論文　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

袴田　豊[*1]・小山田　哲也[*2]・高橋　潤吉[*3]・藤原　裕介[*4]

要旨：乾燥材齢 28 日までの乾燥収縮率によって，乾燥材齢 6 ヶ月までのすべての乾燥収縮率を，双曲線の推定式を用いて早期推定する方法を検討した。はじめに，岩手県生コンクリート工業組合に加盟する 52 工場のコンクリートを対象とし，ダイヤルゲージ法によって実測乾燥収縮率を求めた。第二段階では，乾燥材齢 14 日および 28 日の乾燥収縮率の組合せによって求めた双曲線の推定式から，乾燥材齢 6 ヶ月までのすべての乾燥収縮率を推定するとともに，推定式の係数と配合との関連についても考察を加えた。さらに，推定式の係数は実測乾燥収縮率と相関が高い関係を用い，より精度の高い乾燥収縮率を推定できることを明らかにした。

キーワード：乾燥収縮率，双曲線，推定式，早期推定，ダイヤルゲージ法，乾燥材齢 14 日，乾燥材齢 28 日

1. はじめに

岩手県生コンクリート工業組合では，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）[1] 2009 年版の改訂情報を受け，2008 年から全組合員 52 工場を対象とした乾燥収縮試験を行った。ただし，試験期間 6 ヶ月に及ぶ乾燥収縮試験は，コンクリートの試験としては比較的長く，その試験結果を施工管理に反映するには，半年前から試験に着手する必要がある。コンクリートの施工管理は，直近の生コンクリートの品質を確認し評価する方法が一般的である。例えば，事前の試験練りによって圧縮強度を確認する場合，材齢 28 日での評価が通例であり，この結果を受けてコンクリートの打設が開始されることから，乾燥収縮率もこれに併せて精度の高い推定値を確認できることが望ましい。

乾燥収縮率の早期推定法については，独自の試験手法に基づく評価手法[2]，温度を 80℃の高温にする評価手法[3]，学会式を用いた推定手法[4]，骨材の物性やコンクリートの動弾性係数に着目した評価手法[5] など，多くの実例がある。ただし，早期推定といえども，温度や湿度など一般的な試験環境条件を用いる方が，通常の JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法」による測定結果を準用することが可能で，他の試験機関にとっても活用の幅は広がる。推定式についても，建築学会式や土木学会普通強度式などがあるが，精度の高い結果が得られるのであれば，より簡便な推定式の方が好ましい。推定乾燥収縮率についても，通常は JASS5 の基準材齢 6 か月の乾燥収縮率を対象とするのが一般的であるが，可能であればそれ以前のすべての乾燥材齢も対象とした方が，乾燥収縮率の推移が分かり，推定の幅は広がる。

このような方針の下に，岩手県生コンクリート工業組合では，52 工場の試験にも適用した JIS A 1129-3 に示すダイヤルゲージ法を用いる早期推定法の開発に着手することとした。推定乾燥収縮率については，乾燥収縮率の推移が双曲線に類似していることから，双曲線の推定式から求めることにした。本研究では，乾燥材齢 28 日までに得られる乾燥収縮率から双曲線の推定式を求め，この推定式を用いて乾燥材齢 6 か月までの乾燥収縮率を，精度よく推定することを目的として実施したものである。

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

コンクリートの作製に当たり，52 工場で用いられた骨材の品質は多様である。ここでは，比較的多く用いられた骨材の種類および石質に着目し，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，10×10×40cm 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。スランプについては，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，試験を行う岩手県生コンクリート工業組合・中央技術センター（盛岡市）に搬入した。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，前述したダイヤルゲージ法を用いて乾燥収縮試験を開始した。乾燥収縮率を測定する乾燥材齢は，1 日，3 日，5 日および 28 日など，182 日までの 15 材齢とした。

*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　博士(工学)　(正会員)
*3 花北生コン株式会社
*4 岩手県生コンクリート工業組合　中央技術センター

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/cm³)			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)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量（kg/m³）			
					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

2.2 乾燥収縮率の早期推定法の概要

JASS5 においても，乾燥収縮率の早期推定法が謳われている。それによると，適用する乾燥材齢ごとに早期判定式の係数が定められており，乾燥材齢 28 日では，その乾燥収縮率に係数 2.11 を乗じて乾燥材齢 6 か月（182 日）の乾燥収縮率を推定することになっている。そこで，**図－1** に乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率と，乾燥材齢 28 日の乾燥収縮率にこの係数 2.11 を乗じた推定乾燥収縮率の関係を示した。推定乾燥収縮率はいずれも実測乾燥収縮率に対してプラス側の領域にある。しかも，その範囲は 0～＋400μ と比較的大きい。JASS5 によると，係数 2.11 には 4%の不良率が許容されているという。結果的に 2.11 は比較的大きく，換言すればコンクリートの使用者にとって安全側となるような係数となっているため，今回の 52 例を適用する範囲においては，JASS5 の早期推定法は実用に適しているとは言えない側面がある。

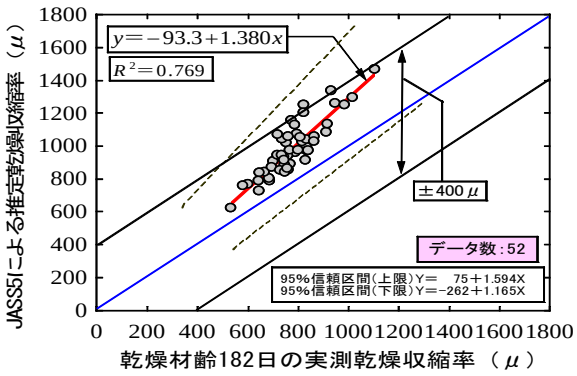
そこで，本研究の基礎データ 52 例を用い，乾燥材齢 28 日における乾燥収縮率から乾燥材齢 182 日の推定乾燥収縮率を算出し，乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率と比較してみることとした。**図－2** に，その結果を示す。乾燥材齢 182 日の推定乾燥収縮率の算出に当たっては，乾燥材齢 28 日の実測乾燥収縮率と乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率の関係式を用いた。この関係式を，式(1)に示す。

$$\varepsilon_{182}=231.6+1.176\varepsilon_{28} \qquad (1)$$

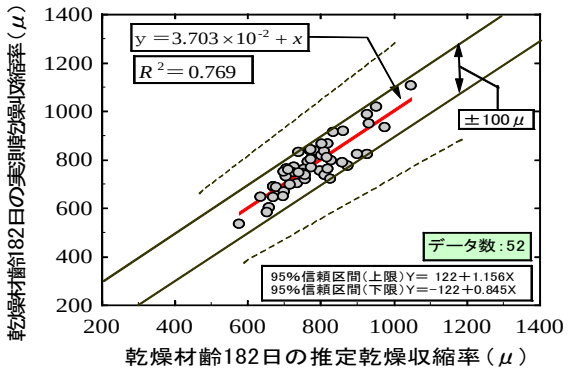
ここに，ε_{182}：乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率(μ)

ε_{28}：乾燥材齢 28 日の実測乾燥収縮率(μ)

JASS5 のように，不良率 4%を考慮していないため，両者は比較的相関関係が良く，推定値は実測値に対して



図－1　乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率と JASS5 によって求めた推定乾燥収縮率



図－2　乾燥材齢 182 日の推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率の関係

±100μ の範囲内にあることから，推定結果としては比較的良好であるといえる。**図－3** に，52 例のうち任意の 1

例を選び，乾燥材齢 182 日までの実測乾燥収縮率の推移と，JASS5 による方法および**図－2** の回帰式（$y=3.073\times10^{-2}+x$）による方法を用い，乾燥材齢 182 日で予想される推定乾燥収縮率を示した。JASS5 による乾燥収縮率は 8×10^{-4} 以下となるように規定されていることから，これを 9×10^{-4} とならないような μ 表示として 849μ に置き換え，図中に参考線として示した。

二つの推定乾燥収縮率は乾燥材齢 182 日を対象としていることから，JASS5 の基準値 8×10^{-4}（849μ）と比較照合できるものの，乾燥材齢 28 日と 182 日の間の推定乾燥収縮率が不明である。乾燥材齢 182 日の乾燥収縮率に加え，これに至る各材齢の乾燥収縮率も推定することができれば，推定乾燥収縮率の回帰式を表すことができる。これは，実測乾燥収縮率による回帰式との比較検討を可能とし，解析にも効果があると考えられる。

そこで，本研究ではこの点の改善も必要と考え，単に乾燥材齢 182 日の推定乾燥収縮率のみを示す早期推定法ではなく，乾燥材齢 28 日から 182 日までのすべての乾燥材齢における乾燥収縮率も推定できる新たな早期推定法の開発について検討することとした。

検討の結果，乾燥収縮率の推移を表す曲線として着目したのは双曲線である。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**図－4** のような形の曲線である。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うことから，本研究では直角双曲線として一般的な式(2)を推定式として用いることにした。

$$S=\frac{t}{(at+b)} \tag{2}$$

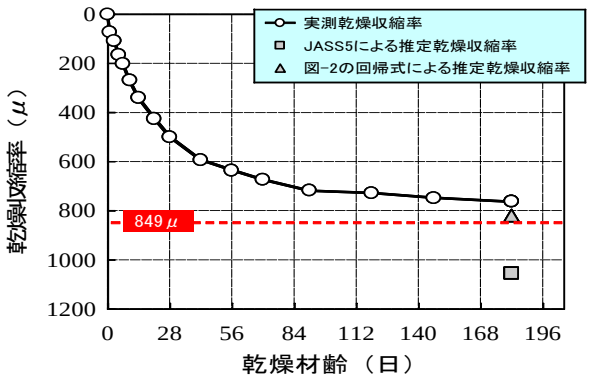
ここに，S：推定乾燥収縮率(μ)

a および b：係数

t：乾燥材齢(日)

式(2)では，漸近線が $t=-\frac{b}{a}$，$S=\frac{1}{a}$ で，中心が $\left(-\frac{b}{a},\frac{1}{a}\right)$ の直角双曲線となる。

推定乾燥収縮率は，式(2)の係数 a および b によっておのずと異なる。二つの係数は，事前に設定する乾燥材齢の組合せによっても異なり，これが延いては推定乾燥収縮率に影響を及ぼすため，ここでは 11 種類の乾燥材齢の組合せを設定し，推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率を比較し，これらの差が最も小さい組み合わせを選定することとした。**表－3** に，設定した組合せ 11 例を示す。図中では，乾燥材齢 28 日以降のデータを用いる例(No.1 および No.2)も参考として含め，比較の対象とした。推定乾燥収縮率 S 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（2）を式（3）の形に修正して求めた。



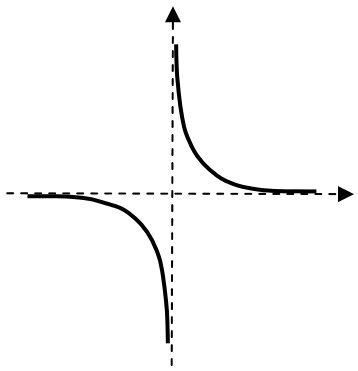
図－3　乾燥材齢 182 日までの実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率の一例

$$y=a+bx \tag{3}$$

ここに，$y=1/S$，$x=1/t$

一連の検討の結果，推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率との差がもっとも小さいのは，乾燥材齢 28 日以降のデータを全て用いた組合せ No.2 となったが，本研究では当然ではあるが選定の対象外とした。これ以外の組合せの良否を検討した結果，No.10 の乾燥材齢 14 日および 28 日から求めた推定乾燥収縮率が実測乾燥収縮率に近く，比較的良好な結果を示したことから，この二つの乾燥材齢の組合せを用いて 52 試料の推定乾燥収縮率を算出することにした。

実測乾燥収縮率 ε が異なる三つの試料①，②および③を対象とし，乾燥材齢 14 日および 28 日の実測乾燥収縮率 ε を用いて推定乾燥収縮率 S を算出する基本表を，**表－4** に示す。係数 a および b は，乾燥材齢 14 日と 28 日の x(1/t)および y(1/ε)を用い，最小二乗法によって求めている。二つの係数が算出されることによって，それぞれの乾燥材齢における推定乾燥収縮率が，式(2)を適用することで求められる。同様の作業を，全ての 52 試料を対象として行い，推定乾燥収縮率と実測乾燥収縮率を比較



図－4　双曲線の一例

表－3　推定乾燥収縮率を求めるに当たって検討した乾燥材齢の組合せ

乾燥材齢（日）	検討した乾燥材齢の組合せ										
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10※4	No.11
	全て	28-182	1-28	21-28	14-28	10-28	7-28	5-28	14-21	14-28	21-42
1，3	○		○								
5，7	○		○				○7	○			
10，14	○		○		○14	○	○	○	○14	○14	
21，28	○	○28※2	○	○	○	○	○	○	○21	○28	○
42～182※1	○	○									○42
試料①	乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率 ε：791μ										
S※3(μ)	747	792	677	655	857	1029	778	686	1086	809	853
S－ε（μ）	-44	1	-114	-136	66	238	-13	-105	295	18	62
試料②	乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率 ε：668μ										
S※3(μ)	626	667	581	681	717	645	500	550	744	710	736
S－ε（μ）	-42	-1	-87	13	49	-23	-168	-118	76	72	68
試料③	乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率 ε：914μ										
S※3(μ)	606	926	422	1035	1167	1320	756	643	1280	1139	1081
S－ε（μ）	-308	12	-492	121	253	406	-158	-271	366	225	167

※1　乾燥材齢 42～182 日：42，56，70，91，119，147，182 日
※2　たとえば○28：乾燥材齢 21 日のデータは用いずに，28 日のデータを使用
※3　S：乾燥材齢 182 日における推定乾燥収縮率
※4　網掛部：一連の検討によって採用した組合せ

表－4　推定乾燥収縮率を算出するための基本表

乾燥材齢 t (日)※1	【x】1/t ×10^{-3} (1/日)	実測乾燥収縮率 ε(μ) 試料			【y】1/ε ×10^{-3} (1/μ) 試料			推定乾燥収縮率 S(μ) 試料			補正推定乾燥収縮率 V(μ)※3, ※4 試料		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0.00	－	－	－	－	－	－
1	1000.00	31	32	53	32.26	31.25	18.87	－	－	－	－	－	－
3	333.33	70	77	96	14.29	12.99	10.42	－	－	－	－	－	－
5	200.00	147	138	172	6.80	7.25	5.81	－	－	－	－	－	－
7	142.86	186	199	214	5.38	5.03	4.67	－	－	－	－	－	－
10	100.00	219	217	228	4.57	4.61	4.39	－	－	－	－	－	－
14	71.43	299	262	311	3.34	3.82	3.22	－	－	－	－	－	－
28	35.71	454	398	513	2.20	2.51	1.95	－	－	－	－	－	－
42	23.81	583	492	651	1.72	2.03	1.54	549	481	655	540	487	598
56	17.86	616	527	713	1.62	1.90	1.40	613	538	760	598	548	660
70	14.29	654	558	761	1.53	1.79	1.31	659	578	841	640	591	709
91	10.99	712	614	826	1.40	1.63	1.21	708	621	932	684	637	764
119	8.40	732	619	850	1.37	1.62	1.18	752	660	1019	724	679	816
147	6.80	750	634	877	1.33	1.58	1.14	782	686	1082	752	707	853
182	5.49	791	668	914	1.26	1.50	1.09	809	710	1139	776	732	887
式(2)の係数		試料①			試料②			試料③					
a※2		0.0010608			0.0012083			0.0006832					
b※2		0.0319715			0.0365185			0.0354513					

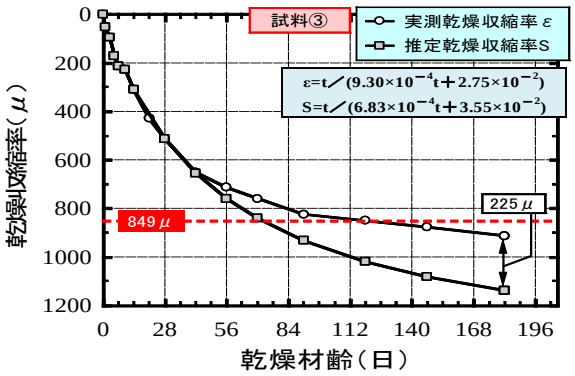
※1　乾燥材齢 21 日のデータの取扱い：推定には乾燥材齢 14 日および 28 日の乾燥収縮率を対象としたことから，これらの中間材齢となる 21 日のデータは未使用
※2　a および b：乾燥材齢 14 日と 28 日の網掛部の【x】および【y】のデータを，最小二乗法に適用して算出
※3　補正推定乾燥収縮率 V(網掛部の乾燥材齢 182 日の推定乾燥収縮率)：後述の式(4)を用いて算出
※4　182 日以外の補正推定乾燥収縮率 V：後述の式(5)を用い，それぞれの乾燥材齢ごとに算出

する検討を行うこととした。

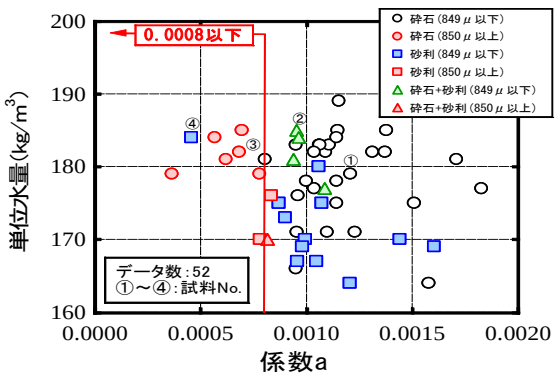
3. 推定結果および考察

表－4 において，試料①および②の推定乾燥収縮率 S を実測乾燥収縮率 ε と比較すると，その差は±50μ の範囲にあり，推定結果は概ね良好である。ただし，試料③のそれを見ると，**図－5** に示すように，その差は 200μ を超えており決して小さくはない。図中には，実測乾燥収縮率 ε と推定乾燥収縮率 S の推定式を示した。これによると，係数 b よりも a の差が比較的大きく，この差が乾燥材齢 182 日の推定乾燥収縮率の差となって表れているように思われる。

推定乾燥収縮率を精度よく求めるには，骨材の品質や配合など，コンクリートの品質に関わる情報にも目を向ける必要がある。そこで，代表的な配合要因となる単位水量に着目し，推定乾燥収縮率に大きな影響を及ぼすと考えられる係数 a との関係について検討することとした。その結果を，**図－6** に示す。図中では，使用骨材を識別し，実測乾燥収縮率が JASS5 の基準値を満足しているか分かるようにしている。総体的には，係数 a が小さくなるほど単位水量は多くなり，乾燥収縮率も JASS5 の基準値を上回るコンクリートが多くなるように見受けられる。



図－5　試料③の実測および推定乾燥収縮率 S の推移



図－6　係数 a と単位水量の関係

ただし，両者には明確な相関関係は認められない。とはいえ，係数 a が 0.0008 以下となる領域には，JASS5 の基準値を上回る試料が多く点在していることから，推定式の係数 a が 0.0008 以下になったコンクリートは，概ね JASS5 の乾燥収縮率の基準値を上回る可能性が高くなると判断できる。ただし，ここでも慎重な配慮が必要である。この領域には，粗骨材として砂利を用い，JASS5 の基準値を満足する試料④の存在がある。

そこで，試料④についても，実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率の推移を比較してみることとした。**図－7** に，その結果を示す。乾燥材齢 182 日の両者の差は，試料③よりも大きく，500 μ を上回る。係数 a の両者の差も比較的大きいことから，ここでも a を適切に推定できなかったことになる。52 試料すべてを対象とし，乾燥材齢 182 日における実測乾燥収縮率 ε と推定乾燥収縮率 S の関係を**図－8** に示す。実測乾燥収縮率 ε が 800 μ までの推定乾燥収縮率は±200 μ の範囲内にある。ただし，ε が 800 μ を上回ると±200 μ の範囲を超える試料が多くなる。1000 μ を超える試料に至っては，その範囲を大きく逸脱している。実測乾燥収縮率が 800 μ までの試料については，推定式(2)を用いて比較的精度よく乾燥収縮率を推定できる。ただし，これを上回る実測乾燥収縮率については，信頼できる推定結果が得られないことから，推定式(2)に代わる新たな推定法の開発を検討することとした。

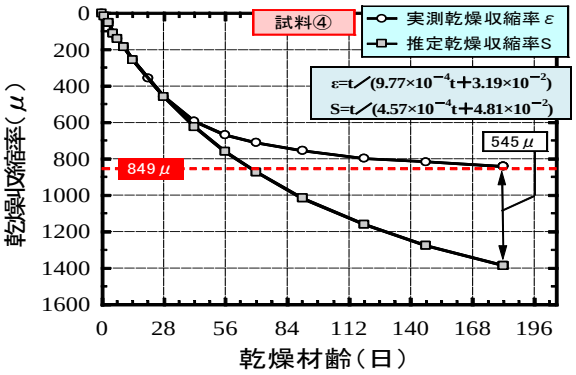
ここで着目したのは，推定式(2)の係数 a と実測乾燥収縮率 ε との関係である。**図－9** に示す両者の間には，比較的良好な相関関係が存在することから，両者の関係式を用い，新たな推定乾燥収縮率を算出することにした。関係式を改めて式(4)に示す。

$$y = 1089 - 2.954 \times 10^5 x \qquad (4)$$

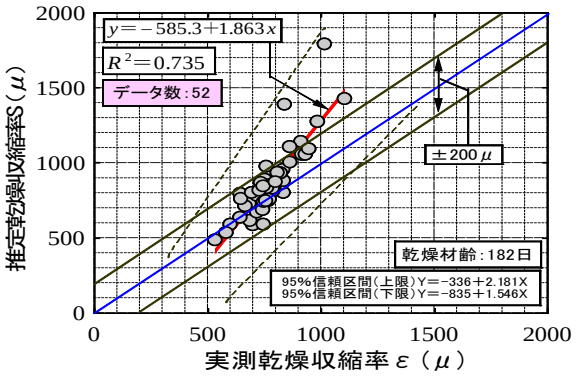
ここに，y ：実測乾燥収縮率 ε（μ）

x ：推定式(2)の係数 a

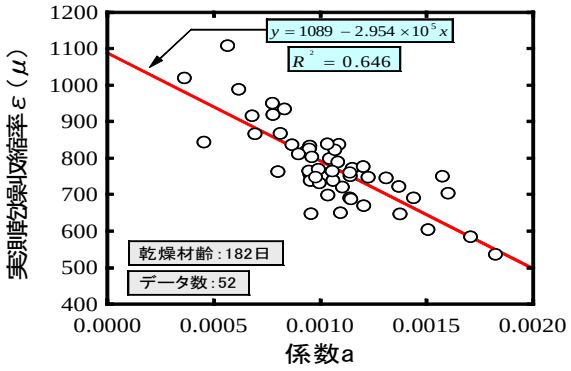
この関係式を用い，係数 a から第二段階の新たな推定乾燥収縮率となる補正推定乾燥収縮率 V を算出し，検討を進めることとした。前述の**表－4** には，この補正推定



図－7　試料④の実測および推定乾燥収縮率 S の推移



図－8　実測乾燥収縮率と推定乾燥収縮率 S の関係



図－9　係数 a と実測乾燥収縮率 ε の関係

乾燥収縮率 V も示している。ただし，ここで求められる補正推定乾燥収縮率 V は乾燥材齢 182 日の推定値であり，これ以前の乾燥材齢の V については，第一段階の推定乾燥収縮率 S の推移を参考にして，式(5)にて求めた。

$$V_x = \frac{-(S_{182} - S_x) \times (V_{182} - \varepsilon_{28})}{(S_{182} - \varepsilon_{28})} + V_{182} \qquad (5)$$

ここに，

V_x ：乾燥材齢 x 日における補正推定乾燥収縮率 V (μ)

S_{182} ：乾燥材齢 182 日における推定乾燥収縮率 S (μ)

S_x ：乾燥材齢 x 日における推定乾燥収縮率 S (μ)

V_{182} ：乾燥材齢 182 日における補正推定乾燥収縮率 V (μ)

ε_{28} ：乾燥材齢 28 日における実測乾燥収縮率 ε (μ)

前述の試料③を用い，式(4)および(5)によって再検討した補正推定乾燥収縮率 V の推移を，**図－10** に示す。乾燥材齢 182 日の実測乾燥収縮率 ε と補正推定乾燥収縮率 V の差は，係数 a の近似によって 27 μ と大幅に小さくなり，推定精度を向上することが可能となった。同様の検討を，**図－7** に示した試料④についても行った結果，乾燥材齢 182 日における両者の差は 112 μ と小さくなり，ここでも改善効果を確認することができた。52 試料を用いた乾燥材齢 182 日における実測乾燥収縮率 ε と補正推定乾燥収縮率 V の関係を，**図－11** に示す。±100 μ の範囲を逸脱している例がいくつか見られるものの，多くはこの範囲内にある。寄与率については，先の**図－2** のそれよりは劣っているものの，両者の相関は保持されていると言える。ここで重要なのは，精度の高い推定乾燥収縮率を，182 日までの乾燥材齢に亘って明らかにすることであり，当初の目的は達成することができたものと考えられる。

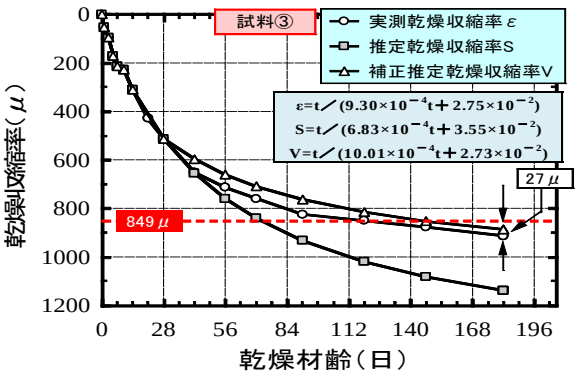
一連の検討によって，実測乾燥収縮率が 500～1000 μ 程度の範囲内であれば，双曲線を用いる推定式および推定式の係数 a と 52 例の実測乾燥収縮率の関係式を用い，乾燥材齢 182 日までの乾燥収縮率を比較的精度よく推定できることを明らかにすることができた。

4. まとめ

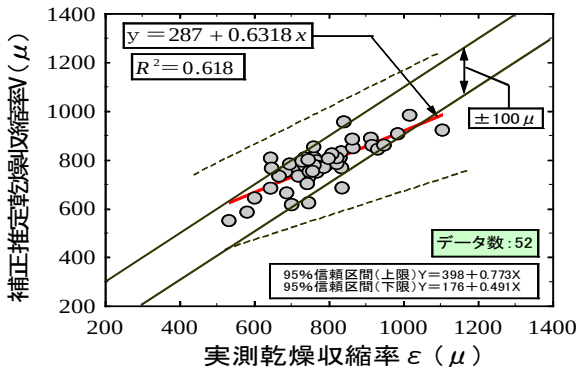
岩手県生コンクリート工業組合に加盟する全組合員 52 工場の乾燥収縮試験の結果をベースに，双曲線を用いる乾燥収縮率の早期推定法について検討した結果，明らかになった点は次のとおりである。

(1) 双曲線の推定式に，乾燥材齢 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，乾燥材齢 182 日までの乾燥収縮率を推定することができる。

(2) 双曲線の推定式の係数 a が 0.0008 以下となったコンクリートは，概ね JASS5 の乾燥収縮率の基準値を上回る可能性が高くなる。



図－10　試料③の補正推定乾燥収縮率 V の推移



図－11　実測乾燥収縮率と補正推定乾燥収縮率 V の関係

(3) 52 試料を対象とした推定式の係数 a と実測乾燥収縮率 ε の関係式を用いることによって，比較的精度の高い乾燥収縮率を推定することができる。

なお，本研究は岩手県生コンクリート工業組合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下記のとおりである。宇賀神尊信(岩手県生コンクリート工業組合・中央技術センター)，中澤岩男(同)，川代すが子(同)，山内茂樹(県南技術センター)，作間晋吾(同)，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) 百瀬晴基ほか：乾燥収縮迅速評価システムの開発，コンクリート工学，Vol.47，No.10，pp.23-29，2009.10

3) 足立裕介ほか：強制乾燥による長期材齢コンクリートの乾燥収縮率の評価方法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.503-508，2006.7

4) 今本啓一ほか：学会式と短期データを併用したコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.527-532，2006.7

5) 片平博ほか：コンクリートの乾燥収縮率を推定するための簡易評価指標に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.467-472，2010.7