

V-17

コンクリートの白華発生要因に関する実験と検討

北見工業大学工学部 正 員 桜井 宏 鮎田耕一 岡田包儀
北見工業大学大学院 学生員○荒木敬大

1.はじめに コンクリートは近年、美観等も重要な性質となりつつあり、美観の要因には、デザイン、表面の仕上がり、色、コンクリート表面にひびわれ、劣化汚れ等が無い等があるが、本研究では、カラーコンクリート等の品質や美観の低下につながる白華(efflorescence)に着目し、その発生の要因に関する実験と検討を行う。

2.検討方法 Fig. 2.1に検討のフローを示す。Table 2.1に示す条件の供試体を作成した。供試体はカラーコンクリートとした。Table 2.2に供試体のベースコンクリートの配合とフレッシュコンクリートの性質及び材令28日圧縮強度を示す。配合はセメント量と水セメント比に着目して目標空気量を $4.5 \pm 1\%$ に管理した。なおスランブは参考として測定した。練り上がり後にベースコンクリートに着色料を添加した。R.H.80%で養生後、材令1日で重量、表面水率を測定し、表面の初期の状態を観察するために写真撮影を行った。この後直ちに、Table 2.3に示す標準養生、恒温恒湿室、乾燥室及び特殊養生ボックス中で各種条件の養生を材令7日まで行った。また、これらを白華発生試験装置で材令28日まで試験を行った。試験後、これらの供試体の各面から白華発生面積を測定した。これらを供試体の全面積で除して、白華発生面積率(%)とした。実験結果を、単位セメント量、養生条件、水セメント比毎に整理し、分散分析等を行った。

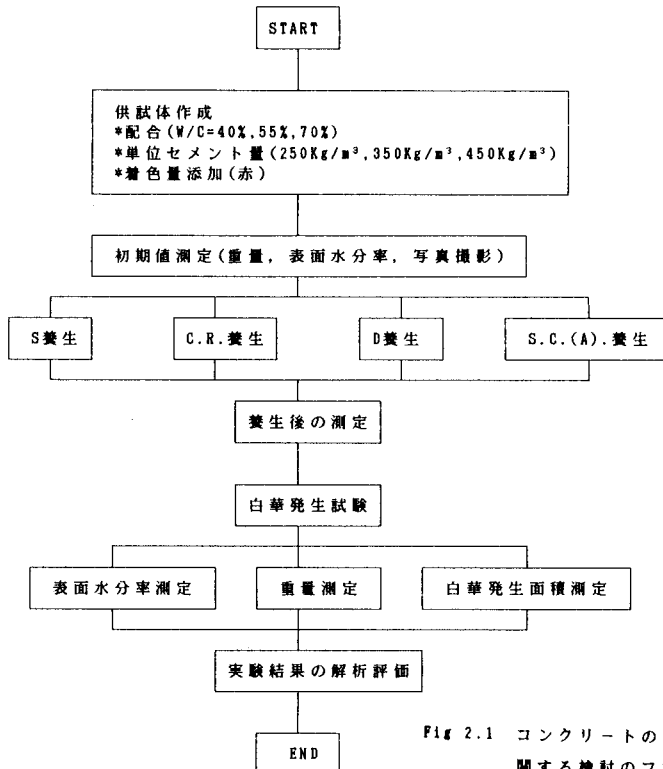


Fig 2.1 コンクリートの白華発生要因に関する検討のフロー

Experiment and Analysis of Factors of Efflorescence of Concrete
by H.SAKURAI,K.AYUTA,K.OKADA and Y.ARAKI

Table 2.1 実験条件

供試体サイズ	10 × 10 × 20 cm
水セメント比 (W/C)	40%, 55%, 70%
単位セメント量 (C)	250, 350, 450 kg/m ³

Table 2.2 供試体の配合とフレッシュコンクリートの性質及び材令28日強度

供試体	単位量(示方配合)							フレッシュコンクリートの性質 及び材令28日強度					
Case	水セ メント 比(%) W/C	細骨 材率 (%) S/a	水 (kg/m ³)	セメ ント (kg/m ³)	細骨 材 (kg/m ³)	粗骨 材 (kg/m ³)	AE剤 *1 Cxx%	空気量 スランプ (%)	スラン プ (cm)	練り 上がり 温度 (°C)	材令28日 標準強度 (kg/cm ²)	材令28日 恒温恒湿室 養生強度 (kg/cm ²)	
1	40	30	100	250	613	1440	0.006	*3	0.1	21.0	316	245	
2	55	30	138	250	584	1374	0.019	4.2	1.1	21.0	336	216	
3	70	55	175	250	923	931	0.010	5.6	6.6	20.0	212	163	
4	40	30	140	350	555	1311	0.088	3.8	1.0	16.5	322	284	
5	55	60	193	350	1028	893	0.042	4.8	8.6	16.0	319	251	
6	70	70	245	350	1102	479	0.053	4.6	24.1	15.0	201	171	
7	40	60	180	450	784	891	0.144	5.2	8.0	16.5	360	288	
8	55	47	248	450	892	602	0.324	5.3	24.4	16.3	285	219	
9	70	70	315	450	918	396	0.302	4.4	*2	15.0	212	188	

*1 セメント量に対するAE剤の重量パーセント

*2 スランプ過大のため測定不能

*3 超硬練りのため、空気量は管理できなかつたが、参考値9.2%を得た

Table 2.3 養生条件

養生方法	養生条件	記号	湿潤度
標準養生	水中養生	S(STANDARD CURING)	100
恒温室	温度約20°C, R.H.約85%	C.R.(CURING ROOM)	85
乾燥室	温度約45°C, R.H.約30%	D(OVEN DRY)	30
特殊養生ボックス	温度約20°C, R.H.95%以上 CO ₂ を常時混入する	S.C.(A). (SPECIAL CURING ROOM)	95

* 湿潤度とは湿度の程度を参考に設定した値である

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果 Fig 3.1.1に白華発生面積率と養生条件の関係を示す。乾燥室のものが白華発生面積率が最大で次に恒温室のものが大きく発生し、ついで特殊養生ボックス、標準養生となっている。Fig 3.1.2に白華発生面積率と水セメント比の関係を示す。この図より水セメント比が増加すると直線的に白華発生面積率が増加していることがわかる。Fig 3.1.3に白華発生面積率と単位セメント量の関係のグラフを示す。この様に、セメント量による違いがあまり認められなかった。Fig 3.1.4に白華発生面積率と表面水分率の関係のグラフを示す。表面水分率と白華発生面積率は、若干正の相関は示すがばらつきが大きい。Fig 3.1.5に白華発生面積率と重量変化率の関係を示す。表面水分率との関係と同様に若干正の相関は示すがこれもばらつきが大きい。

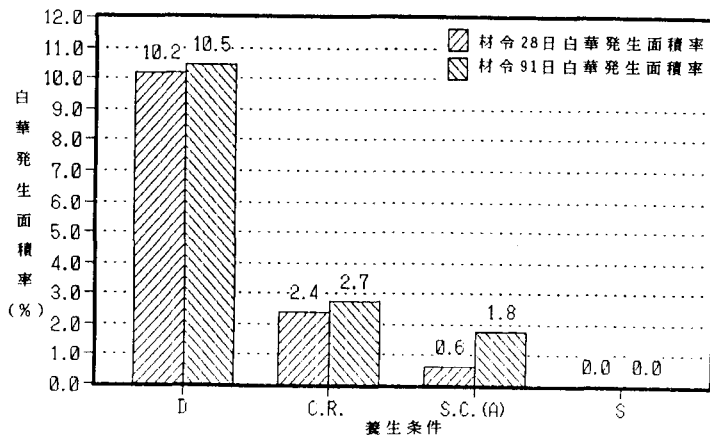


Fig 3.1.1 白華発生面積率と養生条件の関係

(単位セメント量: $C=450\text{kg/m}^3$, $w/c=70\%$)

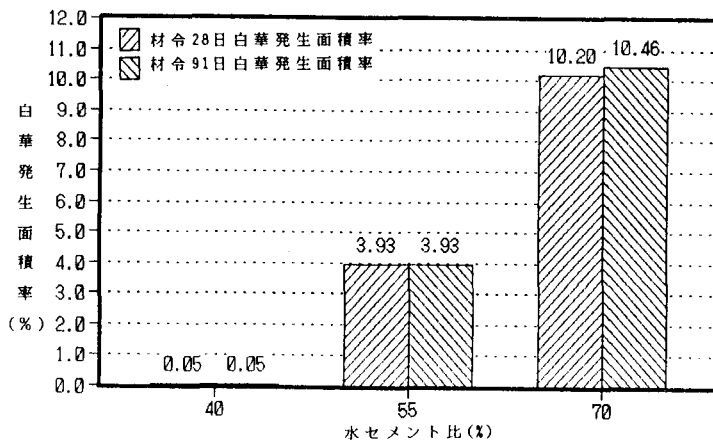


Fig 3.1.2 白華発生面積率と水セメント比の関係

(単位セメント量: $C=450\text{kg/m}^3$, 養生条件: D)

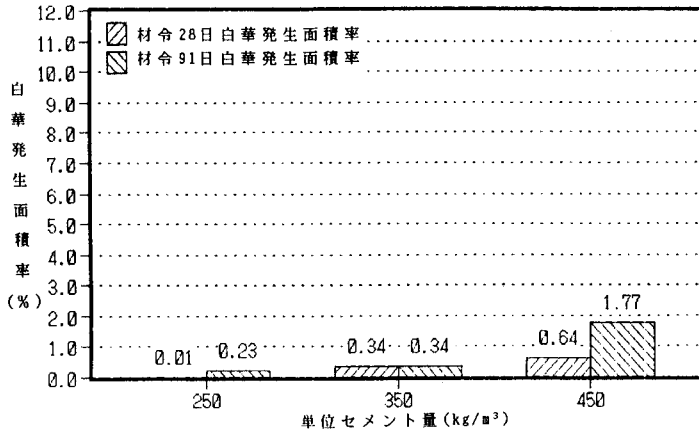


Fig 3.1.3 白華発生面積率と単位セメント量の関係
(w/c=70, 養生条件:S.C.(A).)

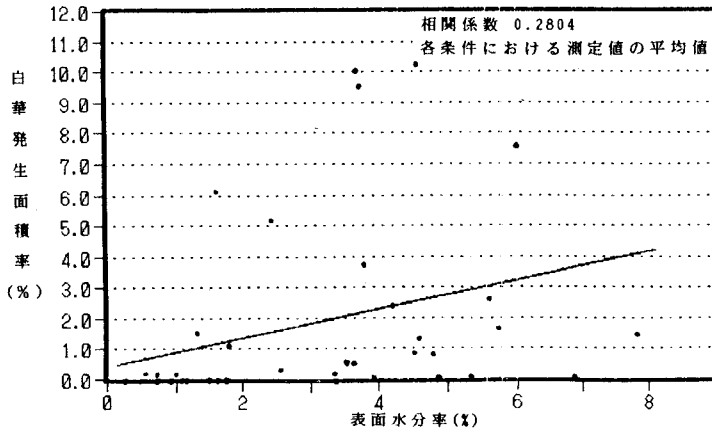


Fig 3.1.4 白華発生面積率と表面水分率の関係
(材令28日における関係)

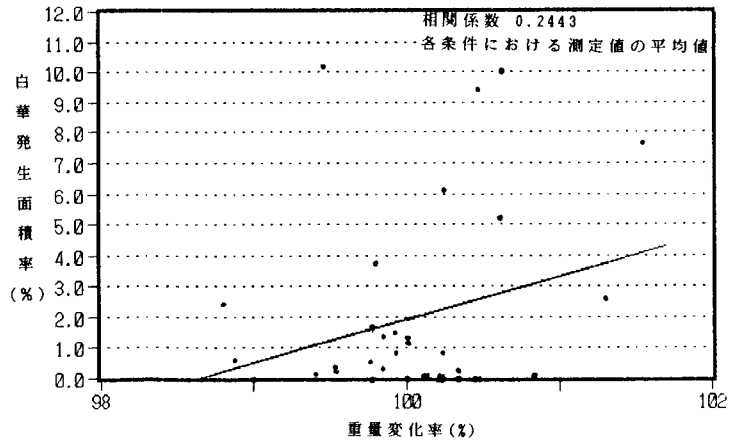


Fig 3.1.5 白華発生面積率と重量変化率の関係
(材令28日における関係)

3.2. 考察

Table 3.2.1に示す実験結果の相関係数行列より、材令28日及び材令91日とともに白華発生面積率と養生条件(湿潤度)は負の相関であった。同様に材令28日及び材令91日とともに水セメント比は正の相関を示した。3つの要因の中では養生条件に続き、水セメント比、単位セメント量の順の相関を示した。Table 3.2.2の分散分析結果より白華発生面積率は、単位セメント量、養生条件、水セメント比の3つの要因のうちで養生条件の影響が一番受け有意水準が1%である。白華発生面積率と水セメント比の関係は、有意水準が5%と養生条件に続いて影響が大きい。白華発生面積率とセメント量の関係は有意水準が5%にも入らず強い影響は認められなかった。Table 3.2.3に重回帰分析結果を示す重回帰分析より次式のモデル式を得た。

$$MEN91=0.1839W/C-0.0712CR-1.747\cdots\cdots\cdots\text{式}(1)$$

ただし MEN91:白華発生面積率(材令91日)(%)

W/C:水セメント比(%)

CR:養生条件(湿潤度)

式(1)より計算した予測値と実測値の関係をFig 3.2.1に示す。なお重相関係数は0.724で、F検定による有意水準が1%で白華発生面積率を適切に予測していると思われる。

Table 3.2.1 実験結果の相関係数行列

	単位セメント量: CE	養生条件 CR	水セメント比 W/C	白華発生 面積率 材令28日	白華発生 面積率 材令91日	表面水分 率 材令28日	表面水分 率 材令91日	重量変化 率 材令28日	重量変化 率 材令91日
単位セメント量:CE	1.000	0.000	0.000	0.023	-0.034	-0.559	-0.465	-0.475	-0.536
養生条件:CR	0.000	1.000	0.000	-0.345	-0.370	-0.144	-0.067	0.128	-0.081
水セメント比:W/C	0.000	0.000	1.000	0.242	0.228	0.341	0.418	-0.533	-0.660
白華発生面積率(材令28日)	0.023	-0.345	0.242	1.000	0.984	0.280	0.158	0.244	0.065
白華発生面積率(材令91日)	-0.034	-0.370	0.228	0.984	1.000	0.339	0.222	0.267	0.120
表面水分率(材令28日)	-0.559	-0.144	0.341	0.280	0.339	1.000	0.818	0.162	0.194
表面水分率(材令91日)	-0.465	-0.067	0.418	0.158	0.222	0.818	1.000	0.006	0.055
重量変化率(材令28日)	-0.475	0.128	-0.533	0.244	0.267	0.162	0.006	1.000	0.919
重量変化率(材令91日)	-0.536	0.081	-0.660	0.065	0.120	0.194	0.055	0.919	1.000

Table 3.2.2 分散分析結果

分散分析項目	要因	自由度	平方和	F値	F検定	判定
白華発生面積率 (材令28日)	単位セメント量:CE	2	35.422	1.98	0.1439	
	養生条件:CR	3	220.459	8.20	0.0001	**
	水セメント比:W/C	2	81.715	4.56	0.0127	*
白華発生面積率 (材令91日)	単位セメント量:CE	2	22.426	1.17	0.3138	
	養生条件:CR	3	263.955	9.20	0.0001	**
	水セメント比:W/C	2	90.928	4.75	0.0107	*

**有意水準1%

* 有意水準5%

Table 3.2.3 重回帰分析結果

目的変数 (従属変数)	説明変数 (独立変数)						相関係数	F検定値 (PR:>F)
	水セメント比(%):W/C		養生条件(湿潤度):CR		定数項			
	係数推定値	F検定値	係数推定値	F検定値	係数推定値	F検定値		
白華発生 面積率(%) (材令91日) :MEN91	0.1839	0.0001	-0.0712	0.0003	-1.747	0.5185	0.7242	0.0001

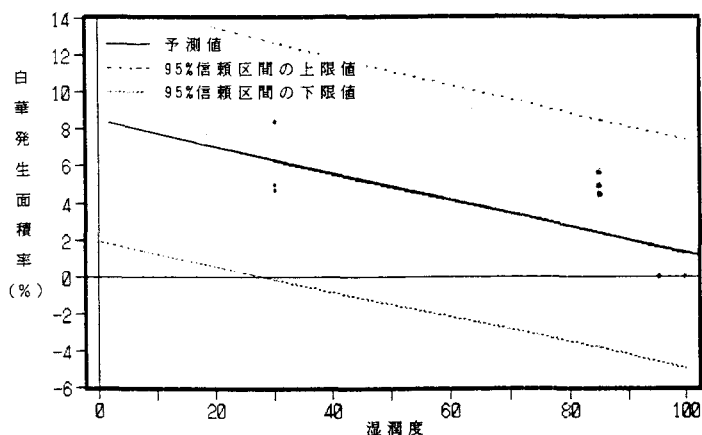


Fig 3.2.1 材令91日における白華発生面積率の実測値と予測値の関係
(単位セメント量: $C=350\text{kg/m}^3$, $W/C=55\%$)

4.まとめ コンクリートの白華発生要因に関する実験と検討の結果以下の事が明らかになった。

材令28日及び材令91日の白華発生面積率と養生条件(湿潤度)の関係は最も相関が高く負の相関を示した。

材令28日及び材令91日の白華発生面積率と水セメント比の関係は次に相関が高く正の相関を示した。

【謝辞】 本研究にあたり北海道大学の藤田嘉夫名誉教授、佐伯昇教授の御指導を受けた。ここに感謝する。また、本研究の実施あたり満尾総研、池田コンクリート、北見工業大学の猪狩平三郎技官、北見工業大学卒業生の杉浦伸氏、北見工業大学卒業生の中尾、迫に実験及び解析に際し協力を得た。また荒井、成田、阿部、各氏の協力を得た。ここに感謝する。

【参考文献】 1)山崎 之典, 榊原 善朗:第45回セメント技術大会講演集, PP550~PP555, 1991

2)新編コンクリート工学 森北土木工学 P145化学的侵食, 損食などに対する耐久性

3)榑木 武, 演習 土木計画数学, 森北出版(株), 1991