

# 高性能減水剤を用いた高強度コンクリートの乾燥収縮および逸散水分の挙動について

庄 谷 征 美・米 谷 裕

Study on the Properties of Drying Shrinkage  
and Moisture Loss of High Strength Concrete

Produced by High Performance Water Reducing Admixtures.

Masami SHOYA・Hiroshi YONEYA  
(昭和53年10月31日受理)

## 1 はじめに

昨今、高性能減水剤の開発により、従来困難とされていた低水セメント比でのコンクリート施工が比較的容易に行えるようになり、その優れた特性が注目され長大スパンの橋桁や、PC構造物等に一部活用され始めてきている。

圧縮強度が500以上1000kg/cm<sup>2</sup>程度までのいわゆる高強度コンクリートについては、その諸特性に関し種々の貴重なる報告がされているが、体積変化に関連したクリープ、乾燥収縮、熱的性質等の特性についての研究は数少ない現状であり、今後高強度構造物の設計等に資するにはさらに多くのデータの集積が必要と思われる。

本研究は、入手できた2種類の高性能減水剤を広範な配合のコンクリートに使用し、その乾燥収縮に及ぼす影響を調べ、さらに水セメント比50%程度以下25%程度までのいわゆる低水セメント比領域における収縮および重量変化特性の検討から、収縮に及ぼす配合諸要因の影響や、内部水分の乾燥に伴なう変化特性等に焦点をあて考察を行ったものである。なお、本研究は継続中であり、解析結果は乾燥後250日程度までのデータに基づいていることを付記する。

## 2 実 験

### 2-1 使用材料および配合

セメントはアサノ普通ポルトランドセメントを使

昭和54年2月

用した。細骨材は、比重2.54、吸水率3.10%の雄物川河口砂を用い、粗骨材としては、最大寸法15mmの碎石および最大寸法25mmの川砂利を用い、前者は安山岩系碎石で比重2.63、吸水率2.53%のもの、後者の川砂利は比重2.57、吸水率2.65%であった。コンクリートに用いた高性能減水剤はNL-4000、マイティ150の2種であり、これらの物理的性質を表-1に示す。なお、高性能減水剤の記号として前者をP、後者をKで以後表わすものとする。

使用した配合は、表-2に示すように2つのシリーズに分かれており、シリーズIでは、土木学会減水剤規格(案)等に準じて、単位セメント量450kg/m<sup>3</sup>、スランプ8cm、最大寸法25mmの川砂利コンクリートで、基本をプレーンコンクリートとAEコンクリートにおき、それぞれ減水剤P、Kの添加量をメーカーの指示に従い減水率で8%、13%、20%程度となるよう調整し得た10種類の配合とした。シリーズIIでは、単位水量を160kg/m<sup>3</sup>から230kg/m<sup>3</sup>、単位セメント量を350kg/m<sup>3</sup>から750kg/m<sup>3</sup>に変えたプレーンコンクリートと減水剤P4.5%添加コンクリートに

表-1 高性能減水剤の性質

各 称	成 分	比 重	PH	混和剤の分類
NL-4000	高縮合トリアジン系化合物	1.13	7~9	減水剤標準型
マイティ150	β-ナフタリンスルホン酸ホルマリン縮合物のナトリウム塩	21.3 ± 0.01	9 ± 1 (5% 常温)	減水剤

表一 2：使用した配合  
 シリーズ I：単位セメント量450kg/m<sup>3</sup>，スランブ 8 cm  
 川砂利，川砂使用，最大寸法25mm

記号	最大寸法(mm)	スランブ(cm)	air (%)	W/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 対C量(%)
					W	C	S	G	
N	25	9.0	1.5	37.8	170	450	597	1110	—
P 8	〃	10.0	1.5	34.9	157	450	600	1138	P 2.3%
P13	〃	9.0	1.5	32.7	147	450	602	1161	P 3.4%
P20	〃	7.0	1.2	29.6	133	450	605	1194	P 4.5%
K 8	〃	8.5	1.5	34.9	157	450	600	1138	K 0.7%
K13	〃	10.5	2.0	32.7	147	450	602	1161	K 1.0%
K20	〃	6.0	2.0	29.6	133	450	605	1194	K 1.5%
AE	25	6.0	4.1	35.6	160	450	512	1133	AE剤 0.05%
AEP12	〃	10.0	3.6	31.6	142	450	526	1166	AE+P 3.4%
AEK12	〃	9.0	3.8	31.6	142	450	526	1166	AE+K 1.0%

高性能減水剤  
P・K 2種

AE剤  
ヴィンソル

シリーズII：プレーン(N)，高性能減水剤P4.5%添加，配合22種，碎石，川砂使用，最大寸法15mm

W	C (kg/m <sup>3</sup> )	スランブ				
		350 (〃)	450 (〃)	550 (〃)	650 (〃)	750 (〃)
160(kg/m <sup>3</sup> )	N	P	N	P	—	—
175 (〃)	N	P	N	P	P	—
190 (〃)	N	P	N	P	P	P
210 (〃)	—	P	N	P	P	P
230 (〃)	—	—	—	P	P	—

ついて計22種の配合とした。

### 2-2 供試体および試験概要

コンクリートの練りませには20ℓ容量強制攪拌型のモルタルミキサを準用して，これを行った。

供試体は JIS 型の10×10×40cm角柱を用いた。締固めは内部振動機により行い，打込み後材令1日で脱枠，以後所定材令まで標準水中養生を実施した。試験開始の材令は7日および28日で，揚水後直ちに試験に供した。

乾燥収縮および逸散水量試験は，R.H50%，20°Cの恒温恒湿室内で行い，測定は乾燥一週までは毎日，それ以後は序々に測定間隔を伸ばし250日以上継続している。収縮量は1/1000mm読みコンタクトゲージにより検長200mmで長面部の長さ変化として求めた，同一試験には，2本の供試体を使用した。重量は1gr感量10kg秤量の台秤を使用し測定を行った。シリーズIIの各配合においては，圧縮強度  $\sigma_c$  および  $\sigma_{28}$  をそれぞれ測定しており，加えて割線での静弾性係数も求め以後の解析に使用した。

## 3 実験結果

### 3-1 高性能減水剤添加の収縮に及ぼす影響

コンクリートの乾燥収縮に及ぼす高性能減水剤の影響を調べるため，表一 2 に示されるシリーズ I の10種の配合について実験を行った。先にも述べたよ

うにプレーンコンクリートと AE コンクリートを基本配合とし，減水剤 P，K をメーカーの指定量，即ち，減水率 8%，13%および20%以上達成のため前者 P では，セメント重量の2.3%，3.4%および4.5%，減水剤 K については同0.7%，1.0%および1.5%添加した。得られたスランブ値の傾向は所期の目標値 8 cm に ± 2 cm 以内が入っており，上記量の添加はほぼ妥当であったと考えられる。

試験の結果を表一 3 に示す。表中には重量減少率も併せて示し，また ( ) 内は基本配合の値を 1 とした場合の各配合における値を割合で示したものである。これより，高性能減水剤 P，K を添加した場合の乾燥収縮は，湿潤養生期間，添加量などの影響を受けていることがわかる。湿潤養生期間が7日では K20の配合を除けばすべて収縮は基本のプレーンあるいは AE コンクリートと同等かそれ以上の値を示すに対し，養生期間が28日の場合では K 8 を除いて基本コンクリート以下の収縮量となっている。また，減水剤 K を用いた場合は，添加により一たん収縮は増加するが，添加量の増加につれ逆に収縮が反比例的に減少する結果を示し，P では明瞭な傾向はみられない。これらより，減水剤自身の収縮増大作用と，養生期間の長短を含め添加による水和物の形態，構造特性の変化，さらに，減水効果の三者が，複雑に関連しあつて上記結果を示したものと考えられる。山本らの研究によれば，高性能減水剤を用いた場合，水和速度が遅延するとの報告がされているが，一般に水和速度が速まれば収縮は増大すること加認められており，単に水和の遅延では上記の傾向は説明できず，今後の検討を要する。

高性能減水剤を用いた高強度コンクリートの乾燥収縮および逸散水分の挙動について

表-3 減水剤添加の収縮および重量減少率におよぼす影響

		乾 燥 収 縮 ( $\times 10^{-4}$ )							重 量 変 化 率 (%)						
		5日	10日	30日	60日	100日	150日	250日	5日	10日	30日	60日	100日	150日	250日
7 日	N	1.03 (1.00)	1.85 (1.00)	4.20 (1.00)	5.70 (1.00)	6.99 (1.00)	7.80 (1.00)	8.51 (1.00)	1.66 (1.00)	2.05 (1.00)	2.75 (1.00)	3.22 (1.00)	3.52 (1.00)	3.76 (1.00)	4.01 (1.00)
	P8	1.25 (1.21)	2.12 (1.15)	4.40 (1.05)	6.21 (1.09)	7.31 (1.05)	7.93 (1.02)	8.46 (0.99)	1.21 (0.73)	1.53 (0.75)	2.09 (0.76)	2.49 (0.77)	2.71 (0.77)	2.85 (0.76)	3.07 (0.77)
	P13	1.17 (1.14)	2.15 (1.16)	4.45 (1.06)	6.19 (1.09)	7.22 (1.03)	7.84 (1.01)	8.65 (1.02)	1.13 (0.68)	1.41 (0.69)	1.91 (0.69)	2.25 (0.70)	2.45 (0.70)	2.57 (0.68)	2.77 (0.69)
	P20	1.65 (1.60)	2.42 (1.31)	4.75 (1.13)	6.55 (1.15)	7.63 (1.09)	8.45 (1.08)	8.98 (1.06)	1.12 (0.67)	1.37 (0.67)	1.85 (0.67)	2.16 (0.67)	2.36 (0.67)	2.48 (0.66)	2.62 (0.65)
	K8	1.61 (1.56)	2.76 (1.49)	5.44 (1.30)	7.52 (1.32)	8.83 (1.26)	9.65 (1.24)	10.25 (1.20)	1.30 (0.78)	1.64 (0.80)	2.23 (0.81)	2.63 (0.82)	2.89 (0.82)	3.06 (0.81)	3.26 (0.81)
	K13	1.66 (1.61)	2.86 (1.55)	5.45 (1.30)	7.41 (1.30)	8.67 (1.24)	9.55 (1.22)	9.90 (1.16)	1.27 (0.77)	1.59 (0.78)	2.10 (0.76)	2.47 (0.77)	2.68 (0.76)	2.85 (0.76)	3.01 (0.75)
	K20	0.92 (0.89)	1.54 (0.83)	3.57 (0.85)	5.30 (0.93)	6.30 (0.90)	73.3 (9.40)	75.9 (8.92)	1.14 (0.69)	1.39 (0.68)	1.90 (0.69)	2.22 (0.69)	2.40 (0.68)	2.58 (0.67)	2.68 (0.67)
	AE	1.47 (1.00)	2.25 (1.00)	4.90 (1.00)	6.75 (1.00)	7.83 (1.00)	8.84 (1.00)	9.13 (1.00)	1.63 (1.00)	2.04 (1.00)	2.62 (1.00)	3.03 (1.00)	3.26 (1.00)	3.47 (1.00)	3.64 (1.00)
	AEP12	1.40 (0.95)	2.37 (1.05)	5.02 (1.03)	7.12 (1.05)	8.10 (1.03)	9.12 (1.03)	9.43 (1.03)	1.39 (0.85)	1.69 (0.83)	2.25 (0.86)	2.59 (0.85)	2.77 (0.85)	2.98 (0.86)	3.10 (0.85)
	AEK12	1.48 (1.01)	2.45 (1.09)	5.03 (1.03)	6.80 (1.01)	7.80 (1.00)	8.81 (1.00)	9.03 (0.99)	1.34 (0.82)	1.65 (0.81)	2.20 (0.84)	2.52 (0.83)	2.73 (0.84)	2.91 (0.84)	3.05 (0.84)
28 日	N	1.15 (1.00)	1.86 (1.00)	3.90 (1.00)	5.49 (1.00)	6.70 (1.00)	8.03 (1.00)	8.28 (1.00)	1.30 (1.00)	1.66 (1.00)	2.33 (1.00)	2.84 (1.00)	3.16 (1.00)	3.14 (1.00)	3.65 (1.00)
	P8	0.78 (0.68)	1.48 (0.80)	3.60 (0.92)	5.55 (1.01)	6.71 (1.00)	8.02 (1.00)	8.31 (1.00)	1.09 (0.84)	1.35 (0.81)	1.95 (0.84)	2.34 (0.82)	2.55 (0.81)	2.79 (0.82)	2.92 (0.80)
	P13	1.00 (0.87)	1.92 (1.03)	4.04 (1.04)	5.84 (1.06)	6.99 (1.04)	8.04 (1.00)	8.30 (1.00)	0.96 (0.74)	1.16 (0.70)	1.69 (0.73)	2.00 (0.70)	2.20 (0.70)	2.44 (0.72)	2.55 (0.70)
	P20	1.08 (0.94)	1.75 (0.94)	3.80 (0.97)	5.70 (1.04)	6.67 (1.00)	7.82 (0.97)	8.20 (0.99)	0.92 (0.71)	1.21 (0.73)	1.69 (0.73)	1.99 (0.70)	2.17 (0.69)	2.37 (0.70)	2.54 (0.70)
	K8	1.28 (1.11)	2.06 (1.11)	4.05 (1.04)	6.43 (1.17)	7.55 (1.13)	8.45 (1.05)	9.04 (1.09)	1.12 (0.86)	1.44 (0.87)	2.01 (0.86)	2.37 (0.83)	2.56 (0.81)	2.80 (0.82)	3.00 (0.82)
	K13	0.85 (0.74)	1.57 (0.84)	3.55 (0.91)	5.57 (1.01)	6.65 (0.99)	7.57 (0.94)	8.13 (0.98)	1.06 (0.82)	1.34 (0.81)	1.88 (0.81)	2.20 (0.77)	2.39 (0.76)	2.60 (0.76)	2.75 (0.75)
	K20	0.85 (0.74)	1.40 (0.75)	3.11 (0.80)	4.99 (0.91)	6.02 (0.90)	7.18 (0.89)	7.62 (0.92)	0.93 (0.72)	1.20 (0.72)	1.71 (0.73)	1.99 (0.70)	2.17 (0.69)	2.37 (0.70)	2.51 (0.69)
	AE	0.95 (1.00)	1.78 (1.00)	3.98 (1.00)	5.91 (1.00)	6.88 (1.00)	8.09 (1.00)	8.47 (1.00)	1.23 (1.00)	1.60 (1.00)	2.23 (1.00)	2.60 (1.00)	2.85 (1.00)	3.08 (1.00)	3.26 (1.00)
	AEP12	0.70 (0.74)	1.35 (0.76)	3.38 (0.85)	5.06 (0.86)	6.08 (0.88)	7.05 (0.87)	7.54 (0.89)	0.97 (0.79)	1.28 (0.80)	1.86 (0.83)	2.16 (0.83)	2.38 (0.82)	—	—
	AEK12	1.00 (1.05)	1.75 (0.98)	3.78 (0.95)	5.71 (0.97)	6.76 (0.98)	7.75 (0.96)	8.06 (0.95)	1.08 (0.88)	1.42 (0.89)	1.98 (0.89)	2.27 (0.87)	2.47 (0.87)	—	—

いずれにせよ、収縮を抑えるには十分な湿潤養生が望まれ、減水剤の種類も注意が必要であろう。なお、重量減少率は、ほぼ添加量の多少による減水率にみあった形で減少する結果となった。

### 3-2 低水セメント比コンクリートの乾燥収縮および水分逸散特性

表-2中のシリーズIIの碎石コンクリートについて、水セメント比25%程度までの低水セメント比におけるコンクリートの収縮、水分逸散特性を検討した。本実験では、コンシステンシーをパイプレーターを用い十分に締固め可能な範囲とし、プレーンコンクリートと高性能減水剤Pをセメント重量の4.5%添加した減水剤添加コンクリートについて検討を加えた。

図-1に湿潤養生期間7日の場合、図-2に養生期間28日のコンクリートの乾燥収縮sと時間tの関係を示し、図-3には湿潤養生期間28日における逸散水量W'と時間tの関係を示した。これらは単位水量190kg/m<sup>3</sup>、水セメント比54%から25%までの五種の配合について対比して示してある。図-4には、上記の配合で、湿潤養生期間28日の場合の逸散水量

W'と収縮量Sの関係が示されている。

これより、収縮量は単位水量が一定の場合、水セメント比W/Cにより支配され、W/Cの低下に伴ない小さくなる傾向を有し、W/C25%では54%の場合に比べ乾燥250日では約7割程度の収縮量となっていることが理解できる。また、低水セメント比では、乾燥初期の収縮の立ち上りが収縮量の割に速くなっていることがうかがえる。これは、初期の乾燥で失なわれる逸散水量に占める自由水が低水セメント比コンクリートでは少ないことに帰因すると考えられる。

逸散水量は、W/Cの小さなほど少なくなり、乾燥後250日では、W/C25%で54%の約1/3程度に減少している。これは、前者では逸散水分の大部分がゲル水と考えられることに帰因するが、減水剤添加コンクリートとプレーンコンクリートで同一W/Cの場合をみると前者の方が逸散水量は少なく、減水剤添加による化学物理的作用のためコンクリートの内部よりの水分逸散が妨げられることも一つの要因と考えられる。

逸散水量W'と収縮量Sの関係から、高水セメント比より低水セメント比に変化するにつれ、乾燥初

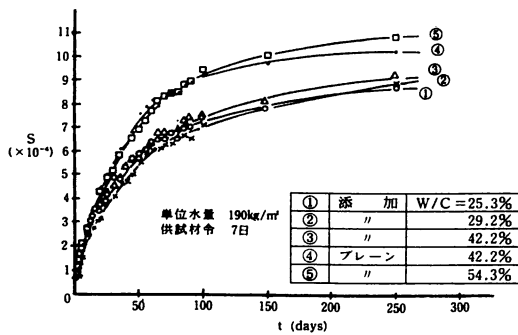


図-1 乾燥収縮と乾燥日数の関係

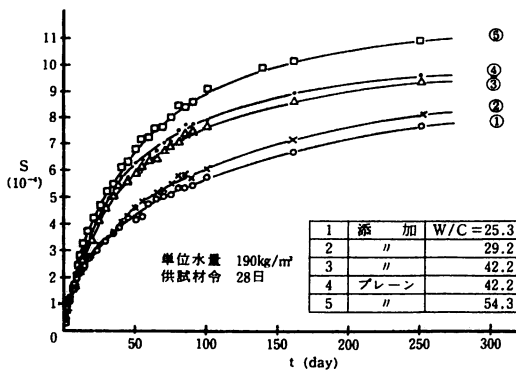


図-2 乾燥収縮と乾燥日数の関係

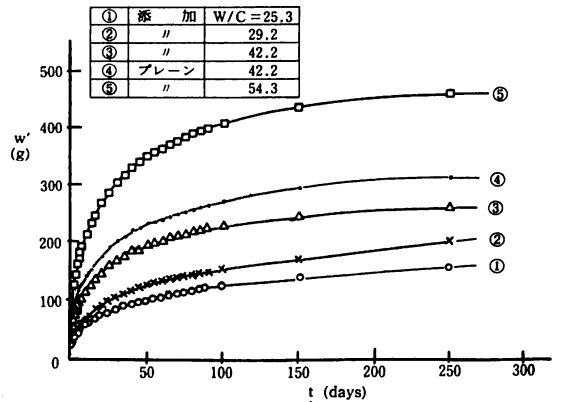


図-3 逸散水量と乾燥日数の関係

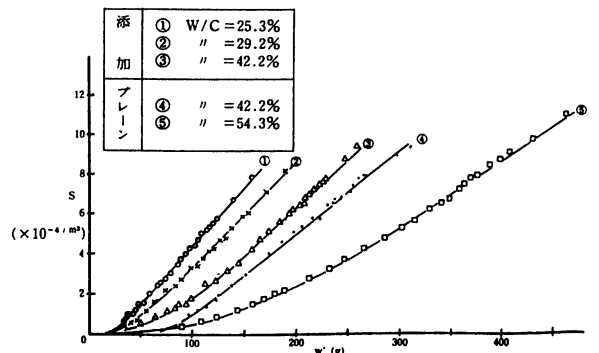
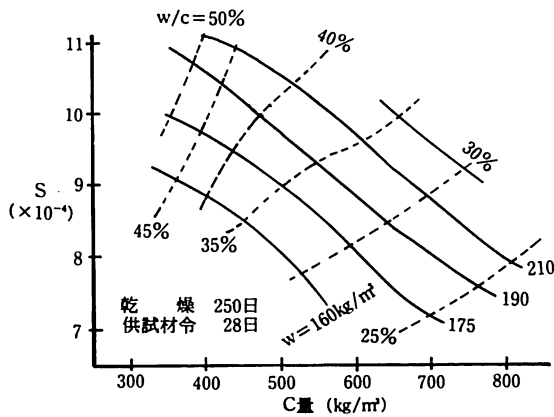
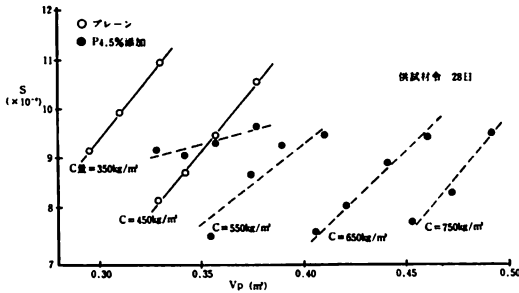


図-4 収縮量と逸散水量の関係

高性能減水剤を用いた高強度コンクリートの乾燥収縮および逸散水分の挙動について



図一五 収縮量と単位セメント量の関係



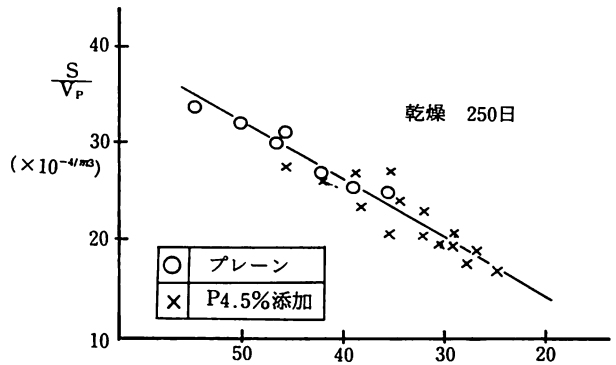
図一六 乾燥収縮量と単位ペースト量の関係

期の  $W \sim S$  関係の直線比例部が速やかに現われ、さらに直線部の勾配が急になる傾向にある。これは、ペースト濃度の相違によるゲル間隙、ポロシチーの分布等の内部構造の違いに帰因するものと考えられる。

3-3 配合諸要因と収縮の関係

配合要因の収縮に及ぼす影響を調べるため、図一五にセメント量  $C$  と乾燥後250日の収縮量の関係を単位水量  $W$  と水セメント比  $W/C$  をパラメータとして示した。一般に単位水量が同一のモルタル、コンクリートの収縮は同程度になることが認められているが、本研究のようなセメント量の多い低水セメント比域では同一単位水量であっても収縮は減少へ向う傾向を示すことがわかる。図一六は、配合より求めた単位ペースト量  $V_p$  と収縮量の関係を単位セメント量をパラメータにして示した。これより、同一セメント量であってもペースト量が増せば収縮は増大し、セメント量の増加によりこの増加割合も大きくなる傾向にあること、プレーンコンクリートと減水剤添加コンクリートではワーカビリチーが収

昭和54年2月



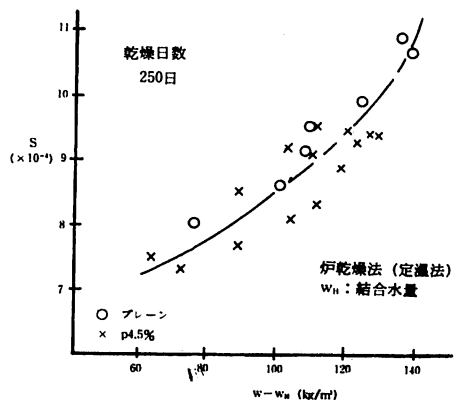
図一七 単位ペースト量当りの収縮量と水セメント比の関係

縮に影響していること、などが認められる。これらより、低水セメント比コンクリートでは、ペースト濃度、ペースト量の二者により収縮が支配されることが理解できる。図一七は、収縮量を単位ペースト量で除した  $S/V_p$  とペースト濃度の尺度として水セメント比  $W/C$  との関係を示したものである。単位ペースト量当りの収縮量は  $W/C$  とほぼ比例的な関係を有しており、次式のような関係で表わされる。

$$\frac{S}{V_p} = a + b (W/C) \quad (1)$$

上式の定数  $a, b$  を乾燥250日で計算すれば  $a=4.5, b=55 \times 10^{-4}/m^3$  程度となり、 $W/C$  の影響が大きいことが理解できよう。

さて、既に述べたように、収縮量はペースト濃度、ペースト量に支配されるにしても、収縮の一次的要因はコンクリートの保有している水量であろうと考えられる。しかし、低水セメント比域では図一六等で認められるように同一単位水量であってもセメン



図一八 収縮量と蒸発可能水分量との関係

ト量増大により収縮は減少する。これをセメント硬化体の内部組成的に考察すれば、未水和部分のセメントが収縮を拘束する効果として捉えうる。そこで、定温法による水和結合水の測定を行い、単位水量より結合水量  $W_H$  を差し引いた  $W - W_H$  と収縮量との関係を調べた。これを図-8に示す。これによると、両者の間にはほぼ比例的な関係が認められ、 $W - W_H$ 、即ちコンクリート中に占める蒸発可能なゲル水と自由水の和が収縮を支配していることが理解される。したがって収縮の主因は、これら蒸発可能水分の形成する毛細管張力によるものとの推察が可能である。

3-4 収縮と力学的特性の関連

乾燥収縮は、先にも述べたように配合的にはペースト量、 $W/C$  の影響を大きく受ける。従って、強度等の力学的性質との間にもある程度の関連性が予想される。

図-9は、湿潤養生28日後の揚水時の各配合における圧縮強度と乾燥250日における単位ペースト量当りの収縮量との関係を示したものである。これに

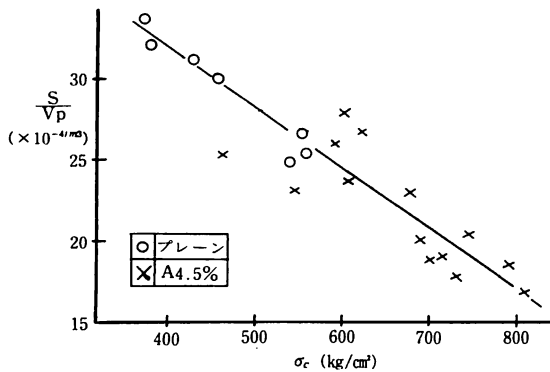


図-9 収縮量と28日圧縮強度の関係

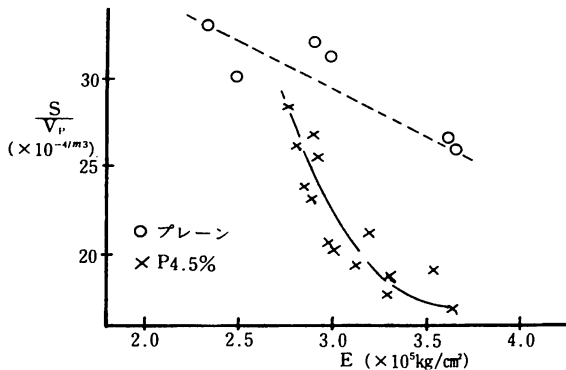


図-10 収縮量と28日弾性係数の関係

よると、先の(1)の式からも推察できるように、強度の増大は収縮を反比例的に減少させることが認められる。これは、長滝らの研究の成果と同様である。さらに、図-10には圧縮強度の1/3点で求めた静弾性係数との関係を図示した。プレーンコンクリートと減少剤添加コンクリートではその関係線は2分されるが、いずれにせよ収縮は弾性係数の増大により減少することが認められる。

以上より、力学的性質とりわけ圧縮強度は、収縮傾向の指標として利用できる可能性が明らかになったと思われる。

4 乾燥にともなう低水セメント比コンクリートの内部水分の挙動

低水セメント比コンクリートの内部水分の移動をとらえるために、水分逸散が線形の拡散方程式で表現できるとして解析を行った。水分の拡散方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\partial W'}{\partial t} = K \left( \frac{\partial^2 W'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W'}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W'}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$W'$ は逸散水分で、 $K$ は拡散係数、 $t$ は時間を表わし、 $x, y, z$ は直交座標系の三軸を示す。この解を求めるに当り、次の境界条件、初期条件等が成立する。

$$(\partial W'/\partial x)_{x=\pm a} = \pm f/K \cdot (W'_\infty - W)$$

$$(\partial W'/\partial y)_{y=\pm b} = \pm f/K \cdot (W'_\infty - W)$$

$$(\partial W'/\partial z)_{z=\pm c} = \pm f/K \cdot (W'_\infty - W)$$

$$t=0 \text{ で } S=0, \quad t=\infty \text{ で } W'=W'_\infty$$

これらの関係において、 $f$ は表面係数であり、 $W'_\infty$ は最終水分逸散量である。これら条件のもとで(2)式を解けば次式の解を得る。

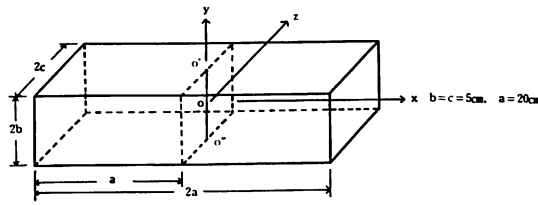
$$\frac{W'}{W'_\infty} = 1 - \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \beta_n \frac{x}{a} \cdot \cos \beta_m \frac{y}{b} \cdot \cos \beta_l \frac{z}{c}}{\cos \beta_n \cdot \cos \beta_m \cdot \cos \beta_l} F_n \cdot F_m \cdot F_l \times \exp \{ - (T_b \beta_n^2 + T_c \beta_m^2 + T_a \beta_l^2) \} \quad (3)$$

この解を  $x, y, z$  に関し平均化すれば次式のように平均逸散量  $W'_{av}$  が得られる。

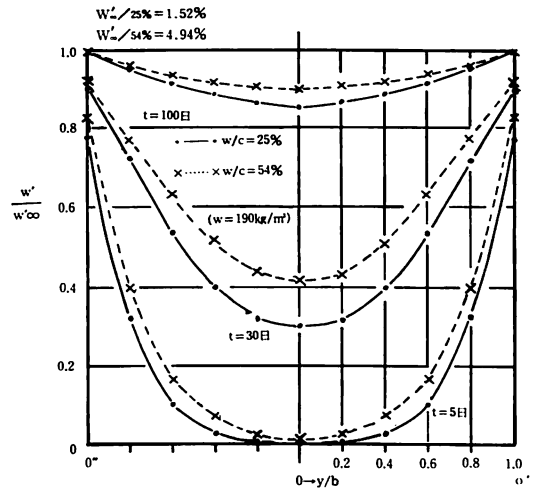
$$\frac{W'_{av}}{W'_\infty} = 1 - \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} H_n \cdot H_m \cdot H_l \cdot \exp \{ - (T_b \beta_n^2 + T_c \beta_m^2 + T_a \beta_l^2) \} \quad (4)$$

上式(3), (4)で、 $T_b = K \cdot t / b^2$ ,  $T_c = K \cdot t / c^2$ ,  $T_a = K \cdot t / a^2$  であり  $\beta_n, \beta_m, \beta_l$  は  $\beta_n \tan \beta_n = B_b = fb/K$ ,  $\beta_m \tan \beta_m = B_c = f \cdot C/K$ ,  $\beta_l \tan \beta_l = B_a = fa/K$  のそれぞれ  $n, m, l$  次根であり、 $F_n = 2 B_b / (B_b^2 + B_b + \beta_n^2)$ ,  $H_n = 2 B_b^2 / \beta_n^2 \cdot (B_b^2 + B_b + \beta_n^2)$  であり、 $F_m, F_l, H_m, H_l$  についても同様である。

高性能減水剤を用いた高強度コンクリートの乾燥収縮および逸散水分の挙動について



		t (day)	0~10	10~30	30~100	f · b/k
w/c 54%	kc/day	0.26	0.20	0.16	12.5	
	fc/day	0.65	0.50	0.40		
w/c 25%	kc/day	0.19	0.157	0.147	12.5	
	fc/day	0.475	0.392	0.367		



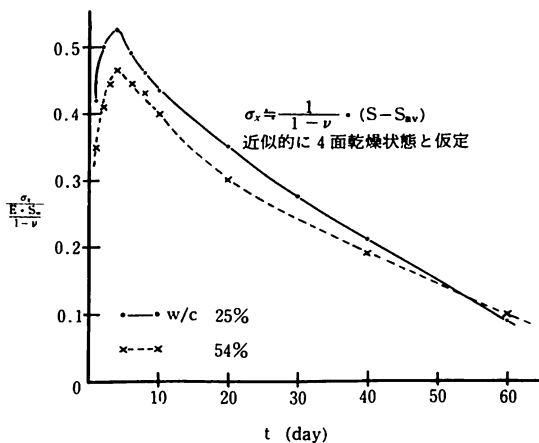
図一11 低水セメント比コンクリートの内部水分特性の評価

さて、六面乾燥体の  $W'_\infty$  として乾燥日数250日における  $W'_{av}$  の値を近似的にとり、式(4)を用いて拡散係数  $K$ 、表面係数  $f$  の算定を試みた。この手法は、詳しくは略すが  $B_0 = f \cdot b / K$  を与えておいて、 $T_0 = K \cdot t / b^2$  を数十種選び(4)式で  $W'_{av}$  を算定し実測の逸散水量との差が最小となる  $B_0$  を求め、 $K, f$  値を決めるものである。なお、 $K, f$  決定にあたり、乾燥後の日数を数段階に分けて、日数の経過により  $K, f$  値が段階ごとに減るように、又この際拡散方程式の線形が崩れぬように  $K$  と  $f$  の減少割合が同じになるよう処理した。この算定結果を用いて水セメント比25%の減水剤添加コンクリートと54%プレーンコンクリートについて内部の含水分布を(3)式より算出した。この結果を図一11に示す。図中には、 $K, f$  算定値と供試体座標、寸法および相対する二乾燥面の中心点

$O'O''$  点間の  $W'$  分布を示した。

これより、 $W/C25\%$  の場合乾燥の初期段階では  $W/C54\%$  に比べ  $K$  で約4割程度小さくなっていること、この比率が進めば徐々に減少してゆく傾向にあること、 $f \cdot b / K$  は比較的小さな有限値を示していることなどが認められる。含水分布の計算から、低水セメント比では相当に内部の乾燥が遅く、乾燥日数30日では、 $W'/W_\infty$  は  $W/C25\%$  では54%のそれより約15%程度も中心部では小さい結果を示している。

この  $W'/W_\infty$  を知って収縮応力の概算を試みたのが図一12である。これは、 $O'$  or  $O''$  点の  $x$  方向の収縮応力を近似的に平面ひずみ問題として求めたものである。この計算に当っては実測の  $W \sim S$  関係を利用した。 $W/C25\%$  の方が  $W/C54\%$  よりも多少ピークの応力は大きくなっており、実際に応力を試算してみると前者で  $140 \text{ kg/cm}^2$ 、後者で  $120 \text{ kg/cm}^2$  程度の値となり、低水セメント比の方がいく分大きめの応力を示す。しかし、クリープによる緩和、引張強度の大きさ等を考慮すれば上記弾性計算だけでひびわれに対する危険性を判定できないことは勿論であって、今後クリープ試験、ひびわれ抵抗性等の実験を通してさらに検討をする必要があると思われる。



5 結 言

高性能減水剤を用いた低水セメント比高強度コンクリートの乾燥収縮試験を実施し250日までのデータを基に次のような知見が得られた。

図一12 表面  $O'$  or  $O''$  点の収縮応力の概算結果

- (1) 本実験で用いた2種の高性能減水剤は、乾燥収縮をいく分増大させるが、湿潤養生を充分に行えば、添加の悪影響は無いと考えてよい。
- (2) 低水セメント比コンクリートでは、収縮量は水セメント比の低下とともに減少するが、乾燥の初期での立ち上がりはより速やかになる傾向にある。重量減少率はやはり低水セメント比になるほど低下するが、収縮のそれと比べると低下割合は相当に大きくなる。減水剤添加コンクリートではプレーンコンクリートに比べ同一配合であっても重量減少率が小さい結果を示した。
- (3) 低水セメント比コンクリートの収縮量  $S$  は、ペースト量  $V_p$  および濃度に影響され、ペースト量の少なく水セメント比  $W/C$  の小さい配合ほど減少し、 $a$ ,  $b$  を定数とする次式が成立することが認められた。
$$\frac{S}{V_p} = a + b (W/C)$$
- (4) 収縮量は自由水とゲル水の総量により支配されることが実験的に把握された。
- (5) 低水セメント比域では、収縮量の示標として圧縮強度を使用できる可能性が示された。

- (6) 計算により内部水分の挙動を調べた所、低水セメント比コンクリートでは、中心部の乾燥が相当に遅れる現象が認められた。この結果は収縮応力発現の機構に深く関わることであり、さらに手法を含め詳しく検討する必要がある。

#### 文 献

- (1) W・チェルニン「建設技術者のためのセメントコンクリート科学」(中根訳) 技報堂
- (2) 米倉亜州夫, 長滝重義「コンクリートのクリープ, 乾燥収縮に関する研究」土木学会第32回年次学術講演会講演概要, 1977年
- (3) 徳田弘, 川上洵, 加賀谷誠「富配合コンクリートの熱特性値の測定と二, 三の考察」材料26巻第283号 pp372~pp377, 1977年4月
- (4) 庄谷征美「低水セメント比コンクリートの乾燥収縮特性について」土木学会第33回年次学術講演会講演概要, 1978年
- (5) 山本泰彦, 小林正几「高性能減水剤の添加量がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響」セメント技術年報 XXX I, pp206~209, 1977年12月