

建築構造用鋼材の硬さと機械的性質の関係に関する実験的研究（その1）

——鉄筋の硬さ測定の場合設定に関する実験——

中 辻 照 幸
藤 盛 紀 明
藤 盛 義 嗣

§ 1. はじめに

既存建物の耐力診断においては、使用されている鋼材の種類を非破壊的に推定することを要求されることがある。

また、工事監理においては設計仕様通りの鋼材が使用されているかを非破壊的に知る手法の開発が強く要望されている。

本研究はこれらの要望にこたえるために、可搬式硬度計によって鋼材の機械的性質を推定する手法を検討するものである。

鋼材の硬さと、その機械的性質の関係に関する調査は以前から行なわれていたが、一般的あるいは定性的な結果しか公表されていない^{1) 2)}。本論文は本方法を実用化するために、まず鉄筋に着目し、その第1段階として硬さの測定条件の設定方法を統計的手法によって検討したものである。

§ 2. 実験

2.1 実験概要

鋼材は微視的にみれば結晶粒の集まりであり、厳密に言えば均質な材料でない。ビッカース硬さの測定においては、荷重が小さければ圧痕も小さくなり、この鋼材の微視的不均質によって測定値も「ばらつく」と考えられる。引張試験等によって得られる鋼材の機械的性質は、巨視的なものであり平均的なものであるから、本研究の目的の場合、荷重を大きくし圧痕を大きくして平均的な硬さを測定するのが妥当であろう。そうすることによって測定値の「ばらつき」を小さくすることができる。

硬さを測定する場合、試験片表面が粗ければ測定値の「ばらつき」が大きくなるため、測定物の表面を鏡のように研磨するのが一般的である。しかし表面を細かく研磨することは、多大な労力と時間を必要とし、現場等で

測定する場合適当でない。

本実験は、硬さの試験荷重と表面研磨の状態をパラメーターにとり、測定精度を考慮して硬さの測定条件を設定するのを目的とする。

また現場で硬さを測定する場合、鉄筋の側面（外面）を測定することになり、可搬式硬度計を使用することになる。本実験では、鉄筋の断面と側面の硬さの差、および定置式硬度計と可搬式硬度計の指示値の差についても検討した。

2.2 実験方法

2.2.1 測定機器

本実験で使用した定置式硬度計は、ビッカース硬さ試験機（明石製作所製）である。可搬式硬度計（エルンスト ATP 型）は、ロックウエル硬さ試験方式を採用しており、硬度計を測定物に手で押しつけると自動的に 0.5kg の基準荷重と 5kg の試験荷重が圧子に加わることになっている（写真—1）。ただし、硬さはビッカース硬さで表示される。

2.2.2 供試鋼材および試験片形状

供試鋼材は市販の鉄筋で、SD35D25、SD30D29、SR24D16の3種類とした。

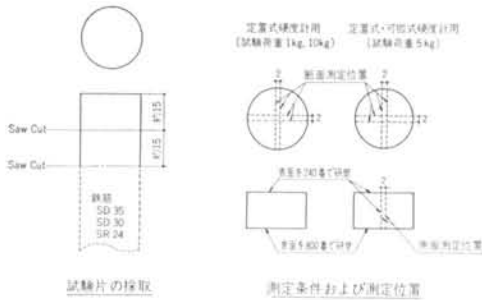
試験片は図—1に示したように各鉄筋から2個ずつ取



写真—1

材 料	断面測定	表面研磨 荷重(kg)	定置式硬度計									可搬式硬度計			
			240番(粗)			800番(細)						240番(粗)			
			1	5	10	1	5	10	1	5	10	5			
鉄筋	断面測定	SD35	A ₁ ¹	A ₂ ¹	A ₃ ¹	A ₁ ²	A ₂ ²	A ₃ ²							P _A
		SD30	B ₁ ¹	B ₂ ¹	B ₃ ¹	B ₁ ²	B ₂ ²	B ₃ ²							P _B
		SR24	C ₁ ¹	C ₂ ¹	C ₃ ¹	C ₁ ²	C ₂ ²	C ₃ ²							P _C
	側面測定	SD35	—	O _A	—	—	—	—							—
		SD30	—	O _B	—	—	—	—							—
		SR24	—	O _C	—	—	—	—							—

表一 鉄筋の硬さ測定条件



図一 試験片の形状および硬さ測定方法

水準	A ₁ ¹	A ₂ ¹	A ₃ ¹	A ₁ ²	A ₂ ²	A ₃ ²	B ₁ ¹	B ₂ ¹	B ₃ ¹	B ₁ ²	B ₂ ²	B ₃ ²	C ₁ ¹	C ₂ ¹	C ₃ ¹	C ₁ ²	C ₂ ²	C ₃ ²	O _A	O _B	O _C	P _A	P _B	P _C
1	197	185	177	178	183	180	185	180	167	165	169	166	156	121	145	148	150	138	190	177	146	182	172	140
2	189	188	191	178	190	187	185	167	172	165	155	169	151	137	146	82.4	157	142	192	175	132	183	172	145
3	189	195	181	193	188	185	148	177	168	165	174	162	178	157	146	90.7	140	138	188	177	151	190	182	142
4	178	187	185	197	182	171	148	180	161	162	160	160	159	146	131	168	142	138	190	182	146	185	160	145
5	189	188	159	185	190	180	171	182	175	175	177	168	239	157	145	153	140	141	188	182	148	186	165	140
6	197	185	177	178	188	183	125	158	165	151	155	168	135	155	131	145	136	143	183	175	146	190	172	147
7	197	177	186	193	195	189	193	174	165	182	172	177	162	156	148	153	127	138	187	182	139	190	172	150
8	165	190	180	175	188	197	145	175	170	168	171	165	148	150	153	156	137	137	187	175	148	185	180	145
9	189	187	177	171	193	186	182	175	165	159	172	176	143	131	144	113	151	143	193	177	146	195	172	140
10	175	193	160	205	193	188	178	174	162	156	169	178	156	150	136	140	150	142	190	177	134	186	172	158
11	189	187	179	182	185	189	100	161	138	156	177	168	121	138	143	148	151	141	180	175	138	190	182	140
12	162	187	176	175	182	186	175	187	173	162	160	169	133	158	138	151	162	142	187	175	146	185	170	145
13	106	182	177	185	206	187	182	171	173	182	167	167	140	137	141	92	155	146	192	180	142	180	170	142
14	127	190	187	165	188	180	131	178	178	153	175	171	129	137	153	133	144	141	190	175	140	180	190	156
15	125	180	186	178	187	170	178	156	166	140	165	173	127	147	131	92	143	141	190	172	146	182	180	138
16	162	197	160	182	187	179	151	185	175	165	174	169	143	157	143	153	140	138	190	172	139	192	182	162
17	193	182	172	189	190	178	182	175	169	168	172	160	159	140	138	148	133	138	182	175	153	185	177	155
18	175	193	181	175	182	178	178	169	168	165	175	168	153	146	153	159	144	153	190	172	144	185	175	150
19	185	182	183	214	185	179	165	168	172	185	169	153	148	151	131	153	136	139	192	178	143	180	170	152
20	182	188	183	205	180	171	175	171	172	168	175	168	151	139	140	80.3	127	136	180	178	140	175	183	155
平均値	173.6	187.2	177.9	185.2	188.2	182.1	163.9	173.2	167.7	164.6	169.2	167.8	151.5	145.5	141.8	132.9	143.3	140.8	188.1	176.6	143.4	185.3	174.9	147.4
不偏分散	677.6	25.7	81.7	159.9	34.3	47.3	595.9	69.3	69.3	120.2	46.9	36.0	609.3	104.4	53.2	847.9	89.6	106.2	15.4	9.7	28.7	23.5	49.7	49.4
標準偏差	25.37	4.94	8.81	12.33	5.71	6.70	23.79	8.11	8.11	10.68	6.67	5.85	24.06	9.96	7.11	28.38	9.22	10.04	3.83	3.04	5.22	4.72	6.87	6.85
母平均の 区間推定幅	±12.18	±2.37	±4.23	±5.92	±2.74	±3.22	±11.43	±3.89	±3.89	±5.13	±3.20	±2.80	±11.55	±4.77	±3.41	±13.63	±4.44	±4.81	±1.84	±1.47	±2.51	±2.26	±3.31	±3.29

表二 硬さ測定結果

り出した。

2.2.3 測定条件および測定位置

定置式硬度計で、硬さを測定する場合、試験荷重を1 kg、5 kg、10kgの3種類とし、試験片表面の研磨の状態を粗、細の2種類とした。試験片の研磨は粗い方を240番、細かい方を800番のエミリーペーパーで行なった。

鉄筋の側面の硬さおよび可搬式硬度計による硬さの測定条件は、試験荷重を5 kg、表面研磨の状態を粗い方(240番で研磨)のみとした。

以上の測定条件を表一に示す。表中には水準の記号を示す。

試験片の硬さ測定位置は図一に示す。測定間隔は試験荷重1 kgで0.5mm、5 kgで1 mm、10kgで1.5mm以上とした。硬さは各測定条件について20点測定した。

2.3 測定結果

鉄筋の硬さ測定結果を表二に示す。表二には平均値、不偏分散、標準偏差等を並記した。

§ 3. 考 察

3.1 硬さ測定条件の検討

測定値の「ばらつき」の程度は不偏分散によって表わすことができ、不偏分散の小さいものほど「ばらつき」が小さい。図-2 に示したように、試験荷重 1kg の測定値の不偏分散は大きく、試験荷重 5kg, 10kg の測定値の不偏分散は小さく、大きな差がない。したがって試験荷重 5kg 以上で硬さの測定を行なえば「ばらつき」の少ない測定値が得られる。

また同一鋼材、同一試験荷重、異なる表面研磨の状態 で測定した硬さの測定値の不偏分散について検定した結果、表-3 に示したように試験荷重 5kg 以上では信頼率 95% で各水準間に有意差がない。さらに、異なる表面研磨で測定した値間に、測定誤差に比べて意味のある差があるかどうかを実験計画法の分散分析で検討した。その結果、表-4 に示したように試験荷重 5kg 以上の測定値間には信頼率95%で有意な差がないことがわかった。したがって、表面の研磨が粗くても硬さの測定に 5kg 以上の試験荷重を採用すれば、表面を細かく研磨した場合と同程度の「ばらつき」をもった精度の良い測定値が得ら

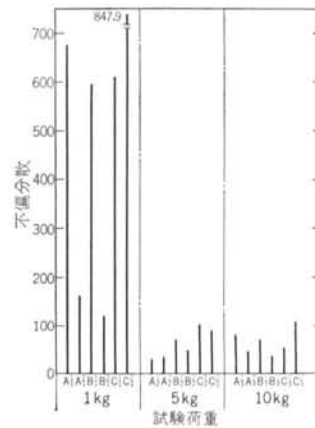


図-2 各水準における不偏分散

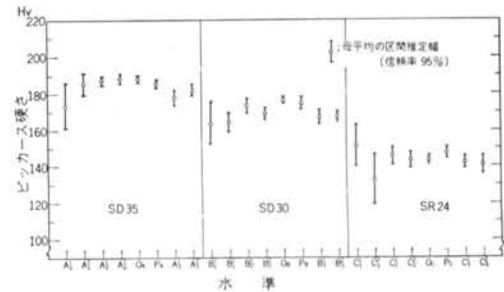


図-3 母平均の区間推定

試験荷重	水準	不偏分散	分散比 F_0	F 値	判 定	
1 kg	A_1^1	677.6	4.24	$F_{19}^{19}(0.05)$ =2.17 (信頼率95%)	有意差 有 り	
	A_2^1	159.9				
	B_1^1	595.9	4.96		"	
	B_2^1	120.2				
	C_1^1	609.3	1.39		有意差 な し	
	C_2^1	847.9				
5 kg	A_2^2	25.7	1.33			"
	A_3^2	34.3				
	B_2^2	69.3	1.48			"
	B_3^2	46.9				
	C_2^2	104.4	1.17			"
	C_3^2	89.6				
10kg	A_3^3	81.7	1.73			"
	A_4^3	47.3				
	B_3^3	69.3	1.93			"
	B_4^3	36.0				
	C_3^3	53.2	1.99			"
	C_4^3	106.2				

表-3 各水準間の不偏分散の検定

試験荷重	水 準	分散比 F_0	F 値	判 定	
1 kg	A_1^1, A_2^1	3.21	$F_{38}^{14}(0.05)$ =4.098 (信頼率95%)	有意差なし	
	B_1^1, B_2^1	0.016		"	
	C_1^1, C_2^1	4.76		有意差有り	
5 kg	A_2^2, A_3^2	0.30			有意差なし
	B_2^2, B_3^2	2.75			"
	C_2^2, C_3^2	0.52			"
10kg	A_3^3, A_4^3	2.87			"
	B_3^3, B_4^3	0.001			"
	C_3^3, C_4^3	0.14			"
5 kg	O_A, A_2^2	0.39			"
	O_B, B_2^2	2.93			"
	O_C, C_2^2	0.70			"
	P_A, A_2^2	1.39	"		
	P_B, B_2^2	0.51	"		
	P_C, C_2^2	0.45	"		

表-4 各水準の分散分析結果

れることがわかる。

各水準について、どの程度の範囲で試験片の硬さの母平均(試験片から無限に測定して得られる硬さの平均値)を推定できるかを検討した結果を図-3に示す。これからも、硬さの測定を試験荷重5kg以上、試験片の表面研磨を240番程度で行なえば精度の良い測定値が得られることがわかる。

3.2 鉄筋の側面と断面の硬さの検討

鉄筋の側面の硬さと、それと同条件で測定した断面の硬さの測定値について、分散分析した結果を表-4に示す。各組の水準間に信頼率95%で有意な差はなく、各測定値間に、測定誤差に比べて意味のある差は認められない。そして表-2に示したように、分散が断面で測定した値より側面で測定した値の方が小さいことを考慮すれば、鉄筋の側面と断面の硬さに差はないと考えられる。

3.3 測定機器の検討

可搬式硬度計で測定した値と、それと同条件で測定した定置式硬度計での測定値を分散分析した結果を表-4に示す。表-4から明らかなように、各測定値間に測定誤差に比べて意味のある差が認められない。そして表-2に示したように、可搬式硬度計で測定した値の分散の方が定置式硬度計で測定した値の分散より小さいことを考慮すれば、可搬式硬度計の測定精度に問題はない。

3.4 測定点数の検討

測定点数が変化した場合の、母平均の区間推定を行ない、本研究の目的で硬さを測定する場合の測定点数について検討を行なう。

サンプリングした測定値は表-2の可搬式硬度計の測定値である。測定点数にあわせて各水準の測定値を順次上から抜き取った。

図-4に測定点数と信頼率95%の母平均の区間推定幅

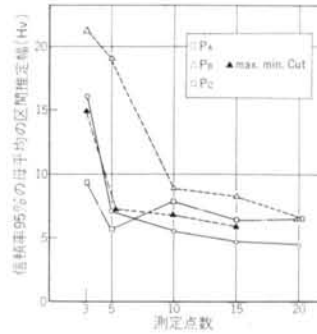


図-4 測定点数と母平均区間推定幅の関係
の関係を示す。図中の▲印は、 P_B について測定値の最大値と最小値を除いた残りの測定値から、母平均の区間推定を行なった推定幅である。

図から明らかなように、硬さを測定する場合、硬さの特性値を10点測定の平均値で示すか、または7点測定を行ない最大値と最小値を除いた5点の平均値で示せば、硬さの母平均区間推定幅(信頼率95%)は $H_v=10$ 以下になる。

§ 4. まとめ

鉄筋の硬さ測定条件の設定に関する実験を行なった結果、次のような結論を得た。

- 1) 鋼材の硬さを測定する場合、試験荷重を5kg以上で行なえば、表面の研磨は240番程度で良い。
- 2) 鉄筋の断面内と側面の硬さは同程度と考えられる。
- 3) 可搬式硬度計で硬さを測定しても精度の良い測定値が得られる。
- 4) 本研究の目的で硬さを測定する場合、硬さの特性値を10点測定の平均値で示すか、または7点測定を行ない最大・最小値を除いた5点の平均値で示せば良い。

<参考文献>

- 1) "SAE Handbook—1965" SAE-J413a pp. 98~
- 2) 瀬古哲, 横山隆: "硬さ試験による鋼材の機械的性質の推定" 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和48年
- 3) 山本健太郎他: "講座 正しい硬さ試験" 金属材料 Vol. 13, No. 11~Vol. 15, No. 4
- 4) 三上操: "応用推計学" 内田老鶴圃新社
- 5) 矢野宏他: "統計手法と計測" コロナ社 1973