

超高強度コンクリートのクリープおよび自己収縮性状

杉山 英祐・中込 昭・梶田 秀幸・宮野 和樹

Creep and Autogenous Shrinkage of Ultra High Strength Concrete

Eisuke SUGIYAMA, Akira NAKAGOME, Hideyuki KAJITA, Kazuki MIYANO

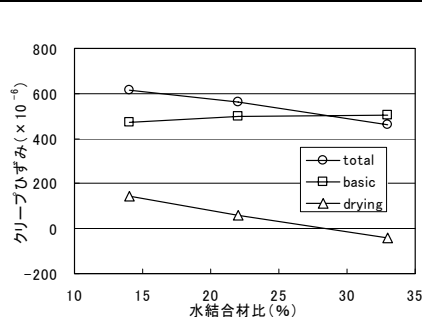


図 クリープひずみと水結合材比の関係（載荷日数 364 日）

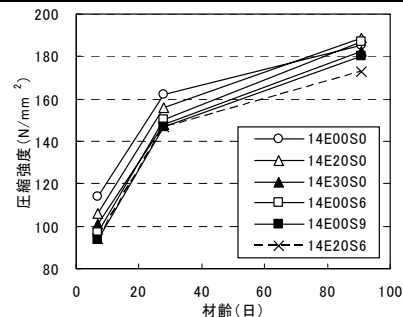


図 圧縮強度（膨張材・収縮低減剤の影響）

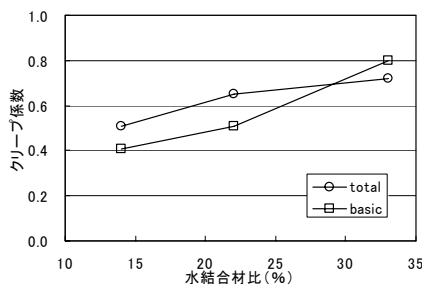


図 クリープ係数と水結合材比の関係（載荷日数 364 日）

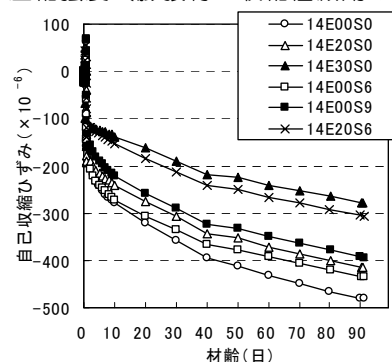


図 自己収縮ひずみ（膨張材・収縮低減剤の影響）

研究の目的

$F_c=100\text{N/mm}^2$ 以上の超高強度コンクリートの製造が実用化されるようになり、実際の建築物に適用され始めている。しかし、このような超高強度コンクリートのクリープ性状に関しては、十分にデータが蓄積されているとはいえない。また、超高強度コンクリートは、従来の高強度コンクリートより水結合材比が小さく、シリカフュームを混入するため、自己収縮が増大する傾向があり、ひび割れ発生等の不具合が懸念されるが、十分な検討がなされていないのが現状である。

本研究では、 $F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスの超高強度コンクリートのクリープ性状を確認するとともに、膨張材、収縮低減剤を混入した場合の超高強度コンクリートの強度発現性状と自己収縮の低減効果を実験的に検討した。

技術の説明

$F_c=150\text{N/mm}^2$ の超高強度コンクリートの実用化のための技術である。

主な結論

ベーシッククリープひずみは、水結合材比に関わらずほぼ一定であり、トータルおよびドライビングクリープひずみは、水結合材比が低いほどやや大きくなった。また、スペシフィッククリープひずみおよびクリープ係数は、水結合材比が低いほど小さくなった。自己収縮の低減率は、膨張材を使用した場合が大きく、収縮低減剤を使用した場合では小さい傾向がみられた。また、膨張材と収縮低減剤を併用することによって大きな収縮低減効果がみられた。材齢 91 日において、膨張材のみおよび収縮低減剤のみを使用したコンクリートの圧縮強度は、膨張材および収縮低減剤を使用していないコンクリートとほぼ同等の強度となった。しかし、膨張材および収縮低減剤を併用したコンクリートの圧縮強度は約 7%程度低下した。

超高強度コンクリートのクリープおよび自己収縮性状

杉 山 英 祐

中 込 昭

梶 田 秀 幸

宮 野 和 樹

要 旨

$F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスの超高強度コンクリートのクリープ性状を確認するとともに、膨張材、収縮低減剤を混入した場合の超高強度コンクリートの強度発現性状と自己収縮の低減効果を実験的に検討した。

実験の結果、ベーシッククリープひずみは、水結合材比に関わらずほぼ一定であり、トータルおよびドライイングクリープひずみは、水結合材比が低いほどやや大きくなった。また、スペシフィッククリープひずみおよびクリープ係数は、水結合材比が低いほど小さくなった。自己収縮の低減率は、膨張材を使用した場合が大きく、収縮低減剤を使用した場合では小さい傾向がみられた。また、膨張材と収縮低減剤を併用することによって大きな収縮低減効果がみられた。材齢91日において、膨張材のみおよび収縮低減剤のみを使用したコンクリートの圧縮強度は、膨張材および収縮低減剤を使用していないコンクリートとほぼ同等の強度となった。しかし、膨張材および収縮低減剤を併用したコンクリートの圧縮強度は約7%程度低下した。

キーワード 超高強度コンクリート／クリープ／自己収縮／膨張材／収縮低減剤

目 次

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. はじめに | 3. 自己収縮性状 |
| 2. クリープ性状 | 4. まとめ |

CREEP AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE

Eisuke SUGIYAMA
Hideyuki KAJITA

Akira NAKAGOME
Kazuki MIYANO

Synopsis:

The creep of ultra high strength concrete ($F_c=150\text{N/mm}^2$) were examined. Also the effect of expansive additive and shrinkage reducing admixture on strength and autogenous shrinkage of ultra high strength concrete were examined.

Results of the tests, basic creep strain were almost constant in these tests. Total creep strain and drying creep strain increased a little as the water-binder ratio decreased. Specific creep strain and the creep coefficient decreased as the water-binder ratio decreased. The reduced effect of expansive additive on autogenous shrinkage was more effective than of shrinkage reducing admixture. In case of using both expansive additive and shrinkage reducing admixture, the reduced effect was more effective than in case of using them separately. In age of 91 days, the compressive strength of the concrete mixed with expansive additive and with shrinkage reducing admixture were almost equal to the strength of concrete mixed without them. Also the strength of concrete mixed both expansive additive and shrinkage reducing admixture was lower about 7% than the strength of concrete mixed without them.

1. はじめに

近年、 $F_c=100\text{N/mm}^2$ 以上の超高強度コンクリートの製造が実用化されるようになり、 $F_c=130\text{N/mm}^2$ の超高強度コンクリートの実施工も報告されている¹⁾。また、 $F_c=150\text{N/mm}^2$ の超高強度コンクリートに関する研究も各機関で行われている。

しかしながら、 $F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスのコンクリートの性質は、十分に解明されているとはいえず、実用化にあたっては、力学的性質や耐久性に関するデータをさらに蓄積していくことが重要となる。特に、クリープ性状に関しては、陣内らの研究²⁾が報告されている程度で、十分なデータは蓄積されていないのが現状である。

また、超高強度コンクリートは、従来の高強度コンクリートより水結合材比が低く、シリカフュームを混入するため、自己収縮が増大する傾向があり、ひび割れ発生等の不具合が懸念される。そのため、自己収縮を低減する対策が必要とされている。

本研究では、 $F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスの超高強度コンクリートのクリープ性状を確認するとともに、膨張材、収縮低減剤を混入した場合の超高強度コンクリートの強度発現性状と自己収縮の低減効果を実験的に検討した。

2. クリープ性状

2.1 実験概要

(1) 使用材料および調合

表-1 に使用材料を示す。本実験では、セメントは低熱ポルトランドセメントを用い、シリカフュームは粉体状のものを使用した。

表-2 にコンクリートの調合を示す。コンクリートの設計基準強度として 150, 100, 60 N/mm^2 の 3 水準を想定し、それぞれの設計基準強度に対応する水結合材比を 14, 22 および 33% に設定した（調合記号：UH, H, N）。また、UH および H では、セメントの 10% を内割りでシリカフュームに置換した。

表-1 使用材料

材料	記号	種類	品質・特徴
セメント	C	低熱ポルトランドセメント	密度 3.22g/cm^3
細骨材	S	硬質砂岩砕砂	表乾密度 2.62g/cm^3
粗骨材	G	硬質砂岩砕砂	表乾密度 2.63g/cm^3
混和材	CSF	シリカフューム	密度 2.20g/cm^3
混和剤	HRA	高性能減水剤	ポリカルボン酸系

表-2 調合

調合名	W/C (%)	目標スランプフロー (cm)	目標空気量 (%)	単位量(kg/m^3)					HRA (C×%)
				W	C	S	G	CSF	
UH	14	68±10	1.5±1.0	150	964	411	871	107	1.6
H	22	65±10			614	741	868	68	1.3
N	33	55±7.5	3.0±1.5	165	500	805	901	-	0.9

(2) 練り混ぜ方法

コンクリートは容量 55 l の強制二軸ミキサを使用し、各調合において 32.5 l のコンクリートを 2 バッチ練り混ぜた後に、それらを合わせて試料 (65 l) とした。表-3 にコンクリートの練り混ぜ時間を示す。

表-3 コンクリートの練り混ぜ時間

調合名	空練り (秒)	注水後 (秒)	粗骨材投入後 (秒)
UH	60	240	120
H	60	90	90
N	0	60	60

(3) 試験方法

1) フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験は、スランプフローを JIS A 1150、空気量を JIS A 1128 に準じて行い、コンクリート温度を棒状温度計により測定した。

2) 圧縮強度およびヤング係数

圧縮強度は JIS A 1108 に準じて、ヤング係数は ASTM C 469 に準じて、標準養生における材齢 7, 28, 91, 182 および 364 日の 5 材齢で試験した。

3) クリープ

クリープ試験では、次式によって得られるトータルクリープひずみおよびベーシッククリープひずみを測定し、その結果からドラインククリープひずみを算出した。

$$\varepsilon_{ct} = \varepsilon_u - \varepsilon_e - (\varepsilon_d + \varepsilon_a) \quad [1]$$

$$\varepsilon_{cb} = \varepsilon_s - \varepsilon_e - \varepsilon_a \quad [2]$$

$$\varepsilon_{cd} = \varepsilon_{ct} - \varepsilon_{cb} \quad [3]$$

ここに、

ε_{ct} : トータルクリープひずみ

ε_{cb} : ベーシッククリープひずみ

ε_{cd} : ドラインククリープひずみ

ε_u : アンシール供試体の全ひずみ

ε_s : シール供試体の全ひずみ

ε_e : 載荷時弾性ひずみ

ε_d : 載荷後の乾燥収縮ひずみ

ε_a : 載荷後の自己収縮ひずみ

表-4 にクリープ試験用の供試体を示す。本実験では、クリープ試験における載荷用供試体の他に、クリープ試験開始以降の乾燥収縮および自己収縮ひずみを測定するための無載荷用の供試体を用意した。また、クリープ試験の載荷応力を設定するための圧縮強度試験用の供試体を用意した。これらの供試体は、型枠脱型後直ちに密封

し、クリープ試験開始まで恒温恒湿室（温度 20℃，相対湿度 60%）において養生した．その後，ベーシッククリープ用および自己収縮用の供試体は，表面をシール（エポキシ樹脂を塗布）して試験に供した．

表-4 クリープ試験用の供試体

測定対象	形状・寸法 (cm)	養生方法等		本数 (本)
		試験開始前	試験開始後	
ϵ_u	$\phi 7.5 \times 15$	密封養生 (20℃, 60%)	アンシール (載荷)	3
ϵ_s			シール (載荷)	3
$\epsilon_d + \epsilon_a$			アンシール (無載荷)	1
ϵ_a			シール (無載荷)	1
載荷時の 圧縮強度	$\phi 10 \times 20$	—		5

図-1 にクリープ試験装置の概要を示す．本実験では，コイルスプリング式の試験装置を使用し，同一水結合材比，シール種別ごとに，供試体を縦に 3 本重ねて設置した．そして，供試体側面に貼付した 2 枚の防水型ワイヤーストレインゲージによりひずみを測定した．

クリープ試験は材齢 28 日から開始した．試験開始に当たっては，表-4 中に示した供試体を用いて圧縮強度を測定し，その 1/3 を載荷応力とした．また，クリープ試験は恒温恒湿室内で行った．なお，載荷応力の許容範囲は $\pm 0.2\%$ とし，試験期間中に許容範囲を超えた場合には，その時期に関わらず，再載荷して許容差内に入るように載荷応力を調整した．

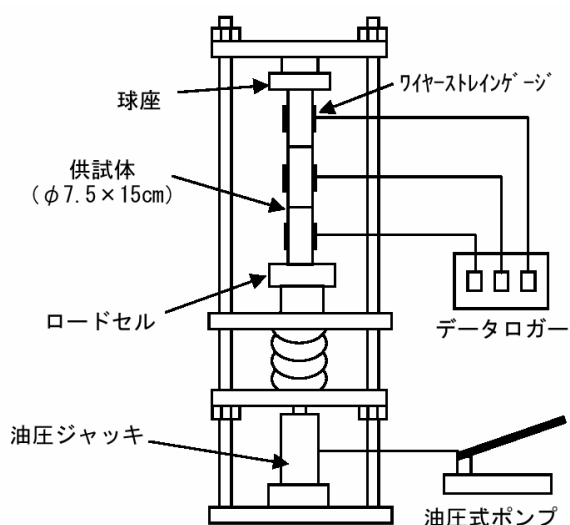


図-1 クリープ試験装置の概要

2.2 実験結果

(1) フレッシュコンクリート

表-5 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す．フレッシュコンクリートの性状は目標値を満足していた．

表-5 フレッシュコンクリート試験結果

調査名	スランプ フロー (cm)	50cmフロー 到達時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)
UH	68.3	27.0	0.6	23.0
H	65.3	24.0	1.9	24.0
N	59.5	26.0	2.4	24.0

(2) 圧縮強度およびヤング係数

図-2 に標準養生の場合の圧縮強度試験結果を，図-3 に標準養生の場合のヤング係数測定結果を示す．UH，H，N とともに，材齢 28 日において，想定した設計基準強度 150，100，60N/mm² をそれぞれ超えていた．圧縮強度は，材齢 28 日以降も材齢 182 日までは増進が見られた．ヤング係数は，材齢 28 日以降も材齢 91 日までは増進が見られた．

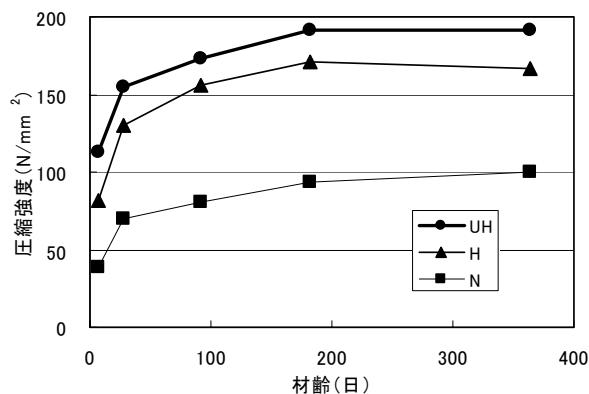


図-2 圧縮強度試験結果

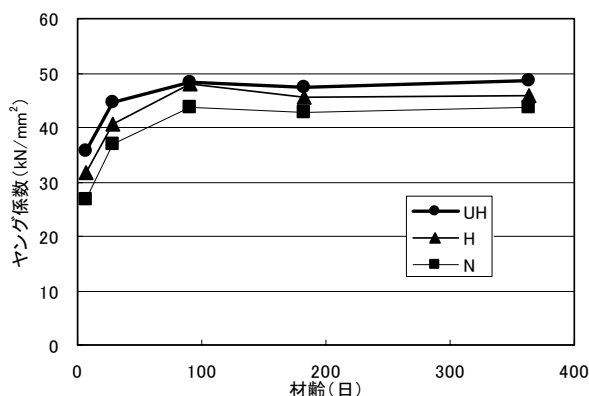


図-3 ヤング係数測定結果

(2) クリープ

1) 載荷応力および載荷時弾性ひずみ

表-6 にクリープ試験における載荷応力および載荷時弾

性ひずみを示す。水結合材比の低い供試体ほど、載荷応力および載荷時弾性ひずみが大きくなっていた。

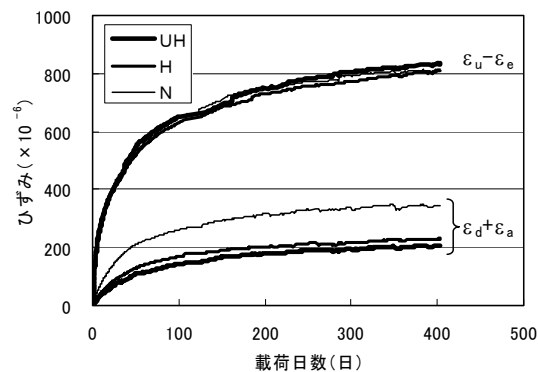
表-6 載荷応力および載荷時弾性ひずみ

供試体種別		載荷応力* (N/mm ²)	載荷時弾性 ひずみ(×10 ⁻⁶)
UH	アンシール	50.4±1.0	1188
	シーラ	(151.1)	1154
H	アンシール	40.1±0.8	858
	シーラ	(120.3)	978
N	アンシール	21.3±0.4	646
	シーラ	(63.9)	631

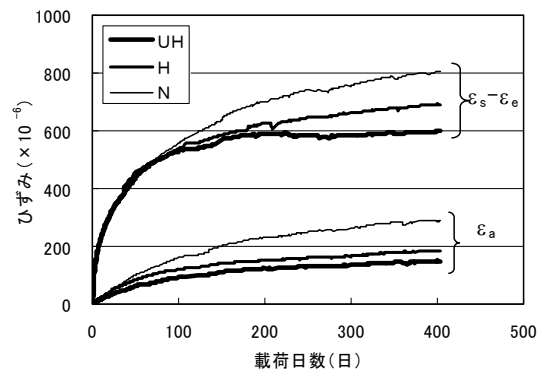
*()内は、密封養生供試体における材齢28日の圧縮強度を示す。

2) クリープ試験用の各種供試体のひずみ

図-4 に無載荷供試体のひずみを差し引く前のクリープひずみ ($\varepsilon_u - \varepsilon_e$ または $\varepsilon_s - \varepsilon_e$) および無載荷供試体のひずみ ($\varepsilon_d + \varepsilon_a$ または ε_a) の経時変化を示す。ここで、 $\varepsilon_u - \varepsilon_e$ および $\varepsilon_s - \varepsilon_e$ の値は 3 本の供試体の平均値であるが、一部のケースでは、3 本のうちの 1 本の供試体のひずみが試験途中から異常値を示したため、その場合には、2 本の供試体の平均値を示してある。トータルクリープの場合は、 $\varepsilon_u - \varepsilon_e$ が水結合材比に関わらずほぼ同一の曲線となっているのに対し、ベーシッククリープの場合は、水結合材比が低いほど $\varepsilon_s - \varepsilon_e$ が小さくなっていた。



(a)トータルクリープ用供試体のひずみ

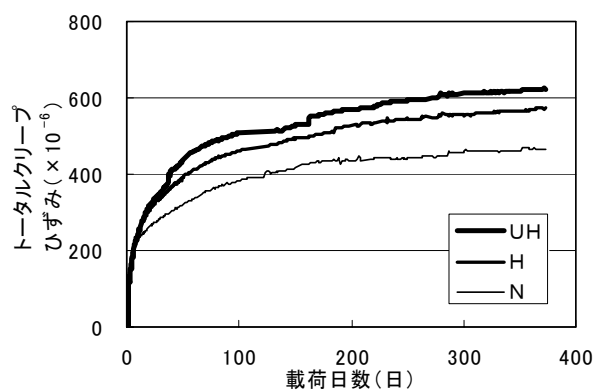


(b)トータルクリープ用供試体のひずみ

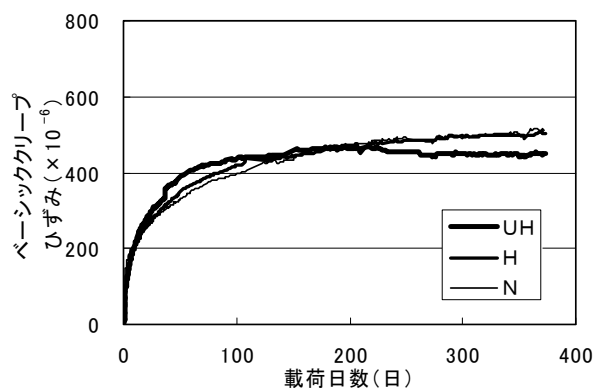
図-4 各種供試体のひずみ

3) 経時変化

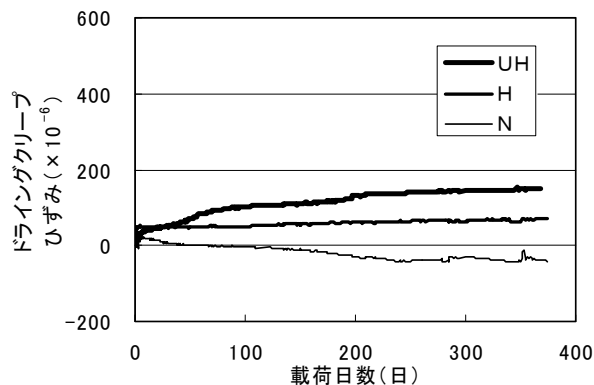
図-5 にトータル、ベーシックおよびドライングクリープひずみの経時変化を示す。トータルおよびベーシッククリープひずみは、UH, H, N のいずれの場合も、載荷初期に急激に増加し、時間の経過とともに増加率が徐々に小さくなっていた。また、N のドライングクリープひずみは載荷日数 50 日程度から負の値になっていた。この原因は定かではないが、高強度コンクリートのドライングクリープが負の値になったとの報告は他にもなされており³⁾、その機構については今後より本質的な検討が必要と考えられる。



(a)トータルクリープひずみ



(b)ベーシッククリープひずみ



(c)ドライングクリープひずみ

図-5 クリープひずみの経時変化

4) 水結合材比の影響

図-6 に荷重日数 364 日におけるクリープひずみと水結合材比の関係を示す。同図によると、ベーシッククリープひずみは、水結合材比に関わらずほぼ一定となっていた。すなわち、水結合材比はベーシッククリープにほとんど影響を及ぼさない。それに対して、トータルおよびドライングクリープひずみは、水結合材比が低くなるほどやや大きくなる傾向となっていた。

図-7 および図-8 に、スペシフィッククリープひずみ（クリープひずみ／荷重応力）およびクリープ係数（クリープひずみ／荷重時弾性ひずみ）と水結合材比の関係を示す。スペシフィッククリープひずみとクリープ係数は、水結合材比が低いほど小さくなっている。これは、図-6 と表-6 を比較すると、水結合材比の低下に伴うトータルおよびベーシッククリープひずみの変化量が、荷重応力や荷重時弾性ひずみの増加量に比べて小さいためである。

なお、これらのことは、コンクリート部材に作用する応力や弾性ひずみが同一な場合、水結合材比が低いほどクリープひずみが小さくなることを意味している。

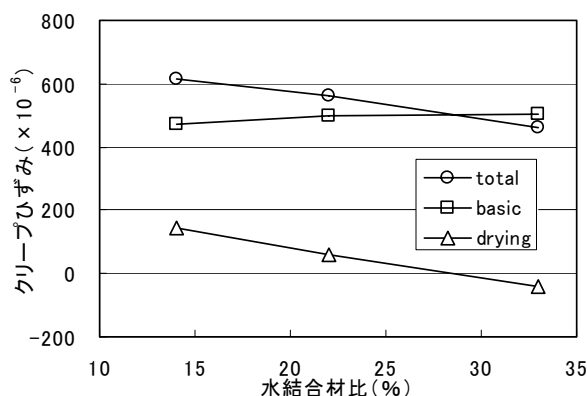


図-6 クリープひずみと水結合材比の関係（荷重日数 364 日）

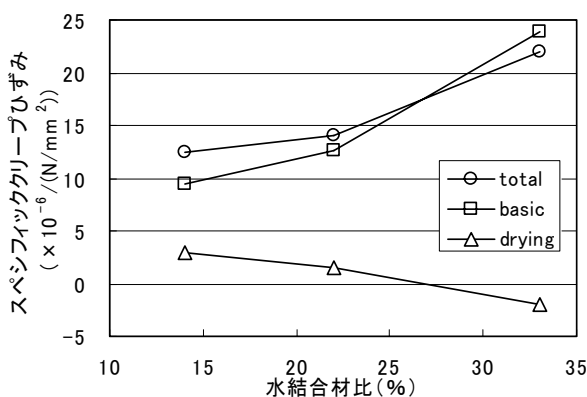


図-7 スペシフィッククリープひずみと水結合材比の関係（荷重日数 364 日）

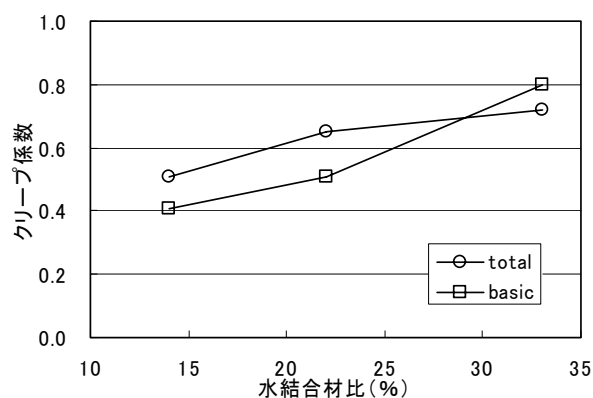


図-8 クリープ係数と水結合材比の関係（荷重日数 364 日）

3. 自己収縮性状

3.1 実験概要

(1) 使用材料および調査

表-7 に使用材料を、表-8 に調査を示す。調査は、水結合材比 14%で膨張材および収縮低減剤を使用していないものを基準調査とし、膨張材を使用したものを 20, 30kg/m³の 2 水準、収縮低減剤を使用したものを 6, 9kg/m³の 2 水準、膨張材 20kg/m³および収縮低減剤 6kg/m³を併用したもの、ならびに水結合材比 16, 20%で、膨張材および収縮低減剤を使用していないものについて検討した。ここで、膨張材は結合材と置換し、収縮低減剤は水と置換した。また、単位水量を 150kg/m³、単位粗骨材かさ容積を 0.54m³/m³で一定とし、目標スランプフローを 65±5cm、目標空気量を 1.0±0.5%とした。

表-7 使用材料

材料	記号	種類	品質・特徴
セメント	C	シリカフェウム混入セメント	密度:3.08g/cm ³
細骨材	S	硬質砂岩砕砂	表乾密度:2.68g/cm ³
粗骨材	G	硬質砂岩碎石	表乾密度:2.72g/cm ³
混和剤	HRA	高性能減水剤	ポリカルボン酸系
膨張材	E	石灰系	密度:3.20g/cm ³
収縮低減剤	SRA	低級アルコールアルキレンオキシド付加物	密度:1.00g/cm ³

表-8 調査

調査名	W/C (%)	目標スランプフロー (cm)	目標空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						HRA (C×%)
				W	C	S	G	E	SRA	
14E00S0	14	65±5	1.0±0.5	150	1071	419	871	-	-	3.0
14E20S0					1051	421		20	-	3.3
14E30S0					1041	421		30	-	3.3
14E00S6				144	1071	419		-	6	3.3
14E00S9				141	1071	421		-	9	3.3
14E20S6				144	1051	421		20	6	3.3
16E00S0	16	65±5	1.0±0.5	150	938	529	871	-	-	3.5
20E00S0	20				750	686		-	-	1.9

(2) 練り混ぜ方法

コンクリートは容量 100l の強制二軸ミキサを使用し、各調合において 75l 練り混ぜた。練り混ぜ時間は、20E00S0 の調合では、結合材と細骨材を投入後 30 秒間空練りし、その後注水して 90 秒間、最後に粗骨材を投入して 90 秒間練り混ぜた。それ以外の調合では、空練り 30 秒間、注水後 240 秒間、粗骨材投入後 120 秒間練り混ぜた。

(3) 試験方法

フレッシュコンクリートの試験は、スランブフローを JIS A 1150、空気量を JIS A 1128 に準じて行い、コンクリート温度を棒状温度計により測定した。

自己収縮の測定は、「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」⁴⁾に準じて行った。

圧縮強度は、JIS A 1108 に準じ、標準養生における材齢 7, 28, 91 日の 3 材齢で試験した。

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュコンクリート

表-9 にフレッシュコンクリート試験結果を示す。実験に使用したコンクリートのフレッシュ性状は、スランブフローは全ての調合において目標値を満足したが、空気量は一部目標を満足しないものがあった。

表-9 フレッシュコンクリート試験結果

調合名	スランブフロー (cm)	50cmフロー到達時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度(℃)
14E00S0	63.8	21.4	1.7	24.5
14E20S0	67.3	19.8	1.8	25.0
14E30S0	61.0	32.5	1.4	26.5
14E00S6	68.5	16.9	1.3	24.5
14E00S9	69.5	18.5	1.2	25.0
14E20S6	64.8	27.0	1.3	26.0
16E00S0	68.5	9.9	0.8	24.0
20E00S0	66.3	10.8	0.3	22.0

(2) 圧縮強度

図-9 に膨張材および収縮低減剤の置換量により比較した圧縮強度試験結果を示す。基準調合における材齢 91 日の圧縮強度は 185N/mm² となった。膨張材を使用したコンクリートの圧縮強度は、基準調合と比較して、材齢 7, 28 日において 6~14N/mm² 低下し、膨張材の置換量が増加すると、圧縮強度は低下したものの、材齢 91 日においては、ほぼ同程度となった。また、収縮低減剤を使用したコンクリートの圧縮強度は、基準調合と比較して、材齢 7 日において 17~20N/mm²、材齢 28 日において 12~15N/mm² 低下し、収縮低減剤の置換量が増加すると、圧縮強度は低下したものの、材齢 91 日においては、ほぼ同程度の値となった。膨張材および収縮低減剤を併用した

コンクリートの圧縮強度は、基準調合と比較して、材齢 7 日において約 19N/mm²、材齢 28 日において約 15N/mm²、材齢 91 日において約 12N/mm² 低下し、いずれの材齢においても膨張材および収縮低減剤の併用により圧縮強度の低下がみられた。両者を併用した場合、使用材料の種類や使用量などが複雑に影響しあうことが考えられ、今回のケースでは、単独で使用的場合よりも強度が低下したと思われる。

図-10 に水結合材比により比較した圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は、材齢 7, 28 日において、水結合材比 14%で 114N/mm²、162N/mm²、水結合材比 16%で 93N/mm²、151N/mm²、水結合材比 20%で 82N/mm²、133N/mm² となり、水結合材比が高くなると圧縮強度は低下した。材齢 91 日においては、水結合材比 14%で 185N/mm²、水結合材比 16%で 191N/mm²、水結合材比 20%で 172N/mm² となった。材齢 28, 91 日のいずれにおいても、水結合材比 14%の圧縮強度の増進は 16,20%と比較して小さくなった。これは、水結合材比 14%は、16,20%と比較して空気量が多く、その影響を受けたものと思われる。

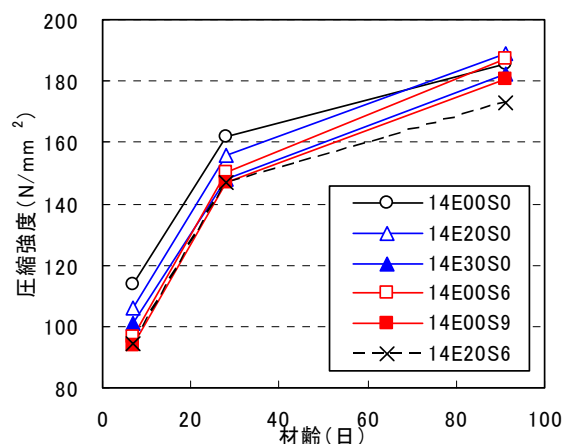


図-9 圧縮強度試験結果
(膨張材・収縮低減剤の影響)

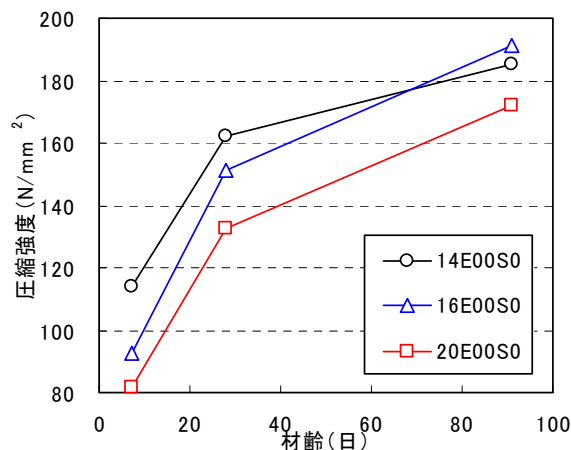


図-10 圧縮強度試験結果 (水結合材比の影響)

(2) 自己収縮

図-11 に膨張材および収縮低減剤の置換量により比較した自己収縮ひずみの測定結果を、図-12 に材齢 91 日における自己収縮ひずみの基準調合に対する各調合の収縮低減率を示す。基準調合の材齢 91 日の自己収縮ひずみは 480×10^{-6} となった。膨張材を使用したコンクリートの材齢 91 日の自己収縮ひずみは、 $E=20\text{kg/m}^3$ で 415×10^{-6} 、 $E=30\text{kg/m}^3$ で 277×10^{-6} となり、収縮低減率は 14%、42%と増加した。収縮低減剤を使用したコンクリートの材齢 91 日の自己収縮ひずみは、 $\text{SRA}=6\text{kg/m}^3$ では 434×10^{-6} 、 $\text{SRA}=9\text{kg/m}^3$ では 393×10^{-6} となり、収縮低減率は 10、18%と増加した。膨張材置換 20kg/m^3 および収縮低減剤置換 6kg/m^3 併用の場合は 306×10^{-6} となり、収縮低減率は 36%となった。膨張材、収縮低減剤を使用することにより自己収縮が低減し、置換量が増加すると低減率も増加する傾向がみられた。また、膨張材と収縮低減剤を併用した場合、それぞれ単独で使用した時の低減率より大きくなり、併用効果がみられた。

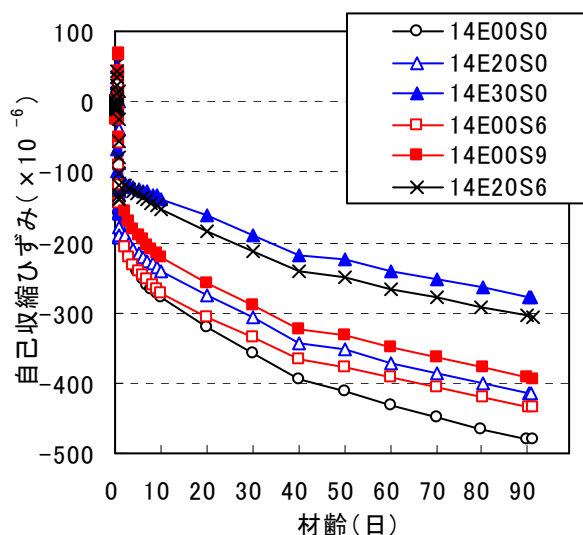


図-11 自己収縮ひずみ測定結果
(膨張材・収縮低減剤の影響)

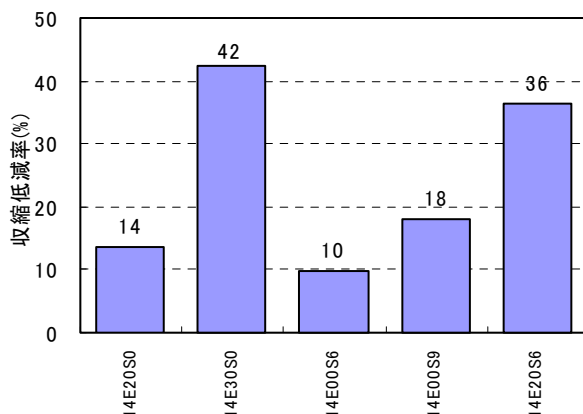


図-12 自己収縮ひずみの低減率 (材齢 91 日)

図-13 に水結合材比により比較した自己収縮ひずみの測定結果を示す。材齢 91 日の自己収縮ひずみは、水結合材比 14%と比較して、水結合材比 16%で 423×10^{-6} 、20%で 324×10^{-6} となった。水結合材比が高くなると自己収縮が低減する傾向がみられた。

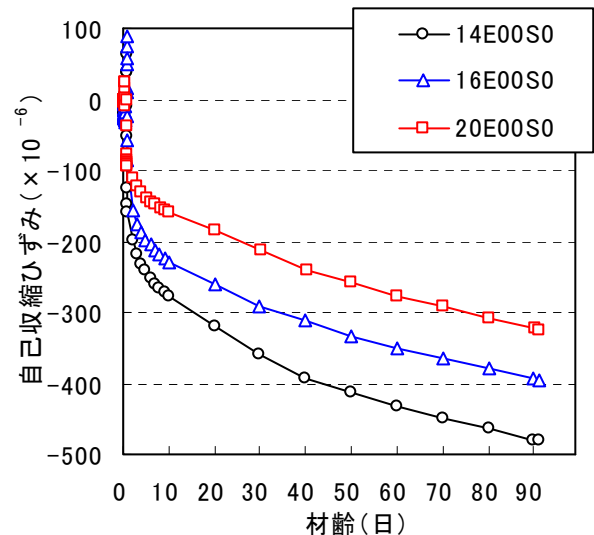


図-13 自己収縮ひずみの測定結果
(水結合材比の影響)

4. まとめ

本実験の範囲から得られた知見を以下に示す。

(1) クリープ性状

- 1) $F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスのコンクリートのベーシッククリープひずみは、 $F_c=60,100\text{N/mm}^2$ クラスのものとほぼ同程度であった。また、トータルおよびドライイングクリープひずみは、 $F_c=60,100\text{N/mm}^2$ クラスのものと比較してやや大きくなった。
- 2) スペシフィッククリープひずみおよびクリープ係数は、水結合材比が低いほど小さくなった。すなわち、作用する応力や弾性ひずみが同一な場合、 $F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスのコンクリートのクリープひずみは $F_c=60,100\text{N/mm}^2$ クラスのコンクリートと比較して小さくなった。

(2) 自己収縮性状

- 1) 材齢 91 日において、膨張材のみおよび収縮低減剤のみを使用したコンクリートの圧縮強度は、膨張材および収縮低減剤を使用していないコンクリートと比較して、ほぼ同等の強度となった。しかし、膨張材および収縮低減剤を併用したコンクリートの圧縮強度は低下した。
- 2) 自己収縮低減率は膨張材を使用した場合が大きく、収縮低減剤を使用した場合では小さい傾向がみられた。また、膨張材と収縮低減剤併用の場合の低減率は、それぞれ単独で使用した時の低減率を加算した低減率より大きくなり、併用することによって大きな収縮低減効果がみられた。

以上より、 $F_c=150\text{N/mm}^2$ クラスの超高強度コンクリートのクリープ性状を確認するとともに、膨張材、収縮低減剤を混入した場合の強度発現性状と自己収縮の低減効果を実験的に検討した。

クリープ性状に関しては、作用する応力や弾性ひずみが同一な場合、水結合材比が低いほどクリープひずみは小さくなることがわかった。クリープ性状は、使用材料、調合の影響等を受けることも考えられるため、解析等によるクリープの評価方法を検討する必要がある。一方、自己収縮性状に関しては、膨張材、収縮低減剤を混入した場合の自己収縮の低減効果を定量的に確認し、低減対策の目処をつけた。本実験の範囲から、所要の圧縮強度が得られる範囲で、水結合材比を極力高くすること、膨張材を使用することによって自己収縮を低減できることがわかった。なお、今後の課題として、実機レベルでの確認、解析による検討等を行う必要がある。

参考文献

- 1) 黒岩秀介，河合邦彦，小田切智明，嵐山正樹： $F_c130\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリートを用いた超高層集合住宅の施工，コンクリート工学，Vol.42，No.10，pp.44-49，2004
- 2) 陣内浩，榊田佳寛，早川光敬，並木哲： 180N/mm^2 クラスまでの高強度コンクリートの各種強度と長期力学特性，セメント・コンクリート論文集，第 57 号，pp.428-435，2003
- 3) 米倉亜洲夫：水分の逸散とクリープ，コンクリート工学，Vol.32，No.9，pp.37-42，1994
- 4) 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書（II），pp.209-210，1994