

# 論文 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

袴田 豊<sup>\*1</sup>・小山田 哲也<sup>\*2</sup>・中澤 岩男<sup>\*3</sup>・山内 茂樹<sup>\*4</sup>

**要旨** : 52 例のコンクリートの乾燥収縮率を用い, 双曲線の推定式と重回帰分析を組み合わせ, 乾燥期間 182 日の乾燥収縮率を, 28 日の乾燥収縮率から精度よく早期推定する方法について検討した。はじめに, 182 日の実測乾燥収縮率を双曲線推定式で表し, 推定式係数  $a$  および  $b$  のうち, 28 日の実測乾燥収縮率と相関の高い  $b$  を選定した。次に, この推定式係数  $b$  に骨材の密度やすりへり減量などの物性値, および水セメント比やペースト量などの配合を組み合わせて重回帰分析を行い, 推定精度がさらに高くなる組合せを選定した。最後に, 得られた重回帰分析の回帰式に 25 例のコンクリートを適用し, その適切性を検証した。

**キーワード** : 乾燥収縮率, 双曲線, 推定式, 早期推定, 重回帰分析, 骨材, 配合

## 1. はじめに

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, 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）<sup>1)</sup> 2009 年版に乾燥収縮率が規定されたのを機に, 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, 乾燥収縮率の早期推定法<sup>2)</sup>を開発した。双曲線の推定式に, 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を推定できる手法である。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, さらに実測乾燥収縮率が  $800 \mu$  以上になると推定乾燥収縮率はその上限範囲を逸脱し, 実測乾燥収縮率との差が大きくなる問題点を抱えていた。

この問題点を改善するために, 52 試料を対象とした推定式係数  $a$  と乾燥期間 182 日の実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  の関係を用いることにした。両者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乾燥収縮率を推定することができた。ただし, 乾燥収縮率の推定値と実測値との差の最大値は  $160 \mu$ , 最小値が  $-184 \mu$  と比較的大きく, 実測乾燥収縮率が  $800 \mu$  以上の推定乾燥収縮率は実測値に対して小さくなる傾向を示していることから, この点の改善も浮き彫りになった。

一連の検討の結果, 乾燥収縮率の実測値に対する推定値の差を小さくして推定精度を高めること, 実測乾燥収縮率が大きくなるにしたがって小さくなる傾向を示す推定乾燥収縮率を改善すること, この 2 点の改善を目的として新たな乾燥収縮率の早期推定法を開発することに着

手した。推定精度を高めるためには, 新たな手法の導入が必要となる。着目したのは, 重回帰分析の手法である。乾燥期間 182 日までの乾燥収縮率を双曲線の推定式に適用して求められる推定式係数  $b$  は, 乾燥期間 28 日の乾燥収縮率との関連が比較的高く, 関係式は高い相関を有する。そこで, この推定式係数  $b$  に, コンクリートの乾燥収縮率に影響を及ぼすと考えられる骨材の吸水率や密度などの物性, および水セメント比やペースト量などの配合要因を組み合わせて, 重回帰分析の手法を用いてさらに精度が高くなる第三段階の推定法の検討を行った。

## 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

骨材の品質およびコンクリートの配合については, 第一段階と第二段階で用いた 52 例を用いた。その代表的物性の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 工場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  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  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, 1 日, 3 日, 5 日および 28 日など, 182 日までの 15 期間とした。

\*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 工場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 <sup>3</sup> )			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
	砕砂	(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	砂利 25mm		11	19	2.68	2.41	2.58	4.11	1.16	1.82
	砕石	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 工場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 <sup>3</sup> )			
					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	6.4	28.8	68.6	49.2
変動係数	—	—	7.00	7.12	3.6	7.6	8.6	5.1

3. 推定結果および考察

3.1 双曲線の推定式に着目した検討

はじめに、双曲線の推定式の概要について説明する。双曲線は、直角双曲線といわれる反比例のグラフ ( $y = a/x$ ,  $a$ は正の定数) を一つの例とする曲線である。中心に対し点対称な二つの無限に伸びた曲線からなり、中心から離れるほど2つの漸近線 (X 軸, Y 軸) に限りなく近づいていく性質を持つ。その2つの曲線のうちの片方だけでも双曲線といい、本研究でも直角双曲線として一般的な式(1)を、第三段階の推定式として用いることにする。

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

ここに、 $U$ : 推定乾燥収縮率( $\mu$ )  
 $a$ および $b$ : 推定式係数  
 $t$ : 乾燥期間(日)

式(2)では、漸近線が  $t = -\frac{b}{a}$ ,  $U = \frac{1}{a}$  で、中心が

$(-\frac{b}{a}, \frac{1}{a})$  の直角双曲線となる。

推定乾燥収縮率  $U$  の算出に当たっては、最小二乗法が適用しやすいように、式(1)を式(2)の形に修正して求めた。

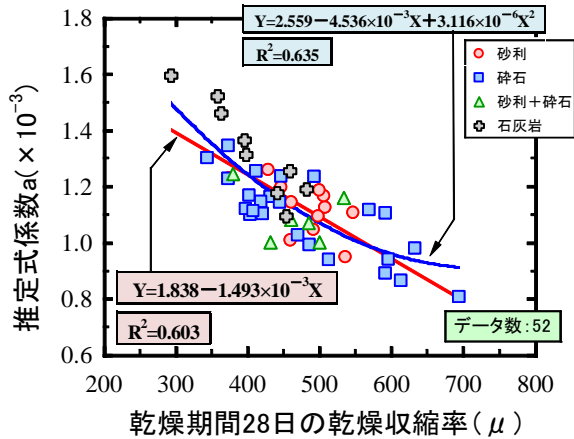
$$y = a + bx \quad (2)$$

ここに、 $y = 1/U$ ,  $x = 1/t$

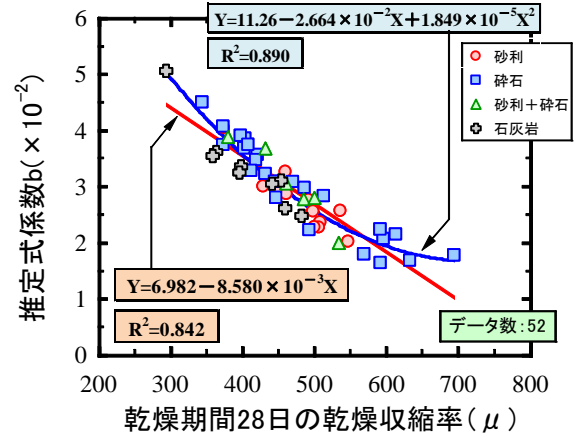
推定式係数  $a$  および  $b$  は、28 日以降のどの期間の乾燥

収縮率を用いるかでおのずと異なり、ひいては推定乾燥収縮率にも影響を及ぼす恐れがある。28 日以降のすべての乾燥収縮率を用いて推定式係数  $a$  および  $b$  を求め、あらためてこれらの推定式係数を推定式に適用して 182 日の推定乾燥収縮率を求めると、実測乾燥収縮率とは 10~30  $\mu$  程度の違いが生じ、精度の高い推定乾燥収縮率を算出する上で問題となることが明らかとなった。そこで、対象とする乾燥期間は 28 日と 182 日に限定し、この二つの期間の乾燥収縮率を最小二乗法に適用して求められる推定式係数  $a$  および  $b$  を用いることで、182 日の推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率は全く一致するようにした。

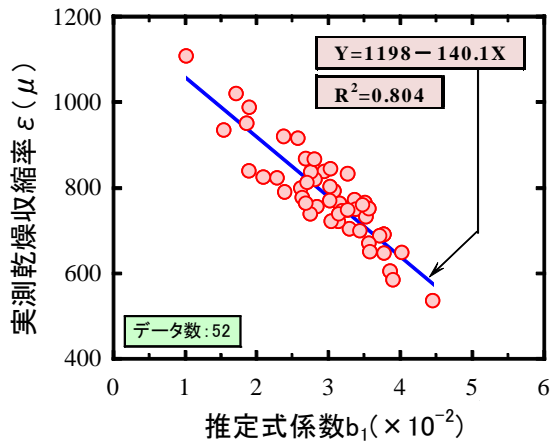
図-1 に、52 例を対象とした乾燥期間 28 日の乾燥収縮率と推定式係数  $a$  の関係を、図-2 に、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率と推定式係数  $b$  の関係を、使用した骨材の種類を識別して示す。二つの図には、一次の回帰式と二次の回帰式も併せて示した。推定式係数  $a$  にしろ  $b$  にしろ、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率との相関は比較的高い。ただし、両者の相関の程度を示す寄与率 ( $R^2$ ) に着目すると、式(2)で傾きを示す推定式係数  $b$  の方が  $a$  よりも大きく、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率との相関は高い。乾燥期間 28 日の乾燥収縮率から乾燥期間 182 日の乾燥収縮率を精度よく推定するには、一般に用いる関係式の精度が高くなることが要求される。推定式係数  $b$  の寄与率 ( $R^2$ ) は  $a$  よりも比較的大きいことから、これ以降は推定式係数  $b$  に着目して検討を進める。乾燥期間 28 日の乾燥収縮率と推定式係数  $b$  との関係式に着目すると、一次および二次のいずれも寄与率 ( $R^2$ ) は 0.8 を上回る。そこで、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率から一次回帰式を用いて推定する推



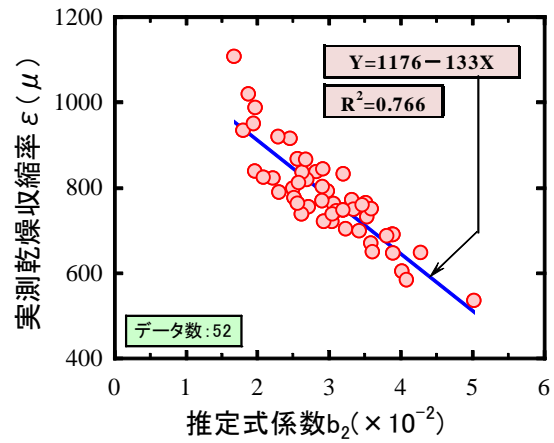
図一 乾燥期間 28 日の乾燥収縮率と推定式係数  $a$  の関係



図二 乾燥期間 28 日の乾燥収縮率と推定式係数  $b$  の関係



図三 一次回帰式から算出した推定式係数  $b_1$  と実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  の関係



図四 二次回帰式から算出した推定式係数  $b_2$  と実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  の関係

定式係数を  $b_1$ 、二次回帰式を用いて推定する推定式係数を  $b_2$  とし、乾燥期間 182 日の乾燥収縮率との関連について検討することにした。

図-3 に、一次回帰式から算出した推定式係数  $b_1$  と乾燥期間 182 日の実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  の関係を、図-4 に、二次回帰式から算出した推定式係数  $b_2$  と実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  の関係をそれぞれ示す。推定式係数  $b_1$  および  $b_2$  いずれも、実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  との相関は比較的高く、今後の重回帰分析を行う上で、分散分析表の被説明変数（182 日乾燥収縮率）への影響度を示す説明変数の  $t$  値が比較的大きくなることが考えられ、説明変数の核になり得る可能性のあることが明らかとなった。ただし、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率から一次回帰式あるいは二次回帰式を用いて推定式係数  $b$  を求め、さらにこの推定式係数  $b$  から乾燥期間 182 日の乾燥収縮率を求めることは、とりもなおさず、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率から乾燥期間 182 日の乾燥収縮率を直接推定することにも等しい。そ

こで、乾燥期間 28 日の乾燥収縮率  $\varepsilon$  と乾燥期間 182 日の乾燥収縮率  $\varepsilon$  の関係を、直接求めることにした。図-5 に、両者の関係を示す。相関の程度を示す寄与率 ( $R^2$ ) に着目すると 0.804 と比較的大きく、両者は良好な相関を有する。これは、一次回帰式による推定式係数  $b_1$  と実測乾燥収縮率  $\varepsilon$  との間の寄与率 ( $R^2$ ) とまったく一致する。乾燥期間 28 日の乾燥収縮率についても、乾燥期間 182 日の乾燥収縮率を推定する上で、説明変数の核となり得ることが明らかとなった。

ここで、これまで検討してきた推定式係数  $b_1$ 、 $b_2$  および乾燥期間 28 日の乾燥収縮率に、第一段階と第二段階で検討した推定乾燥収縮率  $S$  および  $V$  を加え、これら 182 日実測乾燥収縮率と比較的相関が高いと考えられる特性値から乾燥期間 182 日の乾燥収縮率を推定し、この推定値と実測値との差を、最大値、最小値および標準偏差に着目して整理することにした。対象となるデータはこれまで検討してきた 52 例とし、実測乾燥収縮率の範囲は

534~1106 $\mu$ である。図-6に、これらの結果を示す。推定乾燥収縮率SよりもVの方が、結果は良好ではあるものの、今回検討した三つの特性値による推定結果は、最大値、最小値および標準偏差のいずれも第二段階の推定乾燥収縮率Vの結果を上回る。とくに、推定式係数 $b_1$ による最大値は、推定式係数 $b_2$ のそれをわずかに上回っているものの、最小値および標準偏差はいずれも小さく、推定結果は推定式係数 $b_1$ の方が $b_2$ に比べて良好であるといえる。乾燥期間28日の実測乾燥収縮率から求めた推定値と実測値との差の標準偏差は、推定式係数 $b_1$ から求めた推定値と実測値との差の標準偏差とまったく一致しており、これら二つの特性値から求められる推定値の標準偏差は、いずれも一つの目標ともいえる50 $\mu$ を下回る47.5 $\mu$ となったことから、当初の目的の一つである推定精度を高めることについては達成したと言える。

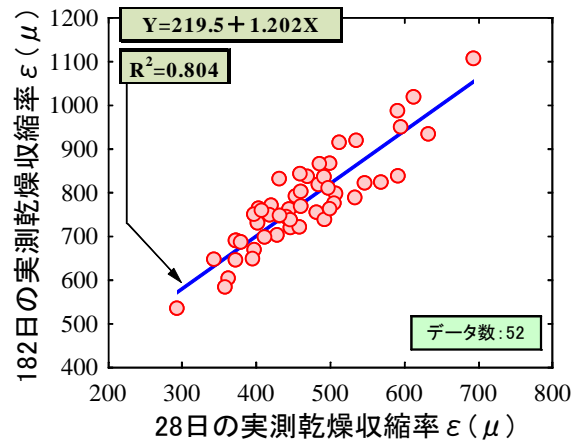


図-5 乾燥期間28日の実測乾燥収縮率 $\epsilon$ と乾燥期間182日の実測乾燥収縮率 $\epsilon$ の関係

### 3.2 重回帰分析に着目した検討

推定式係数 $b_1$ および乾燥期間28日の実測乾燥収縮率 $\epsilon$ に着目することで、推定精度を高めることができたとはいえず、骨材の物性や配合などの要因を検討に加え、重回帰分析の手法を導入することで、さらに推定精度を高めることを目的とした検討を行った。表-3に、重回帰分析として選定した説明変数と、乾燥期間182日の実測乾燥収縮率 $\epsilon$ との間で検討した単回帰分析による寄与率( $R^2$ )を示す。乾燥収縮試験の特性値として供試体の質量変化率も選定しているが、骨材密度や配合などの影響により基準となる供試体の質量が異なるため、質量を容積に置き換えた質量損失量(単位:  $\text{kg}/\text{m}^3$ )も、選定の対象に加え、合わせて17種類の説明変数を準備した。

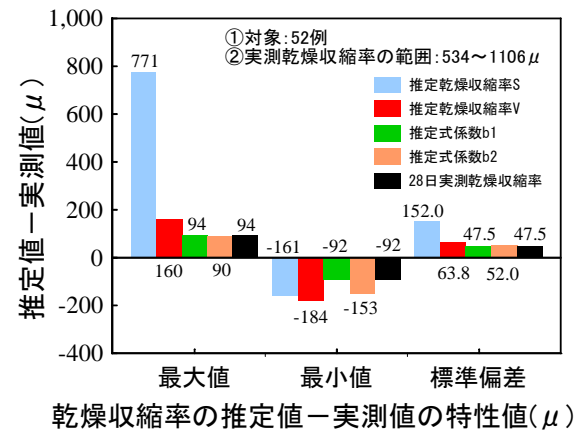


図-6 推定方法別の推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差

表-4に、検討した組合せ20種類のうち、比較的寄与率( $R^2$ )が大きくなった10種類の組合せを示す。推定精度が比較的高い推定式係数 $b_1$ にNo.1からNo.8までの他の

説明変数を組合せ、寄与率に推定値と実測値との差の最大値、最小値および標準偏差も加え検討を行った。重回

表-3 重回帰分析として選定した説明変数と単回帰分析による結果

No.	区分	説明変数の内訳	記号	単回帰分析による寄与率( $R^2$ ) <sup>※1</sup>
1	乾燥期間28日までの乾燥収縮試験による特性値	一次回帰式による推定式係数 $b_1$	$b_1$	0.804
2		二次回帰式による推定式係数 $b_2$	$b_2$	0.766
3		28日実測乾燥収縮率 $\epsilon$ ( $\mu$ )	$\epsilon_{28}$	0.804
4		28日質量変化率 $W_1$ (%)	$W_1$	0.307
5		28日質量損失量 $W_2$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$W_2$	0.293
6		推定乾燥収縮率Sの推定式係数 $a$	$a_S$	0.646
7		推定乾燥収縮率Sの推定式係数 $a$ の逆数 $1/a_S$	$1/a_S$	0.563
8		推定乾燥収縮率Vの推定式係数 $a$	$a_V$	0.280
9		推定乾燥収縮率Vの推定式係数 $a$ の逆数 $1/a_V$	$1/a_V$	0.266
10	骨材の物性値	粗骨材の表乾密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$D_1$	0.001
11		粗骨材の吸水率 (%)	$Q_1$	0.087
12		細骨材と粗骨材の吸水率 (%)	$Q_2$	0.129
13		細骨材と粗骨材の吸水量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$Q_3$	0.126
14	粗骨材のすりへり減量 (%)	$R$	0.185	
15	配合	水セメント比 (%)	W/C	0.015
16		細骨材率 (%)	s/a	0.002
17		セメントペースト量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	CP	0.034

※1 寄与率( $R^2$ )が比較的大きい網掛の $b_1$ 、 $b_2$ および $\epsilon_{28}$ をベースに、重回帰分析を実施。

表-4 重回帰分析として選定した組合せと推定結果

No.	乾燥材齢 28 日までの乾燥収縮試験による特性値								骨材の物性値			配合	寄与率 (R <sup>2</sup> )	推定値-実測値 <sup>※1</sup>			
	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	ε <sub>28</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	a <sub>S</sub>	1/a <sub>S</sub>	a <sub>V</sub>	1/a <sub>V</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>			R	CP	最大値	最小値
1	○										○			0.812	97 114	-86 -150	46.6 52.4
2	○				○									0.839	93 73	-77 -107	43.1 45.5
3	○												○	0.819	89 111	-76 -194	45.6 57.1
4	○			○		○		○				○		0.923	69 148	-64 -79	29.7 38.6
5	○				○		○	○				○	○	0.922	76 34	-93 -89	33.9 35.4
6	○				○		○					○		0.921	71 62	-73 -103	30.1 35.5
7	○			○		○		○		○		○	○	0.923	69 148	-64 -80	29.7 38.6
8	○			○		○		○				○	○	0.922	67 61	-72 -87	30.0 34.5
9		○		○		○		○				○	○	0.907	73 60	-88 -87	32.7 36.6
10			○	○		○		○				○	○	0.922	67 61	-72 -87	30.0 34.5

※1 上段には 52 例を対象とした値, 下段には後述した検証のための 25 例を対象とした値を示す。

帰分析を行う際に注意しなければならない点は, 説明変数同士の相関が高くなり, 推定結果が歪む恐れのある多重共線性の検討である。多重共線性については明確な基準はないものの, 参考文献<sup>3)</sup>を用い, 分散拡大要因(VIF=1/(1-R<sup>2</sup>))が 10 以下になることを確認して検討を進めた。表-5 に一例として, No.8 の説明変数を対象とした多重共線性の検討結果を示す。VIF が 10 以上となる組合せは, 検討の対象外とした。一連の検討の結果, No.8 の組合せが最も良好な結果を示した。引き続き, 推定式係数 b<sub>1</sub> を b<sub>2</sub> および 28 日乾燥収縮率に置き換え, 同様の検討を行った結果, 基準となる推定式係数 b<sub>1</sub> あるいは 28 日乾燥収縮率に, 28 日質量変化率, 推定乾燥収縮率 S および V から求めた 1/a<sub>S</sub>, 1/a<sub>V</sub> を選定した。1/a<sub>S</sub> および 1/a<sub>V</sub> については, 寄与率は 0.88 と比較的高いものの, VIF は 4.5 であり, 多重共線性を回避するには 5 以下が望ましいとする参考文献<sup>4)</sup>の記述も満足していることから, 選定の対象に加えた。さらに骨材の物性としてすりへり減量, 配合としてペースト量を組み合わせることで, 最も良好な推定乾燥収縮率 U を求めることができた。U の推定式を, 式(3)に示す。

$$U = 670 - 103X_1 - 39X_2 - 3.1X_3 + 0.5X_4 + 0.1X_5 + 0.04X_6 \quad (3)$$

ここに, U: 推定乾燥収縮率(μ), X<sub>1</sub>: 推定式係数 b<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>: 28 日質量変化率(%), X<sub>3</sub>: すりへり減量(%), X<sub>4</sub>: セメントペースト量(kg/m<sup>3</sup>), X<sub>5</sub>: 推定乾燥収縮率 S の推定式係数 a の逆数 1/a<sub>S</sub>, X<sub>6</sub>: 推定乾燥収縮率 V の推定式係数 a の逆数 1/a<sub>V</sub>。

図-7 に, 52 例を式(3)に適用した実測乾燥収縮率 ε と

表-5 No.8 の説明変数を対象とした多重共線性の検討

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	ε <sub>28</sub>	1/a <sub>S</sub>	1/a <sub>V</sub>	W <sub>1</sub>	R	CP
b <sub>1</sub>	-	1.00	1.00	0.44	0.14	0.08	0.45	0.46
b <sub>2</sub>	167	-	1.00	0.41	0.12	0.11	0.44	0.52
ε <sub>28</sub>	-	167	-	0.44	0.14	0.08	0.45	0.46
1/a <sub>S</sub>	1.2	1.2	1.2	-	0.88	0.09	0.76	0.02
1/a <sub>V</sub>	1.0	1.0	1.0	4.5	-	0.09	0.66	0.01
W <sub>1</sub>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	0.52	0.50
R	1.2	1.2	1.2	2.4	1.8	1.4	-	0.24
CP	1.3	1.4	1.3	1.0	1.0	1.3	1.1	-

※ 上段の白抜部に寄与率(R<sup>2</sup>)を, 下段の網掛部に説明変数同士の分散拡大要因(VIF=1/(1-R<sup>2</sup>))を示す。

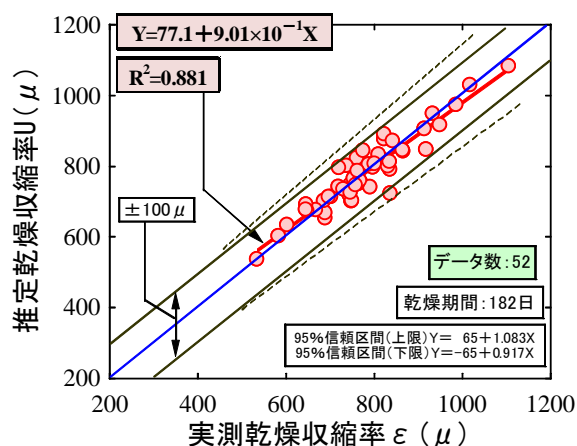


図-7 52 例を対象とした実測乾燥収縮率 ε と推定乾燥収縮率 U の関係

推定乾燥収縮率 U の関係を示す。寄与率は比較的大きく両者の差の最大値は 67 μ, 最小値は -72 μ, 標準偏差は 30 μ と, 前述の結果に比べてさらに小さくなり, 実測乾燥収縮率が大きくなるにしたがって推定乾燥収縮率が小

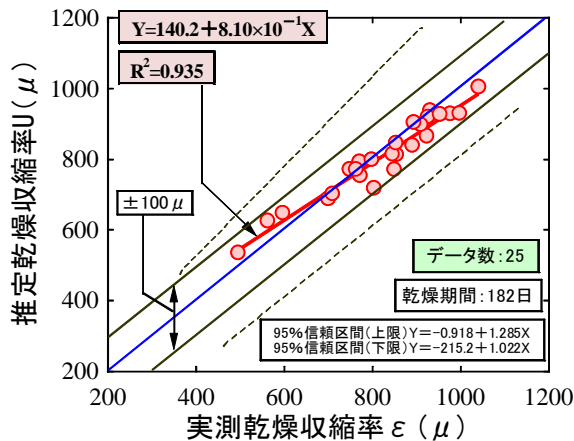


図-8 25例を対象とした実測乾燥収縮率εと推定乾燥収縮率Uの関係

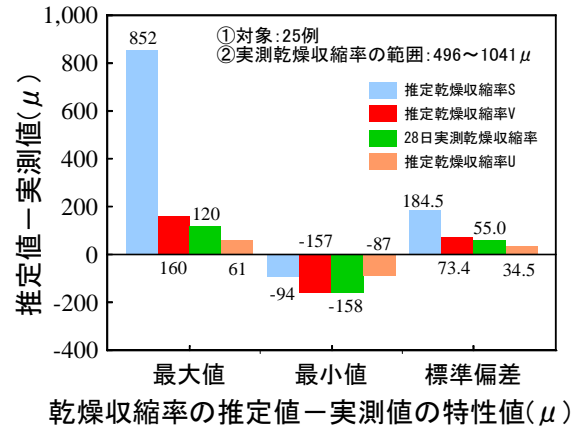


図-9 推定方法別の推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差

さくなる問題点も改善することができた。

### 3.3. 検討結果の検証

得られた式(3)に、25例の乾燥収縮率を適用し、推定値と実測値との差の最大値、最小値、標準偏差に着目した適切性を検証することにした。コンクリートの呼び強度は標準の30にこだわらず、21~48の範囲とした。水セメント比および単位水量の範囲は39.0~62.5%、170~185kg/m³である。図-8に、25例の実測乾燥収縮率εと推定乾燥収縮率Uの関係を示す。両者の差の最大値、最小値および標準偏差を図-9に示す。寄与率は比較的大きく、推定乾燥収縮率Uは、S、Vおよび28日実測乾燥収縮率から求めた推定値よりも改善されている。図-10に、実測乾燥収縮率が比較的大きい953μをサンプルに、乾燥期間182日までのすべての期間の乾燥収縮率S、VおよびUを比較して示す。ただし、乾燥期間182日以前の乾燥収縮率については、参考文献<sup>2)</sup>の式(5)を用いて算出した。ここでも、実測乾燥収縮率εに対して小さくなりすぎる傾向を示した推定乾燥収縮率Vに比べ、推定乾燥収縮率Uは比較的大きく、改善効果が認められた。

### 4. まとめ

52例の乾燥収縮率を用い、双曲線の推定式と重回帰分析を組み合わせ、推定乾燥収縮率の精度を高める検討を行った結果、明らかになった点は次のとおりである。

- (1) 双曲線の推定式に重回帰分析を組み合わせることで、比較的精度の高い推定乾燥収縮率が得られる。
- (2) 重回帰分析の組合せとしては、推定式係数 $b_1$ に、28日質量変化率、すりへり減量、セメントペースト量、推定乾燥収縮率Sの推定式係数 $a$ の逆数 $1/a_S$ 、推定乾燥収縮率Vの推定式係数 $a$ の逆数 $1/a_V$ を組み合わせることで、最も精度の高い乾燥収縮率が推定できた。

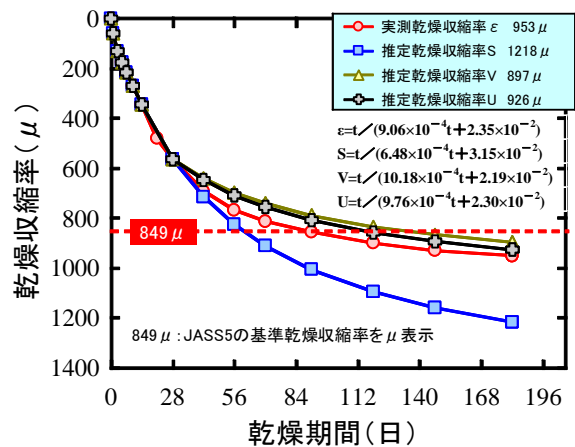


図-10 実測乾燥収縮率953μのサンプルを対象とした推定乾燥収縮率の推移

- (3) 得られた回帰式に25例のコンクリートを適用したところ、精度の高い推定乾燥収縮率が得られることを確認できた。

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))、宇賀神尊信(岩手工組・中央技術センター)、藤原裕介(同)、川代すが子(同)、作間晋吾(県南技術センター)、菊地雄二(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) Excelで学ぶ回帰分析：株式会社ナツメ社，pp.135-177，2004.9
- 4) 入門統計学：株式会社オーム社，pp.216-229，2012.12