

論文 コンクリートの乾燥収縮率の推定法改善に関する解析的検討

袴田 豊^{*1}・小山田 哲也^{*2}・宇賀神 尊信^{*3}・菊地 雄二^{*4}

要旨 : 52 例のコンクリートを用い, 28 日までの乾燥収縮率から双曲線の推定式係数を求め, これにセメントペースト量などを組み合わせて重回帰分析を行う乾燥収縮率の推定法をこれまでに開発している。58 例の乾燥収縮率をあらたに適用してこの推定法を検証したところ, 乾燥収縮率の比較的小さい高強度コンクリート, および 28 日以降の乾燥収縮率が比較的大きくなるコンクリートの推定値に大きな差が認められた。推定に用いる乾燥期間を 28 日以降, 42 日および 56 日まで延長し, これらの乾燥収縮率を組み合わせて重回帰分析による推定法改善を行なったところ, 問題の推定値および 58 例の推定精度を改善できることを明らかにした。
キーワード : 乾燥収縮率, 重回帰分析, 乾燥期間, 推定法改善, 推定精度

1. はじめに

建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 (以後, JASS5 と表記) ¹⁾ 2009 年版に乾燥収縮率が規定されたのを機に, 岩手県生コンクリート工業組合 (以後, 岩手工組と表記) では, 組合員 52 工場のコンクリートを対象として乾燥収縮試験を行い, 複数の乾燥収縮率の早期推定法をこれまでに開発してきている。

第一段階で開発したのは, 双曲線の推定式(1)に, 乾燥期間 14 日および 28 日の実測乾燥収縮率を適用することにより, 182 日までのすべての乾燥期間の乾燥収縮率が求められる推定法 ²⁾である。ただし, ここで得られる第一段階の推定乾燥収縮率 S の範囲は, 実測乾燥収縮率に対して $\pm 200 \mu$ と比較的大きくなる問題を抱えていた。

$$S = \frac{t}{(at + b)} \quad (1)$$

ここに, S : 推定乾燥収縮率(μ)
 a および b : 推定式係数
 t : 乾燥期間(日)

第二段階ではこの問題点を改善することに着手した。52 試料を対象とした $t = \infty$ の時の終局乾燥収縮率の逆数を表す推定式係数 a と乾燥期間 182 日の実測乾燥収縮率は, 比較的良好な相関性を有することから, 得られる関係式を用い, 実測乾燥収縮率に対して $\pm 100 \mu$ の範囲内にある比較的精度の高い第二段階の推定乾燥収縮率 V となる推定法 ²⁾を開発することができた。

第三段階では, 乾燥期間 28 日の乾燥収縮率と $t = 0$ の時の接線勾配の逆数を表す推定式係数 b との間の比較的良好な相関性に着目した推定法 ³⁾を開発した。この推定法によって, 52 例の推定乾燥収縮率 T と実測乾燥収縮率との差は, 標準偏差で 50μ を下回ることになり, より精

度の高い推定法を開発することができた。

第四段階では, 重回帰分析によって式(2)を用いる推定法 U を開発し, 52 例の標準偏差が 30μ とさらに小さくなるようにした。この推定法に, 25 例の乾燥収縮率を適用したところ, 標準偏差は 52 例と同等の 34.5μ となったことから, 適切性は確保されているものと認識した。

$$U = 670 - 103X_1 - 39X_2 - 3.1X_3 + 0.5X_4 + 0.1X_5 + 0.04X_6 \quad (2)$$

ここに, U : 推定乾燥収縮率(μ), X_1 : 一次回帰式による推定式係数 b_1 , X_2 : 28 日質量変化率(%), X_3 : すりへり減量(%), X_4 : セメントペースト量(kg/m^3), X_5 : 推定乾燥収縮率 S の推定式係数 a の逆数 $1/a_S$, X_6 : 推定乾燥収縮率 V の推定式係数 a の逆数 $1/a_V$ 。

その後, 適用するコンクリートを 58 例に増やし, その適切性をさらに検証することとした。58 例のうち, 52 例の推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差の標準偏差は 36.0μ となったことから, 適切性は確保されているものと判断した。ところが, 182 日の乾燥収縮率が 450μ 程度と比較的小さい高強度コンクリート 1 例, および 182 日の乾燥収縮率が $800 \sim 1000 \mu$ 程度で, 28 日以降の乾燥収縮率が比較的大きくなる 5 例の推定値に大きな差が認められた。これらの 6 例を含めると 58 例の標準偏差は 54.1μ と比較的大きくなることから, その改善策について検討することとした。

2. 実験の概要

2.1 骨材の品質およびコンクリートの配合

一連の推定法の開発で用いた 52 例のコンクリートの代表的物性として, 絶乾密度および吸水率を表-1 に示す。乾燥収縮試験に用いる供試体は, $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ の角

*1 岩手県生コンクリート工業組合 中央技術センター 博士(工学) (正会員)

*2 岩手大学 工学部社会環境工学科准教授 博士(工学) (正会員)

*3 岩手県生コンクリート工業組合 中央技術センター

*4 岩手県生コンクリート工業組合 県南技術センター

表-1 52例で用いられた骨材の代表的物性

種類 (石質)	産地	使用工場	絶乾密度(g/cm ³)			吸水率(%)				
			最大	最小	平均	最大	最小	平均		
細骨材	砂	25	50	2.64	2.40	2.54	4.67	1.30	2.41	
		(硬質)石灰岩	5	16	2.69	2.61	2.64	1.93	0.22	1.00
		(硬質)砂岩	4	7	2.74	2.61	2.64	1.81	1.01	1.30
		輝緑岩	1	4	2.81	2.78	2.80	1.98	1.68	1.77
		(硬質)粘板岩	3	4	2.67	2.60	2.62	1.98	1.11	1.67
		安山岩	2	3	2.80	2.67	2.74	1.47	0.93	1.13
粗骨材	砕石	砂利 25mm	11	19	2.68	2.41	2.58	4.11	1.16	1.82
		輝緑岩	3	11	2.94	2.90	2.92	0.78	0.46	0.61
		(硬質)石灰岩	4	9	2.69	2.59	2.67	1.44	0.32	0.61
		(硬質)粘板岩	3	4	2.75	2.69	2.72	0.83	0.57	0.66
		(硬質)砂岩	3	4	2.71	2.66	2.67	0.85	0.56	0.69
		安山岩	3	3	2.77	2.52	2.65	3.28	0.31	1.76

表-2 52例のコンクリートの配合

項目	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
最大値	25	18	53.0	52.7	189	491	975	1068
最小値	20	15	37.5	39.3	164	313	668	861
平均値	—	—	46.7	45.8	177	381	794	974
標準偏差	—	—	3.27	3.26	6.38	28.84	68.55	49.19
変動係数	—	—	7.00	7.12	3.60	7.57	8.63	5.05

表-3 58例のコンクリートの配合

項目	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
最大値	40	18	62.5	54.3	195	630	1003	1126
最小値	20	12	27.0	39.6	155	234	668	843
平均値	—	—	50.7	48.0	177	352	854	958
標準偏差	—	—	6.61	3.37	8.54	57.03	75.08	63.61
変動係数	—	—	13.04	7.01	4.83	16.18	8.79	6.64

柱供試体とし、いずれも実際に出荷されている生コンクリートを対象として、個々の生コン工場で作製した。52例のコンクリートの配合を表-2に示す。コンクリートの種類は、30 18 20 Nを標準としたが、当日の出荷の都合で呼び強度36が3例、33が2例含まれている。スランブについては、1例が15cmである。供試体は、乾燥しないように型枠に入れたまま、翌日、試験を行う岩手工組・中央技術センター(盛岡市)に搬入した。直ちに脱型後、試験開始材齢の7日まで20±2℃の水槽で水中養生した後、JIS A 1129-3に示されるダイヤルゲージ方法を用いて乾燥収縮率の測定を開始した。測定期間は、翌日の1日から開始し、3日、5日と初期の測定を続け28日までは8期間、42日以降は56日、70日と続け182日までは7期間、合わせて15期間とした。

推定法の検証用として用いた58例のコンクリートの配合を、表-3に示す。粗骨材の最大寸法に40mmが含まれており、10×10×40cmの角柱供試体の成形に当たっては、25mmのふるいでウェットスクリーニングを行った。52例のコンクリートについてはJASS5に準じ呼び強度30を基本としたが、58例には21から60まで、多様なコンクリートが含まれている。したがって、水セメン

ト比や単位水量および単位セメント量の範囲は、基準の52例よりも比較的大きい。供試体の搬入場所、乾燥収縮率の測定方法、乾燥収縮率の測定期間は、52例の場合と同一であり、測定による差は生じていない。

3. 乾燥収縮率の測定結果および考察

3.1 52例および58例の実測乾燥収縮率

はじめに、推定前の段階として、52例および58例の実測乾燥収縮率を示し、両者を比較することとする。表-4に、乾燥期間28日、42日、56日および182日の乾燥収縮率を、最大値、最小値および平均値などに識別して示す。併せて、182日の乾燥収縮率を28日、42日および56日の乾燥収縮率でそれぞれ除し、182日との比として表した。最大値および最小値に着目すると、28日から182日まで52例のコンクリートの方が比較的大きい。58例の乾燥収縮率が比較的小さいのは、呼び強度60の高強度コンクリートを含むためである。平均値に着目すると、58例の方が比較的大きいことから、乾燥収縮率の大きいコンクリートが58例には含まれていることが伺える。

182日との比に着目すると、最小値および平均値はほぼ同一であるものの、最大値は58例の方が大きいことがか

表-4 52例および58例のコンクリートの主な乾燥期間の実測乾燥収縮率と182日との比

項目	52例のコンクリート							58例のコンクリート						
	実測乾燥収縮率 (μ)				182日との比			実測乾燥収縮率 (μ)				182日との比		
	28日	42日	56日	182日	28日	42日	56日	28日	42日	56日	182日	28日	42日	56日
最大値	694	861	913	1106	1.92	1.52	1.38	663	758	830	1041	2.11	1.67	1.44
最小値	294	351	403	534	1.41	1.21	1.15	286	323	341	456	1.37	1.26	1.16
平均値	465	569	623	778	1.69	1.37	1.25	486	583	646	812	1.68	1.40	1.26
標準偏差	80.1	93.9	97.9	107.4	0.13	0.07	0.05	90.1	105.1	112.6	129.3	0.17	0.09	0.06
変動係数	17.2	16.5	15.7	13.8	7.49	5.33	4.29	18.5	18.0	17.4	15.9	9.84	6.49	4.51

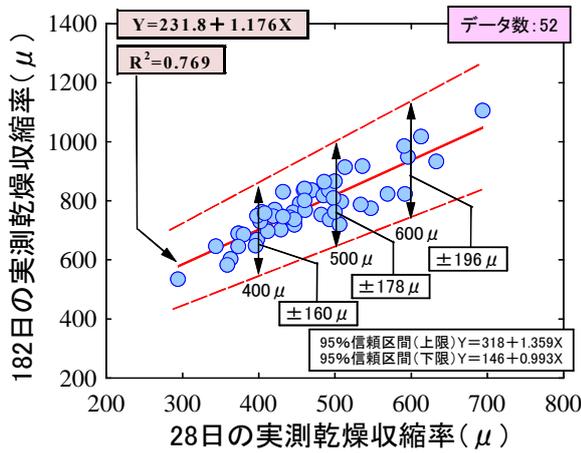


図-1 52例を対象とした28日の実測乾燥収縮率と182日の実測乾燥収縮率の関係

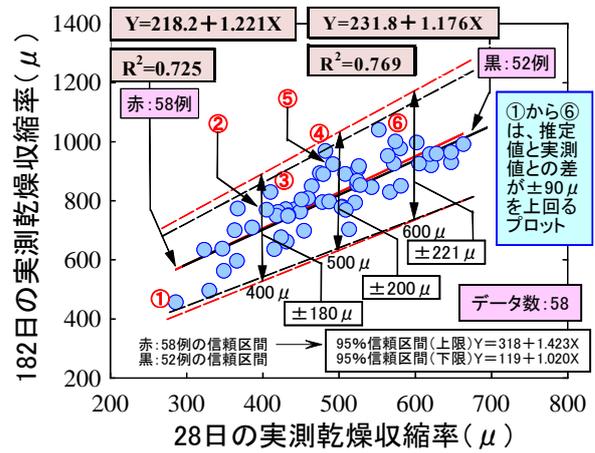


図-2 58例を対象とした28日の実測乾燥収縮率と182日の実測乾燥収縮率の関係

ら、58例には28日以降の乾燥収縮率の伸び率の大きいコンクリートが含まれていることが伺える。標準偏差および変動係数は、58例の方が多様なコンクリートを含んでいるため、52例に比べて比較的大きい。

28日の実測乾燥収縮率と182日の実測乾燥収縮率の関係を通じ、52例と58例のデータ構成を比較してみることにした。図-1に52例の両者の関係を、図-2には58例を対象とした両者の関係を示す。それぞれの図には、回帰式および寄与率 (R^2) を示した。さらに、二つの図は52例または58例の標本を対象としたものであることから、母集団の平均の範囲が推定できるように、上限および下限の95%信頼区間も示した。図-2についてはさらに、52例の回帰式および95%信頼区間も加え、両者を比較しやすくした。①から⑥は、推定法Uを適用した推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差が52例の標準偏差の3倍の $\pm 90\mu$ を上回ったことから、後述する問題点として着目したプロットである。

寄与率 (R^2) に着目すると、いずれも0.7を上回っていることから、比較的良好である。95%信頼区間は52例の方が小さく、データのばらつきは58例に比べて小さい。乾燥収縮率の推定値と実測値との差が $\pm 90\mu$ を上回ったプロットの多くは、52例を対象とした上限および下限の信頼区間に近接しており、換言すれば、これらのプロットは回帰式との間隔が比較的大きいと言える。

3.2 推定法Uによる52例および58例の推定乾燥収縮率

52例を対象とした182日の実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率Uの関係を、図-3に示す。実測乾燥収縮率については、本論文のためにあらためて見直した結果、四つの乾燥収縮率を正しい値にするとともに、推定乾燥収縮率Uについても桁数をあらためて見直し整数に丸めたことから、参考文献⁴⁾とは異なる回帰式、寄与率 (R^2) および信頼区間となっている。図-4に、58例を対象とした182日の実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率Uの関係を示す。図中には、図-2で示した推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差が $\pm 90\mu$ を上回る6例も併せて示した。

両者の違いは明らかである。58例を対象とした場合、実測値に比べて推定値が大きくなったプロット①の1例がある。加えて、実測値に比べて推定値が小さくなったプロット②から⑥の5例もある。これらが大きく影響し、58例の寄与率 (R^2) は52例に比べて小さく、上限および下限の信頼区間も大きくなっている。表-5に、52例と58例の推定値と実測値との差の最大値や最小値などの特性値を整理して示す。58例については、推定値と実測値との差が比較的大きい①から⑥を除いた場合の特性値に加え、①から⑥の個々の推定値と実測値との差についても併せて示した。

52例を対象とした場合の標準偏差は 30.1μ であるのに対して、58例を対象とした場合には 54.1μ と比較的大き

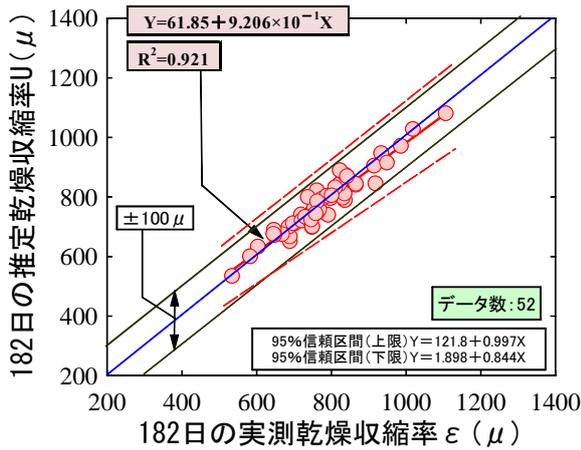


図-3 52例を対象とした182日の実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率Uの関係

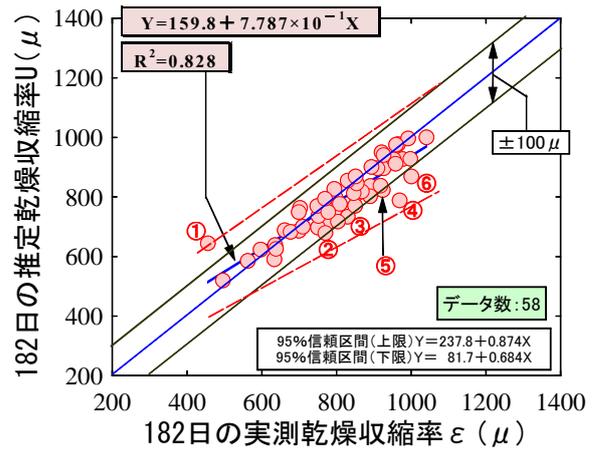


図-4 58例を対象とした182日の実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率Uの関係

表-5 52例および58例を対象とした推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差の特性値

項目	52例	58例		項目	58例のコンクリート					
		58例対象	52例対象※1		①	②	③	④	⑤	⑥
最大値 (μ)	67	+188	60	推定値 (μ)	644	679	734	788	823	869
最小値 (μ)	-72	-181	-88	実測値 (μ)	456	770	830	969	924	1001
平均値 (μ)	0.0	-19.9	-14.3	推定値 - 実測値 (μ)	+188	-91	-96	-181	-101	-132
標準偏差 (μ)	30.1	54.1	35.9							
変動係数 (μ)	—	-271.3	-251.5							

※1 推定値と実測値との差が比較的大きい①から⑥までを除いた場合の特性値

く、52例の推定精度は確保されていない。ただし、58例から6例を除いた52例の標準偏差は35.9μであり、52例の標準偏差とはほぼ同等となる。6例の結果が全体の標準偏差に大きく影響していることが伺えることから、原因の所在について検討することが求められる。

3.3.6 例の推定乾燥収縮率が異なった原因の検討

引き続き、6例の推定乾燥収縮率が実測乾燥収縮率に比べて大きく異なった原因を検討することにする。①の推定値は実測値に比べて比較的大きく、これ以外の②か

ら⑥については比較的小さい。そこで、推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率をグラフで比較し、検討することとする。図-5に推定乾燥収縮率が大きくなった①を、図-6に推定乾燥収縮率が最も小さくなった④をそれぞれ示す。

①は呼び強度60の高強度コンクリートである。したがって、乾燥収縮率は比較的小さい456μとなった。これは、回帰式を作成した52例のコンクリートの最低乾燥収縮率534μを下回る。重回帰分析による回帰式の作成に当たっては、セメントペースト量を説明変数に加えてお

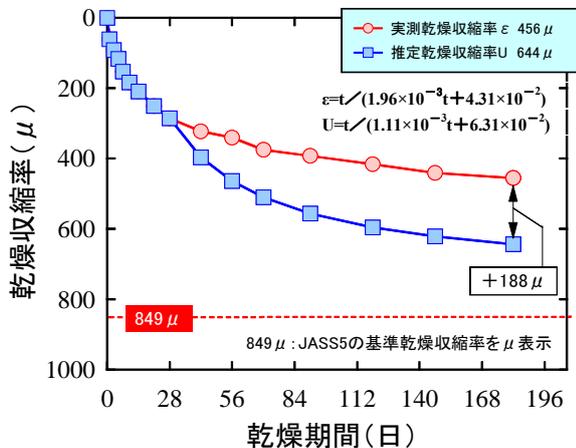


図-5 ①を対象とした実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率Uの推移

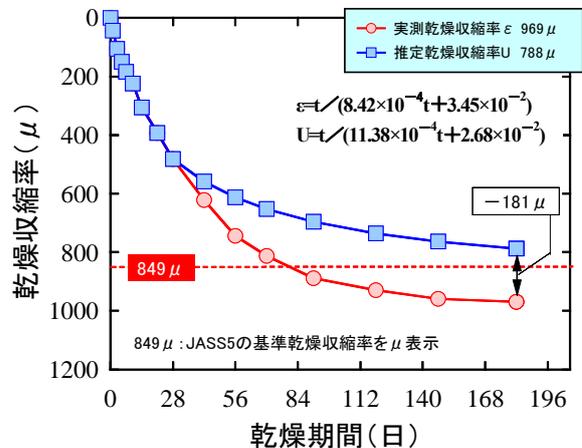


図-6 ④を対象とした実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率Uの推移

り、その係数は式(2)より+0.5である。52例のセメントペースト量の最大値は675kg/m³であった。一方、①のそれは800kg/m³であり、基準のセメントペースト量を大きく上回る。セメントペースト量が比較的大きくなると、推定乾燥収縮率は大きくなる方向に働くことから、高強度コンクリートの乾燥収縮率を推定法Uに適用すると、①に限らず推定乾燥収縮率は比較的大きくなり、推定精度は劣る恐れがあることを示唆している。

一方、④は実測乾燥収縮率に対して推定乾燥収縮率が小さくなっている。28日以降の実測乾燥収縮率の伸びが推定乾燥収縮率に比べて大きく、推定乾燥収縮率とは大きく異なる軌道を描いている。他の4例についても、状況はほぼ同じであり、推定に当たり28日までの乾燥収縮率を対象としていることに限界がある。さらに④の場合、推定乾燥収縮率はJASS5の基準値849μを下回っているが、実測乾燥収縮率はこれを大きく上回っており、危険側で評価していることも問題である。他の4例では⑤もこれに該当し、看過できない。推定に用いる乾燥収縮率を28日までに留めていることに原因があるものと考えられることから、28日以降の乾燥収縮率も対象とし、これらの乾燥収縮率を用いる推定法の開発が必要となる。

3.4 改善した推定法およびその推定結果

これまでに開発した推定式Uは、説明変数として、骨材の物性、配合、乾燥収縮試験に伴う供試体の質量変化、および乾燥収縮率で構成されている。52例のこれらの値は、あくまでも呼び強度30に対応した回帰式である。ところが、実際の顧客からの依頼では呼び強度21もあれば60のコンクリートもある。コンクリートの種類は多様であることから、呼び強度30に限定した説明変数を用いるには、推定値が実測値と異なる恐れがあり危険を伴う。

対象とする乾燥収縮率についても、一連の検討から、28日以降も対象とした方が好ましい。当初掲げた28日までの実測乾燥収縮率を用い早期推定する方法からは逸脱するが、実際の依頼試験で28日までに推定を依頼されることは、これまで皆無であった。むしろ、28日以降の乾燥収縮率も数例加えることで、推定精度は高まる可能性がある。ただし、やみくもに28日以降の乾燥収縮率を加えることには問題がある。ここでは、対象とする乾燥期間を28日以降の42日および56日までとし、これらの乾燥収縮率を組み合わせる回帰式を作成することとする。

回帰式の作成に当たっては、重回帰分析の手法を用いた。ただし、重回帰分析の適用に当たっては、文献⁴⁾でも触れているように、多重共線性の検討が必要である。そこで、乾燥期間28日、42日および56日の乾燥収縮率を対象として検討を行った。その結果を、表-6に示す。

いずれも寄与率(R²)は大きく、VIFは多重共線性が存在する恐れがあると参考文献⁵⁾が指摘する10を大きく

表-6 52例の乾燥期間28日、42日および56日の乾燥収縮率を対象とした多重共線性の検討結果

	ε ₂₈	ε ₄₂	ε ₅₆
ε ₂₈	—	0.936	0.940
ε ₄₂	15.7	—	0.967
ε ₅₆	16.5	29.9	—

※ 上段の白抜部に寄与率(R²)を、下段の網掛部に説明変数同士の分散拡大要因(VIF=1/(1-R²))を示す。

上回る。ただし、寄与率(R²)が大きくなると、推定精度が高くなることも事実である。そこで、あえて52例の乾燥収縮率からこれら三つの乾燥収縮率を組み合わせる回帰式を作成し、58例に適用した場合にどのような推定乾燥収縮率が得られるのか、検討することにした。検討した乾燥期間の組合せは、28日および42日、28日および56日、28日と42日および56日の3種類とした。52例から得られた3種類の回帰式を示す。

$$M_1 = 156 - 0.502 \epsilon_{28} + 1.502 \epsilon_{42} \quad (1)$$

$$M_2 = 91 - 0.905 \epsilon_{28} + 1.778 \epsilon_{56} \quad (2)$$

$$M_3 = 95 - 1.018 \epsilon_{28} + 0.395 \epsilon_{42} + 1.495 \epsilon_{56} \quad (3)$$

ここに、M₁:28日および42日の組合せから得られた推定乾燥収縮率(μ)、M₂:28日および56日の組合せから得られた推定乾燥収縮率(μ)、M₃:28日、42日および56日の組合せから得られた推定乾燥収縮率(μ)、ε₂₈:28日の乾燥収縮率(μ)、ε₄₂:42日の乾燥収縮率(μ)、ε₅₆:56日の乾燥収縮率(μ)、28日の乾燥収縮率の係数が、いずれもマイナスとなっており、ここでも多重共線性の兆候が表れている。重回帰分析を行う場合、多重共線性の有無を確認することは重要である。ただし、実際の乾燥収縮率にこれらの回帰式を適用し、多重共線性を裏付ける推定値が得られるのか確認することは、さらに重要である。そこで、得られた3種類の回帰式を用い、58例の乾燥収縮率を推定することとした。推定値と実測値との差を、56日から91日までの単回帰式を適用した場合と併せ、52例のコンクリートとともに表-7に示す。表-8に、3種類の回帰式を52例に適用した場合の標準誤差やP値などの係数を示す。

3種類の回帰式を52例に適用した標準偏差を見ると、M₁に比べてM₂およびM₃の方が小さくなっており、M₂およびM₃は同等の標準偏差を有する。58例にM₁の回帰式を適用した場合の最小値は-120μとなっており、推定精度は比較的劣る。一方、M₂およびM₃は、標準偏差だけでなく、最大値および最小値も同等であることから、推定精度は同一と考えてよく、91日の乾燥収縮率を用いた単回帰式による推定結果には及ばないものの70日の推定結果を上回る結果が得られた。

表一七 3種類の回帰式を適用した推定結果

項目	52例のコンクリート						58例のコンクリート					
	単回帰式			重回帰式			単回帰式			重回帰式		
	ϵ_{56}	ϵ_{70}	ϵ_{91}	M_1	M_2	M_3	ϵ_{56}	ϵ_{70}	ϵ_{91}	M_1	M_2	M_3
最大値 (μ)	56	38	30	70	37	48	52	48	36	46	36	37
最小値 (μ)	-57	-48	-33	-91	-53	-47	-66	-53	-36	-120	-52	-60
平均値 (μ)	-0.1	-0.1	1.9	-0.1	0.0	-0.1	-9.0	-5.8	-5.2	-24.1	-11.6	-15.3
標準偏差 (μ)	27.3	22.4	17.6	31.6	20.7	19.8	31.2	24.2	16.6	37.7	21.5	21.6

表一八 3種類の回帰式を52例に適用した場合の標準誤差、t値およびP値などの係数

項目	回帰式 M_1				回帰式 M_2				回帰式 M_3			
	係数	標準誤差	t値	P値	係数	標準誤差	t値	P値	係数	標準誤差	t値	P値
切片	156	27.7	5.62	8.9×10^{-7}	91	19.6	4.67	2.4×10^{-5}	95	18.9	5.04	7.1×10^{-6}
ϵ_{28}	-0.50	0.22	-2.25	2.9×10^{-2}	-0.90	0.15	-6.02	2.2×10^{-7}	-1.02	0.15	-6.65	2.5×10^{-8}
ϵ_{42}	1.50	0.19	7.88	2.9×10^{-10}	—	—	—	—	0.40	0.18	2.25	2.9×10^{-2}
ϵ_{56}	—	—	—	—	1.78	0.12	14.5	2.7×10^{-19}	1.50	0.17	8.67	2.2×10^{-11}

図一七に、58例を対象とした182日の実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率 M_3 の関係を示す。①から⑥までの推定値と実測値との差は0~-41 μ の間にあり、推定精度は改善されている。58例の結果を見る限り、両者の相関は極めて高く、多重共線性を疑う結果は確認できなかった。この理由としては、表一八に示した一連の係数にあると考えられる。標準誤差は係数に比べて小さい。誤差や偶然による結果であるかを判断するP値は有意水準5%を下回り、1%を大幅に下回る説明変数もある。これらの結果が推定精度を高めたと考えられ、重回帰分析を用いる場合には、これらの係数にも注意を払う必要がある。

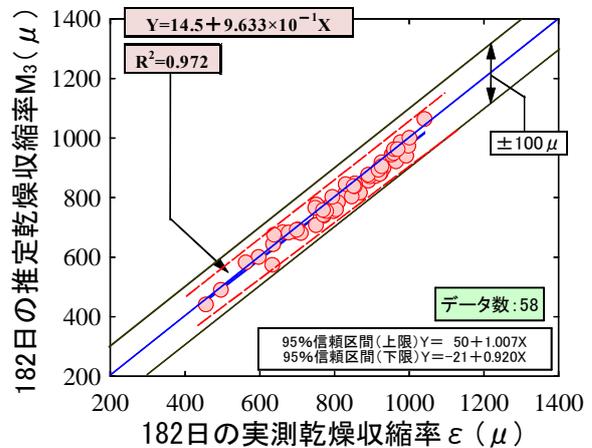
今後の運用に当たっても注意を要する。本論文による推定はあくまでも52例をベースとしたものであり、この数が増えることにより、回帰式が異なり、推定結果に影響を及ぼす恐れは十分考えられる。さらに、選定した重回帰分析によって推定精度が高くなるとはいえ、多重共線性の兆候が表れていたのも事実である。たとえば、多重共線性の懸念のない単回帰式による分析結果も併用しながら、慎重に推定していくことが求められる。

4. まとめ

推定法Uによる推定値が実測値と異なる例が見られたことから、改善を通じ明らかになった点をまとめる。

- (1) 推定値が大きく異なったのは、セメントペースト量の比較的多い高強度コンクリートと28日以降の乾燥収縮率の伸びが大きいコンクリートであった。
- (2) 28日、42日、56日の乾燥収縮率を組み合わせ、重回帰分析を行った結果、多重共線性の兆候は認められたものの、推定精度の高い乾燥収縮率が求められた。
- (3) 重回帰分析を適用する場合には、標準誤差やP値にも着目してその適切性を評価する必要がある。

なお、本研究は岩手工組に設置されているワーキンググループが行ったものであり、連名者以外のメンバーは次のとおりである。高橋潤吉(花北生コン(株))、中澤岩男



図一七 58例を対象とした182日の実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率 M_3 の関係

(岩手工組・中央技術センター)、藤原裕介(同)、川代すが子(同)、山内茂樹(県南技術センター)、作間晋吾(同)。

参考文献

- 1) 社団法人日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，2009.2
- 2) 袴田豊ほか：双曲線を用いたコンクリートの乾燥収縮率の早期推定法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.478-483，2012.7
- 3) 高橋潤吉ほか：乾燥材齢1~4週の実測乾燥収縮率を双曲線に適用したコンクリートの乾燥収縮率の早期推定法，第17回生コン技術大会研究発表論文集，pp.215-220，2013.4
- 4) 袴田豊ほか：双曲線の推定式と重回帰分析を組み合わせたコンクリートの乾燥収縮率の早期推定法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.559-564，2013.7
- 5) Excelで学ぶ回帰分析:株式会社ナツメ社，pp.135-177，2004.9