

# [48] 構造体コンクリートの強度発現に影響をおよぼす要因

正会員 ○ 中 根 淳 (大林組 技術研究所)  
 正会員 高 橋 久 雄 ( 同 上 )  
 久保田 昌 吾 ( 同 上 )  
 正会員 永 井 康 淑 ( 同 上 )

## 1. 緒 言

筆者らは、建築構造物を対象として構造体コンクリート強度の合理的な管理法の確立をめざし、一連の研究を遂行している。これまでのところ実験の調査研究を通じて、構造体コンクリート強度の実態を或程度明らかにすることができ、そこに一定の傾向があることを指摘してきた。<sup>1)~2)</sup>しかし、結果としての実態がどのようなプロセスを経て具象化されたか、その詳細なメカニズムについては、未だ充分解明できるところまでに到っていない。本報では、特にコンクリートの打込み時および打込み後の養生期間中に、構造体コンクリートの強度発現を左右する支配的な要因に焦点をあて、これまでに得られた知見を整理して報告する。

## 2. 構造体コンクリート強度の傾向

実態調査の結果から、構造体コンクリートの強度発現には一定の傾向があることが判ってきたが、これを簡単に図解して示すと図-1のようになる。この図の見方について、以下に若干の補足説明をする。建築学会では、構造体コンクリートの強度を、現場水中養生シリンダーの強度から推定することになっている。そこで材令4週時の現場水中養生供試体の強度を基準と考え、これを100としたときの構造体の各部材・部位別の強度発現を指数で表わしてみた。用いたデータは、筆者らが実大模擬部材を製作し、普通コンクリート ( $F_c=210\text{ kg/cm}^2$ , スランプ18cm)について行った実験で得られたものである。図中の円は、基準となる現場水中養生シリンダー強度を示し、また塗つぶした部分は、夏・秋・冬と繰返し実験をしたときの、データのバラツキの範囲を示している。実験の詳細については既報にて報告しているの<sup>1)</sup>ここではあまり触れないこととし、結論のみを再録すると概略次の通りである。即ち、極く標準的な寸法の部材を対象とし、極く標準的な方法で施工した場合、

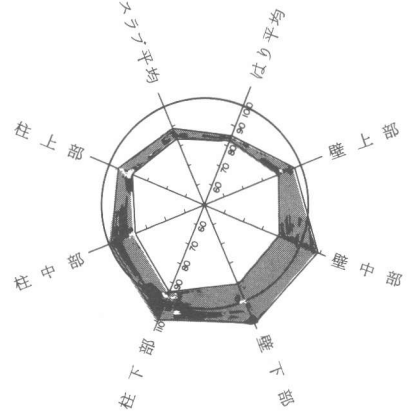


図-1 現場水中養生シリンダー強度に対する各部材・部位別の強度発現指数

- i) 床スラブやはりなどの水平部材の強度発現は、他の部材にくらべて相対的に低く、現場水中養生シリンダー強度の約80~90%程度である。
- ii) 柱や壁などの鉛直部材では、部材上部より下部へいくに従って強度発現が高くなり、最下部では現場水中養生シリンダーと同等か、場合によってはそれ以上の値を示す。しかし、自重のあまりかからない最上部の強度発現は、水平部材のそれとほぼ等しい値を示す。
- iii) 以上述べた傾向は、材令(2週~13週の範囲)や打設季節と無関係に言い得る。

## 3. 強度発現に影響をおよぼす要因の抽出

前項で述べた構造体コンクリートの強度発現の傾向は、どのような要因が作用して生じるものであろうか。既報において、コンクリートの製造から輸送、打込み・締固め、養生、強度試験にいたるすべての段階で介在する構造体コンクリート強度のバラツキの要因を分類したが、<sup>3)</sup>特に打込み中および打込後の養生期間中に作用す

る支配的な要因をとりあげると、コンクリートの圧密現象、温度履歴、部材の湿潤の程度の3つに集約される。

コンクリートの圧密現象には、バイブレーターによる締め固め（脱泡現象）も広い意味で含まれるが、本報では自重による圧密作用についてのみ述べる。

#### 4 自重による圧密現象

鉛直方向に長い部材では、一般に上部より下部へいくほど強度が高くなることが知られており、例えば柱部材の場合、図-2に示すような強度の勾配がみられる。

これは壁部材についても同様のことが言える。このような現象は鉛直部材において最も顕著に現われるわけであるが、一方、自重による圧密作用そのものは、すべての部材においてその部材の状態に応じて作用している筈である。そこで、コンクリート上面からの深さが圧密力に関係することに着目し、コンクリート上面からの鉛直深さをパラメーターとして、各部材・部位の強度をプロットしてみた。図-3は、普通コンクリートにおける鉛直方向の深さとコア強度の関係を示している。これを巨視的にみると、コンクリート上面からの深さが増大するほど、コンクリート強度が大きくなる傾向が明らかである。この関係を統計的に確認すべく、コア強度と鉛直深さとの相関係数をもとめたところ、表-1のような結果が得られた。これからもコンクリートの種類や打設季節にかかわらず、上面よりの鉛直深さとコア強度との間に強い相関があることがわかる。従って、我々が部材間・部位間の強度差と称しているものかなりの部分は、実は圧密力の相違に起因していると言える。

次にコンクリート上面からの鉛直深さが、常に圧密力を代表する適確な指標であるかどうかについて考察を加えたい。筆者らの実験では、世間一般に最も頻度の高いコンクリートを使用し、ポンプ圧送による片押し打設をしている。このような条件下では、上下方向のコンクリートの側圧にかなりの差が生じ、上述したような鉛直深さとコア強度の間に強い相関がみられる。しかし、廻し打ち工法により、長時間をかけて層打ちをするときには、鉛直深さがコンクリートの圧密力をより敏感に表わしているとは言い難い。表-1中において、冬期に打設したコンクリートの相関係数が比較的低い値を示しているが、実験データを詳細にながめると上下方向の強度差があまり生じておらず、これは型枠の補強のためかなり時間をかけてコンクリート打ちしたことと無関係ではない。そこで、コンクリートの圧密力の実測値をパラメーターとしてコア強度との関係をプロットしてみたところ図-4を得た。<sup>4)</sup> これより材令4週時の両者の相関係数が0.94というきわめて高いものとなることがわかる。

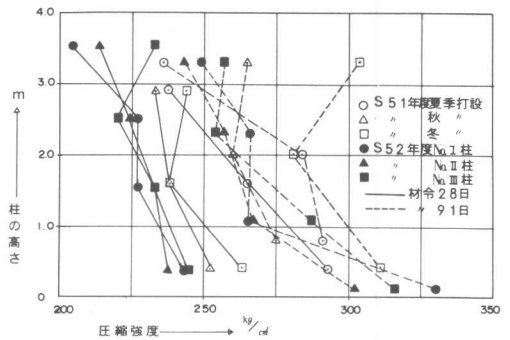


図-2 柱部材における高さ方向の強度分布<sup>4)</sup>

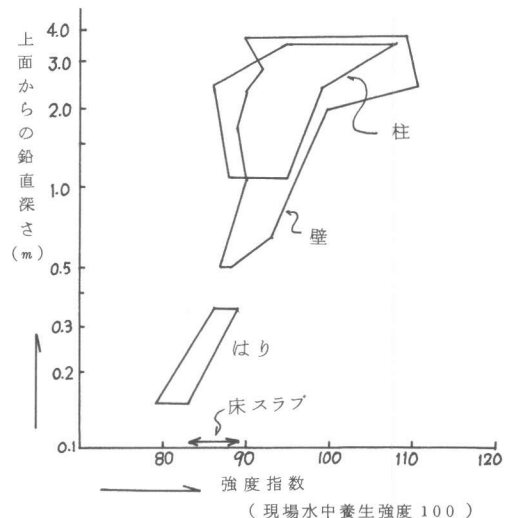


図-3 コア強度と鉛直深さの関係<sup>1)</sup>

表-1 コア強度と鉛直深さの相関係数

		打込み季節		
		夏	秋	冬
普通	材令 4 W	0.895	0.773	0.620
	コンクリート	13 W	0.882	0.717
軽量(1種)	材令 4 W	0.854	0.773	0.828
	コンクリート	13 W	0.889	0.770

表-1 コア強度と鉛直深さの相関係数

圧密力の測定値は限られた範囲のものであるが、一般には型枠にかかる側圧の値と近似していると解釈できる。鉛直部材とくに壁部材の上下方向の強度分布の形状が、側圧の分布形状に似ている事例が往々みられることから、自重による圧密現象をより精密に言及するには、コンクリートの側圧力（または実測した圧密力）をパラメーターとして扱うほうがより望ましいと言える。

圧密の程度が鉛直方向の強度差に大きな影響を与えるということは、これまでの調査で明らかになったが、圧密によって上下方向に水分の移動が生じるものかどうか、圧密によって微細な空隙が減少しているかどうかについては、現段階ではよく判っておらず、今後の研究成果を待つところが大きい。

### 5. コンクリートの温度履歴

コンクリートの養生温度は、セメントの水和反応を支配する重要な要因であり、これに関してこれまでに多くの研究がなされている。表-2からもわかるように、材令4週までに構造体が受ける積算温度は、夏と冬とでは約3倍も異なる。表-3は、標準水中養生シリンダー強度を基準としたときの各部材の強度発現率を示したもので、材令4週における抜取りコアの平均強度発現率をみると、夏期の99%に対し冬期では70%でしかない。両表より年間を通じて、コンクリートの積算養生温度とコア強度の発現率との関係式を求めると下式が得られる。

$$Y = 0.04 X + 54 \quad (\text{相関係数 } 0.869)$$

ここに Y：材令4週時における標準養生供試体強度に対するコア強度発現率 (%)

X：材令4週までの積算養生温度(D°D)

両者の相関が非常に高いことから、年間を通じて考えると、コンクリートの養生温度が材令4週における構造体コンクリートの強度発現にきわめて大きな影響を与えていることがわかる。しかし、材令4週以降13週までの強度の伸び率でみると、夏期に打設したものは0~5%程度の伸びしかないのに対し、冬期打設したものは20~25%もの伸びを示し、最終的には、初期の養生温度による差は相殺される傾向も同時に有している。<sup>1)</sup>

次に少し観点をかえて、同じ時期に打設されたコンクリートの各部材・部位間の強度発現差におよぼす、養生温度履歴の影響について考察を加えたい。

表-2からもわかるように、同時期に打設されたコンクリートの部材毎の積算養生温度は、特別の養生を施さな

いかぎりあまり差がない。

図-5は、材令1週までの各部材の温度履歴の実測例であるが、打設後の3日間は部材寸法に応じて温度履歴の差がみられるものの、材令4日以降はどの部材も外気温とほぼ等しくなることを示している。従って、材

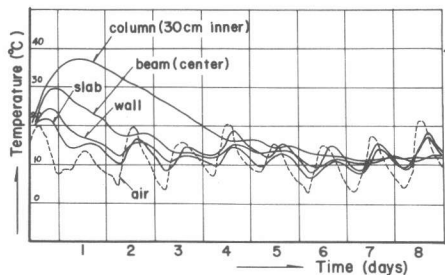


図-5 各部材の温度履歴の例 (秋期)<sup>1)</sup>

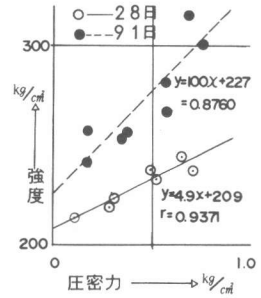


図-4 圧密力の実測値とコア強度の関係の一例<sup>4)</sup>

表-2 積算養生温度<sup>1)</sup>

(普通コンクリート材令4W)

		(単位 D°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-3 標準養生供試体強度に対する各部材強度の指数(材令4W)<sup>1)</sup>

		夏	秋	冬
普通コンクリート	床スラブ	86	76	67
	はり	88	71	66
柱	上部	92	80	70
	中部	102	82	69
	下部	113	87	76
壁	上部	97	77	71
	中部	108	84	70
	下部	111	83	70
コア全平均		99	80	70

表-4 積算温度とコンクリート強度との相関 (季節別)

		積算温度の範囲(D°D)	相関係数
管理用シリンダー	夏	849~962	0.025
	秋	526~829	0.401
	冬	275~816	0.691
抜取りコア	夏	983~1037	0.309
	秋	619~680	0.262
	冬	296~358	0.331

令4週までの各部材の積算養生温度は大差がないこととなり、表-4に示したように積算養生温度と各部材間の強度発現差との相関はきわめて弱いものとなる。これを換言すると、同時期に打設された構造体コンクリートの部材・部位間の強度差は、養生温度以外の要因のほうが強く作用していることになる。

## 6. 部材の湿潤の程度

セメントの水和反応が未だ充分進まないうちにコンクリートの乾燥が進むと、引続く水和反応を阻害することになり、コンクリートの強度発現は低いレベルで停滞してしまう。この現象は、温度履歴や圧密の条件が同一の現場水中養生シリンダーと現場気中養生シリンダー、或いは、標準水中養生シリンダーと標準気中養生シリンダーとの間で、常に気中養生シリンダーの強度が低いことからもうかがわれる。表-5は、シリンダーの乾燥を表わす尺度として、重量比（試験時重量/脱型時重量）という要因をとりあげ、シリンダーの強度との相関性を調べたものであるが、これよりシリンダーの乾燥程度と強度との間に強い相関があることがわかる。

これと同じ現象が一般の構造体コンクリートにも作用している筈であるが、筆者らのこれまでの実験では、これを定量的にとらまえるところまでにはいたっていない。その最大の理由は、構造体コンクリート中の乾燥の程度を把握する有効な計測法が確立されていないところにある。筆者らは、これまでにエース鋭感湿度計やカールソン型歪計を用いて、構造体コンクリートが乾燥していく過程の測定を試みており、定性的には厚い部材より薄い部材のほうが早く乾燥が進むことを確認している。図-6および図-7は、その結果の一部を示したものである。今後、計測法の確立を含めて、この分野の研究の進展が望まれる。

## 7. 結 言

施工中および養生期間中に構造体コンクリートの強度発現に影響を及ぼす要因について、現時点での知見を整理し、今後進むべき方向を示した。引用したデータは、すべて筆者らがこれまでに行ってきた実験の範囲のものであり、尚幅広いデータの追加が望まれる。引用したデータの背景となる実験条件については、紙面の都合で詳しく触れていないが、引用文献を参照していただければ幸いである。

表-5 シリンダーの重量比と強度との相関(普通コンクリート)<sup>1)</sup>

	夏	秋	冬
重量比の範囲	0.97~1.02	0.97~1.01	0.96~1.01
強度の範囲	20.8~25.9	16.9~29.0	19.7~34.7
相関係数	0.910	0.815	0.709

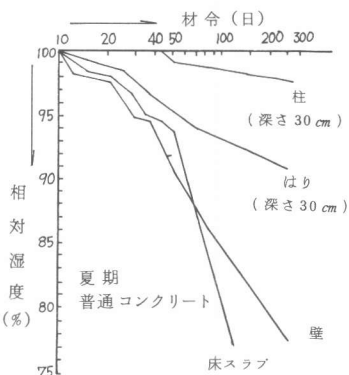


図-6 部材別相対湿度変化の例<sup>1)</sup>

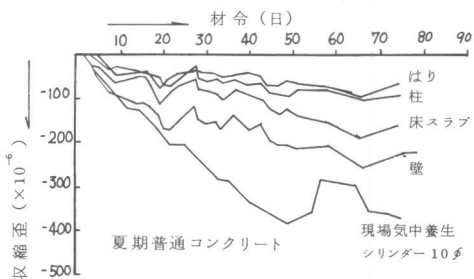


図-7 部材別にみた収縮歪の測定例<sup>1)</sup>

### 〔引用文献〕

- 1) SCCS研究グループ；構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究(その1)~(その3)，大林組技術研究所報No.16，1978
- 2) 永井康淑，中根淳他；構造体コンクリートの強度管理に関する研究(その12)~(その13)，日本建築学会大会学術講演梗概集昭和54年9月
- 3) 中根淳他；構造体コンクリート強度のパラツキに影響を及ぼす要因の分類，コンクリート工学年次講演会講演論文集，1979年
- 4) 久保田昌吾他；構造体コンクリートの強度管理に関する研究(その6)~(その8)，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和53年9月