

南九州産軽量骨材を使用した軽量コンクリートの 各種の強度及び弾性的性質について

福 島 正 人*

ON THE VARIOUS STRENGTH AND ELASTICITY OF THE CONCRETE MADE WITH LIGHTWEIGHT AGGREGATE IN SOUTH KYŪSYŪ

Masato FUKUSHIMA

The properties of the lightweight aggregate in South Kyūsyū were published in the Memoirs of the Faculty of Engineering Kagoshima University, No. 9.

In this paper, from the practical standpoint, the author describes the various strength of the concrete made with lightweight aggregate in South Kyūsyū, namely the compressive, tensile, shearing, bending, jointing of successive pours and bond strength of it, further refers to the general strength of the lightweight aggregate concrete in Kagoshima Prefecture.

Moreover, the author reports the elasticity, that is, the stress strain curve, Young's modulus, elastic domain, plastic domain, Poissons number and modulus of rigidity of the lightweight aggregate concrete in South Kyūsyū.

Received June 1, 1961.

目 次

- §1 南九州産軽量骨材を使用した軽量コンクリートの各種の強度
 - 1.1 序
 - 1.2 1週圧縮強度と4週圧縮強度
 - 1.3 4週圧縮強度と13週圧縮強度
 - 1.4 4週圧縮強度とセメント量
 - 1.5 4週圧縮強度と気乾比重
 - 1.6 圧縮強度と引張強さ係数
 - 1.7 剪断強度
 - 1.8 曲げ強度
 - 1.9 打継面強度
 - 1.10 付着強度
 - 1.10.1 序
 - 1.10.2 実験1—鉛直鉄筋
 - 1.10.3 実験2—水平鉄筋(1)
 - 1.10.4 実験3—水平鉄筋(2)
 - 1.11 鹿児島県に於ける現場軽量コンクリート強度の様相
- §2 南九州産軽量骨材を使用した軽量コンクリートの弾性的性質
 - 2.1 序
 - 2.2 ヤング係数 $E_{S1/2}$ 及び強度時歪度測定例
 - 2.3 低応力度に於ける応力度—歪度曲線

- 2.4 ヤング係数 $E_{S1/2}$, $E_{S1/4}$ 及びヤング係数比
 - 2.4.1 ヤング係数 $E_{S1/2}$
 - 2.4.2 ヤング係数 $E_{S1/4}$ 及びヤング係数比(歪計算用)
 - 2.5 応力度—歪度曲線式, ヤング係数 $E_{S9/10}$ 及びヤング係数比
 - 2.5.1 応力度—歪度曲線式
 - 2.5.2 ヤング係数 $E_{S9/10}$, ヤング係数比(断面決定用)
 - 2.6 応力度歪度曲線の一考察
 - 2.6.1 単純軸力試験による St. Venant body の応力度—歪度曲線
 - 2.6.2 応力度—歪度曲線の弾性・塑性領域
 - 2.7 ポアソン数及び剪断弾性係数
 - 2.7.1 ポアソン数
 - 2.7.2 剪断弾性係数
- §3 結 び

§1 南九州産軽量骨材を使用した軽量コンクリートの各種の強度

1.1 序

普通コンクリートの強度は、主としてモルタル部分及びモルタルと粗骨材の接着部分が支配的であり、特に水セメント比によつてその強度は左右されるが、軽

* 建築学教室

量コンクリートでは、調合、水セメント比の他、骨材の性質も大きな要因である。従つて、軽量コンクリートの場合、骨材が異れば、その強度的な性質も異るものと考えなければならない。浅間産、榛名産、大島産軽石を使用した軽量コンクリートの強度については、数多くの研究があるが、南九州産軽量骨材による軽量コンクリートについては、筆者のものだけを除外すれば極めて少ない。

軽量コンクリートの強度理論については白山博士²⁾平賀氏³⁾の研究があるので、その考察は省略する。軽量コンクリートの強度を支配する要因は、普通コンクリートに比して数多く且つ複雑である。従つて、軽量コンクリートでは、普通コンクリートの場合のように一般的法則によるよりも、使用骨材による個々の実験結果を参考にすることがより実際的で便宜であるので、シラス、カルデラ系軽石を使用した軽量コンクリートを主として、南九州産軽量骨材の内使用可能と思われ

るものについて、筆者の行つた実験結果から、圧縮強度と各種強度との関係について考察し、更に、鹿児島県下に於ける現場軽量コンクリート強度の実状について報告する。

1.2 1 週圧縮強度と4 週圧縮強度

1 週強度と4 週強度について行つた実験結果は、第1.1 表(1)(2)及び第1.1 図の如くであつた。

使用した骨材の性状は、前報「南九州産軽量骨材の基礎的調査研究」*に記述した標準的なものに近い性状であつた。混和剤を使用しないコンクリートのセメント強度は、大略 300 kg/cm 前後の比較的強度の低いもので且つ手練である。

SC(シラス、カルデラ系切込軽石)、RC₁₋₁₃(川砂、カルデラ系切込軽石)、RC₁₄₋₂₅(川砂、カルデラ系軽砂利)、RS(川砂、桜島系ボラ軽砂利)は、細骨材に

第1.1表(1) 1 週強度と4 週強度

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混合剤	Slump cm	1 週強度 kg/cm ²	4 週強度 kg/cm ²	養生
	細	粗	セメント kg/m ³	砂 m ³ /m ³	軽 石 m ³ /m ³	W/C 0/wt					
SC-1			243	0.433	0.940	134		19	28.5	50.3	
2			260	0.347	0.975	130		21	25.5	52.0	
3			273	0.341	0.873	?		21	43.5	75.0	
4			280	0.420	0.945	114		21	38.0	62.3	
5			289	0.480	0.902	117		21	54.3	83.2	
6	シ	カル	290	0.333	0.866	?		21	37.8	72.0	
7		デ	300	0.399	0.943	115		21	42.6	79.5	
8		ラ	309	0.321	0.974	114	使	21	47.0	86.9	水
9		系	309	0.550	0.834	112		21	47.7	87.0	
10		切	324	0.478	0.900	105		21	54.5	101.0	
11		込	325	0.357	0.925	97		21	68.2	93.4	
12		軽	332	0.273	0.937	97	用	21	64.8	96.8	中
13		石	333	0.382	0.874	96		21	59.7	93.1	
14			347	0.645	0.712	106		22	58.5	98.3	
15			348	0.311	0.892	95		21	79.8	113.1	
16	(鹿	(鹿	352	0.557	0.755	105		21	56.2	90.1	
17	児	屋	354	0.495	0.830	102	せ	22	62.0	103.1	養
18	島	市	355	0.420	0.885	102		22	69.9	97.7	
19	市	北	357	0.340	0.901	99		22	54.8	95.0	
20	坂	元	358	0.321	0.954	89		21	51.2	86.9	
21	元	田	372	0.290	0.916	95	ず	21	73.3	117.0	生
22	町	町	374	0.530	0.791	88		22	73.9	99.4	
23	産	産	382	0.378	0.884	87		21	82.0	127.2	
24			409	0.450	0.840	95		21	62.0	97.7	
25			432	0.315	0.900	68		21	86.8	137.5	
26			439	0.360	0.850	69		21	86.4	139.3	
27			440	0.495	0.745	64		21	99.0	150.6	
28			454	0.565	0.637	69		21	85.9	146.0	

セメント強度 280~300 kg/cm² 供試体 3 本の平均

* 鹿児島大学工学部紀要 No. 9 1960

第 1.1 (2) 1 週強度と 4 週強度

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	1 週強度 kg/cm ²	4 週強度 kg/cm ²	養生
	細	粗	セメント kg/m ³	砂 m ³ /m ³	軽石 m ³ /m ³	W/C 0/wt					
RC-1	川砂 (鹿児島市甲突川産)	カルデラ系切込軽石 (鹿屋市古江町産)	344	0.331	0.939	63	C	20	79.0	109.0	水中養生
			357	0.317	0.933	85	—	21	81.2	109.5	
			368	0.347	0.889	72	A	21	51.0	106.4	
			371	0.347	0.882	72	〃	21	51.0	117.1	
			376	0.345	0.891	68	C	19	66.3	121.0	
			376	0.351	0.881	61	—	20	66.0	114.0	
			377	0.344	0.892	68	C	19	62.0	116.4	
			384	0.336	0.900	70	—	19	71.3	114.3	
			388	0.349	0.877	70	P	20	74.5	121.4	
			389	0.347	0.879	63	—	20	95.0	140.8	
			391	0.347	0.872	74	C	21	82.0	131.0	
			395	0.339	0.879	75	〃	21	77.5	123.9	
			418	0.344	0.870	70	P	20	82.0	134.6	
RC-14	川砂 (鹿児島市甲突川産)	カルデラ系軽砂利 (鹿屋市古江町産)	310	0.662	0.662	62	C	19	72.2	108.4	水中養生
			329	0.641	0.641	91	P	22	60.0	105.0	
			331	0.647	0.647	58	C	19	69.0	101.6	
			334	0.645	0.645	56	〃	18	54.8	111.5	
			341	0.639	0.639	70	〃	19	63.2	120.0	
			346	0.632	0.632	81	A	21	66.0	110.0	
			350	0.628	0.628	74	—	22	62.0	101.0	
			350	0.631	0.631	61	—	20	66.0	116.0	
			353	0.626	0.626	74	—	22	61.1	93.5	
			359	0.631	0.631	78	P	17	72.8	108.0	
			361	0.630	0.630	80	〃	17	71.1	110.0	
			362	0.621	0.621	80	—	23	87.7	126.0	
			RS-1	川砂 (鹿児島市甲突川産)	桜島黒神産	1	: 2.7	: 2.8	68	—	
1	: 2.7	: 2.8				68	—	17	39.5	75.5	
1	: 2.6	: 3.0				60	—	18	82.5	112.7	
1	: 2.7	: 3.2				62	—	19	51.0	94.8	
1	: 2.7	: 3.2				63	—	20	50.2	90.3	
1	: 2.7	: 3.2				68	—	21	42.0	80.3	
1	: 2.3	: 3.2				59	—	20	49.5	82.0	
RK-1	海岸砂 (開聞山麓)	開聞系ストラキヤ (谷山市和田)	280	0.682	0.682	70	C	20	52.0	100.4	水中養生
			312	0.655	0.655	68	〃	20	72.1	126.0	
			348	0.635	0.635	63	〃	18	80.2	140.3	
			350	0.632	0.632	66	〃	19	90.5	155.0	
			370	0.616	0.616	61	〃	20	110.0	172.1	
CC-1	珊瑚砂 (宝島)	珊瑚砂利 (宝島)	342	555	1.040	75	—	15	84.0	150.0	水中養生
			353	591	887	73	—	20	89.2	163.0	
			363	665	797	71	—	20	107.1	186.3	
			384	717	717	70	—	21	120.0	198.1	
			350	780	905	61	—	21	162.7	272.0	

セメント強度 285~358 kg/cm², 供試体 3 本の平均。 * 徳之島産珊瑚砂, 砂利
 混和剤の C: チューポール, A: アサヒライト, P: ポゾリス。

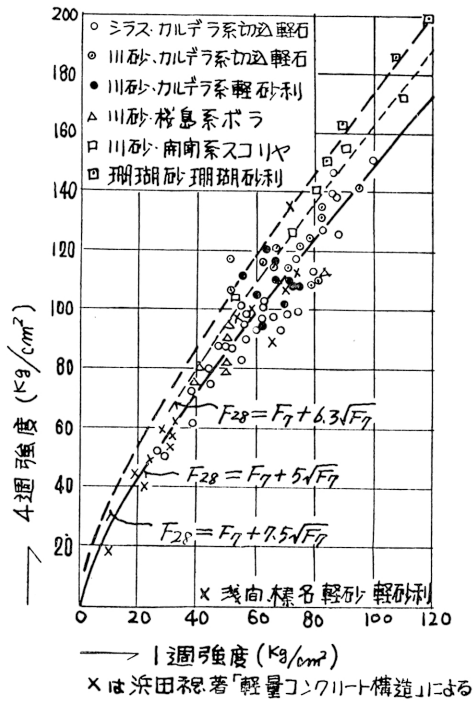
川砂を使用したものが、やゝ高い強度関係を示すようであるが、統計的には有意の差が見られず、いずれも次の実験式。

$$F_4 = F_1 + 5\sqrt{F_1} \quad \dots\dots(1.1)$$

ただし F_4 = 4 週強度 kg/cm²
 F_1 = 1 週強度 kg/cm²

で示される。川砂を使用したものが、シラスを使用したものと差がなかつたのは、殆んどが甲突川砂で、粒度が悪く、しかも見掛比重が 2.4 前後であつたことが原因していると思われる。従つて、川砂が正常なものであれば、恐らく

$$F_4 = F_1 + (6 \sim 5.5)\sqrt{F_1} = F_1 + 5.8\sqrt{F_1} \quad \dots(1.2)$$



第 1.1 図 1 週強度と 4 週強度

で示されるであろう。

RK (川砂, 開間系スコリヤ)は,

$$F_4 = F_1 + 6.3\sqrt{F_1} \quad \dots\dots(1.3)$$

CC (珊瑚砂, 珊瑚砂利)は,

$$F_4 = F_1 + 7.5\sqrt{F_1} \quad \dots\dots(1.4)$$

普通コンクリートの場合, 1 週強度と 4 週強度との関係式は, 直線式⁴⁾で示されるが, 軽量コンクリートの場合には, モルタル強度より弱い骨材の影響が現われるため, コンクリート中のモルタル強度が増加しても, コンクリート強度は, それに比例して増加しない。従つて軽量コンクリートの場合, 直線式では示し得ない。

(1.1) 式は, 浅間産, 椋名産, 軽砂, 軽砂利の場合にも略々適用出来る。

1.3 4 週圧縮強度と 13 週圧縮強度

4 週強度と 13 週強度について行つた実験結果は, 第 1.2 表 (1) (2) の如くであつた。

使用した骨材の性状は, 前述したように, 前章に記述した標準的なものに近い性状のものであつた。混和剤を使用しないコンクリートのセメント強度は, CC-5 を除いて, 大略 300 kg/cm 前後の比較的低強度のもので且つ手練である。

浜田博士外²氏によれば,⁵⁾ 軽量コンクリートの 4 週強度と 13 週強度の関係式は,

第 1.2 表 (1) 4 週強度と 13 週強度

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	4 週強度 kg/cm ²	13 週強度 kg/cm ²	養生
	細	粗	セメント kg/m ³	砂 m ³ /m ³	軽 石 m ³ /m ³	W/C 0/wt					
SC-1			243	0.433	0.940	134		19	50.3	77.0	
2			260	0.347	0.975	130		21	52.0	77.3	
3	シ	カル	273	0.341	0.873	?		21	75.0	85.2	
4		デラ	280	0.420	0.945	114		21	62.3	92.0	
5		系切	289	0.480	0.902	117		21	83.2	98.9	
6	ラ	込軽	290	0.333	0.800	?	使	21	72.0	100.0	水
7		石	300	0.399	0.943	115		21	79.5	116.1	
8			309	0.321	0.974	114		21	86.9	131.8	
9			309	0.550	0.834	112	用	21	87.0	102.4	中
10	ス		324	0.478	0.900	105		21	101.0	125.2	
11			325	0.357	0.925	97		21	93.4	106.0	
12	(鹿	(鹿	332	0.273	0.937	97		21	96.8	126.2	養
13	児	屋	333	0.382	0.874	96	せ	21	93.1	140.0	
14	島	市	347	0.645	0.712	106		22	98.0	120.4	
15	市	北	348	0.311	0.892	95		21	113.1	118.9	
16	坂	元	352	0.557	0.755	105	ず	21	90.6	121.7	生
17	元	田	358	0.321	0.954	89		21	86.9	111.0	
18	町	産)	372	0.290	0.916	95		21	117.0	145.3	
19	産)		374	0.530	0.791	88		22	99.4	135.2	
20			382	0.378	0.884	87		21	127.2	134.4	
21			409	0.450	0.840	95		21	97.7	112.1	

セメント強度 280~300 kg/cm², 供試体 3 本の平均。

第 1.2 表 (2) 4 週強度と 13 週強度

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	4 週強度 kg/cm ²	13週強度 kg/cm ²	養生
	細	粗	セメント kg/m ³	砂 m ³ /m ³	軽 石 m ³ /m ³	W/C 0/wt					
RC-1	川砂	カル	340	0.333	0.945	63	—	20	112.1	125.0	水
	2		359	0.318	0.931	84	—	21	117.0	172.5	
	3	鹿	371	0.361	0.881	61	—	20	107.4	119.5	中
	4	系	371	0.339	0.908	70	C	19	119.2	135.0	
	5	切	375	0.349	0.887	61	—	20	114.0	134.5	
	6	込	377	0.340	0.897	69	C	19	116.4	152.3	養
	7	軽	388	0.338	0.896	72	—	19	118.0	159.3	
	8	石	389	0.356	0.874	63	—	20	127.0	149.5	生
	9		390	0.348	0.880	61	—	20	141.0	175.0	
	10		391	0.344	0.874	74	C	21	124.6	169.4	
RC-11	川砂	カ	kg/m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³	0/wt					水
	12	カ	310	0.662	0.662	62	〃	19	108.4	127.3	
	13	カ	334	0.645	0.645	58	〃	18	111.5	137.8	中
	14	カ	338	0.641	0.641	55	〃	19	98.3	128.9	
	15	カ	351	0.628	0.628	74	—	22	101.0	139.2	養
	16	カ	362	0.621	0.621	80	—	23	126.0	159.8	
		カ	376	0.619	0.619	81	—	21	115.0	151.1	
RS-	1	川	1	2.7	2.8	68	—	18	78.5	87.2	気
	2	砂	1	2.7	2.8	68	—	17	75.5	93.0	
	3	系	1	2.6	3.0	60	—	18	112.7	123.0	水
	4	系	1	2.7	3.2	62	—	19	94.8	120.1	
	5	系	1	2.7	3.2	63	—	20	90.3	100.0	〃
	6	系	1	2.7	3.2	68	—	21	80.3	109.4	
	7	系	1	2.3	3.2	69	—	20	82.0	103.3	
RK-1	1	海	kg/m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³	0/wt					水
	2	岸	280	0.682	0.682	70	C	20	100.4	149.0	
	3	砂	312	0.655	0.655	68	〃	20	126.0	171.5	中
	4	系	348	0.635	0.635	63	〃	18	140.3	182.0	
	5	系	350	0.632	0.632	66	〃	19	155.0	182.4	
	系	370	0.612	0.616	61	〃	20	172.1	209.0		
CC-1	1	珊	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	0/wt					水
	2	珊	342	555	1040	75	—	15	150.0	202.0	
	3	珊	353	591	887	73	—	20	163.0	212.8	中
	4	珊	363	665	797	71	—	20	186.3	214.0	
	珊	384	717	717	70	—	21	198.3	230.3	生	

セメント強度 285~358 kg/cm², 供試体 3 本の平均, 混和剤の C: チューポール.

$$F_{13}=F_4+3\sqrt{F_4} \dots\dots(1.5)$$

ただし F_{13} =13 週強度 kg/cm²

F_4 =4 週強度 kg/cm²

で示されている.

第 1.2 表の実験結果は, 第 1.2 図の如く, 略々(1.5)

式が適用出来る.

1.4 4 週圧縮強度とセメント量

軟度が同一の場合のセメント量と強度との関係については, 田中氏の報告⁶⁾がある. 第 1.1 表より, シラス, カルデラ系切込軽石コンクリートはスランプ 21 cm, 川砂, 開聞系スコリヤコンクリートはスランプ 19~20 cm, 珊瑚砂, 珊瑚砂利コンクリートはスランプ 20~21 cm のセメント量と 4 週強度との関係

は, 第 1.3 図の如くである.

軟度が同一の場合, セメント量 = C_0 (kg/m³) のときの圧縮強度 = F_0 とすれば, セメント量 $C=C_0(1+x)$ のときの圧縮強度 = F (kg/cm²) は,

$$F \approx F_0 (1+\alpha x) \dots\dots(1.6)$$

で示される. 田中氏によれば, 普通, 軽量コンクリート共に,

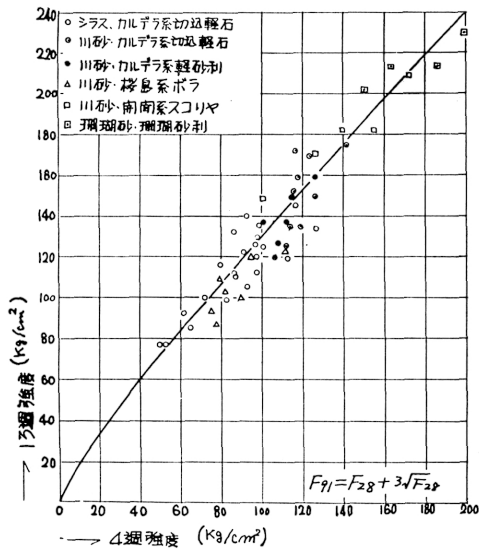
$$\alpha \approx 2$$

である.

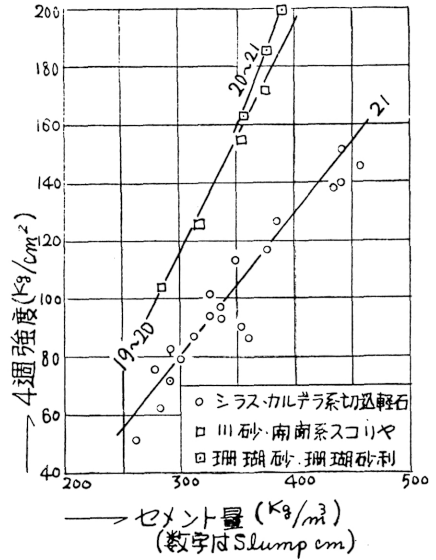
第 1.3 図によれば, シラス, カルデラ系切込軽石コンクリートは,

$$\alpha \approx 1.88$$

川砂, 開聞系スコリヤコンクリートも,



第1.2図 4週強度と13週強度



第1.3図 セメント量と強度
(同一軟度の場合)

$\alpha \approx 1.88$

珊瑚砂, 珊瑚砂利クンクリートは

$\alpha \approx 2.24$

である。

一般的にいつて, 田中氏の報告のように, $\alpha \approx 2$ としてよいと思われる。

従つて, (1.6) 式は,

$$F \approx F_0 (1+2x) \dots\dots\dots(1.7)$$

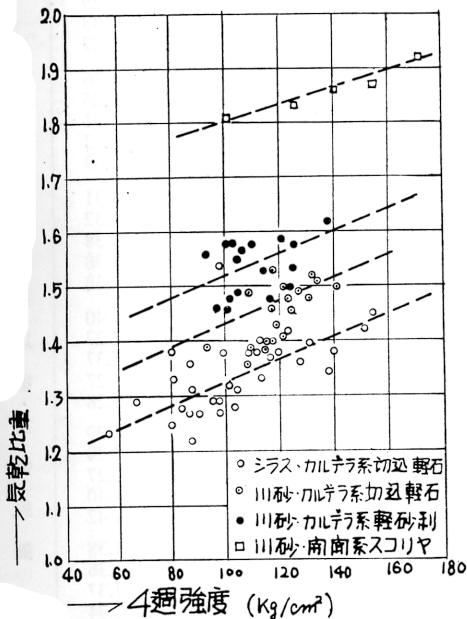
で示される。

第1.3表 セメント量と4週強度

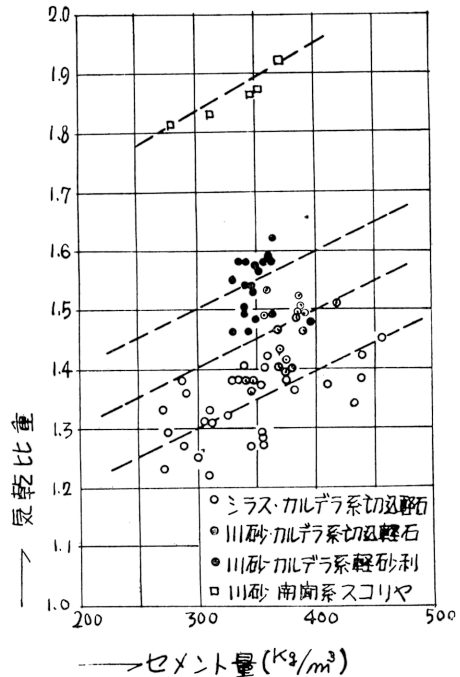
骨材 No.	スラン プ cm	セメント		4 週 強 度				骨材 No.	スラン プ cm	セメント		4 週 強 度			
		量 kg/m³	増 量 係 数	実験値 kg/m³	増 係 数	計算値 kg/m³	計算値 実験値			量 kg/m³	増 量 係 数	実験値 kg/cm²	増 係 数	計算値 kg/cm²	計算値 実験値
S ₂ ,G ₁	15	391	1.43	287	1.86	236	0.82	S ₁₁ ,G ₃	15	520	1.44	278	1.88	196	0.71*
		296	1.08	194	1.16	147	0.76*			394	1.09	160	1.18	123	0.77*
		274	1	127	1					362	1	104	1		
	19	419	1.43	256	1.86	227	0.89		19	558	1.44	303	1.88	271	0.89
		315	1.08	183	1.16	142	0.78*			419	1.08	204	1.16	167	0.82
		293	1	122	1					387	1	144	1		
22	457	1.44	311	1.88	292	0.94	22	608	1.44	333	1.88	278	0.83		
	343	1.08	201	1.16	180	0.90		457	1.08	248	1.16	172	0.69*		
	318	1	155	1				422	1	148	1				
S ₂ ,G ₁ (A.E.)	15	391	1.44	301	1.88	239	0.80	S ₂ ,G ₁₃	15	441	1.43	303	1.86	249	0.82
		296	1.08	167	1.16	147	0.88			334	1.08	158	1.16	156	0.99
		274	1	127	1					309	1	134	1		
	19	419	1.43	284	1.86	262	0.92		19	473	1.43	309	1.86	249	0.81
		315	1.08	147	1.16	164	1.12			356	1.08	162	1.16	156	0.96
		293	1	141	1					331	1	134	1		
22	457	1.44	223	1.88	264	1.17	22	517	1.44	330	1.88	304	0.92		
	343	1.08	201	1.16	162	0.81		387	1.08	187	1.16	188	1.01		
	318	1	140	1				359	1	162	1				

S ₁ , G ₂	15	466 353 324	1.44 1.09 1	272 194 176	1.88 1.18 1	331 208	1.22* 1.07	S ₂ , G ₄	15	419 315 293	1.43 1.07 1	176 103 97	1.86 1.14 1	180 111	1.02 1.08
	19	498 375 347	1.44 1.08 1	266 216 164	1.88 1.16 1	308 194	1.16 0.90		19	450 337 312	1.44 1.08 1	187 107 93	1.88 1.16	175 108	0.94 1.01
	22	545 410 378	1.44 1.08 1	279 224 175	1.88 1.16 1	329 203	1.18 0.91		22	491 369 340	1.44 1.09 1	184 133 106	1.88 1.18 1	199 125	1.08 1.06
S ₁ , G ₁₂	15	410 312 287	1.43 1.09 1	306 176 127	1.86 1.14 1	236 150	0.77* 0.85	S ₃ , G ₄	15	536 406 375	1.43 1.08 1	194 149 131	1.86 1.16 1	244 152	1.26* 1.09
	19	441 331 309	1.43 1.07 1	313 170 141	1.86 1.14 1	262 161	0.84 0.95		19	573 432 400	1.43 1.08 1	185 151 134	1.86 1.16 1	249 155	1.35* 1.02
	22	482 359 334	1.44 1.08 1	295 183 147	1.88 1.16 1	277 171	0.94 0.94		22	627 469 435	1.44 1.08 1	202 175 141	1.88 1.16 1	265 164	1.31* 0.94

註 S₁, S₂ : 甲突川砂, S₃ : シラス・カルデラ系軽砂混合, G₁ : 川砂利, G₂ : 碎石, G₁₂ : 川砂利・碎石混合, G₃ : 開聞系スコリヤ, G₁₃ : 川砂利・開聞系スコリヤ混合, G₄ : カルデラ系軽砂利.



第 1.4 図 4 週強度と気乾比重



第 1.5 図 セメント量と気乾比重

第 1.3 表は、別報*の予備的実験結果から、強度上の水セメント比 70% を基準として、水セメント比 65%, 50% の同一スランブのコンクリートのセメント量

とコンクリートのセメント量とコンクリート強度との関係を、(1.7) 式によつて示したものである。

第 1.3 表の * 印を除いて、略々 20% 以内の誤差で (1.7) 式が普通コンクリート、碎石コンクリート、軽量コンクリートのいずれにも略々適用出来る。* 印は、

* 福島・久米：「軽量コンクリートの調査流に関する研究」その 1，日本建築学会研究報告九州支部 No. 10 1961. 2.

セメント強度の相異によるものと思われる。(1.7)式は、セメント強度がファクターとして這入っていないが、実験結果なり、実施例が分つていけば、一応の強度の目安を立てるのに便利である。

1.5 4 週圧縮強度と気乾比重

4 週強度と気乾比重の実験結果は、第 1.4 表(1)(2)及び第 1.4 図の如くである、

第 1.4 表から、セメント量と気乾比重とは第 1.5 図の如くである。

スランプ 20cm 内外のもので、セメント量と 4 週強度、及び気乾比重の標準的な値は第 1.5 表の如くである。

シラス、カルデラ系切込軽石コンクリートは、浅間産軽砂、軽砂利コンクリートに類似している。甲突川産川砂を使用したものは、一般的にいつて、気乾比重、強度共に、普通川砂を使用したものよりも低い値を示しているようである。川砂、開聞系スコリヤコンクリートは、川砂、大島産軽砂利コンクリートに類似している。開聞系スコリヤの見掛比重は、大島産軽石より

第 1.4 表 (1) 4 週強度と気乾比重

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	4 週強度 kg/cm ²	気乾比重	備考	
	細	粗	セメント kg/m ³	シラス m ³ /m ³	軽石 m ³ /m ³	W/C 0/wt						
SC-1			273	0.341	0.873	97.7	—	21	56.2	12.3		
2			273	0.350	0.950	95.5	—	21	80	1.33		
3			275	0.344	0.880	97.7	—	—	66.9	1.29		
4			288	0.477	0.890	98	—	17	80.2	1.38		
5			289	0.480	0.902	117	—	21	83.2	1.27		
6			291	0.444	0.884	99	—	17	87.4	1.36		
7	シ	カル	300	0.399	0.943	115	—	21	79.5	1.25	水中養生・4週以後・室内放置	
8		デラ	306	0.470	0.843	89.2	—	20	105	1.31		
9		系	309	0.321	0.974	114	—	21	86.9	1.22		
10	ラ	切込	309	0.473	0.857	89	—	20	113	1.33		
11		軽	309	0.550	0.834	112	—	21	87	1.31		
12		石	324	0.478	0.900	105	—	21	101	1.32		
13			329	0.355	0.910	98	—	21	112	1.38		
14	ス		330	0.355	0.910	98	—	21	108	1.38		
15			334	0.359	0.923	98	—	22	119	1.38		
16		(鹿	338	0.375	0.925	76	—	22	112	1.40		
17		児	347	0.645	0.712	106	—	22	98.3	1.27		
18		島	353	0.333	0.852	74.6	—	21	116	1.37		
19		市	354	0.577	0.755	105	—	21	90.1	1.27		
20		坂	354	0.495	0.830	102	—	22	103.1	1.28		
21		元	355	0.420	0.885	102	—	22	97.7	1.29		
22		町	357	0.340	0.901	96	—	22	95	1.29		
23		・	358	0.321	0.954	89	—	21	86.9	1.27		
24		郡	358	0.337	0.874	74.7	—	21	131	1.40		
25		元	360	0.349	0.872	74	—	21	122	1.42		
26		町	374	0.530	0.791	88	—	22	99.4	1.38		
27		産	382	0.378	0.884	87	—	21	127.2	1.36		
28			409	0.450	0.840	95	—	21	97.7	1.37		
29			432	0.315	0.900	68	—	21	137.5	1.34		
30			439	0.360	0.850	69	—	21	139.3	1.38		
31			440	0.495	0.740	64	—	22	150.6	1.42		
32			454	0.565	0.673	69	—	21	153.7	1.45		
RK-1	海	(開	280	0.682	0.682	70	C	20	100.4	1.81		水室4中内週養生以後
2	岸	聞	312	0.655	0.655	68	"	20	126.0	1.83		
3	砂	系	348	0.635	0.635	63	"	18	140.3	1.86		
4		山	350	0.632	0.632	66	"	19	155.0	1.87		
5		和	370	0.612	0.616	61	"	20	172.0	1.92		

セメント強度 SC-1~32 は 280~300 kg/cm², RK-1~5 は 358 kg/cm²,
混和剤 C はチューポール。

第1.4表(2) 4週強度と気乾比重

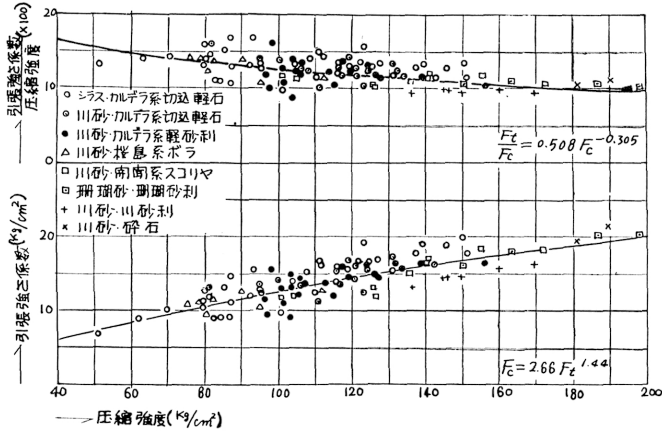
No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	4週強度 kg/cm ²	気乾比重	備考	
	細	粗	セメント kg/m ³	砂 m ³ /m ³	軽石 m ³ /m ³	W/C 0/wt						
RC-1			339	0.336	0.938	63.7	C	20	112.4	1.38	水中養生・4週以後室内放置	
2	川	カルデラ系切込軽石	344	0.330	0.938	63.4	〃	20	109.6	1.38		
3			347	0.330	0.934	63.4	〃	20	108	1.36		
4			357	0.317	0.928	84.7	—	21	109	1.49		
5			359	0.316	0.928	84.4	—	21	117	1.53		
6			370	0.348	0.886	71.9	A	21	117	1.46		
7			371	0.358	0.879	60.9	C	20	107.4	1.40		
8			371	0.343	0.892	66.6	〃	19	119.2	1.43		
9			375	0.351	0.881	60.9	〃	20	92.6	1.39		
10			砂	376	0.359	0.874	61.0	〃	20	114		1.40
11			(鹿屋市古江町産)	(鹿屋市古江町産)	376	0.346	0.890	67.8	〃	19		121
12	377	0.343			0.892	66.6	〃	19	116.4	1.40		
13	384	0.336			0.886	75.6	〃	21	131	1.48		
14	386	0.348			0.878	65.0	〃	20	127	1.49		
15	386	0.346			0.880	69.2	P	20	132	1.52		
16	387	0.348			0.878	70.0	〃	20	121	1.50		
17	388	0.347			0.878	63.2	C	20	141	1.50		
18	389	0.355			0.869	63.0	〃	20	127	1.49		
19	390	0.345			0.873	79.2	〃	21	124	1.46		
20	395	0.343			0.873	74.2	〃	21	123	1.48		
21	418	0.344			0.870	70.1	P	20	134	1.51		
RC-22			329	0.640	0.640	90.9	P	22	105	1.55	水中養生・4週以後室内放置	
23	川	カルデラ系軽砂利	330	0.647	0.647	56.3	C	19	101	1.46		
24			335	0.636	0.636	90.5	P	22	103	1.58		
25			339	0.642	0.642	60.7	—	20	104.6	1.49		
26			340	0.640	0.640	70.6	C	19	124	1.50		
27			341	0.636	0.636	79.8	A	21	98	1.54		
28			342	0.642	0.642	78.0	P	17	125	1.58		
29			344	0.637	0.637	54.9	C	19	97.0	1.46		
30			345	0.633	0.633	79.8	A	21	126	1.54		
31			347	0.635	0.635	70.0	C	19	114.2	1.53		
32			(鹿屋市古江町産)	(鹿屋市古江町産)	350	0.630	0.630	80.7	A	21		106
33	350	0.634			0.634	60.5	—	20	116.4	1.48		
34	351	0.628			0.628	73.7	—	22	101.0	1.48		
35	353	0.631			0.631	74.0	—	22	93.5	1.56		
36	356	0.624			0.624	73.9	—	22	100.0	1.58		
37	358	0.632			0.632	78.2	P	13	108	1.49		
38	361	0.622			0.622	79.8	—	22	121	1.59		
39	361	0.630			0.630	77.9	P	17	110	1.58		
40	363	0.621			0.621	79.9	—	22	138	1.62		

セメント強度：285～346 kg/cm²，

混和剤 A：アサヒライト， C：チューポール， P：ポゾリス。

第1.5表 セメント量と気乾比重・4週圧縮強度の標準値

セメント量 kg/m ³	気 乾 比 重			4 週 強 度 kg/cm ²		
	300	350	400	300	350	400
シラス・カルデラ系切込軽石	1.30	1.35	1.40	90	110	135
甲突川砂・カルデラ系切込軽石	1.40	1.45	1.50	90	110	135
甲突川砂・カルデラ系軽砂利	1.50	1.55	1.60	90	120	140
川砂・開聞系スコリヤ	1.85	1.90	1.95	130	160	190



第 1.6 図 圧縮強度と引張強さ係数

第 1.6 表 (1) 圧縮強度と引張強さ係数

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	圧縮強度 (4 週) kg/cm ²	引張強度 (4 週) kg/cm ²	引張強度 / 圧縮強度	養生
	細	粗	セメント kg/m ³	砂 m ³ /m ³	軽石 m ³ /m ³	W/C 0/wt						
SC-1			289	0.480	0.902	117	—	21	83.2	9.1	0.109	水中
2	シ	カル デラ 系切 込軽 石	300	0.399	0.943	115	—	21	79.5	10.3	0.130	“
3			309	0.550	0.834	112	—	21	87.0	9.2	0.106	“
4			309	0.321	0.974	114	—	21	86.9	11.1	0.128	“
5			324	0.478	0.900	105	—	21	101.0	9.7	0.097	“
6			ラ	系切 込軽 石	330	0.355	0.910	98	—	21	108.0	15.3
7	333	0.382			0.874	96	—	21	93.1	15.6	0.168	“
8	334	0.359			0.923	98	—	22	119.0	15.5	0.130	“
9	338	0.375			0.925	76	—	22	112.0	16.1	0.144	“
10	ス	(鹿 屋市 古江 町・ 北田 町産)	353	0.333	0.852	74	—	21	116.0	14.0	0.121	“
11			355	0.370	0.945	71	C	18	111.0	16.8	0.151	“
*12			355	0.370	0.945	71	“	18	125.5	16.5	0.132	気乾
13			356	0.373	0.944	76	“	19	116.0	16.0	0.138	水中
*14	鹿 児島 市郡 元町 ・北 田町 産)	(鹿 屋市 古江 町・ 北田 町産)	356	0.373	0.944	76	“	19	151.4	17.9	0.118	気乾
15			357	0.340	0.901	96	—	22	95.0	12.8	0.135	水中
16			358	0.321	0.954	89	—	21	86.9	14.5	0.168	“
17			358	0.337	0.874	74	—	21	131.0	15.3	0.117	“
18	坂 元町 産)	(鹿 屋市 古江 町・ 北田 町産)	360	0.349	0.872	75	—	21	122.0	16.8	0.138	“
19			374	0.348	0.932	96	—	21	80.0	12.7	0.159	“
20			384	0.378	0.884	87	—	21	127.2	17.0	0.134	“
21			432	0.315	0.900	68	—	21	137.5	18.0	0.131	“
22	439	0.360	0.850	69	—	21	139.3	18.9	0.136	“		
23	440	0.495	0.745	64	—	21	150.6	20.3	0.135	“		
24	454	0.565	0.673	69	—	21	146.0	18.9	0.129	“		
25	シ ラス (鹿 児島 市郡 元町 ・北 田町 産)	カル デラ 系切 込軽 石 (鹿 屋市 北田 町産)	1	1.46	4.06	81	—	19	80	11.2	0.140	水中
26			1	1.28	3.81	77	—	19	110	12.5	0.114	“
27			1	1.40	3.80	87	—	20	92	12.0	0.131	“
28			1	1.36	3.96	?	—	?	85	12.9	0.152	“
29			1	1.87	4.01	85	—	21	104	13.9	0.134	“
30			1	1.57	3.49	81	—	21	95	12.3	0.129	“
31			1	1.80	3.88	92	—	20	84	9.1	0.108	“
32			1	2.16	4.85	114	—	21	62	8.7	0.140	“
33			1	1.57	3.95	106	—	19	70	10.0	0.143	“
34			1	1.88	5.57	125	—	19	51	6.7	0.131	“

* 材令1年, 混和剤 C: チューボール, 供試体3本の平均, セメント強度: 280~358 kg/cm².

第 1.6 表 (2) 圧縮強度と引張強さ係数

No.	骨材の種類		調 合 (容積計量は現場計量)				混和剤	Slump cm	圧縮強度 (4 週) kg/cm ²	引張強度 (4 週) kg/cm ²	引張強度 / 圧縮強度	養生
	細	粗	セメント kg/m ³	川砂 m ³ /m ³	軽石 m ³ /m ³	W/C 0/wt						
RC 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	川砂 (鹿児島市甲突川)	カルデラ系切込軽石 (鹿屋市古江産)	368	0.347	0.889	72	A	21	106.0	13.6	0.128	水中
			369	0.346	0.888	72	〃	21	110.7	11.1	0.100	
			370	0.348	0.886	72	〃	21	117.0	13.8	0.118	
			371	0.344	0.898	70	C	19	119.2	17.1	0.144	
			376	0.346	0.890	68	〃	20	121.0	15.8	0.131	
			377	0.344	0.892	67	〃	20	116.4	15.3	0.131	
			384	0.334	0.888	76	〃	21	131.0	17.5	0.134	
			386	0.345	0.881	70	P	20	132.1	16.3	0.124	
			387	0.348	0.878	70	〃	20	121.0	14.3	0.118	
			390	0.345	0.873	74	C	21	124.2	15.4	0.124	
			395	0.343	0.873	74	〃	21	123.2	12.7	0.103	
			418	0.344	0.870	70	P	20	134.0	15.9	0.119	
LC-13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 *26	川砂 (鹿児島市甲突川産)	カルデラ系軽砂利 (鹿屋市古江産)	kg/m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³	0/wt	〃	22	105.4	12.3	0.117	水中
			329	0.640	0.640	91	〃	19	101.0	11.0	0.110	
			330	0.647	0.647	56	C	18	118.6	14.8	0.125	
			332	0.646	0.646	57	〃	18	103.4	14.8	0.143	
			334	0.645	0.645	58	〃	18	103.0	9.1	0.088	
			335	0.638	0.638	91	P	22	113.6	13.8	0.122	
			336	0.643	0.643	58	C	18	98.0	15.8	0.162	
			341	0.634	0.634	80	A	21	115.0	12.0	0.104	
			342	0.638	0.638	60	C	19	96.1	11.3	0.118	
			344	0.637	0.637	55	〃	19	126.3	15.2	0.121	
			345	0.632	0.632	80	A	21	97.0	9.6	0.099	
			345	0.636	0.636	55	C	19	106.1	14.5	0.137	
			350	0.629	0.629	81	A	21	124.2	15.9	0.128	
			369	0.623	0.623	?	D	19	155.8	16.3	0.105	
369	0.623	0.623	?	〃	19				気乾			
RS-1 2 3 4 5 6 7	川砂 (甲突川産)	桜島系ボラ (桜島黒神)	1 : 2.7 : 2.8	68	—	18	78.5	11.0	0.140	水中		
			1 : 2.7 : 2.8	68	—	17	75.5	10.7	0.142			
			1 : 2.6 : 3.0	60	—	18	112.7	12.8	0.115			
			1 : 2.7 : 3.2	62	—	19	94.8	10.3	0.109			
			1 : 2.7 : 3.2	63	—	20	90.3	12.5	0.138			
			1 : 2.7 : 3.2	68	—	21	80.3	9.6	0.119			
			1 : 2.3 : 3.2	59	—	20	82.0	11.3	0.138			
RK-1 2 3 4 5	海岸砂 (開聞系 谷山和田)	珊瑚砂 (宝島)	kg/m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³	0/wt	C	20	100.4	11.8	0.117	〃
			280	0.682	0.682	70	〃	20	126.0	12.9	0.102	
			312	0.655	0.655	68	〃	18	140.3	16.6	0.118	
			348	0.635	0.635	63	〃	19	155.0	18.6	0.120	
			350	0.632	0.632	66	〃	20	172.1	18.5	0.108	
CC-1 2 3 4	珊瑚砂 (宝島)	珊瑚砂 (宝島)	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	0/wt	—	15	150.0	16.2	0.107	〃
			342	555	1040	75	—	20	163.0	18.0	0.110	
			353	591	887	73	—	20	186.3	20.3	0.109	
			363	665	797	71	—	21	198.1	20.5	0.103	
384	717	905	60	—								

* 材令 1 年, 混和剤 A : アサヒライト C : チューポール, P : ポゾリス, D : ダレックス, 供試体 3 本の平均, セメント強度 280~358 kg/cm².

や、大きいのであるが、川砂の見掛比重が小さいのと相殺して、大島産軽石コンクリートと類似した結果になつたものと思われる。

1.6 圧縮強度と引張強さ係数

圧縮強度と引張強さ係数の実験結果は、第 1.6 表 (1) (2) の如くで、第 1.5 表及び後記第 1.7 表を图示

すれば第 1.6 図の如くである。

狩野博士の研究⁷⁾によれば、圧縮強度と引張強さとの関係式は、

$$F_c = 2.66 F_t^{1.44} \dots\dots\dots (1.8)$$

ただし F_c = 圧縮強度 kg/cm²

F_t = 引張強度 〃

である。狩野博士によれば⁸⁾、軽量コンクリートの場

合、引張強さ係数は、(1.8)式よりやゝ下り、普通コンクリートの場合は(1.8)式よりやゝ上回るとされているが、筆者の実験では、第1.6図に見られるように、(1.8)式が略々適用出来るが、普通コンクリートでは、やゝ下回る結果を示している。

1.7 剪断強度

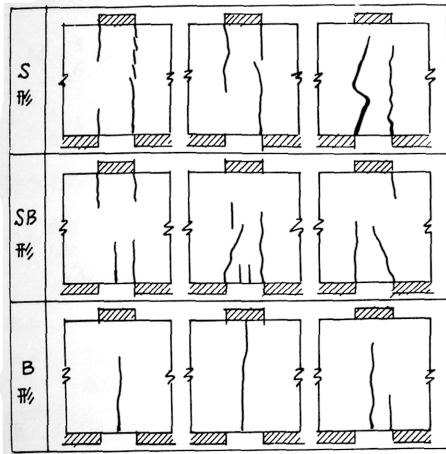
剪断強度は直接剪断強度 (Scherfestigkeit) と真の

剪断強度 (Schubfestigkeit) に区別されるべきであるが、後者は試験法が困難で一般に試験されているのは直接剪断強度である。直接剪断強度は、一般に片面剪断或いは2面剪断の形で試験され、いずれも単純な剪断応力度だけでなく、垂直応力度を伴うものである。直接剪断強度は、剪断力が横断面 A に 一様に分布するものとして、剪断応力度 τ は平均値として、

$$\tau = P/A \dots\dots\dots(1.9)$$

第1.7表 直接剪断強度

No.	骨材の種類		圧縮強度 F_c kg/cm ²	引張強度 F_t kg/cm ²	剪断強度 F_s kg/cm ²	試験体形状 $b \times h \times l$ cm	F_s/F_c	$F_s/\sqrt{F_c \cdot F_t}$	破壊形式	文献番号
	細	粗								
SC-1 2	シラス	(鹿屋市古江産)	81.0	11.8	17.0	15×15×5	0.21	0.550	S	
			123.6	19.5	18.4		0.149	0.370	B	
RC-1	川	(鹿屋市古江産)	81.0	13.0	20.9	15×15×5	0.278	0.643	S	
			94.8	13.1	19.4		0.206	0.552	〃	
			100.0	14.1	15.0		0.150	0.399	B	
			107.0	13.4	20.4		0.191	0.549	S	
	砂	(古江産)	101.0	13.0	20.5	15×15×5	0.202	0.565	S	
			104.2	13.0	20.0		0.192	0.543	〃	
			116.2	16.6	23.0		0.198	0.523	〃	
			127.0	14.6	21.5		0.169	0.500	SB	
RK-1 2 3 4 5	川	(開聞山麓産)	100.4	11.8	20.9	15×15×5	0.201	0.594	〃	
			126.0	12.9	24.3		0.193	0.593	〃	
			135.2	15.1	25.0		0.184	0.553	〃	
			140.3	16.6	26.4		0.188	0.543	〃	
			155.0	18.6	23.2		0.150	0.432	SB	
RP-1 2 3 4 5 6 7 8	川	川	135.9	13.2	24.0	15×15×5	0.177	0.566	S	
			135.9	13.2	15.4		0.133	0.364	B	
			145.0	14.4	22.0		0.152	0.477	SB	
			145.8	14.4	33.6		0.230	0.734	S	
	砂	利	160.0	15.8	18.8	15×15×5	0.118	0.374	B	
			169.3	16.2	24.4		0.144	0.466	SB	
			181.0	19.5	32.4		0.179	0.545	S	
			189.8	21.6	26.9		0.142	0.420	SB	
参 考 例	軽石	(米 国)	96	18.4	8.3	不 明	0.087	0.198		(10)
			136	25.0	20.2		0.145	0.342		〃
			142.1	21.8	17.2		0.121	0.309		(11)
			143	19.9	11.4		0.080	0.214		(10)
			147	24.7	28.1		0.191	0.467		〃
			153	22.7	21.7		0.142	0.368		〃
川	川	砂利	114.3	10.7	27.3	12×18×?	0.239	0.780		(12)
			176.9	13.4	35.8		0.203	0.735		〃
			227.6	17.2	40.3		0.177	0.644		〃
川	川	砂利	162		20	20×40×9.6	0.124			(13)
			162		24	20×20×9.6	0.148			〃
			162		24	10×20×9.6	0.148			〃
			162		31	10×10×9.6	0.192			〃
			162		33	20×30×17	0.204			〃
			162		33	20×30×5.8	0.204			〃
			162		35	30×20×3	0.216			〃



第 1.7 図 直接剪断試験の破壊形式

ただし τ = 剪断応力度 kg/cm^2
 P = 荷重 kg
 A = 断面積 cm^2

で求められるものである。

理論的には、剪断強度と引張強度とは同値であるべきであるが、直接剪断強度は理論的結果とは異なる。

軽量コンクリートの剪断強度の試験例は極めて少く、平賀、篠沢氏の実験⁹⁾によれば、材令4週の軽石コンクリートの片面剪断による直接剪断強度は、圧縮強度の20~33%である。

第1.7表に筆者の行つた軽量コンクリート、及び普通コンクリートの材令4週の2面剪断による試験結果、並びに参考例を示した。

試験結果及び参考例は、2, 3例を除いて、(1.8)式 $F_s = 2.66F_t^{1.44}$ から、理論的には引張強度と剪断強度とは等しいとして導かれる

$$F_s = F_t = 0.507 F_c^{0.695} \quad \dots\dots(1.10)$$

ただし F_s = 直接剪断強度 kg/cm^2
 F_t = 引張強度 "
 F_c = 圧縮強度 "

と、Richart¹⁴⁾ が3軸試験の結果から Mohr の応力円によつて導いた

$$F_s = 0.25 F_c \quad (1.11)$$

の間に散らばつている。Mörsch¹⁵⁾ は直接剪断強度に

$$F_s = \sqrt{F_t \cdot F_c} \quad (1.12)$$

を与えているが、第1.17表の参考例、普通コンクリート(文献番号13)に見られるように、供試体形状による影響が大きいため(1.12)式は必ずしも適用出来

るとは限らない。

筆者の実験では、その破壊形式によつて第1.7図の3形式に分類される。即ち、主として剪断応力による破壊と見られるS形と、主として曲げによる破壊と見られるB形、及びその中間のSB形の3種である。

統計的には、その直接剪断強度は、B形とSB形との明かな差は見られず、S形とB, SB形の2種に分けられ、

直接剪断強度のS形は

$$F_{SS} = 0.56 \sqrt{F_c \cdot F_t} \quad \dots\dots(1.13)$$

直接剪断強度のB形及びSB形は

$$F_{SB} = 0.44 \sqrt{F_c \cdot F_t} \quad \dots\dots(1.14)$$

で示される。

何れにしろ(1.13)、(1.14)式の適、不適は別にしても、第1.6表の文献番号(13)の供試体形状からも想像されるように、S形とB形とでは直接剪断強度に差のあることは明かである。第1.6表及び(1.13)(1.14)式を第1.8図に示す。

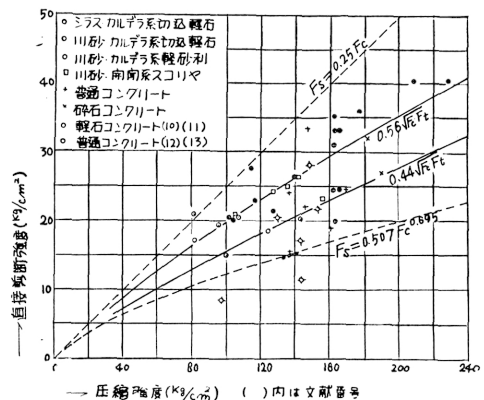
1.8 曲げ強度

こゝでいう曲げ強度は、所謂曲げ破壊係数 (Modulus of Rupture) で、矩形断面では

$$F_b = \frac{6}{bh^2} M \quad \dots\dots(1.15)$$

ただし F_b = 曲げ強度 kg/cm^2
 M = 曲げモーメント $\text{kg} \cdot \text{cm}$
 b = 梁巾 cm
 h = 梁高 "

で求められる。こゝで、圧縮強度から曲げ強度を推定



第 1.8 図 圧縮強度と直接剪断強度