コンクリートの圧縮強度と引張強度の確 率分布と寸法効果に関する研究(第2報)

小 池 狹千朗·加 藤 善之助

Study on Probability Distribution and Size Effect of Compressive and Tensile Strength of Concrete (II)

Sachio KOIKE and Zennosuke KATO

This study examined the probability distribution and size effect of compressive strength of three kinds of concrete cylinders and five kinds of concrete prisms and direct tensile strength of three kinds of concrete prisms by lazy tongs grips method and splitting tensile strength of three kinds of concrete cylinders, using four kinds of concrete mix proportions each having different maximum sizes of aggregates (sieve dimensions=10, 15, 20 and 25 mm) as inclusion, and provided data to simulate occurrence of the probability distribution of concrete strength used. Direct tensile test technique was used for specimens with enlarged ends to which load was applied purely by friction using four kinds of lazy tongs grips.

1. The experimental value of strength shows a probability distribution quite close to the straight line when plotted either on Weibull probability papers or on normal ones.

2. Compressive strengths of prism and cylinder specimens show the maximum values at $S\!=\!10.0~{\rm cm},$ and decreases gradually when size specimens larger in the range where S is larger than 10 cm.

3 . The value of coefficient of variation CV of concrete strength increases greatly with decrease in S in the range where prism width S is $4.46\mathchar`-7.25$ and cylinder diameters S (D) is 7.5-10.0.

4. The value of CV of prism and cylinder strength increases greatly with decrease in D/d in the range where D/d is less than 4. The size of model specimen D and size of aggregate d should be used in the range where D/d is larger than 4-5 in the tests of concrete models.

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材の曲げ強度やせん断強度などの ばらつきと寸法効果を,モンテカルロ・シミューレーシ ョン^{1.2)}で求めるためには,部材を構成する材料の一つで あるコンクリートの力学特性の確率統計性質と寸法効果 に関する資料の蓄積が非常に重要であるが,今のところ, 有用なデータに欠けているのが現状である^{3.4)}。

一般に、コンクリートの強度とその変動係数は、供試体の寸法とコンクリート中の骨材の寸法によって大きな影響を受けることが知られており^{5~7)}, 圧縮強度の確率分布はワイブル分布がよく合うという報告もある^{8~11)}。一方, 谷川ら¹²⁾は, 必ずしもワイブル分布を示すとは限らないことを示した。筆者ら²⁾は, 最大粒径15mmの多粒径骨材からなるコンクリートと鉄筋コンクリートはりの強度

の確率分布と寸法効果について報告し,骨材粒径と供試 体寸法の相違が強度のばらつきと寸法効果に大きな影響 を与えることを示した。

本研究は、1)モンテカルロ・シミュレーションにおい て、コンクリート強度を凝似乱数として生起させるため の強度の確率分布と寸法効果に関する基礎資料を得るた め、2)コンクリートを使ってモデル実験を行う場合、供 試体の寸法Dと使用コンクリート中の骨材の最大粒径 dとの比D/dの実用下限値としては、どの程度の値が適 当か、3)どの範囲のD/d比に対して、強度の確率論、強 度の寸法効果という概念を適用できるのか、4)材料の確 率統計性質にかかわる材料定数βと変動係数 CV にお よぼす供試体寸法と骨材粒径の影響を知るために、 10~25mmの骨材最大粒径を持つ4種類のコンクリート の圧縮強度と引張強度を、供試体寸法をかえた角柱とシ

表-1 実験の概要

Kind of concrete		Prism specimen							ylinder	specim	en	prism s	pecimen	Cubic specimen	
	W/c	Com	pressiv	ve test	Direct tensile test			Compressive test		Spritting tensile test		Test of modulus of rupture		Compressive test	
		Size	(cm)	No. of spec.	Size	(cm)	No. of spec.	Size (cm)	No. of spec.	Size (cm)	No. of spec.	Size (cm)	No. of spec.	Size (cm)	No. of spec.
10Ag. series 15Ag. series 20Ag. series 25Ag. series	60	4.46×4 7.25×7 9.68×9 12.45×12 15.0×15	.46 × 13.4 .25 × 21.8 .68 × 29.0 .45 × 37.4 .0 × 45.0	15	4.46×4. 7.25×7. 9.68×9.	46 × 13.4 25 × 21.8 68 × 29.0	30	φ7.5×15 φ10×20 φ15×30	25	φ7.5×15 φ10×20 φ15×30	25	10×10×40 15×15×53	5	10×10×10 15×15×15	10



リンダー供試体を用いて、実験的に調べたものである。 一方,強度の確率分布や寸法効果などについて論じる 場合,機械的誤差が入らないように工夫することが要求 される。コンクリートのような材料を使って実験を実施 する場合,誤差を入れないようにするのは極めて困難で あり、実験回数を増して機械的誤差の影響を平均化し、 その母集団を推定する必要がある。現在、2回の同一実 験が終了した段階である。前報¹³⁾で、1回目の実験の結果 を報告したが、本報は、2回目の実験が終了したので、 これをまとめたものである。今回の実験では、機械的誤 差の混入を減らすため細心の注意をはらって実験を行っ た。強度の寸法効果、β、CV などの値についても、機械 的誤差が混入していると考えられるが、ある程度の誤差 を含んだ上での考察でも、実用上、有用なデータが得ら れたものと考え報告する。

2. 実験計画および方法

2.1 供試体

実験は、前回の実験と同一調合のコンクリートで行っ た。前報の実験を実験 I、今回行った実験を実験 IIとす る。表一1に実験 II の概要を示す。実験 II では、打込み コンクリートの量を減らすため、実験 I で行った一辺 15.0cm の直接引張りの供試体の製作をとり止め、代り に一辺が12.45cm の角柱圧縮供試体を新たに加えた。角

柱供試体の幅D(またはS)は、鉄筋コンクリートはりの 引張側に,2本の主筋(丸鋼または異形鉄筋)を配筋し た場合に、はりの引張鉄筋比 Ptが1.40%(d=0.9h)とな るように,はりの断面幅 b と高さ h (= 2 b) を決めた際 のはりの幅 b に対応することを想定したもので、2-66 を 引張鉄筋にもつはりでは, b(=S)=4.46cm, 2-D10 はり では、7.25cm、2-D13 はりでは、12.45cm および 2-D19 はりでは、b=15.0cmとなる。D が4.46cmの供試体はモ デル供試体である。図一1に直接引張試験用(記号 PR-T)と圧縮試験用(PR-C)の角柱供試体の形状・寸法を 示す。角柱引張供試体は両端部が張出し、中央の平行部 分の高さ H と幅 D の比, H/D が3.0の無筋コンクリート である。角柱圧縮試験用の供試体は H/D=3.0である。シ リンダー圧縮用 (CY-C) および割裂試験用 (CY-SP) に は, 直径 ϕ = 7.5, 10および15cm, H/D=2.0のシリンダ -を使用した。供試体の総数は、約1,300体である。

2.2 コンクリート

コンクリートには、矢作川産の砂と天竜川産の砂利を 使用した。使用コンクリートはモデル実験も想定し、最 大粒径10mmの骨材からなる10Ag.series から、順に、15 Ag. 20Ag. および 25Ag.series の4種類とし、全てのコ ンクリートで水セメント比を60%と一定とした。表-2 にコンクリートの調合表を示し、表-3に使用した骨材

Kind of	Size of gravel	Water	Cement	Sand	Gravel	s/a	Des	sign	Measured		
concrete	(mm)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(°/vl)	Air(°/vl)	Slump(cm)	Air(°/vl)	Slump(cm)	
10Ag.series	$10 \sim 2.5$	230	383	659	1015	40	1.0	15	1.25	14.2	
15Ag.series	$15 \sim 5$	220	367	708	1004	42	1.0	15	0.66	16.0	
20Ag.series	$20 \sim 5$	210	350	759	996	44	1.0	15	0.75	15.4	
25Ag.series	$25 \sim 5$	210	350	739	996	44	1.0	15	1.80	14.3	

表-2 コンクリートの調合表(実験II)

表-3 使用骨材の物理的性質

Kind of concrete	Kind of aggregate	Aggregate Size (mm)	Specific gravity	Water absorption 24hrs.(%)	Fineness modulus
10 A g corrigo	river gravel	10~2.5	2.65	0.99	5.57
IVAg.series	river sand	1.2~	2.58	1.56	2.75
15 Agrantian	river gravel	$15 \sim 5$	2.65	0.93	6.25
13Ag.series	river sand	$2.5 \sim$	2.58	1.56	2.95
20 A g aprica	river gravel	$20 \sim 5$	2.66	0.90	6.57
20Ag.series	river sand	$2.5 \sim$	2.58	1.56	2.95
2E A magning	river gravel	$20 \sim 5$	2.66	0.90	7.00
25Ag.series	river sand	$2.5 \sim$	2.57	1.80	2.98

の物理的性質を示す。D=4.46cm の角柱供試体にd=25mm の骨材を入れた供試体(D/d=1.78)もみられる。このように極端なD/dの値の実験を含めたのは、このような供試体では、大きな骨材が確定的に、一次的に強度に影響を与えるために、強度の確率論とか寸法効果という概念を論じることができないのかどうかを知るためである。角柱供試体では加圧面に当る部分に平滑な鉄板を用いて、横方向にコンクリートを打込み、シリンダー供試体では縦方向に打込んだ。供試体は材令4週まで室温20±2℃、湿度80%の養生室で養生し、その後、実験室内に一週間置いた後、試験に供した。

2.3 実験方法

圧縮試験には供試体寸法と同じ寸法の載荷板を使用・ し、間に球座を介して試験を実施した。角柱供試体の直 接引張試験用には、寸法の異なる多量の供試体の実験を 行う必要から、lazy tongs grips法¹⁴⁾を用いて、純粋摩 擦のみで材軸方向に引張荷重を作用させる方法を用い た。図-2にその概要を示す。

3. 実験結果および考察

表-4に供試体の実測寸法と強度の平均値,およびそ れらの統計処理結果の一例を示す。M は平均値,SD は標 準偏差,CV は変動係数(%),r は相関係数を示す。 β の 値はワイブル確率紙上で求めた直線の勾配 a (slope)か ら、 β =a-1の式によって求めたもので、一般には材料 定数とも言われている。 μ およびσは正規および対数正 規確率紙上において、実験データから最小二乗法で求め た直線の中央値および標準偏差の値である。



図-2 直接引張試験装置

3.1 強度の確率分布

図-3に実験IIの強度を正規確率紙およびワイブル確 率紙上にプロットした結果を示す。図中に示す直線は最 小二乗法で求めたもので,その相関係数 r の値と直線式 を表-4に示す。図-3中の破壊確率 Pは、 P=n/(N+ 1), n:小さい方からn番目の強度, N:供試体総数…… から求めた。図の縦軸LN・(-LN(1-P))は非破壊確率 (1-P)の二重対数 *ln*(-*ln*(1-P))を示す。材料が完 全弾性破壊モードを示す場合、強度の確率分布はワイブ ル分布を示すはずであり^{8,9,10,11)},非破壊確率の二重対数 ln (-ln(1-P))と強度の対数 ln(F)との関係は直線式で 表示される。今回の結果によれば、実験値の分布は極め てよい直線性を示し、相関係数はほとんどの供試体で、 いずれも0.95以上を示した。実験値の上下限近くで、直 線からやや離れるものが見られるが、ワイブル分布と仮 定して凝似乱数を発生させれば、強度の下限近くでは、 計算値の方が実験値より低い値を与えるため、安全側と なる。ワイブル分布,正規分布,対数正規分布などのよ

表一4 実験結果と統計処理結果

Kind of	Notation of	No. of	Size	of	Range of	Pris	Prism compre			Weibull		Normal dist.			Log-n	ormal d	dist.	
			Width	Depth	strength	M	SD	CV		INCING DV	01	-						
concrete	specimen	specimen	(cm)	(cm)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²	(%)	r	LIN(-LIN(I-P))	Siope	β	r	μ	σ	r	μ	σ
	10-PR-C-4.465	14	4.571	4.475	$235 \sim 290$	257	18.8	7.33	0.91	4 13.26X - 74.08	8 13.26	12.26	-0.951	257	$\frac{23.3}{21.7}$	-0.955	5.550.	.089
10 Ag.	10-PR-C-9.675	15	9.731	9.680	$259 \sim 294$	278	10.1 10.2	3.68	0.95	8 27.30X-154.1	1 27.30	26.30	-0.974	278	$\frac{21.7}{12.5}$	-0.971	5.630	.045
series	10-PR-C-12.45	15	12.526	12.437	226~289	262	17.5	6.69	0.99	5 15.46X- 86.50	6 15.46	14.46	-0.989	262	20.7	-0.985	5.57 0	.081
	10-PR-C-15.00	14	15.129	15.091	243~272	258	9.2	3.58	0.97	7 28.66X-159.68	3 28.66	27.66	-0.983	258	11.1	-0.986	5.550.	.043
	15-PR-C-4.465	15	4.480	4.610	$205 \sim 310$	247	28.7	11.64	0.93	9 8.78A- 48.84	1 8.78	7.78	-0.952	247	$\frac{35.3}{21}$	-0.966	5.500.	.137
15 Ag.	15-PR-C-9.675	15	9 761	9 686	$220^{\circ}20^{\circ}20^{\circ}$	262	17.5 16.1	6.15	0.90	9 16.41X- 91.85	515.20 51641	14.20	-0.960	262	$\frac{21.3}{19.7}$	-0.955	5.580.	077
series	15-PR-C-12.45	15	12.573	12.456	240~285	264	11.3	4.30	0.98	7 24.12X-135.0	1 24.12	23.12	-0.983	264	13.5	-0.987	5.580.	.051
	15-PR-C-15.00	15	15.090	15.034	$227 \sim 265$	241	10.5	4.35	0.93	4 23.00X-126.75	5 23.00	22.00	-0.963	242	12.8	-0.969	5.490.	.052
	20-PR-C-4.465	15	4.594	4.492	$182 \sim 267$	213	22.5	10.55	0.93	1 9.64X- 52.13	3 9.64	8.64	-0.955	213	27.5	-0.968	5.360.	.123
20 Ag.	20-PR-C-7.245	14	9 760	9 701	$201 \sim 264$ $207 \sim 272$	238	19.3 16.7	8.10	0.97	5 12.30A- 08.90 1 14 95X- 82 91	12.50	11.50	-0.976	238	23.2 20.2	-0.976	$\frac{5.470.}{5.510}$.099
series	20-PR-C-12.45	15	12.568	12.454	207 - 272 $211 \sim 268$	243	15.7	6.47	0.98	6 15.93X- 88.01	15.93	14.93	-0.984	243	18.7	-0.982	5.490.	.078
	20-PR-C-15.00	15	15.130	15.063	$192 \sim 247$	216	15.4	7.12	0.95	7 14.38X- 77.75	5 14.38	13.38	-0.975	216	18.4	-0.981	5.370.	.084
	25-PR-C-4.465	15	4.634	4.522	141~239	187	28.2	15.00	0.97	0 6.57X- 34.83	6.57	5.57	-0.969	188	34.0	-0.960	5.230.	. 190
25 Ag.	25-PR-C-7.245	14	7.368	7.252	$173 \sim 231$	205	17.3	8.42	0.98	7 12.03X- 64.52	12.03	11.03	-0.983	205 2	$\frac{20.7}{14.9}$	-0.978	$\frac{5.320}{5.400}$.103
series	25-PR-C-12.45	15	9.762	9.092	213^{-257} 209^{-265}	235	11.0	4.91	0.98	3 15 25X - 83 74	15 25	19.80	-0.974	235	14.2	-0.970	5 46 0	081
	25-PR-C-15.00	15	15.162	$\frac{12.430}{15.012}$	$193 \sim 246$	226	14.5	6.43	0.98	8 15.92X- 86.77	15.92	14.92	-0.979	226	17.4	-0.973	5.420.	.079
	1		Cino.	of		Culin	dor C	mor	1		120102			[====]				
Kind of	Notation of	No. of	speci	men	Range of		strengt	h		Weibull	dist.		Norn	nal di	ist.	Log-no	ormal d	list.
aanarata	anaaiman		Diaø	Length	strength	М	SD	CV			Slope	0						
concrete	specimen	specimen	(cm)	(cm)	(Kg/Cm ⁻)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(%)	r	LIN(-LIN(I-F))	Stope	β	r	μ	σ	r	μ	σ
10 Ag.	10-CY-C- 7.5	25	7.506	15.130	229-292	257	16.4	6.38	0.94	7 16.79X- 93.64	16.79	15.79	-0.978	257 1	18.8	-0.984	5.550.	.072
series	10-CY-C-10.0	23	10.002	$\frac{20.093}{20.077}$	$274 \sim 341$	316	18.0	5.70	0.99	1 19.04 A-110.05	19.04	18.04	-0.990	317 2	20.6	-0.988	5.760.	.066
	15-CY-C- 7.5	25	7 528	15 086	200^{-320} 202^{-295}	240	$\frac{15.0}{23.5}$	9.77	0.97	9 11 12X- 61 42	20.05	19.05	-0.944	241 2	26.9	-0.937	5 48 0	109
15 Ag.	15-CY-C-10.0	25	9.994	20.105	$251 \sim 320$	283	19.4	6.85	0.96	4 15.78X- 89.59	15.78	14.78	-0.988	283 2	22.0	-0.991	5.640.	.077
series	15-CY-C-15.0	24	14.947	30.077	$245 \sim 311$	274	15.7	5.73	0.96	6 18.85X-106.28	8 18.85	17.85	-0.983	274 1	17.9	-0.987	5.610.	.065
20 Ag	20-CY-C- 7.5	25	7.499	15.080	$192 \sim 279$	235	21.5	9.17	0.96	2 11.77X- 64.74	11.77	10.77	-0.976	235 2	24.8	-0.980	5.460.	.105
series	20-CY-C-10.0	25	9.992	20.116	$223 \sim 305$	261	20.5	7.86	0.97	5 13.89X- 77.81	13.89	12.89	-0.990	262 2	23.3	-0.993	$\frac{5.560}{5.560}$.089
	20-C1-C-10.0 25-C¥-C-75	24	7 504	30.104 15.080	$220 \sim 283$ 183 ~ 279	204	14.5	5.72	0.98	1 923X - 5061	0 23	8 23	-0.984	254 1	10.7	-0.985	5.340	134
25 Ag.	25-CY-C-10.0	29	10.010	20.118	$197 \sim 293$	245	23.0	9.39	0.97	11.70X- 64.84	11.70	10.70	-0.985	245 2	26.0	-0.989	5.500.	.105
series	25 CV C 15 0									10 5037 00 05		40.00						075
	23-01-0-13.0	27	15.031	30.135	$211 \sim 282$	263	15.3	5.80	0.95	5 17.56X- 98.35	17.56	16.56	-0.923	263 1	18.5	-0.905	5.720.	
TZ: 1 C	25-01-0-15.0	27	15.031 Size	30.135	211~282	263 Prisi	15.3 n ter	5.80 nsile	0.95	5 17.56X- 98.35	0 17.56	16.56	-0.923	263 1	18.5	-0.905	5.720.	
Kind of	Notation of	27 No. of	Size Specir	01330.135 of men	211~282 Range of	263 Prisr st	15.3 m ter rengt	5.80 nsile h	0.95	Weibull c	17.56	16.56	-0.923 Norm	263 1 nal dis	18.5 st.	-0.905	5.72 0.	
Kind of concrete	Notation of specimen	No. of	Size Specin Width	of men Depth	211~282 Range of strength (kg/cm ²)	263 Prisr st	15.3 m ter trengt	5.80 nsile h CV	r	Weibull c	list.	<u>16.56</u> В	r	263 1	18.5 st. σ	-0.905	<u>5.72 0.</u>	
Kind of concrete	Notation of specimen	No. of specimen	I5.031 Size specin Width (cm)	30.135 of men Depth (cm)	$\frac{211 \sim 282}{\text{Range of strength}}$ $\frac{(\text{kg/cm}^2)}{16 \sim 26}$	263 Prisr st M (kg/cm²) 20.7	15.3 m ter trengt SD (kg/cm ²)	5.80 h CV (%)	r	Weibull c LN(-LN(1-P))	17.56 list. Slope	β 8 16	r	$\frac{263}{10}$	18.5 st. σ	-0.905	$\frac{\mu}{\mu} = \frac{\mu}{\alpha}$	σ 125
Kind of concrete 10 Ag.	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25	No. of specimen	15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166	$\frac{211 \sim 282}{\text{Range of strength}}$ $\frac{(\text{kg/cm}^2)}{16 \sim 26}$ $\frac{16 \sim 27}{16 \sim 27}$	263 Prisr st M (kg/cm ²) 20.7 22.4	15.3 m ter trengt SD (kg/cm²) 2.46 2.32	5.80 h CV (%) 11.87 10.36	r 0.976 0.983	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17	list. Slope 9.16	β <u>β</u> <u>8.16</u> 9.19	r -0.923 -0.991 -0.991	263 1 nal dis μ 20.7 2 22.4 2	st. σ .78 -	-0.905 r -0.992 3 -0.956 3	$\frac{\mu}{\mu} = \frac{\mu}{102}$	σ <u>135</u> 127
Kind of concrete 10 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68	27 No. of specimen 26 28 30	15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436	211~282 Range of strength (kg/cm²) 16~26 16~27 17~25	263 Prisr st (kg/cm²) 20.7 22.4 20.9	15.3 m ter rengt SD (kg/cm²) 2.46 2.32 1.75	5.80 nsile h CV (%) 11.87 10.36 8.34	r 0.976 0.983 0.969	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68	list. Slope 9.16 10.19 13.22	β 8.16 9.19 12.22	r -0.991 -0.967 -0.989	$\begin{array}{c c} 263 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 26.7 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1$	st. σ .78 - .68 -	r -0.905 -0.992 3 -0.956 3 -0.993 3	μ α 3.02 0.1 .11 0.1	$\frac{\sigma}{\frac{135}{127}}$
Kind of concrete 10 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-4.46	27 No. of specimen 26 28 30 28	15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28	263 Prist M (kg/cm²) 20.7 22.4 20.9 20.5	15.3 m ter rengt SD (kg/cm²) 2.46 2.32 1.75 3.59	5.80 nsile h (%) 11.87 10.36 8.34 17.52	r 0.976 0.983 0.969 0.969	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38	list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27	β 8.16 9.19 12.22 5.27	r -0.991 -0.967 -0.989 -0.981	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	st. σ .78 - .68 - .96 - .08 -	-0.905 r -0.992 3 -0.956 3 -0.993 3 -0.989 3	μ μ 3.02 0.1 3.11 0.1 3.04 0.0 3.01 0.1	σ <u>135</u> <u>127</u> <u>093</u> <u>196</u>
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-4.46 15-PR-T-7.25	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28	15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.864	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 0.510	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28	263 Prisr st (kg/cm ²) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5	15.3 m ter rrengt SD (kg/m²) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78	5.80 nsile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.969	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 LE 61V 46.04	list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61	r -0.991 -0.991 -0.967 -0.989 -0.981 -0.988	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	st. σ .78 - .68 - .96 - .08 - .15 -	r -0.905 -0.992 -0.956 -0.993 -0.989 -0.989 -0.986 -0.986 -0.986 -0.986 -0.986 -0.986 -0.986 -0.986 -0.995 -0.905	μ μ 3.02 0.1 3.11 0.1 3.04 0.0 5.07 0.1 5.07 0.1	σ $\overline{135}$ $\overline{127}$ $\overline{093}$ $\overline{196}$ $\overline{148}$
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 28 27	15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26	263 Prisr st M (kg/ca ²) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7	15.3 m ter rrengt SD (kg/m²) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63	5.80 hsile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.966 0.966 0.966	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31	r -0.991 -0.991 -0.967 -0.989 -0.981 -0.988 -0.945 -0.986	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	st. σ .78 - .68 - .96 - .08 - .15 - .47 - 12 -	-0.905 r -0.992 3 -0.956 3 -0.993 3 -0.989 3 -0.989 3 -0.986 3 -0.986 3 -0.986 3 -0.986 3	μ α μ α 3.02 0.1 3.11 0.1 3.04 0.0 3.01 0.1 3.07 0.1 92 0.0 86 0.2	σ <u>135</u> <u>127</u> <u>093</u> <u>196</u> <u>148</u> <u>083</u> <u>234</u>
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag.	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-7.25	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 27 29	15.031 Size specin Width 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 14~22 11~26 15~26	263 Prisr st M (kg/crl) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8	15.3 m ter rengt SD (\kg/\mathbf{m}) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24	5.80 h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.966 0.966 0.966 0.980 0.974	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.981 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	π σ .78 .68 .96 .08 .15 .47 .25	-0.905 r -0.992 3 -0.956 3 -0.956 3 -0.993 3 -0.989 3 -0.989 3 -0.988 3 -0.986 3 -0.935 2 -0.935 2 -0.931 2 -0.991 2 -0.991 2 -0.991 2 -0.991 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.992 3 -0.993 3 -0.993 3 -0.993 3 -0.995 3 -0.993 3 -0.993 3 -0.995 3 -0.993 3 -0.995 3 -0.993 3 -0.99	μ ε 3.02 0.1 3.11 0.1 3.04 0.0 3.07 0.1 3.92 0.0 3.86 0.2 0.86 0.2	σ $\overline{135}$ 127 093 196 148 083 234 127
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-7.25 20-PR-T-9.68	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 28 27 29 29 29	I5.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.436	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22	263 Prist st (kg/m²) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3	15.3 m ter SD (kg/car) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51	5.80 nsile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30 7.84	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.966 0.966 0.980 0.980 0.974 0.989	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42. 15.61 5.31 10.16 14.10	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16 13.10	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.981 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969 -0.995	263 1 mal dis 20.7 2 22.4 2 21.0 1 20.5 4 21.7 3 18.5 1 17.7 4 21.8 2 19.3 1	$[1.1, 1.2]{(1.1,1)}{(1.1, 1.2]{(1.1,1)}{(1.1, 1.2]{(1.1,1)}{(1.1, 1.2]{(1.1,1)}{(1.1, 1.2]{(1.1,1)}{(1.1,1)}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}$	-0.905 r -0.992 0.992 0.993 0.980 0.988 0.988 0.986 0.935 2 0.991 2 0.991 2 0.991 2 0.991 2 0.992 3 0.993 2 0.993 2 0.993 2 0.995 2 0.993 2 0.993 2 0.995 2 0.993 2 0.993 2 0.995 2 0.993 2 0.993 2 0.995 2 0.993 2 0.993 2 0.995 2 0.993 2 0.995 2 0.993 2 0.995 0 0.995 0 0.995 0 0.995 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	μ α 3.02 0.1 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.03 0.1 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.04 0.0 3.05 0.0	σ $\overline{)}$ $)$
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-7.25 20-PR-T-9.68 25-PR-T-4.46	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 27 29 29 29 21	15.031; Size speciri (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.437 4.427	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 15~26 16~22 13~28	263 Priss st (kg/cd) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6	15.3 m ter rrengt SD (kg/cr) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62	5.80 h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30 7.84 19.42	r 0.956 0.983 0.969 0.969 0.969 0.966 0.966 0.980 0.974 0.989 0.939	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.60	$\begin{array}{c} 16.56\\ \hline \\ \beta\\ \hline \\ 8.16\\ \hline \\ 9.19\\ 12.22\\ \hline \\ 5.27\\ \hline \\ 7.42\\ \hline \\ 4.31\\ \hline \\ 9.16\\ \hline \\ 13.10\\ \hline \\ 4.60 \end{array}$	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.988 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969 -0.995 -0.950	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	8.5 σ .78 .68 .96 .15 .12 .58 .69 .33	-0.905 r -0.992 3 0.956 3 0.993 3 0.989 3 0.988 3 0.988 3 0.988 3 0.988 3 0.985 2 0.991 2 0.991 2 0.991 3 0.993 2 0.993 2 0.996 2	μ ε 100 1	σ 135 127 093 196 148 083 234 127 089 214
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-7.25 20-PR-T-4.46 25-PR-T-7.25 20-PR-T-9.68 25-PR-T-7.25	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 27 29 29 29 29 21 29 29	I15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 7.237 6.527	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 15~26 16~22 13~28 11~21	263 Priss st (kg/crl) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5	15.3 m ter rrengtl SD (kg/m²) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45	5.80 nsile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 9.78	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.966 0.966 0.966 0.966 0.980 0.980 0.980 0.980 0.983 0.983 0.993	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64	9 17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.60 7.21	$\begin{array}{c} 16.56\\ \hline \\ \beta\\ \hline \\ 8.16\\ 9.19\\ 12.22\\ \hline \\ 5.27\\ \hline \\ 7.42\\ 14.61\\ \hline \\ 4.31\\ 9.16\\ \hline \\ 13.10\\ \hline \\ 4.60\\ \hline \\ 6.21\\ \hline \\ 14.51\\ \hline \end{array}$	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969 -0.995 -0.950 -0.950 -0.950 -0.950	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	σ σ .78 .68 .96 .15 .12 .58 .69 .33 .77 .92	r 0.992 3 0.992 3 0.993 3 0.993 3 0.989 3 0.986 3 0.935 2 0.991 2 0.991 3 0.993 2 0.991 2 0.991 3 0.993 2 0.993 2 0.993 2	μ α	σ 135 127 093 196 148 083 234 127 089 214 175 101 101 102
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-4.46 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-4.46 25-PR-T-7.25 25-PR-T-9.68	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	15.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.643 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 7.237 9.537	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~28	263 Prisr st M (kg/cr) 20.7 22.4 20.9 20.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.5	15.3 m ter rrengtl SD (kg/cr ²) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45	5.80 nsile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.966 0.966 0.966 0.980 0.980 0.980 0.980 0.989 0.939 0.939	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16 13.10 4.60 6.21 11.58	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.989 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969 -0.969 -0.995 -0.995 -0.995 -0.992	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	st. σ .78 .68 .96 .08 .15 .47 .58 .69 .33 .77 .63	-0.905 r 0.992 0.956 0.993 0.988 0.988 0.988 0.988 0.993 0.997 0.993 0.998 0.997 0.998 0.998 0.998 0.998 0.997 0.998	μ ε λ.02 0.1 λ.11 0.1 λ.04 0.0 λ.01 0.1 λ.02 0.1 λ.04 0.0 λ.01 0.1 λ.92 0.0 λ.96 0.0 91 0.2 79 0.1 87 0.1	σ $\overline{135}$ 127 093 196 148 083 234 127 089 214 175 101 101
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-4.46 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	15.031: Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 9.926 4.587 7.479 9.912 Size	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 7.237 9.537 of	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 11~26 15~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of	263 Prisr st M (kg/car) 20.7 22.4 20.9 20.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cyling	15.3 m terrengt SD (kg/cm) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 der sp	5.80 isile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 6.73 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72 iiiitt.	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.980 0.980 0.980 0.989 0.939 0.993 0.993	Weibull c Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16 13.10 4.60 6.21 11.58	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 Norm	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	π σ st. σ .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .78 .77 .63 .77 .63 .77 .63 .77 .63	-0.905 r -0.992 3 -0.993 3 -0.993 2 -0.993 2 -0.993 2 -0.991 2 -0.991 2 -0.991 2 -0.991 2 -0.991 2 -0.993 2 -0.99	μ μ κ.02 0.1 λ.11 0.1 λ.04 0.0 λ.01 0.1 λ.92 0.0 λ.86 0.2 λ.08 0.1 λ.96 0.0 .91 0.2 .79 0.1 .87 0.1 mal dit	σ $\overline{135}$ 127 093 196 148 083 234 127 089 214 175 101 175 101 101 101 101 101
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Kind of	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031: Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 7.237 9.537 of nen (arcth)	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength	263 Prisr st M (kg/car) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylina st	15.3 m ter rengt SD (kg/cr) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 der sp rengt SD	5.80 sile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72 5.04 19.42 15.04 8.72 5.04 10.30 10.50	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.960 0.960 0.980 0.980 0.980 0.980 0.980 0.993 0.993	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58 st.	$\begin{array}{c c} \beta \\ \hline \beta \\ \hline 8.16 \\ 9.19 \\ 12.22 \\ 5.27 \\ 7.42 \\ 14.61 \\ \hline 4.31 \\ 9.16 \\ 13.10 \\ 4.60 \\ 6.21 \\ 111.58 \end{array}$	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.989 -0.988 -0.945 -0.986 -0.969 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	π σ .78 .68 .96 .08 .15 .47 .58 .69 .63 .77 .63 .77 .63 .77 .63 .77	-0.905 r 0.992 3 0.956 3 0.993 2 0.993 2 0.993 2 0.988 3 0.993 2 0.991 2 0.991 2 0.991 2 0.993 2 0.993 2 0.997 2 0.989 2 0.987 2 0.987 2	μ 4 3.02 0.1 3.01 0.1 3.04 0.0 3.01 0.1 3.07 0.1 3.07 0.1 3.092 0.0 3.01 0.1 3.01 0.1 3.01 0.1 3.07 0.1 3.92 0.0 3.86 0.2 3.96 0.0 3.97 0.1 .87 0.1 mal dia 1	σ 135 127 093 196 148 083 234 127 089 214 127 089 214 175 101 ist.
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Kind of concrete	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 27 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.135 9.519 4.412 7.136 9.436 4.427 7.135 9.537 of nen Length (cm)	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²)	263 Prisr st (kg/car) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (kg/car)	15.3 m ter rrengt SD (kg/ar ²) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 der sp rengt SD	5.80 sile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72 0 sirtt. n CV (%) (%) (%) (%) (%) (%) (%) (%)	r 0.976 0.9833 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.980 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P))	17.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.600 7.21 12.58 st. Slope	$\begin{array}{c c} \beta \\ \hline \beta \\ \hline 8.16 \\ 9.19 \\ 12.22 \\ 5.27 \\ \hline 7.42 \\ 14.61 \\ 9.16 \\ 13.10 \\ 4.60 \\ 6.21 \\ 11.58 \\ \hline \end{array}$	-0.923 Norm r -0.991 -0.991 -0.980 -0.981 -0.988 -0.945 -0.986 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 Norm r	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	r 0.992 3 0.956 2 0.956 2 0.958 3 0.935 2 0.935 2 0.93	$\begin{array}{c c} \mu & c \\ \hline \hline \hline & c \\ \hline \hline \hline & c \\ \hline \hline \hline \hline \\ \hline \hline \hline \hline \hline \hline \\ \hline \hline \hline \hline \hline \hline$	σ 135 127 093 196 148 083 234 127 089 214 175 101 ist. σ
Kind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Kind of concrete	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø (cm) 7.490	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.135 9.519 4.412 7.136 9.436 4.427 7.135 9.537 of nen nen Length (cm) 5.091	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33	263 Prisr st M (kg/car) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (kg/car) (kg/car) 26.3	15.3 n ter rrengt SD 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.24 1.51 3.62 2.24 1.45 1.45 1.45 1.45 1.45 1.45 1.45 1.4	5.80 sile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72 it. it. CV it. CV (%) 10.36 0.55 0.55	r 0.976 0.98330.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.960 0.980 0.980 0.980 0.980 0.980 0.993 0.993 r r	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 10.16 14.10 5.60 7.21 st. Slope 10.78	$\begin{array}{c} 16.56\\ \hline \\ \hline$	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.989 -0.989 -0.986 -0.995 -0.995 Norm r -0.959	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	r 0.992 3 0.992 3 0.996 2 0.993 2 0.995 2	$\begin{array}{c c} \mu & c \\ \hline & \\ 3.02 & 0.1 \\ 3.11 & 0.1 \\ 0.01 & 0$	$ \sigma \\ \hline 135 \\ 127 \\ 093 \\ 196 \\ 196 \\ 1083 \\ 234 \\ 127 \\ 089 \\ 214 \\ 175 \\ 101 \\ 112 $
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Kind of concrete 10 Ag.	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 20-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-10.0	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031 Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diago 1 (cm) 4 (cm) 7.4961 9.9692	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 9.436 9.442 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 7.237 9.537 of nen Length (cm) 5.091 0.081	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19	263 Prisr st M (kg/car) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (kg/car) 26.3 23.6	15.3 n ter rengtl SD 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 SD (kg/ml) 2.46 2.42 2.44 2.42 2.44 3.63 3.62 2.44 1.45 SD (kg/ml) 2.24 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 2.24 3.63 3.45 3	5.80 sile h CV (%) 11.87 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72 5.04 8.72 5.04 10.30 7.84 19.42 10.30 7.84 10.30 7.84 10.30 7.84 10.30 10.30 7.84 10.30 10.00 10.0	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.976 0.980 0.9976 0.980 0.993 0.9993 r 0.9938 0.9990	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34	$\begin{array}{c} 16.56\\ \hline \\ \hline$	-0.923 Norm r -0.991 -0.989 -0.989 -0.989 -0.988 -0.988 -0.989 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	r 0.905 0.992 5 0.993 2 0.996 5 0.993 2 0.996 5 0.993 2 0.993 2 0.995 2 0.	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$ \sigma \\ \hline 135 \\ 127 \\ 093 \\ 128 \\ 083 \\ 234 \\ 127 \\ 089 \\ 214 \\ 175 \\ 101 \\ 15t. \\ \sigma \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 171 \\ 112 \\ 112 \\ 112 \\ 111 \\ 112 \\ 111 \\ 112 \\ 111 $
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Xind of concrete 10 Ag.	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-15.0	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031: Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diago 1 (cm) 6 7.496 1 9.969 2 15.0273	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 9.436 9.442 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 7.237 9.537 of nen Length (cm) 5.091 0.081 0.081	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19 19~27 1	263 Prisr st M (lg/car) 20.7 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (lg/car) 26.3 23.6 22.8	15.3 n ter rengtl SD 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 SD (kg/ml) 2.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.24 1.45 SD (kg/ml) 2.24 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 3.63 2.24 A SD (kg/ml) 3.63 3.62 2.24 SD (kg/ml) 3.62 2.24 SD (kg/ml) 3.63 3.62 2.24 A SD (kg/ml) 3.62 2.24 SD (kg/ml) SD (kg/ml) (kg/ml) 3.62 2.24 A SD (kg/ml) SD (kg/ml)	$\begin{array}{c c} 5.80 \\ \hline \\ 15.80 \\ \hline \\ $	r 0.976 0.983 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.989 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.994 0.995 0.99	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54	$\begin{array}{c c} 16.56\\ \hline \\ \hline$	-0.923 Norm r -0.991 -0.989 -0.989 -0.989 -0.989 -0.980 -0.985 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.9992 -0.9992	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 - r - - 0.992 2 - 0.993 - - 0.993 - - 0.993 - - 0.996 - - 0.996 - - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - 0.993 2 - </td <td>μ (3.30) (3.30) μ (3.30) (</td> <td>σ $\overline{135}$ 127 $\overline{093}$ 196 148 083 234 127 0093 234 127 0093 234 127 100 089 214 175 101 $\overline{1175}$ 101 $\overline{1175}$</td>	μ (3.30) (3.30) μ (3.30) (σ $\overline{135}$ 127 $\overline{093}$ 196 148 083 234 127 0093 234 127 0093 234 127 100 089 214 175 101 $\overline{1175}$ 101 $\overline{1175}$
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series 25 Ag. series Kind of concrete 10 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-15.0 15-CY-SP-7.50	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 29 29 29 29 21 29 29 29 21 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031: Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diade (cm) (cm) 9.969 15.0273 7.5051 0.0051	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 9.436 9.4427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.4427 7.156 9.457 4.442 7.237 9.537 of nen Length (cm) 0.067 5.091 0.067 5.0081	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19 19~27 21~30 20~37	263 Prisr st M (\tg/ca ⁺) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 13.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.5 16.5 16.7 Cylind st M (\tg/ca ⁺) 26.3 23.6 22.8 25.6 25.7	15.3 n ter rengt SD 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 SD (kg/ml) 2.24 1.51 3.63 2.24 1.51 3.62 2.47 1.45 SD (kg/ml) 2.66 2.24 1.51 3.63 2.24 1.45 SD (kg/ml) 4.65 2.24 1.45	$\begin{array}{c c} 5.80 \\ \hline \\ 15.80 \\ \hline \\ $	[0.956 r 0.976 0.983 0.966 0.966 0.966 0.980 0.976 0.983 0.995 0.995	117.56X-98.3c Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.73Y 92.90	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54 12.42	$\begin{array}{c c} 16.56\\ \hline \\ \hline$	-0.923 Norm r -0.991 -0.989 -0.989 -0.989 -0.988 -0.988 -0.989 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.9992 -0.9980 -0.9961	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c} 18.5 \\ \hline \\ 8.5 \\ \hline \\ 5.5 \\ \hline \\ 5.68 \\ \hline \\78 \\ $	-0.905 -0.905 r -0.992 -0.992 0.992 0.966 -0.993 0.996 0.966 -0.993 0.996 0.966 -0.993 0.996 0.996 -0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.993 2 0.993 0.985 3 0.985 0.987 0.997	μ 6 δ.02 0.7 δ.02 0.7 δ.02 0.7 δ.04 0.1 δ.04 0.1 δ.07 0.1 δ.07 0.1 δ.07 0.1 δ.07 0.1 δ.08 0.2 δ.08 0.2 δ.09 0.1 δ.90 0.2 δ.97 0.1 δ.87 0.1 δ.87 0.1 δ.97 0.1	σ 135 127 093 196 148 083 234 127 089 214 175 101 σ 112 175 101 σ 112 175 101 σ 112 175 101 175
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Xind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 27 29 29 29 29 29 21 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031: Size specin Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diago 1 (cm) 6 7.496 1 9.969 2 15.0273 7.505 1 10.001 2 14 980/2	30.135 of men Depth (cm) 4.412 7.166 9.436 9.436 9.436 9.442 7.135 9.519 4.412 7.156 9.447 4.442 7.237 9.537 of nen Length (cm) 0.081 0.067 5.108 0.073 0.0124	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19 19~27 21~30 20~35	263 Prisr st M (\tg/ca ⁺) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (\tg/ca ⁺) 26.3 23.6 22.8 25.6 25.7 24 1	15.3 n terrengti SD (kg/ml) 2.46 2.32 1.75 3.63 2.247 1.51 3.62 2.47 1.45 der sprength SD 2.63 3.45 1.69 2.241 4.12 2.49	$\begin{array}{c c} 5.80\\ \hline \\ 15.80\\ \hline \\ 10.36\\ \hline \\ (%) \\ 10.36\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 10.40\\ \hline \\ 10.00\\ \hline$	[0.956 r 0.9766 0.983 0.966 0.966 0.966 0.976 0.980 0.9776 0.983 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.958 0.959 0.958 0.958 0.959 0.958 0.958 0.959 0.958 0.958 0.959 0.958 0.959 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.956 0.958 0.958 0.956 0.958 0.958 0.956 0.958 0.958 0.956 0.958 0.958 0.956 0.958 0.958 0.956 0.958 0.958 0.956 0.958 0.9	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 4.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.75X-32.40 10.55X-32.40	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54 12.42 6.73	$\begin{array}{c c} \hline 16.56\\ \hline \\ \hline$	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.988 -0.988 -0.988 -0.986 -0.986 -0.995 -0.995 -0.992 Norm r -0.950 -0.950 -0.952 -0.959	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 r 0.992 5 0.993 3 0.986 3 0.986 3 0.986 3 0.988 3 0.989 2 0.993 2 0.998 3 0.995 3 0.985 3 0	μ (σ $\overline{135}$ 127 093 $\overline{196}$ 148 083 234 127 089 214 127 089 214 175 101 σ $\overline{112}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{101}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{175}$ $\overline{112}$ $\overline{177}$ $\overline{112}$ $\overline{177}$ $\overline{112}$ $\overline{177}$ $\overline{116}$ 1
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Xind of concrete 10 Ag. series 15 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-15.0 15-CY-SP-7.50	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 27 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031; Size specir Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø 7.4961 9.9692 15.0273 7.5051 10.0012 14.9803 7.5051	30.135 of men Depth (cm) 24.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 9.537 0 f nen Length (cm) 5.091 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.0124 5.094	211~282 Range of strength (kg/cri) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~21 13~20 Range of strength (kg/cri) 22~33 16~19 19~27 21~30 20~35 19~30	263 Prisr st M (lg/ca ²) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (lg/ca ²) 26.3 23.6 22.8 25.6 25.7 24.1 23.6	15.3 n terrengti SD (kg/ml) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.247 1.45 der sprength SD (kg/ml) 2.63 3.45 1.69 2.24 1.90	$\begin{array}{c c} 5.80\\ \hline \\ 15.80\\ \hline \\ 10.36\\ \hline \\ (%) \\ 10.36\\ \hline \\ 10.36\\ \hline \\ 8.34\\ \hline \\ 10.36\\ \hline \\ 8.34\\ \hline \\ 10.36\\ \hline \\ 20.53\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 20.53\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 10.30\\ \hline \\ 8.72\\ \hline \\ 10.00\\ \hline \\ 10.00\\ \hline \\ 10.00\\ \hline \\ 8.62\\ \hline \\ 10.32\\ \hline \\ 8.62\\ \hline \\ 10.32\\ \hline \\ 8.65\\ \hline \\ 0.35\\ \hline 0.35\\ \hline \\ 0.35\\ \hline 0.3$	[0.95] r 0.976 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.980 0.980 0.980 0.980 0.980 0.980 0.980 0.980 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.995 0.955	U2:56X-98.3c Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 8.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.73X-22.29 10.55X-34.06	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54 12.42 6.73 13.46	$\begin{array}{c c} \hline 16.56\\ \hline \\ \hline$	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.986 -0.986 -0.945 -0.986 -0.945 -0.995 -0.992 Norm r -0.959 -0.992 -0.993 -0.992 -0.992 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.995 -0.992 -0.992 -0.993 -0.995 -0.992 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.992 -0.993 -0.993 -0.992 -0.992 -0.993 -0.993 -0.992 -0.993 -0.993 -0.993 -0.992 -0.993 	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 r 0.992 0.992 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.988 0.995 0.995 0.995 0.996 0.997 0.998 0.987 cog-noi r 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.980 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.989 0.989 0.989	μ 6 3.02 0 3.11 0 3.11 0 3.02 0 3.11 0 3.04 0(3.01 0 3.02 0 3.02 0 3.01 0 3.02 0 3.01 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.03 0 3.02 0 3.04 0 3.01 0 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 5 7 5 7 5 7 5 7 5 7 5 7 5 <t< td=""><td>$\sigma \\ \hline 135 \\ 127 \\ 093 \\ 196 \\ 148 \\ 083 \\ 234 \\ 127 \\ 089 \\ 214 \\ 175 \\ 101 \\ 175 \\ 101 \\ 101 \\ 101 \\ 175 \\ 101 \\ 101 \\ 101 \\ 100 \\ 4$</td></t<>	$ \sigma \\ \hline 135 \\ 127 \\ 093 \\ 196 \\ 148 \\ 083 \\ 234 \\ 127 \\ 089 \\ 214 \\ 175 \\ 101 \\ 175 \\ 101 \\ 101 \\ 101 \\ 175 \\ 101 \\ 101 \\ 101 \\ 100 \\ 4 $
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Xind of concrete 10 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0 20-CY-SP-15.0	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 27 29 29 29 29 21 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031; Size specir Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø 7.479 9.912 Size specir 0.9.921 5.027 3 7.505 1 10.0012 14.980 3 7.503 1 10.000 2	30.135 of men Depth (cm) 24.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 9.557 9.537 0 f men Length (cm) 5.091 0.081 0.081 0.081	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~28 17~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19 19~27 21~30 20~35 19~30	263 Prisr st M (lg/ca ¹) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (lg/ca ¹) 26.3 23.6 22.8 25.6 25.4	15.3 n terrengt SD (kg/dr) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.247 1.45 der sprength SDD 2.63 3.45 1.69 2.241 4.12 2.49 1.90 3.11	$\begin{array}{c c} 5.80 \\ \hline \\ 15.80 \\ \hline \\ $	[0.95] r 0.976 0.969 0.969 0.969 0.969 0.969 0.980 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.995	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 4.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-32.73 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.73X-22.29 10.55X-34.06 10.55X-34.06 10.55X-34.06 10.55X-34.06 10.55X-34.06 10.55X-34.06 10.55X-34.06 10.55X-34.07 8.82X-28.97	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 15.61 5.31 10.16 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54 10.454 6.73 10.346	16.56 β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16 6.21 11.58 β 9.78 6.34 13.52 11.42 5.73 9.55 22.46 7.82	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.980 -0.980 -0.986 -0.995 -0.998 -0.998 -0.998 -0.988 -0.9	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 r 0.992 0.956 0.956 0.933 0.9393 0.9393 0.9393 0.9393 0.9393 0.9393 0.9393 0.9393 0.9394 0.9395 0.9395 0.9395 0.9397	μ (3.02 0.1 3.01 0.1 3.02 0.1 3.11 0.1 0.04 0.4 3.02 0.1 3.11 0.1 1.07 0.1 3.02 0.1 3.	$ \sigma \\ 1355 \\ 127 \\ 093 \\ 1368 \\ 128 \\ 127 \\ 093 \\ 128 \\ 127 \\ 089 \\ 234 \\ 127 \\ 1089 \\ 234 \\ 175 \\ 101 \\ 1089 \\ 179 \\ 112 \\ 171 \\ 1084 \\ 098 \\ 779 \\ 112 \\ 171 \\ 1084 \\ 140 \\$
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Xind of concrete 10 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 20 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 20-PR-T-9.68 20-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0 20-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 27 29 29 29 21 29 29 29 21 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031; Size specir Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø 7.479 9.912 Size specir Diaø 7.490 9.9612 5.0273 7.5051 10.0012 14.9803 7.5031 10.0002 14.9863	30.135 of men Depth (cm) 2.4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 9.519 4.412 7.156 9.457 9.537 9.537 0 f men Length (cm) 0.081 0.067 5.108 0.073 0.124	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19 19~27 21~30 20~35 19~30 19~28	263 Prisr st M (lg/ca ¹) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylind st M (lg/ca ¹) 26.3 23.6 23.6 22.8 25.6 25.7 24.1 23.6 25.4 23.6	15.3 n terrengt SD (lg/gml) 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.247 1.45 SD (lg/gml) 2.63 3.62 2.47 1.45 SD (lg/gml) 2.63 3.45 1.69 2.21 4.12 2.49 1.90 3.11	$\begin{array}{c c} 5.80 \\ \hline \\ 15.80 \\ \hline \\ $	[0.956 r 0.976 0.965 0.965 0.965 0.965 0.965 0.976 0.980 0.976 0.980 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.995 0.956 0.956 0.956 0.965 0.956 0.993 0.993 0.993 0.9958 0.956 0.95	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 4.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.73X-22.29 10.55X-34.06 10.346X-43.07 8.62X-28.97 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 8.63X-27.71 2.42X-43.07 3.45X-43.07 3.45X-	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 5.31 10.16 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 12.42 6.73 10.58 8.82 8.63 8.62	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16 6.21 11.58 β 9.78 6.34 13.52 11.42 5.73 9.55 7.42 2.46 7.52	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.980 -0.980 -0.945 -0.945 -0.945 -0.945 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.995 -0.992 -0.995 -0.995 -0.992 -0.995 -0.995 -0.992 -0.995 -	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 r 0.992 0.956 0.956 0.956 0.956 0.935 0.988 0.986 0.996 0.996 0.996 0.996 0.996 0.995 0.995 0.996 0.997 0.998 0.987 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.988 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989 0.989	μ α 3.02 0 3.11 0 3.01 0 3.11 0 3.02 0 3.11 0 3.04 0(3.01 0 3.02 0 3.01 0 3.02 0 3.01 0 3.02 0 3.01 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.02 0 3.03 0 3.02 0 3.04 0 3.02 0 3.05 0 3.01 0 3.05 0 3.01 0 3.05 0 3.01 0 3.05 0 3.01 0 3.05 0 3.01 0 3.01 0 3.01 0 3.01 0 3.01 0 3.01 0 3.01 0 3.02 0 3.01 0 3.03 0 3.01 0 3.03 0 3.02 0	σ 1355 127 093 125 127 093 126 148 083 234 127 089 234 175 101 ist. σ 112 171 084 098 179 116 094 140 148
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Kind of concrete 10 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series 26 Ag. series 27 Ag. series 20 Ag. series 27 Ag. series 20 Ag. series 20 Ag.	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-7.25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 25-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-10.0 10-CY-SP-15.0 15-CY-SP-15.0 15-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50 20-CY-SP-7.50	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031; Size specir Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø 9.921 5.0273 7.5051 10.0012 14.9803 7.5051 10.0002 14.9863 7.5051 10.0002 14.9863 7.5051	30.135 of men Depth (cm) 2.4.412 7.166 9.436 4.427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 9.519 4.412 7.156 9.537 9.537 0 f men Length (cm) 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.027 5.108	211~282 Range of strength (kg/cm ²) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~25 13~28 17~22 11~26 15~26 16~22 13~28 17~21 13~20 Range of strength (kg/cm ²) 22~33 16~19 22~33 16~19 22~33 16~29 14~22 19~28 20~32 16~29 14~29 90~21 14~22	263 Prisr st M (lg/ar) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 18.6 16.5 16.5 16.7 Cyling 23.6 22.8 25.6 25.7 24.1 23.6 25.4 23.6 25.4 23.6 25.4 23.6 25.4 23.6 25.4 23.6 25.4	15.3 n terrengt SD (lg/g'm') 2.46 2.32 1.75 3.59 2.78 1.24 3.63 2.247 1.45 3.62 2.47 1.45 SD (lg/g'm') 2.63 3.45 1.69 2.21 4.12 2.49 3.45 1.90 3.11 2.90 3.49	5.80 15.80 15.80 10.36 8.34 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 (%) 10.30 7.84 19.42 15.04 (%) 10.30 10.30 7.84 10.30 10.42 10.30 10.40 10.42 10.42 10.42 10.42 10.42 10.42 10.32	[0.956 r 0.976 0.983 0.965 0.965 0.965 0.976 0.980 0.976 0.980 0.976 0.980 0.976 0.980 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.995 0.936 0.936 0.995 0.936 0.995 0.955 0.995	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 4.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.73X-22.29 10.55X-34.06 6.73X-22.29 10.55X-34.06 7.34X-23.64 13.46X-43.07 8.82X-28.97 8.63X-27.71 6.74X-21.65	117.56 list. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 6.31 10.16 14.10 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54 12.42 6.73 13.46 8.82 8.63 6.74	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 13.10 4.61 4.61 4.61 11.58 β 9.78 6.34 13.52 11.42 5.73 9.55 7.62 7.63 5.74	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.981 -0.986 -0.986 -0.945 -0.94	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 r 0.992 0.956 0.956 0.956 0.956 0.935 0.935 0.936 0.935 0.935 0.935 0.935 0.935 0.935 0.935 0.935 0.936 0.937 0.937 0.938	μ (3.02 0 3.01 0 3.01 0 3.04 0(3.01 0 3.04 0(3.01 0 3.04 0(3.01 0 3.04 0(3.02 0 3.02 0.	$ \sigma \\ 1355 \\ 127 \\ 093 \\ 128 \\ 083 \\ 234 \\ 127 \\ 089 \\ 214 \\ 175 \\ 101 \\ 127 \\ 101 \\ 127 \\ 089 \\ 214 \\ 175 \\ 101 \\ 101 \\ 102 \\ 100 $
Kind of concrete 10 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series Xind of concrete 10 Ag. series 25 Ag. series 20 Ag. series 20 Ag. series 25 Ag. series	Notation of specimen 10-PR-T-4.46 10-PR-T-25 10-PR-T-9.68 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 15-PR-T-7.25 15-PR-T-9.68 20-PR-T-4.46 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 25-PR-T-9.68 Notation of specimen 10-CY-SP-7.50 10-CY-SP-10.0 15-CY-SP-10.0 15-CY-SP-15.0 20-CY-SP-15.0 25-CY-SP-15.0	27 No. of specimen 26 28 30 28 28 28 28 27 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	115.031; Size specir Width (cm) 4.627 7.368 9.864 4.641 7.463 9.942 4.643 7.423 9.926 4.587 7.479 9.912 Size specir Diaø 1 0.9912 5.0273 7.5051 10.0012 14.9863 7.5051 10.0012 14.9863 7.5051 10.0012 14.9863 7.5051 10.0012 14.9863 7.5051 10.012	30.135 of men Depth (cm) 24.412 7.166 9.436 9.436 9.4427 7.135 9.519 4.412 7.156 9.457 4.442 9.457 4.442 9.537 9.537 0f men Length (cm) 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.025 5.094 0.0124	211~282 Range of Strength (kg/cm ³) 16~26 16~27 17~25 13~28 17~28 14~22 11~26 15~26 16~22 13~28 11~21 13~20 Range of Strength (kg/cm ³) 22~33 16~19 22~33 16~19 22~32 19~27 21~30 20~35 19~27 21~30 20~32 16~29 14~29 20~32 16~29 14~29 20~36 17~26 17~26 17~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~26 10~27 10~27 20~35 19~27 20~32 10~22 10~27	263 Prisr st M ((kg/car ³) 20.7 22.4 20.9 20.5 21.5 21.5 18.5 17.7 21.8 19.3 18.6 16.5 16.7 Cylina st M ((kg/car ³) 23.6 23.6 25.7 24.1 23.6 25.4 25.4 23.6 23.1 24.8 22.1	15.3 n terrengt SD (lg/gf) 2.46 2.32 1.75 3.59 1.24 3.63 2.247 1.61 3.62 2.47 1.45 Ger sprength SD 2.21 4.12 2.49 1.69 2.11 2.90 3.49 3.06 2.11	5.80 15:10 10.36 (%) 10.36 8.34 17.52 12.85 6.73 20.53 10.30 7.84 19.42 15.04 8.72 0.30 7.84 19.42 15.04 (%) 10.30 7.84 19.42 15.04 (%) 10.30 10.30 19.42 15.04 (%) 10.30 10.30 19.42 15.04 (%) 10.30 10.41 10.41 10.42 10.42 10.32	[0.956 r 0.976 0.965 0.965 0.965 0.966 0.966 0.966 0.966 0.976 0.980 0.976 0.980 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.993 0.995	Weibull c LN(-LN(1-P)) 9.16X-28.23 10.19X-32.17 13.22X-40.68 6.27X-19.38 4.42X-26.37 15.61X-46.04 5.31X-15.67 10.16X-31.77 14.10X-42.23 5.60X-16.80 7.21X-20.64 12.58X-35.87 Weibull dis LN(-LN(1-P)) 10.78X-35.72 7.34X-23.64 14.52X-45.87 12.42X-40.78 6.73X-22.29 10.55X-34.06 6.73X-22.29 10.55X-34.06 8.63X-27.71 3.46X-43.07 8.82X-28.97 8.63X-27.71 6.74X-21.65 8.66X-28.26	117.56 Iist. Slope 9.16 10.19 13.22 6.27 8.42 15.61 15.61 15.61 15.61 15.61 14.10 5.60 7.21 12.58 st. Slope 10.78 7.34 14.54 10.454 8.82 8.63 6.74 8.663 6.74 8.663 6.74	β 8.16 9.19 12.22 5.27 7.42 14.61 4.31 9.16 6.21 11.58 β 9.78 6.34 13.52 11.42 5.73 9.55 2.462 7.82 7.63 5.74 7.663	-0.923 Norm r -0.991 -0.967 -0.989 -0.981 -0.986 -0.986 -0.995 -0.998 -0.9	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-0.905 r 0.992 0.956 0.956 0.956 0.956 0.935 0.936 0.936 0.935 0.936 0.935 0.935 0.935 0.935 0.935 0.935 0.936 0.937 0.937 0.938 0.937 0.938	μ (3.02 0 3.01 0 3.01 0 3.04 0(3.01 0 3.04 0(3.01 0 3.04 0(3.01 0 3.04 0(3.04 0 3.05 0.	$ \sigma \\ 1355 \\ 127 \\ 093 \\ 128 \\ 083 \\ 234 \\ 127 \\ 089 \\ 234 \\ 127 \\ 100 \\ 148 \\ 083 \\ 234 \\ 175 \\ 101 \\ 101 \\ 101 \\ 101 \\ 100 $

く知られた確率分布で強度の確率分布を代表させると, ややもすれば上下限近くでは実際の分布とはずれるた め,この領域の強度分布を重視する場合には新たな確率 分布を求める必要がある。目下,データを蓄積中であり, 今後より信頼性のある確率分布を求める予定である。

3.2 強度の寸法効果

図-4にコンクリートの各種強度(F)と供試体寸法(S) (SはDと同じ)との関係を示す。圧縮強度は角柱、シ リンダー供試体ともに供試体寸法Sが約10cmのとき最 大値を示し、Sが10cmより大きくなるにつれて、徐々に 強度が減少して行く。一方, Sが10cm より小さくなるに つれて,耐力は,やはり減少して行くが,骨材粒径の大 きなコンクリートほど、大きな骨材が確定的に、一次的 に強度に影響を与えるためか、強度の減少率が大きい。 コンクリート中の骨材の粒径の小さなコンクリートほ ど、大きな強度を示した。この傾向は直接引張強度試験 および割裂引張強度試験における強度でも同じである。 図-4下段の PR-T および PR-SP シリーズの供試体の 結果に示すごとく、コンクリートの引張強度は、直接引 張試験による角柱供試体では、供試体寸法Sが7.25cm の場合、割裂引張試験によるシリンダー供試体ではSが ϕ10cm の場合に, 強度のピークに達し, これらの供試体

寸法よりも寸法が大きくなるにつれて、漸次、強度は減 少する傾向を示している。この傾向は実験 I¹³⁾の場合に おいても同様であった。コンクリートの直接引張強度お よび割裂引張強度は、ともに、供試体寸法および骨材粒 径の相違によって、大きな影響を受けることを、実験 I および実験 II は示した。一般に、圧縮強度、引張強度と もに、骨材粒径の大きなコンクリートシリーズほど低い 強度を示した。

図-5は強度と D/d との関係を示したものである。角 柱供試体の圧縮強度は、D/d が約4以上の範囲では強度 の上昇はあまり見られず、どのD/d に対しても、ほぼ同 じような強度を示している。D/d の値が逆に4より小さ くなると角柱圧縮強度は急激に強度低下を示す。この傾 向は、同じくコンクリートを横打ちで製作した角柱引張 供試体でも同じ傾向を示しているが、シリンダー供試体 では、圧縮、割裂両供試体ともD/d=3のものでも、強 度の急激な低下は見られない。

3.3 材料定数 β と変動係数 CV

図-6に β とSとの関係を示す。一部のデータにばら つきが見られるものの,圧縮強度では供試体寸法Sの値 が大きくなるとともに, β の値は大きくなる傾向を示し, 小さな骨材のものほど大きな β の値を示した。図-7に







beam	Ma	in reinford	ement	Cross section			Shear	Bending	Span	Beam	Sti	Seelo		
corice		diameter	cross sec.	b	h	d	span	span	Ob(om)	length	Dia.	spacing	scale	
Sel 155		(mm)	$area(cm^2)$	(cm)	(cm)	(cm)	3h(cm)	3h(cm)	511(CIII)	12h(cm)	(mm)	(cm)	Tatio	
BC- I	2-ø6	5.65	0.249	4.47	8.93	8.04	26.79	26.79	80.37	107.16	ø2.6	1.59	0.462	
BC-Ⅲ	2-D10	9.16	0.662	7.25	14.49	13.04	43.47	43.47	130.41	173.88	ø4.5	2.93	0.749	
BC-Ⅳ	2-D13	12.25	1.179	12.45	24.90	22.41	74.70	74.70	224.10	298.80	ø5.5	3.27	1	

表一5 曲げ実験用鉄筋コンクリート単純ばりの概要

 $\beta \ge D/d \ge o$ 関係を示す。 $D/d の値が4 \pm 0$ も小さくなると β はかなり小さな値を示し、強度のばらつきが大きくなることを示している。一方、D/d > 4の範囲では、 CY-SP 供試体を除いて、D/dの増加とともに、 β の値はほぼ増加する傾向を示している。

図-8に強度の変動係数 CV と供試体寸法 S との関 係を示す。角柱圧縮供試体の方がシリンダー供試体のそ れよりも低い CV の値を示す。PR-C 供試体では、S= 4.46cm の25Ag., 20Ag.および15Ag.シリーズで、CY-C 供試体では、S=7.5cm の25Ag.シリーズで、CV の値が 10%を越えている。一方、引張供試体は、圧縮供試体よ りも全般的に 4 ~ 5 %ほど大きな変動係数を示した。特 に、PR-T 供試体では、S=4.46cm の全供試体で、CY-SP 供試体では、S=7.5cm の10Ag.および15Ag.シリーズの 供試体が15%を越える CV の値を示した。本来、10Ag.と 15Ag.シリーズよりも25Ag.と20Ag.シリーズの方が15% を越える可能性が高いはずである。機械的誤差が含まれ ているために、そのような逆の現象を示し、結果が逆の 方向にばらついたものと考えられる。

図-9に CV と D/d との関係を示す。PR-C および CY-C 供試体では、D/d>4 の範囲で CV の値は10%を 下回っている。横打ち角柱圧縮供試体のモデル実験では、 D/d>4 の範囲で骨材寸法と供試体寸法を選べば、変動 係数はあまり大きくなく、実験に好都合である。縦打ち 圧縮シリンダーの実験では、S=7.5cm、25Ag.シリーズ の供試体を除き、他の供試体はいずれも CV の値が角柱 供試体のそれとほぼ同じ傾向を示した。したがって、シ リンダー供試体の場合においても、D/d>4 の範囲がモ デル実験の実用範囲であると考えられる。PR-T 供試体 では、D/d>4 の範囲では、CV の値が急激に増加するた め、D/d>4 の範囲が実用範囲と考えられる

一般的に, D/d<4の範囲では強度の変動係数CV の値が急激に増加していることを実験は示している。し かしながら,この範囲のD/dでも4に近いものでは比較 的小さなCVの値を示す場合もある。単一粒径骨材から なるコンクリートとは異なり,多粒径骨材からなるコン クリートでは,仮にD/dが極端に小さくなっても,大き な骨材の存在がそのコンクリートの強度を確定的に,一 次的に決めてしまうとは限らず,D/dが小さなもので

表-6 使用鉄筋の物理的性質

				yield s	tr. Ø:sy	ultimate	str. Ø su	elonga	tion	
	М	5.65 m	m	4,020	kg/cm²	4,750	kg/cm²	27.4	%	
лс	VA	0.00689		15,900		20,200		6.13		
φολ	SD	0.0830 m	m	126	kg/cm²	142	kg/cm²	2.48	%	
	CV	1.47 %	6	3.14	%	2.99	%	9.05	%	
	Μ	9.18		4,140		6,020		23.6		
D10	VA	0.00537		4,400		24,900		2.15		
D10	SD	0.0733		66.4		158		1.47		
	CV	0.799		1.60		2.63		6.23		
	Μ	12.25		3,779		5,515		24.9		
D12	VA	0.0039		1,627		1,237		1.66		
D15	SD	0.0627		4,034		35		1.29		
ľ	CV	0.51		107		0.64		5.17		

も、確率論を適用できる場合もあるのではないかと考え るが、現段階では確定できず、今後の課題である。

図ー10に CV と β の関係を示す。図中の点線は永松 が報告した式によるものである。一般的に、実験値は理 論値よりもやや大きな CV の値を示している。

図 -11は10×10×40 cm および15×15×53 cm 曲げ 供試体の曲げ強度の値 F_bおよびこの曲げ試験後の供試 体による立方体供試体の圧縮強度の値cuFcとコンクリー ト中の骨材粒径との関係を寸法別に示す。図-12CcprFc/ cyFcとS, prFt/cyFspとSおよびprFt/prFcとSとの関係を示 す。prFcとprFtは,角柱供試体の圧縮強度および直接引張 強度を示す。cyFcとcyFspはシリンダー供試体の圧縮強度 および割裂引張強度を示す。これらの図はS=7.25 cm, 9.68 cm および15.0 cm の角柱供試体と ϕ =7.5 cm, 10.0 cm および15.0 cm のりリンダー供試体とを対応させて, 便宜的に求めたものである。prFc/cyFcの値は,供試体寸法 が大きくなるにつれて,漸次,1.0から0.85程度に減少す る傾向を示している。prFt/cyFspの値も同様,供試体寸法 が大きくなると,小さくなる傾向を示しており,しかも それらの値が0.9から0.7~0.8 に減じている。

 3.4 凝似乱数の発生とRC ばりの終局強度のシミュ レーション

図-13および表-5に、実験およびシミュレーション に使用した RC 単純ばりによる曲げ供試体の概要および 寸法を示す。表-6に実験およびシミュレーションに用 いた鉄筋の物理的性質を示す。実験に用いたコンクリー ト角柱圧縮供試体の寸法 D×D×3D の値は、はりの幅 b

Kind of	Notation o	of	Pris s	m Co treng	mpre. th		Weibull di	Normal dist.			Log-normal dist.				
concrete	specimen		M (kg/cm²)	SD (kg/cm²)	CV (%)	r	LN(-LN(1-P))	Slope	β	r	μ	σ	r	μ	σ
	15-PR-C-4.465	А	236	14.7	6.23	0.943	15.42X- 84.76	15.42	14.42	-0.908	237	18.9	-0.901	5.46	0.084
		В	236	14.6	6.21	1.000	20.12X-110.43	20.12	19.12	-0.988	236	15.2	-0.981	5.46	0.067
		С	236	15.3	6.49	0.977	19.31X-106.05	19.31	18.31	-0.997	236	15.2	-0.997	5.46	0.067
15 A m		A	224	13.0	5.79	0.933	17.34X- 94.34	17.34	16.34	-0.943	224	16.1	-0.953	5.41	0.070
15 Ag.	15-PR-C-7.245	В	224	12.9	5.76	0.993	23.65 X - 117.74	23.65	19.07	-0.981	224	13.5	-0.971	5.41	0.063
series		С	224	13.2	5.88	0.976	21.34 X - 116.04	21.34	20.34	-0.997	224	13.6	-1.000	5.41	0.060
		А	210	10.1	4.83	0.978	21.30 X - 114.37	21.30	20.30	-0.977	210	12.1	-0.978	5.34	0.058
	15-PR-C-9.675	В	210	10.4	4.95	1.000	$25.50 X \cdot 136.91$	24.50	24.50	-0.984	210	10.8	-1.000	5.35	0.053
		С	210	10.5	4.99	0.988	25.54X-137.09	25.54	24.54	-0.998	210	10.7	-0.999	5.35	0.051

表一7 コンクリート角柱の圧縮強度の実験値と凝似乱数の統計処理結果

A : measured

B : simulation (concrete: weibull dist.)

C : simulation (concrete: normal dist.)

Kind of	Beam		Ultimate load of beam				Weibull d	ist.		Nor	mal d	ist.	Log-normal dist.		
concrete	series		M (t)	SD (t)	CV (%)	r	LN(-LN(1-P))	Slope	β	r	μ	б	r	μ	σ
	I	Α	1.17	0.027	2.29	0.90	40.12X- 6.63	40.12	39.1	-0.92	1.17	0.035	-0.93	0.15	0.029
		В	1.14	0.041	3.57	0.98	35.60X- 5.17	35.60	34.6	-1.00	1.14	0.042	-1.00	0.13	0.037
		С	1.14	0.041	3.56	1.00	35.37X- 5.13	35.37	34.4	-1.00	1.14	0.042	-1.00	0.13	0.036
15 A.a.	Ш	Α	3.00	0.053	1.78	1.00	57.71X- 63.77	57.71	56.7	-0.99	3.00	0.066	-1.00	1.10	0.021
10 Ag.		В	2.87	0.074	2.59	1.00	53.60X- 57.05	53.60	52.6	-0.99	2.87	0.071	-1.00	1.05	0.025
Series		С	2.87	0.073	2.53	0.98	53.70X- 57.19	53.70	52.7	-1.00	2.87	0.070	-1.00	1.05	0.024
	IV	A	4.86	0.093	1.91	0.90	48.27X- 76.83	48.27	47.3	-0.93	4.86	0.121	-0.94	1.58	0.024
		В	5.04	0.108	2.41	1.00	67.26X-109.36	67.26	66.3	-1.00	5.04	0.100	-1.00	1.62	0.020
		C	5.04	0.105	2.09	0.99	68.71X-111.68	68.71	67.7	-1.00	5.04	0.097	-1.00	1.62	0.019

表-8 RC単純ばりの終局曲げ強度の実験値とシミュレーション結果の比較

A : measured

B : simulation (concrete : weibull dist. steel bar : normal dist.)

C : simulation (concrete : normal dist. steel bar : normal dist.)



をb=Dとした場合のDの値を用いた。

表-4は、別に実験を行った水セメント比70%のコンク リート角柱圧縮供試体の入力値と発生した凝似乱数を統 計処理した結果である。A は実験値で、凝似乱数は、こ のAの覧のM:平均値およびSD:標準偏差を用いて発 生させたものである。B はコンクリート強度の確率分布 をワイブル分布と仮定したもので、C は正規分布と仮定 して発生させた凝似乱数の統計処理結果である。表-8 は表-7に示すコンクリートと同時に打込んだ前述の RC単純ばりの終局曲げ強度時の荷重Puとシミュレー ション結果を比較したものである。A は実験結果の統計



処理結果を示す。B はコンクリート強度の確率分布をワ イブル分布,鉄筋のそれを正規分布と見なしてシミュレ ーションを行ったもので、C はコンクリートと鉄筋の分 布を,ともに、正規分布と見なしてシミュレーションを 行った結果を統計処理したものである。B および C とも に、実験値のばらつきをよく再現している。図一14は、 15Ag.シリーズのはり (at:2-D13; BC-15-IVはり)の終 局耐力 Pu の実験値とシミュレーション結果をワイブル 確率紙および正規確率紙上で比較したものである。実験 値と計算値は、平均値 M で約3.5%、変動係数 CV の値 で約2.5%の差が認められるだけであり、その確率分布は 実験値をよく再現しているものと考える。

4. むすび

コンクリート強度に大きな影響を及ぼす供試体寸法と 骨材粒径をかえて各種の強度試験を実施した結果,次の ような結論を得た。

- (1) 強度の確率分布は、強度の上下限を除けばワイブル 分布、正規分布および対数正規分布と極めてよく似た 分布を示す。強度の上下限近くの分布を重視する場合 は、新たな確率分布を求める必要がある。
- (2) コンクリートの圧縮強度はSが10cmのとき最大値 を示し、S>10の範囲ではSの増加と共に強度が徐々 に低下しているが、S<10の範囲では、Sの減少ととも に強度が急激に低下しており、しかも骨材の粒径の小 さなコンクリートほど、大きな圧縮強度と引張強度を 示した。
- (3) コンクリートを横打ちで製作した角柱供試体では、 圧縮強度,引張強度ともに、D/d<4の範囲では急激な 強度低下を示しており、実用範囲はD/d>4と考えら れる。
- (4) 強度の変動係数は供試体寸法が大きくなるにつれて、その低下率がゆるやかになり、供試体寸法が15cm近くになると、ほぼ一定値に落ちつく。
- (5) 角柱圧縮強度の変動係数の方がシリンダーのそれよりも低い値を示した。CVの値は供試体寸法が極端に小さく,骨材粒径の大きな供試体では10%を越えるものもみられる。一方,引張供試体は,圧縮供試体よりも4~5%ほど大きな変動係数を示した。
- (6) 角柱圧縮供試体、シリンダー圧縮供試体ともに、D/ d>4となるようにモデル実験の供試体の寸法と骨材 寸法を選べば、変動係数はあまり大きくなく、実験に 都合がよい。
- (7) 多粒径骨材からなるコンクリートでは、例え極端な D/dをもつコンクリートでも、モルタルと異なり、D/

dの大きなコンクリートと似た確率分布をするものも 見られるため、この範囲の D/d をもつ供試体に確率論 を適用できるかどうか、今回の結果だけでは、判断で きないので、今後の研究に待ちたい。

参考文献

- Sher Ali Mirza and James G. MacGregor : ACI Journal, Proceedings, Vol.76, No.47, Nov. 1979, pp.1159-1177.
- S. Koike : Proceeding of the Twenty-third Japan Congress on Materials Research, Mar. 1980, pp. 255-262.
- 3) Sher Ali Mirza, James G. MacGregor : Proceedings, ASCE, Vol.105, No. ST5, May 1979, pp. 921-937.
- 4) Sher Ali Mirza, Michael Hatzinikolas and James
 G. MacGregor : Proceedings, ASCE, Vol.105, No. ST6, June 1979, pp.1021-1037.
- 5) A. M. Neville : Magazine of Concrete Research, Aug. 1956, pp.101-110.
- 6) C. V. S. Kameswara Rao and R. N. Swamy : Cement and Concrete Research, Vol.4, 1974, pp. 669-681.
- 7) Gajanan M. Sabnis and Saeed M. Mirza : Proceedings, ASCE, Vol.105, No. ST6, June 1979, pp. 1007-1020.
- S. Nagamatsu : Review of 30th General Meeting of Cement Association of Japan, Vol.30, May 1976, pp.411-414.
- M. Hori : Method and Testing Machines, Bulletin Rilem No.11, June 1961, pp.73-81.
- 10) T. Yokobori : (Zairyo Kyodo Gaku, Second Edition) Iwanami-Zensho, Japan (1974).
- H. Mihashi : Thesis for a doctorate, Tohoku University, Japan (1976).
- 12) Y. Tanigawa, K. Yamada and Y. Yokoyama : Proceedings of the Twentieth Japan Congress on Materials Science, Japan, Kyoto, Japan 1977.
- S. Koike and Z. Kato : Bulletin of Aichi Institute of Technology, Vol.16, Part B, March 1981, pp. 203-213.
- 14) C. D. Johnston and E. H. Sidwell : Magazine of Concrete Research, Vol.20, No.65, Dec. 1968, pp. 221-228.

(受理 昭和57年1月16日)