

# 構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究 (その3)

——コンクリートの強度発現に影響を及ぼす要因——

SCCS 研究グループ

## Strength Control of Concrete in Structures (Part 3)

——Factors Influencing Strength Development of Concrete——

SCCS Research Group

### Abstract

This report is devoted to an explanation of the factors influencing strength development of concrete. Curing temperature, moisture conditions and vertical pressures at the time of concreting are referred to, individually or compositely, as influencing factors. The effect of moisture content on strength development of concrete cylinders is remarkable through all seasons. However, curing temperature is effective only in the winter season when day-degree temperature is comparatively low. The effect of vertical pressure upon strength development of concrete cores appears to be qualitatively noteworthy, but quantitative analysis must await future study.

### 概 要

本報は構造物躯体コンクリートの強度発現に影響を及ぼす要因として、コンクリートの養生温度・含湿状態・打設時の圧密力などをとりあげ、各々が単独または複合されてコンクリートコアおよびシリンダー強度に及ぼす影響を述べた。シリンダーについての調査によれば、含湿状態の影響は各シーズンを通じて大きくあらわれたが、養生温度の影響は積算温度が小さい冬季についてのみみられた。コンクリートコア強度におよぼす圧密力の影響は、定性的にかなり大きいことが明らかとなったが、定量的な把握は今後の研究に待つところが多い。

### 1. まえがき

コンクリートの強度発現に影響をおよぼす要因としては、養生温度、養生湿度、圧密力などが考えられる。今回の実験ではコア供試体抜き取り位置の近傍におけるコンクリートの温度および相対湿度を測定し、コンクリートの強度発現との関係を調べた。本報の前半では各要因の実測結果について述べ、後半ではコンクリート強度と各要因との関係を分析した結果を述べた。

### 2. 各要因の実測結果

#### 2.1. 温度履歴

表-1は各シーズン毎のコンクリートの練り上り温度と各部材の最高温度を示している。これより、全シーズンを通じて、部材寸法が大きく容積の大きい部材ほど最高温度が高くなっていることが判る。しかしながら、このように部材間の温度差が著しいのは、比較的初期の材令

のうちだけであって、長期材令においては部材間の温度差は殆んどなくなる。図-1は材令8日までの各部材の温度履歴を示したものであるが、材令4~5日になるとコンクリートの内部温度は外気温と同程度になっている。図-2は柱部材の温度履歴を材令4週までプロットしたものであるが、外気温と異った内部温度になっているのは、初期の数日だけであることが更に明瞭である。従って、各部材の温度履歴を積算温度(D°D)で表わす場合、初期の数日間の積算温度には差がみられるが、それ以降徐々に部材間の差が小さくなり、材令4週の時点ではほとんど無くなって

しまうことがわかる。以上述べたのは同一シーズン内の部材間の積算温度の関係であるが、シーズン間の

	夏 季		秋 季		冬 季	
	練り上り 温 度	最高 温度	練り上り 温 度	最高 温度	練り上り 温 度	最高 温度
柱30cm(深さ)		51.0		37.0		22.5
柱10cm(深さ)		46.0		32.0		19.2
は	29.0	37.0	19.5	30.8	8.4	13.0
壁		37.0		25.0		11.0
床スラブ		30.5		21.5		13.0

表-1 各部材毎の最高温度 (°C)

積算温度に差があることは言うまでもない。夏季と秋季では、全く同一のコンクリートの調合を採用しているので、材令4週時における両者の強度差は、積算養生温度の相違によるところが大きい。表-2は部材別・シーズン別の材令4週時の積算養生温度の一覧表である。また、柱部材、壁部材においては、高さ方向に上・中・下の3ヶ所で温度を測定したが、表面からの深さが同じであれば上下方向の温度差がみられなかったため、一定高さの測定値をもって代表させた。

2.2. コンクリート内部の湿度変化

図-3～図-6は、各部材別のコンクリート内部相対湿度の経時変化を示している。それによると、部材寸法の相違による乾燥速度の差が顕著にあらわれていることがわかる。即ち、柱や梁の中心部では乾燥が比較的緩慢に進行するが、壁や床スラブでは乾燥の進行が著しい。最も著しい乾燥をみせたのは、直径10cmのシリンダー供試体であるが、これはコンクリートの容積に対する放湿面積が最も大きいことによる。また、材令4週という時点ではなめると、各部材の相対湿度は95%前後であり差がみられないが、乾燥は材令4週以降も引続き進行し、最終的には部材間の差を顕著にさせている。以上述べた傾向は、各シーズンを通じて言えることである。

コンクリートの強度と乾燥程度との関係では、一般に乾燥が進んだものほど強度発現が悪いという傾向がみられた。表-2からも判るように積算養生温度に関しては、標準水中養生と標準気中養生、および現場水中養生と現場気中養生との間には殆んど差がみられない。しかるに、表-3に示されるコンクリートシリンダー強度については、水中養生したものが気中養生したものより著しく強度が大きい。これは、養生中の湿分の程度によって、コンクリートの強度発現がいかに大きく影響されるかを示している。同じ強度のコンクリートであっても、湿潤させて試験すると乾燥させて試験するのとでは、見掛上の強度が変化するという試験誤差の問題もあるが、乾試験強度が湿試験強度を上廻るといふ通常知られている傾向と今回の試験結果とは逆の関係にあるため、やはり強度発現そのものに大きな差があったと解釈すべきであろう。

各種養生コンクリートシリンダーの場合、乾燥の程度差はシリンダーの重量差で表わすことができる。しかし、抜取りコア供試体の場合、コアの単位容積重量差の中には、乾燥程度の差からくるものと圧密程度の差からくるものとが含まれているので、同様に扱うことはできない。壁部材と床スラブとをくらべてみると、乾燥の進行程度ならび温度履歴は殆んど同じであるのにも拘らず、大きな強度差が生じている。これは壁部材においては鉛

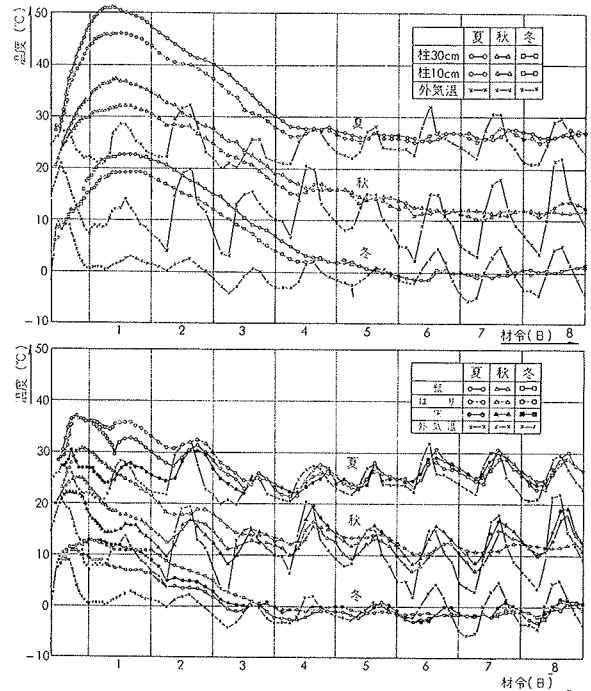


図-1 材令8日までの各部材の温度履歴

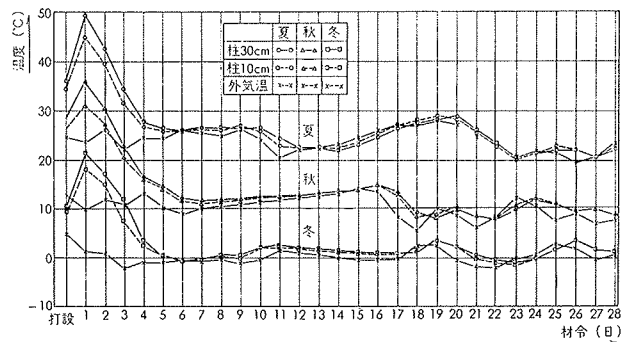


図-2 材令4週までの柱部材の温度履歴

		(単位 D <sup>3</sup> D)		
		夏	秋	冬
柱	内	1037	680	358
	外	1022	666	343
壁		1004	619	296
はり		998	643	308
床スラブ		983	632	309
養生シリンダー	標準水中	850	829	816
	〃 封かん	850	829	816
	〃 気中	849	828	815
	現場水中	926	526	275
	〃 湿砂	942	579	278
	〃 封かん	962	590	291
	〃 気中	961	585	298

表-2 シーズン別・部材別積算養生温度(材令4週)

直方向の圧密力が作用しているからで、コンクリートの強度発現性状を、コンクリートの温度、湿度の2つの要因だけでは説明しきれないことを示唆している。

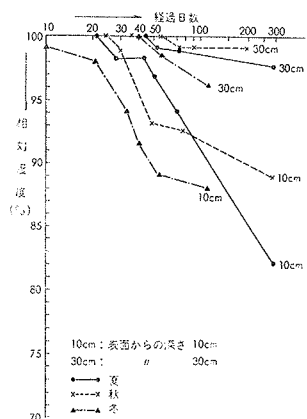


図-3 柱の内部相対湿度変化

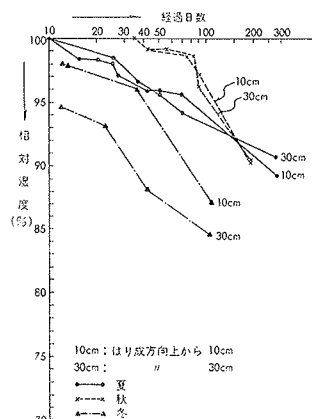


図-4 はりの内部相対湿度変化

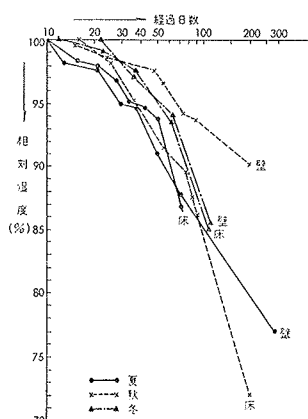


図-5 壁および床スラブの内部相対湿度変化

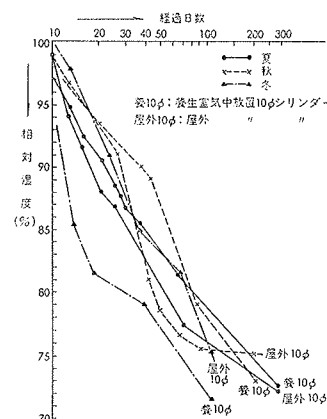


図-6 シリンダー供試体の内部相対湿度変化

	夏	秋	冬
標準水中養生	259	290	347
〃 気中 〃	230	232	271
現場水中 〃	269	245	276
〃 気中 〃	208	169	197

表-3 水中養生強度と気中養生強度との比較(kg/cm<sup>2</sup>)

### 2.3. コンクリートの内部歪の変化

コンクリートが乾燥していく過程を間接的に把握するためのもう一つの方法として、コンクリート内部の歪変化の測定がある。図-7～図-9は、各部材毎の経時的な内部歪変化を示している。それによると、各シーズンとも部材断面の大きなものほど内部歪の変化は小さく、壁や床スラブのような薄い部材では大きいという傾向がみられた。これは前述したコンクリート内部の相対湿度変化と定性的によく一致している。

## 3. 相関分析

### 3.1. シリンダー強度に関する解析

各種養生をしたシリンダーでは、養生温度、乾燥程度などの強度発現に関するバックデータがよく揃っている。即ち、積算温度の他に、シリンダーの重量変化などが計測されているので、コンクリートの温度、湿度と強

度との関係を定量的に分析することが可能である。ここではコンクリートの含湿の程度をあらゆる指標として、重量比(試験時重量/モールド脱型時重量)という要因をとりあげた。強度および各要因の範囲は、表-4に示した通りである。また、コンクリートの強度と各要因との単相関係数を求めると表-5のようになった。これより、コンクリートの強度と重量比の間には、全シーズンを通じて強い相関関係があることがわかる。一方、コンクリート強度と積算温度との関係は、シーズンによって傾向を異にし、冬季では比較的強い相関がみられたが、夏季には殆んど相関がみられていない。これは夏季においては、現場養生でも材令4週時の積算温度が840°DD(20°C材令28日に相当)を上廻るため、養生温度の差による影響が極めて小さいことを示している。これに対し冬季の現場養生による積算温度は300°DD以下となり、積算温度の差が強度発現に大きく影響していることがわかる。

図-10は、コンクリートの強度と重量比との関係を示したものであるが、全シーズンを通じて極めて強い相関関係が存在することがうかがえる。

次にコンクリートの強度発現と重量比および積算温度との重相関分析を行い、コンクリートの強度に対する各

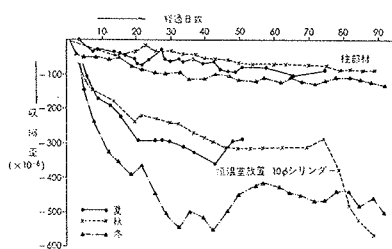


図-7 柱および恒温室放置シリンダーの内部歪変化

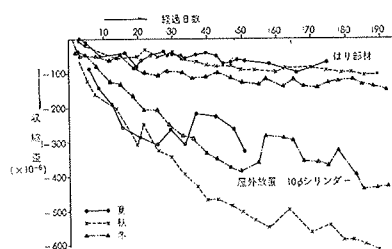


図-8 はりおよび屋外放置シリンダーの内部歪変化

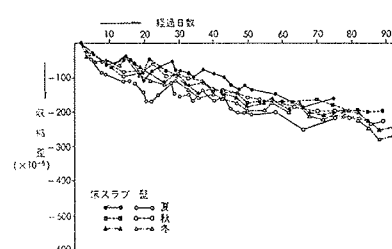


図-9 床スラブおよび壁の内部歪変化

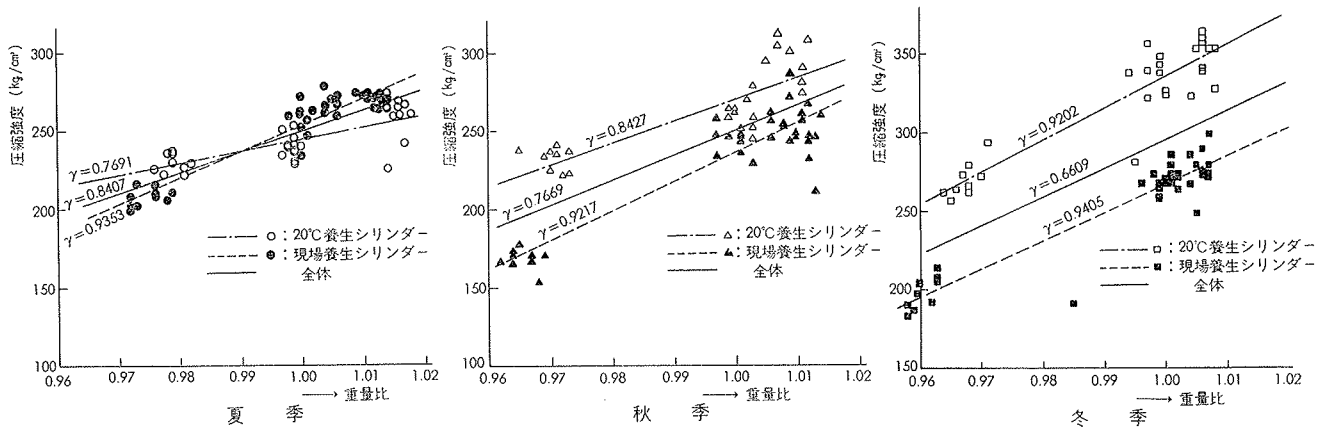


図-10 重量比とシリンダー強度の関係

要因の寄与率を求めると表-6のようになった。これから夏季および秋季においては、コンクリート中の含湿の程度が強度発現に及ぼす影響が支配的であり、冬季ではこの他に養生温度の影響も無視しえないことがわかる。

以上述べたのは、圧密力を受けていないシリンダーに関する考察であるが、実際の構造体コンクリートでは、部材によって鉛直方向の圧密力の影響が加わるので更に複雑な関係となる。

### 3.2. コンクリートコア強度に関する解析

前述したように構造体コンクリートの部材・部位間の強度発現差を生じさせる要因としては、養生温度、含湿の程度、鉛直方向の圧密力などが考えられるが、今回の実験では圧密力について定量的な裏付けデータをとっていない。そこで鉛直部材の下部におけるコンクリートが圧密によって重くなっていることに着目し、圧密の影響をコンクリートの単位容積重量によって表現できるとして、コンクリート強度との単相関分析を行ったところ表-7のような結果を得た。それによるとコア強度と単位容積重量との間には、多少の相関関係がみとめられたがあまり強い相関とは言い難いことが判った。これは単位容積重量差の中には、圧密力の差によるものの他に、含湿程度の差によるものも含まれているからだと考えられる。そこでコンクリートの鉛直方向の圧密力の分布は液圧分布をしていると仮定して、圧密力の仮定値とコア強度との単相関分析を行うと極めて強い相関がみられたのは興味深い。いずれにせよ鉛直方向の圧密力によってコンクリートの強度差が惹起されることは理解されるものの、どのようなメカニズムによってそれが生じるかの究明は、今後の研究成果を期待するところが大きい。

### 4. まとめ

構造物躯体コンクリートの強度発現には、コンクリートの養生温度、含湿状態、打設時の圧密力などの諸要因

	夏季	秋季	冬季
重量比	0.97~1.02	0.97~1.01	0.96~1.01
積算温度	849~962	526~829	275~816
強度	208~259	169~290	197~347

表-4 各変数の範囲(各種養生シリンダー)

	夏季強度	秋季強度	冬季強度
重量比	0.910	0.815	0.709
積算温度	-0.025	0.401	0.691

表-5 シリンダー強度と要因との単相関係数

	夏季	秋季	冬季
積算温度	0.0006	0.1610	0.4779
重量比	0.8285	0.6634	0.5027
累加寄与率	0.8291	0.8244	0.9806

表-6 各要因の強度に対する寄与率

	夏季強度	秋季強度	冬季強度
単位容積重量	0.436	0.511	0.314
圧密力(仮定値)	0.919	0.748	0.534

表-7 コア強度と要因との単相関係数

が、単独または複合されて影響を与えていることの概要が明らかになった。しかしながら、打設時の圧密力、コンクリートの含湿状態などの要因については、定量的に十分な把握がなされているとは言えず、今後究明すべき課題と言える。

(文責 中根 淳)