

# [24] 経年コンクリートのシュミットハンマーによる推定強度と コア強度との関係

正会員 保野善治 (日本建築総合試験所)

## 1. ま え が き

コンクリート強度の非破壊試験法の一つであるシュミットハンマーを用いる反発硬度法は、推定誤差が大きいにもかかわらず、テストハンマーが軽便で測定法も簡単であることから、今なお構造体コンクリートの圧縮強度推定に用いられる機会が多い。また、その推定誤差を小さくするために、この反発硬度と超音波伝播速度とを併用する複合法が近年脚光を浴びてきており、シュミットハンマーを用いる反発硬度の測定は、構造体コンクリートの各種非破壊試験法の中で、以前にも増して重要になりつつある。

既存鉄筋コンクリート(RC)造建物の構造体コンクリートが、真空中で長期間乾燥状態に置かれると、表層部が中性化し、これがシュミットハンマーによる反発硬度に影響を及ぼすことは既に知られている。これに対して、A) 表層部コンクリートを5~10mmの深さまで削り取って研磨し、その表面で反発硬度を測定することによって、中性化の影響を取り除く方法(例えば ASTM C 805 など)と、B) コンクリートを削り取ることなく、単に軽く研磨しただけのコンクリート表面において測定した反発硬度を、中性化の影響のない場合の強度推定式に代入して求めた推定強度に、補正係数をかけて補正強度を求める方法とが提案され、実施されてきた。A)の方法は、現場で適用する際、構造体を損傷させることになるので、非破壊試験の主旨に背くこともあって、わが国の建築分野においては、直接コアで取捨する場合を除いて、一般に補正係数を用いるB)の方法が採用されている。この方法で用いる補正係数としては、従来一般に表-1に掲げる値が用いられてきたが、わが国の建築構造体に適用できる補正係数の研究は少ない<sup>1)</sup>。

本報は、大阪市とその周辺における既存RC造建物12棟の診断のために行なわれた材令8~55年のコンクリートの調査データの中から、シュミットハンマーによるコンクリートの反発硬度測定値と、その測定箇所又はそのごく近傍から切り出された円柱コアによるコンクリートの圧縮試験結果を抽出して示したものである。さらに、同じ測定位置の反発硬度とコア強度との関係並びに反発硬度から日本材料学会式によって求めた推定強度とコア強度との関係を検討することにより、表層がほとんど中性化していない経年コンクリートについては、測定された反発硬度から日本材料学会式によって圧縮強度を推定することができ、表面から約10mm以上中性化している経年コンクリートについては、上記のように日本材料学会式によって算出した推定強度に補正係数(およそ0.6)をかけることにより推定できることを示す。

## 2. 調 査 方 法

日本建築総合試験所が、1974年から1982年の9年間に、建物所有者の依頼を受けて調査したRC造建物のうち、シュミットハンマーによる反発硬度測定とコンクリートコア(φ100mm×(100~200)mm)による圧縮強度試験とを実施した建物を選び、これらの建物について得られたデータのうち、シュミットハンマーによる普通コンクリートの反発硬度測定と、その測定箇所又はごく近傍の位置から切り取った円柱コアの圧縮強度試験が実施されているもので、コア強度  $f_{cr} = 9.7 \sim 40.5$  MPa、基準強度  $R_0 = 3.2 \sim 5.3$  の範囲内のものを抽出した。ここに、基準強度とは、打撃方向が水平の場合の反発硬度であって、打撃方向が傾斜する場合には水平方向打撃の場合の硬さに補正した値である。調査対象建物の概要を表-2に示す。

### 2.1 シュミットハンマーテストの方法

スイスBPR社製N型又はNR型シュミットハンマーを用いて、日本材料学会指針案に従って基準強度  $R_0$  を測定し、次式より標準円柱体強度  $R$  を推定した。

$$R = -1.84 + 13.0 R_0$$

### 2.2 コアによる圧縮強度試験

構造体から直径100mm、長さ100~200mmの円柱体コアを切り取り、JIS A 1107 に従って圧縮

表-1 補正係数  $\alpha$

材令 (年)	28	100	500	1000	3000
補正係数 $\alpha$	1.00	.78	.67	.65	.63

表-2 調査対象建物の概要  
(すべて鉄筋コンクリート造)

建物記号	建物用途	規模 (階数)	測定時 材令(年)	測定データ数
A	汽缶場	1	30	10
B	校舎	3	45	5
C	市場	1	43	2
D	観球場	2	25	10
E	体育館	1	37	11
F	庁舎	3	48	2
G	庁舎	3	41	1
H	庁舎	3	39	2
I	遊技場	3	8	17
J	図書館	3	55	1
K	郵便局	2	29	7
L	校舎	3	54	19
合 計				87

強度を測定した。なお、切り出されたコアは、気乾状態のまま圧縮試験に供した。また、圧縮試験時コア供試体の高さが直径の2倍未満となる場合には、JIS A 1107 に従ってφ10cm×20cmの円柱体強度に換算した。

### 2.3 コンクリートの中酸化深さの測定

各測定箇所のコンクリートの中酸化深さが測定されているものについては、これも書き出した。測定に先立って部分的には取り除かれたコンクリート面又は圧縮試験終了後割裂されたコアの断面に、フェノールフタレインの1%メチルアルコール液を吹きつけ、着色しない部分の長さ(α)を測定し、これを中酸化深さとした。

### 3. 調査結果

シュミットハンマーによる基準硬度 $R_n$ 、これを用いて算定した推定強度 $F$ 、コア強度 $O_n$ 、これらの比 $O_n/F$ および中酸化深さ $\alpha$ の測定結果を表-3に示す。

図-1には、基準硬度 $R_n$ とコア強度 $O_n$ との関係を示す。同図では、各測定箇所におけるコンクリートの中酸化深さの程度を表わす8種類の記号

表-3 基準硬度、推定強度、コア強度および中酸化深さ

建物記号	部材	基準硬度 $R_n$	推定強度 $F$ (MPa)	コア強度 $O_n$ (MPa)	$\frac{O_n}{F}$	中酸化深さ $\alpha$ (mm)	建物記号	部材	基準硬度 $R_n$	推定強度 $F$ (MPa)	コア強度 $O_n$ (MPa)	$\frac{O_n}{F}$	中酸化深さ $\alpha$ (mm)			
A	壁	40.1	337	273	.81	35	I	柱	47.5	435	234	.54	15			
	"	35.9	283	203	.72	35		"	"	39.0	324	188	.58	20		
	"	39.7	332	252	.76	30		"	"	47.2	429	191	.45	15		
	"	39.6	331	135	.41	35		"	"	42.5	368	222	.60	15		
	"	45.7	410	217	.53	40		"	"	41.0	349	229	.66	20		
	"	32.7	241	221	.92	35		"	"	49.3	457	274	.60	10		
	"	43.6	383	274	.72	30		"	"	39.5	330	125	.60	20		
	"	32.0	232	179	.77	70		"	"	47.8	438	209	.38	15		
	"	32.3	236	149	.63	70		"	梁	39.4	329	208	.63	20		
	"	34.5	265	179	.68	40		"	"	37.5	303	228	.75	20		
B	壁	4.4	388	131	.34	26	"	"	36.7	294	235	.80	20			
	"	4.1	349	180	.52	30	"	"	38.7	319	232	.73	20			
	"	4.4	388	186	.48	30	"	"	42.0	363	244	.67	15			
	"	4.0	336	139	.41	44	"	"	36.8	295	240	.81	15			
	"	3.2	232	140	.60	47	"	"	39.5	330	186	.56	20			
C	壁	35.8	281	141	.50	≥65	"	"	39.5	330	217	.66	15			
	"	39.1	324	97	.30	20	"	"	39.4	329	244	.74	10			
D	壁	39.3	327	125	.38	/	J	壁	40	336	244	.73	7			
	"	40.2	339	207	.61			K	壁	40.3	340	156	.46			
	"	38.8	320	261	.82				"	"	34.1	259	134		.52	
	"	41.7	358	193	.54				"	"	39.7	332	271		.82	
	"	40.6	344	143	.42				"	"	41.3	353	267		.76	
	"	33.0	245	126	.51				"	"	45.1	402	349		.86	
	"	43.4	380	166	.44				"	"	41.9	361	342		.95	
	"	40.8	346	192	.55				"	"	47.4	432	405		.94	
	"	45.0	401	278	.69				L	柱	38.7	319	147		.46	
"	41.9	361	157	.43	"	"	36.2			287	105	.37				
E	壁	43.3	379	293	.77	/	"	"		34.4	263	115	.44			
	"	42.1	363	293	.81		/	"		"	32.8	242	107	.44		
	"	47.6	435	355	.82			30		"	"	41.6	357	146	.41	
	"	43.3	379	355	.94			5		"	"	46.2	417	242	.58	
	"	47.8	437	354	.81			35		"	"	41.4	354	128	.36	
	"	39.1	324	354	1.09			5		"	"	39.2	326	102	.31	
	"	46.5	421	267	.63			—		"	"	42.2	365	117	.32	
	"	44.8	398	267	.67			—	"	"	41.6	357	106	.30		
	"	床版	49.7	462	267			.58	—	"	"	34.2	261	107	.41	
	"	"	51.6	487	258			.53	—	"	"	33.3	249	124	.50	
F	壁	43.7	384	155	.40	20		"	"	41.9	361	122	.34			
	"	41.8	360	120	.33	≥85	"	"	40.4	341	280	.82				
G	壁	53.0	506	211	.42	35	"	"	39.3	327	166	.57				
	"	42.2	365	173	.47	30	"	"	39.6	331	206	.62				
H	壁	36.5	291	288	.99	5	"	"	39.7	332	236	.71				
	"	42.2	365	173	.47	30	"	"	39.3	327	211	.65				
備考		推定強度 $F = 1.84 + 1.3 \cdot 0 R_n$														

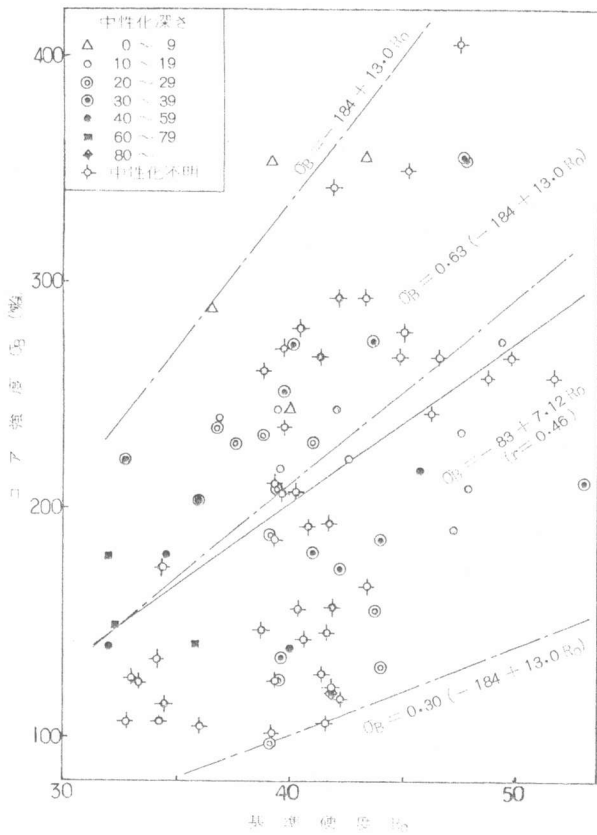


図-1 基準強度とコア強度の関係

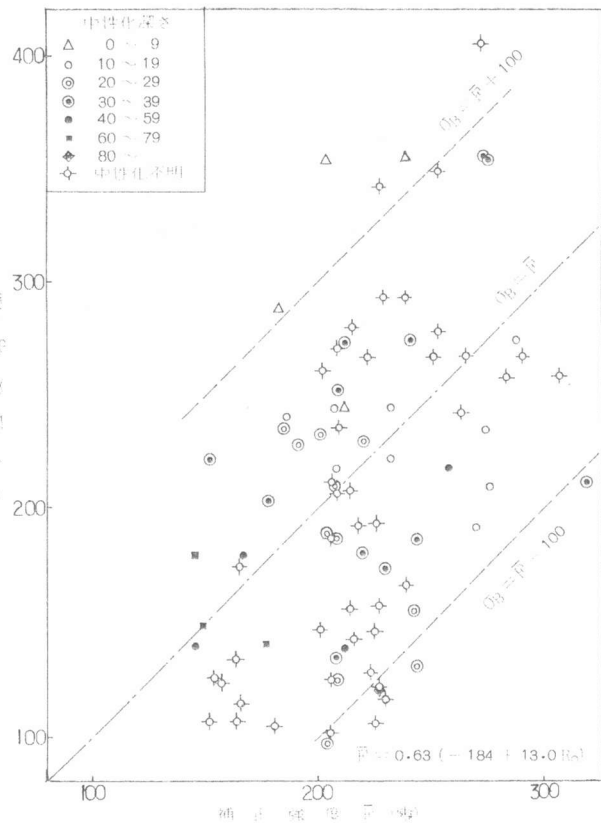


図-2 補正強度とコア強度の関係(本調査)

が用いられている。また、同図中には、全測定点について求めた回帰直線、日本材料学会の強度推定式で $\bar{P}$ の代りに $O_B$ を代入した直線  $O_B = -1.84 + 13.0 R_0$ 、この右辺に補正係数をかけた直線  $O_B = \alpha(-1.84 + 13.0 R_0)$  で  $\alpha = 0.63$ 、 $0.30$  の場合も併せて示してある。

この図から、各測定点のコア強度は、 $O_B = -1.84 + 13.0 R_0$  を上限とし、 $O_B = 0.30(-1.84 + 13.0 R_0)$  を下限とする範囲内に分布していることがわかる。また、回帰直線  $O_B = -83 + 7.12 R_0$  は直線  $O_B = 0.63(-1.84 + 13.0 R_0)$  に近いこともわかる。さらに、中性化深さが $0 \sim 9$ の範囲内にある測定点のコア強度は、概ね直線  $O_B = -1.84 + 13.0 R_0$  の近傍に分布している。

図-2には、日本材料学会式による推定強度 $\bar{P}$ に、表-1より求めた8年(2920日)間乾燥状態に置かれたコンクリートに対する補正係数 $\alpha = 0.63$ をかけて求めた補正強度 $\bar{P} = 0.63(-1.84 + 13.0 R_0)$ とコア強度 $O_B$ との関係を示す。この図でも、図-1の場合と同様にコンクリートの中性化深さの程度を表す8種類の記号が用いられている。

この図において、コア強度 $O_B$ が $\bar{P} \pm 100$ の範囲内に入る確率は85%である。参考のために佐治らのRC造建物4棟についての

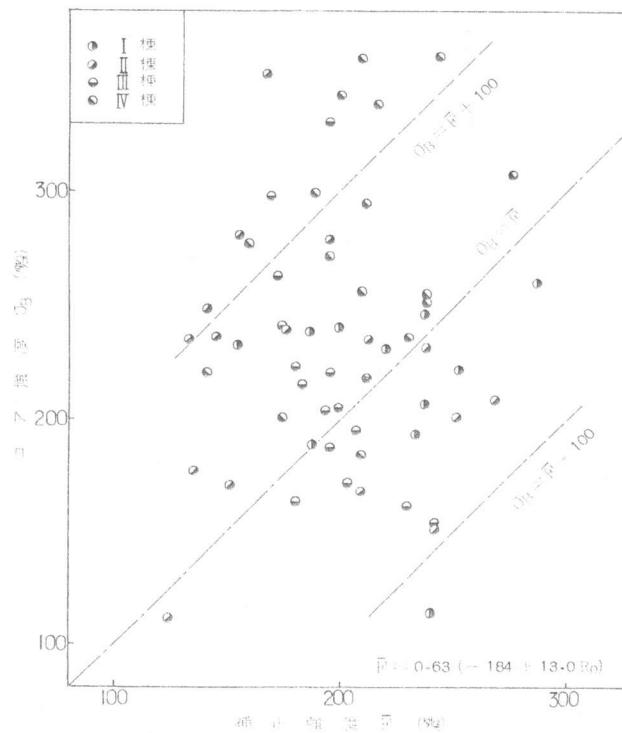


図-3 補正強度とコア強度の関係(佐治らの調査)

調査結果<sup>1)</sup>のうち、柱脚部における補正強度 $\bar{R}$ とコア強度 $\sigma_B$ との関係をプロットしたのが図-3である(文献1には、各測定点の中性化深さが報告されていないため、その程度は不明である)。これによると、コア強度 $\sigma_B$ が $\bar{R} \pm 10\%$ の範囲内に入る確率は78%で、本調査の結果にはほぼ近くなっている。

次に、本調査の各測定点の推定強度 $R$ に対するコア強度 $\sigma_B$ の比 $\sigma_B/R$ を求め、これと材令との関係を図-4に示す。比 $\sigma_B/R$ は、材令が高くなっても表-1のような明瞭な漸減傾向は示さない。

また、中性化深さを測定したデータについて、 $\sigma_B/R$ と中性化深さ $x$ との関係を図-5に示す。中性化深さが10mm未満のコンクリートでは、材令が37、39年と高くても、 $\sigma_B/R$ の値は1.0に近く、一方、中性化深さが10mm以上のコンクリートでは、 $\sigma_B/R$ の値はほとんど増減せず、概ね0.4~0.8の範囲内で、平均値が約0.6となっている。

#### 4. 結 論

コアの圧縮強度が構造体コンクリートの強度を表わすものであると仮定すれば、今回の調査の範囲内で次のような結論が導かれる。

- 1) 構造体コンクリートの圧縮強度 $\sigma_B$ は、日本材料学会の式から推定した強度 $R = -1.84 + 1.3 \cdot 0. R_0$ の約0.3倍~1.0倍の範囲内に大ききばらついて分布しており、 $\sigma_B = \alpha(-1.84 + 1.3 \cdot 0. R_0)$ と表わすことができる( $\alpha$ は補正係数)。
- 2) この補正係数 $\alpha$ は、材令8年以上のコンクリートでは、8年以降の時間経過の影響はほとんど受けず、中性化深さの影響を受ける。臨界中性化深さは約10mmと考えられる。<sup>(注)</sup>
- 3) コンクリートの中性化深さが10mm未満の場合には、高材令のコンクリートであっても $\alpha$ は1.0に近くなる。
- 4) コンクリートの中性化深さが10mm以上の場合には、材令は $\alpha$ の値にはほとんど影響せず、 $\alpha$ の値は概ね0.4~0.8の範囲内で、平均値が約0.6となる。従って、3000日以上の材令の気乾コンクリートに対して従来使われてきた補正係数0.63は妥当な値であったと言える。

(注) N型およびNR型シュミットハンマーのプランジャーの先端は、半径2.5mmの球面の一部となっていて、使用時にはこの先端をコンクリート表面に当てて衝撃圧力を作用させるのであるが、衝撃の後コンクリート表面には直径が5~10mmのプランジャー痕が残る。プランジャーと同じ形状・寸法の圧力子を用いてコンクリート表面に局部圧縮力を静的に加えた Gaede らの実験<sup>2)</sup>では、コンクリート表面から上記は痕の直径に等しい深さの位置では、コンクリートのひずみも変形もほぼ0となった。このことから、シュミットハンマーの反発度にはコンクリート表面から5~10mmまでの表層部コンクリートの性質のみが影響を及ぼすと考えられる。

#### < 参 考 文 献 >

- 1) 佐治泰治, 中武幹男, 田口茂久 : 既存RC構造建物の解体に伴うコンクリートの調査結果について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 昭和53年9月
- 2) K.Gaede, E.Schmidt : Rückprallprüfung von Beton mit dichten Gefüge, Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 158, 1960.

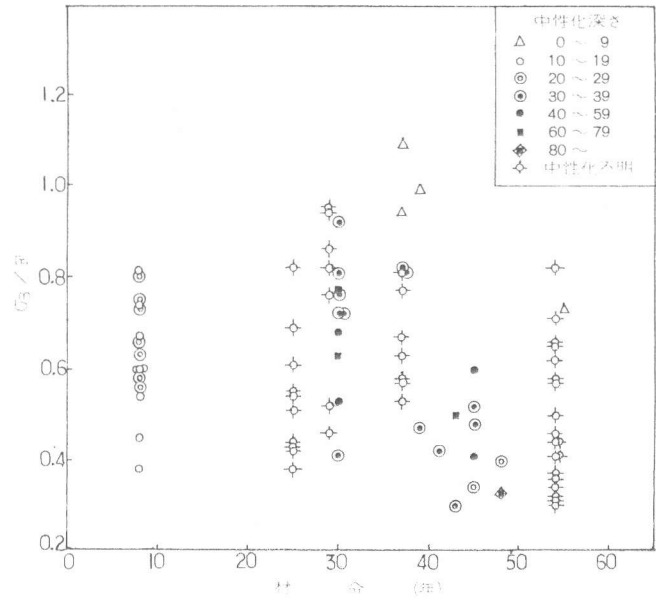


図-4 材令と $\sigma_B/R$ の関係

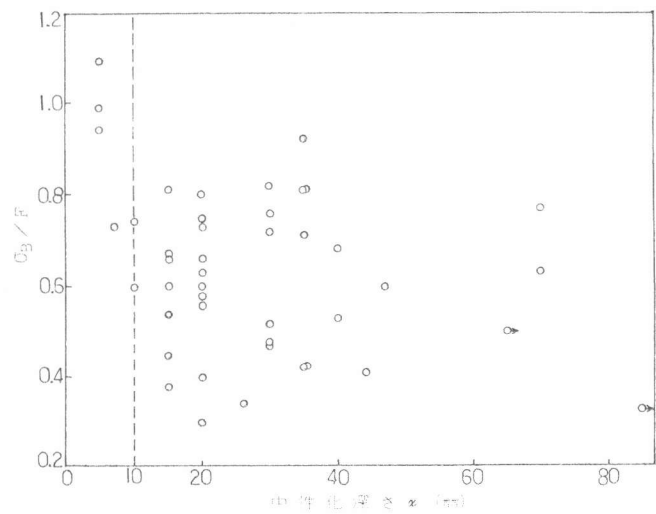


図-5 中性化深さと $\sigma_B/R$ の関係