

論文

[1037] 高強度コンクリートの強度性状把握のための柱モデル実験

正会員 鎌田 英治 (北海道大学建築工学科)

正会員 桂 修 (北海道寒地住宅都市研究所)

正会員 長谷川寿夫 (北海道大学建築工学科)

正会員○今井 敬 (同上)

1. はじめに

高強度コンクリートは強度の高いコンクリートほど単位セメント量が多くなる傾向がある。そのためセメントの水和反応が活発に行なわれる初期材令においてコンクリート内部の温度が高温になり、コンクリート強度に悪影響を及ぼすと言われている。一方、普通コンクリートにおいては、部材の乾燥が強度低下をもたらすことが知られており、高強度コンクリートにおいても乾燥の影響を初期温度履歴の影響とあわせて考える必要がある。本研究は、このような観点から実施したもので、実際の構造物の柱の1部を切り取った比較的マッシュなコンクリート柱のモデルを作製し、その条件でのコンクリートの温湿度状態、強度を検討し、同時に作製した10φ×20cmシリンダーを用いて測定された強度特性との対応を検討したものである。

2. 実験計画

実験は乾燥の影響を検討するために行ったシリーズI (予備実験) と、初期温度履歴の影響を含めて検討しようとするシリーズII (本実験) の2つに大別される。表-1に示すようにシリーズIでは呼び強度225kgf/cm<sup>2</sup>、360kgf/cm<sup>2</sup>、800kgf/cm<sup>2</sup>の3種類のレディミクストコンクリートを使用し、20℃と35℃の2種類の温度条件のもとに試験体を放置して、材令180日までの圧縮強度の測定値を得た。また同時に、開封面積を表面積の0%、8分の1、4

表-1 実験計画表

(1) シリーズI (予備実験)							
呼び強度	試験材令	モデル試験体	温湿度	種類			
225 kgf/cm <sup>2</sup> 360 kgf/cm <sup>2</sup> 800 kgf/cm <sup>2</sup>	28日	柱モデル	20°C60%	封緘 1/8 1/4 1/2			
			35°C40%				
		91日	乾燥モデル		20°C60%	封緘 1/8 1/4 1/2 3日脱	
					35°C40%		
			180日		標準水中養生		
	(2) シリーズII (本実験)						
	W/C	試験材令	モデル試験体	温湿度	種類		
	28% 35% 45%	7日	柱モデル	20°C60%	0%		
					5%		
			28日		乾燥モデル	10%	
						20%	
91日					温度モデル	100%	
						15mm	
標準養生		100mm					
		100mm					

表-2 調合表

(1) シリーズ1 (予備実験)										
呼び強度	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (Kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (l/m <sup>3</sup> )			単位質量 (Kg/m <sup>3</sup> )			混和剤 (Kg/m <sup>3</sup> )
				セメント	砂	砕石	セメント	砂	砕石	
225	55.0	44.4	167	96	309	388	304	814	1024	3.04
360	42.0	43.9	160	121	298	381	381	784	1008	4.19
800	25.0	42.3	170	192	253	345	607	692	949	12.14
(2) シリーズ2 (本実験)										
水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (Kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (l/m <sup>3</sup> )			単位質量 (Kg/m <sup>3</sup> )			混和剤 (Kg/m <sup>3</sup> )	
			セメント	砂	砕石	セメント	砂	砕石		
45.0	45.0	170	120	311	379	379	833	1004	6.06	
35.0	43.5	170	154	285	371	487	758	983	8.77	
28.0	41.0	170	192	253	365	607	673	967	13.96	

分の1、2分の1の4種類とした10φ×20cmの試験体を同じ場所に放置することによって乾燥の程度を変え、この結果から乾燥と強度の関係を求めて、柱モデルから抜き取ったコア試験体との強度比較を行った。シリーズIIでは、予備実験を参考にして水セメント比45%、35%、28%の3種類のコンクリートによって試験体を作製し、さらにこの柱モデルの試験体のほか、乾燥と強度の関係を検討するため、開封面積を側面積の0%、5%、10%、20%、100%の5種類とした試験体（乾燥モデル）、また柱内部の温度条件を履歴させることを目的とした温度モデルの試験体を作製し実験を行った。

### 3. 使用材料および配合

シリーズIではレデーミクストコンクリートを使用した。生産者から入手した調合表を表-2(1)に示す。シリーズIIの調合は表-2(2)に示すもので、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材として鶴川産陸砂（表乾比重2.68）、粗骨材として常磐産碎石（表乾比重2.65）、混和剤として高強度コンクリート用の高性能AE減水剤（SP-9HS）を使用した。なお、使用したセメント、骨材および混和剤はシリーズIにおいて碎石の一部を砂利に置き換えているほかは、シリーズI、IIとも同一産地、同一銘柄の製品である。

### 4. モデル試験体

実験に用いた試験体の状況を図-1に示す。シリーズIでは、乾燥の影響のみを検討する目的から、800×800mm断面の柱の1/4を切り出した厚さ20cmのモデルとし、この2側面および上下面

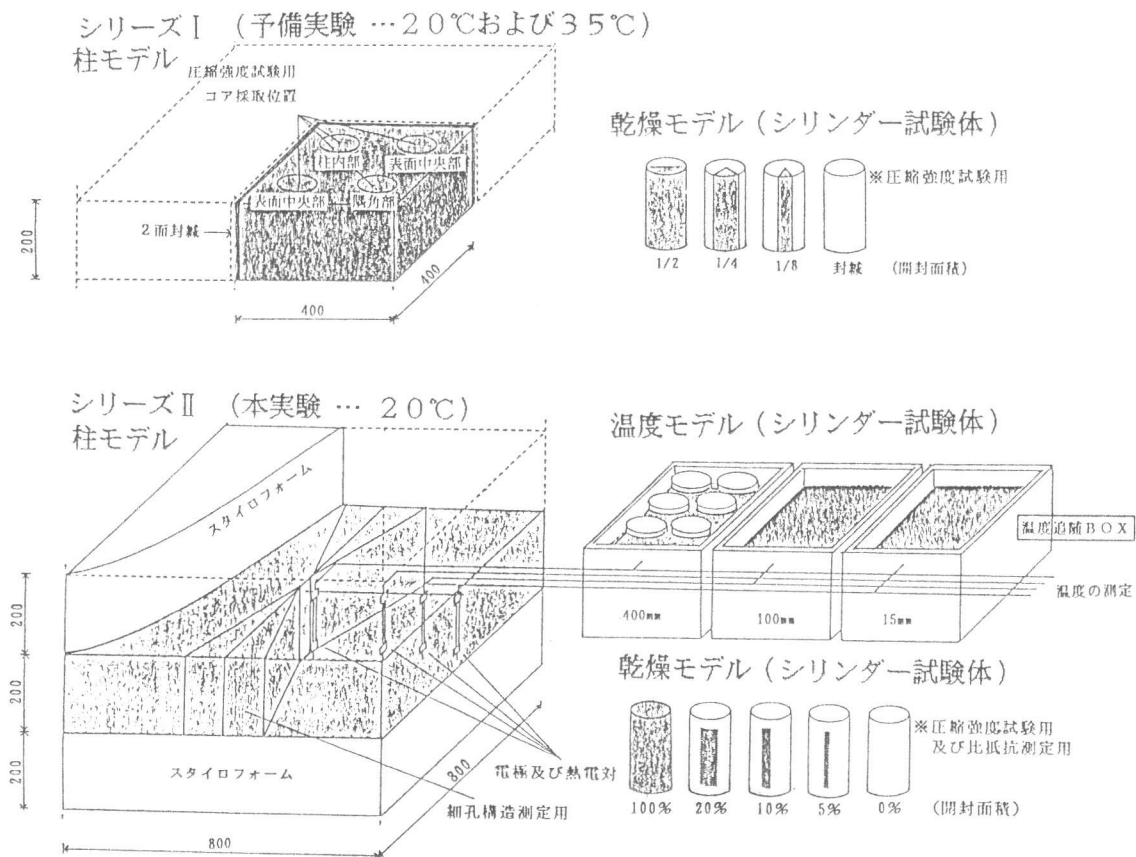


図-1 実験に用いたモデル試験体の状況

をエポキシ系の接着剤を用いて封かんして残った2側面から乾燥が進行する状態とした。このモデル試験体からのコア(10φ×20cm)の採取は、表面からの距離がコア中心で125cmとなるような位置で、各々の材令、放置条件および水セメント比ごとに行い、近接する2表面が封かんされている部分のコアを柱内部、開放されている部分を隅角部とし、他の2本を表面中央部としてデータを取りまとめた。また、同時に作製した10φ×20cm試験体の表面をガムテープで覆い、その開封面積を変化させて乾燥モデルとした。これらの試験体は20℃、60%および35℃40%の条件に放置し、28日、91日、180日の段階で強度試験を行った。なお、35℃の条件は乾燥条件が激しく封かん試験体においても乾燥が進行していた。

シリーズIIは、乾燥と温度の影響を同時にとらえる目的から、より精緻なモデルを作製した。柱のモデルはシリーズIと同様に800×800mm断面の柱から20cm厚部分を切り出したものを想定したが、上下面をポリエチレンシートで封かんするとともに厚さ200mmのスタイロフォーム(JIS A 9511 B類2種)で覆い、試験体の上下面からの放熱を防止した。また、表面から400mmの距離にある断面中央部分、表面から200mm、100mm、15mmの各部分に乾燥程度を測定するための電極および温度測定のための熱電対を埋め込み、熱電対から得られる熱起電力を利用して柱モデルコンクリートの400、100、15mm位置の温度変化に追随する水槽を作製した。また、電極、熱電対の埋め込まれていない3側面については、塩化ビニール板によってあらかじめ、くさび状に区分し、この断面を破碎して得た試料によって、柱断面のコンクリートの細孔構造を測定した。さらに、この柱モデルは、ロードセル上に配置し、水分の放出にともなう重量変化を経時的に測定した。

乾燥モデル試験体は、シリーズIと同様に、開封面積を変えた10φ×20cmシリンダーであるが、シリーズIでは、試験体を互いに密着させて配置させる必要から一面のみの開封としたのに対し、シリーズIIでは乾燥部位のかたよりの影響を緩和させるために互いに向かい合った2面の開封を行った。乾燥モデル試験体では強度試験用試験体のほか、含水率測定用の電極を埋め込んだ試験体も作製し、柱モデルの試験体の結果と比較することによって柱の乾燥状態を推定した。

温度モデル試験体は、温度追随ボックス中に配置し、柱モデルのコンクリートの400、100、15mmの温度履歴を与えたものである。試験体は簡易型枠に入れた状態で水槽に配置したが、圧縮強度の測定段階でいくぶん重量の増加が認められ、養生過程において、試験体の吸水が認められた。

●電極法による含水率の測定：シリーズIIで用いた電極法は、電極間の含水率を交流電流に対する電気抵抗の変化としてとらえるものである。コンクリートの比抵抗が含水率に密接に依存することから、この値はコンクリート中の水分量を示唆する指標となる。著者(鎌田)<sup>1)</sup>らは、この比抵抗の温度依存性を補正することにより、乾燥の進行にともなうコンクリート内部の含水量分布の測定を行い、仕入<sup>2)</sup>らはこの手法を加熱を受けるコンクリート部材中の含水量の測定に応用している。

## 5. 実験結果および考察

### (1) シリンダーおよびコア強度と乾燥の関係

シリーズIの実験で得られた圧縮強度の試験結果を図-2に示す。35℃乾燥の条件ではいずれの材令においても、乾燥モデル試験体の圧縮強度が水中養生試験体の値を下まわり、柱モデルから採取したコア試験体においても同様な傾向が認められた。

ここで、試験体から放出された水分量の指標として試験体の重量変化率を選び、標準養生との強度比を比較した結果が図-3である。呼び強度225kgf/cm<sup>2</sup>の普通強度のコンクリートの標準養

生との強度比が材令91日の1データを除きほぼ乾燥程度に対応しているのに対し、800kgf/cm<sup>2</sup>のコンクリートでは、この傾向は認められない。特に20℃乾燥の試験体（図-3. (c)）では乾燥程度と強度との間にはほとんど対応が見られず、高強度コンクリートでは乾燥に起因する強度低下をコンクリート全体の含水率の相違としてとらえることができない。

図-4は、シリーズIIの10φ×20cm試験体で得られた材令7日、28日、91日の圧縮強度の試験結果を示したものである。図は、乾燥モデルの試験体強度が水中養生の条件と比較して著しく低いことを示しており、この傾向はかならずしも試験体表面の開封度（したがって含水率）とは対応していない。ここで、シリーズIの場合と同様に試験体の重量変化率を指標として標準養生との強度比を比較した結果が図-5であり、図には図-3. (c)で得られた傾向が明確に表れている。比較的放出水量の少ないコンクリートで認められる著しい低強度の傾向は

水セメント比35%、28%の高強度コンクリートで明瞭に認められ、一方、普通強度に近い水セメント比45%のコンクリートではその傾向はより不明瞭であった。最も乾燥の程度が進んでいるにもかかわらず、かならずしも強度は最少値となっていない試験体は、全面を解放したものであり、シリーズIの乾燥モデルの試験体およびシリーズIIの全面解放を除く試験体の低強度の傾向は、試験体表面を部分的に解放することによる試験体内部の含水率分布の不均一によっている可能性が高い。

図-5の鎖線は、全面解放試験体について含水率と標準養生との強度比の

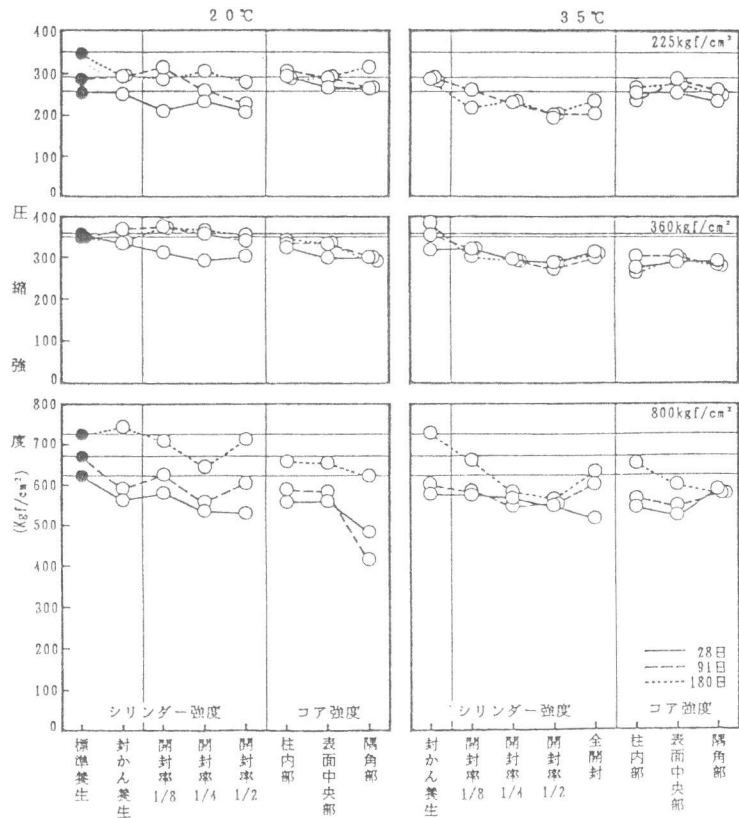


図-2 圧縮強度試験結果（シリーズI）

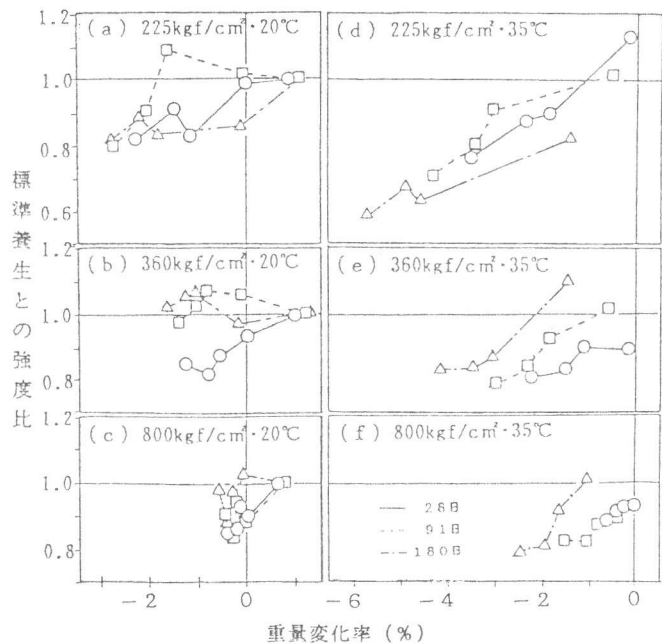


図-3 重量変化率と強度の関係（シリーズI）

関係を示したものである。重量減少にともなう圧縮強度の低下は低水セメント比の高強度コンクリートほど大きく、高強度コンクリートほど乾燥の影響を受けやすいことを示している。しかし、この結果のみで高強度コンクリートでは乾燥により著しく低強度となると考えることはできない。全面解放の試験体においても内部と表面には含水率の相違があり、シリーズIIで得られた鎖線の傾向もより乾燥が進んだシリーズIの35℃ 180日の傾向と対応していない。コンクリートの圧縮強度におよぼす乾燥の影響については、含水量分布を考慮した慎重な取り扱いが必要であろう。

### (2) 温度履歴と強度の関係

柱モデル試験体では、図-6に示すような水和熱による温度上昇があり、図-4にはこのうち表面から15mm, 100mm, 400mmの位置に相当する温度履歴を受けたコンクリートの強度試験結果を付記している。水和熱による養生温度の上昇により材令7日の段階では内部ほど高強度の傾向が得られているが、より注目すべき結果として柱モデルの中心部に対応する履歴を受けた水セメント比28%のコンクリートにおいても、水中養生との強度差が小さいデータが得られた。一般に高強度コンクリートでは水和熱による高温履歴を受けることによって強度増進が

停滞すると考えられているが、これが単なる温度履歴の問題ではない可能性がある。

### (3) 柱モデル内部の含水状態

図-7は、柱モデル内部に埋め込まれた電極によって測定された比抵抗値を封緘条件におかれたシリンダー試験体の値と対比して示したものである。表面

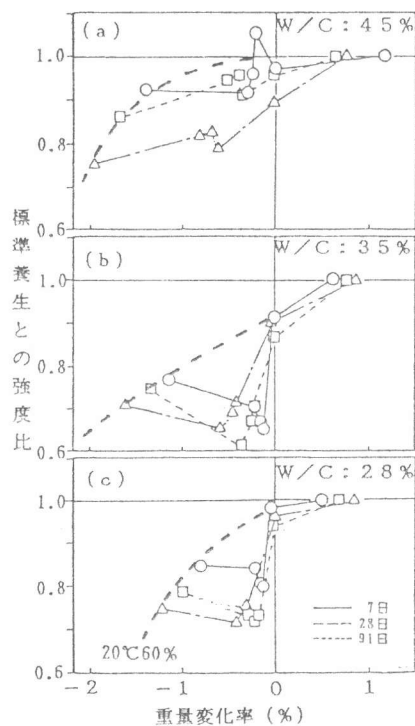


図-5 重量変化率と強度の関係

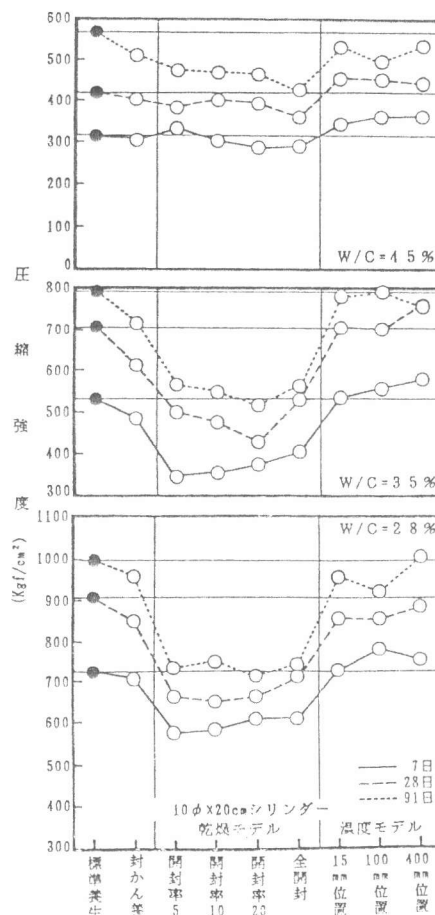


図-4 圧縮強度 (シリーズII)

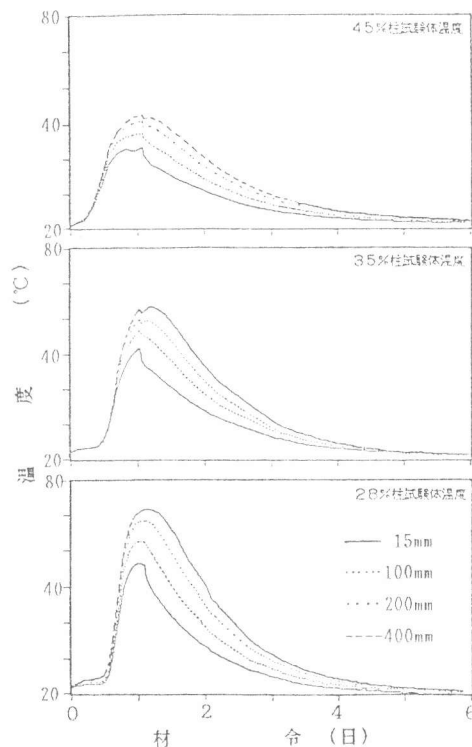


図-6 柱モデルの初期温度履歴

15mm部分の比抵抗の値は他と比較して大きく、この部分の乾燥が材令の進行とともに進んでいることを示している。一方柱中心部の比抵抗値は高温履歴のある初期段階で高く、水セメント比45%では、その後停滞して、他の部位と同様な値となっているが、水セメント比28%の場合、より表面側よりも高い値を持続している。電極法を用いるにあたり、初期のキャリブレーションが正確ではなかったなど結果の信頼性に不安はあるが、この結果で判断する限り、マスコンクリート柱では水和熱による初期の高温履歴、その結果として生ずる柱内部と表面部分との温度差によって中心部分が乾燥する可能性がある。よりデータを蓄積して結論を得る必要がある。

### 5. まとめ

高強度コンクリートを用いた比較的マッシブな柱を想定し、初期温度履歴と乾燥の影響の2方面から圧縮強度の特性を検討した。実験データの蓄積の必要な分野であり、現段階では結果を断定することが出来ないが、実験を行った範囲で以下の結論が導かれた。

(1) 高強度コンクリートは、普通強度のコンクリートと比較して乾燥が圧縮強度におよぼす影響が大きい。しかしこの影響には試験体内部の含水率分布の不均一性の寄与するところが大きく、実験結果をそのままコンクリート中の含水率と強度の関係としてとらえることはできない。

(2) 高強度コンクリートを含めて、柱内部と同じ温度履歴を与えたコンクリートの圧縮強度は、標準養生の場合と差のない結果となった。一般に、高強度コンクリートでは初期に高温履歴を受けることにより、圧縮強度が標準養生の場合をかなりを下まわると考えられているか、これは温度履歴の直接的な影響ではなく、高温履歴に付随する乾燥などの他の原因によっている可能性がある。

(3) 高温履歴にともなう内外の温度差に起因して、柱内部がより外側と比較して乾燥が進行している可能性がある。

### 謝辞

本研究の実験の一部は北大建築工学科木谷泰彦君の卒業研究として実施したものである。謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 鎌田英治・田畑雅幸・中野陽一郎：コンクリート内部の含水量の測定、セメント技術年報Vol.30, 1976
- 2) 仕入豊和・鄭尚鎮・長尾覚博：加熱を受けるコンクリート部材中の含水量の測定に関する基礎的研究、セメント技術年報Vol.39, 1985

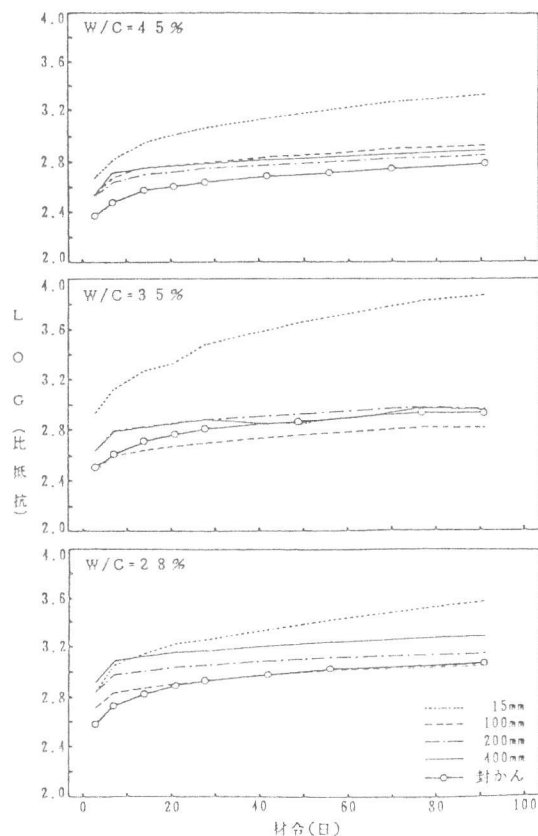


図-7 柱モデルの比抵抗値