

九州電力	総合研究所	土木研究室	室長	田口堅一
九州電力	総合研究所	土木研究室	正員	〇是石俊文
九州電力	総合研究所	土木研究室		杉田英明
九州産業大学	工学部	土木工学科	学生	犬丸省一
九州産業大学	工学部	土木工学科	学生	穀内朝光
九州産業大学	工学部	土木工学科	学生	石田傳美雄

1. まえがき

九州電力(株)が配電用に使っている支持物のうち、約6%がコンクリート柱で、これは天然骨材を用いて遠心力によって締め固められたものである。運搬費・建設工事費の軽減をはかるため、人工軽量骨材を使用して遠心力締め固めコンクリート柱を軽量化する試験研究に関して、既に数編の研究結果が報告されている。²⁾これらの研究結果では、セメントペースト、細骨材および粗骨材の比重の違いによる材料分離が著しく、実用的な解決は得られていないようである。

本研究は、遠心力締め固め時の材料分離にとくに著しい影響をおよぼすと考えられる要因—人工軽量粗骨材の種別、細骨材の種別、スランプなど7要因—を2水準えらびこれらが材料分離、比重および標準状試体の圧縮強度におよぼす影響を実験計画法によって検討したものである。

2. 実験計画法による遠心力締め固めコンクリート柱の軽量化に関する実験

(1) 実験計画

ここで取り上げた要因は、主に遠心力締め固め時の材料分離に影響を及ぼすと考えられるもので、各要因とその水準は表1に示す通りである。これらを表2に示す様は H_{216} 型直交表に割り付け、要因実験を行った。これと同時に中 $10 \times 20 \text{ cm}$ の標準状試体を作成し、強度を検討した。

(2) 使用材料

A.セメント 日本セメント(株)香春工場製の早強ポルトランドセメントを使用した。その物理的性質を表3に示す。

B.粗骨材 粗骨材にはS.S.活性骨材とライオナイトとを使用した。

1) S.S.活性骨材 これは、九州電力総合研究所土木研究室が製造したケイ酸質微粉末と石灰質微粉末とを用いた $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{H}_2\text{O}$ 水熱反応硬化体で表4に示す配合で造粒し、95℃の飽和蒸気を用いて養生したものである。その物理的性質を表5に示す。

2) ライオナイト 砂岩質鉱石と頁岩質鉱石とを原料とする造粒型焼成人工軽量骨材である。比重は普通1.3程度であるが、個個のペレットの比重は0.95~1.96とかなりバラツキがあるので、比重1.60の溶液で選別し、平均比重1.7程度となったものを使用した。その物理的性質を表5に示す。

C.細骨材 細骨材にはビルトンと海砂とを使用した。

1) ビルトン 頁岩を原料とする造粒型焼成人工軽量細骨材で、その物理的性質を表5に示す。

2) 海砂 佐賀縣唐津市松蒲川河口部で採取した海砂で、その物理的性質を表5に示す。

表1 要因と水準

記号	要因	水準	0	1
C	フライアッシュ混和率(%)		0	20
D	人工軽量粗骨材の種別	S.S.活性骨材	ライオナイト	
E	細骨材の種別	海砂		人工軽量細骨材(ビルトン)
F	スランプ (cm)		4±1	9±1
G	回転上昇時間(分)		2	4
I	単位セメント量(kg/m³)		400	500
L	最高回転数持続時間(秒)		30	60

表2 H₂16直交表への割り付け

列番 No.	e	e	C	D	E	F	G	e	I	e	e	L	e	e	e
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
3	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1
4	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
5	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
7	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
8	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
11	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1
12	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
13	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
15	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0

表3 使用セメントの物理的性質

比 重	粉 重 (cm³/g)	安定 性	凝 水 量 (%)	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分	結 晶 時 分
3.14	4.220	良	29.6	2	23	3	43	244	30.4	48.9	40.8	76.9	16	230	330

図1 車輪式遠心力締め固め装置 S/300(単位mm)

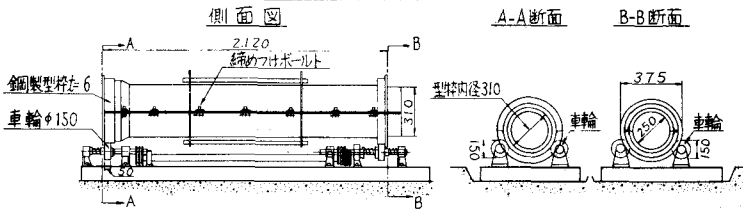


表4 S.S. 活性骨材の配合

成 分	組成百分率 (%)
ケイ酸質材料	55.8
石灰質材料	17.3
硬化助剤	23.9
凝結遅延剤他	3.0
計	100.0

表5 使用骨材の物理的性質

種 別	比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m³)	空隙率 (%)	粗粒率	ふるい 残留百分率 (%)									
						0.15mm	0.30mm	0.60mm	1.2mm	2.5mm	5mm	10mm	15mm		
S.S. 活性骨材	2.0	18.0	1.210	39.5	6.40	—	—	—	—	—	100	40	5		
ライオナイト	1.70	2.5	1.030	39.4	6.40	—	—	—	—	—	100	40	4		
ビルトン	1.90	6.2	1.310	31.5	3.02	93.1	81.4	62.9	44.5	19.9	0.3	—	—		
海砂	2.57	2.3	1.630	36.4	3.22	95.7	88.9	69.8	44.9	18.2	4.8	—	—		

d. フライアッシュ 九電フライアッシュ(株)大村工場製を使用した。

e. 混和剤 減水剤としてポゾリスNO. 8 IMPを単位セメント量(フライアッシュを含む)の0.21%の割合で使用した。

(3) コンクリートの配合

人工軽量粗骨材の種別など7つの要因を直交表に割り付けたコンクリートの配合を表6に示す。

(4) 供試体の作製および試験方法

a. 供試体の作製 コンクリートの練り混ぜは強制練り混ぜミキサーを使用し、図1の遠心力締め固め用型枠の1ブロック(φ31cm、長さ60cm)に盛り込んだ。コンクリート厚は60cmとなるように1

た。遠心力締めの固め型枠は2つ割で、コンクリートを2ブロックあるいは3ブロックに盛り込んだ後、型枠をネットで緊結し、遠心力機により所定の遠心力および回転時間で遠心力締めの固めを行った。これと同時に中10×20cm標準供試体を作成した。

b. 遠心力の大きさ 加えた遠心力の大きさは普通、重力の加速度gの倍数で示される。回転半径および回転速度と遠心力との関係は次のようになる。

$$f = \frac{4\pi^2 r n^2}{g} \quad \text{ここに } f: \text{遠心力 (gの倍数で示す)} \quad r: \text{回転の半径 (コンクリート肉厚の中心にとる。} r = 12.5 \text{ cm)} \quad n: \text{回転速度 (単位時間当り回転数)}$$

($f = 10g$ のとき 267 r.p.m.)

この実験では最高回転数の遠心力の大きさを10gとした。

C. 試験方法 遠心力締めの固め供試体は製作後24時間空中放置の後脱型し、カッターで切断して、比重・材料の分離状況を測定した。標準供試体は製作後24時間で脱型後、水中養生とし、材令1, 3, 7, 28日で圧縮強度などを試験した。

(5) 実験結果およびその考察

これらの試験結果を表6に示す。この結果にもとづいて表2の直交表を用いて分散分析を行い、F検定によって5%および1%の危険率で有意となったものの主効果についての要因効果の一部を図2に示す。以下これらについて検討する。

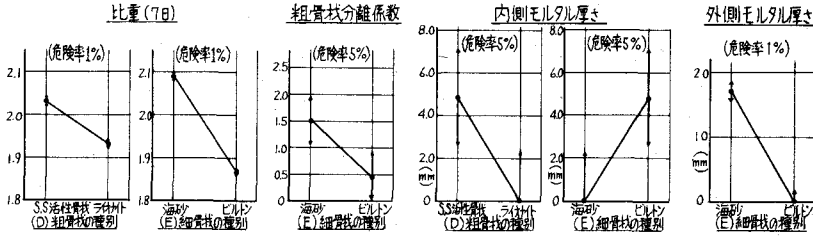
A. 遠心力締めの固め供試体の比重

ここで取りあげた要因のなかでは、人工軽量粗骨材および細骨材の種類の影響が最も大きく、フライアッシュの混和率と単位セメント量とがこれに次いだ。遠心力締めの固めコンクリートの比重は、ライオナイトとビルトンとを使用した配合で1.82、S.S.活性骨材と海砂とを使用した配合で2.12である。また遠心力締めの固めコンクリートの比重と標準供試体の比重との比は平均1.016である。

表 6 コンクリートの配合と遠心力成形および標準供試体の試験結果

配合 No.	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位セメント量 (kg/m ³)	水灰比 (%)	人工軽量粗骨材の種別	細骨材の種別	回転時間 (分)	最高回転速度 (rpm)	単位水量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スラング (cm)	空気量 (%)	単位粗骨材量 (kg/m ³)	単位細骨材量 (kg/m ³)	減水率 (%)	粗骨材の分離係数	比重 (供試体)	標準供試体の圧縮強度 (kg/cm ²)			
																		1日	3日	7日	28日
1	15	400	0	活性骨材	海砂	2	30	176	44.0	43	4.7	3.1	759	729	840	0.32	2.11	274	309	394	491
2	15	400	0	ライオナイト	ビルトン	4	60	166	41.5	43	4.5	4.5	645	557	840	0.88	1.79	200	313	410	523
3	15	400	20	活性骨材	ビルトン	2	60	168	35.0	46	8.9	2.7	696	562	1,008	0.52	1.90	256	401	474	552
4	15	400	20	ライオナイト	海砂	4	30	228	47.5	40	9.0	2.5	581	594	1,008	3.96	2.04	117	236	300	417
5	15	500	20	ライオナイト	ビルトン	2	60	187	31.2	43	4.3	3.1	548	473	1,260	0.57	1.83	296	445	505	666
6	15	500	20	活性骨材	海砂	4	30	200	33.3	43	4.0	3.0	650	626	1,260	1.00	2.17	230	350	397	591
7	15	500	0	ライオナイト	海砂	2	30	195	39.0	43	9.2	2.1	588	686	1,050	2.62	2.03	215	398	442	456
8	15	500	0	活性骨材	ビルトン	4	60	172	34.4	48	9.1	2.7	670	587	1,050	0.60	1.94	258	364	421	621
9	15	400	20	ライオナイト	ビルトン	4	30	189	39.4	42	8.1	3.4	595	493	1,008	0.16	1.82	221	344	393	528
10	15	400	20	活性骨材	海砂	2	60	177	36.9	46	8.6	2.5	686	748	1,008	1.47	2.12	203	353	397	539
11	15	400	0	ライオナイト	海砂	4	60	170	42.5	40	3.8	2.3	676	688	840	1.30	2.04	183	315	405	425
12	15	400	0	活性骨材	ビルトン	2	30	169	42.3	43	4.2	3.5	762	546	840	0.54	1.91	322	397	412	600
13	15	500	0	活性骨材	海砂	4	60	198	39.6	43	8.9	3.5	704	677	1,050	0.98	2.12	244	363	432	558
14	15	500	0	ライオナイト	ビルトン	2	30	202	40.4	41	8.1	3.5	591	470	1,050	0.07	1.82	209	416	484	610
15	15	500	20	活性骨材	ビルトン	4	30	185	30.8	43	4.5	2.5	668	478	1,260	0.45	1.94	246	385	417	637
16	15	500	20	ライオナイト	海砂	2	60	236	39.4	45	4.8	2.0	487	617	1,260	0.50	2.07	289	448	504	519

図 2 遠心力締め固めコンクリートに関する要因効果図



b. 遠心力締め固め供試体の材料分離

遠心力締め固めコンクリートの断面で肉厚の1/2の線を引き、内半部に含まれる粗骨材数(N_1)と外半部に含まれる粗骨材数(N_2)との比を取り粗骨材分離係数とした。要因のなかで、細骨材の種別のみが有意となった。ビルトンを使用した配合では、粗骨材の分離は海砂を使用した配合の1/3程度である。S.S.活性骨材を使用した配合とビルトンを使用した配合では遠心力締め固めコンクリートの内側にモルタル層ができる傾向があるが、海砂を使用する配合で外側に分離形成されるモルタル層は平均厚さ17mmで肉厚の28%にも達した。この試験の範囲では、骨材の種別が材料の分離に大きく影響するのに比較して、回転上昇時間や最高回転数持続時間などは影響が小さいといえる。

c. 標準供試体の圧縮強度

S.S.活性骨材を使用した配合の標準供試体の圧縮強度は $\sigma_{28}=574 \text{ kg/cm}^2$ で、ライオナイトを使用した配合の $\sigma_{28}=565 \text{ kg/cm}^2$ を超え σ_{28}/σ_7 は1.37となった。

d. S.S.活性骨材

S.S.活性骨材は吸水率が18%とかなり大きい。この骨材は高温焼成を行っていないため、骨材中に活性のシリカが存在し、これとポルトランドセメント中より溶出される $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とが反応し、この骨材とコンクリート中のモルタルとは化学反応によって結合すると考えられる。この反応を促進させるために骨材自体のある程度の保水性が必要であり、吸水率の大きさは特に問題とする必要はなく、かえってコンクリートの強度増進に有利に作用すると考えられる。

3. おわりに

本実験の範囲内では、人工軽量骨材を使用した遠心力締め固めコンクリートの材料分離は、粗骨材と細骨材との比重の違いに大きく影響を受けるといえる。比重2.0のS.S.活性骨材と比重1.90のビルトンを使用した遠心力締め固めコンクリートは、内側に薄いモルタル層を生ずる程度で、その材料分離は実用上差支えない程度であり、比重1.94で従来の遠心力締め固めコンクリートに比較して約20%程度の軽量化となった。この配合は標準供試体の圧縮強度で $\sigma_{28}=600 \text{ kg/cm}^2$ を得たので、今後は遠心力の大きさを例えば30g程度の場合についての材料分離の状態、弾性的性質、耐久性などを検討する予定である。

- 参考文献 1) 人工軽量骨材を用いた遠心力締め固めコンクリートの試験 杉木・大石・尾崎
2) 遠心力締め固めコンクリートにおける2,3の問題 杉木
3) 遠心力締め固め効果に関する要因実験 岡田・小林・岡村