

デンカパワーCSA

技術データ集

電気化学工業株式会社
セメント・特混事業部
特 殊 混 和 材 部

◀ はじめに ▶

弊社は、長年にわたるポルトランドセメントの製造技術と経験をもとに、１９６４年、わが国で初めて膨張材「デンカＣＳＡ」を開発しました。さらに、１９８０年には「デンカＣＳＡ」に温度ひび割れの抑制として発熱抑制効果を付与した「デンカＣＳＡ１００Ｒ」を開発しました。

弊社は膨張性をもたらすエトリンガイトの生成をコントロールする材料設計手法を確立するとともに、一方で膨張材として遊離石灰の持つ潜在能力についても早くから着目し、遊離石灰の反応をコントロールする技術を高めてきました。膨張材のトップメーカーとして、膨張材の持つ特徴を十分に発揮させながら、新たに膨張材に求められる性能を兼ね備えた新しい概念の膨張材を開発するために、エトリンガイトの生成反応を制御する技術と遊離石灰の反応を制御する技術を集約させ、次世代を担う低添加型の高性能膨張材「デンカパワーＣＳＡ」を開発しました。「デンカパワーＣＳＡ」は低添加でありながら、従来の膨張材と同等の効果が得られ、コスト削減を実現します。

今日、土木・建築の技術は「仕様規定」から「性能規定」へと大きく流れを変え、コンクリートの品質に対する考え方も従来の圧縮強度重視から性能や耐久性重視に変化しており、膨張コンクリートの適用によって得られる効果をより定量的に評価することが求められております。また、昨今の各種新しい材料やコンクリートの多様化など、膨張材にもこれらの材料との併用性が強く求められるようになりました。

今般、「デンカパワーＣＳＡ」の技術データを、「物性編」、「施工編」の二編にとりまとめました。今後とも、より一層の品質の向上と研究開発に努め、コンクリート用の混和材のパイオニアとして、より良い製品を需要家の皆様にお届けいたします。

目次

第 I 編 物性編	1
第 1 章 デンカ パワー C S A	2
1. 1 デンカ パワー C S A のひび割れ低減効果	2
1. 2 デンカ パワー C S A	3
1. 3 デンカ パワー C S A の混和方法	4
1. 4 デンカ パワー C S A の水和反応	8
1. 5 保管方法	9
第 2 章 物理・化学的性質	10
2. 1 化学成分	10
2. 2 物理的性質	10
2. 3 強熱減量	11
第 3 章 フレッシュコンクリート	12
3. 1 スランプ	12
3. 2 空気量	15
3. 3 凝結	16
3. 4 ブリーディング率	22
第 4 章 硬化コンクリート	26
4. 1 膨張特性	26
4. 2 乾燥収縮	39
4. 4 引張強度	55
4. 5 弾性係数	56
4. 6 耐久性	57
4. 7 断熱温度上昇特性	59
4. 8 温度応力試験	62

第Ⅱ編 施工編	63
第1章 はじめに	64
1. 1 はじめに	64
1. 2 膨張コンクリートの規準、規格	64
第2章 製造と施工	65
2. 1 製造	65
2. 2 施工	69
第3章 寒中コンクリート	72
3. 1 寒中コンクリート	72
3. 2 寒中コンクリートにおける注意点	72
3. 3 膨張コンクリートの練混ぜ	73
第4章 暑中コンクリート	75
4. 1 暑中コンクリート	75
4. 2 暑中コンクリートにおける注意点	76
4. 3 遅延型の減水剤との併用	77
第5章 低熱セメントとの併用	78
5. 1 膨張材と低熱セメントとの併用時における注意点	78
5. 2 低熱セメントの銘柄による影響	79
5. 3 型枠の存置期間と圧縮強度	79
5. 4 模擬試験体での評価	81
5. 5 膨張特性	82
第6章 他の混和材（剤）との併用	83
6. 1 減水剤との併用	83
6. 2 流動剤との併用	84
6. 3 防水材との併用	85
6. 4 繊維との併用	86
6. 5 収縮低減剤との併用	87
6. 6 白色セメントとの組合せ	88
第7章 パワーC S Aを用いた膨張モルタル	89
第8章 ひび割れ抑制効果	91
8. 1 乾燥収縮ひび割れの低減効果	91
8. 2 デッキスラブ	92
8. 3 浄水場	93
8. 4 橋梁下部工の耐震補強	94

《関連基準》

規格番号	規格名称
JIS A 6202	コンクリート用膨張材
JIS A 1101	コンクリートのスランプ試験方法
JIS A 1108	コンクリート圧縮強度試験方法
JIS A 1113	コンクリートの割裂引張強度試験方法
JIS A 1123	コンクリートのブリーディング試験方法
JIS A 1128	フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法－空気室圧力方法
JIS A 1129	モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法
JIS A 1147	コンクリートの凝結時間試験方法
JIS A 1148	コンクリートの凍結融解試験方法
JIS A 1149	コンクリートの静弾性係数試験方法
JIS A 1152	コンクリートの中性化深さの測定方法
JIS A 1153	コンクリートの促進中性化試験方法
JIS A 1156	フレッシュコンクリートの温度測定方法
JIS A 5308	レディーミクストコンクリート
JIS R 5202	ポルトランドセメントの化学分析方法
JIS R 5210	ポルトランドセメント

《コラム》

1	膨張コンクリートのケミカルプレストレスとケミカルプレストレイン	p.2
2	デンカパワーCSAとエトリンガイト	p.9
3	膨張材の保管、取り扱いについて	p.11
4	「膨張材」と「膨張剤」	p.13
5	「ひずみ」とは？	p.27
6	JIS A 6202 附属書2 A法とB法の違い？	p.32
7	膨張材「デンカ パワーCSA」と「収縮低減剤」	p.36
8	仕事量一定則の概念	p.38
9	コンクリートの長さ変化評価試験は2種類存在する	p.42
10	練上りのコンクリートの温度	p.74

第 I 編 物性編

第1章 デンカ パワーCSA

1. 1 デンカ パワーCSA のひび割れ低減効果

コンクリート用膨張材「デンカ パワーCSA」は、45 年以上の実績を持つ膨張材「デンカ CSA」を基に、エトリンガイトの生成反応を制御する技術と遊離石灰の反応を制御する技術を集約させて開発した低添加型のコンクリート用膨張材です。

「デンカ パワーCSA」を用いた膨張コンクリートは、図 1-1-1 に示すように初期に導入した膨張ひずみの分だけひずみを膨張側に移動させて、乾燥などの収縮ひずみを低減します。すなわち、後の収縮に備えて膨張ひずみを「蓄え」として導入します。同様に、応力は導入された圧縮応力度であるケミカルプレストレスの分だけ圧縮側に移動します。これが後の引張応力に対する「蓄え」となります。コンクリートのひび割れは、作用応力度が、その時点のコンクリートの引張強度を超過したときに発生しますが、膨張コンクリートでは「蓄え」がある分、ひび割れ抵抗性が高くなります。

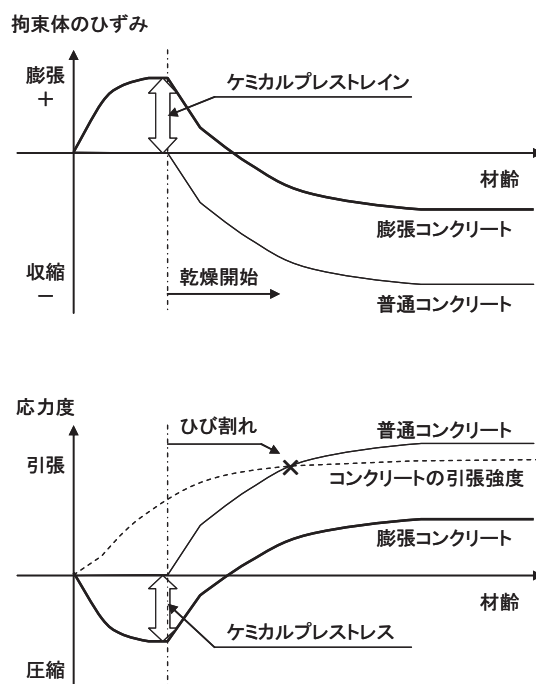
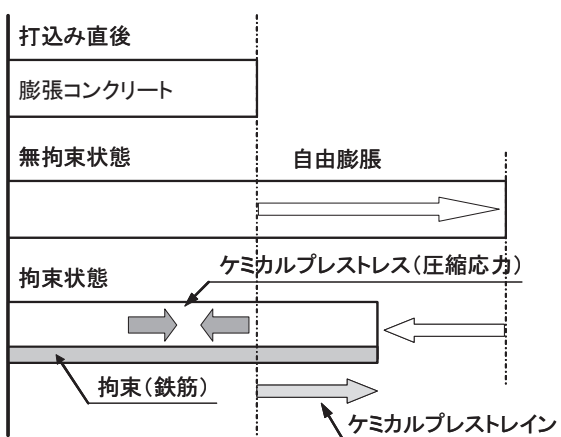


図 1-1-1 膨張コンクリートの収縮補償

【コラム 1】膨張コンクリートのケミカルプレストレスとケミカルプレストレイン

膨張コンクリートの膨張力が、鉄筋や既設の構造物などに拘束されると、膨張コンクリートには圧縮応力度であるケミカルプレストレスが、拘束体には引張ひずみであるケミカルプレストレインが生じて力の釣り合い条件を満足します。膨張コンクリートのケミカルプレストレスは、機械的に圧縮力を導入するプレストレストコンクリートと同様にコンクリートのひび割れ抵抗性を向上させます。



1. 2 デンカ パワーCSA

コンクリート用膨張材「デンカ パワーCSA」は、用途目的に応じて、以下の三品種を用意しております。

(1) デンカ パワーCSAタイプS

一般の土木・建築用途を対象とした収縮補償用のコンクリート用膨張材です。

(2) デンカ パワーCSAタイプR

通常の膨張材に水和抑制効果を付与したもので、温度ひび割れが懸念されるマスコンクリート用に最適化しております。

(3) デンカ パワーCSAタイプT

トンネルの覆工コンクリートを対象として最適化した膨張材です。

表 1-2-1 「デンカ パワーCSA」の種類

	用途
デンカ パワーCSA タイプS	土木・建築全般
デンカ パワーCSA タイプR	マスコンクリート用
デンカ パワーCSA タイプT	トンネルの覆工コンクリート用



パワーCSAタイプS



パワーCSAタイプT



パワーCSAタイプR

図 1-2-1 パワーCSAの荷姿（イメージ）

1. 3 デンカ パワーCSAの混和方法

(1) 標準使用量（標準単位量）

コンクリートの収縮補償を目的とする「デンカ パワーCSA」は、コンクリート 1 m^3 に対して 20 kg を混和することを標準としております。「デンカ パワーCSA」は、従来型の膨張材よりも少ない単位量で同等の膨張性能を得ることができる低添加型の膨張材です。

「デンカ パワーCSA」の使用量が標準使用量よりも少ないと、所定の性能（膨張ひずみ）を満足できない場合があります。また、標準使用量よりも多すぎると圧縮強度の低下を引き起こすことがあります。

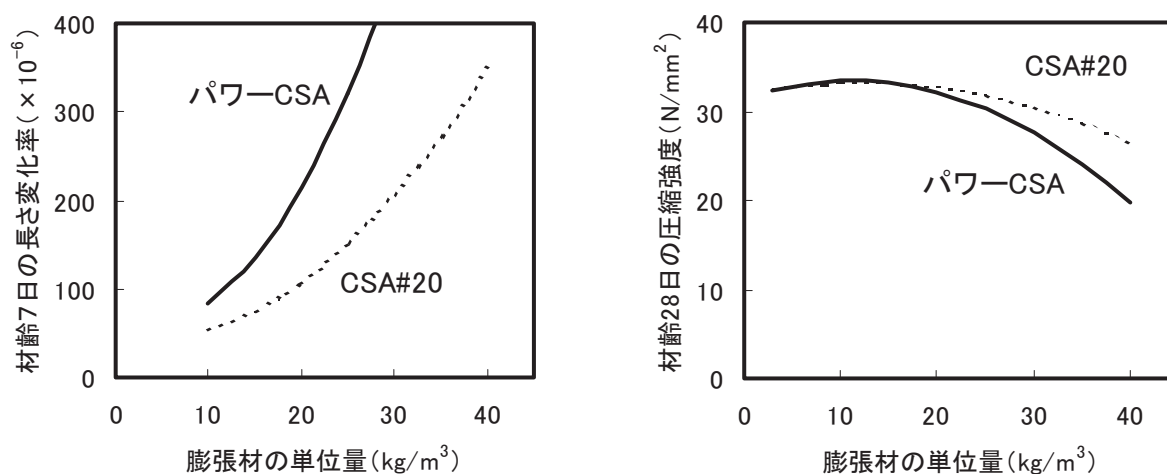


図 1-3-1 「デンカ パワーCSA」の長さ変化率と圧縮強度の一例

（２）混和方法

「デンカ パワーC S A」は、表 1-3-1 に示すようにセメントに置き換えて混和する方法が一般的です。ただし、単位セメント量が少ないコンクリートの配合の場合には、表 1-3-2 に示すように細骨材に置き換えて混和してください。

表 1-3-1 配合（調合）例（セメントに置き換える場合）

	W/C (%)	W/ (C+Ex) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水 W	セメント C	膨張材 Ex	細骨材 S	粗骨材 G
普通 コンクリート	55.2	55.2	46.0	160	290	—	857	1007
膨張 コンクリート	59.3	55.2	46.0	160	<u>270</u>	<u>20</u>	857	1007

空気量：4.5%、骨材の表乾密度は 2.65g/cm³ で算定

表 1-3-2 配合（調合）例（細骨材に置き換える場合）

	W/C (%)	W/ (C+Ex) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水 W	セメント C	膨張材 Ex	細骨材 S	粗骨材 G
普通 コンクリート	53.0	53.0	42.0	143	270	—	808	1116
膨張 コンクリート	53.0	49.3	41.5	143	270	<u>20</u>	<u>791</u>	1116

空気量：4.5%、骨材の表乾密度は 2.65g/cm³ で算定

(3) デンカ パワーCSAタイプT (トンネルの覆工コンクリートに適用する場合)

トンネルの覆工コンクリートの配合の多くは、単位セメント量の小さい配合となります。単位セメント量の小さい配合では、セメントに対する膨張材の割合が多くなるため、「デンカ パワーCSAタイプT」を使用する場合には、膨張材を細骨材に置換して混和してください。単位結合材量（単位セメント量と単位膨張材量の合計：C+Ex）に対する膨張材の混和割合が 7.0%以上になる場合には、圧縮強度の低下を引き起こす可能性がありますので試験練り等で事前にご確認ください。

(4) デンカ パワーCSAタイプR

「デンカ パワーCSAタイプR」は、水和を抑制する水和抑制剤を一定量添加しております。「デンカ パワーCSAタイプR」の使用量が多くなると、これに応じてコンクリート中の水和抑制剤の添加量が多くなり、水和熱の抑制効果は向上しますが、凝結の遅れや初期強度が低下する可能性があります。このため、「デンカ パワーCSAタイプR」は、標準使用量 20kg/m³ までのご使用をお願いします。標準使用量と異なる場合には、試験練り等で事前にご確認ください。

(5) 単位セメント量の最小値

膨張コンクリートは、単位セメント量が少ない場合には単位セメント量に対する単位膨張材量の比率が大きくなり、圧縮強度が低下する場合があります。セメントと膨張材を含む単位結合材量（C+Ex）の最小値を 290 kg/m³ 以上としてください。

図 1-3-2 は、水結合材比（W/C+Ex）を 55%と固定し、単位結合材量（C+Ex）と材齢 28 日の圧縮強度の関係を示した一例です。単位結合材量（C+Ex）が 290 kg/m³ 以上の膨張コンクリートは、膨張材を混和しない普通コンクリートと同等の圧縮強度を示しますが、単位結合材量（C+Ex）が 290 kg/m³ よりも少ない場合に圧縮強度が低下する場合がありますので、試験練り等で事前にご確認ください。

上記以外の場合には、膨張コンクリートの単位セメント量は、関連する学協会の指針類に従って設定し、試験練り等により事前に確認して使用してください。

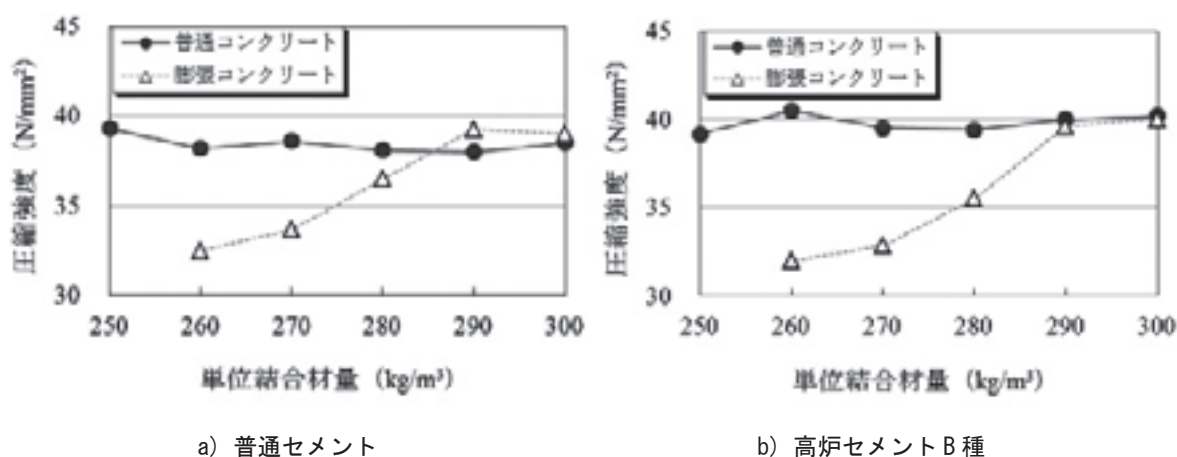


図 1-3-2 単位セメント量が小さい膨張コンクリートの圧縮強度

《日本建築学会の場合》

日本建築学会「膨張材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針案・同解説」では、単位セメント量（膨張コンクリート 1m³に含まれるセメントと膨張材の重量の和）の最小値は、普通コンクリートで 290 kg/m³ 以上、軽量コンクリートで 300kg/m³ 以上と定められています。普通コンクリートでは、膨張材を含む結合材の単位量を 290kg/m³ 以上となるように調合してください。

《土木学会の場合》

土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編〕」では、膨張コンクリートの単位セメント量の最小値として 260kg/m³ が定められています。

単位セメント量が少ない配合を使用する場合には、試験練り等で事前にご確認ください。なお、単位セメント量が 270kg/m³ よりも小さい場合には、単位セメント量に対する膨張材の混和割合が大きくなり、圧縮強度の低下を引き起こす場合があるため、表 1-3-2 に示すように膨張材を細骨材に置き換えて混和してください。

表 1-3-3 標準的な膨張材の混和方法の一例

	日本建築学会	土木学会
タイプ S	単位セメント量：290kg/m ³ 以上 → 膨張材 20kg/m ³ をセメントに置換 ※単位結合材量の下限值は 290kg/m ³	単位セメント量：260kg/m ³ 以上 → 膨張材 20kg/m ³ を細骨材に置換 単位セメント量が 280 kg/m ³ 以上 → 膨張材 20kg/m ³ をセメントに置換 → 膨張材 20kg/m ³ を細骨材に置換 ※単位セメント量は、260 kg/m ³ 以上
タイプ T	—	単位セメント量：260kg/m ³ 以上 → 膨張材 20kg/m ³ を細骨材に置換
タイプ R	単位セメント量：290kg/m ³ 以上 膨張材 20kg/m ³ をセメントに置換 ※単位結合材量の下限值は 290kg/m ³	単位セメント量：260kg/m ³ 以上 → 膨張材 20kg/m ³ を細骨材に置換 単位セメント量が 280 kg/m ³ 以上 → 膨張材 20kg/m ³ をセメントに置換 → 膨張材 20kg/m ³ を細骨材に置換 ※単位セメント量は、260 kg/m ³ 以上

1. 4 デンカ パワーCSAの水和反応

「デンカ パワーCSA」の水和反応の機構を図1-4-1に示します。

「デンカ パワーCSA」をセメントに適量混合して水と練混ぜた場合、水和反応によって主としてエトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) および水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を生成します。「デンカ パワーCSA」は、その結晶力でモルタルやコンクリートを膨張させます。

「デンカ パワーCSA」は、下記の反応で水和反応を生じます。

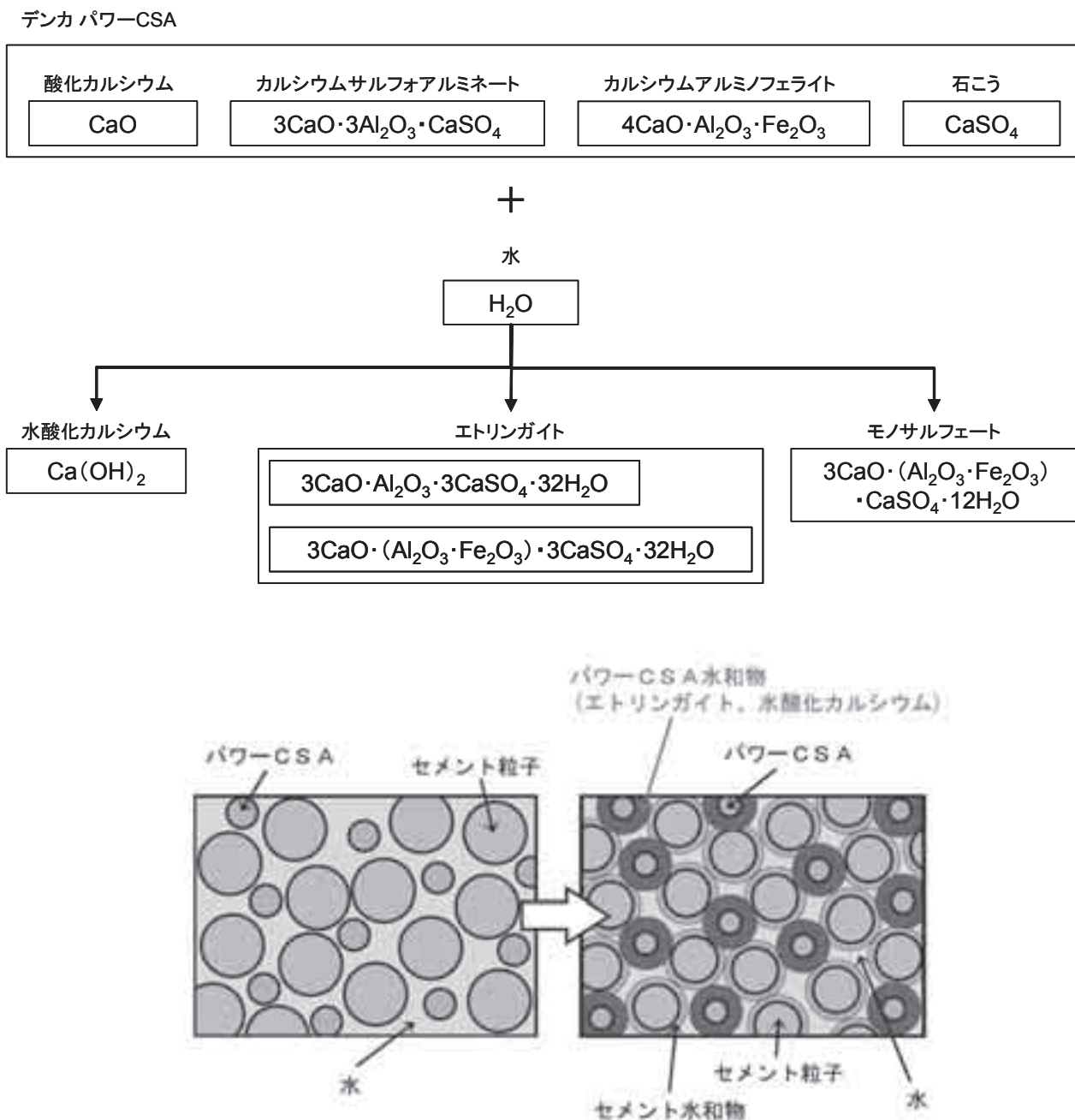


図 1-4-1 「デンカ パワーCSA」の水和反応の概念

1. 5 保管方法

「デンカ パワーCSA」は、防湿クラフト紙袋で包装しておりますが、セメントと同じように吸湿しやすい材料です。湿度の高い場所で保管すると所定の膨張ひずみが得られない場合がありますので、保管には以下の点に注意してください。また、一旦解袋した「デンカ パワーCSA」は、その日のうちにご使用ください。万一、袋の中に「デンカ パワーCSA」の固化物があつたときは、使用しないでください。

- ① 膨張材は、パレットや養生シートの上に置くようにする。直接床には置かない。
- ② 膨張材を積み重ねる場合は、15袋以下とする。
- ③ 風雨に直接当たらない場所に保管する。
- ④ 解袋は、使用直前に行い、余った膨張材は解袋翌日以降には使用せず、適切に破棄をする。

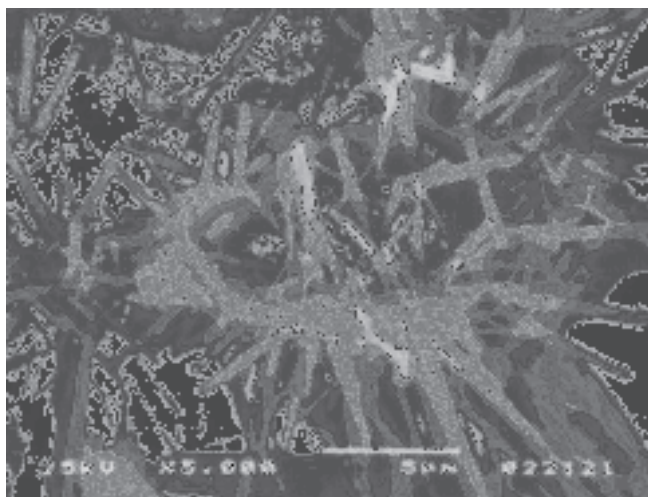
【コラム2】デンカ パワーCSAとエトリンガイト

わが国で汎用的に使用されている膨張材は、コンクリートの硬化過程における化学反応および反応生成物の違いにより、エトリンガイト系と石灰系の二種に大別されます。

エトリンガイト系の膨張材は、カルシウムサルフォアルミネート(アウイン)、酸化カルシウムおよび無水石膏が水と反応して、針状結晶であるエトリンガイトを主に生成するのに対して、石灰系の膨張材は、酸化カルシウムが水と反応して六角板状の水酸化カルシウムを生成します。

いずれの反応も、生成した結晶が、空隙を作りながら成長することで、見かけの体積を増加させるものと考えられています。

「デンカ パワーCSA」は、エトリンガイトと水酸化カルシウムの両方の結晶成長を促し、従来よりも少ない混和量で同等の膨張性能を得られるカルシウムサルフォアルミネート・石灰複合型の膨張材です。



《針状結晶に成長したエトリンガイト》

第2章 物理・化学的性質

2. 1 化学成分

「デンカパワーＣＳＡ」の化学成分の代表値を表 2-1-1 に示します。「デンカ パワーＣＳＡ」は、セメントと同一の成分を有しています。

表 2-1-1 「デンカ パワーＣＳＡ」の化学成分の代表値（JIS A 6202）

	化学成分（％）						強熱減量 （％）
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	f-CaO	
タイプＳ	1.2	1.2	7.2	70.1	18.4	49.8	3.0 以下
タイプＴ							4.7
タイプＲ							5.6
JIS 規格値	—	—	—	—	—	—	3.0 以下

2. 2 物理的性質

「デンカ パワーＣＳＡ」の物理的性質の代表値を表 2-2-2 に示します。

表 2-2-2 「デンカ パワーＣＳＡ」の物理的性質の代表値（JIS A 6202）

	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	1.2mm ふるい残分 (％)
タイプＳ	3.10	2900	0.0 以下
タイプＴ	2.95	3000	0.0 以下
タイプＲ	2.90	3100	0.0 以下
JIS A 6202 規格値	—	2000 以上	0.0 以下

2. 3 強熱減量

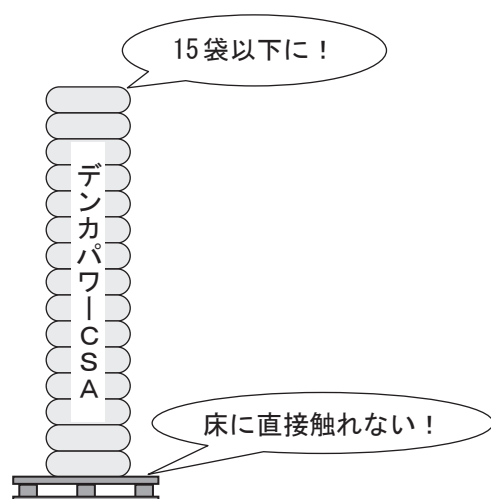
JIS A 6202「コンクリート用膨張材」の4品質、表 2-1-1 において、強熱減量は3.0%以下であることが規定されています。強熱減量とは JIS R 5202「ポルトランドセメントの化学分析方法」に規定される、試料を $975 \pm 25^{\circ}\text{C}$ の電気炉にて強熱し、恒量になった時点での減量を求め、その減量を試料の質量にて除した値です。市販のコンクリート用膨張材（「デンカ パワーCSAタイプS」等）には、この強熱によって減量する成分はほとんど含まれていないため、強熱減量として規定される値は空気中の水分が付着した割合を示します。膨張材が風化するとこの付着水分が増加し、膨張性能が低下する傾向があるため、JIS A 6202 においては強熱減量の上限值を規定し、3.0%以下としています。「デンカ パワーCSAタイプS」の強熱減量は1.0～2.0%であり、規格値を満足しています。

「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」は、JIS A 6202 に適合する「デンカ パワーCSAタイプS」にセメントおよび膨張材の水和反応を抑制するために、「水和抑制剤」が含まれております。この混和材料は、前記の試験方法によって強熱すると分解し、結果として強熱減量として測定されます。したがって、「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」で測定される強熱減量は、JIS にて規定される 3.0%を上回る結果となりますが、膨張性能は十分に確保されております。

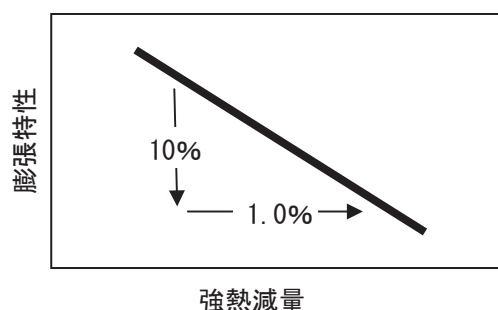
【コラム3】膨張材の保管、取り扱いについて

膨張材は風化しやすい材料のため、取り扱いや保管は、セメントと同様に取り扱ってください。

膨張材の風化の程度は、通常、強熱減量 (ig-loss) で管理されます。吸湿によって強熱減量が 1.0%増加すると膨張特性は1割低下するといわれております。



雨や水分の影響を受けない
倉庫に保管



第3章 フレッシュコンクリート

3. 1 スランプ

(1) 単位水量とスランプとの関係

図 3-1-1 に単位水量とスランプの関係の一例を示します。試験は、JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準じました。図 3-1-1 より、膨張材の使用による影響はほとんどありません。

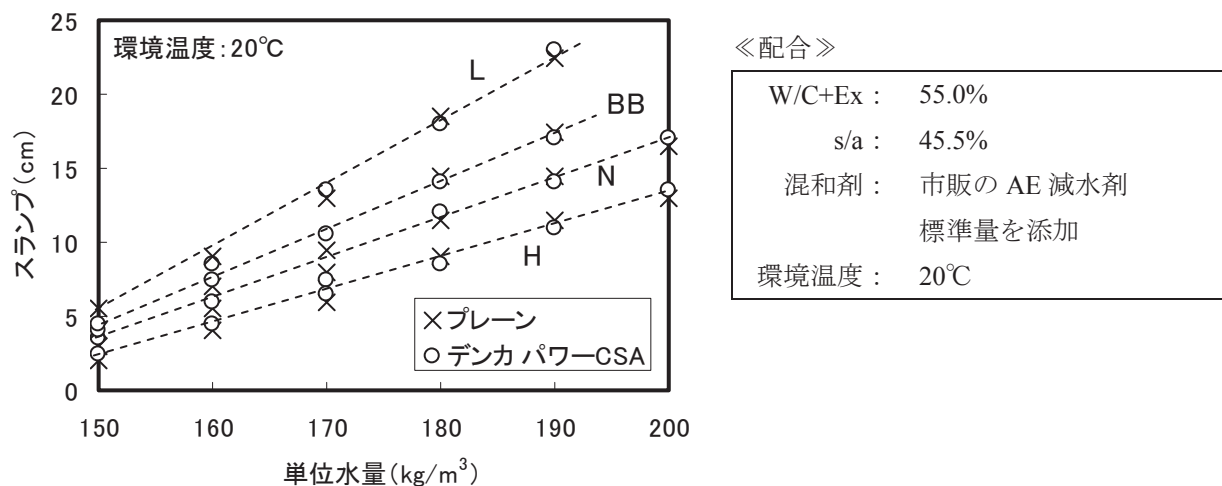


図 3-1-1 単位水量とスランプ（測定例）

(2) 減水剤の種類による影響

図 3-1-2 に、減水剤の種類を要因としたスランプの測定結果の一例を示します。図 3-1-2 より、減水剤の種類による影響は、ほとんどありません。

「デンカ パワーCSAタイプS」を用いる場合には、併用する減水剤について特に制限はありませんが、「デンカ パワーCSAタイプT」や「デンカ パワーCSAタイプR」に、「遅延型」の減水剤を併用すると凝結時間が極端に遅れることがあります。「遅延型」の減水剤との併用は避けるか、事前に試験練りなどにより凝結特性を確認した上でご使用ください。

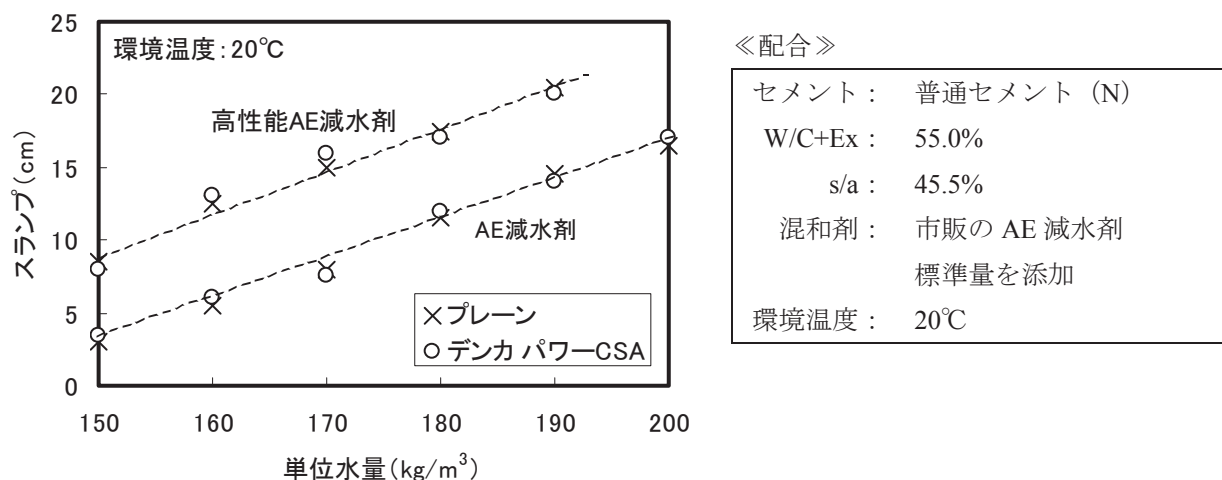


図 3-1-2 単位水量とスランプ（測定例）

(3) デンカ パワーCSAの単位量とスランプの関係

図 3-1-3 に、「デンカ パワーCSA」の単位量とスランプとの関係を示します。「デンカ パワーCSA」の単位量が増加してもスランプには、ほとんど影響はありません。

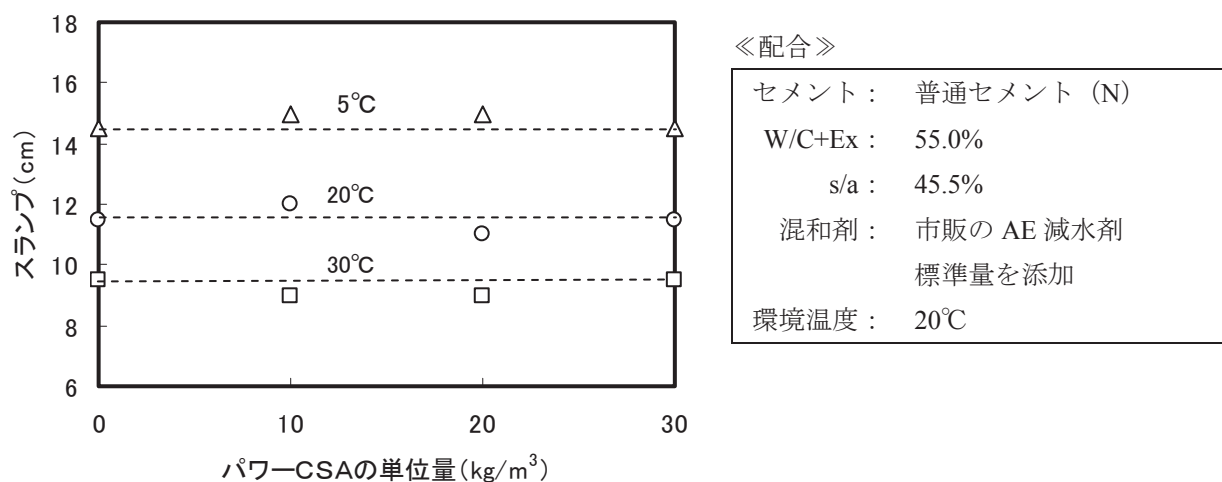


図 3-1-3 デンカ パワーCSAの単位量とスランプの測定例

【コラム 4】「膨張材」と「膨張剤」

「膨張材」は、セメント系の鉱物を主成分とするモルタルやコンクリートの混和材です。一方の「膨張剤」は、金属アルミニウムを主成分とするモルタルやコンクリートの混和材です。

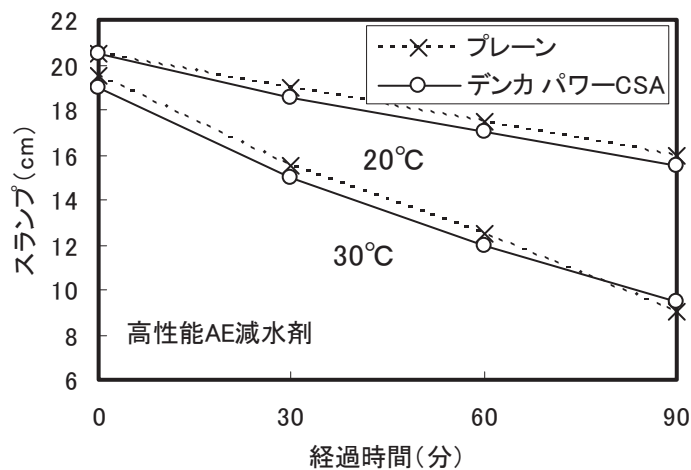
「膨張材」は、収縮補償、ひび割れの抑制、ケミカルプレストレスなどを目的として、加水後から材齢7日程度までに、力の強い膨張を発現させます。

「膨張剤」は、モルタルやコンクリートの沈下防止を目的として使用され、加水後から3時間程度までに、発泡に近い力の弱い膨張が生じます。

	膨張材	膨張剤
一般的な使用量	モルタル: セメントに対して 3～10% コンクリート: 20～70kg/m ³	セメントの 0.01%程度
用途	収縮補償コンクリート ケミカルプレストレストコンクリート	モルタルやコンクリートの沈下防止
膨張の特徴	(コンクリートを変形させるほどの) 力の強い膨張	力の弱い膨張(発泡に近い)
膨張する時期	加水後から材齢7日にかけて	加水後から3時間程度
最大膨張率	150～1000 × 10 ⁻⁶ (JIS A 6202)	5000 × 10 ⁻⁶ (JSCE F-533)

(4) スランプの経時変化

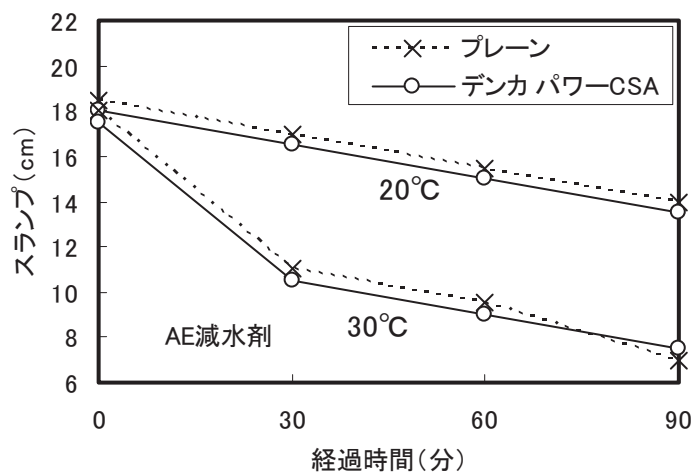
図 3-1-4 に、スランプの経時変化を示します。「デンカ パワーCSA」は、普通コンクリート（プレーン）と同等のスランプの経時変化を示します。



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 55.0%
単位水量： 177kg/m³
s/a： 45.5%
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
標準量を添加
環境温度： 20°C、30°C

a) 高性能 AE 減水剤を使用



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 55.0%
単位水量： 177kg/m³
s/a： 45.5%
混和剤： 市販の AE 減水剤
標準量を添加
環境温度： 20°C、30°C

b) AE 減水剤を使用

図 3-1-4 スランプの経時変化の測定例

3. 2 空気量

図 3-2-1 に、空気量の測定例を示します。試験は、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法」に準じました。図 3-2-1 より、膨張材の使用による空気量の変化はほとんどありません。

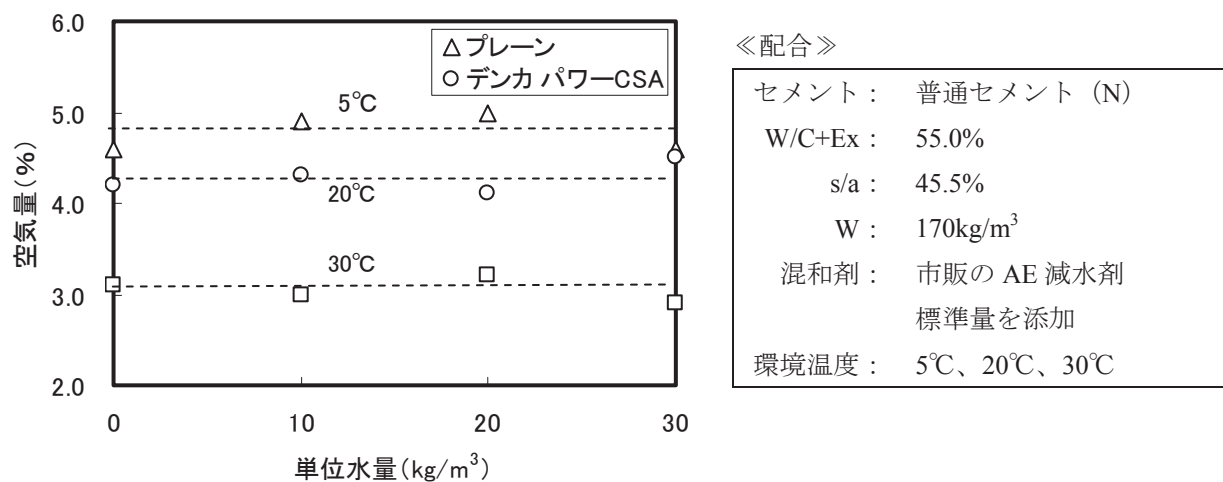


図 3-2-1 パワーCSAの単位量と空気量

3. 3 凝結

(1) 凝結特性

表 3-3-1 および表 3-3-2 に、「デンカ パワー C S A」を用いた膨張コンクリートの凝結の測定例を示します。試験は、JIS A 1147「コンクリートの凝結時間試験方法」に準じました。図 3-3-1 および図 3-3-2 は、これらの関係を図化したものです。

「デンカ パワー C S A タイプ S」を混和したコンクリートは、膨張材無混和の普通コンクリートと同等の凝結特性を示します。一方、「デンカ パワー C S A タイプ T」および「デンカ パワー C S A タイプ R」は、水和抑制剤の効果により、特に練上り温度が高くなるに従って、凝結が長くなる傾向にあります。

表 3-3-1 凝結時間（測定例）

セメント 種類	配合	5℃		10℃		20℃	
		始発 (時間)	終結 (時間)	始発 (時間)	終結 (時間)	始発 (時間)	終結 (時間)
N	プレーン	13.1	17.1	12.6	16.6	6.3	8.3
	タイプ S	12.9	16.9	12.3	16.3	6.4	8.5
	タイプ T	13.2	17.2	12.4	16.3	6.8	8.8
	タイプ R	13.3	17.5	12.4	16.3	7.2	10.2
H	プレーン	-	-	8.8	11.4	5.3	6.6
	タイプ S	-	-	8.5	10.9	4.9	6.2
	タイプ T	-	-	8.5	11.0	5.3	7.0
	タイプ R	-	-	8.5	11.1	6.2	8.1
M	プレーン	-	-	10.9	14.8	6.9	9.8
	タイプ S	-	-	10.8	14.5	7.0	9.9
	タイプ T	-	-	10.8	14.5	7.4	11.0
	タイプ R	-	-	10.9	14.8	8.1	11.7
L	プレーン	-	-	11.2	17.2	7.4	10.3
	タイプ S	-	-	11.5	17.1	7.3	9.9
	タイプ T	-	-	11.4	17.0	8.0	11.1
	タイプ R	-	-	11.3	17.1	8.4	12.2
BB	プレーン	13.8	19.0	13.1	17.3	6.9	9.1
	タイプ S	13.7	18.5	13.0	17.1	6.8	8.9
	タイプ T	14.0	19.5	13.0	17.2	7.3	9.8
	タイプ R	16.3	21.0	12.8	16.9	7.8	10.6

《配合》

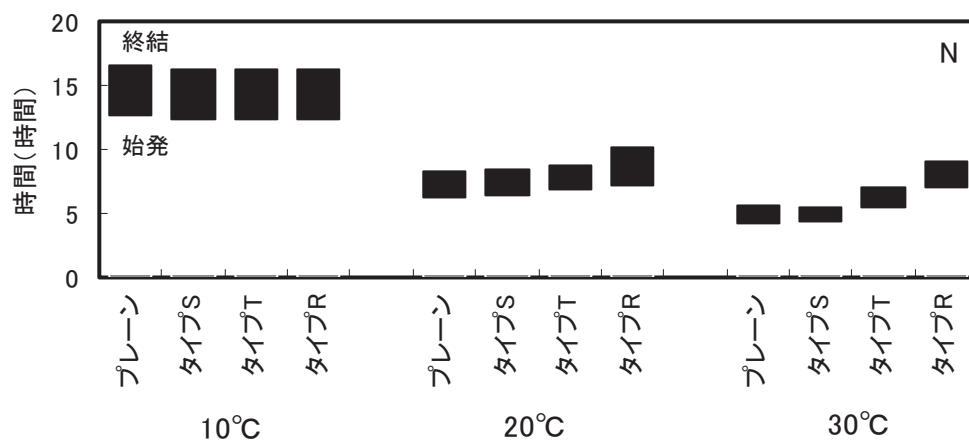
W/C+Ex : 53.5%
s/a : 47.0%
W : 167kg/m³
混和剤 : 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加

表 3-3-2 凝結時間（測定例）

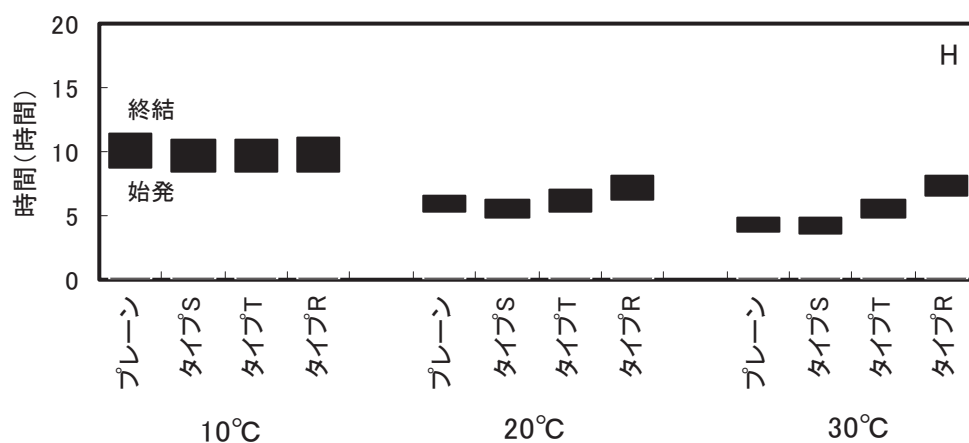
セメント 種類	配合	30℃		35℃		40℃	
		始発 (時間)	終結 (時間)	始発 (時間)	終結 (時間)	始発 (時間)	終結 (時間)
N	プレーン	4.2	5.6	3.4	4.5	2.7	3.6
	タイプS	4.3	5.5	3.5	4.6	2.8	3.8
	タイプT	5.5	7.0	5.8	7.5	7.3	10.9
	タイプR	7.0	9.0	7.3	9.4	13.1	17.3
H	プレーン	3.7	4.9	2.6	3.1	-	-
	タイプS	3.6	4.8	2.7	3.0	-	-
	タイプT	4.8	6.3	5.4	7.3	-	-
	タイプR	6.5	8.2	6.9	9.1	-	-
M	プレーン	5.1	6.9	4.1	5.4	-	-
	タイプS	5.3	7.2	4.3	5.5	-	-
	タイプT	6.1	9.3	6.5	9.5	-	-
	タイプR	8.0	11.0	8.3	11.4	-	-
L	プレーン	5.3	7.6	4.6	6.3	-	-
	タイプS	5.3	7.5	4.5	6.3	-	-
	タイプT	6.4	10.2	6.7	12.1	-	-
	タイプR	8.5	12.5	9.3	14.1	-	-
BB	プレーン	4.7	6.2	3.6	4.8	3.3	4.3
	タイプS	4.9	6.4	3.7	5.0	3.5	4.5
	タイプT	6.0	7.8	7.3	10.6	10.8	13.2
	タイプR	7.5	9.3	9.3	12.8	14.2	18.8

《配合》

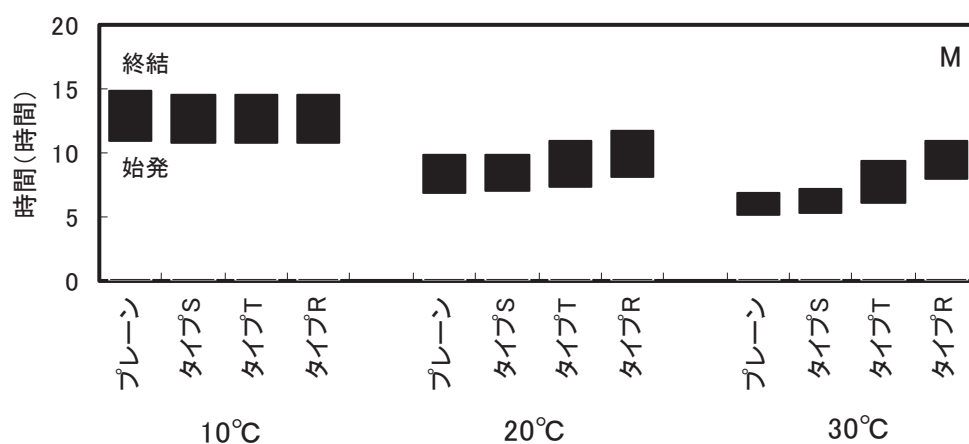
W/C+Ex : 53.5%
 s/a : 47.0%
 W : 167kg/m³
 混和剤 : 市販の高性能 AE 減水剤
 標準型を標準量添加



a) 普通セメント

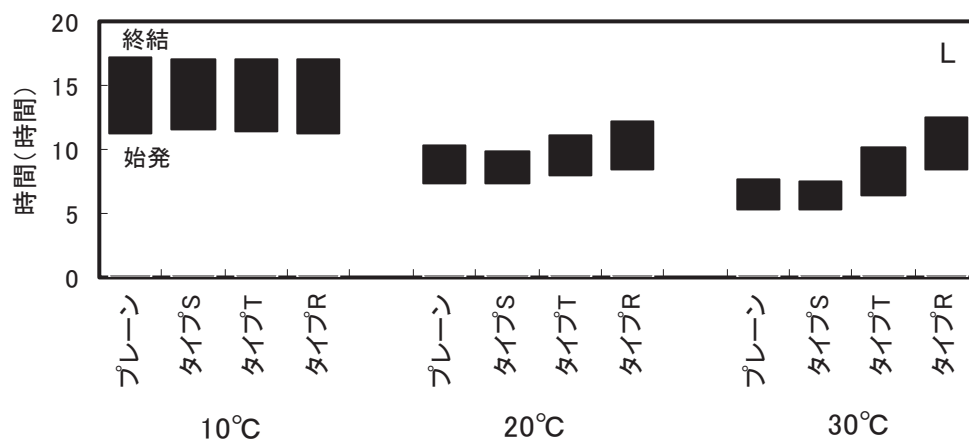


b) 早強セメント

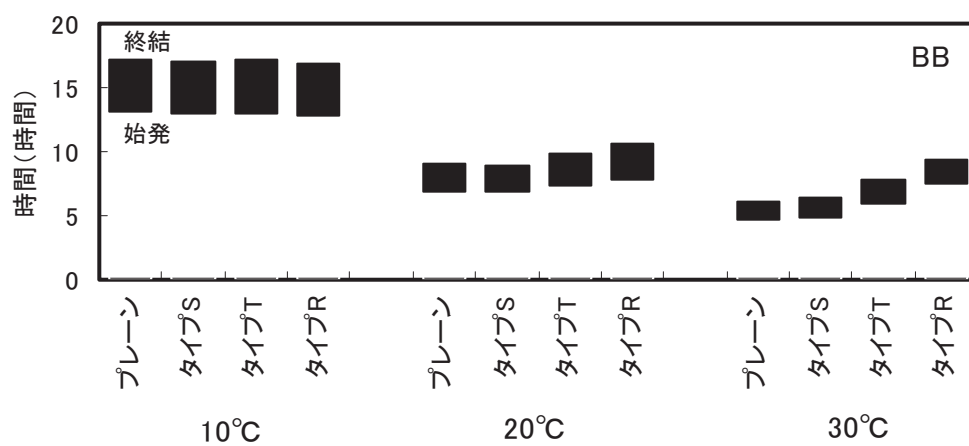


c) 中庸熱セメント

図 3-3-1 凝結特性の測定例



d) 低熱セメント

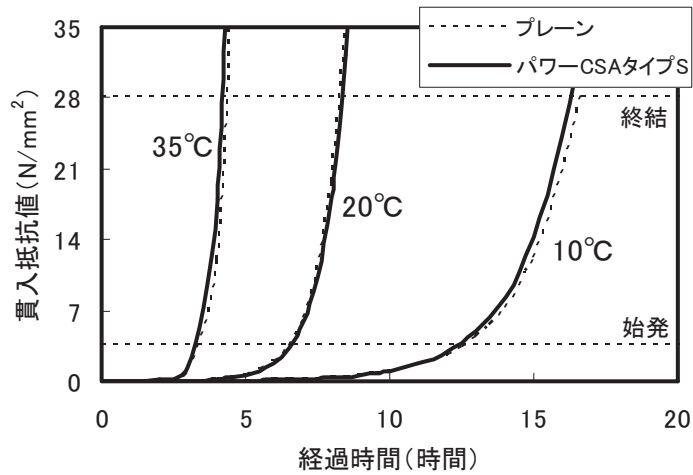


e) 高炉セメントB種

図 3-3-2 凝結特性の測定例

(2) 温度の影響

図 3-3-3 に、「デンカ パワーCSA」を混和した膨張コンクリートの凝結特性の一例を示します。「デンカ パワーCSAタイプT」や「デンカ パワーCSAタイプR」を混和した場合には、高温時に凝結が遅れます。



《配合》

セメント：	普通セメント (N)
W/C+Ex：	53.5%
s/a：	47.0%
W：	167kg/m ³
混和剤：	市販の高性能 AE 減水剤
	市販の AE 減水剤
	それぞれ標準量を添加
環境温度：	10℃、20℃、35℃

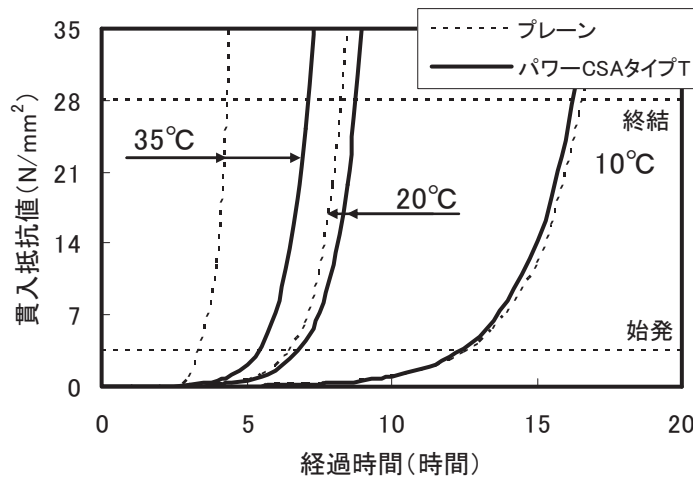
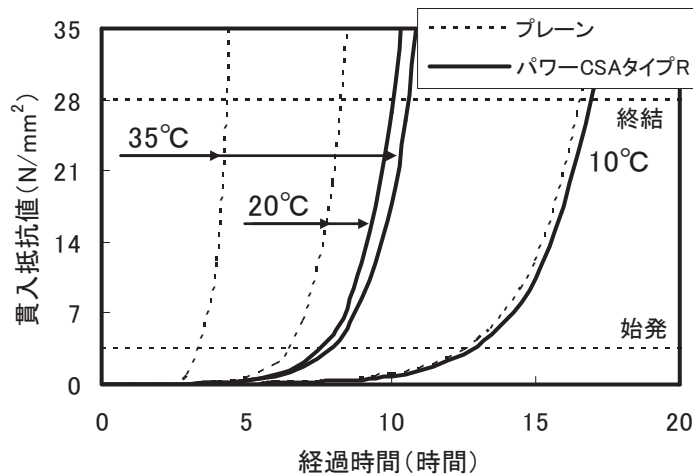


図 3-3-3 凝結特性（普通セメント）

(3) 練上り温度の影響

図 3-3-4 に、「デンカ パワーCSA」の凝結特性に及ぼす練上り温度の影響を示します。

「デンカ パワーCSAタイプT」および「デンカ パワーCSAタイプR」は、「デンカ パワーCSAタイプS」に水和抑制効果を付与しており、特に練上り温度が高くなるに従って、その効果が強くなる性質を有しています。

「デンカ パワーCSAタイプR」を用いた膨張コンクリートは、練り上がり温度が 30℃で、約 3 時間程度凝結が遅れます。また、凝結の遅れは 35℃を超過した場合に顕著に表れます。同様に、「デンカ パワーCSAタイプT」を用いたコンクリートは 2 時間程度凝結が遅れます。いずれも、凝結の遅れは 35℃を超過した場合には顕著に表れます。これは、水和抑制剤が周囲の温度を感知して、その効果を発揮するためです。

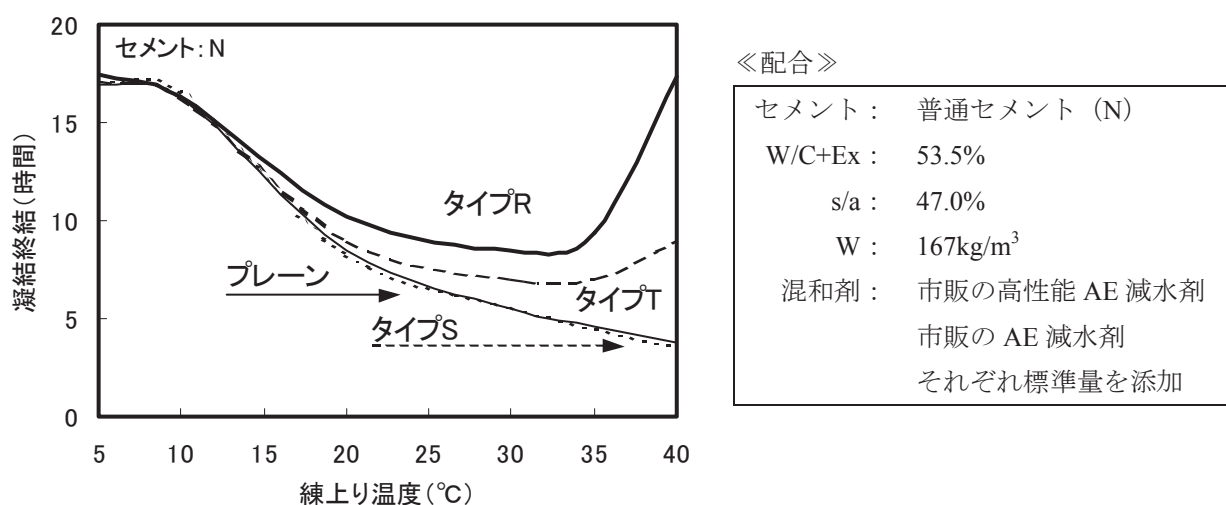


図 3-3-4 温度を要因とした凝結特性の測定例

《デンカ パワーCSAタイプTおよびタイプRを使用する場合の注意事項》

「デンカ パワーCSAタイプT」および「デンカ パワーCSAタイプR」を使用する場合は、以下の点に留意ください。

- ① 遅延型の減水剤を使用しない。
- ② 減水剤を過剰に添加しない。減水剤を必要以上に添加しますと凝結が極端に遅れる場合があります。
- ③ 仕上げのタイミングに留意する。仕上げが早い場合には、ブリーディングが完全に終了していないため表層に水分を多く含む層が形成され、表面剥離や肌荒れの原因となります。
- ④ 暑中時には、「暑中コンクリート」として取扱ってください

3. 4 ブリーディング率

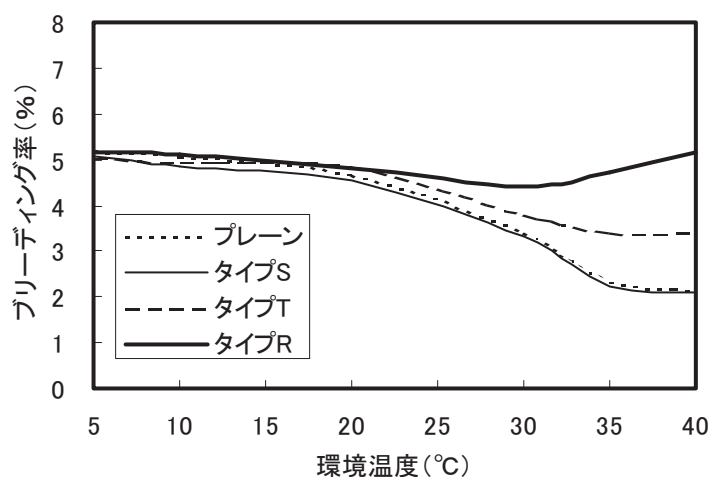
(1) ブリーディング率

表 3-4-1、図 3-4-1 および図 3-4-2 に、「デンカ パワーC S A」のブリーディング率の測定例を示します。
試験は、JIS A 1123「コンクリートのブリーディング試験方法」に準じました。

「デンカ パワーC S AタイプT」および「デンカ パワーC S AタイプR」は水和抑制効果を付与しているため、凝結特性と同様に、温度に応じて「ブリーディング特性」が異なります。

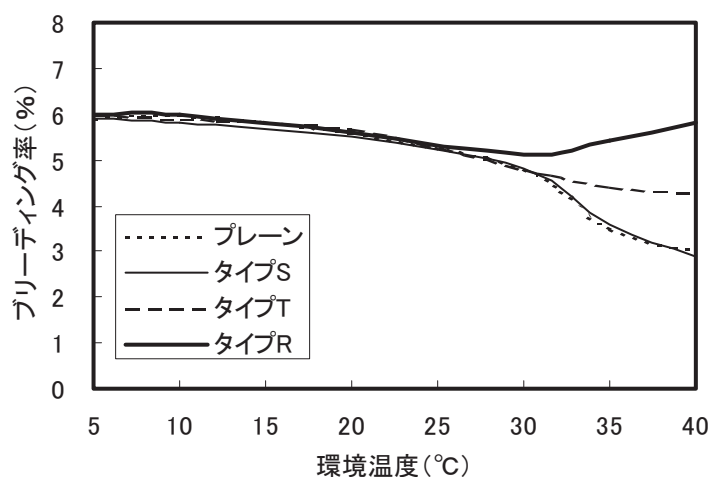
表 3-4-1 最終ブリーディング率（測定例）

セメント 種類	配合	5℃	10℃	20℃	30℃	35℃	40℃
N	プレーン	5.2	5.1	4.7	3.4	2.3	2.2
	タイプS	5.1	4.9	4.6	3.3	2.2	2.1
	タイプT	5.0	4.9	4.9	3.8	3.4	3.4
	タイプR	5.2	5.1	4.8	4.4	4.7	5.1
H	プレーン	2.5	2.5	2.1	1.6	0.9	0.5
	タイプS	2.4	2.4	1.9	1.4	0.9	0.6
	タイプT	2.5	2.5	2.2	1.8	1.3	0.9
	タイプR	2.6	2.5	2.3	2.0	2.4	2.6
M	プレーン	6.0	6.1	5.5	4.6	3.2	2.9
	タイプS	5.8	5.8	5.4	4.2	3.0	2.5
	タイプT	5.9	5.8	5.5	4.8	4.2	4.3
	タイプR	6.0	5.9	5.6	5.2	5.5	6.1
L	プレーン	5.9	6.0	5.6	4.8	3.5	3.0
	タイプS	5.9	5.8	5.5	4.8	3.6	2.9
	タイプT	6.0	5.9	5.7	4.8	4.4	4.3
	タイプR	6.0	6.0	5.6	5.1	5.4	5.8
BB	プレーン	5.1	5.0	4.6	3.3	2.4	2.3
	タイプS	5.1	4.9	4.5	3.3	2.2	2.1
	タイプT	5.0	4.9	4.8	3.8	3.6	3.5
	タイプR	5.1	5.1	4.9	4.5	4.6	5.0



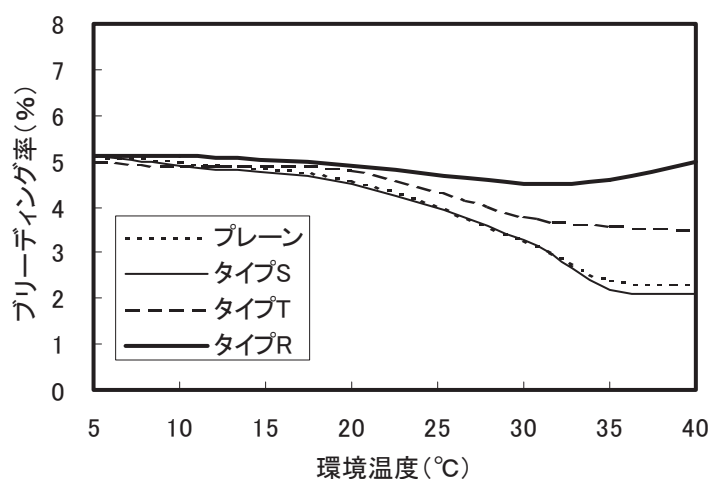
《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加



《配合》

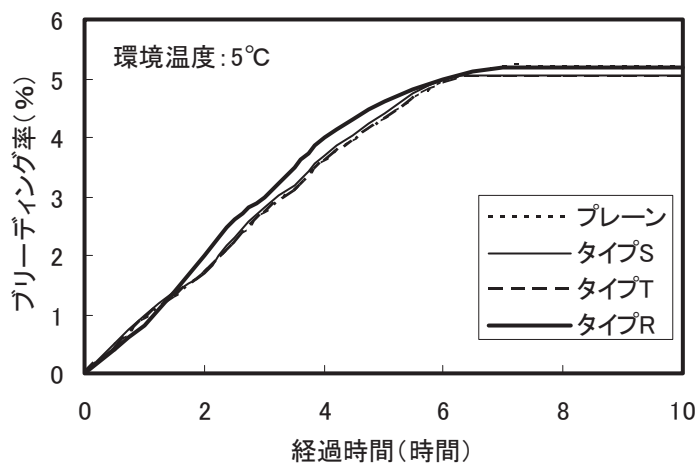
セメント： 低熱セメント (L)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加



《配合》

セメント： 高炉セメントB種 (BB)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加

図 3-4-1 温度を要因としたブリーディング率



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加
環境温度： 5°C、20°C、35°C

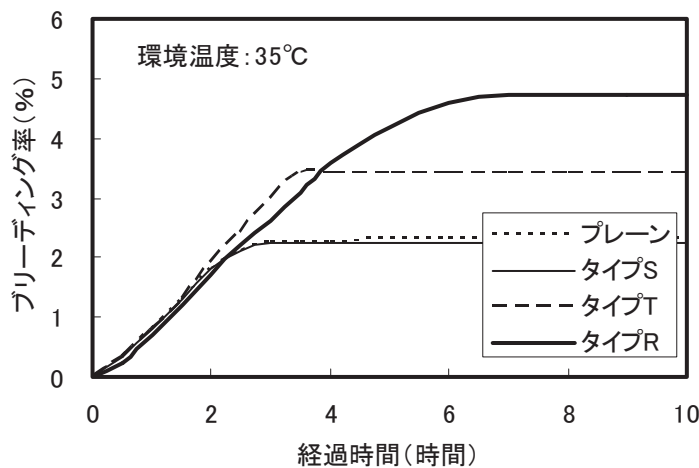
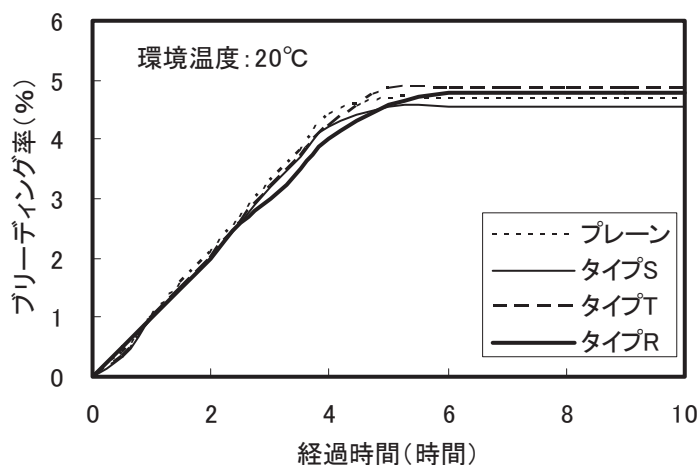


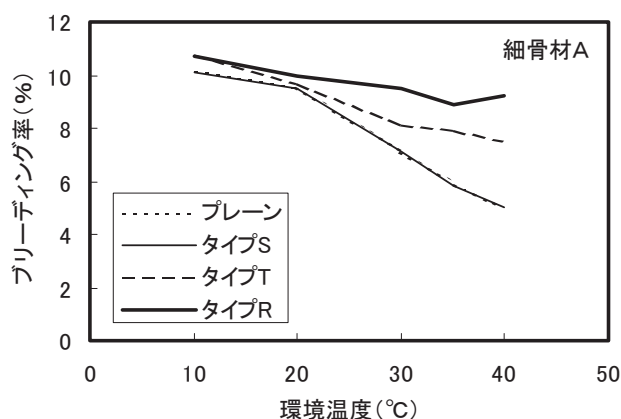
図 3-4-2 各温度におけるブリーディング率の経時変化 (普通セメント)

(2) 骨材の影響

コンクリートのブリーディングは、使用する材料や配合により異なります。ここでは、表 3-4-2 に示す 0.15mm 以下の微粒分量の異なる二種類の細骨材を実験要因として、ブリーディング率を測定した結果の一例を図 3-4-3 に示します。「デンカ パワーC S A」を混和したコンクリートも、通常のコンクリートと同様に細骨材の種類によってブリーディング率が変化します。

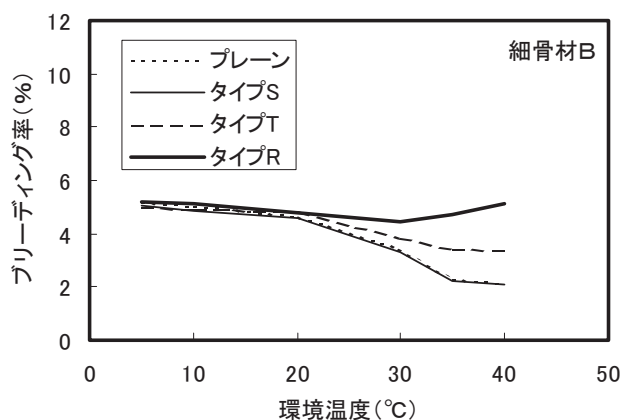
表 3-4-2 細骨材の物理的性質

			細骨材 A	細骨材 B
《物性》	密度 (g/cm ³)		2.60	2.62
	吸水率 (%)		1.90	2.1
	粗粒率		2.53	2.85
《粒度分布》		ふるいの呼び寸法		
	通過百分率 (%)	5	100.0	100.0
		2.5	90.2	92.2
		1.2	81.1	63.2
		0.6	52.5	34.9
		0.3	21.3	18.6
		0.15	3.0	6.4



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加
細骨材： 細骨材 A



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加
細骨材： 細骨材 B

図 3-4-3 温度を要因としたブリーディング率

第4章 硬化コンクリート

4. 1 膨張特性

(1) 長さ変化率

表 4-1-1 から表 4-1-3 に、「デンカパワー C S A」を混和した膨張コンクリートの長さ変化率の測定例を示します。試験は、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」、附属書 2（参考）膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮方法試験の B 法に準じました。なお、材齢 91 日まで水中養生としました。図 4-1-1 から図 4-1-3 は、これらの関係を図化したものです。

表 4-1-1 長さ変化率 (10°C)

温度 (°C)	セメント 種類	配合	長さ変化率 (×10 ⁻⁶)						
			1 日	3 日	7 日	14 日	28 日	56 日	91 日
10	N	プレーン	-4	-9	-12	-12	-13	-13	-14
		タイプ S	43	131	156	157	160	157	160
		タイプ T	45	130	156	156	157	158	157
		タイプ R	45	128	157	157	161	160	158
	H	プレーン	-10	-5	-15	-7	-10	-12	-12
		タイプ S	38	109	134	135	135	134	134
		タイプ T	36	110	125	126	125	123	126
		タイプ R	35	115	123	123	125	125	124
	M	プレーン	-2	0	-5	-5	-6	-11	-7
		タイプ S	46	134	167	170	169	169	169
		タイプ T	45	130	165	165	166	167	167
		タイプ R	44	129	161	162	162	161	160
	L	プレーン	—	-5	4	1	-3	-5	-5
		タイプ S	—	140	177	175	173	170	175
		タイプ T	—	140	175	176	176	174	173
		タイプ R	—	145	171	170	175	172	171
	BB	プレーン	-3	-8	-10	-10	-12	-12	-15
		タイプ S	39	110	135	132	135	134	138
		タイプ T	35	102	131	135	133	132	134
		タイプ R	32	98	127	125	126	126	122

《配合》

セメント： 普通セメント (N)、早強セメント (H)、中庸熱セメント (M)、低熱セメント (L)
高炉セメント B 種 (BB)

W/C+Ex： 53.5%

s/a： 47.0%

W： 167kg/m³

混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤、市販の AE 減水剤それぞれ標準量を添加

表 4-1-2 長さ変化率 (20℃)

温度 (℃)	セメント 種類	配合	長さ変化率 (×10 ⁻⁶)						
			1 日	3 日	7 日	14 日	28 日	56 日	91 日
20	N	プレーン	5	-9	-25	-20	-18	-15	-20
		タイプ S	90	182	217	220	215	218	218
		タイプ T	82	180	210	211	210	215	213
		タイプ R	73	174	201	205	202	202	204
	H	プレーン	12	-19	-35	-25	-28	-23	-25
		タイプ S	79	151	186	186	190	184	186
		タイプ T	75	150	185	182	183	183	180
		タイプ R	71	146	182	180	185	185	183
	M	プレーン	3	-10	-23	-20	-25	-33	-23
		タイプ S	96	186	232	230	235	225	235
		タイプ T	90	182	226	228	230	224	228
		タイプ R	85	174	215	215	216	209	218
	L	プレーン	4	-4	-15	-9	-10	-5	-5
		タイプ S	102	194	246	248	249	253	250
		タイプ T	99	193	240	245	241	251	243
		タイプ R	91	182	225	226	225	229	228
	BB	プレーン	1	-15	-31	-32	-32	-35	-29
		タイプ S	82	153	188	188	190	184	187
		タイプ T	75	148	185	185	185	182	182
		タイプ R	68	141	179	177	175	173	178

単位：×10⁻⁶

【コラム 5】「ひずみ」とは？

「ひずみ」とは、元の長さがLのコンクリートが体積変化によりΔLだけ膨張(収縮)したときの長さ変化率を示します。一般に、膨張が「正」、収縮が「負」で表されます。「ひずみ」は、割合ですので単位はありません。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

1m の膨張コンクリートの長さ変化率が 200×10^{-6} の場合、

$$\Delta L = \varepsilon \cdot L = 200 \times 10^{-6} \times 1000\text{mm} = 0.2\text{mm}$$

0.2mm だけ膨張したことになります。

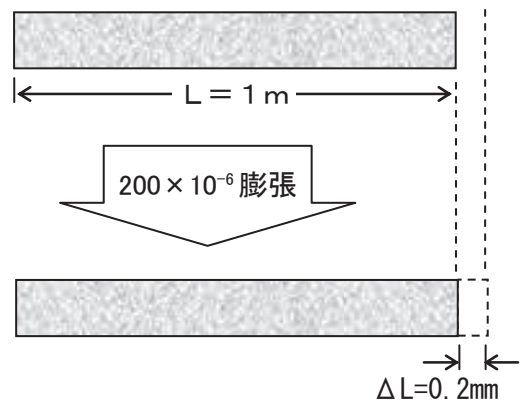
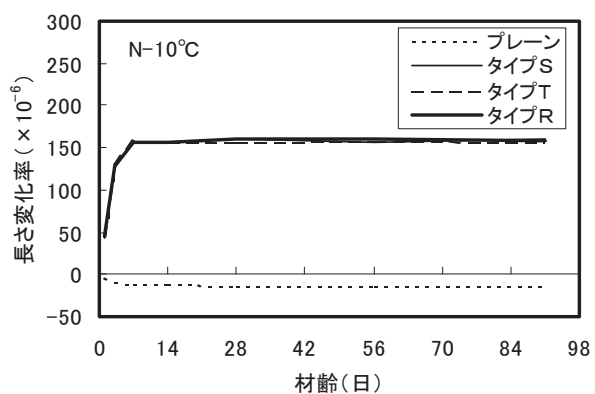
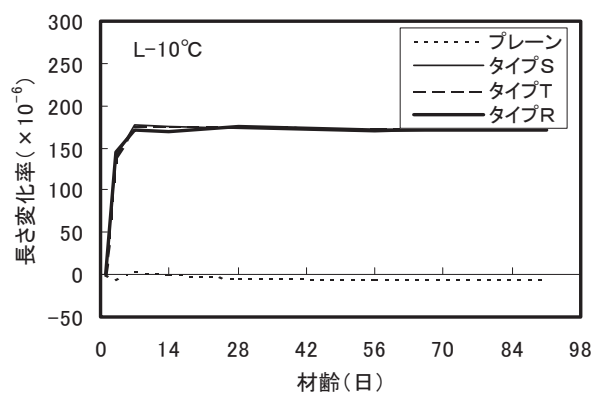


表 4-1-3 長さ変化率 (30℃)

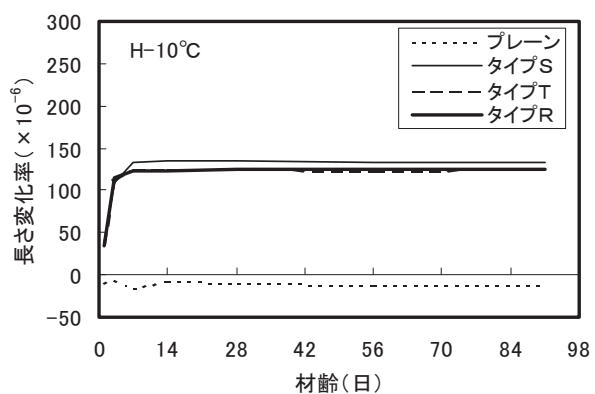
温度 (℃)	セメント 種類	配合	長さ変化率 (×10 ⁻⁶)						
			1 日	3 日	7 日	14 日	28 日	56 日	91 日
30	N	プレーン	3	-4	-5	-5	-5	-7	-5
		タイプ S	106	164	174	170	175	172	173
		タイプ T	101	163	170	170	170	172	171
		タイプ R	91	154	168	165	164	165	166
	H	プレーン	2	-10	-21	-15	-15	-18	-11
		タイプ S	104	140	152	155	156	152	158
		タイプ T	105	141	153	151	151	153	155
		タイプ R	98	139	155	154	150	150	151
	M	プレーン	-1	1	-10	-5	-5	-3	-10
		タイプ S	110	167	177	178	175	180	174
		タイプ T	105	162	175	177	174	174	175
		タイプ R	88	144	174	174	175	175	174
	L	プレーン	-4	-3	-5	-5	-5	-5	-1
		タイプ S	117	175	189	189	187	189	189
		タイプ T	108	171	186	185	185	185	186
		タイプ R	98	166	185	188	187	187	188
	BB	プレーン	1	-5	-11	-5	-11	-9	-9
		タイプ S	101	128	145	148	145	146	146
		タイプ T	82	122	141	145	143	143	142
		タイプ R	74	115	138	138	137	138	138



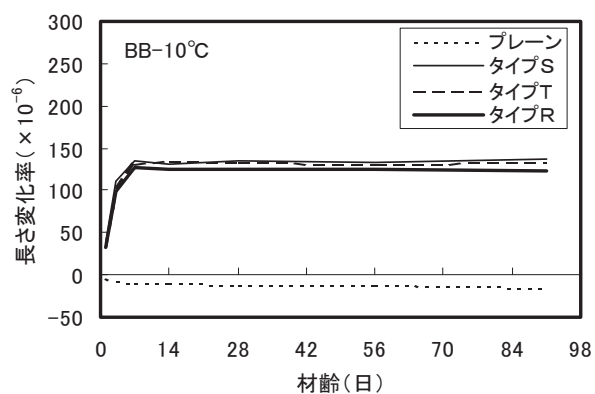
a) 普通セメント



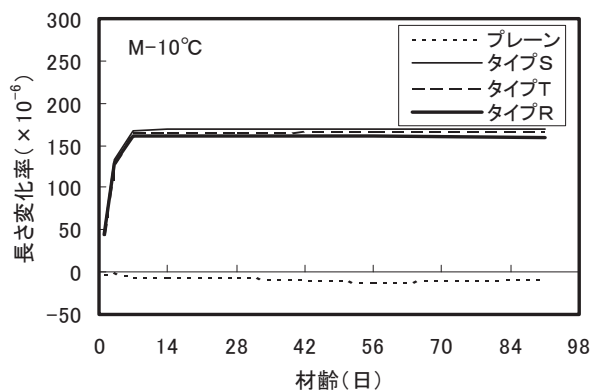
d) 低熱セメント



b) 早強セメント

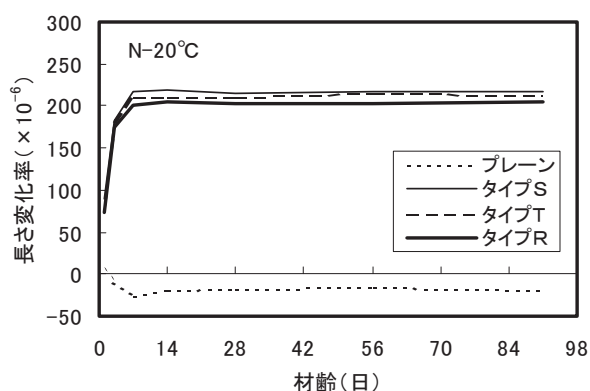


e) 高炉セメントB種

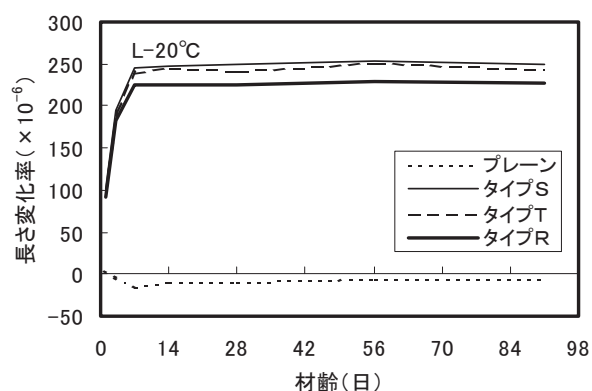


c) 中庸熱セメント

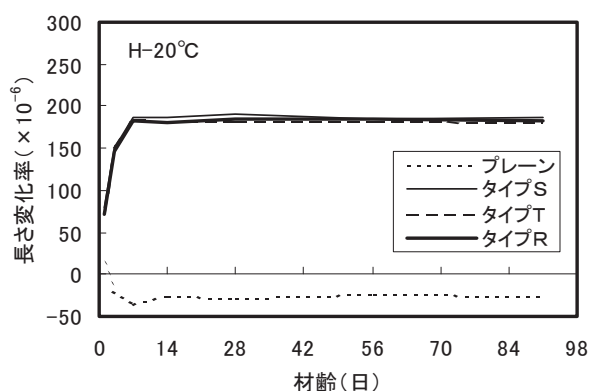
図 4-1-1 長さ変化率の測定例 (10°C)



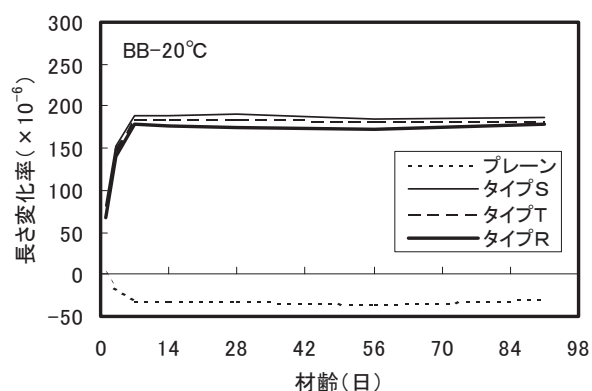
a) 普通セメント



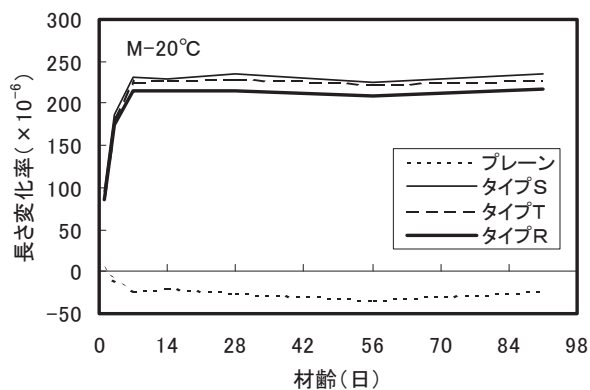
d) 低熱セメント



b) 早強セメント

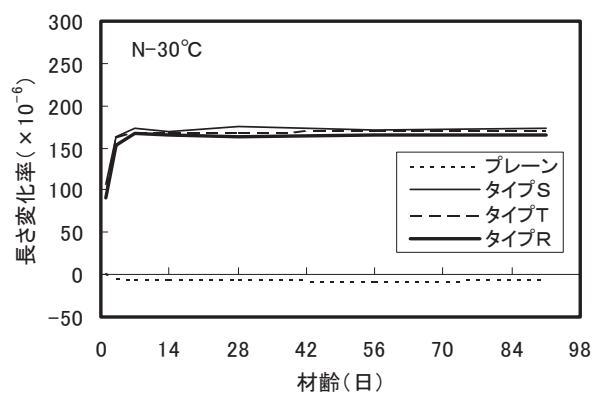


e) 高炉セメントB種

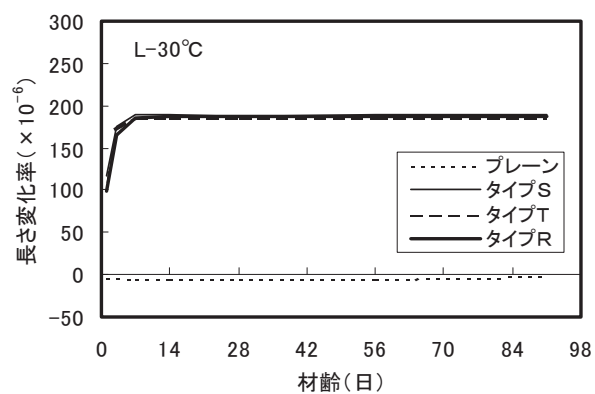


c) 中庸熱セメント

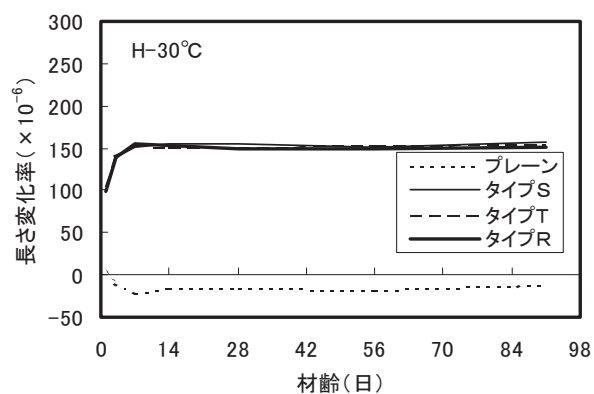
図 4-1-2 長さ変化率の測定例 (20°C)



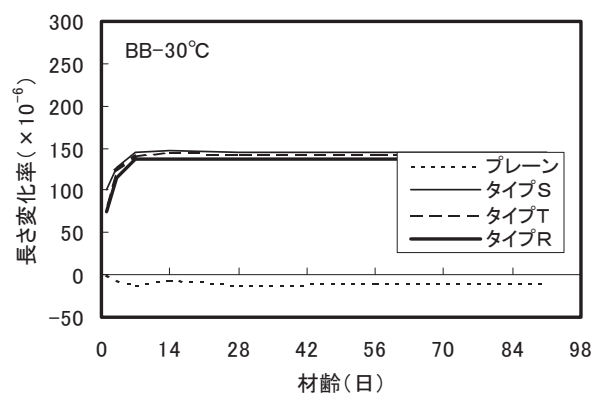
a) 普通セメント



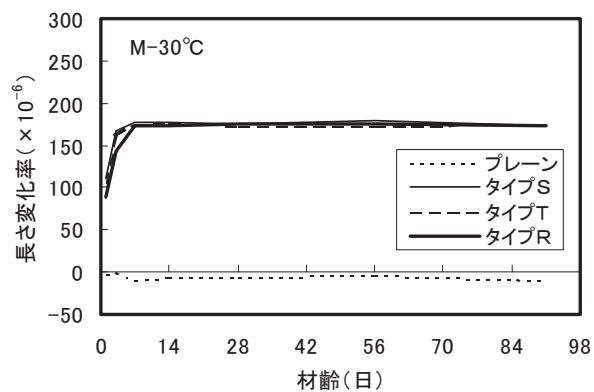
d) 低熱セメント



b) 早強セメント



e) 高炉セメントB種



c) 中庸熱セメント

図 4-1-3 長さ変化率の測定例 (30°C)

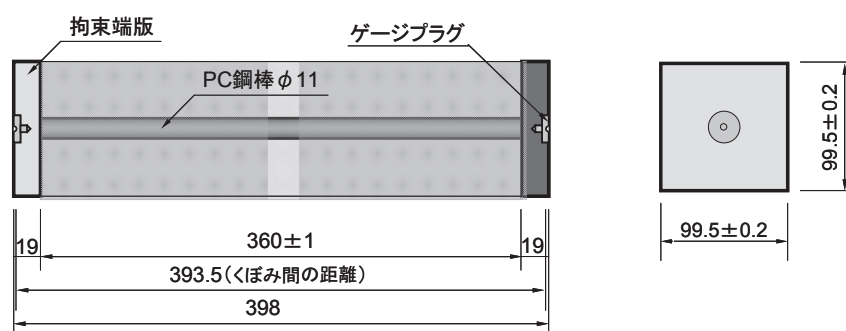
【コラム6】JIS A 6202 附属書2 A法とB法の違い？

膨張コンクリートの管理の多くは、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」に準じて行われます。測定方法は、A法とB法の2通りがあり、測定の目的に応じて分類されています。

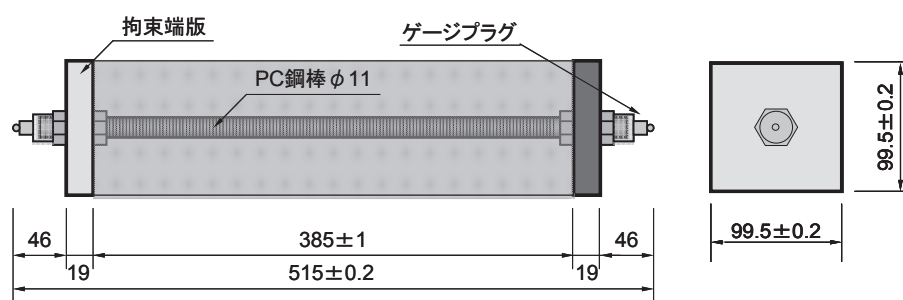
A法は、材齢7日における膨張コンクリートの膨張ひずみを確認するための測定方法です。B法は、材齢7日における膨張コンクリートの膨張ひずみを確認するとともに、材齢1年までの収縮ひずみも確認するための測定方法です。

特別な場合を除き、材齢7日における長さ変化率で管理するため、膨張コンクリートの品質確認にはA法が多く用いられます。

	測定の目的	拘束棒
A 法	膨張だけを対象とした試験方法	丸鋼
B 法	膨張及び収縮を対象とした試験方法	ねじ転造した鋼棒



A 法一軸拘束器具（A 法）



B 法一軸拘束器具（B 法）

(2) 膨張材の単位量と長さ変化率

表 4-1-4 および図 4-1-4 に、「デンカ パワー C S A」の単位量と長さ変化率の関係の測定例を示します。
試験は、JIS A6202 附属書 2 B 法に準じました。

「デンカ パワー C S A」の単位量の増加に応じて、長さ変化率が大きくなります。

表 4-1-4 長さ変化率 (20℃)

温度 (℃)	セメント 種類	膨張材 単位量 (kg/m ³)	長さ変化率 (×10 ⁻⁶)						
			1 日	3 日	7 日	14 日	28 日	56 日	91 日
20	N	0	5	-9	-25	-192	-340	-445	-495
		10	25	61	75	-91	-235	-326	-378
		20	90	182	217	56	-94	-176	-248
		30	237	424	505	338	194	103	49
		40	414	728	916	751	604	512	455
	H	0	12	-19	-35	-229	-380	-478	-534
		10	22	51	64	-114	-287	-381	-418
		20	79	151	186	9	-158	-248	-293
		30	192	358	427	247	82	-5	-57
		40	312	543	675	493	329	236	189
	M	0	3	-10	-23	-185	-330	-435	-486
		10	27	66	81	-85	-220	-325	-379
		20	96	186	232	76	-66	-164	-231
		30	175	438	532	376	228	152	73
		40	315	806	979	819	677	581	518
	L	0	4	-4	-15	-164	-330	-424	-473
		10	35	65	94	-55	-216	-314	-359
		20	102	194	246	91	-64	-152	-199
		30	231	382	574	419	265	181	131
		40	412	712	1056	904	745	654	606
	BB	0	1	-15	-31	-251	-389	-484	-542
		10	19	47	61	-153	-286	-384	-446
		20	82	153	188	-19	-151	-257	-311
		30	183	354	446	227	106	5	-46
		40	326	638	807	592	461	361	305

《配合》

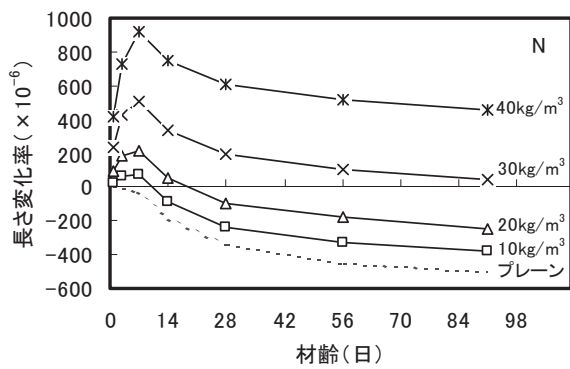
セメント： 普通セメント (N)

W/C+Ex： 53.5%

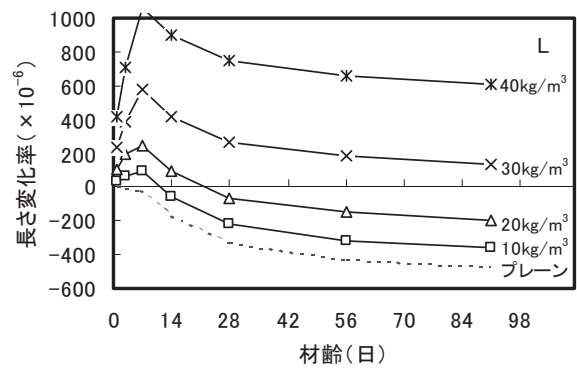
s/a： 47.0%

W： 167kg/m³

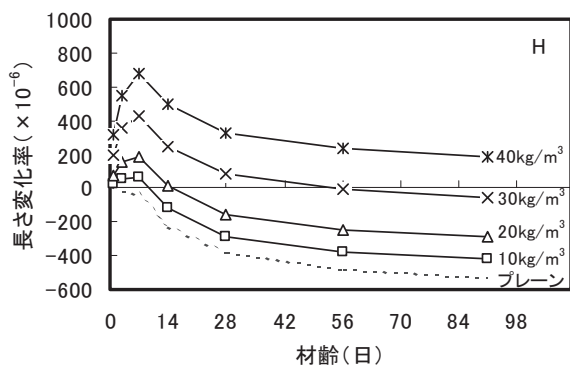
混和剤： 市販の AE 減水剤標準量を添加



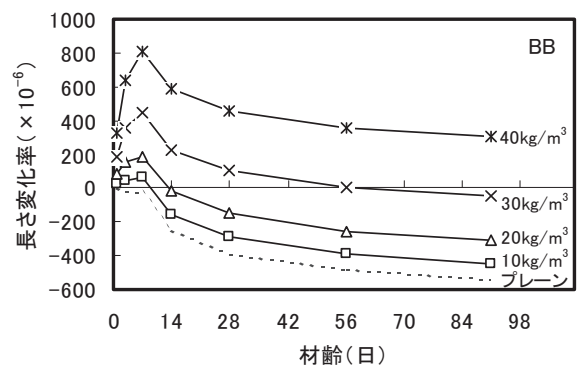
a) 普通セメント



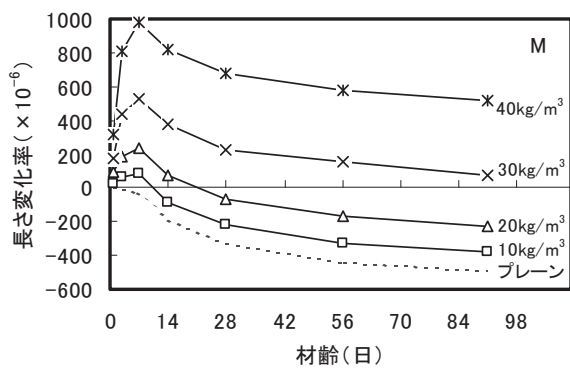
d) 低熱セメント



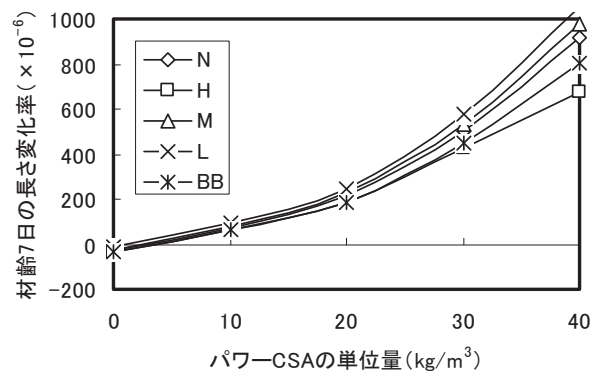
b) 早強セメント



e) 高炉セメントB種



c) 中庸熱セメント



f) 材齢7日の長さ変化率

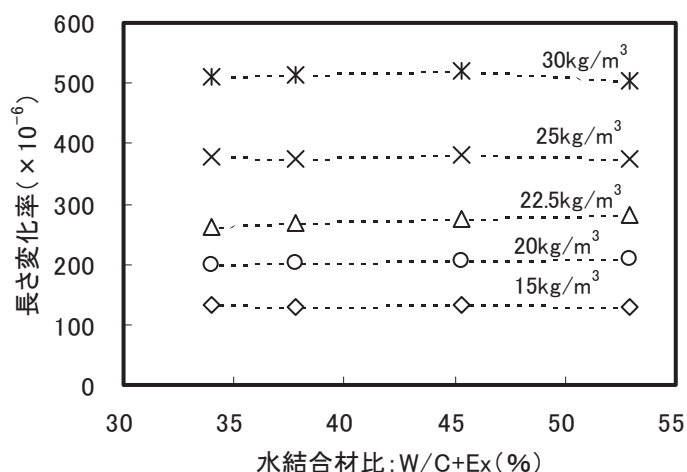
図 4-1-4 長さ変化率 (JIS A 6202 附属書 2 B 法)

(3) 水結合材比 (W/C+Ex) と単位セメント量の影響

「デンカ パワーC S A」の水結合材比と長さ変化率の関係を図 4-1-5 に、単位セメント量と膨張ひずみの関係を図 4-1-6 に示します。試験は、JIS A6202 附属書 2 B 法に準じました。

「デンカ パワーC S A」の膨張特性は、一般的なコンクリートでは水結合材比 (W/C+Ex) や単位セメント量による影響はほとんどなく、膨張材の単位量に応じて長さ変化率が変化します。

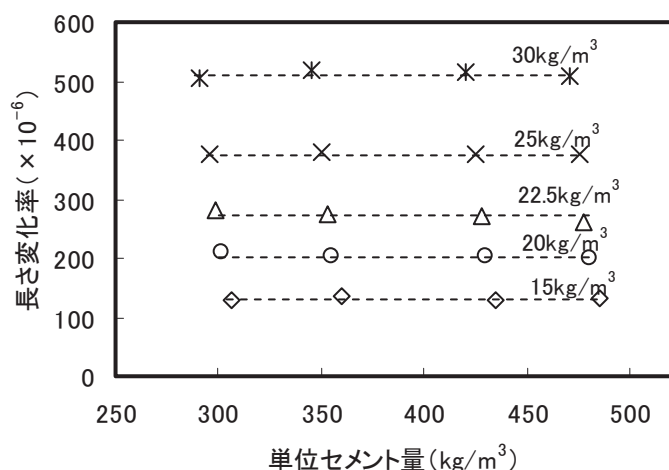
単位セメント量が少ない配合や水結合材比 (W/C+Ex) が 30%以下あるいは 65%以上の配合については、予め試験練り等でご確認ください。



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 34～53.5%
W： 170kg/m³
C： 291～485kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加
環境温度： 20℃

図 4-1-5 水結合材比と膨張ひずみ (測定例)



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 34～53.5%
W： 170kg/m³
C： 291～485kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加
環境温度： 20℃

図 4-1-6 単位セメント量と長さ変化率 (測定例)

(4) 混和剤の種類による影響

図 4-1-7 に、混和剤の種類による長さ変化率への影響を示します。試験は、JIS A6202 附属書 2 B 法に準じました。「デンカパワーCSA」の膨張特性には、混和剤の種類による影響はほとんどありません。

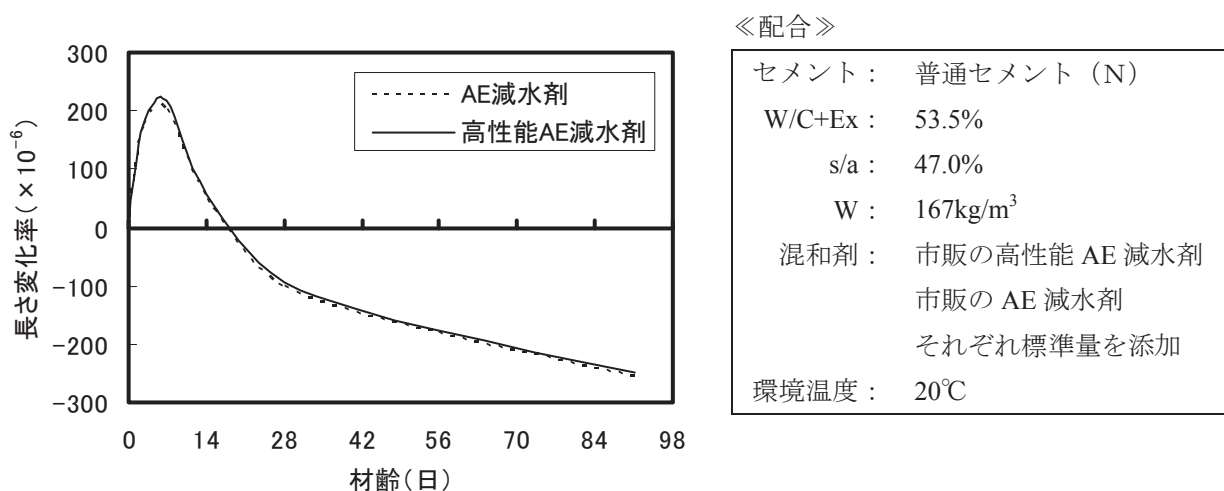


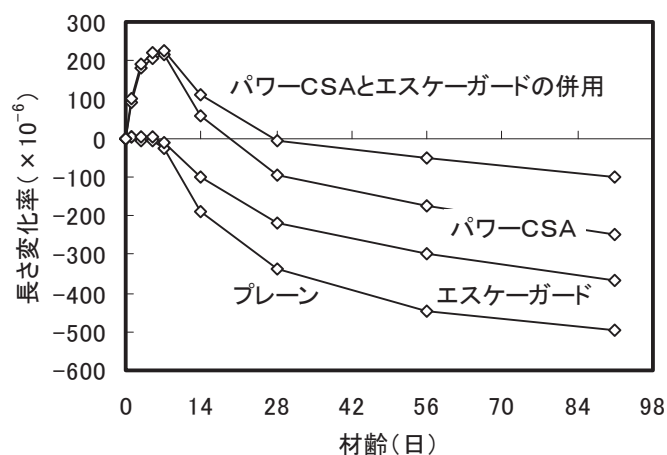
図 4-1-7 混和剤の種類の影響

【コラム 7】膨張材「デンカ パワーCSA」と「収縮低減剤」

膨張材は、主にエトリンガイトを生成させることで「収縮を補償する」無機系の混和材であり、初期材齢に膨張ひずみを導入することで、乾燥などに伴って発生する収縮を補償するはたらきを有します。一方、収縮低減剤は、有機界面活性剤を主成分とする混和剤で、主に乾燥に伴う「水の表面張力による収縮応力」を低減するはたらきを有します。

「デンカ パワーCSA」や「デンカ CSA」が前者に該当し、「デンカ エスケーガード」が後者に該当します。いずれも、ひび割れ低減を目的としておりますが、作用が異なりますので、その優越は一概にいえません。なお、「デンカ パワーCSA」と「デンカ エスケーガード」とを併用することで相乗効果を得ることができます。

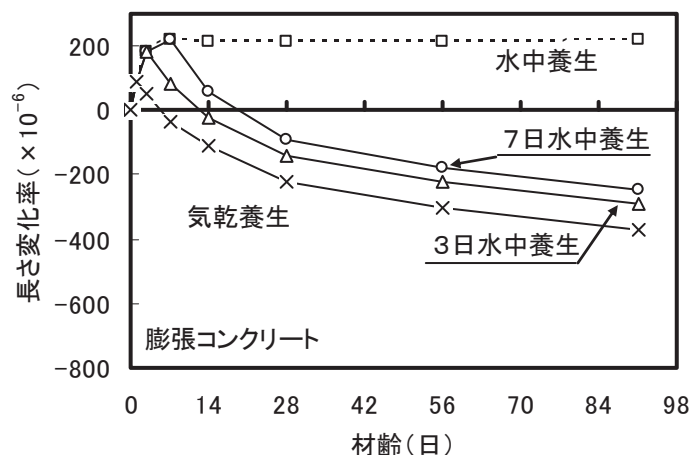
詳しくは、本技術データの施工編あるいは、「デンカ エスケーガード」のカタログを参照してください。



(5) 養生条件による影響

図 4-1-8 に、乾燥開始材齢と長さ変化率の関係を示します。試験は、JIS A6202 附属書 2 B 法に準じました。材齢 1 日で型枠を取り外した後、気乾養生の開始材齢を 1 日（型枠の取外し直後）、3 日、7 日および水中養生の 4 水準を試験条件としました。

乾燥開始材齢が早くなるほど、長さ変化率が小さくなります。「デンカ パワー C S A」の効果を最大限に引き出すために、材齢 5 日以上は、湿潤養生を施してください。



《配合》

セメント：普通セメント (N)
W/C+Ex：53.5%
s/a：47.0%
W：167kg/m³
混和剤：市販の AE 減水剤
標準量を添加
20℃
環境温度：

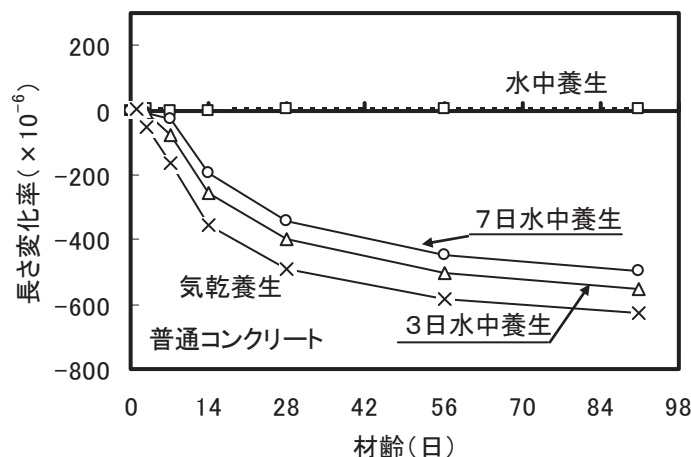


図 4-1-8 乾燥開始材齢の影響（測定例）

(6) 拘束の影響

図 4-1-9 に、拘束鋼材比と材齢 7 日における長さ変化率の関係の一例を示します。試験は、JIS A6202 附属書 2 B 法に準じて拘束鋼材の径を変化させました。

拘束鋼材比が小さくなるほど（拘束が弱くなるほど）、長さ変化率が大きくなります。なお、JIS A 6202 では、拘束鋼材比が約 0.95% です。

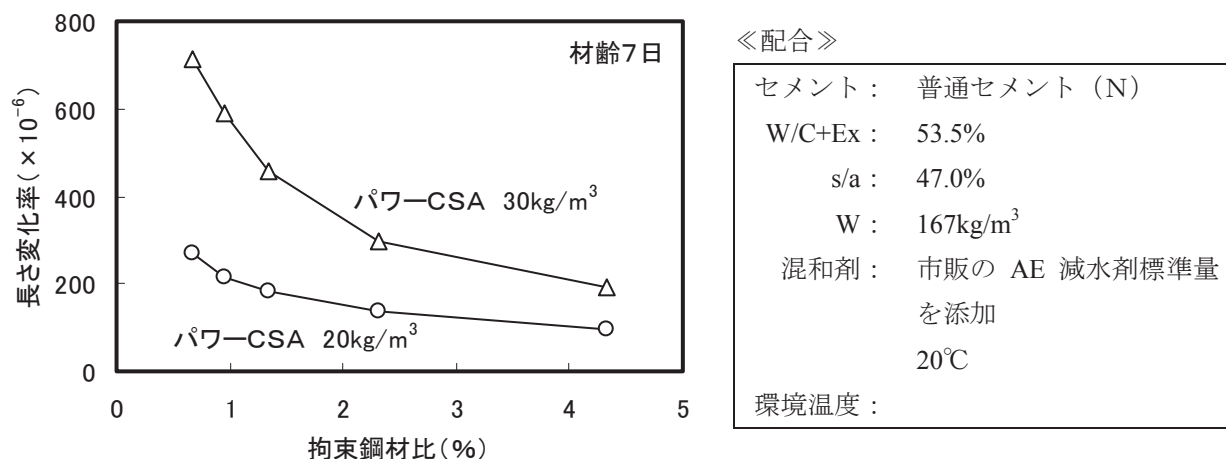


図 4-1-9 拘束鋼材比の影響

【コラム 8】仕事量一定則の概念

膨張コンクリートの膨張ひずみを推定する方法は、1960 年代に精力的に研究がなされ、代表的なものとして、①有効自由膨張量の概念¹⁾、②複合モデルの概念²⁾、③仕事量一定則の概念³⁾などが挙げられます。中でも、仕事量一定則の概念は「膨張コンクリートが拘束体に対してなす仕事量は、拘束の程度にかかわらず一定である」としたもので、経時変化する弾性係数やクリープ係数を含まない唯一の方法です。

「仕事量一定則の概念」を用いることで、例えば、JIS A 6202 などの管理試験の結果から、実構造物に導入される膨張ひずみやケミカルプレストレスを推定することができます。

$$U = \frac{1}{2} \cdot \sigma_c \cdot \varepsilon_s = \text{一定}$$

ここに、

U ：膨張コンクリートが拘束鋼材に対してなす仕事量 (N/mm²)

σ_c ：膨張コンクリートの応力度 (N/mm²)

ε_s ：拘束鋼材のひずみ

- 1) Muguruma, H：On the Expansion-Shrinkage Characteristics of Expansive Cement, Proceeding 11th Japan Congress on Materials Research, 1968
- 2) 岡村甫, 国島正彦：膨張コンクリートの複合モデル化について, セメント技術年報, No.27, pp.303-305, 1973
- 3) 辻幸和：ケミカルプレストレスの推定方法について, セメント技術年報 XXV II, pp.340-344, 1973

4. 2 乾燥収縮

(1) 拘束状態における乾燥収縮

表 4-2-1 および図 4-2-1 に、「デンカ パワー C S A」の代表的な乾燥収縮特性を示します。試験は、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」、附属書 2（参考）膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮方法試験の B 法に準じて、水中養生を材齢 7 日まで実施し、材齢 7 日以降を気乾養生としました。

表 4-2-1 膨張特性 (20℃)

温度 (℃)	セメント 種類	配合	長さ変化率 (×10 ⁻⁶)						
			1 日	3 日	7 日	14 日	28 日	56 日	91 日
20	N	プレーン	5	-9	-25	-192	-340	-445	-495
		タイプ S	90	182	217	56	-94	-176	-248
		タイプ T	82	180	210	50	-101	-182	-255
		タイプ R	73	174	201	39	-109	-194	-267
	H	プレーン	12	-19	-35	-229	-380	-478	-534
		タイプ S	79	151	186	9	-158	-248	-293
		タイプ T	75	150	185	8	-159	-250	-293
		タイプ R	71	146	182	5	-168	-256	-301
	M	プレーン	3	-10	-23	-185	-330	-435	-486
		タイプ S	96	186	232	76	-66	-164	-231
		タイプ T	90	182	226	71	-71	-170	-235
		タイプ R	85	174	215	55	-84	-188	-244
	L	プレーン	4	-4	-15	-164	-330	-424	-473
		タイプ S	102	194	246	91	-64	-152	-199
		タイプ T	99	193	240	85	-70	-158	-205
		タイプ R	91	182	225	70	-88	-167	-206
	BB	プレーン	1	-15	-31	-251	-389	-484	-542
		タイプ S	82	153	188	-19	-151	-257	-311
		タイプ T	75	148	185	-22	-155	-261	-315
		タイプ R	68	141	179	-25	-175	-273	-342

単位：×10⁻⁶

《配合》

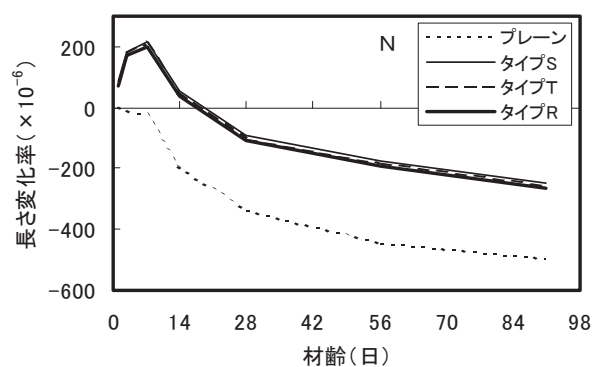
セメント： 普通セメント (N)、早強セメント (H)、中庸熱セメント (M)、低熱セメント (L)
高炉セメント B 種 (BB)

W/C+Ex： 53.5%

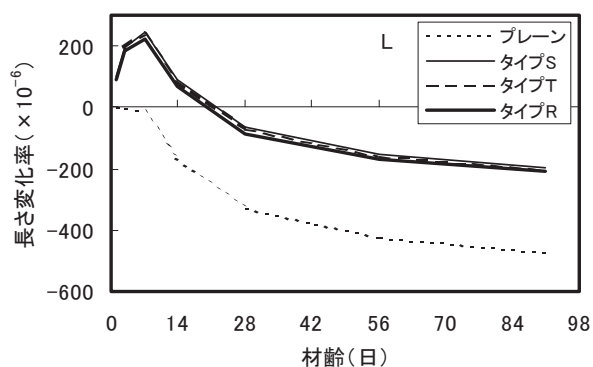
s/a： 47.0%

W： 167kg/m³

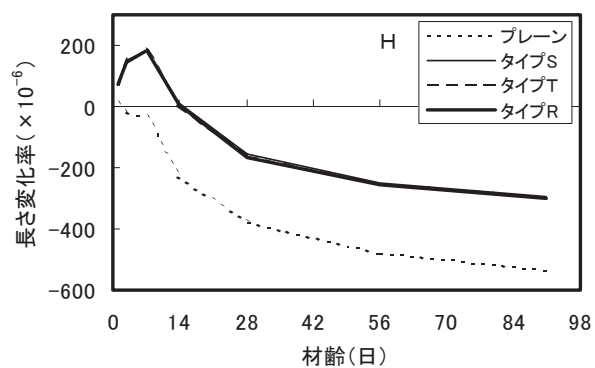
混和剤： 市販の AE 減水剤標準量を添加



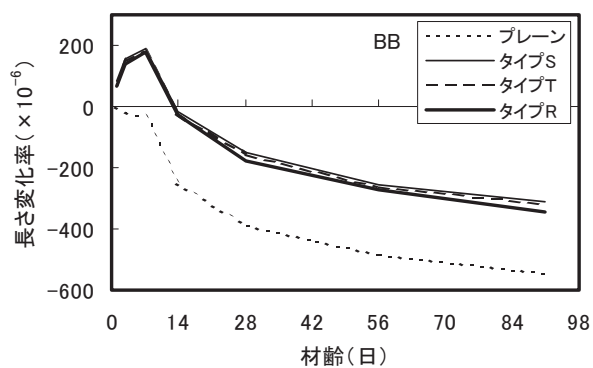
a) 普通セメント



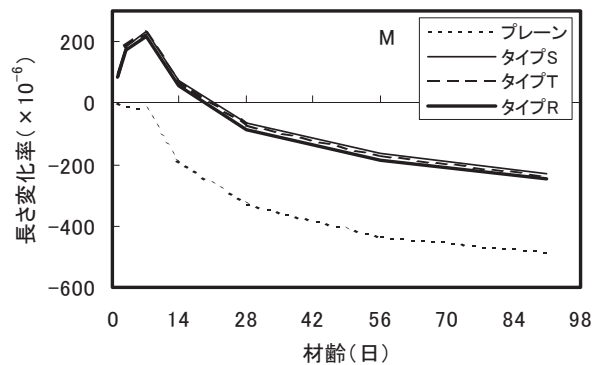
d) 低熱セメント



b) 早強セメント



e) 高炉セメントB種



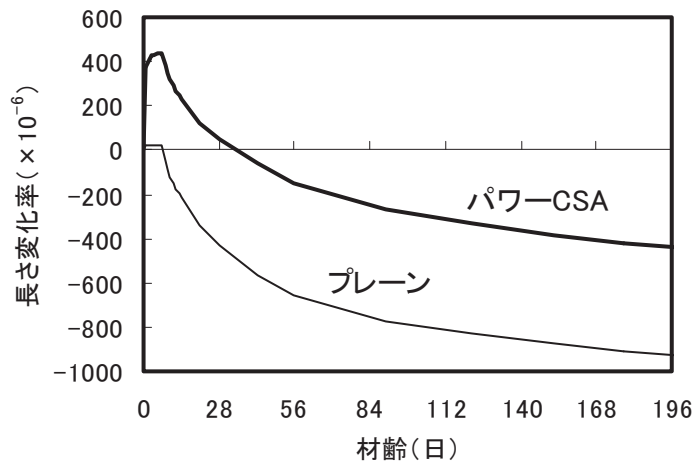
c) 中庸熱セメント

図 4-2-1 拘束状態における長さ変化率 (JIS A 6202 附属書 2 B 法)

(2) 無拘束状態における乾燥収縮

図 4-2-2 に、「デンカパワーCSA」を混和したコンクリートの無拘束状態における膨張・収縮特性の測定例を示します。試験は、水中養生を材齢 7 日まで実施し、材齢 7 日以降を気乾養生としました。

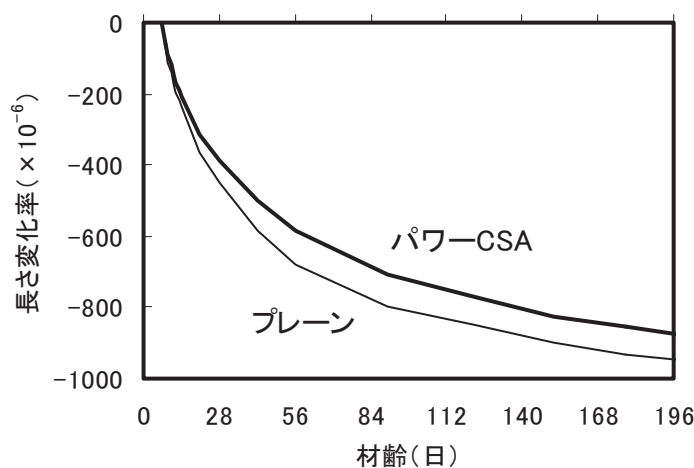
「デンカパワーCSA」を混和することで、乾燥収縮を低減することができます。



《配合》

セメント：	普通セメント（N）
W/C+Ex：	55%
s/a：	46%
W：	170kg/m ³
C：	309kg/m ³
混和剤：	市販の AE 減水剤 標準量を添加
環境温度：	20℃
骨材：	姫川水系産の川砂・川砂 利を使用

a) 埋込み型ひずみ計による評価
(材齢 7 日までの膨張を考慮)



b) JIS A 1129 ダイヤルゲージ法による評価
(材齢 7 日までの膨張は考慮しない)

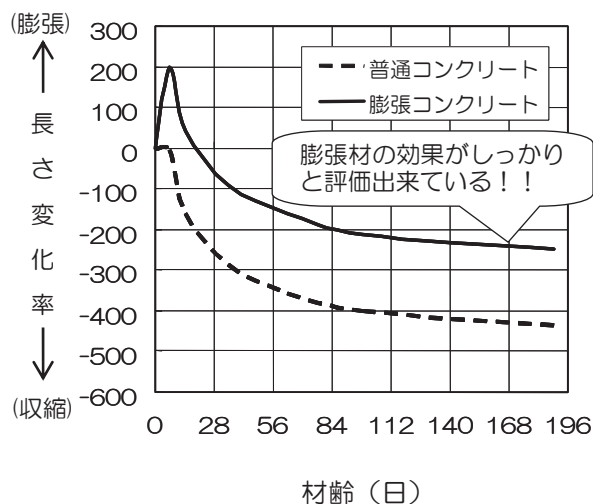
図 4-2-2 無拘束状態における膨張・収縮特性

【コラム9】コンクリートの長さ変化率の評価試験は2種類存在する

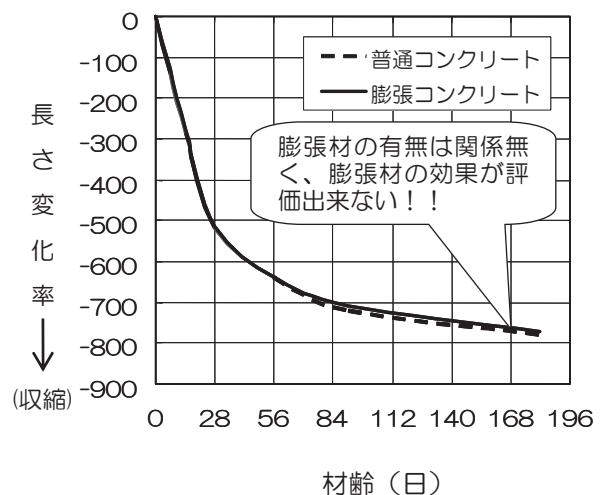
コンクリートの長さ変化率を評価する方法には、「JIS A 6202 コンクリート用膨張材」と「JIS A 1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」の2種類があります。

「JIS A 6202 コンクリート用膨張材」は、膨張材や膨張コンクリートの管理などに適用されます。一方、「JIS A 1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」は、モルタルとコンクリートの乾燥に伴う長さ変化率を管理するもので、膨張材や収縮低減剤等を含まない一般的な普通コンクリートを評価する場合に行われます。また、測定方法を第1部：コンパレータ方法、第2部：コンタクトゲージ方法、第3部：ダイヤルゲージ方法から選択できます。

	JIS A 6202	JIS A 1129
名称	コンクリート用膨張材	モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法
測定の対象	膨張コンクリート	一般的なコンクリート
測定方法	A 法：膨張のみ B 法：膨張と収縮	コンパレータ方法、コンタクトゲージ方法、ダイヤルゲージ方法
試験条件	拘束	無拘束
測定規準 (基長)	コンクリート練混ぜ時	水中養生7日後
測定データ	膨張および収縮	強度発現後の乾燥による長さ変化 (主に収縮)



《JIS A 6202》



《JIS A 1129》

4. 3 圧縮強度

(1) 圧縮強度

表 4-3-1 から表 4-3-5 に、「デンカ パワー C S A」を混和したコンクリートの圧縮強度の測定例を示します。試験は、JIS A 1108「コンクリート圧縮強度試験方法」に準じました。なお、「デンカ パワー C S A」は、いずれもセメントに 20kg/m³を置換して混和しました。図 4-3-1 から図 4-3-5 は、これらの関係を図化したものです。

表 4-3-1 圧縮強度（普通セメント）

セメント 種類	水結合材 比	温度 (℃)	配合	圧縮強度 (N/mm ²)					
				1 日	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
N	50%	10	プレーン	3.86	12.1	24.0	37.2	43.7	46.1
			タイプ S	3.96	13.6	25.7	39.1	44.1	46.9
			タイプ T	3.38	12.5	24.3	38.5	44.5	47.1
			タイプ R	2.46	12.8	24.2	38.7	45.2	47.8
		20	プレーン	6.90	20.0	30.3	40.7	42.8	44.2
			タイプ S	7.11	22.4	30.1	39.7	42.1	44.7
			タイプ T	6.34	21.5	30.3	40.1	41.5	44.3
			タイプ R	5.32	21.1	29.5	38.1	41.5	45.6
		30	プレーン	8.90	22.4	33.6	41.1	43.6	44.3
			タイプ S	8.98	25.3	34.1	42.4	44.1	45.3
			タイプ T	6.33	23.1	33.5	41.5	43.6	45.1
			タイプ R	4.67	17.8	30.4	41.3	43.3	44.9
	55%	10	プレーン	2.25	11.3	21.7	32.8	37.4	40.0
			タイプ S	2.83	12.5	23.8	32.5	37.5	41.2
			タイプ T	2.06	11.1	21.3	31.3	37.0	41.5
			タイプ R	1.55	10.9	20.5	31.5	37.3	41.3
		20	プレーン	5.80	18.7	25.8	34.8	36.6	38.1
			タイプ S	5.86	19.3	24.3	33.5	36.5	40.3
			タイプ T	5.23	19.1	24.6	33.2	36.8	39.5
			タイプ R	4.47	18.8	25.1	33.8	37.0	39.3
		30	プレーン	7.10	19.7	27.3	36.8	37.7	38.3
			タイプ S	7.38	22.3	28.9	35.8	38.6	40.8
			タイプ T	5.47	20.1	27.6	36.3	37.5	41.1
			タイプ R	3.25	18.5	27.1	35.9	37.9	40.4

《配合》

セメント： 普通セメント (N)

W/C+Ex： 50%、55%

s/a： 45%、47%

W： 165kg/m³

混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤、市販の AE 減水剤それぞれ標準量を添加

表 4-2-2 圧縮強度（早強セメント）

セメント 種類	水結合材 比	温度 (℃)	配合	圧縮強度 (N/mm ²)					
				1 日	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
H	50%	10	プレーン	8.10	23.5	33.6	40.9	45.2	47.5
			タイプ S	10.2	25.7	36.6	41.4	45.8	50.2
			タイプ T	9.54	24.2	35.4	41.2	45.3	49.5
			タイプ R	8.23	23.9	33.8	41.7	45.3	48.2
		20	プレーン	14.6	30.5	39.0	44.5	46.3	47.2
			タイプ S	15.2	31.8	41.5	43.2	45.9	48.9
			タイプ T	14.1	31.2	40.1	44.1	45.5	48.2
			タイプ R	13.7	29.5	39.8	43.9	45.2	48.3
		30	プレーン	20.5	37.0	41.3	45.8	45.8	45.9
			タイプ S	21.1	37.6	42.2	47.1	47.9	48.3
			タイプ T	18.3	34.3	41.8	46.8	47.5	48.0
			タイプ R	15.8	32.5	41.4	46.4	47.1	46.2
	55%	10	プレーン	7.60	19.6	26.5	35.3	40.5	42.3
			タイプ S	7.65	20.3	25.9	36.2	42.2	44.5
			タイプ T	7.55	19.6	25.8	35.8	41.2	43.8
			タイプ R	7.43	18.8	26.3	35.5	41.8	43.3
		20	プレーン	13.9	26.0	33.3	38.1	39.6	40.4
			タイプ S	14.1	26.3	33.8	39.5	41.1	41.5
			タイプ T	13.5	26.2	33.4	39.0	40.4	41.3
			タイプ R	10.5	25.1	32.2	39.3	41.3	41.5
		30	プレーン	14.7	27.5	35.2	40.2	40.5	40.5
			タイプ S	15.8	28.8	35.3	39.5	40.8	41.1
			タイプ T	13.3	27.7	35.1	39.8	40.7	41.2
			タイプ R	9.20	26.2	35.1	40.2	40.5	40.8

単位：N/mm²

《配合》

セメント： 早強セメント (H)

W/C+Ex： 50%、55%

s/a： 45%、47%

W： 165kg/m³

混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤、市販の AE 減水剤それぞれ標準量を添加

表 4-2-3 圧縮強度（中庸熱セメント）

セメント 種類	水結合材 比	温度 (℃)	配合	圧縮強度 (N/mm ²)					
				1 日	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
M	50%	10	プレーン	2.63	8.03	16.2	29.9	42.1	48.3
			タイプ S	2.83	9.89	17.7	32.1	42.8	50.6
			タイプ T	2.52	8.26	16.9	31.2	43.2	49.7
			タイプ R	2.10	7.78	16.2	30.3	42.1	49.4
		20	プレーン	4.60	14.0	20.6	35.9	43.1	48.8
			タイプ S	5.85	14.1	22.1	33.8	42.1	47.2
			タイプ T	4.76	13.8	21.4	33.5	42.5	47.5
			タイプ R	4.56	13.7	20.7	32.1	41.2	46.1
		30	プレーン	5.94	15.2	23.8	38.2	46.7	50.7
			タイプ S	6.48	17.6	25.1	38.1	45.6	49.7
			タイプ T	4.88	16.5	24.3	37.8	45.3	49.5
			タイプ R	3.56	15.5	24.4	37.5	46.1	48.9
	55%	10	プレーン	1.68	7.51	13.8	26.4	36.9	43.1
			タイプ S	1.89	7.83	14.2	25.6	36.6	44.8
			タイプ T	1.34	6.85	13.5	26.5	36.2	45.5
			タイプ R	0.58	5.36	13.8	25.1	37.2	45.3
		20	プレーン	4.12	12.5	16.8	30.1	37.4	42.8
			タイプ S	4.58	13.3	18.3	31.2	37.4	43.3
			タイプ T	4.25	13.2	17.3	30.8	37.3	43.5
			タイプ R	3.98	12.8	17.5	30.4	38.1	43.0
		30	プレーン	4.36	13.2	17.8	31.9	39.6	45.3
			タイプ S	5.10	14.1	18.5	32.7	40.4	45.1
			タイプ T	3.89	13.5	17.3	31.5	39.5	44.8
			タイプ R	2.21	12.1	17.1	31.6	39.3	44.9

単位：N/mm²

《配合》

セメント： 中庸熱セメント (M)

W/C+Ex： 50%、55%

s/a： 45%、47%

W： 165kg/m³

混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤、市販の AE 減水剤それぞれ標準量を添加

表 4-2-4 圧縮強度（低熱セメント）

セメント 種類	水結合材 比	温度 (℃)	配合	圧縮強度 (N/mm ²)					
				1 日	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
L	50%	10	プレーン	0.86	4.35	8.13	22.3	38.5	48.9
			タイプ S	0.81	3.02	6.43	17.8	31.9	41.3
			タイプ T	0.76	3.15	6.38	18.2	32.1	41.5
			タイプ R	0.68	2.98	6.07	17.9	33.2	42.2
		20	プレーン	3.49	8.06	12.6	33.1	44.0	49.4
			タイプ S	2.85	7.21	12.4	28.3	41.5	48.3
			タイプ T	2.68	7.18	12.1	27.8	40.8	48.2
			タイプ R	2.62	7.02	11.2	27.5	40.1	47.9
		30	プレーン	4.20	8.61	13.8	35.0	49.1	54.1
			タイプ S	5.32	10.6	15.4	36.5	49.5	54.5
			タイプ T	3.84	8.88	14.5	35.8	50.1	54.5
			タイプ R	2.64	6.75	11.6	33.6	48.3	54.3
	55%	10	プレーン	0.43	4.27	7.83	20.0	33.4	43.3
			タイプ S	0.38	2.46	5.87	15.7	28.9	38.7
			タイプ T	0.33	2.31	5.46	15.2	28.8	37.9
			タイプ R	0.21	1.85	5.39	14.6	29.4	38.1
		20	プレーン	2.75	6.42	9.78	28.5	39.0	44.2
			タイプ S	1.84	5.55	9.33	26.8	36.6	43.8
			タイプ T	1.83	5.68	9.15	25.7	36.4	42.7
			タイプ R	1.29	5.10	8.79	26.1	35.7	42.5
		30	プレーン	3.80	6.79	10.3	30.1	41.3	46.7
			タイプ S	3.95	8.04	11.1	30.8	42.1	47.8
			タイプ T	3.01	6.11	10.5	29.8	42.5	46.4
			タイプ R	1.42	5.86	9.57	28.6	41.4	45.8

単位：N/mm²

《配合》

セメント： 低熱セメント (L)

W/C+Ex： 50%、55%

s/a： 45%、47%

W： 165kg/m³

混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤、市販の AE 減水剤それぞれ標準量を添加

表 4-2-5 圧縮強度（高炉セメントB種）

セメント 種類	水結合材 比	温度 (℃)	配合	圧縮強度 (N/mm ²)					
				1 日	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
BB	50%	10	プレーン	2.31	7.92	15.2	32.9	41.7	46.3
			タイプS	2.85	7.91	16.8	34.5	42.5	47.4
			タイプT	2.44	7.60	15.8	34.3	42.7	46.8
			タイプR	1.28	6.50	15.4	33.1	42.8	46.3
		20	プレーン	4.84	14.1	22.4	37.4	43.2	46.6
			タイプS	4.95	14.3	22.4	36.9	44.3	47.6
			タイプT	3.12	14.2	21.5	36.6	43.5	47.0
			タイプR	2.85	13.8	21.1	36.1	43.3	47.1
		30	プレーン	4.92	17.5	30.1	42.7	46.9	48.8
			タイプS	6.67	19.2	30.1	43.1	48.5	51.2
			タイプT	4.52	18.3	29.5	42.6	47.1	50.2
			タイプR	2.88	16.3	28.2	42.4	47.4	49.7
	55%	10	プレーン	1.23	7.05	14.8	31.3	38.3	42.6
			タイプS	1.52	7.40	15.5	31.4	38.3	43.2
			タイプT	1.21	7.28	14.5	31.3	38.9	43.1
			タイプR	1.10	6.23	14.3	30.5	39.2	42.8
		20	プレーン	3.42	11.8	18.9	33.0	37.6	40.5
			タイプS	4.11	12.5	19.2	32.5	38.8	42.1
			タイプT	3.69	12.1	18.8	33.1	39.1	42.5
			タイプR	3.52	11.6	18.3	32.2	38.9	41.6
		30	プレーン	4.13	12.5	19.9	34.9	39.8	42.8
			タイプS	5.23	13.4	21.5	34.5	40.4	43.3
			タイプT	4.28	11.8	20.8	33.2	40.1	43.5
			タイプR	2.15	10.4	19.7	33.8	41.5	44.1

単位：N/mm²

《配合》

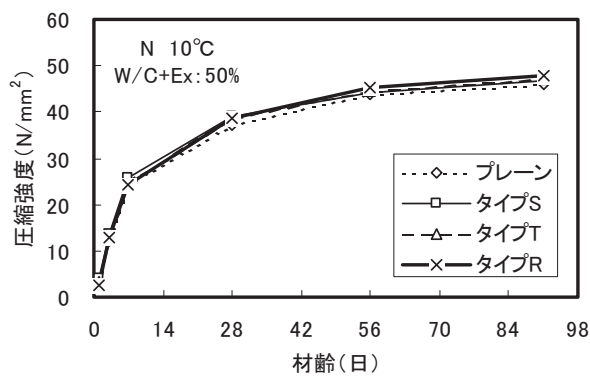
セメント： 高炉セメント B 種 (BB)

W/C+Ex： 50%、55%

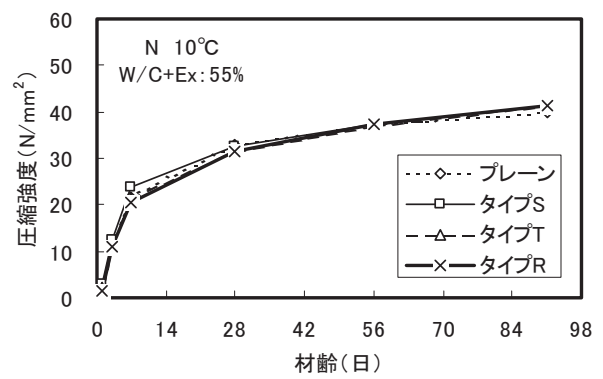
s/a： 45%、47%

W： 165kg/m³

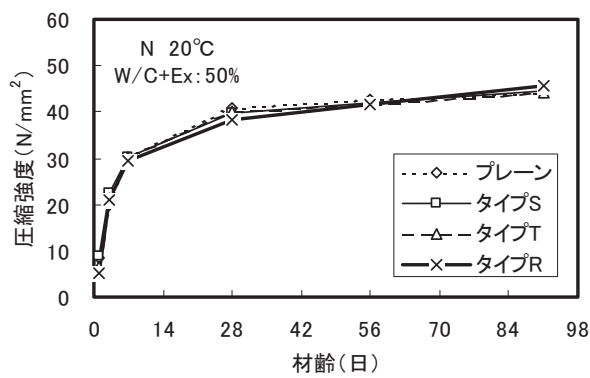
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤、市販の AE 減水剤それぞれ標準量を添加



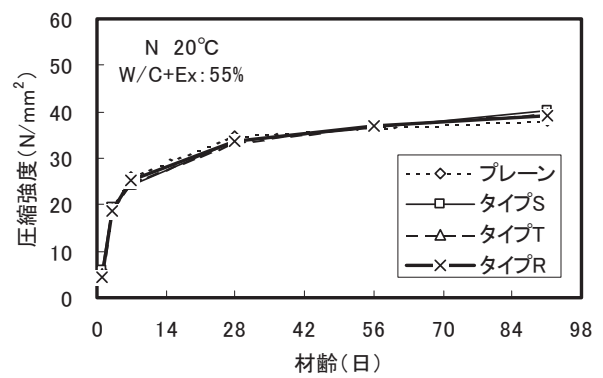
a) W/C+Ex: 50%、10°C



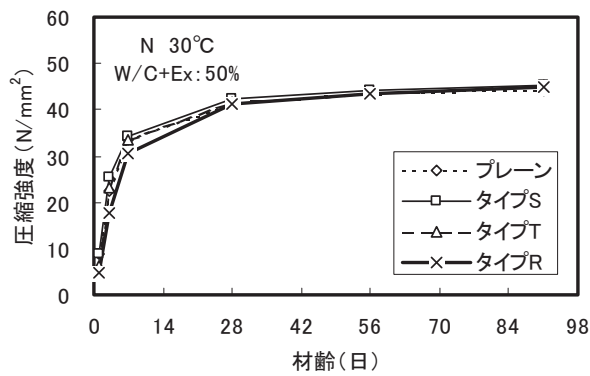
d) W/C+Ex: 55%、10°C



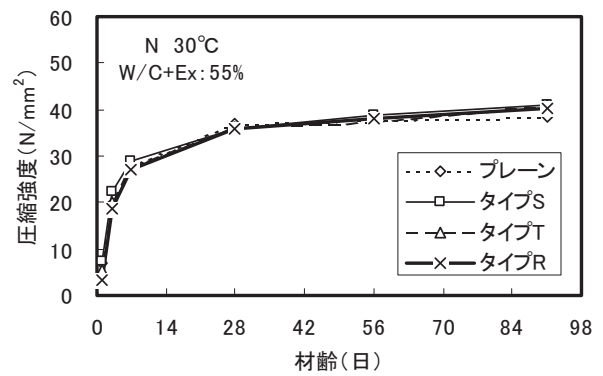
b) W/C+Ex: 50%、20°C



e) W/C+Ex: 55%、20°C

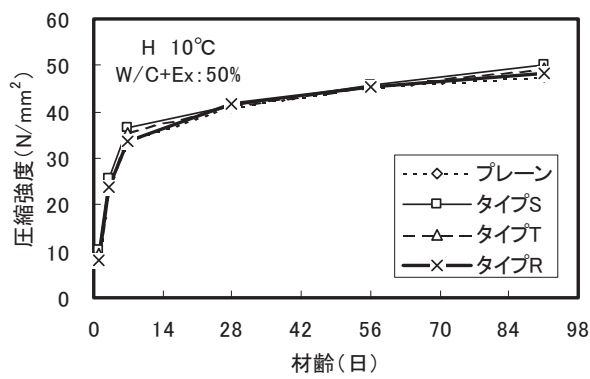


c) W/C+Ex: 50%、30°C

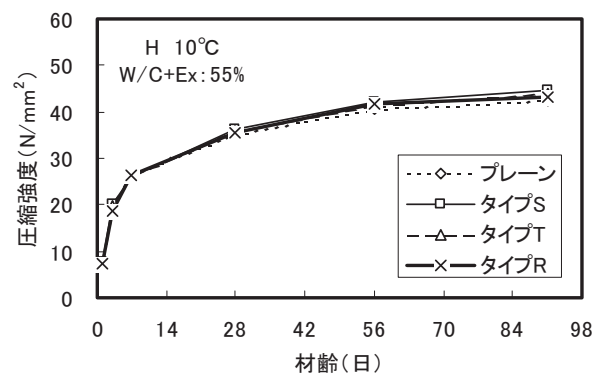


f) W/C+Ex: 55%、30°C

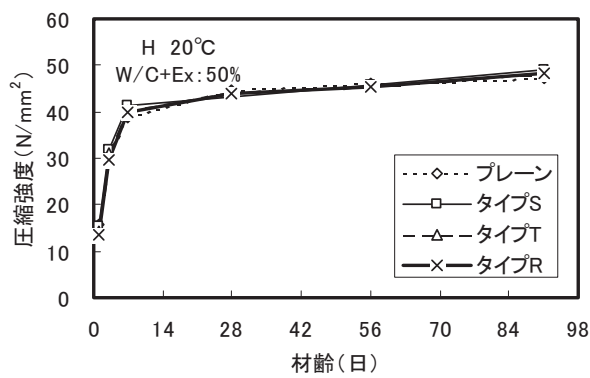
図 4-3-1 圧縮強度 (普通セメント)



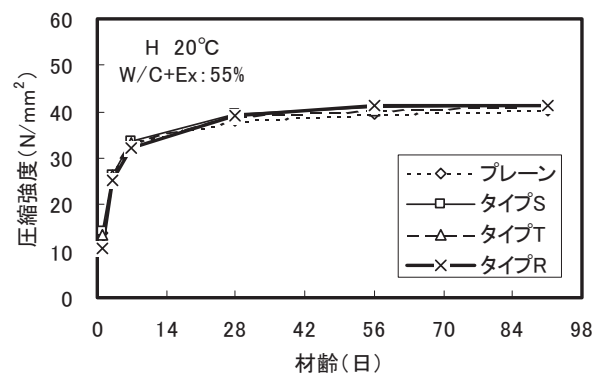
a) W/C+Ex: 50%、10°C



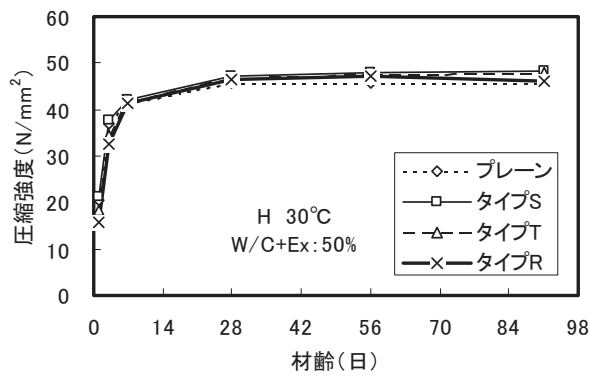
d) W/C+Ex: 55%、10°C



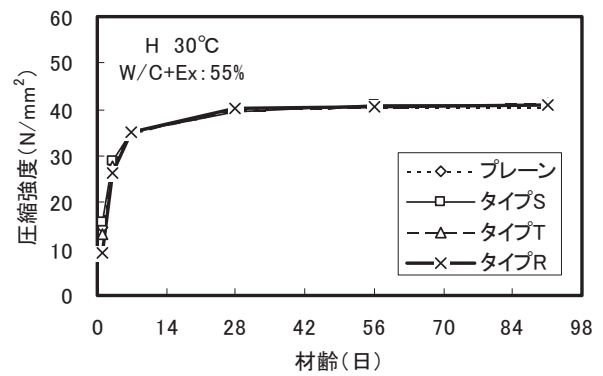
b) W/C+Ex: 50%、20°C



e) W/C+Ex: 55%、20°C

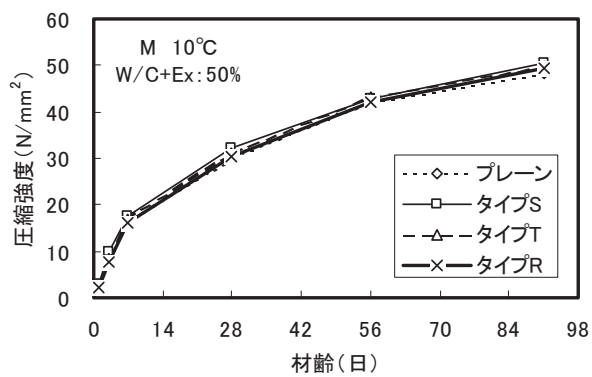


c) W/C+Ex: 50%、30°C

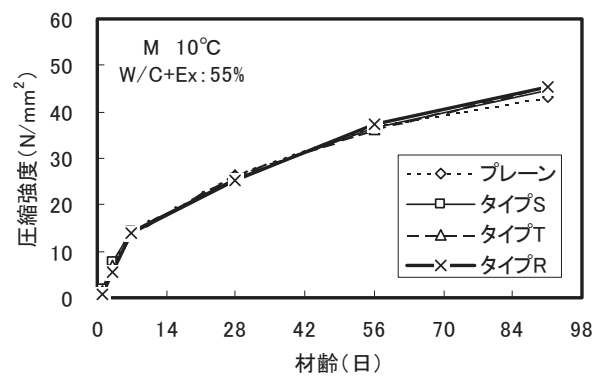


f) W/C+Ex: 55%、30°C

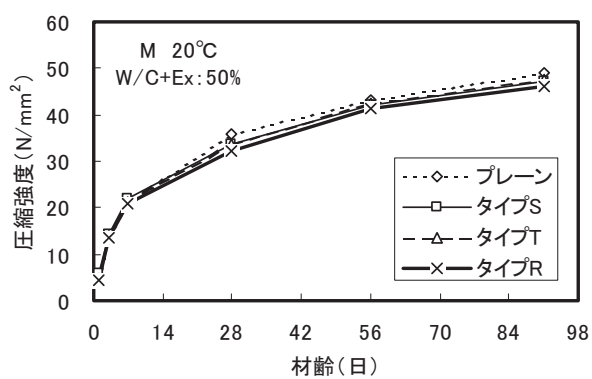
図 4-3-2 圧縮強度 (早強セメント)



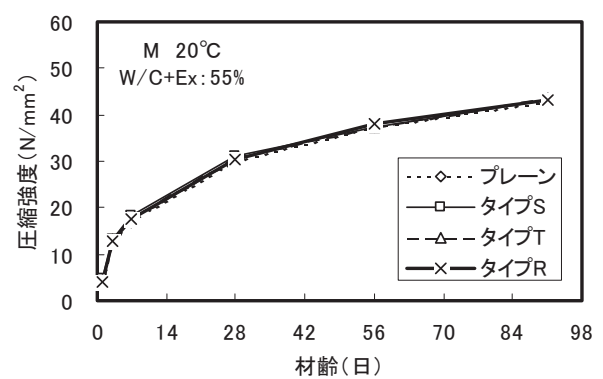
a) W/C+Ex:50%、10°C



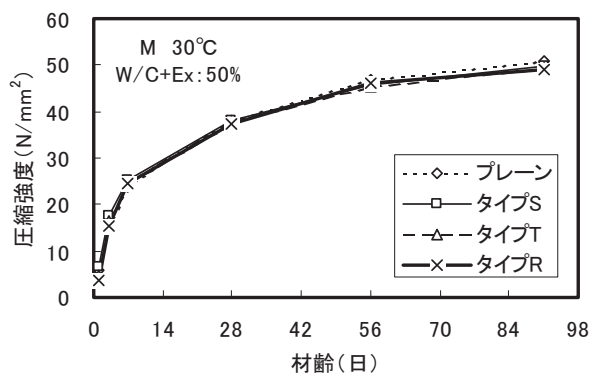
d) W/C+Ex:55%、10°C



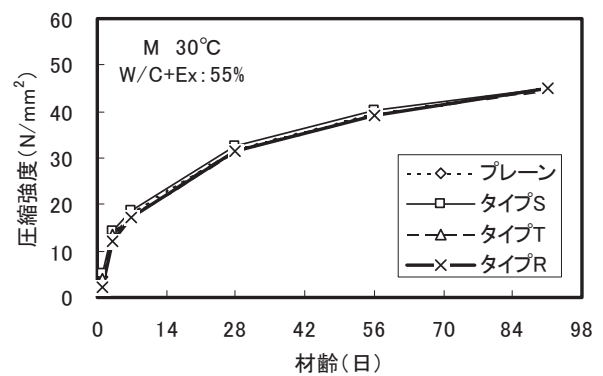
b) W/C+Ex:50%、20°C



e) W/C+Ex:55%、20°C

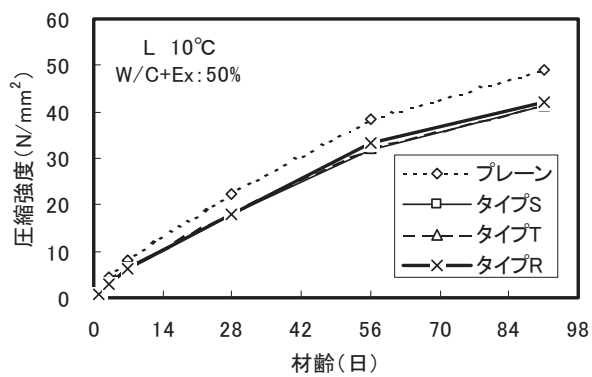


c) W/C+Ex:50%、30°C

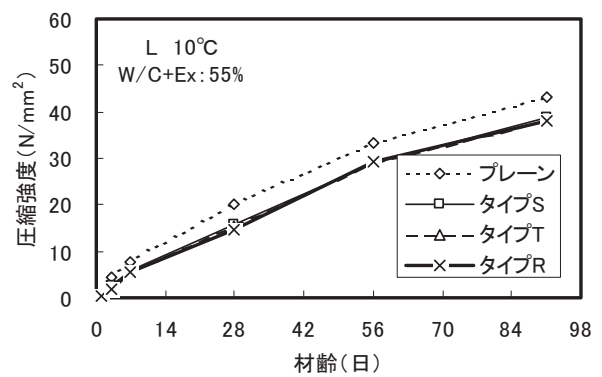


f) W/C+Ex : 55%、30°C

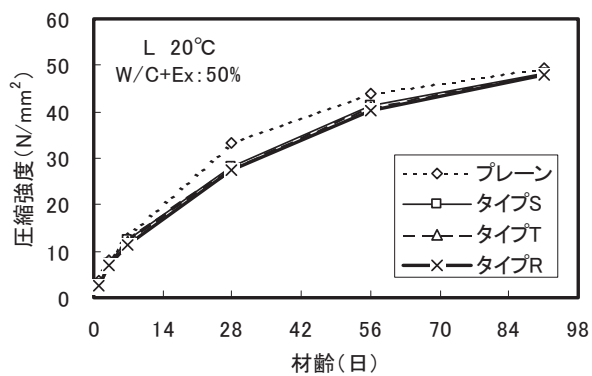
図 4-3-3 圧縮強度 (中庸熱セメント)



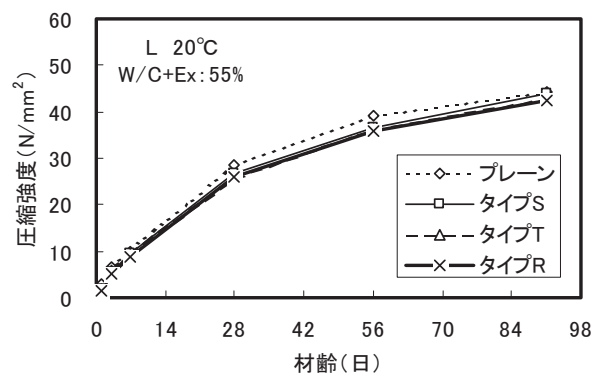
a) W/C+Ex:50%、10°C



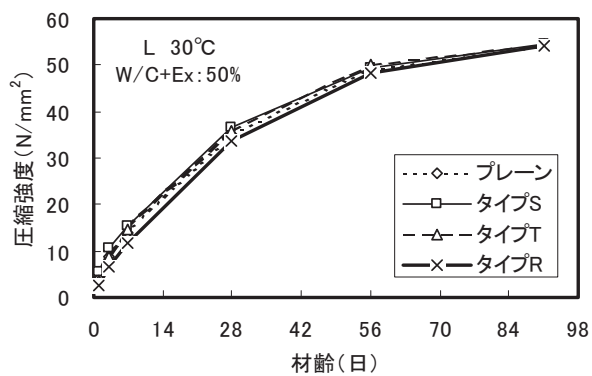
d) W/C+Ex:55%、10°C



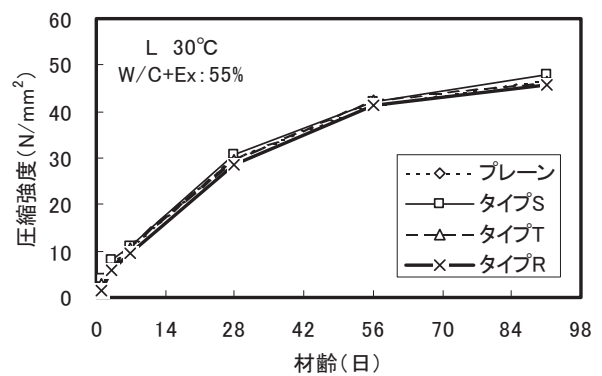
b) W/C+Ex:50%、20°C



e) W/C+Ex:55%、20°C

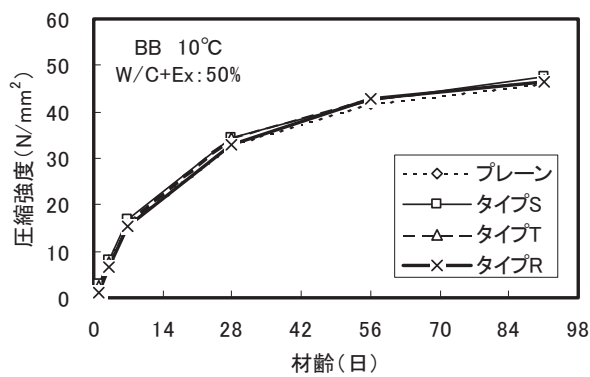


c) W/C+Ex:50%、30°C

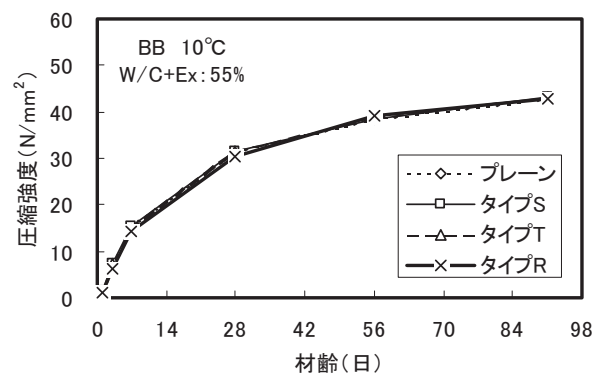


f) W/C+Ex:55%、30°C

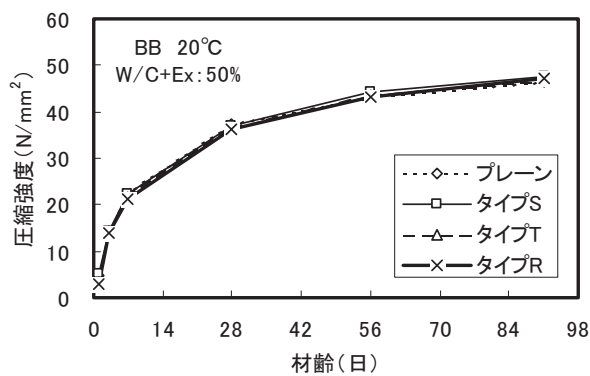
図 4-3-4 圧縮強度（低熱セメント）



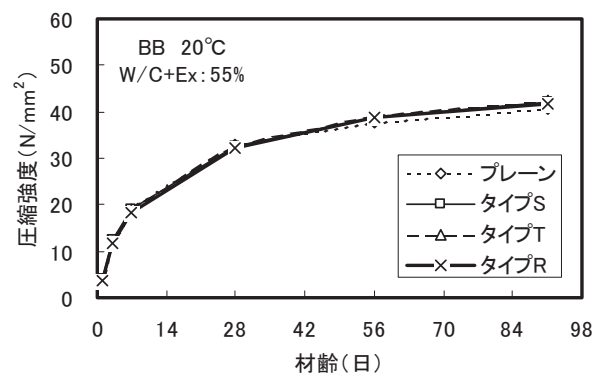
a) W/C+Ex:50%、10°C



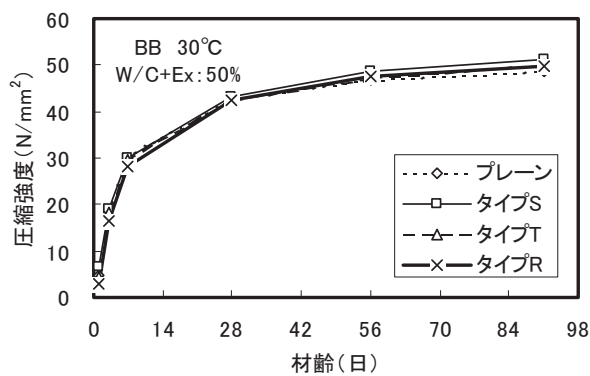
d) W/C+Ex:55%、10°C



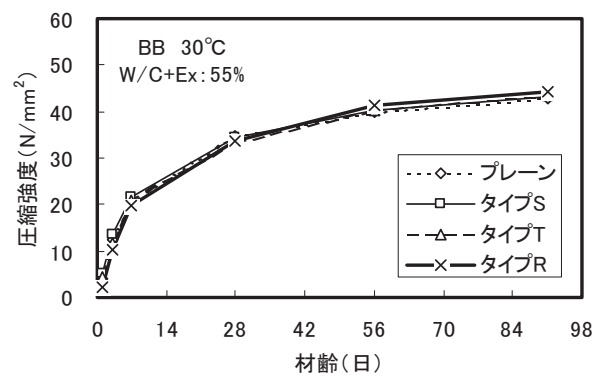
b) W/C+Ex:50%、20°C



e) W/C+Ex:55%、20°C



c) W/C+Ex:50%、30°C



f) W/C+Ex:55%、30°C

図 4-3-5 圧縮強度 (高炉セメントB種)

(2) デンカ パワーCSAの単位量と圧縮強度

表 4-3-6 に、「デンカ パワーCSA」の単位量と圧縮強度の測定例を示します。

表 4-3-6 圧縮強度 (20℃)

温度 (℃)	セメント 種類	膨張材 単位量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)					
			1 日	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
20	N	0	6.90	20.0	30.3	40.7	42.8	44.2
		10	7.25	21.7	30.4	41.1	43.3	45.6
		20	7.11	22.4	30.1	39.7	42.1	44.7
		30	5.72	13.2	22.2	30.6	32.9	34.4
		40	3.63	9.96	15.0	20.3	21.6	22.4
	H	0	14.6	30.5	39.0	44.5	46.3	47.2
		10	15.4	30.8	41.2	46.2	47.7	51.6
		20	15.2	31.8	41.5	43.2	45.9	48.9
		30	12.8	23.2	32.2	36.8	39.0	39.9
		40	7.99	14.5	20.1	23.0	24.4	24.9
	M	0	4.60	14.0	20.6	35.9	43.1	48.8
		10	5.50	13.9	21.3	35.2	40.7	45.4
		20	5.85	14.1	22.1	33.8	42.1	47.2
		30	4.10	10.6	15.6	25.5	30.5	34.5
		40	2.73	7.04	10.4	17.0	20.3	23.0
	L	0	3.49	8.06	12.6	33.1	44.0	49.4
		10	3.12	8.25	12.5	34.1	43.0	50.1
		20	2.85	7.21	12.4	28.3	41.5	48.3
		30	1.32	4.65	8.50	19.2	24.2	28.2
		40	—	—	4.48	9.57	11.8	14.0
	BB	0	4.84	14.1	22.4	37.4	43.2	46.6
		10	4.92	14.4	22.6	37.8	43.6	46.2
		20	4.95	14.3	22.4	36.9	44.3	47.6
		30	2.33	10.1	16.0	27.2	32.1	34.6
		40	0.00	6.76	10.7	18.1	21.4	23.0

《配合》

セメント： 普通セメント (N)、早強セメント (H)、中庸熱セメント (M)、低熱セメント (L)、
高炉セメント B 種 (BB)

W/C+Ex： 50%

s/a： 45%

W： 165kg/m³

混和剤： 市販の AE 減水剤、標準量を添加

図 4-3-6 に、「デンカ パワー C S A」の単位量と材齢 28 日における圧縮強度との関係を示します。「デンカ パワー C S A」は、標準単位量 (20kg/m^3) を超過して使用した場合には、その単位量に応じて圧縮強度が低下する傾向にありますが、標準単位量 (20kg/m^3) 以下では、圧縮強度にはほとんど影響しません。

図 4-3-7 は、JIS A 6202 附属書 3 に準じて、材齢 28 日まで型枠の拘束条件下のもとで水中養生を行った供試体の圧縮強度を示したものです。この方法で圧縮強度を測定した場合には、標準単位量を超過しても圧縮強度の低下は小さくなります。

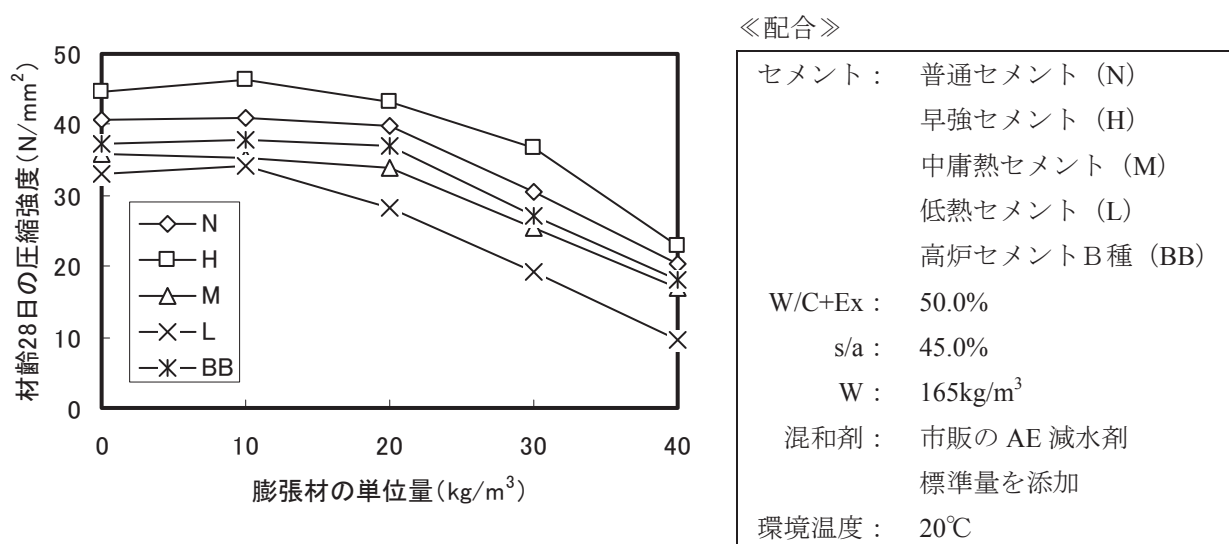


図 4-3-6 膨張材の単位量と圧縮強度（測定例）

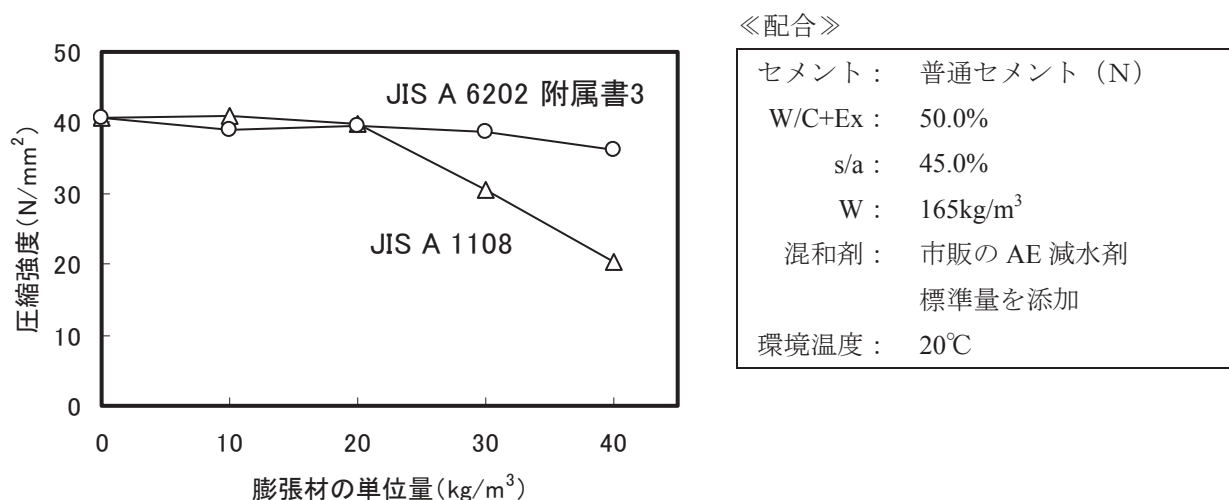


図 4-3-7 JIS A6202 附属書 3 膨張材の単位量と圧縮強度（測定例）
(JIS A6202 附属書 3)

4. 4 引張強度

図 4-4-1 は、「デンカ パワー C S A」を混和したコンクリートの圧縮強度と引張強度との関係を示したものです。圧縮強度は JIS A 1108「コンクリート圧縮強度試験方法」に、引張強度は JIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準じました。なお、「デンカ パワー C S A」は、いずれもセメントに 20kg/m^3 を置換して混和しました。

「デンカ パワー C S A」を使用することで、圧縮強度と引張強度との関係に影響はありません。

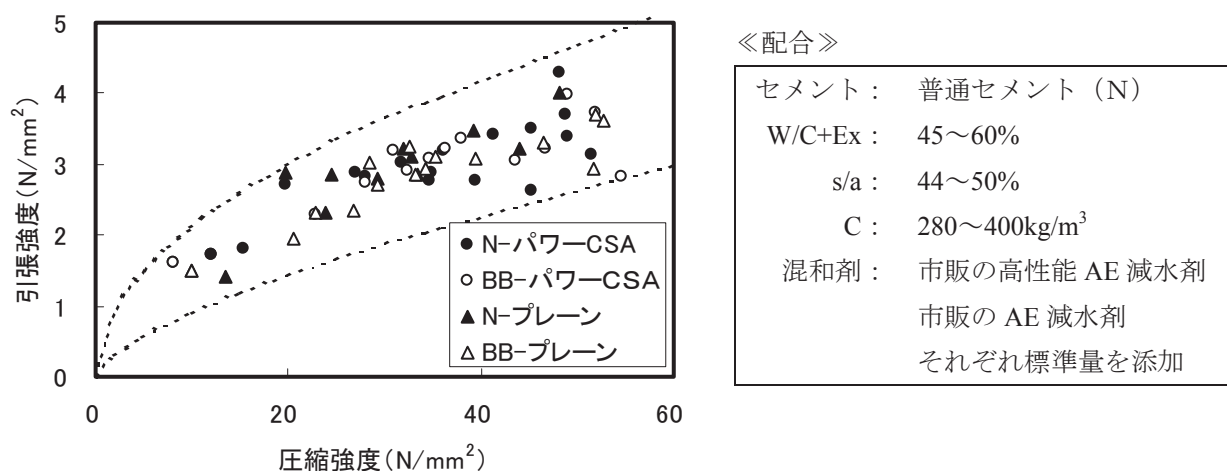


図 4-4-1 圧縮強度と引張強度（測定例）

4. 5 弾性係数

図 4-5-1 は、「デンカ パワー C S A」を混和したコンクリートの圧縮強度と弾性係数との関係を示したものです。圧縮強度は JIS A 1108「コンクリート圧縮強度試験方法」に、弾性係数は JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準じました。なお、「デンカ パワー C S A」は、いずれもセメントに 20kg/m^3 を置換して混和しました。

「デンカ パワー C S A」を使用することで、圧縮強度と弾性係数との関係に影響はありません。

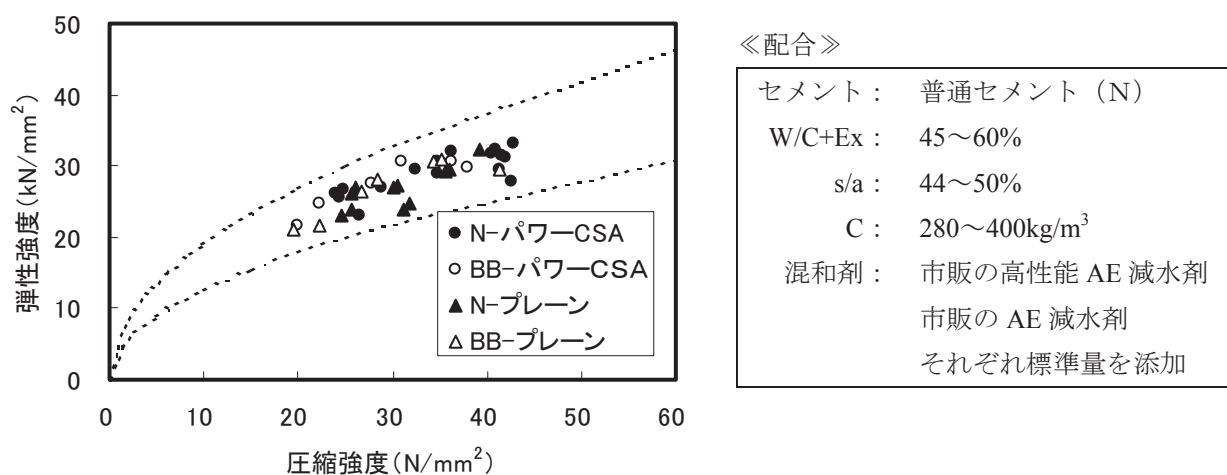


図 4-5-1 圧縮強度と弾性係数（測定例）

4. 6 耐久性

(1) 凍結融解抵抗性

相対動弾性係数の測定例を図 4-6-1 に示します。試験は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じました。「デンカ パワーCSA」を混和することで、凍結融解抵抗性に大きな変化はありません。

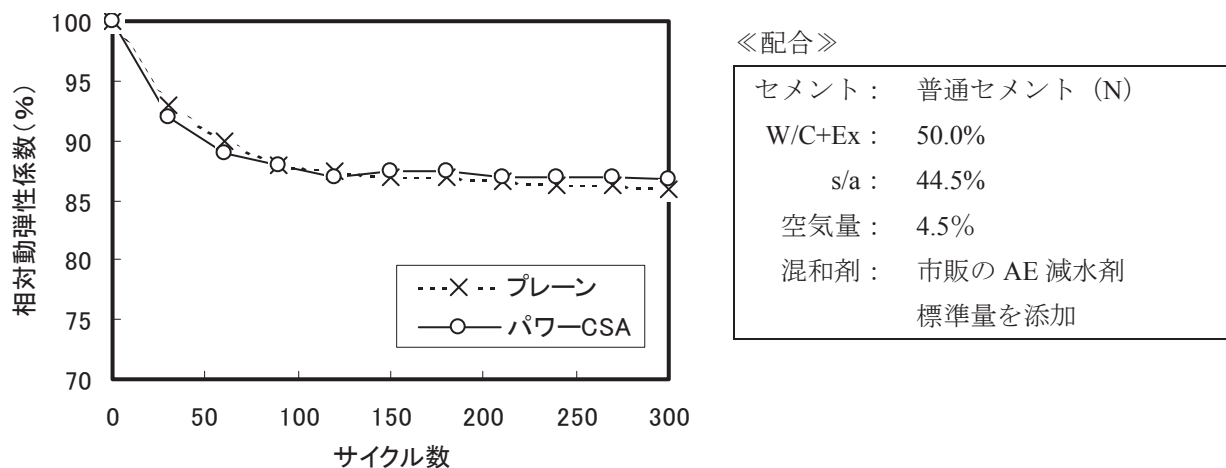


図 4-6-1 凍結融解抵抗性 (測定例)

(2) 中性化

中性化深さの実施例を図 4-6-2 に示します。試験は、JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準じました。「デンカ パワーCSA」を混和することで、中性化深さに大きな変化はありません。

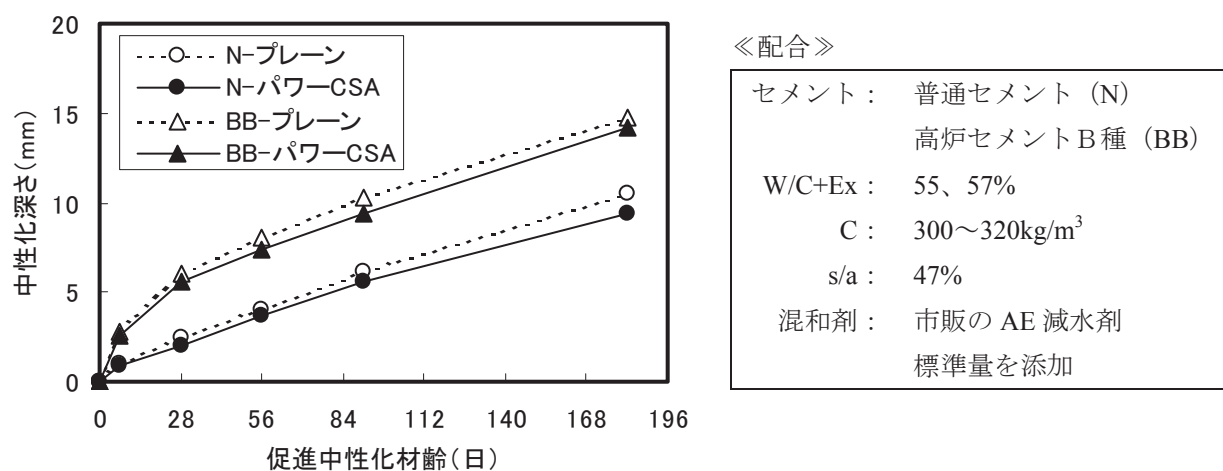


図 4-6-2 中性化深さ (測定例)

(3) 水密性

「デンカ パワーC S A」を混和したコンクリートの透水係数は、これを混和しないコンクリートと比較して小さく、水密性に優れたコンクリートをつくることができます。また、水セメント比の大きいコンクリートにおいて、その効果が顕著に現われます。

透水試験結果の一例を図4-6-3に示します。試験方法は、アウトプット法を用いており、一定の圧力で供試体に加えた水が単位時間に単位面積から流れ出す量から、Darcy 則に基づいて、コンクリートの透水係数を求めています。「デンカ パワーC S A」を混和したコンクリートは、これを混和しないコンクリートに比べて透水係数が小さくなっており、水密性が高いことを示しています。また、両者の差は水結合材比(W/C+Ex)が大きくなるほど顕著になることも明らかです。

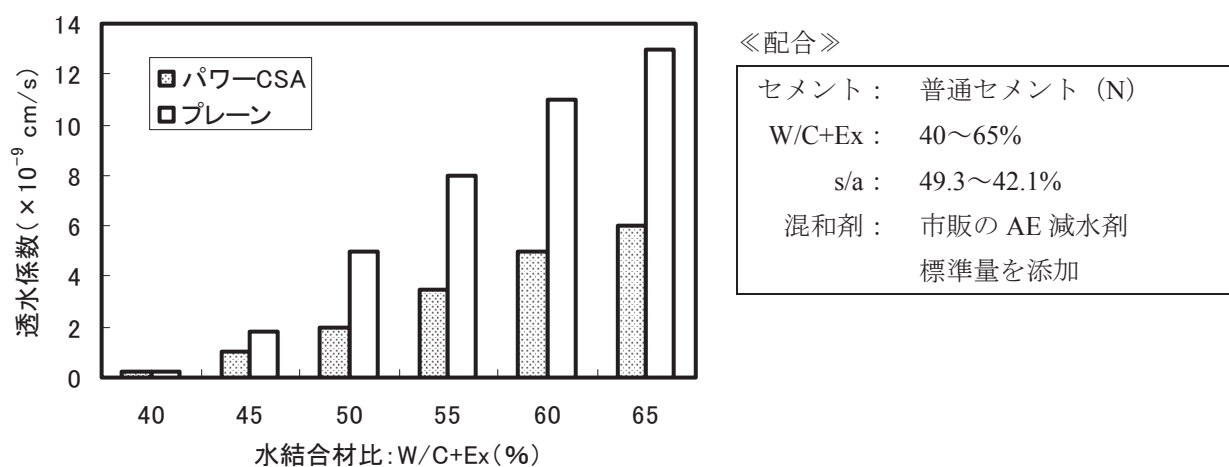


図 4-6-3 透水係数 (測定例)

4. 7 断熱温度上昇特性

(1) 断熱温度上昇曲線

図 4-7-1 に「デンカ パワーC S A」の断熱温度上昇曲線の測定例を示します。

「デンカ パワーC S A」をセメントに置換して混和する場合、終局断熱温度上昇量は、普通コンクリートと変わりません。断熱温度上昇速度は、「デンカ パワーC S AタイプR」や「デンカ パワーC S AタイプT」では、水和抑制剤の効果により、普通コンクリートに比べて小さくなります。

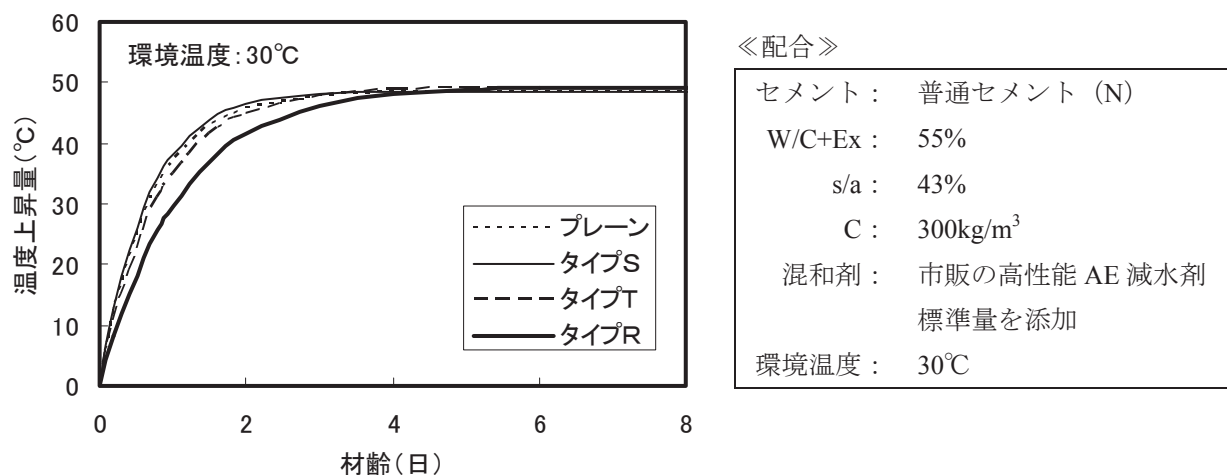


図 4-7-1 断熱温度上昇曲線（測定例）

(2) 断熱温度上昇の特性値

材齢 t 日におけるコンクリートの断熱温度上昇量 Q との関係は、一般に、式 (4-7-1) に示す $K\alpha$ 式で近似できます。

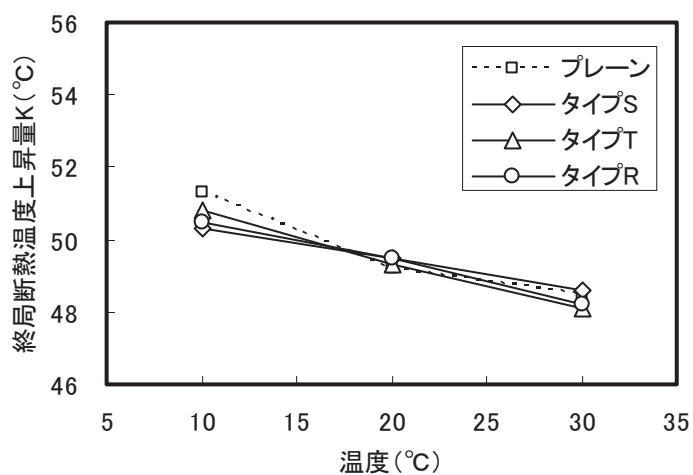
$$Q = K(1 - e^{-\alpha t}) \quad \text{式 (4-7-1)}$$

ここに、

- Q : 断熱温度上昇量 (°C)
 K : 終局断熱温度上昇量 (°C)
 α : 断熱温度上昇の速度に関する定数 (1/日)
 t : 材齢 (日)

図 4-7-2 に、温度別の K 値および α 値を示します。終局断熱温度上昇量 K 値は、膨張材の種類によらず、普通コンクリートとほぼ同等の値を示します。また、「デンカ パワーC S AタイプT」および「デンカ パワーC S AタイプR」の断熱温度上昇速度に関する定数の α 値は、水和抑制剤の効果により温度に応じて普通コンクリートよりも小さな値を示します。

表 4-7-1 に、 K 値および α 値の測定結果の代表例を示します。



《配合》

セメント： 普通セメント（N）

W/C+Ex： 55%

s/a： 43%

C： 300kg/m³

混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤

市販の AE 減水剤

それぞれ標準量を添加

環境温度： 10、20、30℃

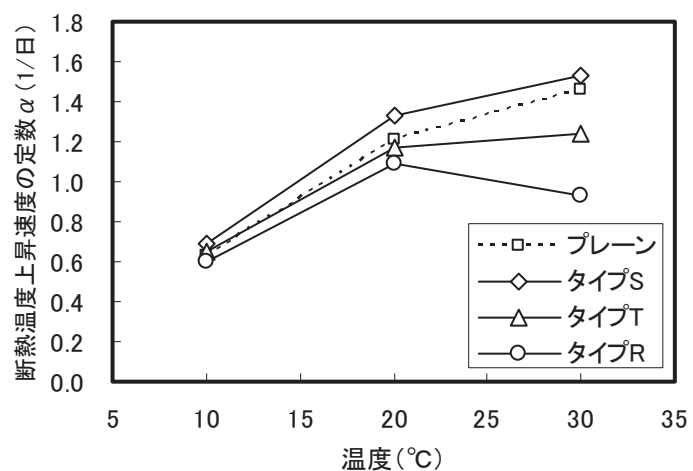


図 4-7-2 K値およびα値（測定例）

表 4-7-1 断熱温度上昇の特性値の測定例

	セメント 種類	温度 (°C)	単位結合材量 (kg/m ³)					
			300		350		400	
			K (°C)	α (1/日)	K (°C)	α (1/日)	K (°C)	α (1/日)
タイプ S	N	10	50.3	0.62	56.0	0.73	62.7	0.81
		20	48.6	1.25	53.7	1.42	59.1	1.56
		30	47.7	1.62	51.9	1.77	58.2	1.90
タイプ R	N	10	50.2	0.61	55.4	0.64	62.2	0.78
		20	48.3	1.07	53.2	1.22	58.8	1.35
		30	46.6	0.90	51.4	0.98	57.8	1.02
タイプ T	N	10	49.4	0.67	55.6	0.68	62.0	0.79
		20	47.7	1.14	53.4	1.28	59.1	1.40
		30	46.6	1.16	51.5	1.27	57.4	1.43

(3) 断熱温度上昇の特性値の補正方法例

「デンカ パワーC S A」を用いる場合の断熱温度上昇の特性値の近似の方法を示します。

単位結合材量に対する K 値および α 値を、メーカーの技術資料あるいは関連する学協会基準に従って算出します。

膨張コンクリートの場合には、算出した K 値および α 値に対して、式 (4-7-2) および式 (4-7-3) に示す補正係数を乗じて、膨張コンクリートの K 値および α 値を算出してください。補正係数 η および ζ は、表 4-8-2 を参考にしてください。なお、補正係数 η および ζ は、弊社における実験結果から求めた参考値です。

$$K' = \eta \cdot K \quad \text{式 (4-7-2)}$$

$$\alpha' = \xi \cdot \alpha \quad \text{式 (4-7-3)}$$

ここに、

K : 普通コンクリートの終局断熱温度上昇量 (°C)

α : 普通コンクリートの断熱温度上昇速度に関する定数 (1/日)

η : 終局断熱温度上昇量に関する補正係数

ξ : 断熱温度上昇速度に関する補正係数

K' : 普通コンクリートの終局断熱温度上昇量 (°C)

α' : 普通コンクリートの断熱温度上昇速度に関する定数 (1/日)

表 4-7-3 断熱温度上昇の特性値の補正係数の一例

補正係数	配合	温度 (°C)		
		10	20	30
η	タイプ S	1.00	1.00	1.00
	タイプ T	1.00	1.00	1.00
	タイプ R	1.00	1.00	1.00
ζ	タイプ S	1.05	1.10	1.10
	タイプ T	0.95	0.95	0.85
	タイプ R	0.95	0.90	0.65

注意：膨張材を細骨材に置換して混和する場合、基準となる K 値および α 値は、単位結合材量 (C+Ex) を基準としてください。

4. 8 温度応力試験

(1) 概要

JCI-SQA7「コンクリートの水和熱による温度ひび割れ試験方法」に準じた図 4-8-1 による試験装置を用いて、所定の温度履歴を与えながら供試体に生じる「デンカ パワーCSAタイプR」の応力を測定しました。なお、拘束鋼管比は 14%、温度履歴は三次元有限要素法による温度解析に基づき、壁厚が 60cm のマスコンクリートの中心部の温度としました。

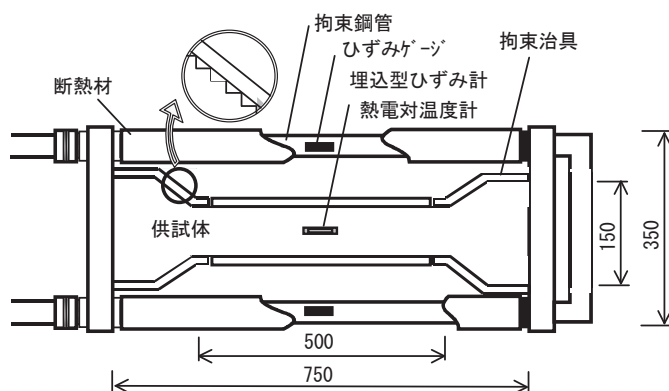


図 4-8-1 温度応力試験装置

(2) 実験水準およびコンクリートの配合

表 4-8-1 実験水準およびコンクリートの配合

	セメント 種類	Air (%)	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		
					W	C	EX
普通コンクリート	N	4.5	58.0	44.8	160	276	0
膨張コンクリート						256	20
普通コンクリート	BB	4.5	56.0	44.8	160	286	0
膨張コンクリート						266	20

(3) 実験結果

図 4-8-2 に温度応力の測定結果を示します。「デンカパワーCSA」を混和することで、普通コンクリートに比べて $0.6 \sim 0.8 \text{ N/mm}^2$ の温度応力の緩和が確認できます。

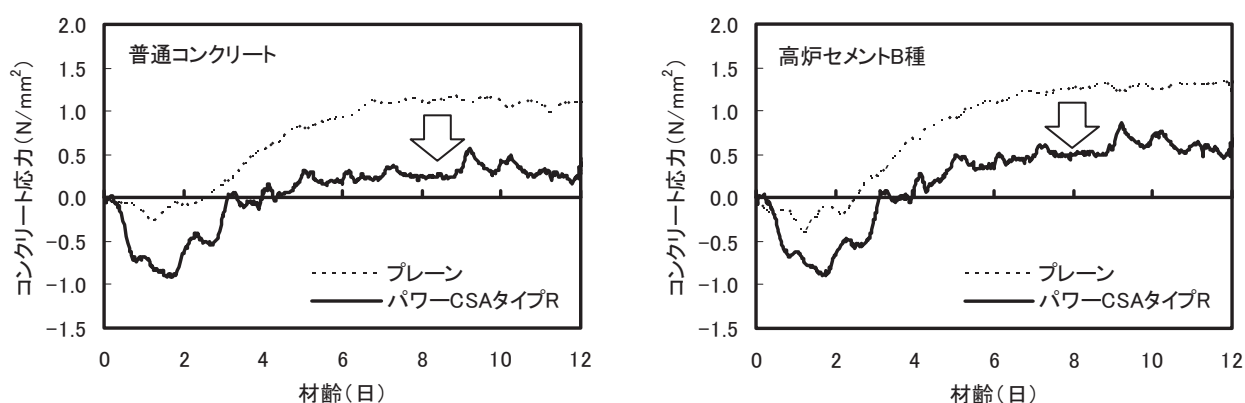


図 4-8-2 温度応力

第Ⅱ編 施工編

第1章 はじめに

1. 1 はじめに

膨張コンクリートは、膨張材をセメント、水、細骨材、粗骨材およびその他の混和材料と、練り混ぜたコンクリートで、硬化と同時にコンクリートに体積膨張を付与させたコンクリートの総称です。

膨張材「デンカ パワーC S A」は、コンクリートに発生するひび割れを抑制・制御するとともにコンクリートの水密性を向上させ、コンクリートの潜在能力を引き出す混和材です。設計・施工ならびに構造上の要因までを補うものではありません。

第II編では、膨張コンクリートの施工において、特に必要な事項について、とりまとめたものです。「デンカ パワーC S A」を用いた膨張コンクリートの製造・施工に際して、本技術データに記載のない事項は、日本建築学会・建築工事標準仕様書 (JASS 5) あるいは土木学会コンクリート標準示方書に準拠してください。

1. 2 膨張コンクリートの規準、規格

膨張コンクリートの規準、規格は関連学協会により異なります。代表例として、土木学会および日本建築学会の定義を表 1-2-1 および表 1-2-2 に示します。

土木学会では、JIS A6202「コンクリート用膨張材」による膨張率で表し、同附属書 2（参考）による材齢 7 日における試験値を標準とします。

日本建築学会では、膨張率は JIS A6202「コンクリート用膨張材」附属書 2（参考）による A 法によって試験した材齢 7 日における値、収縮率は JIS A6202「コンクリート用膨張材」附属書 2（参考）による B 法によって試験した保存期間 6 ヶ月における値です。

表 1-2-1 膨張率の範囲の標準（土木学会）

膨張コンクリートの分類	膨張率の範囲	試験方法
収縮補償用コンクリート	150×10^{-6} 以上 250×10^{-6} 以下	JIS A 6202「コンクリート用膨張材」附属書 2（参考）（膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法）によって求めた一軸拘束膨張率で表す。材齢 7 日における試験値を標準。
ケミカルプレストレス用コンクリート	200×10^{-6} 以上 700×10^{-6} 以下	
工場製品に用いる ケミカルプレストレス用コンクリート	200×10^{-6} 以上 1000×10^{-6} 以下	

表 1-2-2 膨張コンクリートの膨張率と収縮率の目標値（日本建築学会）

膨張率・収縮率の目標値		試験方法
膨張率	1.5×10^{-4} 以上	JIS A 6202 附属書 2（参考）の A 法（B 法によることもできる）によって試験した材齢 7 日における値で表す。
収縮率	4.5×10^{-4} 以下	JIS A 6202 附属書 2（参考）の B 法によって試験し、材齢 7 日まで $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 水中、その後 $60 \pm 5\% \text{ R. H.}$ で保存した時の保存期間 6 か月における値で表す。

第2章 製造と施工

2. 1 製造

(1) 製造設備

「デンカ パワーC S A」を用いたコンクリートは、機械練りを原則として、生コンプラントをご利用ください。

「デンカ パワーC S A」は、生コンクリートの製造時にセメントや砂等の投入と同時に投入口から解袋投入して練混ぜることを標準としております。また、混和材専用のサイロおよび計量設備がある場合には、機械的に計量投入することも可能です。ただし、生コンクリートのプラント仕様によっては、上記投入方法が採れない場合もありますので、その際は生コンクリートプラントと協議の上、決定してください。その他の計量設備をご使用される場合は、弊社担当者までご相談願います。

(2) 投入

「デンカパワーC S A」は、①解袋による投入、②生コンプラントの予備ビンやサイロを利用する方法などがあります。

投入に関する詳細につきましては、別紙の「デンカ パワーC S Aの標準投入・施工管理要領」をご参照ください。

《「デンカ パワーC S A」の投入時の注意事項》

「デンカ パワーC S A」を使用する場合には、以下の点に留意ください。

(1) 「デンカ パワーC S A」をアジテータ車に直接投入することは絶対に避けてください。

練混ぜたコンクリートに異常な膨張が生じることがあります。

(2) 生コンプラントの通常練混ぜ時間よりも強制二軸ミキサで10秒以上、傾胴式ミキサで30秒以上長く練混ぜてください。「デンカ パワーC S A」は、コンクリート全体から見れば少量添加の混和材です。投入時に「デンカ パワーC S A」の投入が遅れることも考えられますので、均一に分散させるためにも、練混ぜ時間を長くしてください。

(3) 計量

膨張材の計量は、表 2-1-1 を参考にしてください。

大幅な誤計量により過配合になると、圧縮強度が低下し、硬化コンクリートとしての性能を満足しないことがあります。計量は、十分に確認した上で実施してください。

必要に応じて、日本建築学会建築工事標準仕様書 (JASS 5)、土木学会コンクリート標準示方書などに従ってください。

表 2-1-1 計量誤差

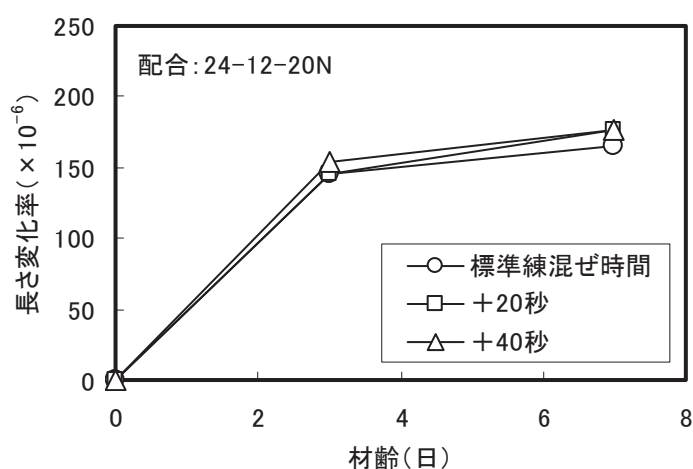
規格名称	計量誤差の最大値 (%)
JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」	混和材：±2

(4) 練混ぜ

「デンカ パワーC S A」は、コンクリート全体から見ると少量の混和材料です。レディーミクストコンクリートを練り混ぜる際は、通常のコンクリートよりも練混ぜ時間を長く設定してください。

図 2-1-2 は、「デンカ パワーC S A」を標準量 (20kg/m^3) 混和したコンクリートを、レディーミクストコンクリート工場で、練混ぜ時間を変化させて作製し、膨張率を測定した結果です。試験は、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」、「附属書 2 (参考) 膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮方法試験」の B 法に準じました。いずれの場合も標準練混ぜ時間において、所定の膨張率が確保されていますが、練混ぜ時間を延長し、膨張材をより分散させることで、膨張率が増加する傾向にあります。

練混ぜ時間が不足した場合には、「デンカ パワーC S A」が均一に分散されず、遅れ膨張やポップアウトの発生原因となることがあります。



《配合》

セメント :	普通セメント (N)
W/C+Ex :	58.4%
W :	169 kg/m^3 (24-12-20N) 185 kg/m^3 (24-21-20N)
混和剤 :	市販の AE 減水剤 標準量を添加

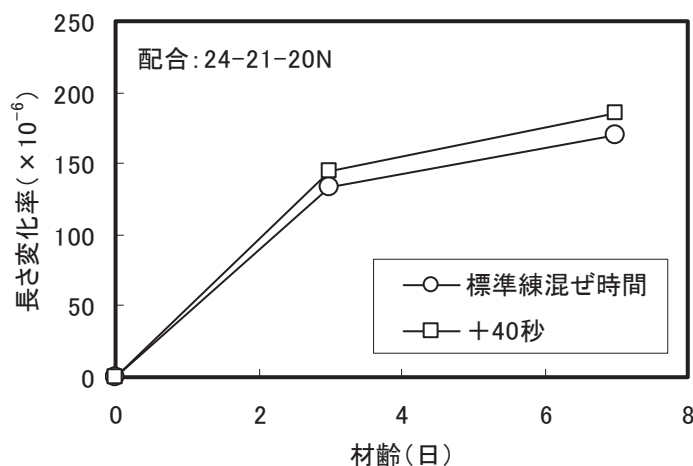


図 2-1-2 練混ぜ時間と膨張率との関係 (測定例)

(4) 運搬

膨張コンクリートの現場までの運搬は、普通コンクリートと同様の取扱いとなります。必要に応じて、日本建築学会建築工事標準仕様書（JASS-5）、土木学会コンクリート標準示方書などに従ってください。

(5) 受入れ検査

膨張コンクリートの受入れ検査は、学協会などの規定により異なります。必要に応じて、日本建築学会建築工事標準仕様書（JASS 5）、土木学会コンクリート標準示方書などに従ってください。

2. 2 施工

(1) 型枠

型枠は、普通コンクリートの場合と同様に設計してください。特に補強する必要はありません。ただし、水密コンクリートの場合には、型枠の組立てに使用するセパレーターや締付ボルトは、コンクリートの硬化後、その部分からの漏水の原因になることがありますので、コーキング材などによって水密となるようにしてください。

「デンカ パワーＣＳＡ」を混和したコンクリートを打込む場合、型枠に働く側圧の計算は通常のコンクリートと同様に行ってください。

「デンカ パワーＣＳＡ」を混和したコンクリートの打込みに際して、使用する型枠には一般のコンクリート同様、次のような注意をお願い致します。

ベニヤ板等の合板型枠を用いた場合、コンクリート中の水分が型枠に吸い取られ、表面が荒れることがあります。化粧板や塗装コンパネにて作製した型枠の使用をお勧めします。

新品の合板型枠を用いた場合、型枠中に含まれる物質（主にリグニン）によってコンクリートの凝結が極端に遅延することがあります。

メタルフォームを用いた場合、型枠表面の温度に注意してください。直射日光が当たっている場合等は、型枠が非常に熱くなっており、コンクリートが異常凝結することがあります。このような場合は、あらかじめ散水するなどして型枠の冷却をお願い致します。

試験室におけるコンクリート試験体を採取する場合、押し抜き型枠を使用すると、「デンカ パワーＣＳＡ」の働きによって膨張したコンクリート供試体が押し抜けられないことがあります。このような場合、型枠を温水（40～50℃程度）に数分漬けるなどして温めることで、押し抜くことができます。

型枠の取外しは普通コンクリートと同様です。必要に応じて、日本建築学会建築工事標準仕様書（JASS 5）、土木学会コンクリート標準示方書などに従ってください。

(2) コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは一般のコンクリートの場合と同様に、可能な限り速やかに打設するとともに、バイブレーター等を使用して十分に締め固めてください。必要に応じて、日本建築学会建築工事標準仕様書（JASS 5）、土木学会コンクリート標準示方書などに従ってください。

(3) 打継ぎ

まだ固まらない状態の膨張コンクリートを、既設の普通コンクリートや膨張コンクリートに打ち継ぐことに問題はありません。また、この場合の両者の体積変化の差が、打継ぎ部の接着強度に及ぼす影響は小さいことが確認されています。例えば、日本建築学会「膨張材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針案・同解説」などをご参照ください。

水密性を要求する構造物では、コンクリートの打継ぎはなるべく避けるようにしてください。打継ぎを要する場合には、止水板を入れるか、あるいはレイタンス除去後に漏水処理を行ってください。

(4) 仕上げ

仕上げは、普通コンクリートの場合と同様です。

「デンカ パワーＣＳＡ」を混和したコンクリートを打込んだ直後、沈み亀裂等を防ぐため、表面の荒ならしとタンピングを行ってください。また、コンクリート打設面が急激な乾燥を受けると、膨張材を使用

していても表面にプラスチックひび割れ（コンクリート打設面の急速な乾燥によるひび割れ）が発生する場合があります。したがって、このような状況が予想される場合は、コンクリートの打込み後に急激な乾燥を避ける処置を行ってください。また、万一プラスチックひび割れが発生しても、表面だけの亀裂であるため、コンクリートが軟らかいうちに木ごてずりなどを行い、ひび割れを閉塞させれば問題はありません。

「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」は、水和抑制効果を付与しているため、温度に応じて凝結時間が長くなります。外気温や練上がり温度が高い場合には、仕上げの時期を遅らせてください。「第Ⅰ編 物性編」の凝結時間や、事前の試験練りなどによって、仕上げの時期を確認してください。仕上げの時期が早い場合には、レイタンス、細かいひび割れ、ぜい弱な層の形成とその剥離が発生させることがあります。

（５）養生

膨張コンクリートの養生は、打込み後少なくとも５日間は「湿潤状態」を保つようにしてください。「湿潤状態」が保たれない場合には、所定の膨張性能を得られない場合があります。

「デンカ パワーＣＳＡ」は、水との反応によってコンクリートを膨張させる混和材料です。この反応は、コンクリートの硬化時から材齢７日前後の間に行われるため、この間に養生不足（水不足）になると十分な膨張が得られず、ひび割れ抑制効果が十分に発揮されません。このため、コンクリート硬化後（打設翌日ごろ）から材齢７日まで十分な養生を行ってください。具体的に推奨される方法としては以下の通りです。

表 2-2-1 養生方法の例

スラブ	湛水養生	側面の型枠を予めコンクリート面より高くなるように作成し、コンクリート硬化後に水を張ります。
	養生マットおよび散水養生	養生マットでコンクリート表面を覆い、表面全体が常時湿潤するよう定期的に散水します。
	塗膜養生剤の使用	打設翌日、早い時期に市販の塗膜養生剤を全体に均一に塗布します。
壁面		壁体の場合は、散水等の養生が難しいため、型枠の存置期間を長く（最低５日）取り、急激な乾燥を防止することで養生にかえてください。ただし、散水養生が可能な場合はこれを実施してください。

第3章 寒中コンクリート

3. 1 寒中コンクリート

寒中コンクリートは、土木学会、日本建築学会でそれぞれ表 3-1-1 のように定義されています。寒中時に、「デンカ パワーCSA」を混和した膨張コンクリートを使用する場合には、「寒中コンクリート」として取り扱ってください。

表 3-3-1 寒中コンクリート

土木学会	日平均気温が4℃以下になることが予想されるときは、寒中コンクリートとしての施工を行わなければならない。 寒中コンクリートの施工にあたっては、コンクリートが凍結しないように、また、寒冷地においても所用の品質が得られるように、材料、配合、練混ぜ、運搬、打込み、養生、型枠および支保工等について、適切な処置をとらなければならない。
日本建築学会	コンクリート打込み後、材齢 28 日までの積算温度 M が 370° D・D 以下の期間を寒中コンクリートとする。370° D・D は、W/C が 60%の AE コンクリートが、標準養生の場合に対する強度の不足が 25%以上となるような温度条件である。

3. 2 寒中コンクリートにおける注意点

寒中コンクリートの材料の加熱は、土木学会コンクリート標準示方書では「水と骨材の混合物の温度を40℃以下に」、日本建築学会では「セメントを投入する直前のミキサ内の骨材および水の温度は40℃以下」と記載されております。「デンカ パワーCSAタイプS」を使用する場合には、関連する基準類に準拠してください。また、水和抑制効果を付与してある「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」では、練混ぜ水の加熱を行う場合には、以下の点にご注意ください。

《寒中コンクリート》

冬期や寒冷地で「デンカ パワーCSAタイプR、タイプT」を使用する場合には、以下の点に留意してください。

- (1) セメントと膨張材を加熱しないでください。異常凝結の可能性があります。
- (2) 練混ぜ水の温度の上限値は、40℃としてください。
- (3) 水と骨材の混合物の温度を 20℃以下にしてください。その後に、セメントおよび「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」を投入してください。
- (4) 上記を踏まえ、「寒中コンクリート」として取り扱ってください。

3. 3 膨張コンクリートの練混ぜ

寒中コンクリートの対策として練混ぜ水の加熱を行う場合、普通コンクリートでは凝結が短くなり、「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」では、水和抑制効果によって凝結が遅れる傾向にあります。

図 3-3-1 に、練混ぜ水の温度を実験水準として、凝結を測定した結果を示します。なお、練混ぜ水以外の材料温度は 5℃、環境温度は 5℃を条件としました。

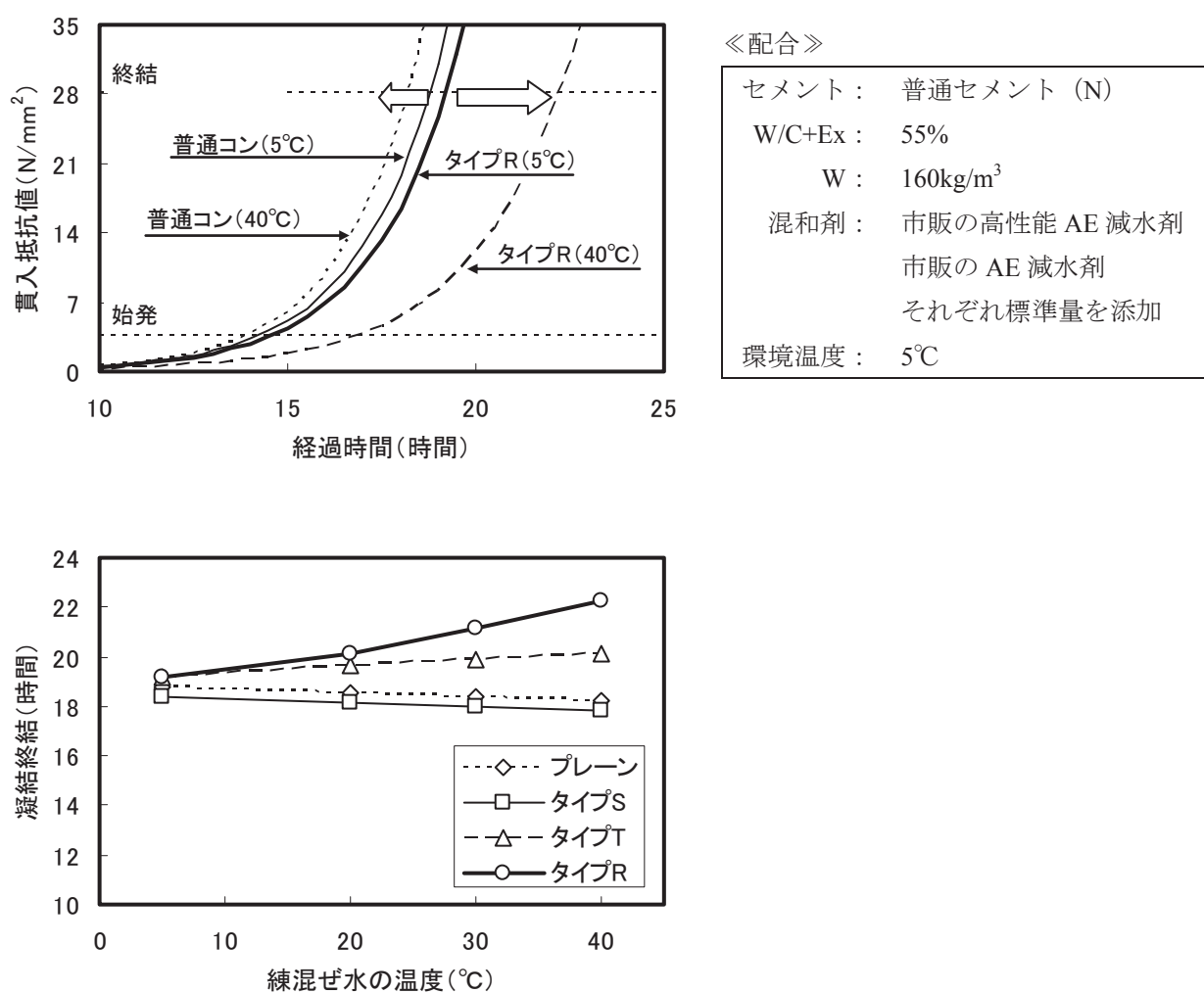


図 3-3-1 練混ぜ時間と膨張率との関係（測定例）

【コラム 10】練上りのコンクリートの温度

寒中コンクリートの対策における材料の加熱は、水または骨材を加熱します。セメントや膨張材を加熱してはいけません。温度の高いセメントや膨張材は、水と接触させると、急結し、コンクリートに悪影響を及ぼします。

練上りのコンクリートの温度は、各材料の単位量、温度、比熱で計算することができます。土木学会コンクリート標準示方書では、次の式で算出します。

$$T = \frac{c_s(T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m}{c_s(W_a + W_c) + W_m}$$

ここに、 c_s : セメントおよび骨材の水に対する比熱の割合で、一般に 0.2 程度。

T : 温度(°C)

W : 単位量(kg)

添え字 a 、 c 、 m は、それぞれ骨材、セメント、水

第4章 暑中コンクリート

4. 1 暑中コンクリート

暑中コンクリートは、土木学会、日本建築学会でそれぞれ表 4-1-1 のように定義されています。暑中時に、「デンカ パワーC S A」を混和した膨張コンクリートを使用する場合には、「暑中コンクリート」として取り扱ってください。

表 4-1-1 暑中コンクリート

土木学会	日平均気温が 25℃を超える時期に施工することが予想される場合には、暑中コンクリートとしての施工を行わなければならない。 暑中コンクリートの施工にあたっては、高温によるコンクリートの品質の低下がないように、材料、配合、練混ぜ、運搬、打込みおよび養生等について、適切な処置をとらなければならない。
建築学会	暑中コンクリートの適用期間を地区ごとの気温の日別平滑平均値で定めております。これ以外では、日平均気温の日別平滑平均値が 25℃を超える期間を規準として適用期間を定めております。

4. 2 暑中コンクリートにおける注意点

「デンカ パワーCSAタイプS」を暑中コンクリートとして使用する場合には、関連する基準類に準拠して暑中コンクリートとして取り扱ってください。

「デンカ パワーCSAタイプR」および「デンカ パワーCSAタイプT」は、通常の膨張材に水和抑制効果を付与しております。この水和抑制剤は、コンクリート温度、特に練上り温度が高くなるに従い、その効果が強くなる性質を有しています。暑中コンクリートとして、水和抑制剤を混和した「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」を使用する場合には、以下の点にご注意ください。詳しくは、「第Ⅰ編 物性編」を参照ください。

《暑中コンクリート》

夏期や暑い時期に「デンカ パワーCSAタイプR」や「デンカ パワーCSAタイプT」を使用する場合には、以下の点に留意ください。

- (1) 遅延型の減水剤を使用しない。
- (2) 水和抑制剤により水和反応をコントロールしていますので、減水剤を過剰に添加しない。減水剤を必要以上に添加しますと凝結が極端に遅れる場合があります。
- (3) 仕上げのタイミングに留意する。仕上げが早い場合には、ブリーディングが完全におさまっていないため、表層に水分を多く含む層が形成され、表面剥離や肌荒れの原因となります。
- (4) 「暑中コンクリート」しての取り扱いってください。

4. 3 遅延型の減水剤との併用

図 4-3-1 は、高性能 AE 減水剤の標準型と遅延型とをそれぞれ併用した場合の凝結試験結果を示します。

「デンカ パワー C S A タイプ R」と遅延型の減水剤を併用した場合、プレーンに遅延型減水剤を使用したものから、凝結時間が 5 時間以上遅れます。夏場の暑い時期には、遅延型の減水剤を使用しないでください。

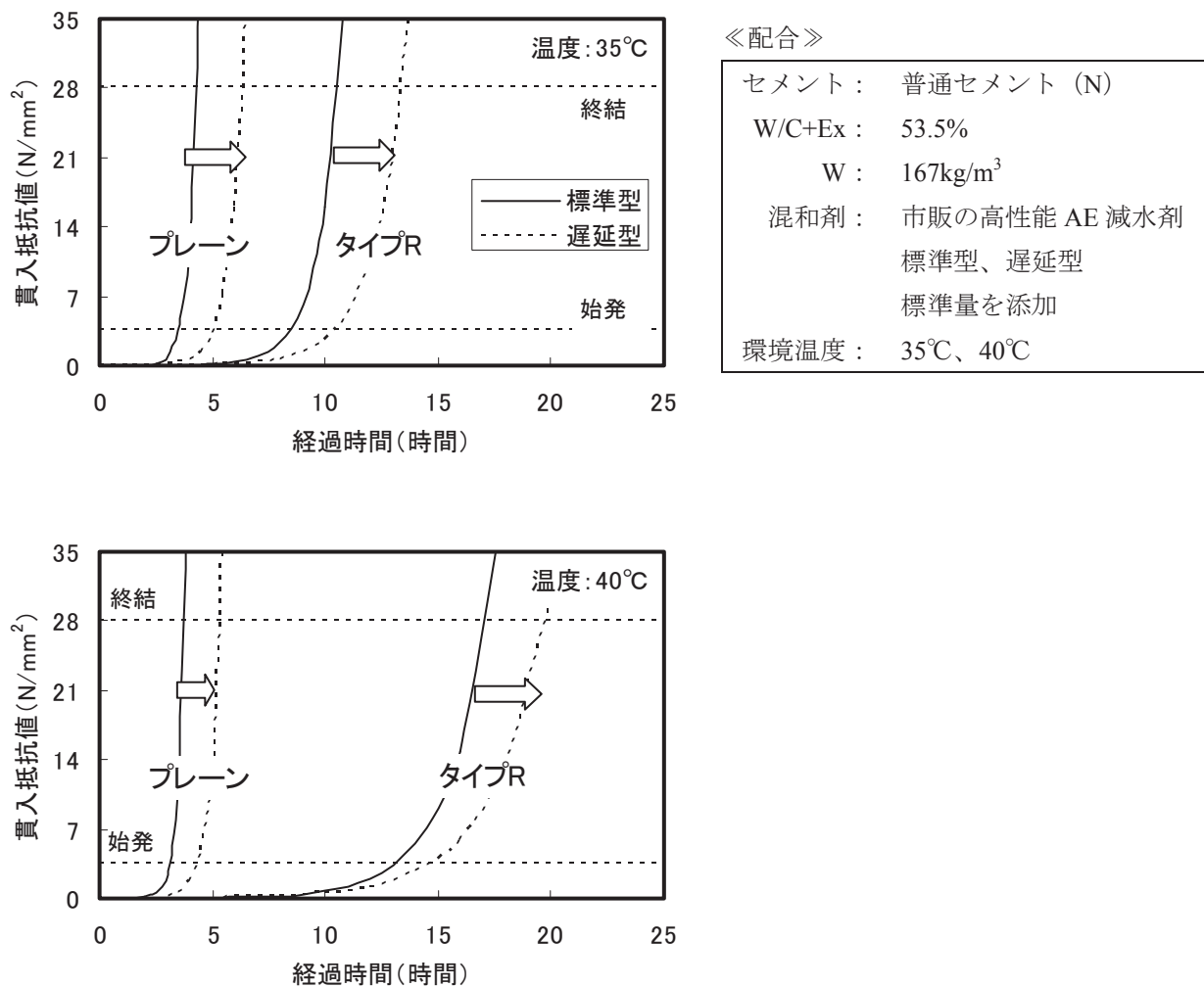


図 4-3-1 遅延型の減水剤を併用した高温時の凝結特性

第5章 低熱セメントとの併用

5. 1 膨張材と低熱セメントとの併用時における注意点

低熱セメントは、水和熱を下げるために、 C_2S （ビーライト）含有量が40%以上と規定されたもので、中庸熱ポルトランドセメントよりも C_2S （ビーライト）を多く含有しております。1997年4月にポルトランドセメントに追加され、マスコンクリート、高強度コンクリート、高流動コンクリートなどの用途に適用されます。

低熱セメントは、他のポルトランドセメントと異なり、 C_2S （ビーライト）の含有量が多く、 C_3S （エーライト）が少なくなっております。したがって、初期強度の発現は小さいが、長期的な強度発現が期待できる特性を有しております。

このような特性を持つ低熱セメントに「デンカパワーCSA」を併用する場合は、以下の点に注意してください。

《膨張材と低熱セメントとの併用時における注意点》

低熱セメントに「デンカ パワーCSA」を併用する場合には、以下の点に注意してください。

- (1) 低温条件下において膨張材と低熱セメントを併用した場合、強度発現が遅れることがあります。
- (2) 前項の対策として、型枠の取り外しを延長してください。管理用供試体においては、圧縮強度が $5N/mm^2$ 以上になるときを、型枠の取り外しの目安としてください。
- (3) 低温環境下において、膨張材と低熱セメントとを併用する場合、試験練り等により強度発現をご確認ください。
- (4) 実構造物では、底版や鉄筋などの拘束を受けますので、強度低下への影響は小さくなります。
- (5) 必要に応じて、膨張材の単位量を低減してください。

5. 2 低熱セメントの銘柄による影響

低熱セメントは、水和熱を下げるために C_2S （ビーライト）含有量が 40%以上と規定されたもので、各セメントメーカーにより異なりますが、その含有割合は 45～60%の範囲をとっております。

図 5-2-1 には、 C_2S （ビーライト）含有量が多いものと少ないものとで、圧縮強度の発現性を比較した結果を示します。

C_2S （ビーライト）含有量が少ない低熱セメントは、多いもの比べて、材齢初期の圧縮強度の発現性が大きいことがわかります。材齢 56 日以降は、両者に大きな差は認められなくなります。

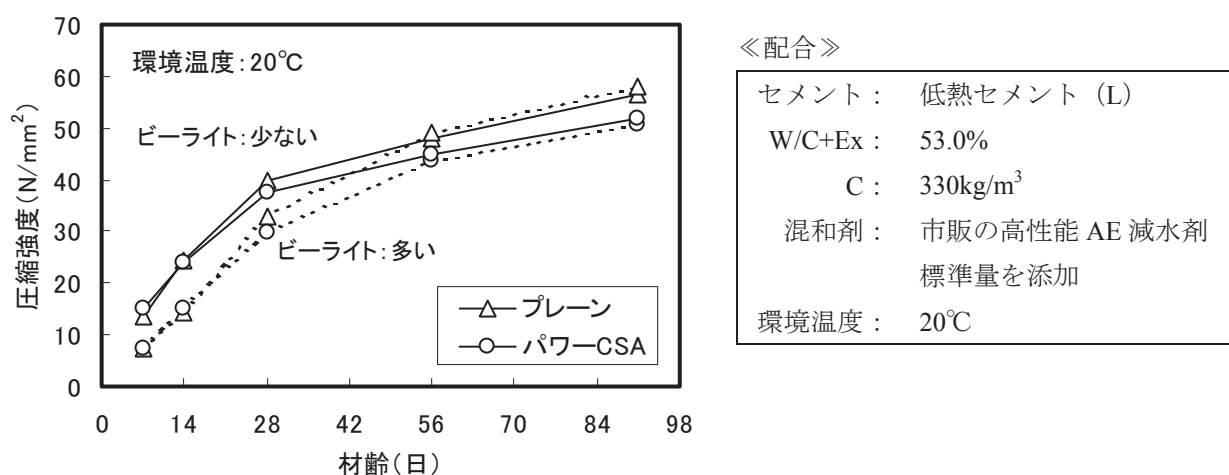


図 5-2-1 低熱ポルトランドセメントの強度特性

5. 3 型枠の存置期間と圧縮強度

(1) 型枠の存置期間と圧縮強度

図 5-3-1 に、管理用供試体（JIS A 1132 等）に準じて作製し、JIS A 1108 等）に準じて圧縮強度測定を行う供試体）における型枠の取り外し材齢と圧縮強度の関係の一例を示します。なお、縦軸は、プレーンコンクリートに対する「デンカ パワー C S A」を混和した膨張コンクリートの圧縮強度の比です。

低温条件下では、型枠の取り外しが早い場合、圧縮強度比が小さくなりますが、型枠の取り外し材齢を延長することで、圧縮強度比が増進します。

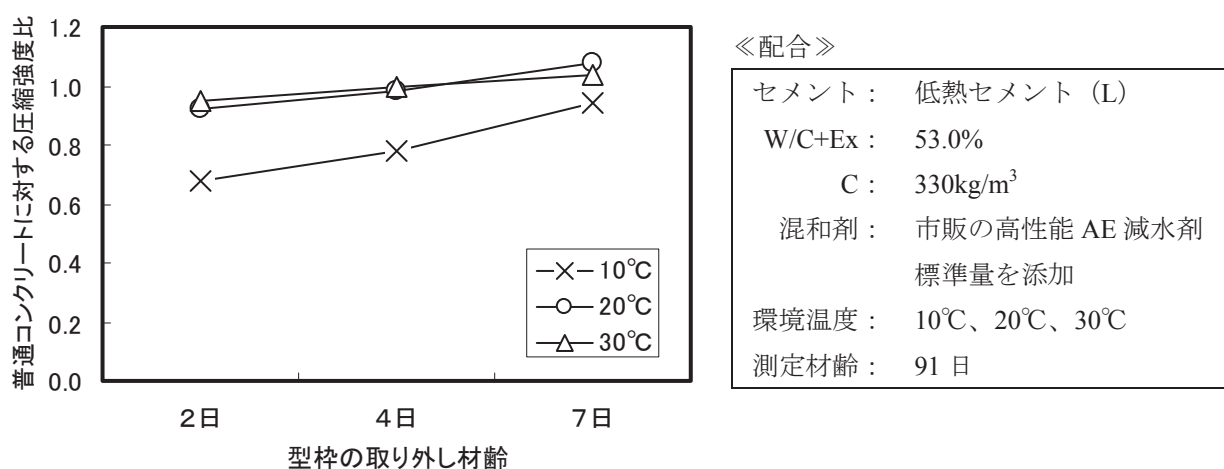


図 5-3-1 型枠の存置期間と圧縮強度

（２）型枠の取り外し時期の目安

膨張材と低熱セメントを併用した場合、低温条件下において、強度発現が遅れることがあります。対策として、型枠の取り外しを延長してください。管理用の供試体においては、圧縮強度が 5N/mm^2 以上になるときを目安としてください。

管理用の供試体において、圧縮強度が 5N/mm^2 以上になるときを目安は、表 5-3-1 を参考にしてください。なお、表 5-3-1 は、参考であり、組み合わせる低熱セメントの特性や環境温度により異なりますので、事前に試験練り等によって、貴社の責任において、ご確認ください。

表 5-3-1 圧縮強度が 5N/mm^2 以上になるときの目安

環境温度 ($^{\circ}\text{C}$)	積算温度 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{D}$)	120 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{D}$) に達する 材齢の目安
10	120 以上	6 日以上
20	120 以上	4 日以上
30	120 以上	3 日以上

《積算温度》

積算温度 M は、温度 $T^{\circ}\text{C}$ である期間 t 日とした場、式 (5-3-1) で表されます。式 (5-3-1) で温度に 10°C を加える意味は、 -10°C においても水和は進行するとしたものです。すべてのコンクリートが -10°C の環境下で水和するとは限りませんので、あくまで目安としてください。

$$M = \Sigma [(T + 10) \cdot t] \quad \text{式 (5-3-1)}$$

5. 4 模擬試験体での評価

図 5-4-1 に、鉄筋比が約 0.3% の鉄筋コンクリート構造物を模擬した試験体におけるコンクリートのコア強度を測定した一例を示します。なお、環境温度は、10℃としました。

実構造物を模擬した拘束条件下における圧縮強度比は、10℃においても 0.9 以上が確保されています。実構造物においては、型枠の存置期間の延長を施さなくても、「デンカ パワーC S A」を使用しない配合と、同程度の強度発現が得ることができそうですが、強度発現を促すためにも、型枠の存置期間を延長することをお勧めします。

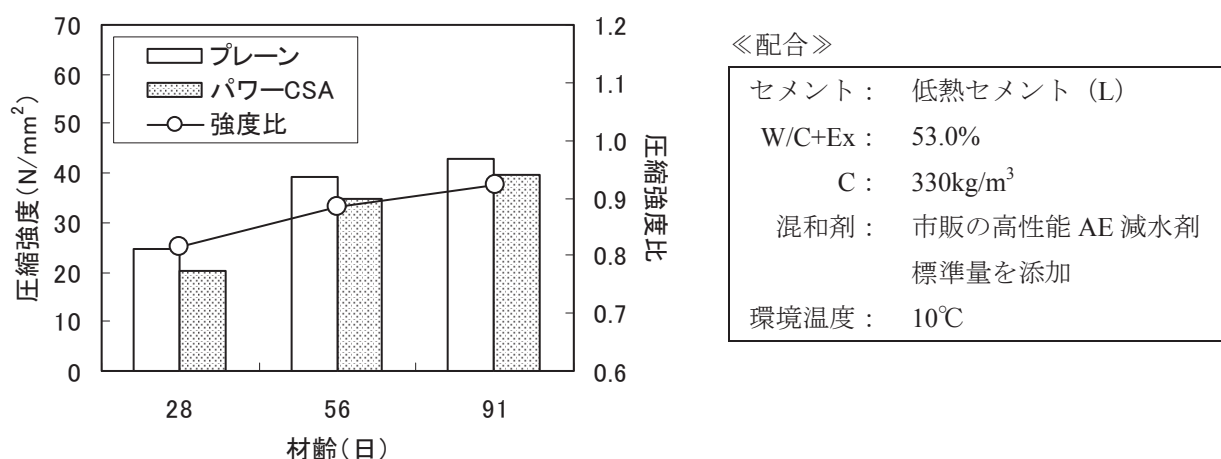


図 5-4-1 模擬試験体のコア強度

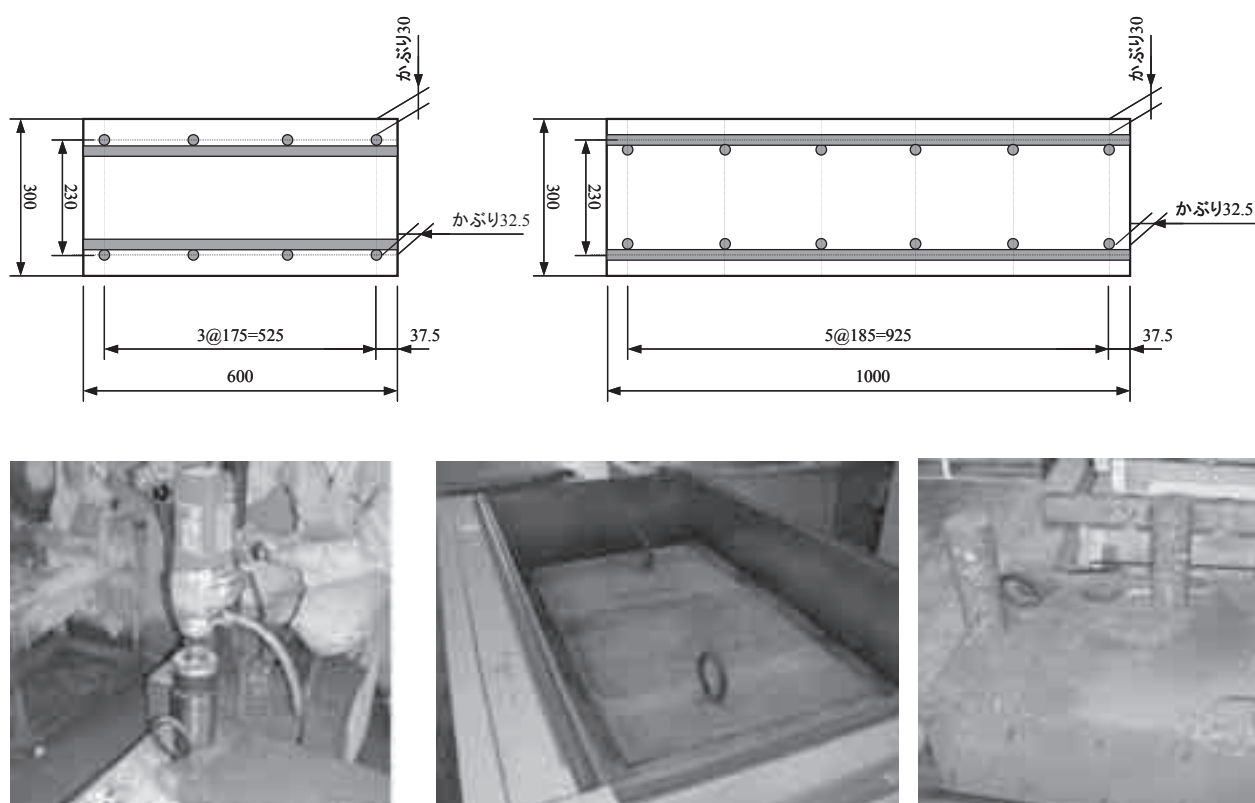
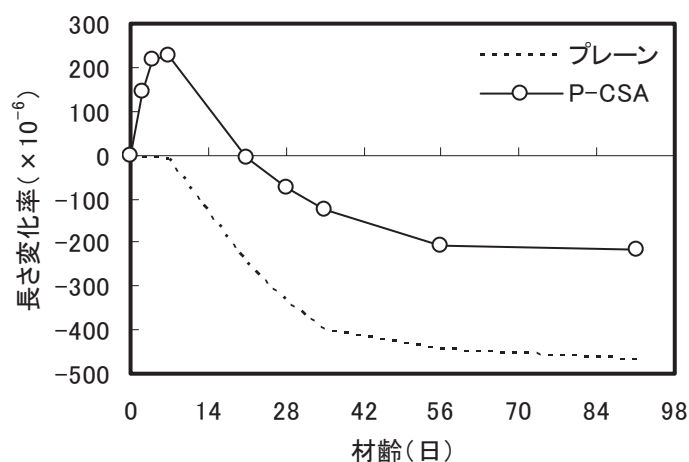


図 5-4-2 模擬試験体

5. 5 膨張特性

図 5-5-1 は、膨張材「デンカ パワー C S A」の単位膨張材量ごとの長さ変化率（膨張・収縮）の試験結果です。試験方法は、JIS A 6202 B 法に準じました。

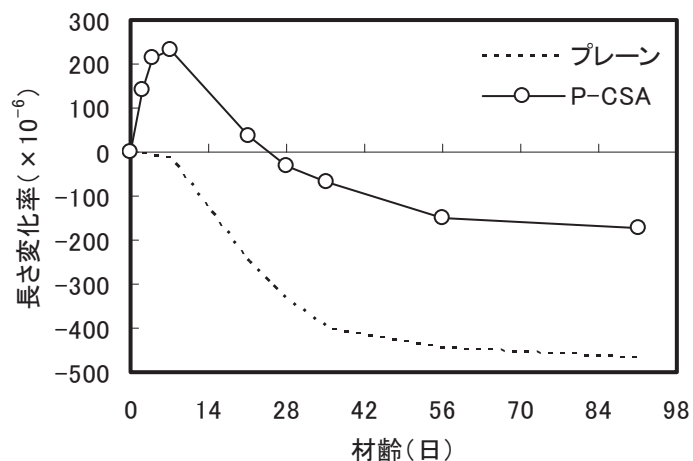
低熱セメントの併用においては、他のポルトランドセメントに比べて、若干大きな膨張ひずみを示します。また、 C_2S （ビーライト）含有量によらず、安定した膨張ひずみを得ることができます。



《配合》

セメント：	低熱セメント（L）
W/C+Ex：	53.0%
C：	330kg/m ³
環境温度：	20℃
混和剤：	市販の高性能 AE 減水剤 標準量を添加

a) C_2S （ビーライト）含有量：多い



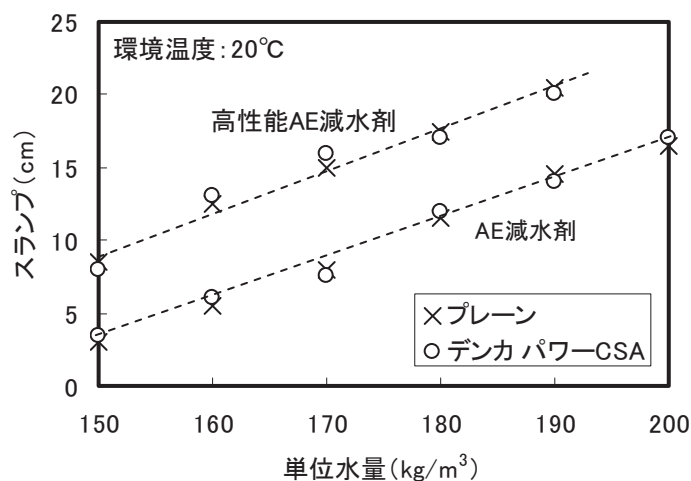
b) C_2S （ビーライト）含有量：少ない

図 5-5-1 長さ変化率（測定例）

第6章 他の混和材（剤）との併用

6. 1 減水剤との併用

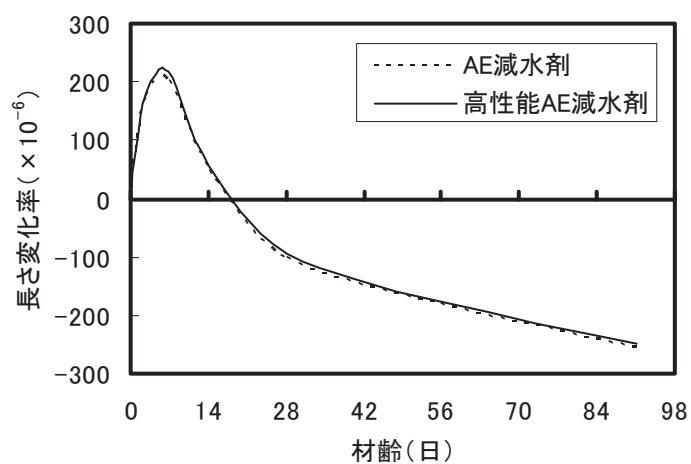
図 6-1-1 に「デンカ パワーC S A」と市販の減水剤とを併用したコンクリートの物性を示します。
「デンカパワーC S A」を混和したことによるスランプや長さ変化率への影響が小さいことが確認できます。
「デンカ パワーC S A」を用いることで、減水剤のはらたきが大きく変わることはありません。



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 55.0%
s/a： 45.5%
混和剤： 市販の AE 減水剤
標準量を添加

a) スランプ



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 53.5%
s/a： 47.0%
W： 167kg/m³
混和剤： 市販の高性能 AE 減水剤
市販の AE 減水剤
それぞれ標準量を添加
環境温度： 20°C

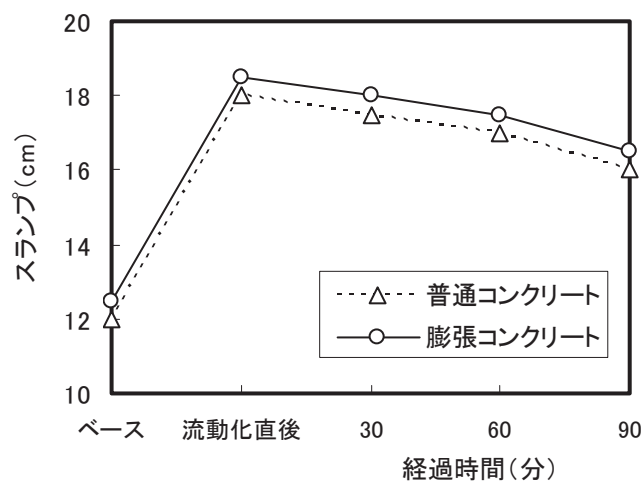
b) 長さ変化率

図 6-1-1 減水剤の種類とスランプ、長さ変化率

6. 2 流動剤との併用

図 6-2-1 に「デンカ パワーC S A」と市販の流動化剤とを併用したコンクリートの物性の一例を示します。

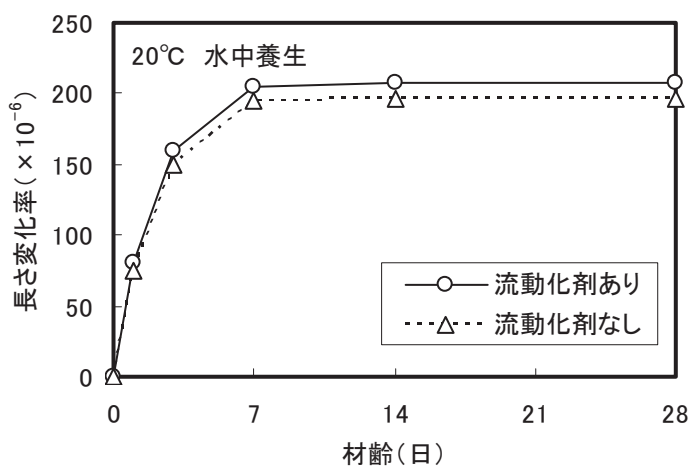
「デンカパワーC S A」によるスランプへの影響や長さ変化率への影響が小さいことが確認できます。また、必要となる流動化剤の添加量も同程度です。「デンカ パワーC S A」を用いることで、流動化剤のはたらきが大きく変わることはありません。



《配合》

セメント： 普通セメント (N)
W/C+Ex： 53.5%
W： 170kg/m³
環境温度： 20℃
混和剤： 市販の AE 減水剤
標準量を添加

a) スランプ



b) 長さ変化率

図 6-2-1 流動化剤との併用

6. 3 防水材との併用

図 6-3-1 に、「デンカ パワーCSA」と躯体防水材「デンカ シャガード」を併用した場合の物性の一例を示します。「デンカ パワーCSA」による圧縮強度や長さ変化率への影響が小さいことが確認できます。

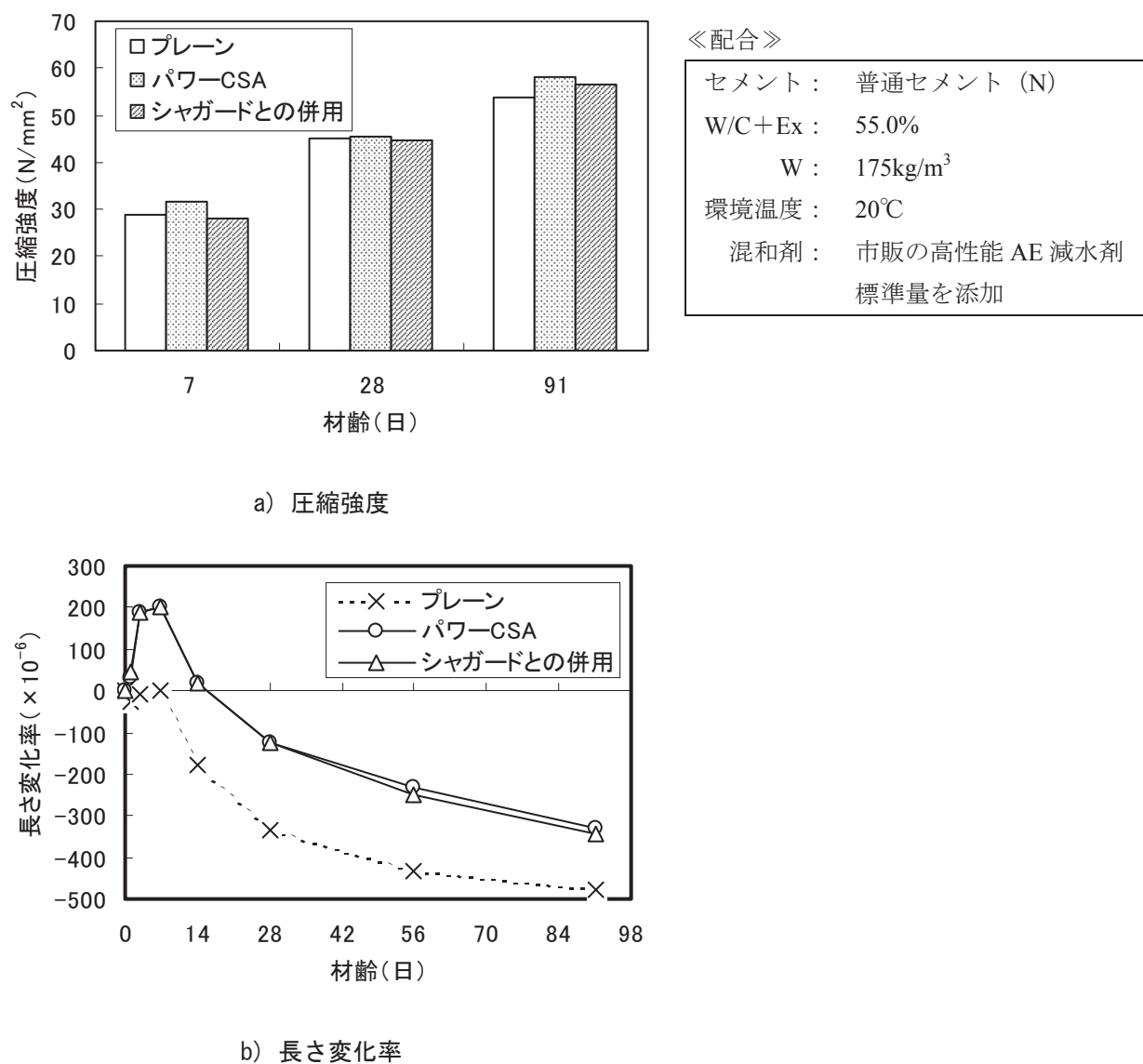


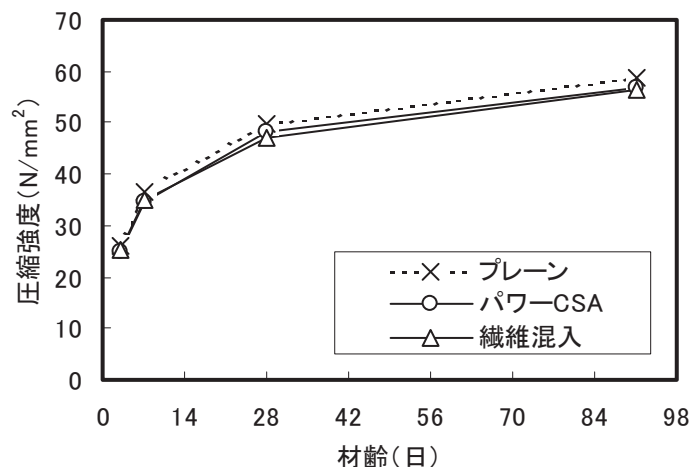
図 6-3-1 躯体防水材「デンカ シャガード」との併用

《デンカ シャガード》

躯体防水材「デンカ シャガード」は、エトリンガイトとCSHの生成によって空隙を充てん、組織を緻密化し、防水性を向上させます。また、CSHゲルの生成によってひび割れを充てんし、ひび割れからの漏水低減効果を発揮します。躯体防水材「デンカ シャガード」は、コンクリート1m³あたり 8kg/m³の混和を標準として、細骨材に置換して使用します。

6. 4 繊維との併用

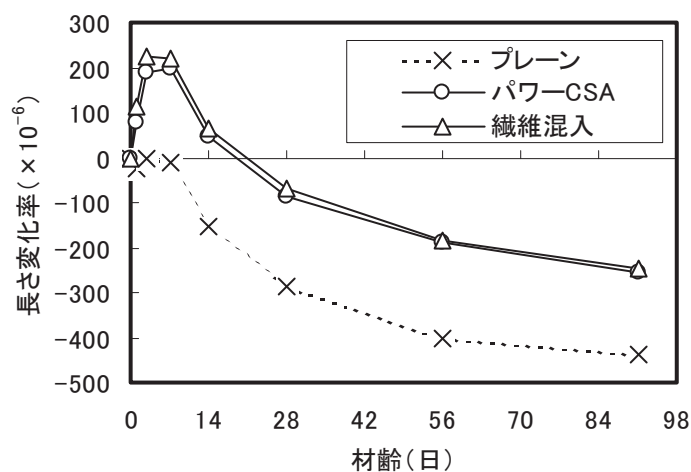
図 6-4-1 に、「デンカ パワーCSA」とビニロン繊維を混入したコンクリートの物性の一例を示します。ビニロン繊維を併用しても圧縮強度や長さ変化率への影響が小さいことが確認できます。



《配合》

セメント：	普通セメント (N)
W/C+Ex：	53.5%
W：	170kg/m ³
環境温度：	20℃
混和剤：	市販の AE 減水剤 標準量を添加
繊維：	市販のビニロン繊維 0.6%/m ³ 混入

a) 圧縮強度



b) 長さ変化率

図 6-4-1 ビニロン繊維との併用

6. 5 収縮低減剤との併用

図 6-5-1 に、「デンカ パワーCSA」と収縮低減剤「デンカ エスケーガード」を併用した場合の物性の一例を示します。

「デンカ エスケーガード」は有機界面活性剤を主成分とし、乾燥化におけるモルタル・コンクリートの収縮応力を低減させ、乾燥収縮を減少させる混和剤です。

「デンカ パワーCSA」と収縮低減剤「デンカ エスケーガード」を併用した場合、圧縮強度や長さ変化率への影響が小さいことが確認できます。

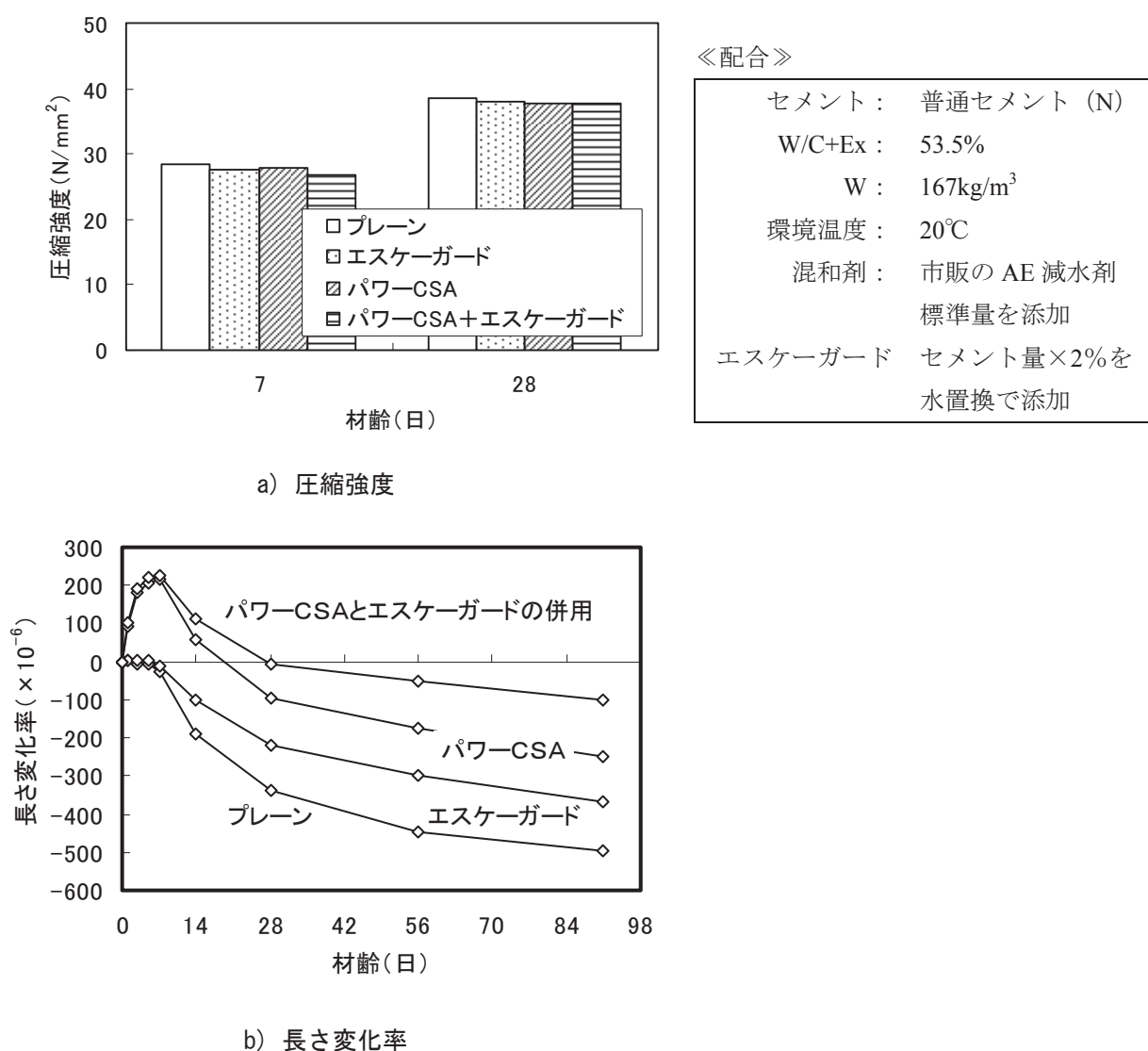
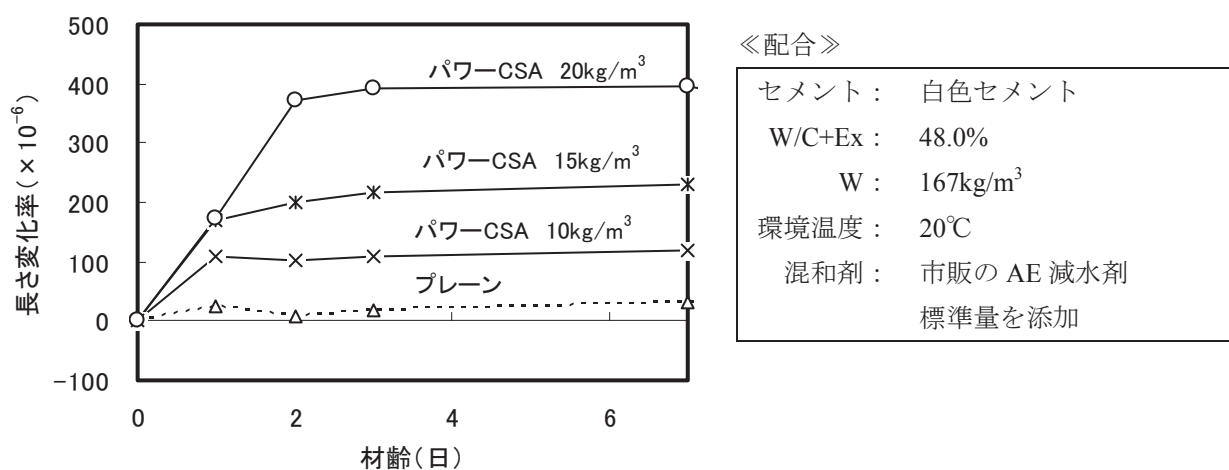


図 6-5-1 収縮低減剤との併用

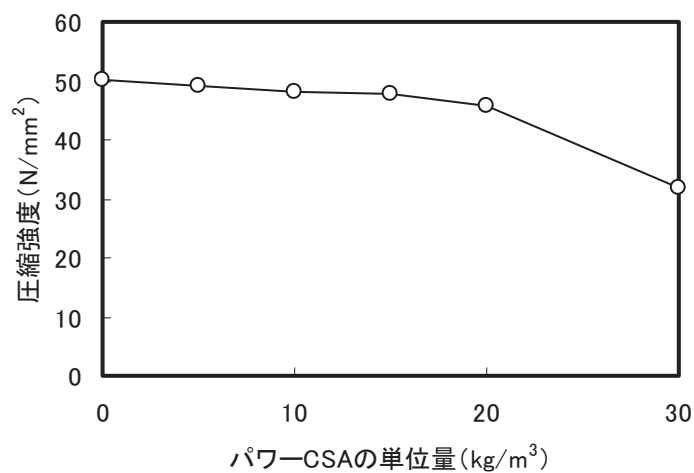
6. 6 白色セメントとの組合せ

図 6-6-1 に、白色セメントに「デンカ パワーCSA」を併用した場合の長さ変化率および圧縮強度の測定例を示します。試験は、JIS A 6202 附属書 2 B 法に準じました。

「デンカ パワーCSA」を白色セメントに混和した場合、普通ポルトランドセメントに比べて、長さ変化率が大きくなります。「デンカ パワーCSA」を白色セメントに使用する場合には、膨張材の単位量を低減してください。また、試験練りにより、事前に膨張特性を把握してください。



a) 長さ変化率



b) 圧縮強度

図 6-6-1 デンカ パワーCSAと白色セメントとの組合せ

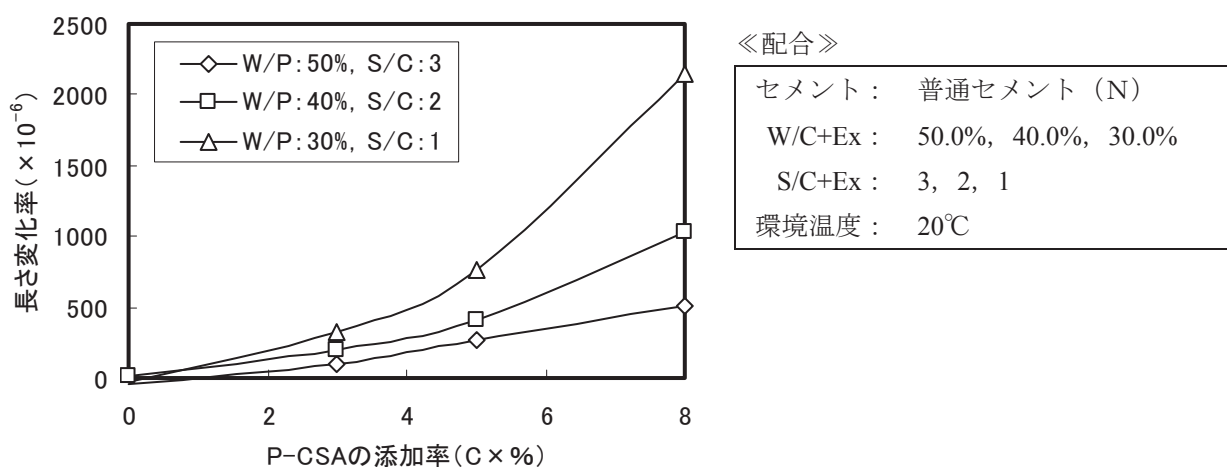
第7章 パワーCSAを用いた膨張モルタル

(1) 長さ変化率

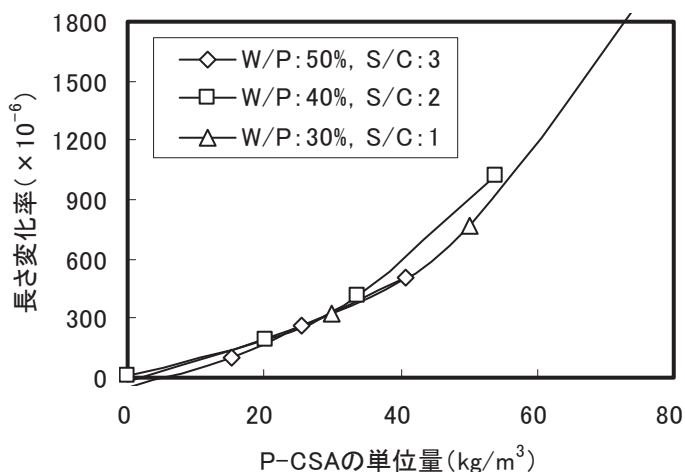
図7-1-1に「デンカ パワーCSA」を添加したモルタルの膨張率の測定例を示します。試験は、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」に準じました。

膨張材の混和率で整理した場合、同一の膨張材混和率において砂セメント比(S/C)が小さくなるに従って、長さ変化率が大きくなります。これは、砂セメント比(S/C)が小さい配合においては単位セメント量が大きくなるため、膨張材の単位量が増加するためです。

膨張材の単位量で整理した場合、同一の単位膨張材量において、水結合材比(W/C+Ex)や砂セメント比(S/C)に関係なく、長さ変化率が一定の曲線上に乗り、容易に整理することができます。



a) 結合材に対する添加率との関係



b) モルタル 1 m³あたりの膨張材の単位量との関係

図7-1-1 モルタルの長さ変化率

(2) 圧縮強度

図 7-1-2 に「デンカ パワー C S A」を添加したモルタルの圧縮強度の測定例を示します。「デンカ パワー C S A」の添加率の増加にともない長さ変化率は増大しますが、同時に圧縮強度は低下します。長さ変化率と圧縮強度を両立するためには、セメントに対する「デンカ パワー C S A」の添加率は、5～6%が適当です。また、モルタル 1 m³あたりの膨張材の単位量が 50kg/m³を超える場合には、圧縮強度の著しい低下を生じることがありますので、試験練りによりご確認の上、ご使用ください。

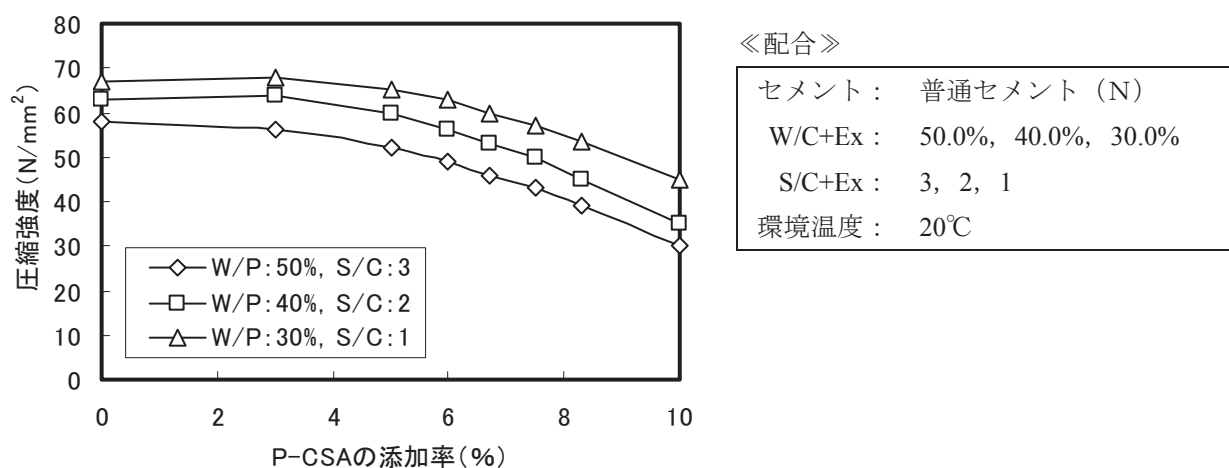


図 7-1-2 モルタルの圧縮強度

第8章 ひび割れ抑制効果

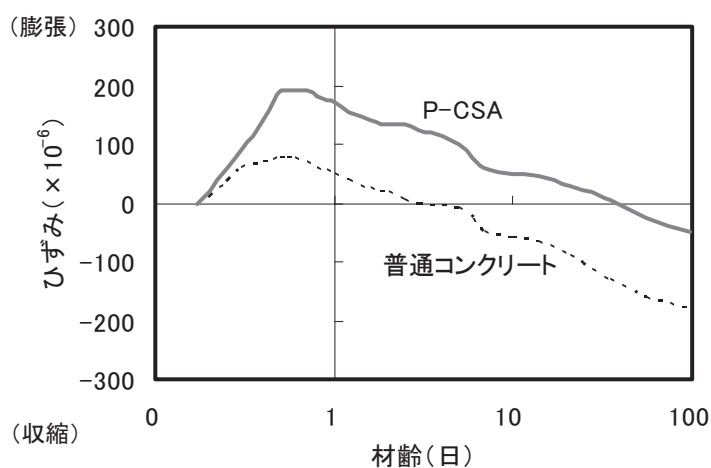
8. 1 乾燥収縮ひび割れの低減効果

「デンカ パワーCSA」による乾燥ひび割れ低減効果について、写真 8-1-1 に示す壁体を用いて評価しました。

「デンカ パワーCSA」により膨張ひずみが導入され、長期的に乾燥収縮を低減していることが確認できます。また、収縮補償により発生する引張応力が低減され、乾燥収縮によるひび割れに効果を発揮します。



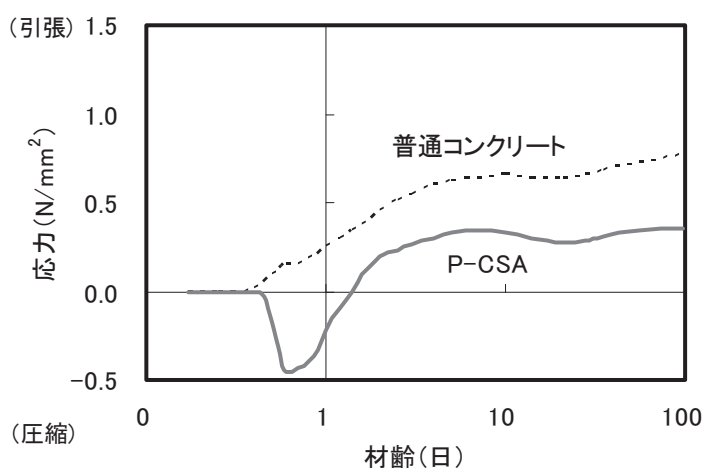
写真 8-1-1 試験に用いた壁体



《配合》

セメント：	普通セメント（N）
W/C+Ex：	54.8%
s/a：	47.5%
混和剤：	市販のAE減水剤

a) ひずみ



b) 応力

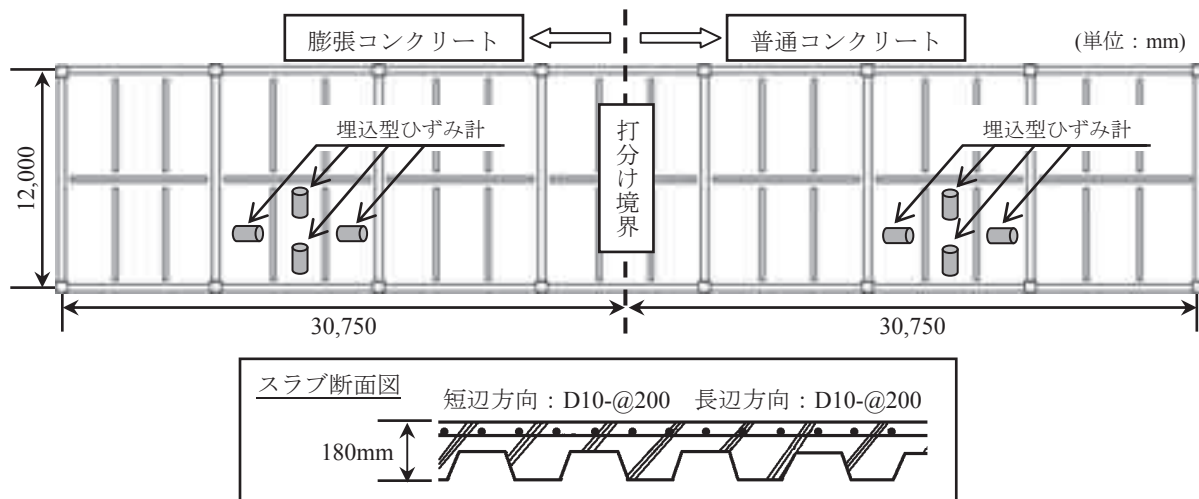
図 8-1-1 壁体の計測結果

8. 2 デッキスラブ

《概要》

打設時期：2004 年

打設部位：合成スラブ

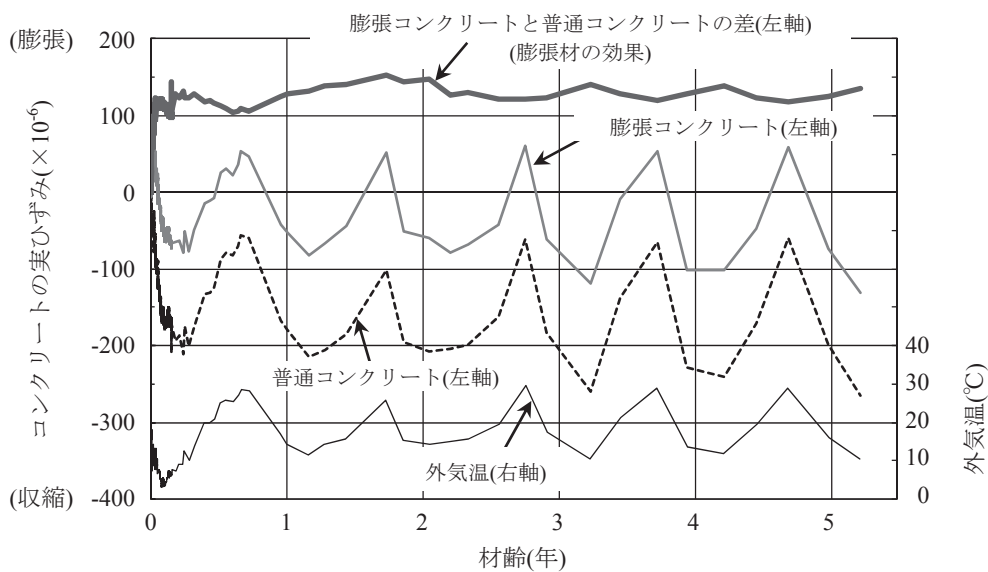


《コンクリートの配合》

		Air (%)	W/C+Ex (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		
					W	C	EX
普通コンクリート	24-15-20N	4.5	58.0	47.4	174	300	0
膨張コンクリート						280	20

《コンクリートのひずみ》

普通コンクリートでは、材齢 1 ヶ月程度から梁近傍に多くのひび割れが発生しましたが、膨張コンクリートでは材齢 4 ヶ月の時点では、ひび割れは確認されませんでした。また、初期材齢に導入された膨張材の効果(膨張ひずみ)は材齢 5 年を超えても残存しているのが確認できます。

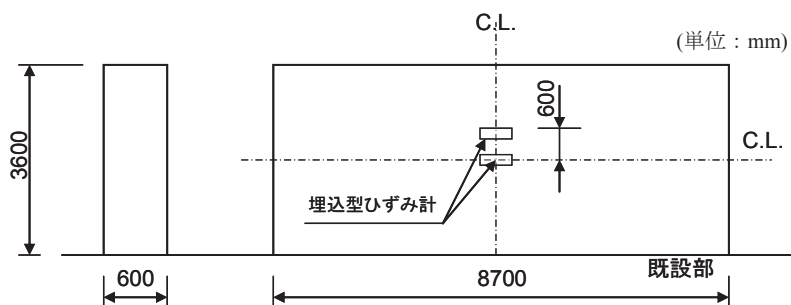


8. 3 浄水場

《概要》

打設時期：2002 年

打設部位：浄水場の躯体コンクリートの壁（H:3600mm×W:600mm×L:8700mm）

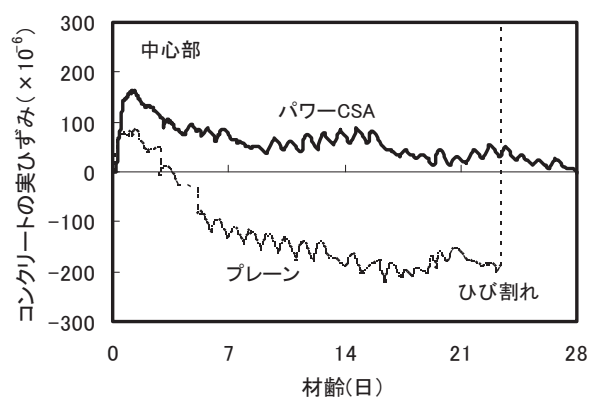
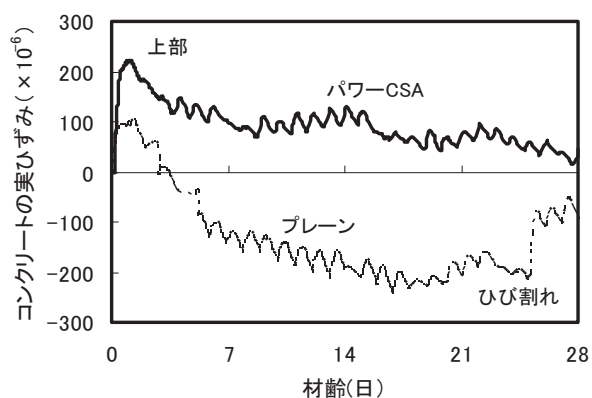


《コンクリートの配合》

	セメント 種類	W/C+Ex (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		
				W	C	EX
普通コンクリート	BB	56	44.8	160	286	0
膨張コンクリート		56	44.8	160	266	20

《コンクリートのひずみ》

普通コンクリートでは、既設部の拘束により、材齢 10 日程度で底部よりひび割れが発生し、ひび割れが頂部に向かって進展しているのを確認しました。



《引用文献》

中西輝雄・久世正一・今西裕弘：浄水場構造物に対する膨張コンクリートの適用事例、第 54 回全国水道研究発表会、pp.84-85、2003

8. 4 橋梁下部工の耐震補強

《概要》

歩道橋の新設に伴う下部工の拡幅および鋼管柱の橋脚と鋼製梁で作られた鋼製門型ラーメン構造を、RC巻立て門型ラーメン構造にて耐震補強を施しました。当該構造物は、既設の鋼管橋脚にコンクリートを巻き立てる複合構造であること、また施工時に上部の車道からの振動を受けることなどから、巻き立てたコンクリートにひび割れの発生が懸念されました。マスコンクリートに分類されること、コンクリートの打設時期が夏季であることから、「デンカ パワーCSAタイプR」が採用され、問題ない施工が確認されました。

打設時期：2002 年

打設部位：橋脚の耐震補強

《コンクリートの配合》

	Air (%)	W/C+Ex (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)		
				W	C	EX
24-8-40N	4.5	51.5	37.8	140	272	20



《施工前》



《施工後》

《引用文献》

栖原健太郎・丸山文男・藤崎太一・丸山久一：鋼管橋脚に巻き立てた膨張コンクリートの効果に関する解析的検討、膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム委員会報告集、論文集、日本コンクリート工学協会、pp.167-174,2003

使用上の注意点

配（調）合計算と練混ぜ

- 本質的にはセメントではありませんが、コンクリート・モルタルの配合計算に当たっては、セメントと同様な取扱いとして下さい。
- 膨張材の使用量については、日本建築学会並びに土木学会「設計施工指針（案）」に基づいて検討をお願いします。
- 用途に応じた規定配合以上の量を添加すると過剰な膨張を生じ、強度が低下することがありますからご注意ください。
- コンクリートの練混ぜにおいては、セメントと同時に「**デンカパワーCSA**」をミキサに投入して下さい。この際、投入のタイミングが遅れないように注意するとともに、**材料投入後は規定時間より強制二軸ミキサで10秒以上、傾胴ミキサで30秒以上長く練混ぜを行って下さい。**また、手練りは避けて下さい。混合が不均一の場合は部分的に膨張することがあります。なお、投入の際は保護メガネ、防塵マスク、長手のゴム手袋を着用願います。
- 「**デンカパワーCSAタイプR**」を混和することで、コンクリートの凝結が遅れることがあり、この傾向は高温時（30℃以上）に顕著になります。そのため、こて仕上げ等の時期には充分ご注意ください。
- 低発熱ポルトランドセメントと膨張材との併用は非常に有効です。ただし日常管理用の試験体（JIS A 1132 に準じて作製し、JIS A 1108 に準じて養生を行う試験体）においては、型枠の存置期間を延長する（脱型を遅らせる）などの対処をお願い致します。型枠の存置期間が短いと、強度低下を生じることがあります。詳しくは技術資料をご参照下さい。
- 水結合材比 30%以下の配（調）合で膨張材を使用される場合はあらかじめご相談下さい。

養生

- 急速に乾燥するような気象条件では、水不足が原因で「**デンカパワーCSA**」の反応が不十分となり、効果が充分に発揮されないことがあります。したがって、コンクリート施工後は5日以上表面が乾燥しないような養生（スラブ・土間などでは散水や養生マットなど、壁体では型枠存置養生など）を施すか、養生剤を使用して下さい。
- 型枠の種類としては、化粧型枠やメタル型枠をおすすめ致します。これ以外の型枠を用いると、型枠の脱型面が荒れることがあります。

各種混和剤・混和材との相性

- 「**デンカパワーCSAタイプR**」もしくは「**デンカパワーCSAタイプT**」と遅延型減水剤（AE減水剤遅延型・高性能 AE減水剤遅延型）との併用は基本的に避けて下さい。ご使用の場合はあらかじめ試験練り等にてご確認ください。
- 急結剤として塩化カルシウムを使用すると、膨張を小さくするので併用を避けて下さい。
- 大部分の混和剤と併用できますが、混和剤の種類が多いため、未試験のものもありますので、ご不明な点はお近くの弊社支店・営業所にお問い合わせ下さい。
- コンクリートと「**デンカパワーCSA**」モルタルとの付着は極めて強固ですが、排水性・被膜性防水施工及びアスファルト施工の上に「**デンカパワーCSA**」モルタルを施工すると付着性が失われ、膨張により剥離することがありますから、このような施工は避けて下さい。

保管方法

- 「**デンカパワーCSA**」は防湿クラフト紙袋包装ですが、セメントと同様に吸湿しやすい材料ですので出来るだけ乾燥した場所に保管して下さい。
- 一たん開袋・破袋した「**デンカパワーCSA**」はその日の内にご使用下さい。
- 万一、袋の中に「**デンカパワーCSA**」の固化物があつた時は使用しないで下さい。

《データ等の記載内容についてのご注意》

- ・ 本書記載のデータ等の記載内容は、代表的な実験値や調査に基づくもので、その記載内容についていかなる保証をなすものではありません。
- ・ ご使用に際しては、必ず貴社にて事前にテストを行い、使用目的に適合するかどうか貴社の責任においてご確認ください。
- ・ ご使用に際しての安全性について、必ず貴社にて事前にテストを行い、貴社の責任においてご確認ください。
- ・ 本書記載の当社製品およびこれらを使用した製品を廃棄する場合には、法令に従って廃棄してください。
- ・ ご使用になる前に、詳しい使用方法や注意事項等を技術資料・製品安全性データシート(MSDS)等で確認してください。これらの資料は、弊社の担当部門に用意しておりますので、お申し付けください。
- ・ 本書の記載内容は、新しい知見により断りなく変更する場合がありますので、ご了承ください。
- ・ 本書に記された内容は、「デンカパワーCSA」にのみ適用されます。

DENKA

DENKI KAGAKU KOGYO KABUSHIKI KAISHA



本社

東京都中央区日本橋室町2-1-1 (日本橋三井タワー) 〒103-8338
電話03-5290-5363

大阪支店

大阪市北区角田町8-1 (梅田阪急ビル) 〒530-0017
電話06-7176-7456

名古屋支店

名古屋市中村区名駅南1-24-20 (名古屋三井ビルディング新館) 〒450-0003
電話052-571-4535

福岡支店

福岡市博多区冷泉町5-35 (福岡祇園第一生命ビル) 〒812-0039
電話092-263-0841

新潟支店

新潟市中央区東大通1-3-10 (三井生命ビル) 〒950-0087
電話025-243-4121

北陸支店

富山市桜橋通2-25 (富山第一生命ビル) 〒930-0004
電話076-433-1441

札幌支店

札幌市中央区南2条西2-18-1 (NBF札幌南二条ビル) 〒060-0062
電話011-281-2301

東北支店

仙台市青葉区本町1-10-3 (仙台新和ビル) 〒980-0014
電話022-223-9191

長野営業所

長野市緑町1605-14 (長野ダイヤモンドビル) 〒380-0813
電話0262-26-4281

広島営業所

広島市中区三川町2-10 (愛媛ビル広島) 〒730-0029
電話082-249-7369

四国営業所

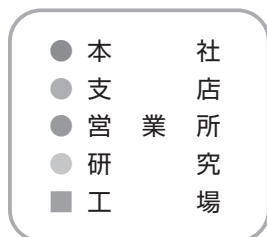
香川県高松市天神前10-12 (香川天神前ビル) 〒760-0018
電話087-833-6511

特混町田研究センター

東京都町田市旭町3-5-1 〒194-8560
電話042-721-3660

青海工場 セメント・特混研究部

新潟県糸魚川市大字青海2209 〒949-0393
電話025-562-6312



警告



- 水や汗・涙等の水分と接触すると強いアルカリ性になり、皮膚、目、呼吸器等を刺激したり、粘膜に炎症を起こします。
- 目に入れないこと。入った場合は、直ちによく洗浄し、専門医の診断を受けること。●皮膚に付けないこと。
- 鼻や口に入れないこと。●保護メガネ、防塵マスク、ゴム手袋を着用すること。●子供に触れさせないこと。

電気化学工業株式会社

本社：東京都中央区日本橋室町2-1-1 セメント・特混事業部 特殊混和材部 電話03-5290-5363