

人工軽量骨材コンクリートの支圧強度に関する研究

阪神高速道路公団
京都大学工学部
神戸大学工学部

正 負 千葉 静男
正 負 西林 新蔵
正 負 藤井 学

§1. 緒言

本文は、人工軽量骨材コンクリートの支圧強度に関する基本的性質を明らかにする目的で、2種類の人工軽量骨材(造粒, 非造粒各1種)に対して、コンクリート強度(3種)、供試体の寸法(3種)および載荷面積比(4種)を組合せた実験を基本シリーズとし、さらに従来から問題となっていた供試体シリンダーの直径と高さとの比および載荷面積比の水準を多く(9種)とった実験を行なへ。支圧強度におよぼすこれらの要因の影響を、普通コンクリートとの対比において検討考察を行なったものである。

§2. 実験概要

I. 実験計画: 実験計画表を表-1に示す。実験シリーズIを基本シリーズとし、天然骨材(川砂利, 川砂)コンクリートおよび人工軽量骨材(アサライト, ライオナイト)コンクリートの支圧強度への影響因子として、コンクリート強度3種(200, 300 および 400 kg/cm^2)、供試体の大きさ3種($20 \times 40 \text{ cm}$, $15 \times 30 \text{ cm}$ および $10 \times 20 \text{ cm}$)、

および載荷板面積に対するコンクリート支承面積の比4種($A_c/A_s = 2.5, 4, 1.8$ および 1.0)をとりあげ、これら要因の影響の基本的性質を調べた。シリーズIIにおいては、載荷面積比の影響をさらに詳細に調べる目的で、 $20 \times 40 \text{ cm}$ 供試体を用いて、 A_c/A_s の値を9種に変化させ、その最大値を100とした。実験シリーズIIIにおいては、シリンダー供試体の直径($\phi = 15 \text{ cm}$ に固定)に対する高さ h の比の影響を調べる目的で h/ϕ の値を0.5から2.0まで5種とした。

表-1 実験計画表

実験 シリーズ	グループ 記号	骨材種類	配合強度 (kg/cm^2)	供試体寸 法 $\phi \times h$ (cm)	供試体 個数	h/ϕ	載荷板直径 ϕ (cm) ()内は A_c/A_s の値																				
I	N ₂	天然	200	20×40 15×30 10×20	$3 \times 3 \times 3 \times 4$ $=108$ " "	20	<table><tr><td>$\frac{h}{\phi}$ A_c/A_s</td><td>20</td><td>15</td><td>10</td></tr><tr><td>(25)</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><td>(4)</td><td>10</td><td>7.5</td><td>5</td></tr><tr><td>(1.8)</td><td>15</td><td>11.25</td><td>7.5</td></tr><tr><td>(10)</td><td>20</td><td>15</td><td>10</td></tr></table>	$\frac{h}{\phi}$ A_c/A_s	20	15	10	(25)	4	3	2	(4)	10	7.5	5	(1.8)	15	11.25	7.5	(10)	20	15	10
	$\frac{h}{\phi}$ A_c/A_s	20						15	10																		
	(25)	4						3	2																		
	(4)	10	7.5					5																			
	(1.8)	15	11.25					7.5																			
	(10)	20	15					10																			
	A ₂	アサナイト																									
	L ₂	ライオナイト																									
	N ₃	天然	300																								
A ₃	アサナイト																										
L ₃	ライオナイト																										
N ₄	天然	400																									
A ₄	アサナイト																										
L ₄	ライオナイト																										
II	II-N	天然	300	20×40	$3 \times 3 \times 9$ $=81$	2.0	2(100), 3(44.4), 4(25)																				
	II-A	アサナイト					5(16), 7.5(7.1), 10(4)																				
	II-L	ライオナイト					11.25(2.9), 15(1.8), 20(1.0)																				
III	III-N	天然	300	$15 \times \begin{Bmatrix} 7.5 \\ 11.25 \\ 15 \\ 22.5 \\ 30 \end{Bmatrix}$	$3 \times 3 \times 4 \times 5$ $=180$	$\begin{matrix} 0.5 \\ 0.75 \\ 1.0 \\ 1.5 \\ 2.0 \end{matrix}$	3(25), 7.5(4)																				
	III-A	アサナイト					11.25(1.8), 15(1.0)																				
	III-L	ライオナイト																									

Ⅱ. 使用材料およびコンクリート配合: セメントはアサノ早強ポルトランドセメントである。天然骨材は、細、粗骨材とも徳島県吉野川産である。人工軽量骨材は、日本セメントKK製アサライト(細、粗)および大粒セメントKK製ライオナイト(細、粗)で、3骨材とも最大粗骨材寸法は20mmである。各コンクリートに対して、従来の実施配合例を参照して、数回の試験練りを行ない表-2に示す配合を決定した。実験シリーズⅡおよびⅢの配合は、実験シリーズⅠの配合強度300 kg/cm²の配合と同一である。

表-2 コンクリート配合

グループ 記号	単位水量 (kg/m ³)	単位セメント量 (kg/m ³)	絶対 細骨材率 (%)	単位 細骨材量 (kg/m ³)	単位 粗骨材量 (kg/m ³)	スランパ の範囲 (cm)
N ₂	180	288	40.1	759	1202	5~7
N ₃	165	336	38.5	728	1197	7~9
N ₄	156	384	36.8	690.6	1222	7~9
A ₂	191.3	310	45.1	589.2	553.5	5~7
A ₃	191.7	372	42.5	539.1	562.8	7~9
A ₄	191.2	432	40.0	494	571.8	7~9
L ₂	159.8	294	44.8	602.1	535.7	5~7
L ₃	150.8	380	41.3	541.4	555.6	7~9
L ₄	147	440	39.0	500.6	565.4	7~9

Ⅲ. 供試体の製作および載荷方法: 人工軽量骨材においては、粗骨材はコンクリート打設2日前に充分散水し、その上にぬれ麻袋をかけ、打設時表乾に近い状態になるようにしておいた。一方細骨材は打設2日前に表乾となる水量を注水して、ビニール袋に詰めて保管しておいた。コンクリートの打設は、恒温湿養生室で行ない、打設1日でキャッピングし、打設2日目で脱型した後水中養生を行なった。枕台60cm水中より取り出し、同養生室で空中養生を行ない、枕台7日で載荷実験を行なった。載荷方法は、キャッピングの良否によって支圧強度がでさうなけ影響されないうように、キャッピング面が試験機下部の床面と全面接触し、キャッピングしない面が局部荷重をうけるよう載荷した。載荷速度はJISに準じて、全面載荷の場合は2.5 kg/cm²/secとした。局部載荷の場合は、支圧応力0.25 kg/cm²/secとなる載荷速度とした。

3.3 実験結果の概要

1) 破壊状況: 支圧強度用供試体の破壊状況は、骨材の種類、載荷面積比(A_c/A_t)、供試体の寸法($t < 1.5 R/\phi$)、コンクリート強度等によって若干差異が認められた。要約して次のとおり。

1) 天然骨材コンクリート供試体はひびわれ発生と同時に破壊する場合が多いが人工軽量骨材コンクリートでは、一般にひびわれ発生時より荷重は増大し、破壊荷重はひびわれ荷重の1.05~1.20倍であった。ただし、 R/ϕ と A_c/A_t のある組合せにおいては1.5倍程度になる場合があるので、支圧強度を検討する際、ひびわれ耐力についても配慮しておく必要がある。

2) A_c/A_t および R/ϕ の大きさによって破壊状況は図-1(a)および(b)の2形式に大別できる。 $R/\phi = 2$ の場合、 $A_c/A_t = 1.8$ のとき(b)の状態となり、 $A_c/A_t > 1.8$ のとき、(a)の状態となる。ひびわれ発生数は、骨材種類にあまり関係なく、 $A_c/A_t < 16$ では4~6本、 $A_c/A_t = 16 \sim 100$ では2~3本であった。

3) $A_c/A_t = 2.5$ のとき、 R/ϕ の値に無関係に図-1(a)に示す明確な円錐形コンク形成され、また急激にひびわれが発生し、破壊にいたる。ひびわれ数は R/ϕ が増大するにつれて、減少の傾向にある。

4) $A_c/A_t = 4$ のとき、破壊形式は R/ϕ の大きさに関係し、 $R/\phi = 1$ を境界にして、それ以上では(a)の、それ以下では(b)の状態となる。ひびわれ数は R/ϕ の大きさにあまり関係なく、3骨材とも5~7本である。

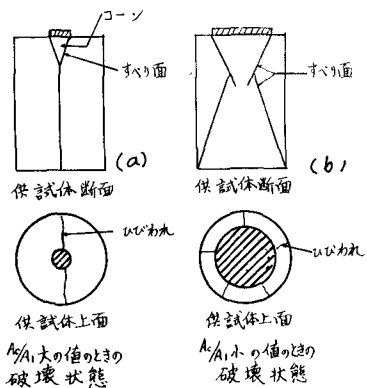


図-1 供試体($R/\phi = 2$)の破壊状況

5) $A_c/A_1 = 1.8$ のとき, $R/\phi = 1.5$ を境界として, それ以上では, (a) の, それ以下では (b) の状態となる。このわけ数は 3 骨柱と 8 ~ 9 本である。

以上要約すると, A_c/A_1 が大きく, また R/ϕ も大きいと, 載荷板直下に円錐形コーンが形成され, コーンのくさみ作用により, コーン周辺部のコンクリート押し広げられて破壊するものと考えられる(図-1(a))。一方, A_c/A_1 , R/ϕ とともに小さい場合は, 上下一對のコーンが形成され(図-1(b)), 通状の

圧縮破壊に近い状態となる。なお, 人工軽量骨柱コンクリートにおいては, 図-1(a) および (b) に示すべし面に沿った大半の骨柱が割れていてコーンが明りように形成されたが, 天然骨柱コンクリートでは, 骨柱の割れはほとんどみられずコーンの形状が不そろいである。コーンの頂辺との傾斜角は, 骨柱の柱数, コンクリート強度, 供試体寸法, A_c/A_1 などによって一定に傾向は認められず, かなりばらばらであるが, およそ $60^\circ \sim 70^\circ$ の範囲にあった。

II 支圧強度による各要因の影響: コンクリートの目標強度を 3 種とせば, 実際の強度は目標強度とは若干相違するので, 支圧強度 σ_c と全面載荷時 ($A_c/A_1 = 1$) の支圧強度 k との比 σ_c/k あるいは標準シリンドラ ($\phi 15 \times 30$ cm) の圧縮強度 σ_c との比 σ_c/σ_c も特性値として以下比較検討を行う。

(1) 配合強度の影響: 配合強度 200 kg/cm^2 の σ_c/k を基準に他の 2 種の配合強度の σ_c/k との比を求めて, その一例 ($A_c/A_1 = 4$ のとき) を示すと図-2 のようになる。他の A_c/A_1 の場合もほぼ同様となる。図-2 より明らかなように, 骨柱柱数によって, かなり相違した結果となっている。すなわち, 天然骨柱コンクリート (N) においては, 300 kg/cm^2 で σ_c/k の比は他の強度の比より若干小さくなっているが, 大体 $200 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ 程度の強度変化に対して, σ_c/k の比はほぼ一定とみなしうが, 一方, アサライトコンクリート (A) およびライオナイトコンクリート (L) においては, σ_c/k 比は強度 200 kg/cm^2 から 300 kg/cm^2 および 400 kg/cm^2 になると次第に減少し, ほぼ $0.6 \sim 0.8$ となっている。このことは, A および L コンクリートにおいては, 強度が高くなると, 相対支圧強度は減少してこれを意味し, 強度別の支圧強度変換式が必要であることも示唆している。例えば, 従来最も簡明な式 (1) で整理すると, (1) 式で実験定数 m および β は図-3 (柱 $\phi 15 \times 30$ cm) のようになる。すなわち, N コンクリートでは, m および β の値は $\sigma_c = 200 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ ではほぼ一定値となるが, A および L コンクリートでは, σ_c の増大とともに m 値は増大し, β 値は減少している。

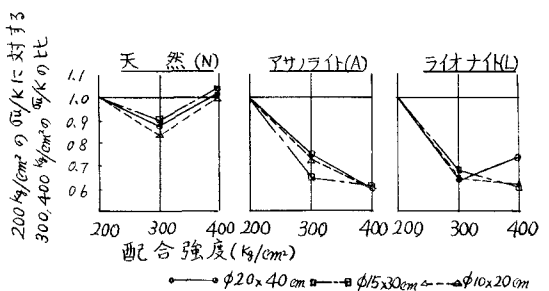


図-2 配合強度による影響 ($A_c/A_1 = 4$ のとき)

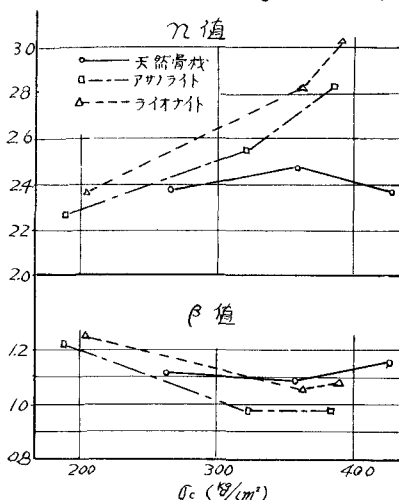


図-3 m 値および β 値と σ_c との関係

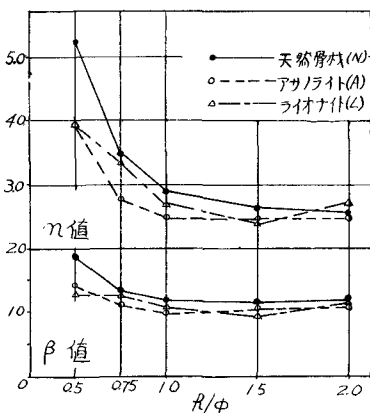


図-4 m および β 値と R/ϕ の関係

b) 使用試体寸法の大きさの影響: $\phi 15 \times 30$ cm 使用試体の圧縮強度 σ_c に対する $\phi 10 \times 20$ cm および $\phi 20 \times 40$ cm 使用試体の圧縮強度 K の比 α を求めると 図-5 のようになる。図-5 より, $\phi 20 \times 40$ cm 使用試体と標準使用試体 ($\phi 15 \times 30$) とはほぼ同一の圧縮強度を示す。 $\phi 10 \times 20$ cm 使用試体では標準使用試体の約 92% の強度を与えている。これはバリエーションによる締め固めの影響が現れているものと考えられる。 σ_u/σ_c の値は寸法によって差異ほとんど認められなかった。

c) 骨材種類の影響: (1) 式で整理した結果, コンクリート強度 200 kg/cm^2 では, A および L コンクリートの $\sigma_u/\sigma_c = \beta \sqrt{A_c/A_s}$, または $\sigma_u/\sigma_c = \alpha \beta \sqrt{A_c/A_s}$, (1) 式の圧縮強度は, N コンクリートの圧縮強度とほぼ同一であったが, 強度が 300 kg/cm^2 の場合は, A および L コンクリートは N コンクリートの約 85%, 強度が 400 kg/cm^2 の場合は約 70% となった(図-6)。

d) 使用試体の寸法比 R/ϕ の影響: 実験シリーズ III の結果を (1) 式で整理して M および β 値と R/ϕ との関係を示すと 図-4 のようになる。図-4 より, M および β 値曲線の傾向は, 骨材粒径にはあまり関係なく, $R/\phi \leq 2$ の範囲では, M および β 値はほぼ一定を示す。 $R/\phi < 1$ では急激に大きくなる。従って, 実験式を与える場合は, R/ϕ の値によって強化因子を必要あり, $R/\phi \geq 1$ の場合には R/ϕ の値に無関係に与えてよい。

3.4 結論

結論を要約すると次のようになる。

1) コンクリート圧縮強度は, 載荷面積比, 使用試体寸法(特に R/ϕ), コンクリート強度によって影響される。

2) 圧縮強度を求める実験式としては, (1) 式が, 各要因の実用的な範囲で充分有用である。しかし人工軽量骨材コンクリートでは, β の値がコンクリート強度 σ_c によって強化するので, β の値を σ_c の関数として与える必要がある。

3) 実験式としては, $R/\phi \geq 1$, $A_c/A_s \leq 25$ に対して, 天然骨材コンクリートでは $\sigma_c = 200 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ で (1)' 式, 人工軽量コンクリートでは, 強度別に (1)', (2) および (3) 式で充分である。

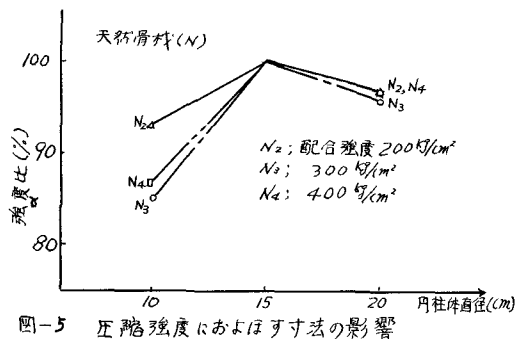


図-5 圧縮強度におよぼす寸法の影響

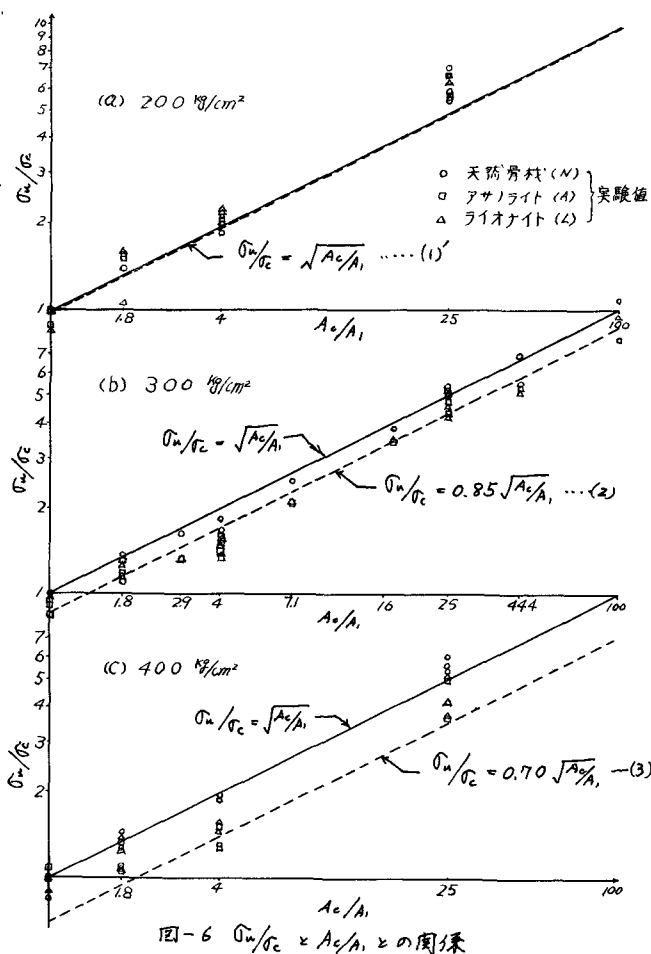


図-6 σ_u/σ_c と A_c/A_s との関係