

V—8 発熱コンクリートについて

北海道工業大学 正 員 犬塚 雅生

北海道工業大学 学生員 田下 秀二

〃 〃 片井 亮

〃 〃 加藤 博美

〃 〃 寺田 輝男

1. まえがき

融雪や凍結防止の要求されるコンクリート構造物は多い。硬化乾燥したコンクリートは、通電が不可能であるが、これに炭素繊維や鋼繊維のような良導体繊維を混入すると安定した良導体として機能する。本研究は、このようなコンクリートで通電発熱を行なうことについて資料を得る。あわせてその力学的性質を実験したものである。実験順序は次のようなシリーズで行なった。

実験Ⅰ：セメントモルタルの体積抵抗率について (L27)

実験Ⅱ：セメントコンクリートの体積抵抗率について (L16)

2. 実験概要

2-1 両実験における共通条件

A. 供試体作製

供試体の大きさは、 $16 \times 13.6 \times 4$ (cm) で型枠内に発熱体を混入し、サンドイッチ状に建築用ラス網を、1 cm 又は 2 cm 間隔で装置した。また曲げ強度、圧縮強度試験の供試体型枠は、 $16 \times 4 \times 4$ (cm) の大きさで、2 層に分けて打ち込んだ。セメントは、早強セメントを使用し、鋼繊維にセ断ファイバーを使用した。

B. 体積抵抗率の算定

供試体の端子間抵抗 R (Ω) を測定し、次式から各供試体の体積抵抗率 ρ_v を求める。

$$R(\Omega) = \rho_v \frac{l}{A_0} \quad (\Omega m) \quad \begin{array}{l} A_0: \text{ラス網面積} \quad (0.160 \times 0.136 = 0.0218 m^2) \\ l: \text{端子間隔} \quad (\text{実験Ⅰは} 0.02 m, \text{実験Ⅱは} 0.01 m) \end{array}$$

C. 測定条件

若材令時は、水分等のために測定値の変動が大きい。ここでは、両実験共 6 ヶ月恒温 ($20 \pm 2^\circ C$) 養生し、その後、表-1 のような計画で測定した。(但し表-1 の X は養生 6 ヶ月、測定後 1 時間 10 V 直流電を通電)

D. 解析法

各因子において、実験計画表の測定値を分散分析し、その因子の有意を判定する。これをコンピュータで行うため、独立な交互作用の因子の平均自乗和から仮誤差項をきめ、各因子の仮の F 値を算定し、寄与率を求め、分散分析表を作成する。

表-1 測定日と条件

測定回	測定日	暴露条件
1	X + 1	冷却 (23 時間)
2	X + 2	常温 (23 時間)
3	X + 3	冷却 (23 時間)
4	X + 4	常温 (23 時間)
5	X + 5	冷却 (23 時間)
6	X + 6	常温 (23 時間)

冷却 ($-20.5^\circ C$) 常温 ($22 \pm 2^\circ C$)

3 実験Ⅰ セメントモルタル実験の体積抵抗率及び強度試験について

3-1 配合条件

実験Ⅰにおいて、各因子を表-1のような水準で配合設計し、

細骨材は、川砂(比重2.49)、高流動化混和剤(セメント量の2%)を使用した。混合は、小型オムニミキサーで5分間混合した。

3-2 実験結果

表-1の計画に従い、表-3のような測定値を得た。

表-3 抵抗率変化表

NO	1	2	3	4	5	6
1	990	881	1275	860	1360	912
2	764	394	1545	455	1697	376
3	383	268	548	261	598	261
4	923	548	1582	553	1769	522
5	533	320	1016	298	923	258
6	1325	675	2165	683	2742	633
7	662	431	1195	424	1680	431
8	1451	901	2703	829	2720	796
9	701	470	977	485	1021	468
10	387	285	540	276	577	289
11	611	318	1264	285	1088	272
12	685	431	1036	413	1118	409
13	546	298	951	296	1021	246
14	1042	605	2681	772	2437	840
15	154	120	196	139	200	137
16	716	411	1338	394	1374	366
17	496	320	792	311	879	307
18	520	289	1068	292	1182	285
19	274	198	366	207	396	176
20	211	211	300	209	357	220
21	265	222	285	215	305	226
22	357	292	431	242	198	215
23	374	342	420	331	444	313
24	272	189	324	183	355	148
25	1573	992	1534	849	2067	1034
26	413	289	622	274	651	263
27	692	944	977	651	1055	601

(単位 $\Omega \cdot m$)

1, 3, 5. は冷却時

2, 4, 6. は常温時

表-2 因子及び水準

因子 \ 水準	1	2	3
カーボン量 (%)	1	2	3
カーボン長さ (cm)	1	2	4
SF量 (%)	0.5	1	2
セメント量 (%)	450	550	650
w/c (%)	50	60	70

実験Ⅰの1~6回目の分析結果を、各水準ごとに平均し、因子別に表わす。

表-4 各水準における測定値の平均値

因子 \ 水準	1	2	3
カーボン量	919	635	473
カーボン長さ	533	659	837
SF量	717	691	579
セメント量	910	619	499
w/c	862	702	465

表-5 有意因子の判定表

因子	曲げ強度		圧縮強度	
	F値	判定	F値	判定
カーボン量 (A)	1.85		57.10	**
カーボン長さ (B)	1.54		14.55	*
SF量 (C)	15.82	*	4.05	
セメント量 (D)	18.09	*	146.51	**
w/c (E)	5.08		12.63	*
交互作用 (AxB)	0.34		7.75	*

(** : 1%危険率有意水準, * : 5%危険率有意水準)

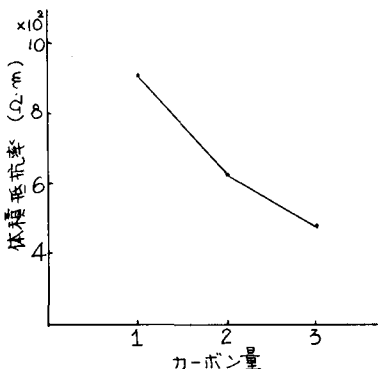


図-1 カーボン量の主効果グラフ

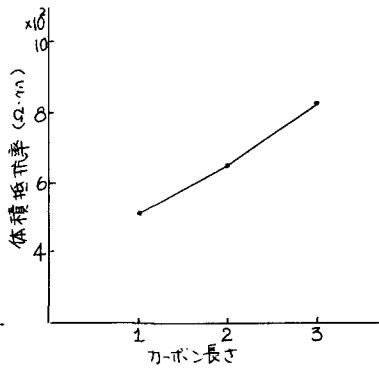


図-2 カーボン長さの主効果グラフ

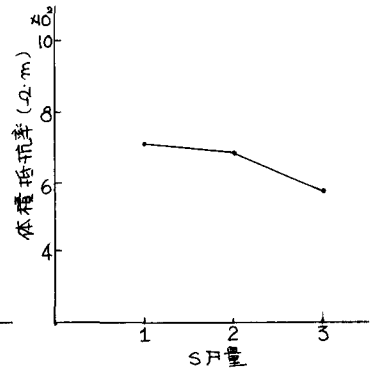


図-3 SF量の主効果グラフ

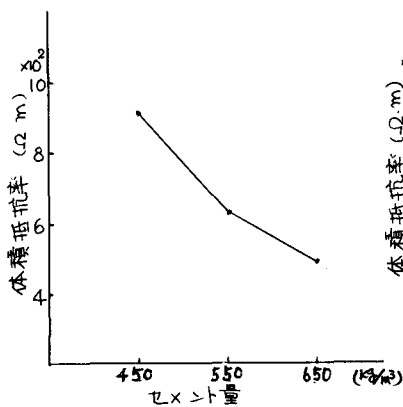


図-4 セメント量の主効果グラフ

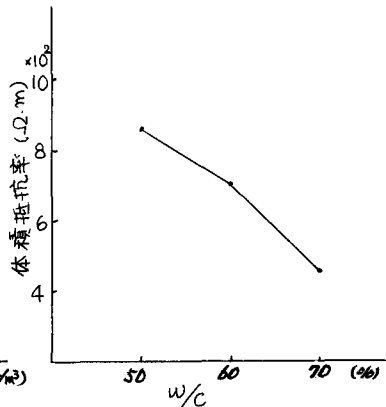


図-5 w/cの主効果グラフ

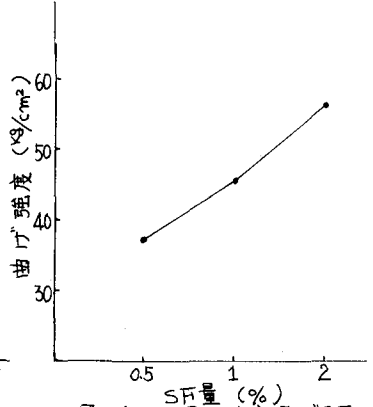


図-6 SF量の主効果グラフ

3-3 実験Iの考察

A. 体積抵抗率 表-3測定値を分散分析した結果、5%危険率でも有意になるものは少なかったが、各水準における測定結果の平均値(表-4)に関して次のような傾向がある。なお、アレーン ルタルでは、約5 $\times 10^5 \Omega \cdot m$ である。

- (1) 混入カーボン量が増加すると、体積抵抗率が低下する。(図-1)
- (2) カーボン長さが、長くなると体積抵抗率が大きくなる。このことは、体積抵抗率も混合と締め固めの影響が大きいことを示すようである。(図-2)
- (3) 鋼繊維混入量が増加すると、体積抵抗率が低下する。(図-3)
- (4) セメント量が増加すると、体積抵抗率が低下する。(図-4)
- (5) 水セメント比が大きい程、体積抵抗率が低下する。(図-5)
- (6) 通電加熱サイクルを繰返すと一般に体積抵抗率が増加するがカーボン量が多い程、各加熱サイクルにおける体積抵抗率の増加割合が少くない。このことは、1回の通電によるカーボン部分の抵抗値の増大が一定比ではなく、一定量で増加するように見掛けられる。
- (7) 常温下の体積抵抗率は冷却時のそれより小さい。カーボン混入量が多い程、その差が大きい。

B. 曲げ強度 分散分析は表-5のようになり、SFと単位セメント量が有意になった。また有意水準は満足しないが、カーボン混入量の増加とその長さを大きくすると強度の増大が見られた。 $\%C$ の結果では、60%が最強を示し、1水率(50%)が、すでに過少水量であることを示す。有意因子の主効果を図-6に示す。

C. 圧縮強度 分散分析の結果、表-5のようになり、カーボン長さ、単位セメント量、 $\%C$ 等が有意になった。カーボン量は2水率で最高値となり、3水率での抵抗値の低下が、混入過多による混合不適切を示すものと考えられる。カーボン長さについても同様に、長すぎると混合が不均一になり易いようである。

4 実験II セメントコンクリートの体積抵抗率について

4-1 配合条件

実験IIにおいて各因子を表-7のような水準で配合設計した。スチールウールは、約直径2mmで、約5mmに切断して用いた。赤泥粒は、粒径均一(比重2.90)、転炉スラグは、粒径5~10mm(比重2.20)、高流動化混和剤はセメント量の2%混入(比重1.20)。細骨材率は50%とし、混合は手練りによって行なった。

表-6 因子及び水準

因子	水準	1	2
スチールウール (%)		0	0.15
カーボン量 (%)		0	1
細骨材の種類		焼結赤泥粒	川砂
粗骨材の種類		川砂利(比重2.68)	転炉スラグ

4-2 実験結果

表-1の計画に従い、表-7のような測定値を得た。

表-7 体積抵抗率変化表

No	1	2	3	4	5	6
1	868	211	1676	202	772	659
2	115	57	72	65	78	76
3	838	246	1406	185	755	605
4	790	189	1116	183	1129	596
5	176	109	294	100	283	176
6	215	111	313	100	285	185
7	102	78	141	72	146	102
8	198	85	220	89	200	146
9	111	85	115	94	120	100
10	692	202	1275	119	1127	614
11	96	37	91	37	102	67
12	579	133	870	107	759	416
13	52	44	59	41	59	50
14	52	44	59	41	61	41
15	17	17	20	17	22	20
16	20	20	24	20	24	22

1, 3, 5は冷却時

(単位 $\Omega \cdot m$)

2, 4, 6は常温時

表-8 各水準における測定値の平均値

実験IIの1~6回目の分析結果を、各水準ごとに平均し、因子別に表わす。

因子 \ 水準	1	2
スチールウール量	350	185
カーボン量	436	100
細骨材	261	274
粗骨材	243	292

(単位 $\Omega \cdot m$)

表-9 有意因子の判定表 グラフ図7~8

因子	体積抵抗率		
	自由度	F値	判定
カーボン量	2	8.53	*
カーボン x スチールウール	4	8.13	*

(*: 5%危険率有意水準)

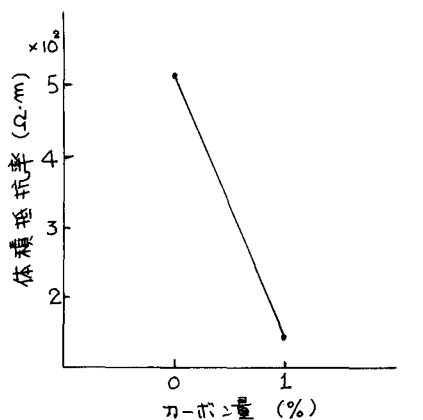


図-7 1回目のカーボン量の主効果グラフ

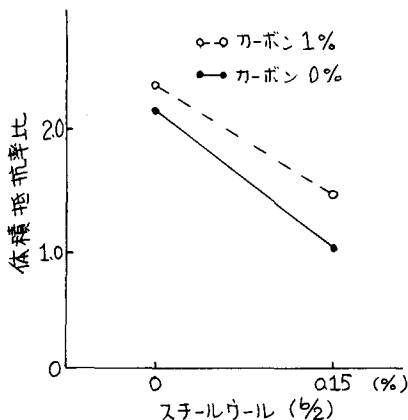


図-8 6回目/5回目のスチールウールの主効果グラフ

4-3 実験IIの考察

- (1) カーボン混入は、混入量に比例してコンクリートの抵抗を下げる。
- (2) 混入物によって体積抵抗率を下げるためには締固めを充分にすることが必要のようである。混合ファイバーの寸法と量の適値は、締固めからさまるようである。
- (3) 全般的に、実験Iのモルタル体積抵抗率に比べ、コンクリートの体積抵抗率が小さい。これは、混合物の分散と締固めの差と考えられる。(粗骨材の存在と手練り混合)
- (4) ターミナル間隔も体積抵抗率値を左右するようである。発熱体として実用化するため、最も経済的に体積抵抗率を下げる手段である。