

秋田工業高等専門学校 正員 左谷征美

1. まえがき

コンクリートの乾燥収縮は多くの要因が重なりあって生ずるため、これを正確に推定することは實際上困難であると考えられる。したがって、これを主要な要因にしぼって考察するのが効果的かつ合理的と思われる。また、現在の骨材品質低下の傾向や、さらにはコンクリート品質の早期判定の気運などから、収縮量と実際に使用する材料から作製した供試体についての短期試験より推定可能となれば、工学的に非常に有益であろう。以上より、本報告では、早期にコンクリートの乾燥収縮量を推定する方法について、実験および解析により検討を行い、推定式について基礎的な考察、言及を試みるものである。

2. 乾燥収縮量の推定手法

収縮の推定式として次の如き基本とする。¹⁾

$$S_f = k_{et} \cdot S_{e50} \cdot k_{eH} \cdot k_{es} \quad - (1)$$

(1)式において、 S_f は任意環境、形状におけるコンクリートの終局収縮量、 S_{e50} は相対湿度 50% F における長期収縮量、 k_{et} は時間の影響を表わす係数、 k_{eH} は相対湿度の影響を表わす係数、 k_{es} は部材寸法の影響を表わす係数である。

2-1 k_{et} , k_{eH} , k_{es} の評価法 ; 本研究ではこれを算出するためのデータが少ないので、既往の研究者の値を引用し検討した。(1)式において k_{et} は S_{e50} と 50% R.H. 下の終局収縮量 S_{f50} との比と示される。例えば、Troxell²⁾ のデータによれば、30 年収縮量 S_{30Y} と S_f と考えて 1 年収縮量 S_{1Y} との関係と求めると、 $k_{et} \div 4/3$

- (2) , 2 年収縮量 S_{2Y} の場合 $k_{et} \div 5/4$ - (3) などの様に平均的な評価ができる。 k_{eH} , k_{es} については、多くの研究者のデータを用いて平均的に推定し、³⁾ 大島¹⁾ の表示法に倣うとする。 k_{eH} は、H と相対湿度 (%) として 50% R.H. 下と上とすれば、 $k_{eH} = 0.141 (100 - H)^{1/2}$ - (4) と与えられる。また、 k_{es} は材積 V と水が逸散する部分の部材表面積 S との比 S/V の関数として、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ ($S/V \div 1$) 供試体と基本とすれば、 $k_{es} = (S/V)^{1/2}$ - (5) , $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ ($S/V \div 0.4$) と基本として考えれば、 $k_{es} = 1.58 (S/V)^{1/2}$ - (6) などの様に表わすことができる。

2-2 長期収縮量 S_{e50} の評価法 ; 本文では普通ポルトランドセメントを用いた場合だけと検討の対象とした。 S_{e50} と短期間の試験から定めるために、次の 2 法を検討した。(a) 実際の短期収縮量と長期収縮量の関係の検討、回帰分析から、推定精度、日数の検討、推定式の算出 (b) 乾燥試験により収縮を促進、その特性値 S_{sp} と 50% R.H. 下の収縮量との関係を検討、同様に推定式を求め。以下に検討結果を述べる。

(a) 短期収縮量からの推定法 — ペーストを除く、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ および $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 供試体について、湿潤養生期間 3, 7, 28 日とし、普通モルタル 66 種、普通コンクリート 144 種および軽量コンクリート 22 種の試験組数で主に 50% R.H. F における短期収縮量と 1 年および 2 年収縮量 S_{1Y} , S_{2Y} の関係と直線およびべき回帰させた。回帰式の係数は、試料種別、寸法、養生期間等の相違によらず大差ないと判断され、全データをまとめて検討した。 S_{1Y} のデータ数 $N = 232$, S_{2Y} で $N = 92$ であった。得られた回帰式の精度と調べるため、表 - 1 に示した様は、Neville³⁾ の定義した「error coefficient」M と、推定値と実測値の比と変量とし、これが正規分布すると仮定して変動係数 V と算定した。これらの結果を表 - 1 に示した。V = 20% 以内に抑えるには短期収縮量の測定日数は 30 日程度、V = 10% では 100 日程度と要する。Neville³⁾ は M = 15% が限度であろうと述べており、これに相当する日数は 30~45 日程度で、これより少なくとも 30 日の実測期間が望まれる。直線回帰とべき回帰では大差ないと判断されるが、簡単のために前者と採ると、 S_{1Y} は $S_{1Y} = 4.15 + 1.16 S_{30}$ - (7) , $S_{1Y} = 3.02 + 1.03 S_{60}$ - (8) , $S_{1Y} = 1.79 + 1.04 S_{100}$ - (9) などと表わされる。

(b) 促進試験による検討 — 養生期間を3, 7日とし、普通モルタル12種、AEを含む普通、コンクリート計42種、軽量コンクリート16種の試験組数で、乾燥による収縮促進試験を実施した。4×4×16 cm³のモルタルを主として検討し、コンクリートは10×10×40 cm角柱を用いた。温度、期間などの条件と種々検討し、モルタル、普通コンクリートでは50℃18～80℃18～105℃持続、軽量コンクリートでは50℃2日～80℃持続と試験条件とした。モルタルでは105℃持続日数1日とし、普通、AEコンクリートは105℃4日、軽量コンクリートでは80℃6日の条件下のデータが応答と判断されたので、これら条件下の乾燥収縮ひずみと収縮特性値 S_{sp} とした。この S_{sp} と50% R.H. 下の S_{100} あるいは S_{1Y} との関係と求めた。100-X と完全水和時の逸散可能水量 $W-0.25C$ として 4×4×16 cm (モルタル) では $S_{100}/S_{sp} = 0.49 + 0.49X$ — (10), $S_{1Y}/S_{sp} = 0.64 + 0.47X$ — (11) 軽量コンクリート (10×10×40 cm) では $S_{100}/S_{sp} = -0.15 + 2.81X$ — (12) 普通コンクリート (10×10×40 cm) では X との相関が低く、 $S_{100} \approx S_{sp}$ — (13) or $S_{100} = 2.64 + 0.68 S_{sp}$ — (14), $S_{1Y} = 7.05 + 0.42 S_{sp}$ — (15) などの様に求められた。精度は軽量コンクリートを除いて M=10～13% 程度におさまっている。

2-3 考察 i S_{850} 算定の精度と確かめのために、 S_{30} , S_{100} , S_{1Y} および促進試験の特性値 S_{sp} の求まっている29種類の普通、AEコンクリートについて、計算により S_{1Y} と評価し各方法ごとの推定精度を検討してみた。これによると、促進試験値の S_{sp} を用い(13) or (14) 式から(9)式を用い S_{1Y} と推定しても、実測 S_{30} から(9)式により S_{1Y} と求めた場合より変動係数が小さく、 $V=10\%$ 以内の結果を示している。この事は、一週程度の短期試験で、通常の一月以上の測定から推定する場合と同等以上の精度で長期収縮量と推定できることを示すもので、試験装置を含めて試験の簡単なことから、有効な推定手法になりうると考えられる(表-2参照)。

3. まとめ

以上述べた推定手法はいまだ充分なものとは言えないが、一応の考えを示した。今後は、促進試験についてさらに多くのデータを蓄積し、より汎用性の有る確かなものとしたいと考えている。

参考文献: 1) 池永大島, 日本建築学会論文報告集245, S11.

2) G.E. Trewell, Proc. of ASTM, vol 58, 1958 3) J.I. Brooks, A.M. Neville,

Magazine of Concrete Research, vol 27, No. 90, 1975. 4) 庄谷, 米谷, セメント技術年報, 1979. 5) 庄谷, 徳田, セメント技術年報, 1980.

表-1

推定 日数	項目	$S_{1Y}(N=232)$ 直線回帰	$S_{2Y}(N=232)$ 直線回帰	$S_{3Y}(N=232)$ べき回帰	$S_{4Y}(N=92)$ べき回帰
7日	M (%)	23.5	19.1	25.1	21.0
	V (%)	24.5	23.5	23.3	22.3
	回帰式	$6.00+1.96S_{sp}$	$6.49+1.84S_{sp}$	$7.65S_{sp}^{0.821}$	$8.56S_{sp}^{0.771}$
	M	15.5	18.4	17.5	15.9
30	V	17.3	19.5	17.7	18.0
	回帰式	$4.15+1.16S_{sp}$	$5.20+1.17S_{sp}$	$3.91S_{sp}^{0.399}$	$4.41S_{sp}^{0.399}$
	M	13.0	14.8	15.5	15.2
	V	15.0	18.1	15.9	17.1
45	回帰式	$3.68+1.03S_{sp}$	$4.77+1.08S_{sp}$	$3.34S_{sp}^{0.228}$	$3.90S_{sp}^{0.201}$
	M	11.6	12.7	13.7	12.9
	V	13.8	15.8	14.1	14.3
	回帰式	$3.02+1.02S_{sp}$	$3.97+1.08S_{sp}$	$2.75S_{sp}^{0.225}$	$3.02S_{sp}^{0.218}$
60	M	8.24	9.43	9.62	9.39
	V	9.57	10.9	9.94	9.81
	回帰式	$1.79+1.04S_{sp}$	$2.48+1.11S_{sp}$	$1.94S_{sp}^{0.200}$	$2.07S_{sp}^{0.225}$
	M		4.95		4.95
100	V		5.06		5.06
	回帰式		$0.096+1.126V$		$1.14S_{sp}^{0.218}$
1年					

$$M = \sqrt{\sum (S_{ci} - \bar{S}_m)^2 / n} / \bar{S}_m, \quad V = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / n} / \bar{X}$$

S_{ci} : 計算より求めた長期収縮量, $\bar{S}_m = \sum S_{mi} / n$
 S_{mi} : 実測より求めた長期収縮量, $X_i = S_{ci} / S_{mi}$, $\bar{X} = \sum X_i / n$

100-X と完全水和時の逸散可能水量 $W-0.25C$ として 4×4×16 cm (モルタル) では $S_{100}/S_{sp} = 0.49 + 0.49X$ — (10), $S_{1Y}/S_{sp} = 0.64 + 0.47X$ — (11) 軽量コンクリート (10×10×40 cm) では $S_{100}/S_{sp} = -0.15 + 2.81X$ — (12) 普通コンクリート (10×10×40 cm) では X との相関が低く、 $S_{100} \approx S_{sp}$ — (13) or $S_{100} = 2.64 + 0.68 S_{sp}$ — (14), $S_{1Y} = 7.05 + 0.42 S_{sp}$ — (15) などの様に求められた。精度は軽量コンクリートを除いて M=10～13% 程度におさまっている。

表-2

測定データ					S_{30}, S_{100} より推定		促進特性値 S_{sp} より推定		
	1	2	3	4	5				
N.O.	S_{sp} 特性値 ($\times 10^{-5}$)	S_{30} 実測 ($\times 10^{-5}$)	S_{100} 実測 ($\times 10^{-5}$)	S_{1Y} 実測 ($\times 10^{-5}$)	(7)式 計算値 実測	(9)式 計算値 実測	(13)式→(10)式 計算値 実測	(14)式→(10)式 計算値 実測	(15)式 計算値 実測
1	9.15	8.92	8.23	9.80	1.006	1.056	1.154	1.127	1.111
2	8.15	5.38	8.75	11.40	0.911	0.955	0.901	0.906	0.918
3	9.13	5.02	8.27	9.40	1.061	1.105	1.198	1.178	1.157
4	10.33	6.09	9.78	11.85	0.946	1.009	1.058	1.002	0.961
5	9.40	5.32	8.80	10.35	0.997	1.067	1.118	1.083	1.063
6	9.15	5.79	8.40	10.50	1.035	1.002	1.077	1.051	1.037
7	7.22	4.69	8.45	9.79	1.091	1.201	1.057	1.100	1.157
8	7.77	4.90	8.89	10.15	0.968	1.087	0.972	0.991	1.015
9	8.02	5.88	8.73	10.92	0.961	0.995	0.934	0.936	0.953
10	8.03	5.23	7.60	11.56	0.884	0.830	0.877	0.886	0.901
11	8.13	5.85	8.77	10.68	1.024	1.022	0.960	0.965	0.979
12	8.67	5.60	8.68	10.58	1.007	1.022	1.022	1.011	1.010
13	7.53	5.52	9.05	12.10	0.872	0.926	0.795	0.817	0.843
14	8.44	5.89	8.79	10.76	1.020	1.016	0.886	0.913	0.945
15	8.30	4.35	8.30	10.84	0.841	0.960	0.952	0.953	0.963
16	8.42	5.58	8.83	11.13	0.954	0.951	1.040	1.009	0.999
17	7.65	4.66	7.32	10.10	0.935	0.932	0.958	0.980	1.012
18	7.65	4.92	8.00	10.18	0.969	0.993	0.958	0.979	1.008
19	8.47	5.70	8.83	10.85	0.983	1.003	0.966	0.963	0.969
20	7.08	4.83	7.66	8.74	1.116	1.081	1.047	1.045	1.106
21	7.02	4.46	7.55	9.09	1.025	1.061	0.999	1.047	1.100
22	6.65	6.45	9.13	11.30	1.029	0.999	1.046	1.008	0.982
23	7.71	6.42	8.29	12.08	0.900	0.948	0.829	0.841	0.858
24	8.65	6.71	9.77	10.53	1.133	1.036	1.024	1.014	1.014
25	9.97	7.09	9.43	11.85	1.044	0.978	1.026	0.981	0.948
26	7.71	7.66	9.82	11.43	1.141	1.055	0.857	0.876	0.900
27	7.76	7.70	9.70	10.93	1.197	1.087	0.997	0.988	0.982
28	7.13	7.33	8.89	10.35	1.222	1.075	0.889	0.928	0.971
29	8.67	7.85	8.67	10.23	1.250	1.157	1.056	1.046	1.055
平均値 $\bar{x}$					1.020	1.021	0.988	0.988	0.998
標準偏差 $\sigma = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / n}$					0.0992	0.0725	0.0930	0.0820	0.0794
変動係数 $V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$					9.73	7.10	9.41	8.30	7.96