

正会員 ○ 山根 昭 (株)竹中工務店
 正会員 嵩 英雄 (株)竹中工務店
 坂本 昭夫 (株)竹中工務店

はじめに RC構造体のコンクリートの品質の評価については、古くは Bloem¹⁾あるいは Peterson²⁾らの論文があり、わが国では神田、上野らの論文を太田が紹介³⁾している。実際のコンクリート構造体から採取したコア供試体の強度は、打設時に採取して現場水中養生を行った円柱供試体の強度とかならずしも一致せず、その原因は円柱供試体と実際の構造体のコンクリートの締固めおよび養生条件の差、円柱供試体とコア供試体の形状の差などによるとされていたが、これらの関係を定量的に明らかにした研究は少かった。そこで筆者らは1971年に円柱供試体およびはりの小試験体を用いて、コンクリート強度におよぼす供試体の養生方法の影響ならびに試験時の乾・湿の影響⁴⁾⁵⁾について実験・解析を行った。その後さらに筆者らは1975年に1スパンの柱・はりに壁付きラーメンの実大模型を作成して、締固め方法、各部材の断面および位置、はりの表面と内部、試験時の乾・湿の程度などの諸要因の影響⁶⁾について実験検討し、同時に各種の養生方法による円柱供試体とコア強度との対比を検討した。本報告はこれらの実験結果をシリーズIおよびIIにまとめて新たな考察を行ったものである。

シリーズI コンクリート強度におよぼす供試体の養生方法および乾・湿試験の影響

1.1 実験の概要

セメント2種、水セメント比2水準の4種類の川砂・川砂利コンクリートについて、円柱供試体とコア供試体を作成し、水中養生と湿空養生、圧縮強度試験時の乾燥または湿润状態を組合せた5元配置法により、材令13週までの圧縮強度と静弾性係数について試験し、分散分析による要因効果の推定を行って検討した。表-1に実験の要因と水準、表-2にセメント・骨材の種別、表-3にコンクリートの調合と圧縮強度を示す。

表-1 実験の要因と水準

要因	A:セメント	B:水セメント比	C:供試体	D:養生	E:試験方法
水準	A ₁ :普通ポルトランドセメント A ₂ :早強ポルトランドセメント	B ₁ : 50% B ₂ : 60%	C ₁ :円柱供試体 C ₂ :コア供試体	D ₁ 水中 D ₂ 湿空	E ₁ :湿試験 E ₂ :乾試験

表-2 材料の種別

セメント	小野田社 普通 早強
細骨材	大井川産 5mm
粗骨材	大井川産 20mm

表-3 コンクリートの調合および強度

調合	要因の組合せ	セメントの種類	水セメント比 (%)	スランフ (cm)	細骨材率 (%)	重量調合 (kg/m ³)				コンクリートの試験		圧縮強度 (kg/cm ²)		
						水	セメント	細骨材	粗骨材	スランフ (cm)	空気量 (%)	1週	4週	13週
N0.1	A ₁ B ₁	普通	50	18	45.2	195	390	795	967	18.8	1.0	205	349	414
N0.2	A ₁ B ₂		60	18	47.1	192	320	861	967	17.8	1.1	141	277	317
N0.3	A ₂ B ₁	早強	50	18	45.2	195	390	795	967	16.7	1.1	341	482	539
N0.4	A ₂ B ₂		60	18	47.1	192	320	861	967	18.0	1.3	238	360	408

1.2 実験の方法

円柱供試体およびコア供試体は直径7.5cm、高さ15cm、1部材令1日および3日試験用のみ直径10cm、高さ20cmとした。コア採取用供試体は巾15cm高さ15cm、長さ53cmのビームで、1個のビームから6個のコア供試体をお互に方向と平行に採取した。供試体は24時間で脱型し、水中養生供試体は材令4週まで20℃水中養生、以後13週まで20℃85%RHで湿空養生し、湿空養生供試体は脱型後13週まで20℃85%RHで湿空養生を行った。供試体の湿試験は試験前48時間20℃水中に浸せきして湿润状態として強度試験を行い、乾試験は試験前48時間20℃45%RHの恒温室中に保存し、乾燥状態として試験した。使用した円柱供試体は156個、コア供試体は96個、計261個である。

1.3 実験の結果と解析

- (1) 試験結果 円柱供試体およびコア供試体の圧縮強度の試験結果を表-4に、普通ポルトランドセメントの材令4週の標準養生円柱供試体の圧縮強度を100とした場合の圧縮強度比を図-1に示した。
- (2) 分散分析 標準円柱供試体の材令28日強度に対する材令4週と13週の圧縮強度の100分比を特性値

にとり、5元配置法による分散分析を行った結果の要因効果の比較を図-2に示す。材令4週および13週ともにA：セメントの種類、B：水セメント比、D：養生方法およびE：試験方法の乾・湿が有意であり、C：供試体では有意でない。寄与率は養生方法がもっとも大きく、試験方法の乾・湿がこれに次いでいる。

表-4 圧縮強度の試験結果

A セメント	B 水セメント比	C 供試体	D 養生	E 試験	7日	28日	91日
A1 普通ポルトランドセメント	B1 50%	C1 円柱	D1 水中	E1 湿試験	205	349	414
				E2 乾試験		270	453
			D2 湿空	E1 湿試験	190	226	253
		E2 乾試験		259	304		
		C2 コア	D1 水中	E1 湿試験		355	401
				E2 乾試験		376	422
	D2 湿空		E1 湿試験		263	294	
	E2 乾試験		285	359			
	B2 60%	C1 円柱	D1 水中	E1 湿試験	141	277	317
				E2 乾試験		285	324
			D2 湿空	E1 湿試験	141	170	177
		E2 乾試験		208	240		
C2 コア		D1 水中	E1 湿試験		270	344	
			E2 乾試験		308	372	
	D2 湿空	E1 湿試験		202	229		
E2 乾試験		236	263				
A2 早強ポルトランドセメント	B1 50%	C1 円柱	D1 水中	E1 湿試験	341	482	539
				E2 乾試験		474	540
			D2 湿空	E1 湿試験	251	293	305
		E2 乾試験		333	352		
		C2 コア	D1 水中	E1 湿試験		420	391
				E2 乾試験		473	486
	D2 湿空		E1 湿試験		273	338	
	E2 乾試験		344	377			
	B2 60%	C1 円柱	D1 水中	E1 湿試験	238	360	408
				E2 乾試験		401	469
			D2 湿空	E1 湿試験	201	247	271
		E2 乾試験		271	347		
C2 コア		D1 水中	E1 湿試験		381	387	
			E2 乾試験		389	460	
	D2 湿空	E1 湿試験		284	268		
E2 乾試験		249	341				

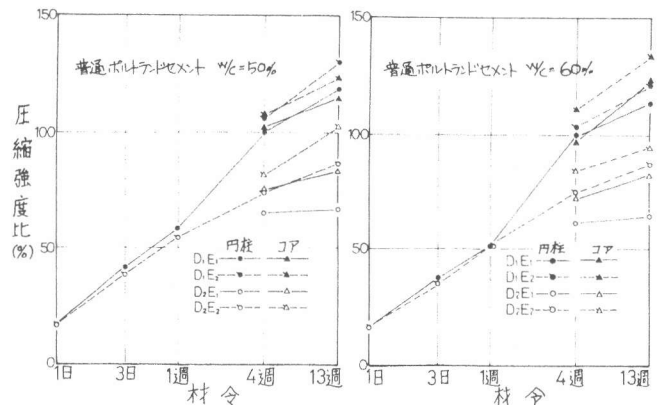


図-1 圧縮強度比と材令

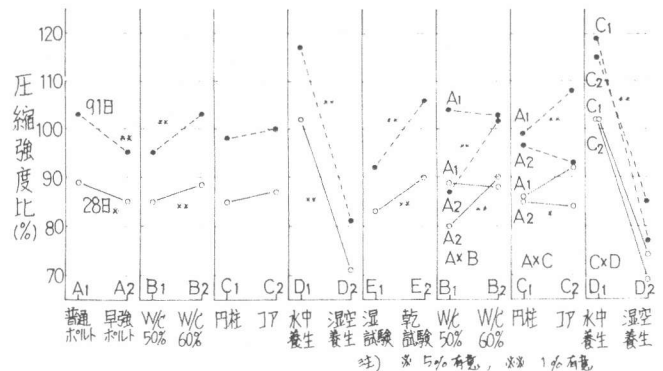


図-2 圧縮強度の要因効果の比較

1.4 実験結果の考察

(1) 圧縮強度は養生の影響がもっとも大きく、湿空養生供試体の強度は、材令4週および13週のいずれも標準水中養生供試体の強度の約70%である。(2) 試験方法の乾・湿では湿試験の方が乾試験よりも強度が小さく、材令4週では8%、13週では約13%小さい。(3) 供試体の種類では、円柱供試体とコア供試体の強度の差がないことが分る。

シリーズII 実大模型によるコンクリート強度と部材の断面および位置、締固めららびに養生の影響

2.1 実験の概要

シリーズIの結果からさらに、実際のRC構造体のコンクリート強度を評価する基準を得る目的で、普通コンクリートおよび軽量コンクリートの2種類、入念な締固めと単なる流し込みの2種類計4種類について、壁付き柱・はりラーナンの実大模型4体、スラグ模型4枚を作成し、主として13週において直径10cm高さ20cmのコア供試体484本を採取し、強度試験を行った。また同時に直径10cm高さ20cmの円柱供試体540本を作成し、材令1年まで試験を行って検討した。

表-5 実験の要因と水準

要因	A: 締固め方法	B: 部材の種類と断面	C: 柱壁のコア採取位置	D: 試験方法 ()内は試験時の条件
水準	A1: 単なる流し込み A2: 入念な締固め	B1: 柱 B2: 壁 25cm厚 B3: スラッグ 15cm厚 B4: 壁 15cm厚	C1: 上部 C2: 中部 C3: 下部 高さ 2.5m 1.3m 0.5m	D1: 湿試験 (40~48時間 20℃水中) D2: 乾試験 (70~96時間 20℃ 60%RH)

表-6 コンクリートの調査

コンクリートの種類	スラング (cm)	W/C (%)	S/A (%)	重量調査 (kg/m³)					コンクリートの試験				圧縮強度 (kg/cm²)			
				水	セメント	砂	軽砂	粗骨材	スラング (cm)	空気率 (%)	単重 (kg/m³)	温度 (℃)	4週	13週	26週	52週
普通	21	59.5	45.0	186	313	796	—	987	20.4	3.8	2.29	23.3	257	276	302	320
軽量	21	57.5	52.5	196	341	622	165*	390*	22.4	3.8	1.87	16.0	297	337	427	445

(注) *: 絶対重量

部材から採取したコア強度に影響する要因として、締固めの方法、部材の種類・断面・コア採取位置および試験方法の乾・湿を取り上げた。円柱供試体の養生方法としては、標準水中・湿砂・封缶および気乾、現場水中および気乾の各養生とした。実験の要因と水準を表-5に、コンクリートの割合と圧縮強度を表-6に示す。

2.2 実験の方法

実大模型試験体を図-3に示す。60cm角の柱、中40cm高さ50cmのはりのラーメンに厚さ25cmおよび15cmの壁が付いている。スラブの試験体は厚さ15cmたてよこ80cmである。柱と壁のコア供試体は高さの影響を知るため上部・中部および下部より採取した。コア供試体は材令13週の強度を中心として検討した。なおコア採取を容易にするため、柱およびはりの鉄筋量を少くした。コンクリートはレデーミクストコンクリートを使用し、生コン車2台からポンプホッパーに同時投入した。打込みは両側の柱から交互に少れずつ投入し、締固め方法の要因の水準A₁:単なる流し込みでは締固めのなし、材令2日脱型、散水はなしとし、A₂:入念な締固めではバイブレーターφ30mmを使用、橋突マ・叩きを併用し、5日脱型、材令7日まで散水とした。

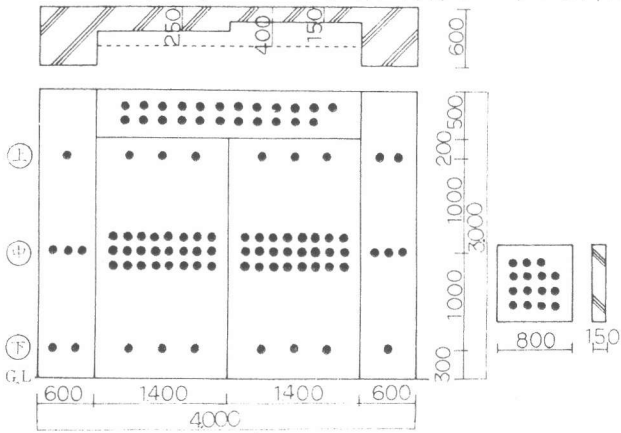


図-3. 実大模型試験体

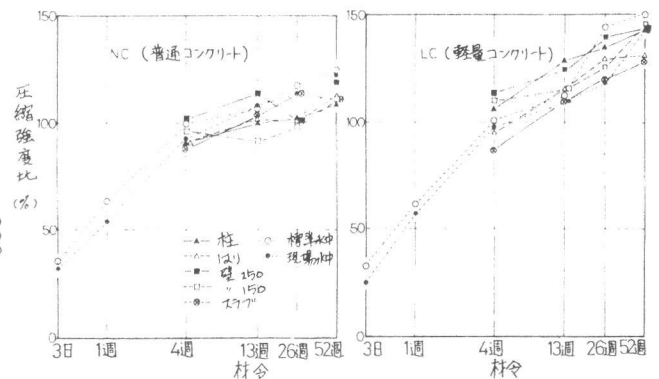


図-4. コア供試体の圧縮強度比

2.3 実験の結果と解析

(1) 試験結果 普通コンクリートおよび軽量コンクリートの材令4週の標準養生円柱供試体の強度をそれぞれ100とした場合のコア供試体の圧縮強度比と材令の関係を図-4に、各種養生方法による円柱供試体の圧縮強度比と材令の関係を図-5に示す。

(2) 分散分析 材令13週のコア供試体の圧縮強度を特性値として、多元配置法による分散分析を行った。普通および軽量コンクリートの締固め、部材断面および部材位置とコア強度の要因効果を図-6に、部材の種類および試験方法とコア強度の要因効果の比較を図-7に示す。これらの場合のコア強度は湿試験による。

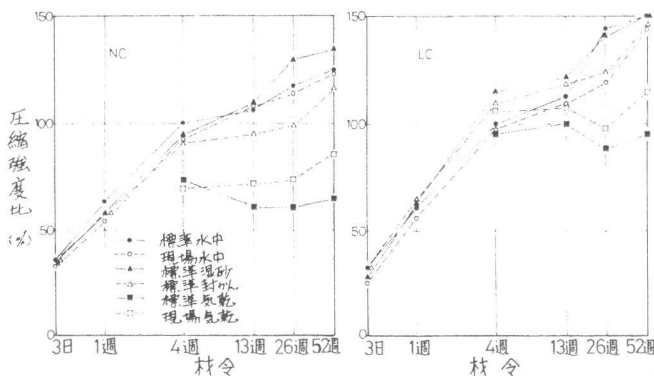


図-5. 円柱供試体の圧縮強度比

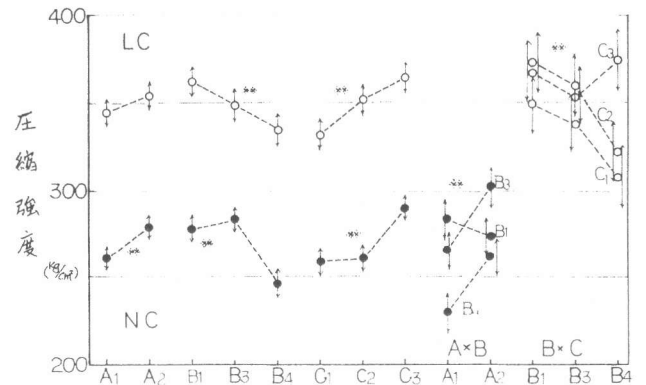


図-6. 締固め、部材断面および位置の要因効果

2.4 実験結果の考察

(1) 締固めの方法、部材の断面および位置(高さ)によるコア供試体の圧縮強度については、普通コンクリートの場合主効果では部材断面が大きく、柱の強度は厚さ15cmの薄い壁に対して約15%大きい。次いで高さの影響

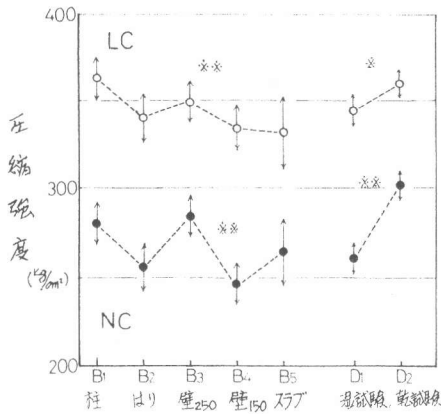


図-7. 部材の種類と試験方法の要因効果

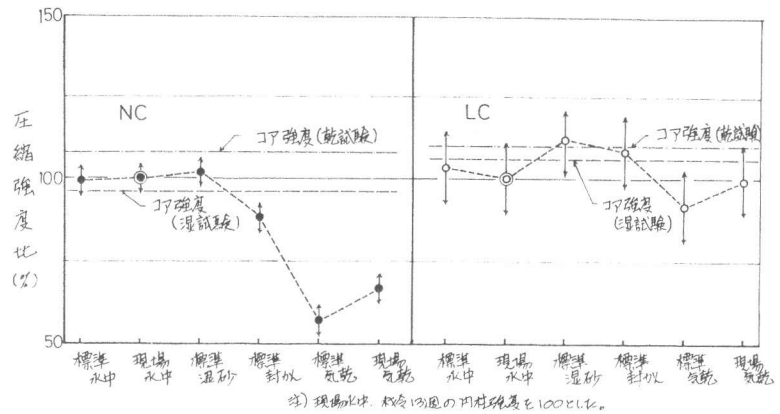


図-8. 円柱供試体とコア供試体の強度比の比較

が大きく、下部の強度は上・中部に対して約10%大きい。また入念な韓国で行った方が単なる流し込みよりも約8%大きい。軽量コンクリートの場合には主効果として高さが大きく、下部の強度は上部のコア強度よりも約11%大きい。次いで部材断面の効果が大きく、柱の強度は厚さ15cmの薄い壁に対して約9%大きい。しかし厚さ25cmの壁に対しては差がない。(2) 部材の種類による圧縮強度については普通コンクリートの場合、柱および厚さ25cmの壁の強度は、はり・スラブおよび厚さ15cmの薄い壁よりも大きい。柱および壁の下部の圧縮強度が大きいと考えられる⁷⁾。(3) コア強度の湿試験は乾試験によるよりも普通コンクリートでは約13%小さく、シリーズIの13週の結果と同一であるほか、大林技研のデータ⁸⁾とも一致する。軽量では約4%小さい。(4) 円柱供試体の圧縮強度におよぼす養生の影響については、材令4週~1年までの圧縮強度の試験結果から、1元配置法により分散分析を行った結果の要因効果の比較を13週強度について図-8に示した。普通コンクリートでは標準および現場水中、標準湿砂および封鎖の各養生の強度が大きく、標準および現場気乾の強度は小さい。軽量コンクリートではこの差は小さい。(5) 実大模型から採取したコア強度の乾・湿試験の13週の結果を円柱供試体の各種養生方法と比較して図-8に示した。普通コンクリートでは円柱供試体の現水強度は乾試験のコア強度を約7.6%下廻り、湿試験の約4.5%上廻る。軽量コンクリートでは乾・湿試験のコア強度をそれぞれ約8.9%および約5.5%下廻る。

おわりに RC構造体のコンクリート強度におよぼす各種要因の影響を実験解析した結果の主なものをまとめると、(1) シリーズIの小試験体の実験結果から得た水中養生と湿気養生の強度差約30%は、シリーズII実大模型実験での普通コンクリートの場合の部材断面の効果の差約15%の傾向、および円柱供試体の現場水中と現場気乾養生の4週および13週の強度差25%および33%となって現われている。(2) 試験方法の乾・湿の影響は、シリーズIでの小試験体では湿試験の方が乾試験よりも13週で約13%小さい値を示したが、シリーズIIの実大模型実験の普通コンクリートの場合の13%程度の低下とはって一致した。(3) シリーズIから円柱供試体とコア供試体の養生方法と試験方法が同一であれば強度が変わらないという結果から、シリーズIIの実大模型実験での韓国め方法の効果の約8%の増大はそのまゝ入念な韓国めおよび養生の効果と評価される。(4) 柱および壁の高さによるコア強度の差については、上部では下部に比較して普通コンクリートでは約12%、軽量では約11%小さい。(5) 前項のコア強度の試験時の乾・湿の差では、材令13週で円柱供試体の各種養生の強度と比較したが、コア強度の平均値は乾試験では現場水中養生の円柱供試体強度よりも約8%高いが、湿試験では約5%低いことから、構造体のコンクリート強度を評価する有効な資料を得たと考える。

参考文献

- 1) D.L. Bloom: "Concrete Strength in Structures", Jour. of ACI, Mar. 1968. および竹原純, コンクリートジャーナル, March 1969.
- 2) N. Peterson: "Recommendations for Estimation of Quality of Concrete in Finished Structures", Minerals and Structures, Vol.4 No.24 1971, および十代田・藤澤肇, コンクリートジャーナル, Dec. 1972.
- 3) 太田 実: "コア強度と標準供試体強度との関係についての観行の概要", コンクリートライブラリー, 38号.
- 4) 奥野・山根・藤: "コンクリート強度におよぼす供試体、養生方法および試験方法の影響", 日本建築学会大会, 昭和47年10月.
- 5) 山根・藤・奥野: "コンクリート強度におよぼす供試体、養生および試験方法の影響", セメントコンクリート No.313, Mar. 1973.
- 6) 山根・藤・坂本・奥野・吉田: "RC構造体のコンクリート強度に関する研究", 日本建築学会大会, 昭和51年10月.
- 7) 神田・吉田: "コンクリート打ちかけ後の柱断面における水セメント比の分布性状", セメント技術年報, 昭和50年, およびセメントコンクリート Aug. 1975.
- 8) 高橋・2保田・永井・中根利和: "構造体コンクリートの強度管理に関する研究" その1~11, 日本建築学会大会 昭和52年10月および53年10月.