

シュミットハンマーによる普通・軽量コンクリートの強度判定について

加藤 善之助* 小池 狭千朗*

Schmidt Hammer Test Results to Compressive Strength of Normalweight and Lightweight Concrete

Zennosuke KATO Sachio KOIKE

普通コンクリート並びに軽量コンクリートの圧縮強度をシュミットハンマーを用いて非破壊的に判定する方法は JSTM 式等により、すでに示されている。しかしながら、これらの式は発表されてから日時がかなり経過しており、かつ、それ以後の軽量コンクリートの発達はめざましいので、改めてこれらのコンクリートのシュミットハンマーによる強度推定式を実験により求めた。

1. まえがき

硬化したコンクリートの圧縮強度を非破壊的に判定する方法はいろいろあるが、本研究はこれらの方法のうち、コンクリートの表面硬度からコンクリートの強度を推定する方法の内でも、最も簡便で、かつ比較的強度推定の精度のよいシュミットハンマーによる反発かたさ試験を行い、水セメント比の異なる普通コンクリート並びに軽量コンクリートに対する強度推定式を求めたものである。

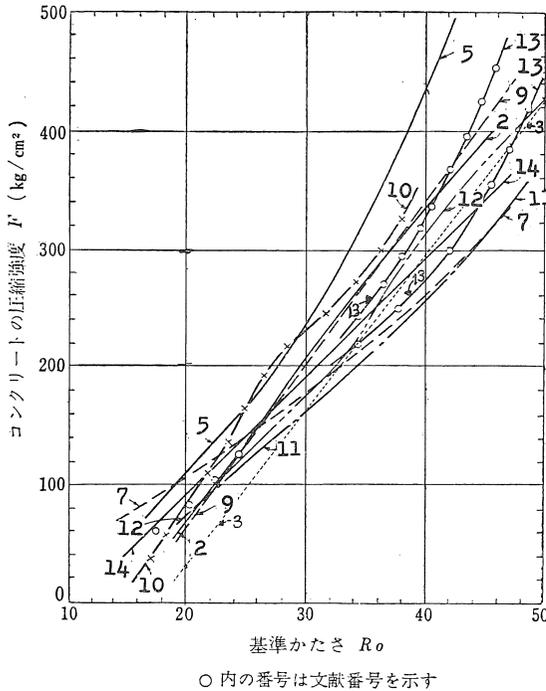
普通コンクリートの強度推定については、すでに昭和27年9月、坂静雄を委員長として、日本材料試験協会⁽¹⁾(JSTM)の中に、実施コンクリート強度判定委員会が発足して、簡易方法のうち、シュミットハンマーによる反発強度試験方法が研究され、昭和33年8月、N形によるシュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法(指針案)⁽¹⁾が作成され、コンクリートシリンドー圧縮強度 F と反発かたさ R には、 $F = -184 + 13.0R$ ⁽²⁾なる関係のあることが示された。本式は坂博士によって示されたもので、我国の実状にあう点で最も信頼性の高いものである。しかしながら、これらの式は比較的軟ねりのコンクリートに対するもので、かた練りコンクリートに対しては適用できないことが同氏によって報告されている。⁽³⁾

本研究は、普通コンクリートについては、比較的軟ねりのコンクリート($w/c=65\%$)からかた練りのコンクリート($w/c=40\%$)について、これらの関係がどうなるかをN形のシュミットハンマーを用いて調べたもので

ある。一方、普通コンクリートの強度推定についての試験研究⁽⁴⁾は多く見られるが、軽量コンクリートの強度推定についての研究はほとんど見るべきものがない。これはシュミットハンマーによる強度推定式を求めた当時、未だ現在のような軽量コンクリートが実用化されていなかったためである。本研究では最近、現場でも使用されるようになってきたこれらの軽量コンクリートにもシュミットハンマーの強度推定法を適用するため、水セメント比 $40\% \sim 65\%$ の軽量コンクリートに対する反発かたさ R と圧縮強度の関係を調べたものである。軽量コンクリートに対しては、一般にはL形のシュミットハンマーを使用することが望ましいが、⁽⁵⁾本実験実施までにL形シュミットハンマーが入手できなかったため、P形シュミットハンマーを用いて試験を実施した。このP形シュミットハンマーは、⁽¹⁾振子式ハンマーで、従来のシュミットハンマーと同様に反発力でコンクリートの表面硬度を測定するもので、これは水平面および垂直面の両方に対して試験でき、比較的low強度のコンクリートのとき、N形より正確に強度が求まるといわれているが、この点についても調べた。

2. 既往の各種提案式について

参考として普通コンクリートに関する各研究者による圧縮強度とN形シュミットハンマーの反発かたさとの関係を建築工事標準仕様書(JASS 5)⁽⁶⁾に示されている図などを引用して示せば、以下のとおりである。(図-1参照)



図一 既往の各種提案式

(1) 木村の実験式^{(7), (8)} 20cm立方体を 3t で圧定し, R の測定は鉄板に接した垂直測面で主に行い, 普通セメントで w/c=50%~83%, 材令 3日~2年のものについて, $F = -20.6 + 5.20R + 0.0486R^2$ なる実験式を求めた. 養生は85%前後の湿空養生で, 供試体は乾燥状態である.

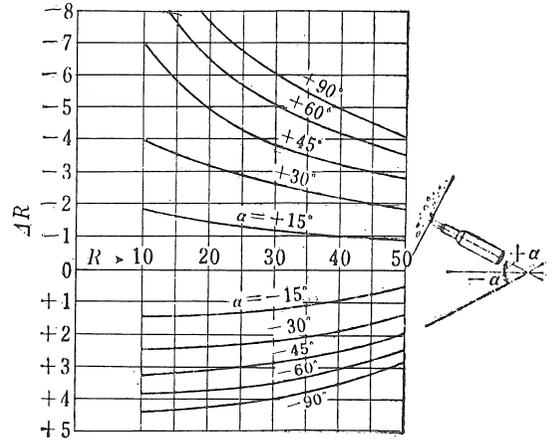
(2) 明石の実験式⁽⁹⁾

(3) Zoldners の実験式⁽¹⁰⁾

(4) EMPA の実験式⁽⁵⁾ シュミットハンマーの使用説明書に示されている式である. チューリッヒの連邦材料試験所で行われ, 立方体強度を円柱体強度に換算したのらしい. 骨材および配号にいろいろなものを使用し, 90%の湿空養生をしたものである. やや強度が高すぎる傾向にある.

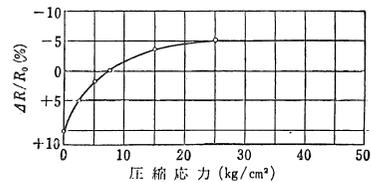
(5) 坂らの実験式⁽²⁾ 20cm立方体を 3t で圧定し, R の測定は木板に接した垂直面で行い, 普通, 早強, 高炉の3種のセメントで, それぞれの配合を w/c=42%~80%, 材令 3日~1年のものについて求め, 同時製作の円柱体強度 F との関係は $F = -184 + 13.0R$ と求めた. 養生は水中養生後, 湿空養生したもので, JSTM の委員会案の式に採用された.

(6) 坂, 六車, 安井の実験式⁽³⁾ かた練りコンクリートについて, 材令 7日および28日について実験し, $F = -249 + 13.9R$ を得たものである.



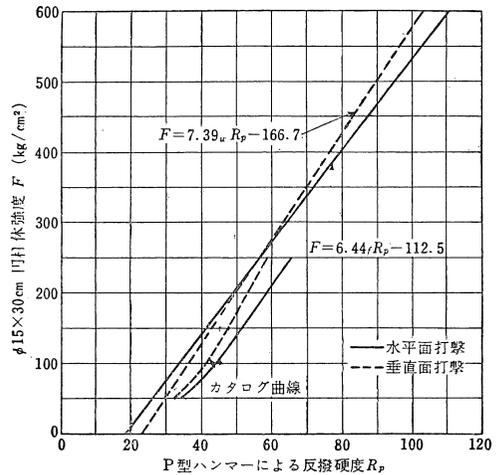
打撃方向の補正値 ΔR

図二 打撃方向の補正値 ΔR⁽¹⁾



応力による補正値 ΔR

図三 応力による補正値 ΔR



図四 P形シュミットハンマーによる R と圧縮強度との関係⁽¹⁾

(7) Greene の実験⁽¹¹⁾ 6"×12" の円柱供試体の底面で, R を下向打撃によって求め, 配合は約60種で, セメント量 223~388Kg/m³ である.

(8) Peterson と Stoll の実験⁽¹²⁾ (7) の Greene と同様に R を求めているが, ハンマーは N-I 形である. 種々

表一 1 供試体の種類および個数

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	普通コンクリート		軽量コンクリート	
		コンクリートシリンダ	角柱	コンクリートシリンダ	角柱
		10×20cm (本)	10×10×20cm (本)	10×20cm (本)	10×10×20cm (本)
40	15	12	2	12	2
	18	12	2	12	2
	21	12	2	12	2
45	15	12	2	12	2
	18	12	2	12	2
	21	12	2	12	2
50	15	12	2	12	2
	18	12	2	12	2
	21	12	2	12	2
55	15	12	2	12	2
	18	12	2	12	2
	21	12	2	12	2
60	15	12	2	12	2
	18	12	2	12	2
	21	12	2	12	2
65	15	12	2	—	—
	18	12	2	—	—
	21	12	2	12	2
合計		216	36	192	32

の養生、材令、骨材について圧縮強度、曲げ強度および動的弾性係数との関係を探っている。

(9) 佐治の実験⁽¹³⁾ 主として水中養生と大気養生との関係を出し、供試体は10×10×20cm角柱をたて方向に10tで圧定し、水平方向のRを測定している。強度試験も同じ供試体で求めている。w/cは50%~80%で、スランプ17cm~22cmである。材令は1ヶ月~10ヶ月で、Fの大きな値を示す式の方が水中養生に対するもので、Fの小さい値を示す式が大気中養生に対するものである。

(10) 東京都建築材料検査所の推定式⁽¹⁴⁾ $F = 10R - 110$ (Kg/cm²) で示されている。

前述の日本材料試験協会案には、N形シュミットハンマーの打撃方向が水平でない場合のRの補正值4Rのとり方と、供試体の受けている圧縮応力のちがいによる補正值4Rのとり方が示されている。参考までに図示すれば、図一2、図一3のとおりである。打撃方向によるかたさの変化に関する研究については、木村の試験⁽¹⁵⁾などでも行われている。

P形シュミットハンマー

振子式ハンマーで、コンクリートの表面硬度を測定する点ではN形と同じである。水平面と垂直面の両方の試験ができる。比較的低強度のコンクリートのとき、N形より正確に求められるといわれている。本研究では軽量コンクリートにP形シュミットハンマーを用いて、比較的高強度のコンクリートにまで適用してこの点を調べた。

P形ハンマーによる反発かたさと圧縮強度の関係については、各種のセメントを用いたコンクリート180個の20cm立方体供試体について反発かたさ Rp を測定し、また

表一 2 セメントの粉末度その他

粉末度		凝結		安定性	フロー
0.088mm (%)	比表面積 (g/cm ²)	始発	終結		
8.0	3440	1—51	2—59	良	237

表一 3 セメントの強さ

曲げ強さ Kg/cm ²		圧縮強さ Kg/cm ²		養生温度 (°C)
7日	28日	7日	28日	
45.1	70.2	240	420	20±0.5

表一 4 使用骨材の性質

コンクリート種類	最大粒径 (mm)	比重	粗粒率	吸水率 (%)	単容重量 (Kg/l)	
普通骨材	細骨材	2.5	2.54	2.93	1.76	1.76
	粗骨材	20	2.57	6.63	1.68	1.68
人工軽量骨材	細骨材	5	1.83	2.70	14.0	1.03
	粗骨材	15	1.57	6.54	8.1	0.74

同数の標準円柱供試体について強度Fを求めた結果は、

$$F = 6.44Rp - 112.5 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \text{ — 水平面打撃}$$

$$F = 7.39Rp - 166.7 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \text{ — 垂直面打撃}$$

として示されている。この関係を図一4に示す。本図にはスイスの取扱い説明書の結果も示す。

3. 試験方法

1) 供試体および実験計画

コンクリートの種類および強度が反発かたさ Rにおよぼす影響を調べるために、コンクリート種類を2種類(普通コンクリートと2種軽量コンクリート)とし、コンクリートの調合を水セメント比で6種(水セメント比=40, 45, 50, 60および65%)、同一水セメント比でスランプを3種(スランプ=15, 18および21cm)として、試験材令7日と28日において試験を行った。

供試体は標準試験用および参考として動的弾性係数測定用に、各シリーズ共に10×20cmコンクリートシリンダーを12本、シュミットハンマー試験用に10×10×20cm角柱を2本作成した。供試体の種類および個数を表一1に示す。

2) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント (K₂₈=420Kg/cm²) を使用した。セメントの物理的性質を表一2および表一3に示す。骨材は人工軽量骨材(細・粗骨材とも非造粒形、膨脹ケツ岩)および普通骨材(木曾川産の川砂・川砂利)を使用した。これらの骨材の物理的性質を表一4に示す。

3) コンクリートの調合および養生方法

コンクリートの調合を表一5および表一6に示す。表

表一5 普通コンクリートの調査表

水セメント比 (%)	スランブ (実測) (cm)	細骨材率 (o/v1)	単位水量 (Kg/m³)	重量 (Kg/m³)		
				セメント	砂	砂利
40	15	35.8	195	489	616	1106
	18	37.9	205	513	634	1040
	21	40.3	222	555	645	957
45	15	35.8	192	427	616	1106
	18	37.9	203	451	634	1040
	21	40.3	219	487	645	957
50	15	37.9	187	374	673	1106
	18	40.1	197	394	697	1040
	21	42.7	213	426	712	957
55	15	39.3	184	335	715	1106
	18	41.3	195	355	733	1040
	21	44.2	210	382	757	957
60	15	40.1	183	305	741	1106
	18	42.4	193	322	767	1040
	21	45.2	209	348	788	957
65	15	41.7	182	280	780	1089
	18	44.2	192	295	809	1023
	21	46.8	208	320	827	941

砂25mm以下, 砂利20mm以下

表一6 軽量コンクリートの調査表

水セメント比 (%)	スランブ (実測) (cm)	単位水量 (Kg/m³)	重量 (mg/m³)		
			セメント	細骨材	粗骨材
40	15	190	475	585	502
	18	200	500	568	487
	21	210	525	552	473
45	15	187	416	605	519
	18	198	440	587	504
	21	207	460	574	492
50	15	185	370	620	532
	18	195	390	605	519
	21	205	410	590	506
55	15	184	335	622	534
	18	190	345	613	526
	21	202	367	605	519
60	15	182	303	642	551
	18	192	320	619	531
	21	200	333	609	521
65	21	208	322	604	518

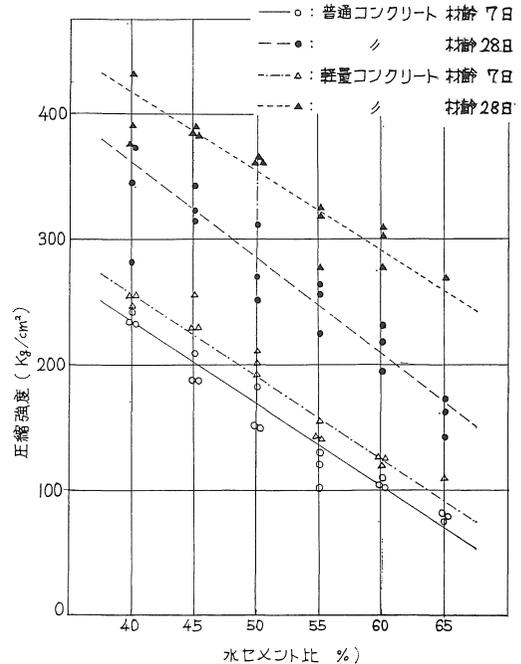
一5は普通コンクリートの調査を示し、表一6は軽量コンクリートの調査表である。表に示すように、各コンクリートについて水セメント比を40%~65%の6種類づつ、設計スランブ（試し練りを行い、実測スランブが設計スランブに等しくなるようにした）を15, 18および21cmの3種類とした。コンクリートシリンダー用の供試体はすべて鋼製型わくを用いて作成した。シュミットハンマー試験用の供試体の型わくは木製合板を使用した。合板への吸水を防ぐため、防水材を幾層にも塗り重ねた。吸水試験を行った結果、吸水が微量であることが判明したので、この型わくを使用して供試体を作成した。脱型後、恒温水そう（温度20±3℃）で材令6日および27日まで養生した。試験は材令7日目および28日目に行った。

4) 載荷およびシュミットハンマー試験方法

載荷には最大容量 100ton のアムスラー型万能試験機を使用し、コンクリートシリンダーの載荷には載荷速度を加圧面ではほぼ一定(2~3Kg/cm²/sec)として試験した。

シュミットハンマーの使用方法は試験機の取扱説明書⁽⁵⁾、JSTMのシュミットハンマーに関する指針⁽¹⁾、コンクリート工学ハンドブック⁽⁴⁾および TASS5⁽⁶⁾などに詳しくのべられており、本試験においてもこれらの方法に基づいて行った。なお、シュミットハンマーの原理およびその挙動については大場らの報告⁽¹⁶⁾に詳しくのべられているので省略する。

シュミットハンマー試験用の供試体では、10×10×20cmの角柱供試体を表面乾燥状態で試験した。測定時において試験片にはたてに 3t の荷重をかけて圧定し、試験片を固定した状態で打撃試験を行った。これは角柱をたてに挟んで行った反発量も、横にして底部で行った反発量⁽¹³⁾もほとんど差のないことが佐治らによって報告されて



図一5 圧縮強度と水セメント比

いるためである。供試体の測定面（打撃面）は木製型わくに接したコンクリート面を砥石で平滑にみがいた後行った。合計15箇所に垂直面打撃を与え、全測定値の算術平均をもってその供試体の反発かたき R とした。ただし、R の基準として本試験では、全測定値の平均値の20%以上はずれた値についてはそれを捨て、これに代る値を補って平均値を求めた。試験に使用したシュミットハンマーは、普通コンクリートの打撃試験用にはN形シュミットハンマーを水平打撃で使用した。軽量コンクリートにはP形シュミットハンマーを垂直にして、垂直面打撃で

表一7(a) 実験結果 (普通コンクリート・材令7日; N形シュミットハンマー)

		普通コンクリート			材令7日			
水セメント比 w/c (%)	実測スラン プ (cm)	10×20cm 圧縮用コンクリートシリンダー			10×20cm 引張用コンクリートシリンダー			10×20cm 角柱
		圧縮強度 (mg/cm^2)	動的弾性係数 $E_D (10^5 \times mg/cm^2)$	対数減衰率 δ	引張強度 (mg/cm^2)	動的弾性係数 $E_D (\times 10^5 Kg/cm^2)$	対数減衰率 δ	N形シュミットハンマー反 発かたさR
40	15	242	3.17	0.082	21.5	2.70	0.083	26.7
	18	233	3.07	0.121	25.2	3.05	0.087	26.5
	21	232	2.93	0.110	22.0	2.78	0.065	23.8
45	15	210	3.11	0.099	18.5	2.96	0.078	25.4
	18	187	2.89	0.077	22.2	2.89	0.089	23.9
	21	187	2.81	0.126	22.2	2.83	0.105	24.4
50	15	150	2.63	0.137	19.1	2.69	0.164	19.5
	18	183	2.73	0.090	20.7	2.65	0.099	24.4
	21	152	2.39	0.080	20.1	2.59	0.085	21.0
55	15	121	2.30	0.141	15.9	2.25	0.133	18.0
	18	131	2.26	0.264	14.0	2.28	0.088	19.5
	21	102	2.34	0.089	14.0	2.31	0.092	17.5
60	15	102	2.33	0.092	13.7	2.30	0.111	15.7
	18	110	2.34	0.112	16.2	2.26	0.142	15.7
	21	104	2.23	0.082	12.4	2.29	0.095	15.5
65	15	79	2.18	0.100	9.9	2.08	0.150	13.9
	18	75	2.01	0.135	8.0	2.00	0.138	13.2
	21	82	2.02	0.127	10.2	2.01	0.137	15.9

表一7(b) 実験結果 (普通コンクリート・材令28日; N形シュミットハンマー)

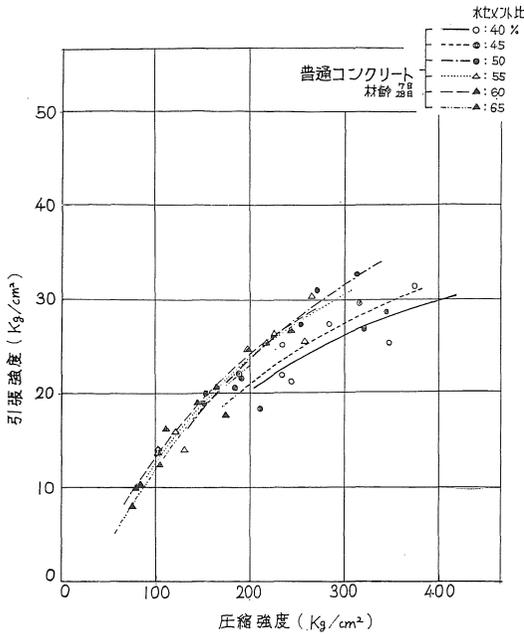
		普通コンクリート			材令28日			
水セメント w/c (%)	実測スラン プ (cm)	10×20cm 圧縮用コンクリートシリンダー			10×20cm 引張用コンクリートシリンダー			N形シュミットハンマー反 発かたさR
		圧縮強度 (Kg/cm^2)	動的弾性係数 $E_D (\times 10^5 Kg/cm^2)$	対数減衰率 δ	引張強度 (Kg/cm^2)	動的弾性係数 $E_D (\times 10^5 mg/cm^2)$	対数減衰率 δ	
40	15	373	3.68	0.039	31.5	3.79	0.038	37.3
	18	346	3.51	0.050	25.4	3.64	0.043	35.8
	21	282	3.46	0.042	27.4	3.48	0.044	37.7
45	15	321	3.43	0.044	26.9	3.51	0.061	32.2
	18	343	3.67	0.148	28.8	3.60	0.162	33.9
	21	315	3.50	0.063	29.6	3.38	0.036	33.1
50	15	252	3.40	0.056	27.5	3.37	0.052	29.7
	18	312	3.42	0.059	32.8	3.90	0.081	34.9
	21	271	3.36	0.067	31.1	3.34	0.068	31.8
55	15	225	3.33	0.101	26.4	3.30	0.105	26.9
	18	264	3.38	0.077	30.4	3.37	0.058	30.7
	21	257	3.38	0.097	25.6	3.38	0.102	29.3
60	15	196	3.38	0.108	24.8	3.34	0.133	23.2
	18	218	3.33	0.118	25.5	3.30	0.124	24.6
	21	232	3.30	0.133	26.8	3.32	0.073	24.3
65	15	163	2.74	0.066	20.7	2.73	0.066	19.3
	18	143	2.73	0.136	19.1	2.68	0.111	19.5
	21	173	2.70	0.098	17.8	2.73	0.091	19.9

表-8 (a) 実験結果 (軽量コンクリート・材令7日; P形シュミットハンマー)

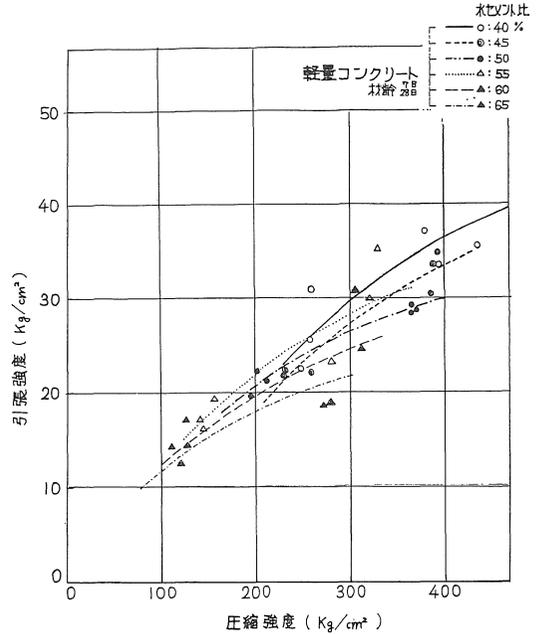
軽 量 コ ン ク リ ー ト 材 令 7 日								
水セメント比 w/c (%)	実測スラン プ (cm)	10×20cm 圧縮用コンクリートシリンダー			10×20cm 引張用コンクリートシリンダー			P形シュミットハンマー 反発かたさ R
		圧縮強度 (Kg/cm ²)	動的弾性係数 E _D (×10 ⁵ mg/cm ²)	対数減衰率 δ	引張強度 (Kg/cm ²)	動的弾性係数 E _D (×10 ⁵ Kg/cm ²)	対数減衰率 δ	
40	15	256	1.67	0.086	31.2	1.67	0.076	55.6
	18	247	1.66	0.058	22.6	1.64	0.095	56.3
	21	255	1.68	0.044	25.8	1.82	0.135	54.7
45	15	228	1.56	0.132	22.1	1.62	0.140	41.2
	18	256	1.80	0.127	22.5	1.65	0.046	50.0
	21	229	1.62	0.046	22.2	1.61	0.047	50.1
50	15	192	1.54	0.055	19.7	1.54	0.054	51.3
	18	211	1.56	0.044	21.3	1.56	0.049	53.9
	21	201	1.51	0.045	22.3	1.49	0.053	56.0
55	15	155	1.44	0.046	19.4	1.47	0.051	46.5
	18	143	1.44	0.049	16.2	1.44	0.084	46.7
	21	141	1.43	0.046	17.2	1.16	0.064	44.2
60	15	125	1.38	0.050	17.2	1.39	0.044	43.5
	18	127	1.37	0.049	14.5	1.38	0.055	46.7
	21	120	1.31	0.048	12.6	1.32	0.056	43.1
65	15	—	—	—	—	—	—	—
	18	—	—	—	—	—	—	—
	21	109	1.31	0.086	14.3	1.28	0.149	41.1

表-8 (b) 実験結果 (軽量コンクリート・材令28日 ; P形シュミットハンマー)

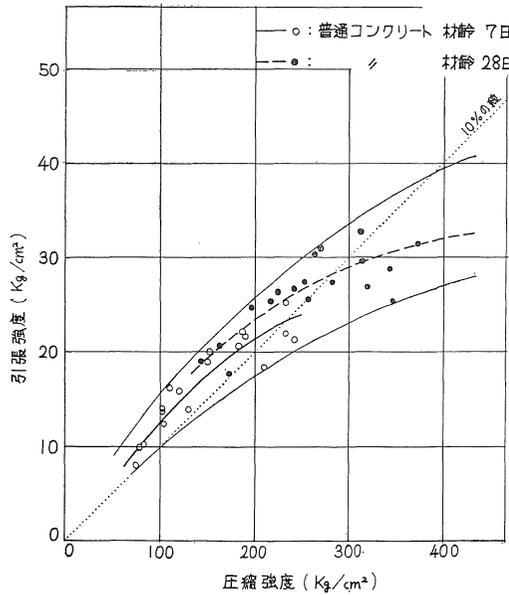
軽 量 コ ン ク リ ー ト 材 令 28 日								
水セメント比 w/c (%)	実測スラン プ (cm)	10×20cm 圧縮用コンクリートシリンダー			10×20cm 引張用コンクリートシリンダー			10×10×20cm 角柱
		圧縮強度 (Kg/cm ²)	動的弾性係数 E _D (×10 ⁵ Kg/cm ²)	対数減衰率 δ	引張強度 (Kg/cm ²)	動的弾性係数 E _D (×10 ⁵ Kg/cm ²)	対数減衰率 δ	P形シュミットハンマー 反発かたさ R
40	15	391	1.86	0.057	33.8	1.92	0.071	72.3
	18	432	1.85	0.078	35.8	2.23	0.095	66.4
	21	376	1.95	0.054	37.3	2.24	0.088	70.4
45	15	391	1.85	0.050	35.0	1.87	0.074	67.7
	18	383	1.88	0.068	30.6	1.88	0.036	67.9
	21	386	1.85	0.032	33.8	1.88	0.037	70.7
50	15	363	1.80	0.032	28.6	1.81	0.047	72.2
	18	363	1.81	0.034	29.4	1.85	0.041	68.1
	21	366	1.84	0.046	28.8	1.82	0.042	72.7
55	15	326	1.75	0.047	35.4	1.77	0.044	68.7
	18	318	1.75	0.047	30.1	1.73	0.030	65.9
	21	278	1.73	0.033	23.4	1.66	0.031	63.8
60	15	303	1.70	0.042	31.0	1.73	0.045	59.0
	18	311	1.69	0.031	24.7	1.63	0.040	59.9
	21	278	1.66	0.050	19.1	1.62	0.074	59.7
65	12	—	—	—	—	—	—	—
	18	—	—	—	—	—	—	—
	21	270	1.65	0.105	18.7	1.65	0.106	60.0



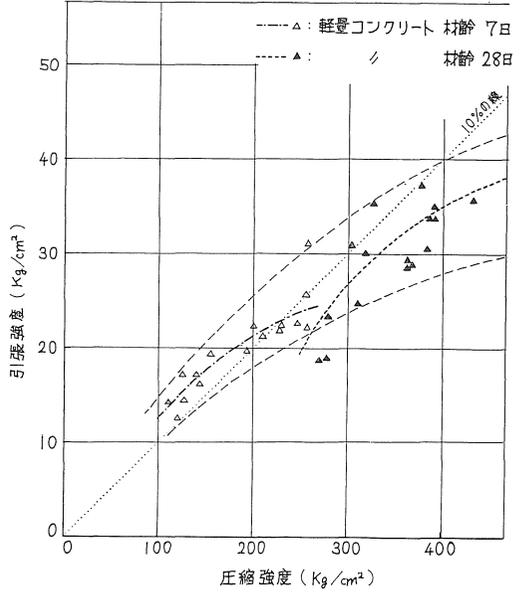
図一6 (a) 引張強度と圧縮強度 (水セメント比別) [普通コンクリート]



図一6 (b) 引張強度と圧縮強度 (水セメント比別) [軽量コンクリート]



図一7 (a) 引張強度と圧縮強度 (材齢別) [普通コンクリート]

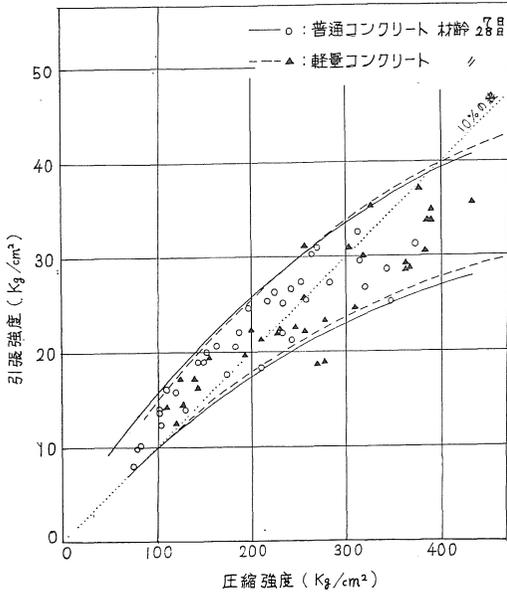


図一7 (b) 引張強度と圧縮強度 (材齢別) [軽量コンクリート]

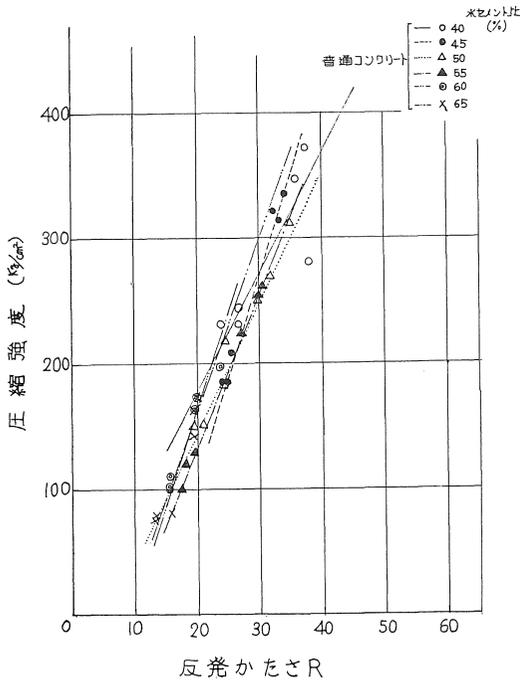
使用した。P形シュミットハンマーは比較的低強度のコンクリートに対しても精度よく使用しうるためである。なお、軽量コンクリート用には、別にL形シュミットハンマーがメーカーによって用意されているが、L形シュミットハンマーによる軽量コンクリートの反発かたさRのデータについては、後日試験を行う予定である。

4. 実験結果ならびに結果に対する考察

試験材令7日および28日において試験した結果を表一7(a)と(b)、および表一8(a)と(b)に示す。表一7は普通コンクリート、表一8は軽量コンクリートの試験結果を示したもので、表中の値は平均値を示したものである。



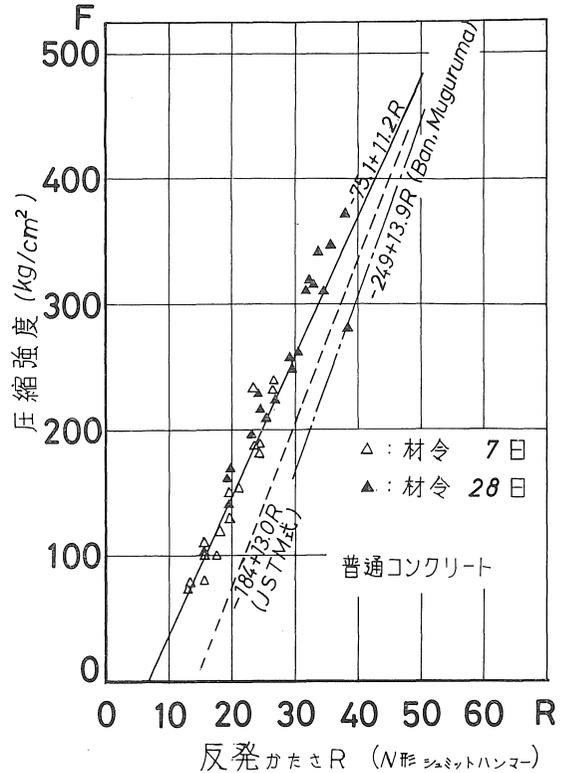
図一八 引張強度と圧縮強度 (コンクリート別)



図一九 圧縮強度と反発かたさR (水セメント比別) [普通コンクリート]

1) 実験に使用しコンクリートの物理的性質

実験に使用したコンクリートの圧縮強度と水セメント比との関係をコンクリート種類、試験材令別に図一五に示す。使用したコンクリートの引張強度と圧縮強度の関係を図一六 (a) と (b) および図一七 (a) と (b) に示す。図一六は水セメント比別に、図一七は材令別に示し



図一十 圧縮強度と反発かたさR (材令別) [普通コンクリート]

たものである。図一八は普通コンクリートと軽量コンクリートをわけて示したものである。引張強度と圧縮強度の関係は、いずれのコンクリートもほぼ同じような傾向を示している。

2) 普通コンクリートの圧縮強度とN形シュミットハンマーの反発かたさRの関係について

a) 水セメント比別に見た場合

圧縮強度と反発かたさRの関係を水セメント比別に示すと図一九のようになる。いずれの水セメント比に対しても、ほぼ直線的な関係を示し、各直線はほぼ同じような傾向を示している。圧縮強度と反発かたさの関係は水セメント比が異なってもほとんど影響を受けず、水セメント比に関係なく、ほぼ直線として表示してさしつかえないと考えられる。

b) 材令別に見た場合

圧縮強度と反発かたさRの関係を材令別に示すと図一十のようになる。図一十より圧縮強度と反発かたさRとの関係はほぼ直線関係にあると見なすことができる。これらの関係を最小二乗法で求めると、

$$F = -75.1 + 11.2R \dots\dots\dots (1)$$

F : 普通コンクリートのシリンダー 圧縮強度

R : N-2形シュミットハンマーの反発かたさ

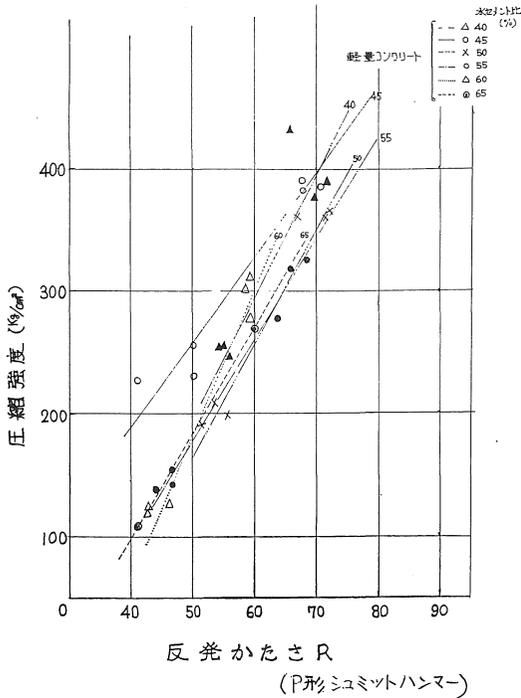


図-11 圧縮強度と反発かたさ R (水セメント比別) [軽量コンクリート]

なる実験式が得られる。同図には $F = -184 + 13.0R$ で示されている^{(1),(2)} JSTM 式並びにかた練りコンクリート用の坂・六車の式 $F = -249 + 13.9R$ も示す。今回の結果は前述のいずれの式に対しても、かなり高めの値を示しているようである。この傾向は今回の試験に使用したシュミットハンマーのバネの特性なのか、使用したコンクリートに原因があるのか、養生方法に原因があるのかは、いまのところ不明である。各シュミットハンマーの⁽¹⁷⁾各個誤差および較正法については、坂、明石らの研究があり、各ハンマーの偏差による影響が大きいことがのべられているので、今後、この点についても今回使用したハンマーの偏差について十分に調べる必要がある。

3) 軽量コンクリートの圧縮強度と P形シュミットハンマーの反発かたさ R の関係について

a) 水セメント比別に見た場合

軽量コンクリートの圧縮強度と P形シュミットハンマーの反発かたさ R の関係を水セメント比別に図-11に示す。いずれの水セメント比に対してもほぼ直線的な関係を示しているが、各直線は普通コンクリートの場合ほどには同じような傾向を示さず、ややばらつきが大きいようである。

b) 材令別に見た場合

圧縮強度と反発かたさ R の関係を試験材令別に示す

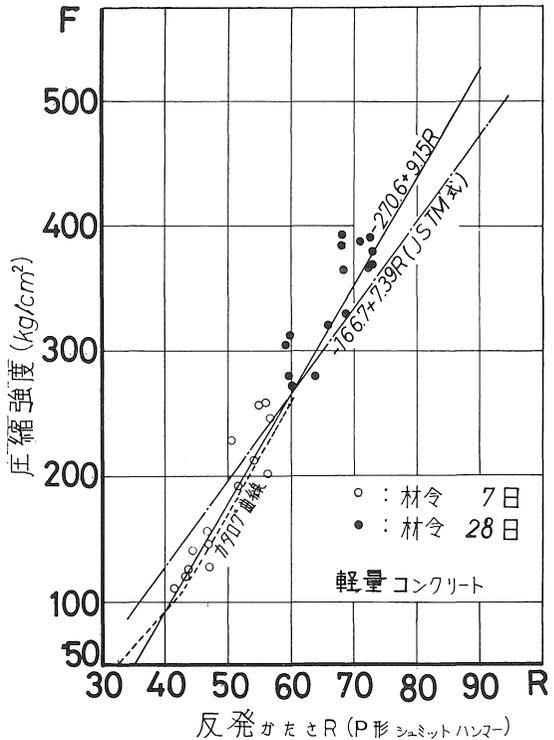


図-12 圧縮強度と反発かたさ R (材令別) [軽量コンクリート]

と、図-12のようになる。図-12より圧縮強度 F と反発かたさ R との関係直線をみれば、

$$F = -271 + 9.15R \dots \dots \dots (2)$$

F: 軽量コンクリートのシリンダー圧縮強度

R: P形シュミットハンマーの反発かたさ

^{(1),(2)}が得られる。同図には JSTM 式とシュミットハンマーのカタログ式 (P形用) も示してある。今回の試験結果は圧縮強度が 250 kg/cm^2 以下の強度の場合には、カタログ曲線とほとんど同じ傾向を示しており、JSTM 式よりやや低い強度を示している。圧縮強度の高いコンクリートの場合、カタログには推定式が示されていないが、JSTM 式と比較するとやや高い強度を示すようである。JSTM 式並びに今回の実験結果から考えて、P形シュミットハンマーは比較的強度の高いコンクリートの強度推定に使用してさしつかえないと思われる。試験体の数も少なく、養生条件その他の要因も考慮して今後これらの点について、さらに検討する予定である。

4) 動的弾性係数と圧縮強度の関係について

コンクリートの圧縮強度を共振法によって動的弾性係数を求めることにより、非破壊的に知る方法がある。参考として、今回の試験に用いたコンクリートの動的弾性

係数並びに対数減衰率を表一7 (a) と (b) および表一8 (a) と (b) に示す。図一13 はこれらの普通コンクリートおよび軽量コンクリートの動的弾性係数と圧縮強度の関係を図示したものである。両コンクリート共に、ほぼ放物線式で近似できるようである。

5. むすび

普通コンクリート並びに軽量コンクリートについて、N形・P形各シュミットハンマーを用いてコンクリートの圧縮強度とシュミットハンマーの反発かたさの関係を実験により求めた結果、次のような関係が得られた。

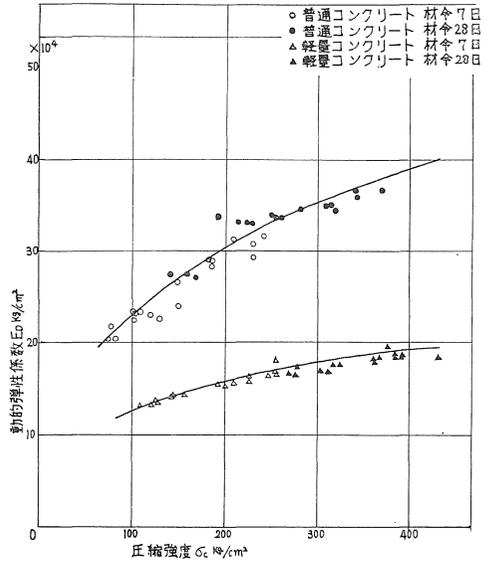
1) 普通コンクリートの圧縮強度とN形シュミットハンマーの反発かたさの関係は $F = -75.1 + 11.2R$ なる直線式で近似できるものと考えた。今回の試験結果はJSTM式に比してかなり高めの値を示した。この相違は、今回使用したN形シュミットハンマーとJSTM式作成時の試験に使用したシュミットハンマーのパネの強さの差なのか、使用コンクリートに起因するのか、養生条件によるのかは不明である。今後、この点についてさらに検討する必要がある。

2) 軽量コンクリートの圧縮強度とP形シュミットハンマーの反発かたさの関係は、 $F = -271 + 9.15R$ なる近似式として求めた。低い圧縮強度のコンクリートに対してはJSTM式より低い強度推定値を示し、比較的高い圧縮強度のコンクリートに対しては、JSTM式よりも高い強度を示しているが、今回の試験結果、JSTM式およびカタログ曲線ともにはほぼ同様の強度推定値を示している。

今回の試験は試験体の数も少なく、さらに軽量コンクリートに対してはP形シュミットハンマーによる強度推定式しか得られなかった。本試験終了後、L形シュミットハンマーが入手できたので、今後はL形シュミットハンマーによる軽量コンクリートの強度推定式についても求める予定である。

参 考 文 献

- 1) 実施コンクリート強度判定法委員会「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定法(指針案)」、材料試験、[Vol.7, No.59 (昭33)]
- 2) 坂静雄, 松井敏夫「表面硬度法による実施コンクリートの強度判定法」、セメント技術年報, Vol.9, (昭30)
- 3) 坂静雄, 六車照, 安井久三, 「シュミットハンマーによるかた練りコンクリート強度判定」、セメント技術年報 Vol.15, (昭30)PP.263—268.
- 4) 近藤泰夫, 坂静雄 : コンクリート工学ハンドブック, 昭42年7月, 朝倉書店, PP.382—385.



図一13 動的弾性係数と圧縮強度
〔普通コンクリートと軽量コンクリート〕

- 5) 富士物産 K.K. 「シュミットコンクリートテストハンマー取扱説明書」
- 6) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 昭46年4月, PP.564—566.
- 7) 木村恵雄「シュミットハンマーによるコンクリート強度の判定について」、立命館大学理工学研究所紀要, 2 (1957年).
- 8) 木村恵雄「シュミットハンマーによるコンクリート強度の判定について」、材料試験, Vol.5, No. 38 (昭31).
- 9) 明石外世樹「シュミットハンマーによるコンクリートの反的硬度試験について」、立命館大学理工学研究所紀要, 2 (昭32)
- 10) Zoldners N.G., "Calibration and Use of Impact Test Hammer", Jou.of A.C.I., Vol. 29, No.2, Aug., 1957
- 11) G.W.Greene, "Test Hammer Provides New Method of Evaluating Hardened Concrete", Jou. of A.C.I., vol.26, No.3, Nov., 1954
- 12) H. Petersen and U.W.Stoll, "Relation of Rebound-Hammer Test Results to Sonic Modulus and Compressive Strength Data," H.R.B. Vol. 34, 1955
- 13) 佐治泰治「コンクリート無破壊試験法(その3)」、建築学会研究報告, No.29, (昭29), コンクリー

- ト無破壊試験法（その6）を、建築学会研究報告，
No.39，（昭31）
- 14) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説，
JASS5 鉄筋コンクリート工事，昭46年4月，
P.565
- 15) 木村恵雄 シュミットハンマーによるコンクリート
強度判定上の2，3の問題を、セメント技術年報，
Vol.10（昭31）PP380—386.
- 16) 大場民雄，山本武 シュミットハンマーによる実施コ
ンクリートの調査例を、セメント技術年報，
Vol. 14（昭35）PP.488—494.
- 17) 坂静雄，明石外世樹（JSTM 実施コンクリート強
度判定法委員会） シュミットハンマーの各個誤差
および較正法についてを、セメント技術年報，
Vol.15（昭16）PP.260—263.