試体は、両端をささえ中央に荷重を加えて幅 0.1~0.3 mm のひびわれを入れたのち、供試体両側の平鉄のボルトを締めつけてひびわれ幅を保持した(図-15)。

(2) 軽井沢における凍結融解実験³⁵⁾³⁶⁾

軽井沢の冬季における寒気を利用して、凍結融解のくり返し実験を行なった。すなわち、木箱の中にひびわれを上面にして供試体をならべ、散水して外気に 15~60 分間ばく露し、ひびわれに浸み込んだ水の凍結するのを待つ。つぎにふたをして電熱器のスイッチを入れ、箱内の温度が 3~4°C になったらスイッチを切りふたを開く。これを、3 冬季 344 サイクルくり返した(表-35)。上記の外気ばく露時間や融解温度などは、供試体と同じ大きさのコンクリートブロック中心部に埋込んだ熱電対

表-35 凍結融解のくり返し

試験年次	試験期間	凍結融解くり返し回数	凍結温度 °C		融解温度 °C		凍結*全度数
			平均	最低	平均	最高	
第1年	2月5日~3月24日	106	-4.8	-16	4.4	17	510
2	1月21日~3月24日	95	-5.5	-19	5.8	14	526
3	1月20日~3月23日	143	-5.5	-16	7.9	15	789
計	172日	344	-5.3	-19	6.3	17	1825

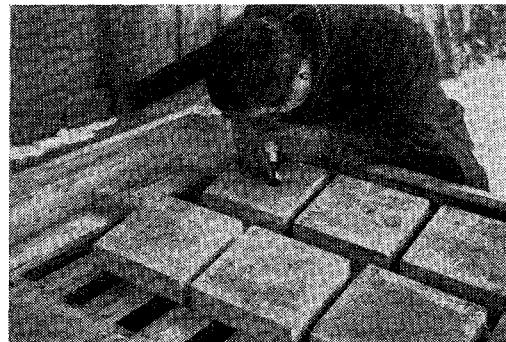
注: * 凍結全度数=氷点下度数の合計

参考: 度サイクル=凍結全度数×全サイクル

$$= 1825 \times 344$$

$$= 628\,000 \text{ 度サイクル}$$

写真-5 ひびわれ幅の測定



で、内部の水の凍結または融解温度を実験して定めたのである。ひびわれは写真-5 のように、倍率 20 の測微鏡を用い、1 日 1 回測定した。実験開始時におけるコンクリートの材令は 14~15 日であった。

ASTM C 290³⁷⁾に準じた急速凍結融解試験方法では、実際に野外における凍結融解の影響を推測することはむずかしい³⁸⁾ので、長時間を要するが、上述のように散水し外気にさらす方法を用いたのである。Kennedy 氏によると³⁹⁾、野外および実験室における相方の凍結融解のくり返し効果を比較する場合、くり返しのサイクル数よりも度サイクルをもって比較する方がよいと考えられる。度サイクルとは、各サイクルごとの凍結温度以下の度数の総和に、くり返し回数を乗じた数値で、本実験の場合 628 000 度サイクルとなり(表-35)、この度サイクルは ASTM C-290, 291 の標準 (-18~+4.5°C くり返し) の 187 サイクルに相当する。

実験の結果は、

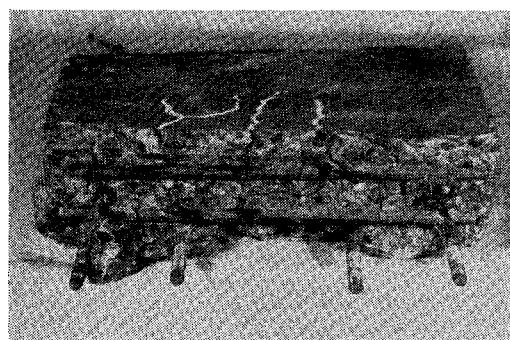
(1) 凍結融解のくり返しにより、ひびわれ幅が大きくなる傾向は認められなかった。

(2) 実験が終ったのち、供試体をこわし鉄筋を取り出して調べたが、ひびわれ部分の鉄筋表面にごく薄いさびを生じているだけで、まわりのコンクリートには異状がなかった(写真-6)。

なお、供試体による実験と平行して、ひびわれを入れ

写真-6 ひびわれと鉄筋のさび

(白線はひびわれの位置を示したもの、)
(鉄筋の黒く見える部分がさび)



た遠心力鉄筋コンクリート ポールについても同様の方法で実験したがひびわれ幅の発達は認められなかった。

(3) 塩沢における放置実験³⁹⁾

ひびわれに対する自然の凍結融解くり返しの影響を見るため、国鉄塩沢雪実験所構内において、供試体 64 個をフレームにとりつけ放置実験を行なった(写真-7)。

写真-7 ひびわれを入れた供試体の屋外放置実験

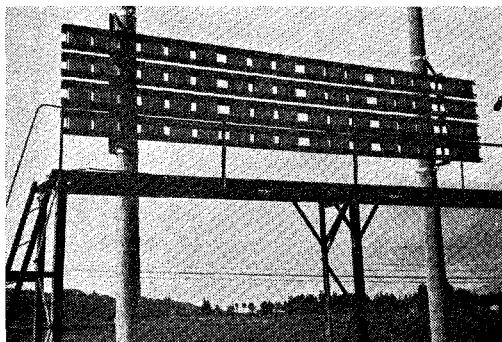
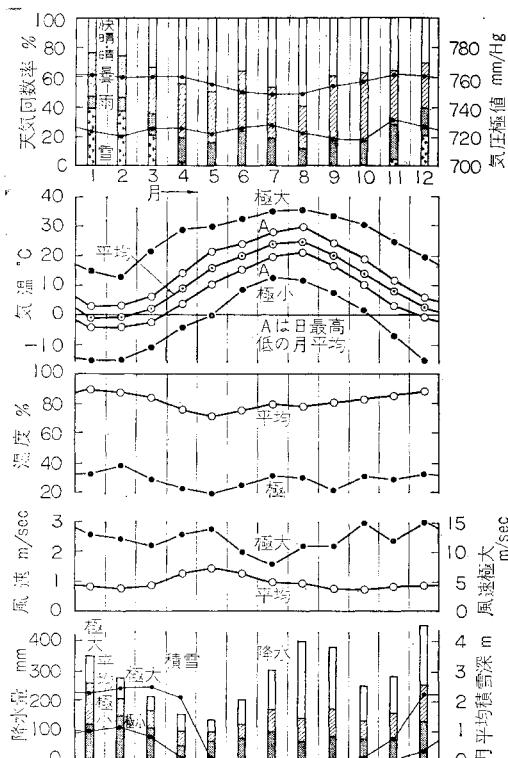


図-16 10年間気象図(塩沢)1948~1957
(莊田・須藤両氏の報告より)



供試体は表面(型わくに接した面)を南側にして、昭和 29 年 6 月(コンクリートの材令 3 月)に設置した。供試体設置点は、地上 4.5 m で、冬季は雪が付着し、11 月と 3 月ごろでは、供試体表面についた雪の水分は凍結融解のくり返しをうけたはずである。塩沢の気象⁴⁰⁾は図-16 に示す。

昭和 35 年 3 月(6 冬季経過)に調査した結果は、つぎのとおりである。

① 全供試体について観察したが、表面(南側の面)にも裏面(北側の面)にもコンクリートの凍害は認められなかった。供試体のひびわれ幅は 0.05~0.35 mm である。

② フレームに取りつけられたものから 8 個をとりはずし、コンクリートをこわして中の鉄筋を調べた結果は表-36 に示す。主鉄筋のさびは軽度で、鉄筋全周をとりまくものではなく、断面積にはほとんど影響ないと認められた。組立鉄筋(Φ 3.2 mm 鉄筋)に発生したさびは主鉄筋よりも進行していた。

表-36 鉄筋のさびの発生状態

供試体番号	主鉄筋径(mm)	かぶり(mm)	主鉄筋				組立鉄筋	
			1) 最大ひびわれ幅(mm)		2) さびの本数	3) さびの発生した本数	4) 最大のさびの周長(mm)	3) さびた部分周長(mm)
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
A-13	6	13	C.1	(26)	13	8	a 1/2-70	a 2/3-30
表裏					13	7	b 1/3-60	なし
A-14	6	13	0.2	(26)	13	5	b 1/4-10	b 1/4-10
表裏					13	4	b 1/4-3	なし
B-13	13	20	0.1	6	5	5	b 1/4-3	a 2/3-70
B-14	13	20	0.2	6	4	4	a 1/2-40	a 2/3-90
C-13	6	25	0.5	(26)	13	8	a 1/3-100	a 1/1-40
表裏					13	6	a 1/3-60	b 1/3-20
C-14	6	25	0.5	(26)	13	8	a	
表裏					13			
D-13	13	25	0.05	6	3	3	b 1/4-40	なし
D-14	13	25	0.1	6	3	3	b 1/4-20	b 1/2-20

注: 1) 主鉄筋のかぶりを示す。

2) Φ 6 mm 鉄筋は 13 本ずつ 2 段に配置されている。表とは供試体表面に近い方の鉄筋、裏とは裏面に近い方の鉄筋について示したもの。

3) さびの程度の記号。

④ 赤色で、明らかにひびわれからの浸透水により発生したと判別できる程度のさび。

⑤ 色うすく、軽度のさび。

4) さびた部分の長さは、数箇所のさびの長さを合計した値を示す。

③ コンクリートの破壊面にフェノール フタレーン溶液を散布して調べた結果、中性化は表面側で 0~1 mm、裏面側(こて仕上げした面)で 1~3 mm 程度であった。

(4) 6. の実験結果について

本実験の範囲で、鉄筋コンクリート ポールの耐久性に対しわかったことは、

① 屋外にたてられたポールは、風雨にさらされてもコンクリートのひびわれの最深部にまで水が浸透することはまれであろうから、凍結融解のくり返しをうけてもひびわれは容易に発達することはない。

② ひびわれが鉄筋に到達している点では、鉄筋の表面に軽いさびを生じるが、ひびわれ幅が 0.2~0.3 mm 以下であれば、空気中において乾湿ならびに凍結融解のくり返しを受けてもさびは容易に進行するものではない。

③ ポールやくいに用いられるコンクリートは富配合

で、遠心力により十分締固められているので、かなりきびしい気象条件のもとでも、容易に凍害を受けることはなく、また表面からの中性化の進行もきわめておそいものと考えてよい⁴¹⁾。

7. 遠心力鉄筋コンクリートポールまたはくいの試験方法について

(1) 中空円筒形コンクリート供試体の圧縮強度についての実験

中空円筒形供試体を用いて行なった遠心力締固めに関する本実験の結果が、供試体の寸法が異なった場合、どのように利用できるかを知る目的で、表-37に示す形状寸法の供試体について圧縮強度を比較試験した。

コンクリートの材料は4.(3)のものと同じで、配合は表-38に示す2種とした。コンクリートは型わくに3層に詰め、毎層突き棒で8~40回突き固め成形した。供試体は脱型後20°Cの水中養生をなし、材令14日で圧縮試験を行なった。試験結果は表-39に示す。

表-37 供試体の寸法

供試体	外径 (mm)	内径 (mm)	壁厚 (mm)	高さ (mm)
大きさの異なる中空円筒形	300	164	68	450
	200	110	45	300
	150	80	35	225
壁厚の異なる中空円筒形	200	80	60	300
	200	110	45	300
	200	140	30	300

注: 大きさの異なる3種の中空円筒形は相似体である。

表-38 コンクリートの配合

記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	単位水槽 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	絶対細骨材率 (%)
I	15	5	180	400	45	47
II	15	5	180	300	60	48

表-39 中空円筒形コンクリート供試体の圧縮強度(kg/cm²)

コンクリート の配合	大きさの異なる供試体			壁厚の異なる供試体				
	外径 (mm)			標準				
	300	200	100	偏差	60	45		
I	379	388	362	26	375	388	396	18
II	230	232	226	20	228	232	245	20
I/II	1.65	1.67	1.60		1.65	1.67	1.62	

注: 圧縮強度は供試体6個の平均値

2種の配合について、大きさおよび壁厚を要因とする一元配置分散分析の結果では、形状、寸法による圧縮強度の差はせず、この程度の供試体の寸法差の強度に対する影響は、実用的には無視できるようである。壁厚の薄いものが、やや強い傾向を示したのは締固めの影響と考えられる。

(2) 遠心力締固めコンクリート供試体の強度の検討

a) 中空円筒形供試体と円柱形供試体との圧縮強度の関係 中空円筒形および円柱形両供試体によりコンクリ

ートの圧縮試験をしたとき、見かけ強度にどの程度の差ができるかについて実験した。

型わくの寸法は、円筒形は外径20cm、内径11cm、高さ30cmで、円柱形は径15cm、高さ30cmで、これにコンクリートをてん充し、突き棒で突き固め成形した。供試体は脱型後水中養生し、材令7日、14日、28日で試験した。試験結果は表-40のとおりで、中空円筒形供試体による強度が、円柱形供試体における強度より見かけ上約10%低くでした。

表-40 円筒形および円柱形供試体によるコンクリートの圧縮強度

材令 (日)	コンクリートの配合		円筒形供試体		円柱形供試体	
	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	同強度比 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	同強度比 (%)
7	300	60	160	91.5	175	100
	400	45	278	89.8	310	100
14	300	60	228	93.0	245	100
	400	45	381	90.5	421	100
28	300	60	268	90.5	296	100
	400	45	435	90.0	484	100

注: 1) 供試体の寸法

円筒形 外径20cm、内径11cm、高さ30cm

円柱形 径15cm、高さ30cm

2) 圧縮強度は、それぞれ供試体3個または4個の平均値。

3) 強度比は円柱形供試体強度を100とした値。

b) 遠心力締固めコンクリート供試体の強度について

3.(1)の実験において、遠心力締固め供試体のコンクリート強度は、標準供試体のコンクリート強度にくらべ見かけ上強くない。これは、①供試体の形状、寸法の相違による影響と、②遠心力締固めにより分離した弱いペースト層が円筒内面に付着する(この傾向はジャイロ遠心機の場合いちじるしい)、これが断面積の一部を形成するためと考えられる。①についてはa)で実験した。②については、遠心力供試体の内面のペースト層を削りとて圧縮試験した。試験成績は表-41のとおりで、ペースト層を削りとることにより圧縮強度は5~10%高い値を示した。また、2.(3)a)の実験において、同じコンクリートから成形した遠心力供試体および標準供試体から5×5×5cmの立方体を切りとり圧縮試験した結果は表-42のとおりで、遠心力供試体のコンクリート強度は29%高い値を示した。

表-41 内側のペースト層を削りとった供試体の圧縮強度

供試体	I		II	
	削らない ペースト層 を削った	削った ペースト層 を削った	削らない ペースト層 を削った	削った ペースト層 を削った
成形された壁厚(mm)	43.5	43.5	45.5	45.5
削った層厚(mm)	0	3.5	0	6.0
圧縮強度(kg/cm ²)	289	304	390	432
同上比率(%)	100	105	100	110

注: 1) 供試体はジャイロ式遠心機により600 rpm 4分間締固め。

2) 圧縮強度は供試体3個の平均値。

以上の実験結果から、遠心力締固めコンクリートは、棒突きあるいは振動締固めコンクリートにくらべ、圧縮強度は本質的に10~25%程度高くなると考えられる。

表-42 遠心力供試体および標準供試体より切りとった立方体の圧縮強度

立 方 体	標準供試体より切りとったもの	遠心力供試体より切りとったもの
圧縮強度 (kg/cm^2)	528	681
圧縮強度比 (%)	100	129
比重 比重の比 (%)	2.36 100	2.50 106

注：1) 立方体の寸法は $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$

2) 強度および比重の比は、標準供試体より切りとったものを 100 とした値

アメリカのコンクリート管の規格で、遠心力締固めコンクリートの強度は、ほかの締固めコンクリートにくらべ 30% 高くなることを認めた例があり⁴²⁾、ソ連では 37% 高くなった実験結果を報告している⁴³⁾。

c) 車輪式遠心機とジャイロ式遠心機との締固め効果の比較 3.(1) の実験結果から、車輪式、ジャイロ式両遠心機の締固め効果を、棒突き締固めに対する圧縮強度比と比重の比とで比較すると表-43 のようになり、車輪

表-43 遠心力締固めコンクリートと棒突き締固めコンクリートとの圧縮強度の比および比重の比（棒突き締固めの場合を 100 とする）

遠心機	車輪式遠心機で成形した供試体		ジャイロ式遠心機で成形した供試体	
	圧縮強度の比	比重の比	圧縮強度の比	比重の比
コセ ンセ クリン クト比 の (%)	36 40 43 53 63 70 75	102 107 105 108 122 104 141	105 105 95 103 104 99 104	102.5 102.8 102 102 100
コンクリート 遠心力成形	単位セメント量：492～236 kg スランプ：4～8 cm 550 rpm 6分	単位セメント量：500～257 kg スランプ：4～6 cm 600 rpm 4分		

注：1) 圧縮強度の比 $= \frac{\text{中空円筒形遠心力供試体の圧縮強度}}{\text{円柱形標準供試体の圧縮強度} \times 0.9} \times 100$

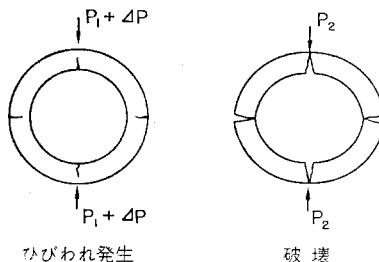
2) *円筒、円柱面供試体の強度に対する修正係数

式がジャイロ式にまさることが認められる。両遠心機の大きな相違点は、回転中に、車輪式は金属タイヤの接触による振動があるのにに対し、ジャイロ式はほとんど振動がない点である。この結果より見れば、遠心力締固め中に適度の振動の加わることは有効であると判断される。ある工場で車輪の金属タイヤをゴムタイヤに変え振動を吸収させたところ、締固まり方がわかるようになった例や、別の工場では締固まり方がおそいと工員が型わくと遠心機の車輪との間に小量の豆砂利を投入して、一時的に振動を与える例などは、回転中の振動の有効なことを実証するものと思われる。ソ連の Akberdof 氏も車輪、ジャイロ両方式で実験し、車輪式がまさると報告している⁴³⁾。

(3) 中空円筒形コンクリート供試体の横圧試験について

中空円筒形供試体を図-17 のように横にして荷重を加え試験（以下横圧試験と呼ぶ）し、コンクリートの曲げ強度が算定できれば、遠心力で中空円筒に成形された

図-17 中空円筒形供試体の横圧試験

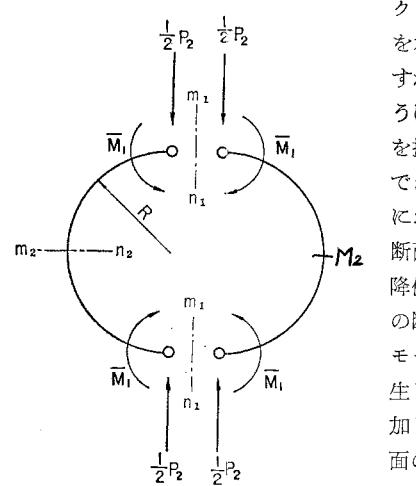


コンクリートの品質判定に役立つものと考えられる。それで、この点について検討した。

a) 横圧試験による最大曲げモーメントの推定 中空円筒形供試体を横圧試験すると荷重が P_1 に達し、頂部および底部の内側にひびわれを生じるが、まだ円筒は破壊せず、さらに荷重が増加して最大値 P_2 に達し左右部分外側にもひびわれを生じて 4 片に破壊する（図-17）。これは一種の曲げ破壊である。横圧試験で P_1 を求めることはむずかしい。それで破壊荷重 P_2 から円筒に生じる最大曲げモーメント \bar{M}_1 を推定しなければならない。

円周方向においてコンクリートの弾塑性性質が等しい。

図-18 横圧試験における荷重と曲げモーメント



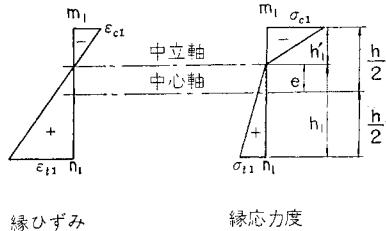
こと、および弹性限界を越えたコンクリートは純塑性を示すことを仮定すれば、つぎのように P_2 から \bar{M}_1 を推定することができる⁴⁵⁾。図-18において、 $m_1 n_1$ 断面は荷重 P_1 で降伏点に達し、この断面に最大曲げモーメント M_1 を生じる。荷重が増加して、 $m_2 n_2$ 断面の曲げモーメント M_2 が \bar{M}_1 に達したとき $m_2 n_2$ 断面も降伏し、このとき荷重は P_2 となるはずである。このときの状態を円筒の左半分について考えると、

$$M_2 = \frac{1}{2} P_2 R - \bar{M}_1,$$

$m_2 n_2$ 断面が降伏したときは $M_2 = \bar{M}_1$ であるから、

$$\bar{M}_1 = \frac{1}{2} P_2 R - \bar{M}_1 \quad \therefore \bar{M}_1 = \frac{1}{4} P_2 R \quad \dots \dots \dots (1)$$

b) 曲げ引張強度の算定 最大曲げモーメント \bar{M}_1 を生じるときは、コンクリートは塑性変形をおこすので、断面 $m_1 n_1$ におけるひずみ、および応力の分布を図-19 のように仮定し、両縁端における縁ひずみ ϵ_{c1} および ϵ_{t1} を実測することにより、偏心距離 e を推定した⁴⁶⁾。

図-19 m_1, n_1 断面におけるひずみと応力

$$\frac{h'}{h_1} = \frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{t1}} = n$$

とおけば(記号は、図-19 参照、以下同じ)

$$e = \frac{h}{2} \frac{1-n}{1+n} \quad \dots \dots \dots (2)$$

また、断面 m_1, n_1 に働く水平力およびモーメントの平衡条件から

$$\frac{1}{2} \sigma_{t1} h_1 l \left(\frac{2}{3} h_1' + \frac{2}{3} h_1 \right) = M_1, \quad \therefore \sigma_{t1} = \frac{3 M_1}{A h_1} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $A = h l$, $h_1 = \frac{1}{2} h + e$, l = 中空円筒の長さ

式(3)に式(1)を代入すれば、

$$\sigma_{t1} = \frac{3}{A h_1} \cdot \frac{1}{4} P_2 R = \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{R}{A(h/2+e)} \right] P_2 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\left[\frac{3}{4} \cdot \frac{R}{A(h/2+e)} \right] = k \text{ とおけば, } \sigma_{t1} = k P_2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 σ_{t1} = コンクリートの曲げ引張強度

P_2 = 破壊荷重

R = 壁厚中心で計った中空円筒の半径

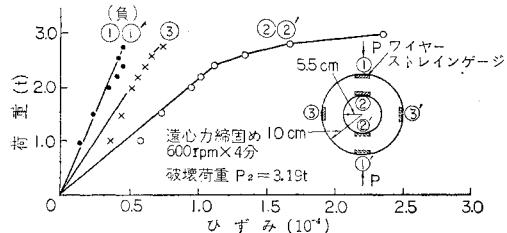
h = 壁厚

e = 偏心距離、壁厚の中心から中立軸までの距離

A = 壁厚 × 供試体の長さ

外径 20 cm, 内径 11 cm, 高さ 30 cm の中空円筒形供試体 3 個について横圧試験し、縁ひずみを測定した結果、 $n=0.4$ を得た(図-20)。式(2), (4), (5)にそれぞれ

図-20 中空円筒形供試体の横圧試験荷重-ひずみ線図の一例



の数値を入れて計算すると、

$$k = 0.0133 \text{ (1/cm}^2\text{)}, \quad \sigma_{t1} = 0.00133 P_2 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

同じコンクリートから、標準供試体(径 15 cm, 高さ 30 cm 円柱)と中空円筒形供試体(外径 20 cm, 内径 11 cm, 高さ 30 cm)とを成形し、圧縮試験、引張試験(JIS A 1113 による)および横圧試験をした結果を表-44 お

よび 3.(6) に示す。

表-44 3種の試験方法によるコンクリート強度(kg/cm²)

コンクリート の配合	標準供試 体による 圧縮強度	標準供試 体による 引張強度	円筒供試体による曲げ引張強度		
			棒突き	遠心力締固め	
I	421	34.0	40.7	43.0	44.3
	424	39.0	39.8	42.0	—
II	245	24.9	24.3	—	—

注: 1) コンクリートの配合は、表-38 に示す。

2) 各強度は、それぞれ供試体 3 個または 4 個の平均値。

(4) 遠心力鉄筋コンクリートくいおよびポールの試験方法について

a) 遠心力鉄筋コンクリート ポールおよびくいには、それぞれ日本工業規格があつてコンクリートの品質と曲げ強さとを規定している。使用の状態においては、ポールは曲げモーメントを、基礎くいは軸方向圧縮力を受ける。くいに対する曲げ強さの規定は、取り扱い中に生じる曲げモーメントに抵抗できることを目標としたもので、その圧縮強さについては規定していない。それで JIS の規格に合格したいでも、現場で打込む際、頭部がかけ、あるいはひびわれを生じるといった例がないわけではない。その原因は大むねくいのコンクリートの品質によるものである。くいの圧縮強さを試験するには 5.(1) に記すような大型試験機が必要で、実行は容易でない。また、コンクリートの品質は、くいの JIS では、標準養生した材令 28 日の標準供試体の圧縮強度をもって規定しているが、これでは十分でない場合がある。くいは遠心力締固めして、通常蒸気養生されるが、高温養生方法の適否やその後の養生条件がくいのコンクリートに大きな影響をおぼすことは 4. および 5.(1) の実験で明らかである。それで著者は 5.(3), ② および ① に記したことをくいの試験方法として提案したい。すなわち、

① くいのコンクリートの品質を知り、なお、くいの圧縮強さを推定するうえから、くいと同じ条件で養生したコンクリート供試体で試験すること。

② くいと同じ方法か、小型遠心機により成形した供試体により圧縮試験をすること。

以上のことばは遠心力鉄筋コンクリート ポールのコンクリートの強度を知るうえにも、そのまま適用できる。

b) 打込み中のコンクリートくいに生じる引張応力について くいを軟弱地盤に打込むとき、ハンマーの衝撃によりくいのコンクリートに圧縮応力と同時に、かなり大きな引張応力の生じることが実測されている^{47) 48)}。くいの軸方向鉄筋量は、JIS の曲げ試験に合格するためには、長さ 14, 15 m のものでは少なくともコンクリート断面積の 2~3% 程度を必要とするはずで、この程度の軸方向鉄筋があれば、打撃によって生じる引張応力によりコンクリートにひびわれを生じたとしても鉄筋の引

張応力度は 2000 kg/cm^2 程度であろう⁴⁹⁾。すなわち、JIS に規定する曲げ試験は打込み中に生じる引張応力に対する安全度を確かめる上にも役立つものと思われる。

8. 結 論

鉄筋コンクリート ポールまたはくいの製造に関し、本研究の範囲から実用的につぎのことがいえると思う。

(1) コンクリートの遠心力締固めを行なうにあたり、適当な回転数と回転時間とは、コンクリートの配合ならびにコンシスティンシーによって異なるが、一般にポールまたはくいの製造に用いられているコンクリートの成形に対しては、まず適当な低速回転を行なったのち、高速回転締固め時における遠心力を $20 \sim 35 \text{ g}$ 程度とし、回転時間を $5 \sim 10$ 分程度とするのが適当のようである。回転速度あるいは回転時間を増せば、締固め効果は増大するが、反面コンクリートの分離が増すので好ましくない。

(2) 遠心力締固めには、型わく内のコンクリートを全長にわたり、ほぼ均等にいきわたらせるための低速回転から、中速、続いて高速回転と回転速度をあげていく必要がある。特に低速回転は大切で、この段階を省略すると、コンクリートの分布が片よったり、偏心したりして遠心力締固め効果が阻害されることがある。

(3) 遠心力締固めを行なうと、かなりの水がしぶり出されるが、遠心成形したコンクリートの圧縮強度は、練り混ぜ時の水セメント比に支配される。コンクリートの単位水量がほぼ同じであれば、圧縮強度は練り混ぜ時のコンクリートのセメント水比に比例する。

(4) 遠心力締固めをすれば、振動そのほかの締固めをした場合よりコンクリートの水セメント比は $5 \sim 10\%$ 小さくなり、比重は $5 \sim 7\%$ 増し、圧縮強度は $10 \sim 25\%$ 増大するものと考えてよい。ただし、遠心力締固めにより内側面に分離形成されたせい弱層が厚い場合、これをコンクリート断面積に算入すると、比重、圧縮強度とも上記の値より小さくなることがある。

(5) AE コンクリートを遠心力によって締固めると、エントレインド エアは大部分これを除去することができる。

(6) 遠心力製品に用いるような特に単位セメント量の多いコンクリートにおいては、セメント分散剤を用いて単位水量とある程度の単位セメント量とを減じることは、コンクリートの圧縮強度を高めることに対し有利な場合がある。

(7) コンクリートの高温養生を行なう場合、練り混ぜ後少なくとも 3 時間以上経過してから開始すること、温度を急速に上げないこと、最高温度を高くしないことが大切で、これらの点に関しポールまたはくいの JIS に示されている限界値⁵⁰⁾は適当なものと思う。

(8) 普通ポルトランド、早強ポルトランド、高炉、

フライ アッシュのいずれのセメントを用いたコンクリートに対しても、蒸気養生をする場合ポールまたはくいの JIS に規定する蒸気養生の項にしたがって行なえばコンクリートの品質に悪い影響をおよぼす心配はない。

(9) 大気圧の蒸気養生によるコンクリート早期強度の発現は、用いるセメントの種類により異なり、JIS A 5309 に規定する条件のもとで蒸気養生すれば、早強ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、フライ アッシュセメントの順となる。

(10) 鉄筋コンクリート ポールにおけるように、コンクリートが富配合で、鉄筋が多量に入っているものは、ひびわれ幅が 0.2 mm 程度までであれば、これを空気中に設置した場合、凍結融解のくり返しを受けてもひびわれは容易に発達するものではない。また、この程度のひびわれであれば、内部の主鉄筋にさびを生じても、そのさびが有害な程度にまでは容易に発達しない。

(11) 遠心力鉄筋コンクリート ポールおよびくいの実物試験の結果から遠心力締固め方法は、このようなコンクリート製品の成形方法として、①締固め効果が大きいこと、②全長にわたって均等に、中心軸に対して対称的に締固められることできわめてよい工法と思われる。

(12) 遠心力鉄筋コンクリートくいの短柱としての圧縮強さを推定するには、遠心力供試体によるのが最もよい。ただし、くいと同じ条件で養生した標準供試体のコンクリートの圧縮強度と、軸方向鉄筋の降伏点応力度とをもとにして、帶鉄筋コンクリート柱の破壊荷重を求める式⁵¹⁾により計算すれば、くいの短柱としての圧縮強さの大体の目安が得られるものと思う。

(13) 遠心力供試体としては、外径 20 cm 、内径 $10 \sim 12 \text{ cm}$ 、高さ 30 cm 程度の中空円筒形のものでよい。ただし、供試体成形に用いる遠心機としては、車輪式のものが遠心力製品との関連性がよい点でジャイロ式のものにまさっている。

(14) コンクリートの強度は、供試体の形状、寸法の影響をうけることは当然であるが、中空円筒形より求めた圧縮強度を同程度の大きさの円柱形供試体圧縮強度に換算するには 0.9 で除せばよいようである。

(15) 遠心力締固めコンクリートの品質を比較する目的には、中空円筒形供試体を横にして圧縮し、コンクリートの曲げ引張強度を求める方法も、簡便で実用的な一つの方法と考えられる。

以上要するに、よい遠心力コンクリート製品を製造するためには、材料の選定、配合の設計、さらに練り混ぜ、締固め、養生、検査、取り扱いなどの全般にわたる適切な管理が大切なことは論をまたないが、特に、配合は遠心力成形に対しても水セメント比を考えて設計すること、遠心力締固めは過度にならぬようにすること、蒸気養生は開始の時期と温度とに注意すること、製品と同

一条件で養生した供試体により圧縮強度を確認することなどが肝要であると考えられる。

参考文献

- 1) 杉木六郎：遠心力締固めによるコンクリートの試験報告，セメントコンクリート No. 58, 昭和 26.12.
- 2) 杉木六郎：遠心力によるコンクリートの締固めについて，土木学会第9回年次学術講演会講演概要，昭和 28.
- 3) 杉木六郎：遠心力鉄筋コンクリート管，日本セメント技術協会，パンフレット 57号，昭和 33.6.
- 4) 綾 亜一：遠心力鉄筋コンクリートくいに用いるコンクリートの遠心締固めに関する研究，土木学会論文集第 71 号，昭和 35.11.
- 5) 吉田徳次郎：新しいコンクリートにおける材料の分離について，土木学会誌，昭和 7.8.
- 6) 横口芳朗：水セメント比とコンクリート強度との関係についての一考察，セメントコンクリート，No. 147, 昭和 34.5.
- 7) 佐々木滋郎・加藤五郎：フライ アッシュセメントによる遠心力コンクリート，セメントコンクリート，No. 166 昭和 35.12.
- 8) Banks, K.R. : High Strength Concrete for Prestressing, Constructional Review, July 1953
- 9) Errntory, H.C. and Shacklock, B.W. : Design of High-Strength Concrete Mixes, Proc. of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, May 1954
- 10) 左右田孝男・山崎寛司・江口 勇：道路舗装を対象としたコンクリートの曲げ強度試験，セメント技術年報，XIII，昭和 34.
- 11) 吉田徳次郎：最高強度コンクリートの製造について，土木学会誌，昭和 15.11
- 12) 平野生三郎・山崎寛司：大気圧の下におけるコンクリートの蒸気養生に関する研究，セメント技術年報，VIII，1954.
- 13) 高野俊介・渡辺嘉香：モルタルおよびコンクリートの養生温度と強度との関係，小野田研究彙報15号，昭和 28.4.
- 14) Saul, A.G.A. : Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure, Magazine of Concrete Research, No. 16, 1951.
- 15) Saul, A.G.A. : Steam Curing and Its Effect upon Mix Design, Proc. of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, May, 1954
- 16) Bergström, S.G. : Curing Temperature, Age and Strength of Concrete, Magazine of Concrete Research, No. 14, 1953
- 17) 三浦一郎・杉木六郎：富配合コンクリートにおける養生温度と分散剤混和の影響，セメントコンクリート No. 117, 昭和 31.11.
- 18) Shidler, J.J. and Chamberlin, W.H. : Early Strength of Concrete as Affected by Steam Curing Temperature, Jl. of A.C.I., Dec. 1949.
- 19) 杉木六郎：遠心力鉄筋コンクリート バイルとその試験，鉄道業務研究資料，Vol. 11, No. 9, 1954.
- 20) 杉木六郎・西郷勘次郎：遠心力鉄筋コンクリートくいの強さ試験，セメント技術年報，昭和 29.
- 21) 杉木六郎・音羽立男：遠心力鉄筋コンクリートくいの圧縮試験成績，セメント技術年報，昭和 32.
- 22) 畑野 正：コンクリートの破壊強度，ひずみ能力，弾性率と破壊時間との関係，土木学会論文集第 73 号，昭和 36.3
- 23) 近藤泰夫・坂 静雄編：コンクリートハンドブック，朝倉書店，昭和 32.
- 24) 杉木六郎：遠心力締固めコンクリートのヤング係数，セメントコンクリート No. 141, 昭和 33.11.
- 25) 電車線路用各種支持物設計資料，鉄道電化協会，昭和 33.
- 26) 通産省令 第 60 号，電気工作物規程
- 27) 吉田徳次郎：鉄筋コンクリート設計方法，養賢堂，昭和 33.1.
- 28) コンクリート ポール ハンドブック，鉄道電化協会，昭和 33.7.
- 29) Wentworth-Shields F.E. and Gray, W.S. : Reinforced Concrete Piling, 1948
- 30) Abeles, P.W. : Cracking in Reinforced and Prestressed Concrete, Civil Engineering and Public Works Review, Vol. 46, 1951.
- 31) Ros, M. : Bericht Nr. 162, Die Materialtechnischen Grundlagen und Probleme des Eisenbetons in Hinblick auf die Zukünftige Gestaltung der Stahlbetonbauweise, 1950.
- 32) Clark, A.D. : Cracking in Reinforced Concrete Flexural Members, Jl. of A.C.I., Apr. 1956.
- 33) Rail Steel Bar Association : Permissible Crack Width, Rail Steel Reference Book, 1955.
- 34) Bailey Tremper : The Corrosion of Reinforced Steel in Cracked Concrete, Jl. of A.C.I., June, 1947.
- 35) 杉木六郎：鉄筋コンクリートのひびわれ，セメントコンクリート，No. 96, 昭和 30.2.
- 36) 杉木六郎：鉄筋コンクリートに対する凍害試験，第 12 回年次学術講演会講演概要，土木学会，昭和 32.
- 37) Rapid Freezing and Thawing in Water, Resistance of Concrete Specimens to, ASTM C 290-52 T
- 38) Kennedy, T.B. and Mather, K. : Correlation Between Laboratory Accelerated Freezing and Thawing and Weathering at Treat Island, Maine, Jl. of A.C.I., Oct. 1953.
- 39) 杉木六郎：鉄筋コンクリートのひびわれ，(塩沢における放置試験報告)，鉄道技術研究所速報，No. 60-67, 昭和 35.4.
- 40) 莊田幹夫・須藤伊佐夫：塩沢気象 10 年表，鉄道技術研究報告，No. 96, 昭和 34.11.
- 41) 左右田孝男・山崎寛司：コンクリートの中性化と鉄筋のさびに関する 20 年試験，セメントコンクリート，No. 139, 昭和 33.9.
- 42) American Water Works Association : AWWA Standard for Reinforced Concrete Water Pipe—Noncylindrical Type, Not Prestressed., C 302-57.
- 43) Akberdof, I.N. : ソケット付き遠心力鉄筋コンクリート管の改良製造方法，Beton i Jerez-Beton, No. 5, 1961.
- 44) Kalandaje, B.S. : 軽量骨材を使った遠心力鉄筋コンクリート ポール，Beton i Jerez-Beton, No. 12, 1961.
- 45) 杉木六郎：極限強さ 設計方法による鉄筋コンクリート管の強度計算，セメントコンクリート，No. 177, 昭和 36.11.
- 46) Timoshenko, S.P. : Strength of Materials, Part II. Bending Stresses in Curved Bars, 1940.
- 47) 上淀川橋りょう，鉄筋コンクリート継ぐい試験工事報告，国鉄大阪工事事務所報告，昭和 30.12.
- 48) Smith, E.A.L. : Tension in Concrete Piles During Driving, Jl. of the Prestressed Concrete Institute, Mar. 1960.
- 49) 杉木六郎：打ち込み中のコンクリートくいに生じる引張り応力，セメントコンクリート，No. 165, 昭和 35.11.
- 50) JIS A 5309-1960 遠心力鉄筋コンクリート ポール，4.5.2. コンクリートを練り混ぜたときから計って 3 時間以上たつまでは，蒸気養生を行なってはならない。
4.5.3. 養生室の温度の上げ方は，1 時間につき 20°C 以下の割合とする。最高温度は 65°C とする。
- 51) 土木学会，鉄筋コンクリート標準示方書，昭 33, 145 条帶鉄筋柱の破壊荷重を求める式。

(原稿受付：1962.4.18)

INVESTIGATIONS ON THE CONCRETE USED FOR REINFORCED PRECAST CONCRETE POLES AND PILES

By Dr. Eng. Rokuro Sugiki, C.E. Member

This paper describes the results of investigations on the effect of such working factors upon concrete as the centrifugally consolidating method, the mix proportion, the high temperature curing method and the crack development of concrete used for reinforced precast concrete poles or piles.

Firstly, from the experiment on concrete consolidated centrifugally with two different apparatus such as a rotary wheel type and a spinning pivot type, the following facts observed are; 1) minor vibrations owing to the contact between the rotary wheels and the rotated form are rather effective for consolidation of concrete; 2) the relation between the compressive strength of spun concrete and its water-cement ratio before spinning is practically linear, though a part of mixing water has been squeezed out by centrifugation; 3) most of the entrained air are separated from concrete during spinning along with diluted cement paste, nevertheless liberating of air is not so easy by vibration.

After consolidation, the green concrete in the forms is often cured in a hot steam chamber to accelerate its hardening. From the experimental work about the acceleration of hardening of concrete by the high temperature curing, it is cleared that the gradual rise of temperature and the retarded start of three or four hours after mixing of concrete are preferable, and also that the water curing after the high temperature cure is desirable for developing the strength of concrete further more.

In addition, by the compressive and the flexural test of poles and piles of full size, it is confirmed that the usual design method based on

the elastic theory might be applied to calculate the bending stress of reinforced spun concrete poles.

It is suspicious that cracks formed on precast concrete products during handling or transporting may cause to develop rust on reinforcing steels. Therefore, the observation was carried out about the pole specimens which had been exposed to cold weather for six years around the Shiozawa Snow Testing Laboratories, Japanese National Railways, to assure whether the crack widths increased and the corosions on reinforced steel developed. While the freezing and thawing test of reinforced cracked concrete specimens was also conducted.

From these observations, it is concluded that the cracks less than 0.2 mm in width formed on the reinforced precast concrete were nearly free from developing after frequent repetition of freezing and thawing, and therefore, that the reinforcing steels might be rarely subjected to so much harmful corrosion under the ordinary field condition.

Lastly, from the testing results of compressive strength of various concrete specimens, the following conclusions have been obtained; the apparent compressive strength of hollow cylindrical specimens is about 10% lower than that of solid ones when they are 20 to 40 cm in height, 15 to 30 cm in outer diameter and three to six cm in wall thickness; and the cubic specimens cored from the wall seem to be appropriate for the evaluation of strength of the centrifugally consolidated concrete.

(Received by the Society April 18, 1962)