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*

木 村 恵 雄**

On the Evaluation of Concrete Strength by Schmidt Hammer.

Shigeo KIMURA (Kōbe University)

There are many factors to be considered to evaluate the concrete strength from the rebound number by Schmidt hammer. These factors, some relating to the methods of measuring the number, and some relating to the qualities of concrete to be tested, were explained by many test data.

In conclusion, comparing the strength-hardness relation curves published by many researchers, it was recommended in determining the strength of concrete to make a safe decision by applying the relation curve which conforms well with the field conditions. (Received July 24, 1956)

1. ま え が き

実施コンクリートの強度を判定するための簡易な試験機として、シュミットハンマーがわが国にも汎山輸入され、各方面に使用されている。

本機によるコンクリートの表面反撥硬度（以下単に硬度 R と呼ぶ）の測定はきわめて簡易ではあるが、他の各種の方法による場合と同様に、それから強度を判定するにはいろいろの要素が関係することをよく考慮し、安全で、かつ適確な判定を行うことが肝要である。

まず第1に、われわれが判定しようとする強度とは何かということを明確にしておきたい。コンクリートの強度といつてもその内容は複雑で、単に供試体についていても、その形状寸法によつて大いに変化することは衆知の事実である。わが国では 15×30 cmの標準円柱体の圧縮強度を標準としているから、実施されたコンクリートについて判定しようとするものは、そのコンクリートが 15×30 cmの標準円柱体の強度としていくらの値に相当する強度を持つているか、という点である。特殊な用途に供する場合は、また別の考え方ができるが、一般的には上記の考え方が標準となるので、以下その見地に立つて述べる。

したがって、同一材質のコンクリートについて、一方では標準円柱圧縮強度を求め、他方でその硬度を求め対応する値の多くから、統計的にその関係をあらかじめ明らかにしておく必要がある。前者の強度測定は多年の経験もあり大した問題はないが、後者の硬度測定には多くの要素が関係して、その程度も明らかでな

いものが多いので、強度判定が不確実になりやすい。

もとより、硬度と強度は本質的に同質のものではないから、その間の関係を明確にするためには、強度について今まで解つていく程度に、硬度とコンクリート品質の関係を明らかにする必要がある。さらに、硬度測定の方法そのものによつて測定値がどう変わるかという点をも充分明らかにしておく必要がある。

以下、筆者が行つた実験結果を中心とし、各方面で示された資料をも引用して、本法による強度判定上の参考事項について述べる。

2. 硬度測定上の問題

測定されるコンクリートの品質のいかにかわからず、硬度を測定する上に考慮すべき諸点について述べる。

2.1 打撃方向による硬度の変化

硬度はその機構上、重錘の反撥量として表わされるから、当然その打撃方向によつて硬度が変わる。

水平方向に行うのが標準とされているが、現場の事情によつては、それ以外の方向に行わねばならないことも多い。もちろん、その方向はつねに測定面に直角である。この場合の硬度の変化量、いいかえれば水平打撃のときの値に補正するための補正量については、¹⁾取扱説明書に理論的な曲線が示されている。

筆者は実験的にこれを確かめるため、正八角形断面を持つコンクリート供試体を用い、各側面に直角、すなわち垂直上下、 45° 上下、水平の5方向²⁾の打撃を行ない、水平の場合に対する補正量を求めた。

その結果は Fig. 1 に示すとおりで、図中に示す前記補正曲線に対し、かなりのばらつきを持つているが、

* 原稿受付 昭和31年7月24日

** 正員 神戸大学工学部

Fig. 1. Correction of "R" for driving direction.

その傾向は一致している。すなわち、補正量 ΔR は R が大きいほど小さくてよく、同一傾斜に対し R に正比例した補正をすることは不適当であることが確認された。したがって、本項については一応この補正曲線によって補正すればよいと考えられる。

2.2 供試体圧定の問題

打撃の衝撃によつて供試体が弾性変形するための硬度的変化は別とし、そのおそれのない場合でも供試体が圧定されている状態によつて硬度が変化する。打撃方向と直角の方向に圧縮応力が発生している場合である。

この点に関し坂博士の行われた実験では、3 ton の力で圧定された 20 cm 立方体の側面に対する R と、その側方にそれに固くボルトで結合された無応力の 20 cm 立方体の側面に対する R とを比較されている。筆者は多くの 20 cm 立方体について圧定力を 0.5~16 ton の各種に変えた場合の R の変化を実験した。この場合の変化は R の値にほぼ正比例すると認められるので、以上の結果を総合して圧定力 3 ton の場合の硬度 R_3 を 100 とし、任意圧定力下の硬度 R_i の比率を示すと Fig. 2 のようになる。圧定力が 3 ton 以下の場合はいくぶん大きく変化するが、それ以上での変化はわずかで

Fig. 2. Variance of "R" due to holding pressure of the specimen.

ある。

この変化の原因は供試体に生じている応力のための変形の影響と考えられるが、それだけでなく圧定による支持の程度の相違もあるのではないかと考えられ、その区別は明瞭でない。しかし、この事実を認め、一般の圧縮応力下の供試体について硬度を測定する場合の補正を考えると、圧縮応力と補正係数の関係は Fig. 3 のようになる。

Fig. 3. Correctional coefficient c for "R" measured on compressed concrete.

また、この圧定の程度は後述のように測定値のばらつきにも関係があり、ある程度の圧定力のもとで行うのが望ましい。

2.3 部材寸法および支持条件による硬度の変化

試験される部材の寸法および支持条件によつて剛度が小さくなると、打撃による弾性変形が大きくなり、測定される硬度が小さくなる。この程度の詳細は不明であるが、取扱説明書では、厚さ 10 cm 以下の版、短辺 15 cm 以下の柱などは注意せよと述べている。

筆者は 2 種の部材について実験したので、その結果の要点のみを述べる。

2.3.1 鉄筋コンクリートはりに対する実験

Fig. 4 に示すような 15×20 cm 矩形断面の鉄筋コンクリートはりを支間 140 cm に支持し、その上、側、底の各面に対し垂直向下打撃で硬度を測定した。硬度は支間を 7 等分した各点を中心とし、上、底面では 12 箇所、両側面では 18 箇所を測り平均値を求めた。1 面での測定を終ると、はりを横転して次の面で行った。したがって、上、底面測定の際のはりの断面 2 次モーメント $I=10\,000\text{ cm}^4$ で、側面測定の際は $I=5\,610\text{ cm}^4$ であつた。

Fig. 4. Reinforced concrete beam tested by Schmidt hammer.

各点の硬度は Table 1 のとおりで、上記のような剛度の相違による影響ならびに支間方向の硬度の変化は

Table 1. Measured “R” and coefficient of variation “C” at the points on each surface of the reinforced concrete beam showed in Fig. 4.

No. of beam	No. of the point Surface	1		2		3		4		5		6		7		8		Average	
		R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C
I	Bottom	42.0	13.5	40.2	10.0	46.0	7.9	44.7	13.3	43.6	8.1	42.5	10.4	41.7	11.3	41.7	4.9	42.8	9.9
	Side	34.7	9.6	36.5	6.9	37.4	8.2	36.8	7.7	36.0	6.2	35.8	7.8	35.8	9.9	36.6	10.4	36.2	8.3
	Side	37.0	12.1	38.0	10.9	37.2	10.9	37.7	9.7	39.5	12.4	37.7	9.1	37.1	10.6	34.9	9.0	37.4	10.6
	Top	29.4	3.3	31.4	4.6	30.8	6.9	30.5	6.6	29.3	4.7	32.4	5.9	32.4	7.6	30.0	8.2	30.8	6.0
II	Bottom	40.7	13.7	35.4	6.2	41.1	11.2	42.1	14.7	40.1	10.8	39.3	15.7	39.3	9.5	37.5	10.1	39.4	11.5
	Side	36.3	6.9	39.0	9.1	36.0	5.5	36.0	6.4	36.0	7.5	37.2	6.4	35.4	7.4	34.9	6.9	36.4	7.0
	Side	35.1	8.8	36.2	7.8	36.4	5.8	36.6	6.9	36.6	8.0	36.2	5.6	36.2	6.5	36.1	9.0	36.2	7.3
	Top	30.0	6.2	29.4	13.9	31.7	4.3	32.0	5.2	32.0	7.5	31.9	9.8	29.1	8.6	39.3	10.3	30.8	8.2

全然見られない。むしろ材料分離による影響が明瞭で、上、側、底面の順に硬度がかなり大きくなっている。

したがって、この程度の寸法および支持条件のもとでは、それらが硬度に及ぼす影響はないと考えてよい。

2.3.2 P.C. 床版に対する実験 Fig.5に示すような市販の既製プレストレスト部材3枚について、これを支間262cmに支持し、その上面(コンクリート打込時の底面)に対し垂直下向打撃で硬度を測定した。測定点は支間中央から左右へ20cmずつの間隔をとり15点、各点あたり21箇の硬度を平均した。その結果はFig. 5に示すとおり、各供試体ともよく一致した傾向を示している。

この結果をみると部材の剛度が小さいための影響と、局部的な寸法の薄さの影響の両者が重なって表われているのがわかる。したがって、このような特殊な断面形を持ち、寸法の薄い部材に対しては、それぞれ特定の硬度を求め、それと強度の関係をあらかじめ求めておく必要があり、一般的方法での強度判定は困難である。

2.4 測定面の状態および測定点の位置

硬度測定面には型枠に接していた平滑な平面部を選

ぶのが原則である。露出骨材、空泡、突起部を避け表層の軟弱表皮を砥石で清掃して行なうのである。

しかし、それでもなお、接していた型枠か木製か鉄製かで硬度が異なるといわれている。型枠面の粗度や初期に吸収される表面水の影響などが関係すると考えられる。G.W. Greene の報文では、鉄枠に接していた面の硬度は木枠に接していた面のそれよりも、10～25%大きくなり、圧縮強度の大きなものほどその差が大であると述べている。

曲面に対する測定は異例であるが、曲率が大きいほど硬度が小さくなることが予想される。標準円柱体の側面で測定した硬度と、全ての条件を同じくした20cm

Table 2. Difference of “R” measured on a plane surface and on a curved surface, made from identical concrete.

(1:2:2:3:7, Age 2 years, average of 3~4 specimens)

W/C (%)	R on the side surfaces of 20 cm cube	R on the side surface of 15×30 cm cylinder
50	45.1	43.7
60	43.4	39.2

立方体側面で求めた硬度の相違の一例を示すと Table 2 のようである。

測定点が互いに接近しすぎると、硬度が変化することが予想され、また点が出隅に近付きすぎると硬度が減少する。今までの経験から相互の間隔、出隅よりの隔りは約3cmとれば充分であると考えられる。

2.5 測定箇所および平均 1箇所の硬度平均値を求めるに必要な測定箇所および平均の方法について、取扱い説明書では10箇所を標準とし、その算術平均値との偏差が指示の限度を越す場合は、さらに10箇所をとり、全体20箇の平均を求めるように示されている。

Fig. 5. “R” measured on prestressed concrete slab panels.

しかし実用上の見地からみると、最初から20箇所をとり全平均値を求めるのが簡便である。もちろん、露出していない空泡や表層直下の粗骨材のため、異常にかたよつた値が得られることがあり、これらは凹み程度や反響から異状と判定できるので、それらの値は捨て、それに代るものを補つて行うのがよい。

2.6 測定値のばらつき

筆者の行つた多くの測定の結果から、抽出された資料について個々の平均値ごとに、標準偏差 σ および変異係数 C を計算した。それらの結果からばらつきに関係があると考えられる諸事項について述べる。

2.6.1 測定箇所数との関係 某現場の鉄筋コンクリート建物の各部について、柱や壁の側面に水平打撃で硬度を測定した際の測定箇所数と、それから計算した σ 、 C の関係を示すと Fig. 6 のとおりである。

この結果からみて箇所数 n が非常に小さい2例を別とし、 n が約10より大になると、ばらつきは次第に減少する傾向がみられるが、大した変化はないことがわかる。

このような点からも、2.5 で述べたように $n=20$ ぐらいにとることは適当であると考えられる。

2.6.2 供試体圧定状態との関係 20 cm 立方体について、これを大きな鉄製の台上に置いてだけで垂直下向に打撃した場合と、これを試験機に挟み3 ton の力で圧定し水平打撃した場合との比較を示すと Table

Fig. 6. Relation between the number of readings and the variation.

3 のとおりである。また0.5 ton で圧定した場合と3 ton で圧定した場合との比較は Table 4 のとおりである。

以上の例から明らかのように、圧定しない場合よりも、した場合の方がはるかにばらつきが減少しており、圧定の程度が0.5 と3 ton では大差はないが後者の方が幾分少ないようである。

この点から比較的小さい供試体について硬度を測る

Table 3. Relation between the variation of R and holding manner, mix proportion of the specimens. σ ; Standard deviation, C ; Coeff. of variation (%) (20 cm cube, Age 28 days, average of 3 specimens)

Mix	W/C (%)	curing	put on a bed, vertically downward driven		held with 2 ton pressure, horizontally driven	
			σ	C (%)	σ	C (%)
neat cement	35	in moist air	1.9	5.6	1.9	4.7
1 : 2 mortar	60	"	1.8	5.7	1.5	3.8
1 : 4 "	60	"	1.7	6.7	1.7	5.2
1 : 4 "	65	"	1.6	6.4	1.3	3.8
1 : 2 : 6 concrete	60	"	5.0	14.6	4.6	11.3
1 : 2 : 2 : 3 : 7 "	60	"	3.0	10.2	3.1	8.6
"	60	in water	2.7	11.2	2.6	7.9
"	60	7 days in moist air thereafter in air	3.6	12.5	3.1	8.7

Table 4. Relation between the variation of R and holding pressure of the specimens. (20 cm cube, cured in moist air, horizontally driven, average of 3 specimens.)

Mix proportion	W/C (%)	Age (days)	0.5 ton holding pressure		3 ton holding pressure	
			σ	C (%)	σ	C (%)
1 : 2 : 2 : 3 : 7	50	730	2.9	6.5	2.2	4.7
1 : 2 : 46 : 3 : 94	62	220	3.1	8.4	3.3	8.4
"	71	"	2.7	7.9	2.8	7.7
"	83	"	2.3	6.7	2.7	7.4

際は、適当な圧定状態のもとで行うのが望ましい。

2.6.3 コンクリートの品質との関係 セメント水和物の硬度と骨材のそれとは一般に異なつたものであるから、材料分離の程度、配合その他、その品質によつてばらつきの程度が変化する。

20 cm 立方体の 1 側面内に 25 箇の測定を行つた多くの資料からみると、上部から底部へ次第に硬度が大きくなる傾向が明瞭である。しかし、そのばらつきは砂利の多くなつた底面のそれより小さい。

2.3.1 で述べた鉄筋コンクリートはりの各面に対して求めた各点のばらつきは Table 1 に示したとおりで、これもまた、上、側、底面と順次大きくなる。これらは材料分離による結果である。

配合によるばらつきの変化は Table 3 に明瞭に示されており、砂利量の多くなるにつれてばらつきも非常に大きくなる。養生法による相違は明らかでない。

以上のような点から、硬度測定はコンクリート打設時の側面に行うことを標準とし、砂利の多くなる底面で行うのは望ましくない。

セメント使用量約 300 kg/m³、砂利 25 mm 以下の一般鉄筋コンクリート用の配合に対し、その側面で求めた硬度の変異係数は大略 6~10、平均 8%前後と考えればよい。

3. コンクリートの品質と硬度の関係

コンクリートの硬度に関係するものは、それを構成する骨材とセメント水和物の硬度である。前者はその品質によりそれぞれほぼ一定の硬度を示すと考えうるが、セメント水和物は材齢、環境とともに硬度が変化する。その硬度発現のために必要な条件と、強度発現のための条件とは、また異なつたものがあると考えられる。

したがつて、強度と硬度の関係において硬度をみてゆくには、そのコンクリートの諸要素がいろいろ影響を持つことをよく理解しておく必要がある。

3.1 セメントの品種

坂博士は、普通、早強、高炉 3 種のセメントについて試験した結果、実用上その種別を考えるに及ばないことを示している。

筆者が早強セメント、アルミナセメントについて実験した結果を、以前に発表した普通セメントのものと比較した結果は Fig. 7 のとおりである。

また、普通セメントでもその品種により、強度 F と硬度 R の関係線が多少異なることがみられる。

それらの事実から考えられる一般的傾向は、強度発現性の大きなセメントを用いたものほど同一 R に対し F が大となる、特に長期強度の伸びのよいセメントとそうでないものとの差は R の大なる部分で大きいようである。ただし、以上は湿空ないし空气中発生をした

Fig. 7. “ F_w ” ~ “ R ” relation obtained from the concrete made from high early strength cement and aluminous cement.

(20 cm cube, 1 : 2.46 : 3.94, cured in moist air, age 1~54 days, put on a bed, on side surfaces, vertically downward driven.)

場合の関係で、水中養生を持続した場合はなんともしえない。

3.2 骨材品種

特に軟質または軽量な骨材の場合は、もちろん硬度は小さくなるが、強度は一般にさらに小さくなるようである。

一般の硬質骨材については、その品質の相違による影響は僅少であると考えられるが、粒径が大きいものは配合の場合の影響と同様に、同一 F に対し R が幾分大きくなるものと考えられる。

3.3 配合、水セメント比

取扱説明書ではセメント含有量、骨材の最大粒径および粒度分布、水セメント比は $F \sim R$ の関係に影響がないと述べられているが、これは一般に用いられるせまい範囲内でいえることであつて、特別な場合はこれらが影響することは明らかである。

筆者の行つた実験結果は Fig. 8 のとおりで、純セメントから 1 : 2 : 6 コンクリートにいたるまで次第に同一 F に対する R が大きくなる。配合がかなり異なつたコンクリートに対しては $F \sim R$ の関係は当然別のものを考えるべきであり、プレキャストコンクリートのような場合を一般と同様に考えるのは誤りである。

水セメント比による影響も詳細に $F \sim R$ の関係をみると、 W/C の大なるものは同一 R に対し F が幾分小さいようであるが、この差は僅少で一般の誤差の中に

Fig. 8. Variance of “ F_w ” ~ “ R ” relation due to mix proportion and curing condition of the concrete. (20 cm cube, age 28 days, put on a bed, on side surfaces, vertically downward driven.)

含めて考えるのが実際的のようである。

3. 4 養生条件

セメント水和物は水中に養生された時、その強度発現は大であるが、一方その硬度はあまり増加せず、空中養生されると強度発現はあまり進まず、乾燥による硬度の増進が大きくなると考えられる。ゆえに、コンクリートの養生された状況ならびに試験の直前までの乾湿の状況は、 $F-R$ の関係に非常に大きな相違を示す。この影響は上記各要素の中で最大のものである。

水中養生を継続し湿つたままの状態で試験されたものと、湿空養生（湿度 85% 前後）を継続され試験されたものとの比較は、Fig. 8 に示すように前者は同一 F に対し R が相当小さくなっている。

この両者の場合の $F-R$ 関係曲線は全然別個のものとして区別して考えるべきであつて、判定すべきコンクリートの状況に合致した関係曲線を用いるのを忘れてはならない。

3. 5 乾燥，湿潤

Table 5. Difference between R_S measured on side surface and R_B measured on bottom surface of the cube. (20 cm cube, holding pressure 10 or 3 ton, horizontally driven, average of 3 specimens)

R	W/C (%)															
	83				71				62				60		50	
	Age (days)															
	3	7	28	220	3	7	28	220	3	7	28	220	365	730	365	730
R_S	13.8	23.3	27.5	36.2	17.5	25.7	31.2	36.9	21.4	29.8	34.9	39.1	39.3	43.4	42.8	46.2
R_B	19.6	29.8	33.6	40.4	23.6	31.2	37.7	42.6	27.5	35.2	40.4	43.5	37.4	45.0	42.1	45.1
R_B-R_S	5.8	6.5	6.1	4.2	6.1	5.5	6.5	5.7	6.1	5.4	5.5	4.5	-1.9	+1.6	-0.7	-1.1

湿空または空気中におかれて気乾状態に近くなつたコンクリートが、一時的に湿潤状態または水中に保たれた直後の硬度は明らかに低下する。しかし、この場合は強度もまた低下するので、 $F-R$ の関係は元の状態で求められたものと同様であると考えてよい。この点については坂博士の実験も、筆者の実験もよく一致している。

水中養生を継続されたものが一時的に乾燥される場合も同様に、元の関係があてはまるのではないかと考えられる。

気乾状態のままで、永年の時日を経過したものは、強度の増進はほとんど停止しているが硬度はやはり増大するらしく、同一 F に対し R がかなり大きくなるようである。古いコンクリート構造物について硬度を測定した場合に、非常に大きな値 ($R=50$ 以上) を示すことはしばしばあり、このような場合の $F-R$ 関係はまた別のものであると考えられる。

3. 6 材料分離

材料分離により粗骨材粒が偏在し、また W/C の変化が生ずるので、そのため硬度が変化する。

2.3.1 に述べた鉄筋コンクリートはりの各面の硬度の変化はこの原因によるものであり、20 cm 立方体でも側面と底面とではこの原因による硬度の変化が明らかに見られる。筆者の実験結果の一例を示すと Table 5 のとおりである。

また、2.1 で述べた実験に用いた高さ 58 cm の柱状体について、底面から側面の各部ならびに頂面に対して水平打撃で求めた R の値が、底面の値からどのように減少してゆくかを示したものは Fig. 9 である。コンクリートの断面形が変化している部分の影響が途中に現われ、分離による材質変化が明瞭に見られる。

以上の資料ならびに筆者の行つた他の実験結果も併せ考慮すると、この原因による硬度の変化は、 W/C の大きいほど、また材齢の若いほど大きいといえる。 W/C が大きいと分離も大きいのは当然であり、また材齢とともにセメント水和物の硬度が大となり骨材のそれに近づくため、長期材齢のものでは骨材偏在の影響

Table 6. Investigating processes of various F_Z - R relation curves. R ; Rebound number by Schmidt hammer. F_W ; Compressive strength of the cube (kg/cm²) F_Z ; Compressive strength of the standard cylinder. (kg/cm²) ( ) : deduced matter although it was not pointed out clearly.

Symbol of the curve in Fig. 10.	B	E	G	S_1	S_2	S_3	S_4	A	K
Researcher, Reference No.	⁵⁾ S. Ban, T. Matsui	¹⁾ E.M.P.A.	⁴⁾ G.W. Greene	⁷⁾ T. Saji	⁸⁾ K. Takahashi	S. Kimura			
1. Type of cement	normal, high early strength, slag cement.	Swiss made	—	—	normal portland cement	—	—	—	2 sorts of normal Portland cement
2. Type of aggregate	river sand and gravel, max size 25 mm	river, lake, mountain product.	3 types, max size 1~1 1/2"	—	sand, gravel, max size 25 mm	—	—	—	river sand, gravel max size 25 mm
3. Mix proportion, water/cement (%)	1:1.5:3, 1:2:4, 1:2.5:5, 42~80	miscellaneous	60 kinds, cement content 223~388 kg/m ³	—	W/C 50~80 slump 17~22 cm	—	—	—	1:2.2:3.7, 1:2.46:3.94 50~85
4. Curing	in water→in moist air	in moist air, 90% R.H.	—	—	S_1 -in water, S_2 -in air	—	—	—	in moist air, about 85% R.H.
5. Age	3 days~1 year	7~90 days	—	1~10 months	—	—	—	—	3 days~2 years.
6. Type of specimen	20 cm cube	cube	6×12" cylinder	10×10×20 cm prism	20 cm cube	15×30 cm cylinder	20 cm cube	—	horizontal or vertical side plane, contacted with metal form
7. Tested surface	vertical side, contacted with wooden form	—	bottom plane	vertical side, contacted with wooden form	—	—	—	—	dry
8. Dryness of the surface	dry	(dry)	—	S_1 →wet, S_2 →dry	—	—	—	—	none or held with various pressure
9. Holding manner	held with 3 ton pressure	held	(none)	longitudinally compressed with 10 ton pressure	—	—	—	—	vertically downward or horizontal
10. Driving direction	horizontal	horizontal	—	horizontal	—	—	—	—	25
11. Number of readings averaged	10 or 20	20	6	—	—	—	—	—	all the values were corrected to the values held with 3 ton and horizontally driven
12. Corrections for measured values.	none	(none)	(none)	(none)	corrected to the values horizontally driven	—	—	—	above mentioned cube and standard cylinder
13. Type of specimen	above mentioned cube, and standard cylinder	above mentioned cube	above mentioned cylinder	above mentioned prism	above mentioned cube	—	—	—	ncnc
14. Conversion	none	(none)	(none)	(none)	converted F_W into F_Z	—	—	—	150 cubes, 90 cylinders
15. Number of the data	375 cubes, 267 cylinders	700 cubes	94	—	—	—	—	—	calculated R - F_Z relation formula applying the relations of R - F_W and F_W - F_Z
16. Relating process	calculated R - F_Z relation formula applying the relations of R - F_W and F_W - F_Z	converted F_W into F_Z	directly	directly	directly applying the corrected R and F_Z	—	—	—	$F_Z = -20.6 + 5.20R + 0.0486R^2$
17. Empirical formula	$F_Z = -184 + 13.0 R$	—	—	—	—	—	—	—	13~48
18. The range of measured R .	19~46	16~50	15~48	S_1 →29~49 S_2 →32~52	15~26	38~52	1~33	—	—

Fig. 9. Variance of "R" on side surface of concrete columns due to segregation.

が硬度に現われにくくなるためと考えられる。W/Cの小さい、長期材齢のもので逆に底面の硬度が側面のそれより小さくなるのは、保存中常に底面は棚に接していたため乾燥硬化の程度が小さかつたためと考えられる (Table 5 参照)。

以上のように材料分離による硬度の変化はかなりはなはだしいものがあるから、強度判定に際しての硬度の測定は側面で行なうのを原則とすべきであつて、底面で求めた R を用いて作られた $F-R$ 関係式に側面で求めた R を代入することは避けるべきである。

また、実際構造物で分離の大きいと認められる部材に対しては、この影響を考慮して安全な判定を行う必要がある。

4. 強度と硬度の関係

現在までに強度と反撥硬度の関係について実験から導かれた結果の、文献に公表されたものはかなり多い。

1. に述べたように、われわれの目標とするものは、標準円柱強度であるから、 R から標準円柱強度 F_z を求めるための関係曲線として示されたものを、それら文献から引用し図示すると Fig. 10 のとおりである。佐治氏の曲線 (S) は $10 \times 10 \times 20$ cm の角柱供試体について求められたものであるが、これは標準円柱強度に近い強度を示すものと考えて併記した。

筆者の求めた関係曲線 (K) は今回追加試験した材齢2年の供試体、その他16箇の結果を加え、ここに新しく発表するものである。

これらの関係曲線はそれぞれ異なつた方法で導かれたもので、そのためかなりの差異を示す結果となつてゐる。したがつて、それらを用いる際には、それが導かれた方法をよく知り、個々の強度判定の状況に最も近いものを用いるようにせねばならない。

Fig. 10. Various " F_z " ~ " R " relation curves listed on Table 6.

さらに、これらの関係曲線はどれも全てそれぞれの上下にある大きさのばらつきを持つてゐることはもちろんであるから、安全な判定を行なうためには、その点をも考慮して行わねばならない。ばらつきは標準偏差約 ± 30 kg/cm² と考えればよい。

参考までに各曲線が求められた過程の概要を列記すれば Table 6 のとおりである。

5. 結 語

シュミットハンマーを用いて求めた硬度から、コンクリートの標準円柱強度を判定する上に考慮すべき諸点について述べたが、まだ定量的に明確にされない点も多く、今後各方面の研究、経験により、より確実な判定ができるようになることを希望するものである。

本研究に際し、つねに御指導を賜つた 坂 静雄、伴 潔両博士に対し深く謝意を表する。

注：一

- 1) Beton-Prüfhammer, Modell 2. Gebrauchsanweisung. ならびに、シュミットコンクリートテストハンマー 取扱説明書 (モデル2号), 富士物産K.K.
- 2) 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, セメント技術年報 (1956)
- 3) 坂 静雄, 中島泰一, 表面硬度法による実施コンクリートの強度判定法補遺 (加圧の影響)
- 4) G.W. Greene, Test Hammer Provides New Method of Evaluating Hardened Concrete, J. of A.C.I. Nov. (1954)
- 5) 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 (1955)
- 6) 伴 潔, 木村恵雄, 打撃硬度試験によるコンクリート強度の判定, セメント技術年報 (1955)
- 7) 佐治泰次, コンクリート無破壊試験法 (その3, その6), 日本建築学会研究報告, No. 29, 31
- 8) 高橋公三, テストハンマーによるコンクリートの非破壊試験について, セメント工業, No. 14