

デンカ  $\Sigma$  2000

技術資料

(常圧蒸気養生用超高強度混和材)

**Denka** デンカ株式会社

## 1.はじめに

デンカΣ2000は、当社の多年にわたる高強度コンクリートの製造技術の蓄積と独自の設計方法を基に開発した常圧蒸気養生用の超高強度コンクリート用混和材です。

本混和材はモルタルやコンクリート中のセメント量に対して最大15mass%混和して蒸気養生することにより、脱型時(材齢1日)で100N/mm<sup>2</sup>以上、その後、気乾養生した材齢7日では120N/mm<sup>2</sup>以上の超高強度を発現させます。

また、圧縮強度が高く密実となることから、耐摩耗性や耐衝撃性及び耐海水性なども向上しますので新しいプレキャスト製品の開発や従来のプレキャスト製品の高級化及び高付加価値化に展開出来ます。

## 2.デンカΣ2000の特徴と用途

### 2.1 デンカΣ2000の特徴

- ① セメントに対して15mass%以下で、単位セメント量と単位Σ2000量の任意の組み合わせ及び減水剤量による水結合材比(W/B)の調節により、100N/mm<sup>2</sup>以上の超高強度が得られます。また、モルタルの場合は120N/mm<sup>2</sup>以上が容易に得られます。
- ② 脱型時に超高強度が得られますので20~30N/mm<sup>2</sup>のより大きなプレストレスを導入することが出来ます。
- ③ 超高強度化することにより高軸力化、薄肉化、超軽量化が可能となります。
- ④ 耐摩耗性、耐衝撃性、非透水性、凍結融解耐久性、耐海水性、中性化抵抗性、耐硫酸塩性などに対する効果も期待されます。
- ⑤ 遠心力成形製品では、当社のノロ防止剤「デンカプラスメリット」を併用するとノロ防止効果が助勢され、より綺麗な内面が得られます。

### 2.2 デンカΣ2000の用途

- ① 設計強度100N/mm<sup>2</sup>以上の高軸力製品への適用
- ② 有効プレストレス20~30N/mm<sup>2</sup>の高プレストレス製品への適用
- ③ 従来製品の薄肉・超軽量化、高級化・高付加価値化への適用
- ④ 耐摩耗性・耐衝撃性プレキャスト製品への適用
- ⑤ その他の高耐久性のプレキャスト製品への適用

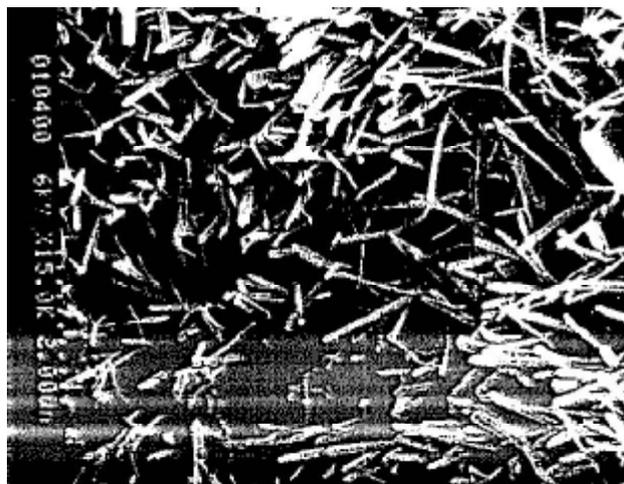
## 3.デンカΣ2000の物理化学的性質

表-1 物理化学的性質(測定例)

物理的性質			化学的性質		
比重	44μm残	嵩密度	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	塩素
2.60	1.5mass%	0.92g/cc	29.0	0.65	0.04

## 4.デンカΣ2000の強度発現機構

デンカΣ2000は基本的にはAFt(エトリンガイト・ $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ )生成系の混和材であり、水和反応により生成するAFtは空隙充填能力が高く、かつ、多量の結晶水を有する針状で高強度な結晶であり、硬化体の密実化を促します。加えて微粉技術により超高強度領域では弱点となるボルトランダイト( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )をC-S-Hに固定することにより、より超高強度が得られるように設計してあります。また、硬化体中のボルトランダイト生成量を抑制することは耐海水性、耐硫酸塩性などに対する効果も期待されます。



AFt



C-S-H

写真1 SEMによる水和物の結晶形態

## 5.デンカΣ2000の使用法

### 5.1 混和量

デンカΣ2000の混和量はセメントに対して15mass%以下(外割)で使用して下さい。

通常は、単位セメント量と単位Σ2000量及び減水剤量の組み合わせ及び水結合材比の調節により経済的なコンクリート配合を設計します。減水剤の種類は高性能減水剤、高性能AE減水剤が適しますが、高性能減水剤の場合は結合材(セメント+Σ2000)量に対して2.0~3.0mass%程度が適します。プラスメリットを併用する場合は2.0mass%前後(減水剤の同時添加方式では)が適します。

### 5.2 コンクリート配合と強度の測定例

デンカΣ2000を混和して所定の強度を設計する際に、表-2のコンクリート配合と強度の測定例を参考に試験練りを行って下さい。表-2中、プラスメリット(PM)を添加した遠心力成形供試体はノロの発生は無く、添加しないものは $20\sim70\text{kg}/\text{m}^3$ のノロが発生しております。

表-2 コンクリート配合と強度測定例

No.	SL (cm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							養生 温度	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
		W	C	S	G	Σ	WRA	PM		1日	7日	28日	7日(遠心)
1	8	165	N400	863	950	0	8.0	0	80	51.0	57.1	65.8	58.2
2	8	164	N400	845	950	20	8.4	0	80	61.4	71.8	76.4	69.0
3	8	158	N400	839	950	40	8.8	0	80	70.1	80.9	87.2	75.9
4	8	158	N400	818	950	60	9.2	0	80	81.5	88.7	98.4	82.8
5	5	135	N400	717	1100	60	9.2	3	80	88.5	99.3	106.1	92.6
6	8	130	H400	889	950	60	11.5	0	80	97.4	102.9	110.2	99.8
7	12	158	N450	791	1000	0	9.0	0	80	57.2	67.4	74.9	70.1
8	12	158	N450	770	1000	20	9.4	0	80	68.4	78.2	85.1	77.1
9	12	152	N450	764	1000	40	9.6	0	80	78.1	91.6	96.2	88.9
10	12	152	N450	743	1000	60	10.2	0	80	88.1	98.6	109.3	97.6
									90	91.2	107.3	111.5	102.3
									70	80.7	96.3	105.7	94.7
									45	60.0	82.3	102.4	81.6
11	8	135	N450	599	1150	60	10.2	3	80	93.2	104.6	112.5	99.3
12	12	125	H450	798	1000	60	12.7	0	80	104.8	117.7	124.8	118.6
13	8	137	H450	588	1150	60	11.0	3	80	103.0	110.0	120.9	101.2
14	18	145	N500	729	1030	25	10.4	0	80	79.7	92.8	102.1	90.6
15	18	150	N500	663	1030	75	13.1	0	80	106.1	115.9	123.6	110.7
16	8	135	N600	402	1180	90	13.8	3	80	125.1	138.6	145.0	127.5
17	18	143	H500	676	1030	75	14.4	0	80	122.1	132.8	137.9	125.6
18	8	135	H500	485	1200	75	11.5	3	80	128.2	139.2	146.1	128.9

- (註) ・ N: 普通ポルトランドセメント H: 早強ポルトランドセメント  
 ・ 粗骨材: Gmax 13mm の砕石  
 ・ スランプ: 5±1.5, 8±2.5, 12±2.5, 18±2.5, 空気量: 2vol%  
 ・ WRA: ナフタレン系高性能減水剤 PM: プラスメリット(ノロ防止材)  
 ・ 蒸気養生(図-1): 各温度で保持した後、バルブを止めて養生室で自然放置冷却

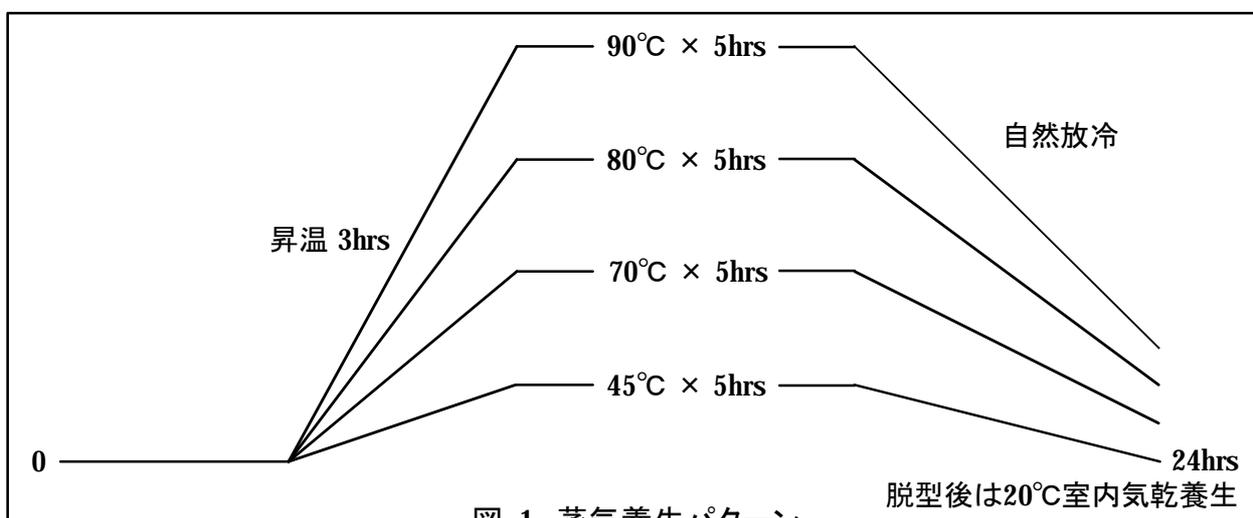


図-1 蒸気養生パターン

## 6.デンカΣ2000 混和コンクリートの諸物性

### (1)コンクリートの配合例と圧縮強度の関係

図-2に蒸気養生後(80℃), 翌日脱型し, その後, 室内気乾養生したコンクリート配合(普通ポルトランドセメント使用)と圧縮強度の関係(1)を示します.

単位セメント量を 400kg/m<sup>3</sup>と 450kg/m<sup>3</sup>としてΣ2000の混和量を 0, 20, 40, 60kg/m<sup>3</sup>と増加させて行くと脱型時強度は 10N/mm<sup>2</sup>づつ増大し, その後もその差を保ったままで強度は増加します. そして単位セメント量が 400kg/m<sup>3</sup>のΣ2000 60kg/m<sup>3</sup>の配合では脱型時で 80N/mm<sup>2</sup>強, 材齢 28 日では 100N/mm<sup>2</sup>の強度が示され, 450kg/m<sup>3</sup>のΣ2000 60kg/m<sup>3</sup>では脱型時で 90N/mm<sup>2</sup>弱, 材齢 28 日では 110N/mm<sup>2</sup>の強度を示します. また, 設計強度 90N/mm<sup>2</sup>の超高強度推進管を製造する場合の経済的な配合として単位セメント量を 500kg/m<sup>3</sup>, Σ2000の混和量を 25kg/m<sup>3</sup>とすることによって 単位セメント量-Σ2000 = 400kg/m<sup>3</sup>-60kg/m<sup>3</sup>と同様の強度を示すことも判ります. 更に, 単位セメント量 500kg/m<sup>3</sup>, Σ2000 75kg/m<sup>3</sup>の配合では脱型時で 100N/mm<sup>2</sup>以上, 材齢 28 日で 120N/mm<sup>2</sup>以上の強度が得られます.

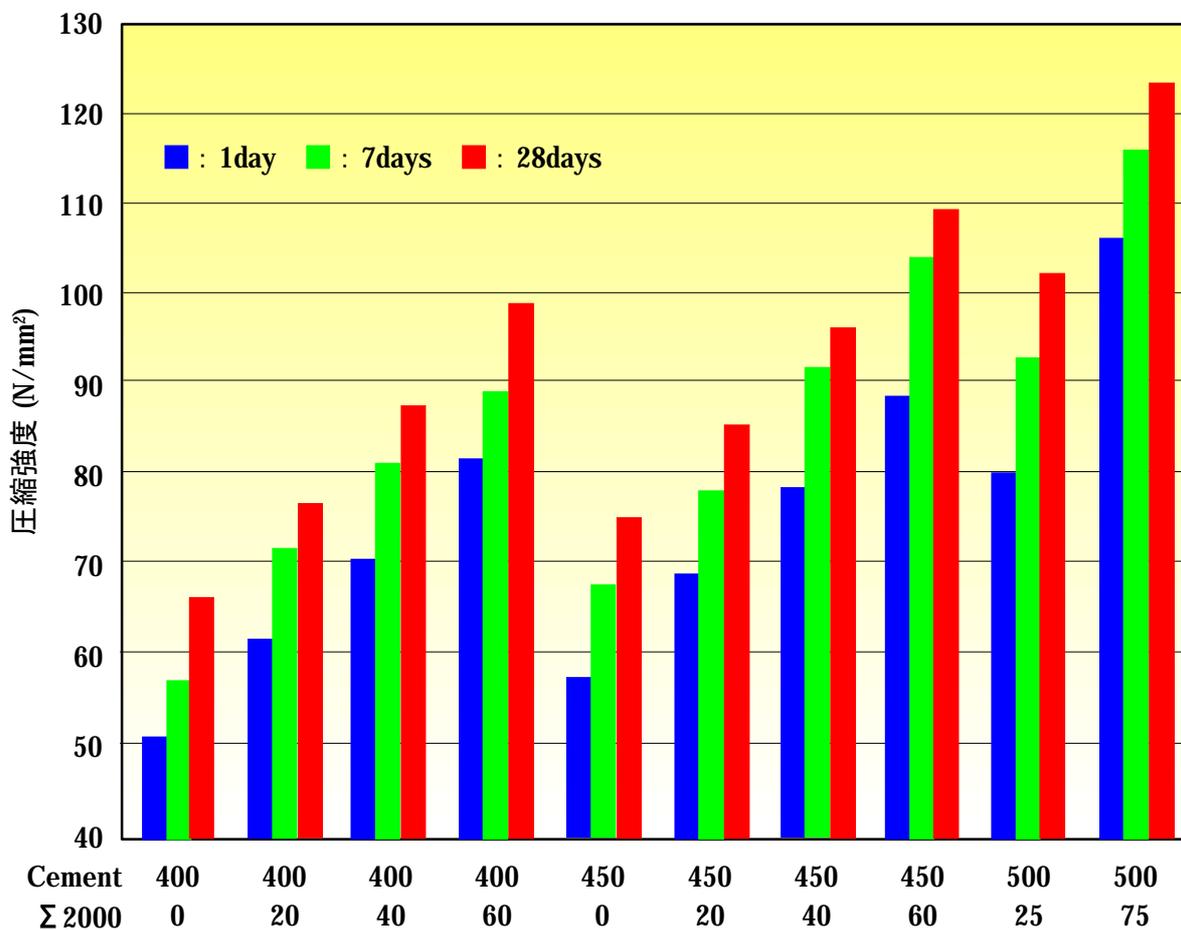


図-2 コンクリート配合と圧縮強度の関係(1)

図-3のコンクリート配合と圧縮強度関係(2)ではΣ2000の単位量を60kg/m<sup>3</sup>一定としてセメントの種類を普通ポルトランドセメントと早強ポルトランドセメントとし、その単位量を400と450kg/m<sup>3</sup>とした同程度の水結合材比の比較では、材齢に関係なく、いずれも早強ポルトランドセメントの方が10N/mm<sup>2</sup>程度高い強度を示します。そして早強ポルトランドセメント400kg/m<sup>3</sup>のΣ2000 60kg/m<sup>3</sup>の配合では脱型時で100N/mm<sup>2</sup>弱、材齢28日では110N/mm<sup>2</sup>の強度、450kg/m<sup>3</sup>のΣ2000 60kg/m<sup>3</sup>では脱型時で115N/mm<sup>2</sup>、材齢28日では115N/mm<sup>2</sup>の強度が示されます。また、脱型時で120N/mm<sup>2</sup>以上の強度を得るには、早強ポルトランドセメントを使用する場合は単位セメント量500kg/m<sup>3</sup>、Σ2000 75kg/m<sup>3</sup>、W/B 25%程度、普通ポルトランドセメントを使用する場合は500-75kg/m<sup>3</sup>、W/B 22%程度の配合で達成できます。

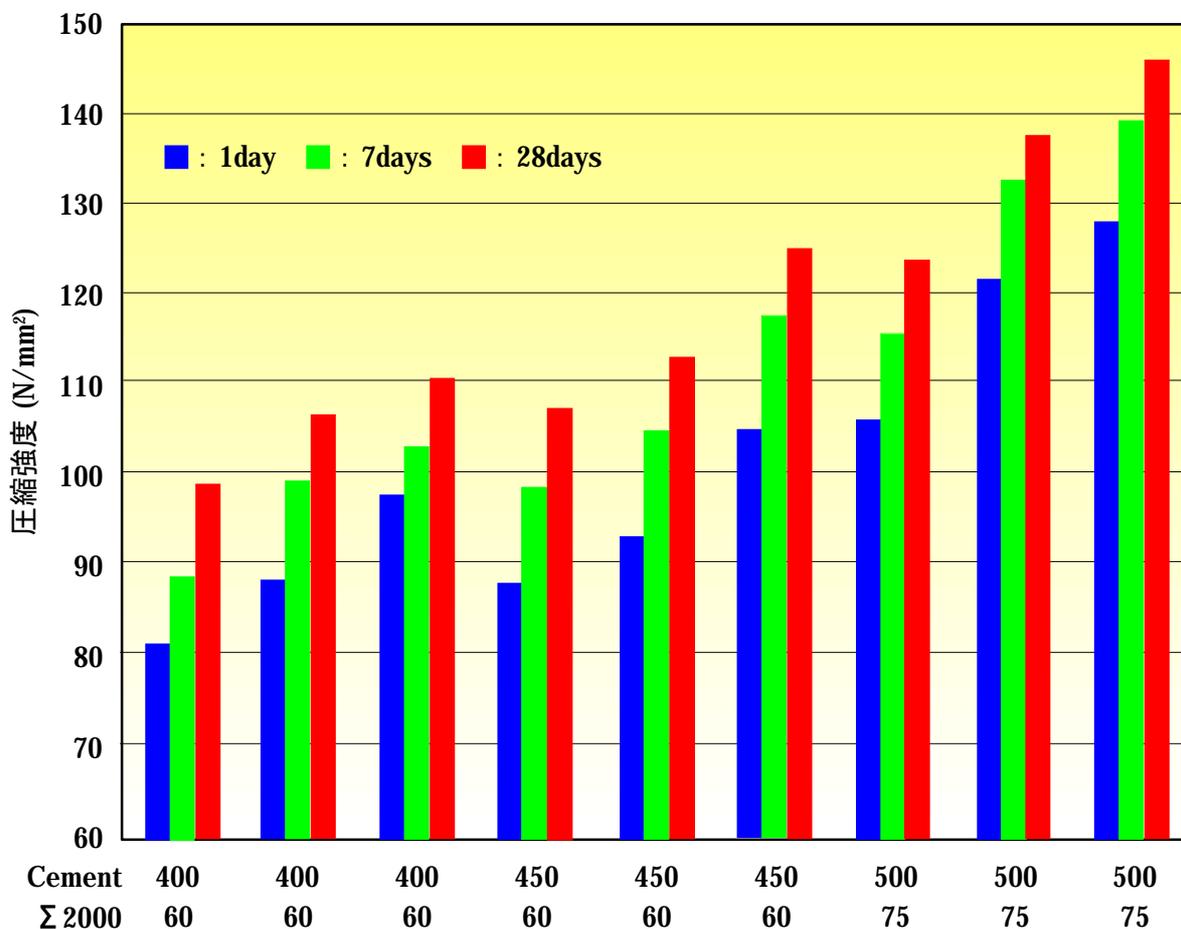


図-3 コンクリート配合と圧縮強度の関係(2)

## (2)蒸気養生温度と圧縮強度の関係

図-4 に蒸気養生温度と圧縮強度の関係を示します。

蒸気養生温度が70～90℃の範囲では養生温度が高くなるほど材齢に関係なく僅かずつ高くなりますが圧縮強度に対する養生温度の影響は小さいです。また、養生温度が45℃では脱型時強度はそれなりに低くなりますが長期的には回復します。

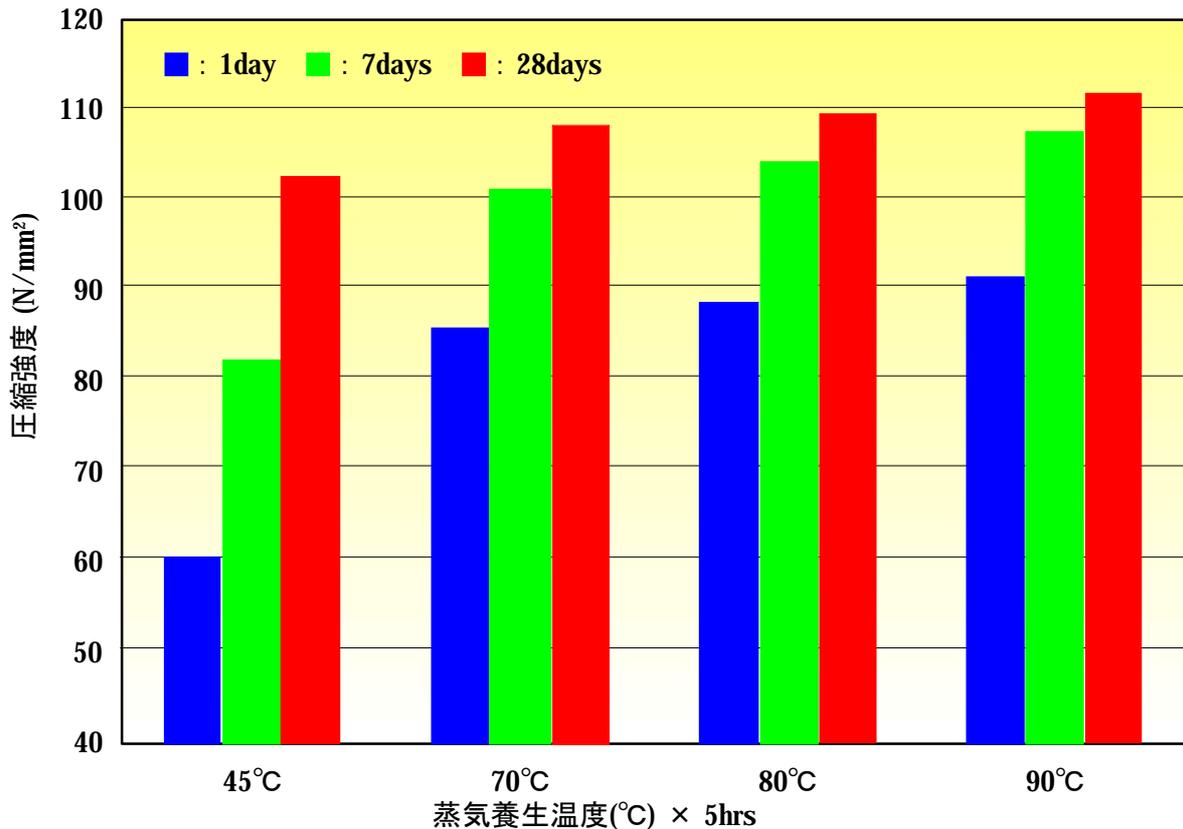


図-4 蒸気養生温度と圧縮強度の関係  
(OPC400-Σ60, W/B 29.8%)

## (3)振動成形した供試体と遠心力成形した供試体の圧縮強度の関係

図-5 に振動成形した供試体と、遠心力成形した供試体の圧縮強度の関係を示します。

遠心力成形におけるノロ防止材「プラスメリット(PM)」を添加しないで脱水させた場合は遠心力成形した圧縮強度は振動成形した圧縮強度と、ほぼ、同様か僅かに後者の方が高い傾向となり、プラスメリットを添加した場合も遠心力成形した方が約 10N/mm² 低くなる傾向を示しめしておりますが、コンクリートの配合方法や遠心力成形方法の工夫により強度差をより小さくすることは可能です。

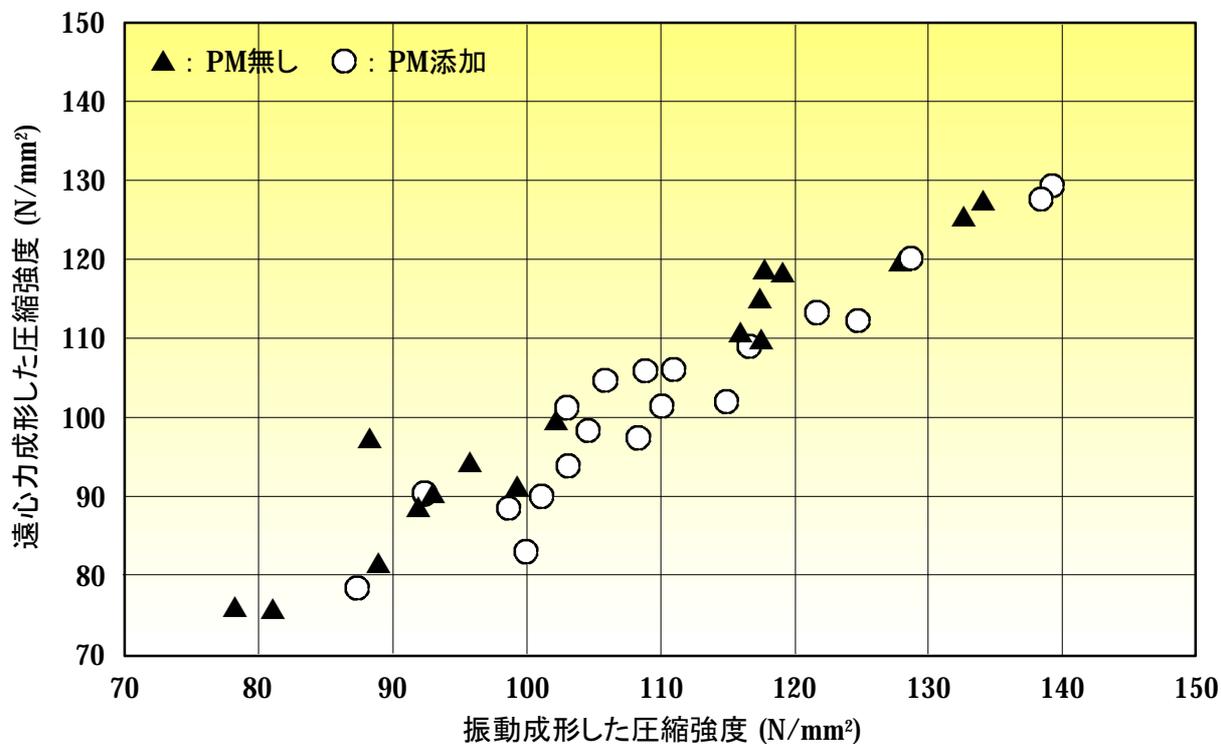


図-5 振動成形と遠心力成形した圧縮強度の関係

#### (4) 圧縮強度と静弾性係数の関係

図-6 に蒸気養生後(70~90°C)翌日脱型し、その後、室内気乾養生した圧縮強度と静弾性係数の関係を示します。静弾性係数は圧縮強度に比例して増加することが示されます。

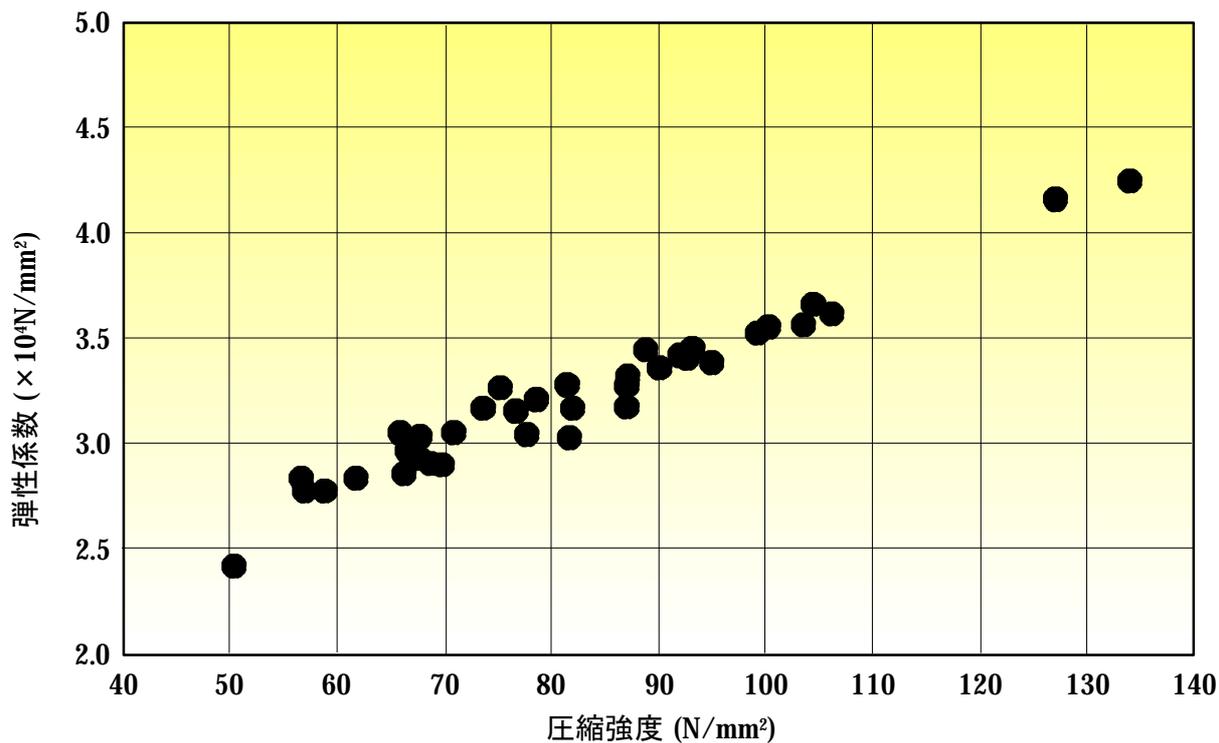


図-6 圧縮強度と弾性係数の関係

**(5) 圧縮強度と曲げ及び引張強度の関係**

図-7 に蒸気養生後(70~90°C)翌日脱型し、その後、室内気乾養生した圧縮強度と曲げ及び引張強度の関係を示します。

Σ2000 を混和したコンクリートの圧縮強度に対する曲げ強度の比率は約 1/11、引張強度は約 1/16 となっています。

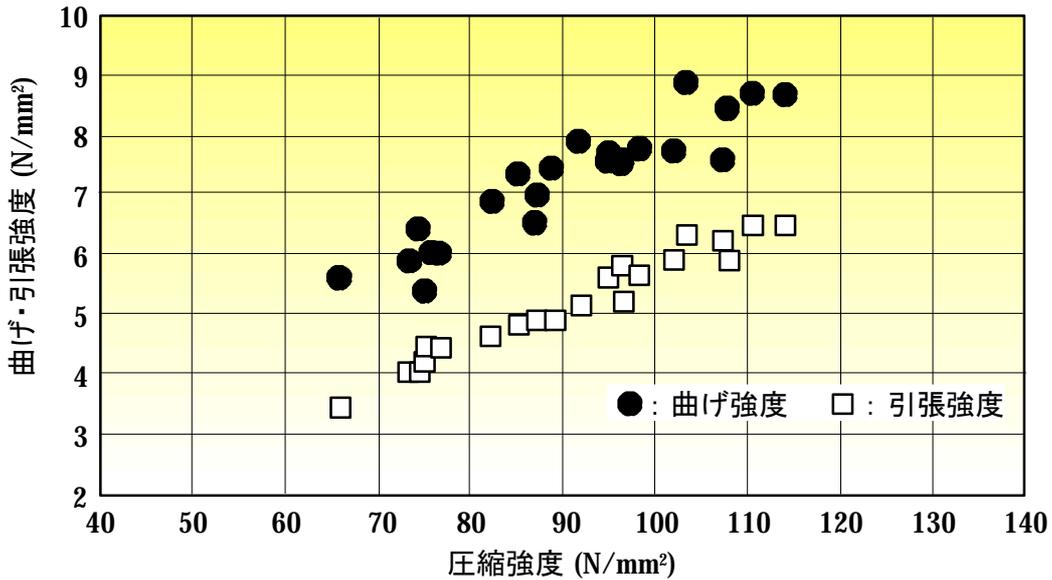


図-7 圧縮強度と曲げおよび引張強度の関係

**(6) 乾燥収縮**

図-8 に乾燥収縮の測定結果の一例を示します。測定は蒸気養生後、翌日脱型して基長し、20°C、RH60% ±5%の室内養生で行いました。脱型時強度が高い方が乾燥収縮量も小さくなる傾向となっていますが、概ね 250 μ 以下です。

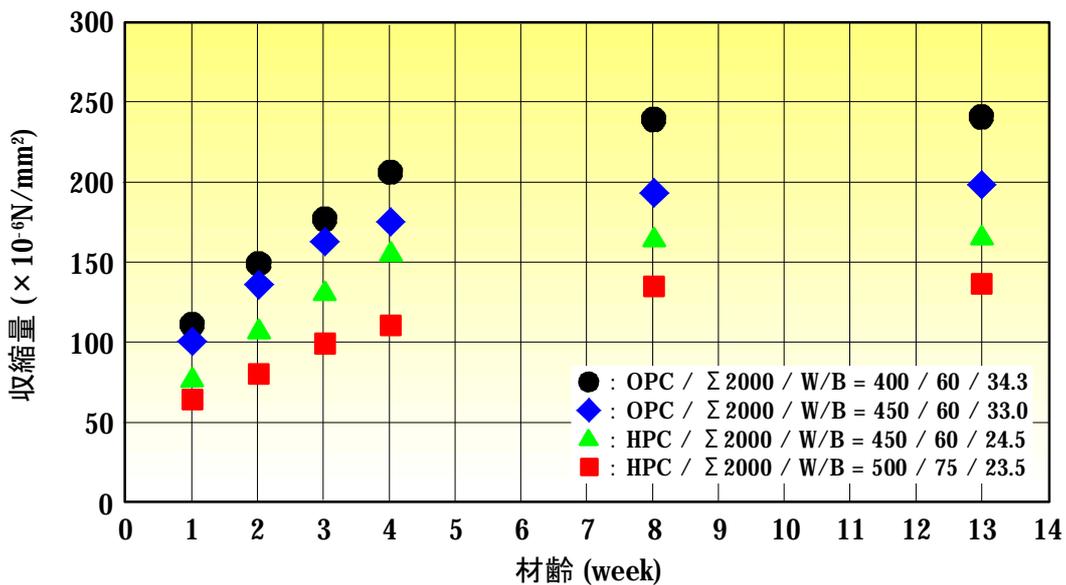


図-8 乾燥収縮

## 7. 使用上の注意点・参考点

- ① コンクリート強度は高強度になるほど、骨材の最大寸法や形(実積率)及び堅牢度、付着力に影響を受けますので試験練りで強度を確認してからコンクリート配合を決定して下さい。なお、最大寸法は20mm以下、好ましくは13mm以下の砕石が望ましい。
- ② 普通ポルトランドセメントよりは早強ポルトランドセメントの方が経済的な配合設計が出来ます。
- ③ コンクリートパイルやポールの場合は当社プラスメリットを併用するとノロ防止と超高強度を同時に達成することが出来、ポンプ打ちも可能です。
- ④ プレキャスト版の場合や箱物では減水剤量の増加により流動化すると成形性が向上します。なお、コテ仕上げが必要な場合は仕上げするまでは乾燥防止措置を取って下さい。ブリーディングが発生しませんのでコンクリート表面から水分が蒸発して乾くとひびわれが入りコテ仕上げが出来ません。
- ⑤ 100N/mm<sup>2</sup>を超える強度をφ10×20cmの供試体で管理する場合は、棒バイブレーターで充分締め固め成形し、キャッピングは研磨機で行って下さい。ペーストキャッピングでは管理できません。

## 8. 取り扱い上の注意点

Σ2000の取り扱いに際しては、以下の点に注意して下さい。

- ① 開袋投入等の作業を行う場合は、防塵マスク、ゴーグル、ゴム手袋などの保護具を必ず着用して下さい。
- ② セメントと同様のアルカリ性ですので皮膚などに付いたら水洗いなどで速やかに洗浄して下さい。
- ③ 誤って目に入った場合は綺麗な水で充分洗浄してから、直ちに医師の診察を受けて下さい。