

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2)

—鉄筋の硬さと機械的性質—

中 辻 照 幸
藤 盛 紀 明

§ 1. はじめに

第1報¹⁾では、ビッカース硬さ測定の実験条件設定に関する実験を行なった結果を述べた。その結果、①試験荷重を5kg以上で行なえば、試料表面の研磨の粒度は240番(JIS R 6001)程度で良い、②鉄筋の外側面と中央部では硬さに差はない、③可搬式硬度計で硬さを測定しても、定置式硬度計と同程度の精度の測定値が得られる、④硬さの特性値は10点測定の前平均値で示すか、または7点測定し、最大・最小値を除いた5点の前平均値で示せば良い、などの結論が得られた。

本報告は、以上の結果に基づき、鉄筋の硬さと強度の関係を調査したものである。主な調査対象は、大正年間に建造された建物の解体現場から採取した鉄筋である。

また、既存建物の耐力診断等を行なうために、現場で鉄筋の硬さを非破壊的に測定する場合、コンクリートから鉄筋をはり出し、可搬式硬度計で測定する必要がある。このような場合を想定し、実験を行なった結果も報告する。

§ 2. 鉄筋の硬さと強度の関係の調査

2.1 調査方法

2.1.1 鉄筋の採取

鉄筋は大正年間に建造された建物の解体工事現場(4現場)から採取した。鉄筋の数量は53本である(試験片番号No.1~No.53)。採取に際しては、鉄筋に曲げ等の塑性変形が生じないように、既存コンクリートの中からはり出した。採取した鉄筋は、主要5元素(C, Si, Mn, P, S)について化学分析し、後述する方法で硬さ試験と引張試験を行なった。

また、上記の鉄筋について硬さと強度の関係を調査および分析の後、他の解体工事の現場から12本の鉄筋を入手した(試験片番号No.54~No.65)。建物は大正年間に建

造され、昭和の初期に補強されている。したがって、採取した鉄筋は大正期のものか昭和初期のものかは不明である。これらの入手した鉄筋は、上記53本の調査から得られた結論の妥当性を検討するのに用いた。

2.1.2 硬さの測定方法

硬さ試験は、第1報¹⁾で使用した定置式ビッカース硬度計と可搬式硬度計を用いて行なった。硬さ測定の荷重は5kgで、研磨はエミリーペーパーの240番で行なった。

硬さ測定は、採取した鉄筋の切断面(第1報¹⁾図-1参照)上で行なった。測定点数は10点で、硬さの表示は10点の前平均値で示した。

定置式硬度計と可搬式硬度計による測定値の差は、図-1から分かるように、また第1報でも述べたように有意な差はない。したがって、本論文では定置式硬度計による測定値を用いてデータ分析を行なった。

2.1.3 引張試験方法

引張試験は、採取した鉄筋を丸棒に切り出して行なった。これは鉄筋によっては完全な円形ではなく、いびつな断面をしているので、断面算定が困難なためである。切り出した丸棒の径は、採取した鉄筋径によって異なり6mmφ、12.5mmφ、14mmφの3種類とした(表-1の注を参照)。

引張試験における測定項目は、上下降伏点、引張強さ、

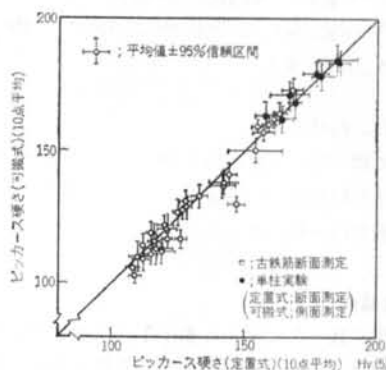


図-1 定置式硬度計と可搬式硬度計による硬さ測定値の差

試験片 No	硬さ試験*				引張試験***				炭素 当量 (%)	試験 片 No	硬さ試験				引張試験				炭素 当量 (%)
	定置式		可搬式		降伏 (kg/ mm ²)	最大 (kg/ mm ²)	伸び (%)	絞り (%)			定置式		可搬式		降伏 (kg/ mm ²)	最大 (kg/ mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	
	平均	信頼幅**	平均	信頼幅							平均	信頼幅	平均	信頼幅					
1	172	2.66	—	—	44.9	51.5	25	66	0.19	28	128	1.52	129	4.20	31.9	41.2	43	70	0.13
2	107	2.20	—	—	28.4	38.3	44	70	0.14	29	121	1.11	120	2.88	30.4	41.1	43	69	0.14
3	140	6.52	—	—	35.1	47.0	45	70	0.18	30	120	2.95	122	2.86	32.0	39.8	42	70	0.11
4	107	1.17	—	—	26.4	38.1	48	71	0.16	31	125	1.65	127	4.54	31.9	40.7	42	72	0.11
5	109	1.38	—	—	29.4	38.2	49	72	0.16	32	121	3.51	121	5.04	30.6	39.3	38	68	0.09
6	126	7.49	—	—	33.5	40.0	40	68	0.13	33	168	4.13	173	4.06	41.6	62.8	21	54	0.45
7	117	4.16	—	—	31.6	41.1	45	74	0.13	34	161	2.45	162	2.76	37.0	58.3	33	50	0.44
8	101	4.14	—	—	29.4	36.4	46	75	0.14	35	163	2.58	164	3.56	39.0	59.8	33	51	0.41
9	118	4.13	—	—	31.8	41.0	40	70	—	36	159	2.70	160	2.70	38.0	57.3	33	50	0.43
10	135	6.71	—	—	30.4	44.0	44	70	0.21	37	155	1.09	159	1.60	37.0	56.7	34	50	0.40
11	128	6.70	—	—	34.2	40.3	44	75	0.08	38	157	4.13	157	3.16	41.0	57.2	35	60	0.42
12	119	5.97	—	—	34.7	40.5	46	76	0.09	39	117	6.17	113	5.45	23.5	41.5	42	60	0.18
13	119	5.69	—	—	34.3	40.7	47	77	0.10	40	126	1.86	117	3.43	24.2	46.1	38	50	0.32
14	123	3.38	—	—	35.0	38.3	46	76	0.09	41	147	3.69	130	2.36	30.2	47.1	37	63	0.24
15	135	2.85	—	—	36.6	41.5	42	76	0.09	42	110	3.02	110	5.46	27.6	43.6	36	68	0.19
16	110	1.21	—	—	30.1	38.8	43	74	0.16	43	115	3.45	111	4.33	28.2	41.8	24	67	0.16
17	157	3.99	—	—	40.3	54.5	40	66	0.22	44	115	2.00	114	4.44	28.9	42.9	35	66	0.12
18	112	1.57	—	—	29.4	38.9	51	73	0.15	45	116	2.21	116	6.50	30.3	42.8	32	75	0.14
19	108	4.38	—	—	27.1	38.6	42	69	0.18	46	108	2.25	106	3.16	26.8	39.8	38	71	0.16
20	112	3.58	—	—	28.9	39.1	50	71	0.16	47	121	1.52	117	4.32	29.4	43.0	41	68	0.20
21	142	5.61	138	4.61	31.8	42.5	38	69	0.14	48	112	1.54	109	4.31	27.9	41.6	36	68	0.17
22	144	2.78	141	3.35	34.7	46.2	38	67	0.14	49	119	4.71	112	4.33	36.5	45.5	28	66	0.20
23	127	1.70	128	3.35	31.5	41.6	40	71	0.12	50	119	2.62	113	2.65	30.2	43.3	38	66	0.19
24	154	10.16	150	4.06	33.7	46.3	33	58	0.14	51	109	1.96	103	3.09	28.1	40.3	44	70	0.17
25	142	4.96	137	4.82	32.9	46.1	38	67	0.13	52	112	0.76	114	4.84	27.9	42.1	40	67	0.20
26	128	1.85	131	3.38	32.4	40.3	43	70	0.12	53	115	1.17	119	4.19	30.0	42.0	41	67	0.16
27	133	2.85	133	3.99	34.8	41.6	37	70	0.12										

注) * 硬さ試験結果: 10点測定の結果

** 信頼幅: ±95%信頼限界幅

*** 引張試験: 丸棒引張試験片に切削して試験(鉄筋No 1~20は6mm^φ, 鉄筋No21~32は12.5mm^φ, 鉄筋No33~53は14mm^φ)

表一1 調査結果一覧表

破断後伸び, 絞りである。

データ処理に際しては, 降伏強さとして下降伏点を採用した。また破断後伸び測定のための標点距離は, $4\sqrt{A}$ (Aは試験片断面積)とした。

2.2 調査結果

調査結果を表一1に示す。表一1には硬さ測定結果, 引張試験結果, 化学分析結果(炭素当量で表示)を示してある。

2.2.1 硬さと強度

硬さと降伏強さ, 引張強さの関係を図一2に示す。図には, 回帰直線, データの95%信頼限界幅および相関係数(r)を示した。なお, 回帰直線を求めるときに, 本章で行なった最近の鉄筋の実験データも含めた。図からわかるように, 硬さと強度には強い相関関係があり, 95%信頼限界幅も±5~7 kg/mm²程度である。

上記の調査の後に入手した鉄筋(試験片番号No54~No65)を用い, 上記の分析結果の妥当性を調べた結果を図

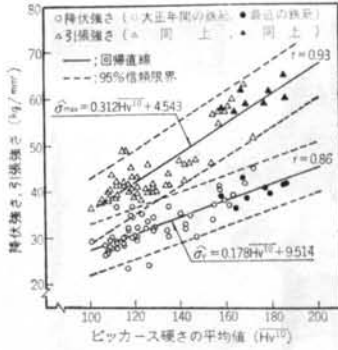


図-2 硬さと降伏強さ、引張強さの関係

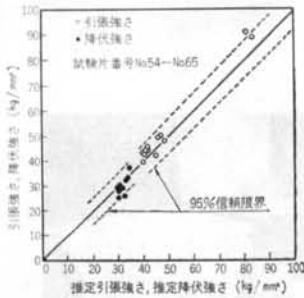


図-3 推定強度と実際の強度

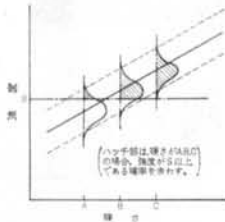


図-4 保証強度の概念図

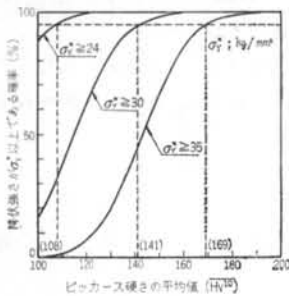


図-5 硬さと保証降伏強さ

一3に示す。硬さから回帰直線を用いて推定した強度と実際の強度は良く一致し、上記の分析結果が妥当であることが分かる。

さらにここで、図-4に模式図で示したような保証強度の概念を導入する。すなわち、硬さ測定結果から保証できる強度を確率で示す方法を考える。保証降伏強さを

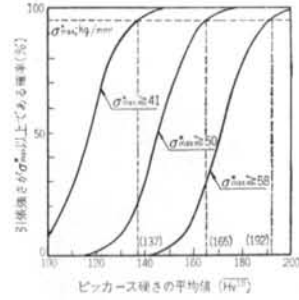


図-6 硬さと保証引張強さ

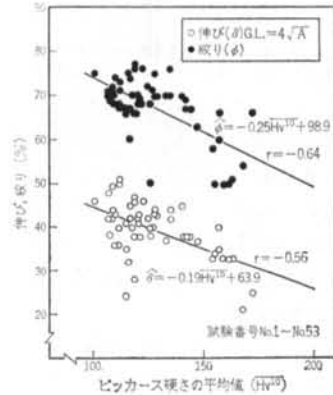


図-7 硬さと伸び、捻りの関係

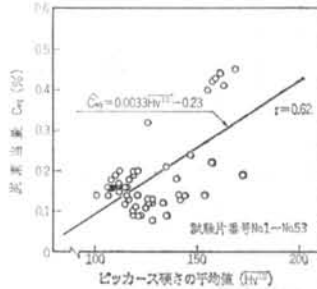


図-8 硬さと炭素当量の関係

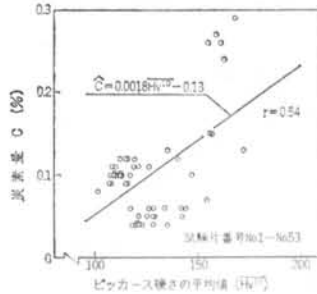
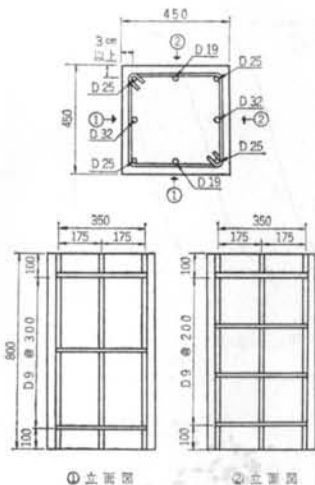


図-9 硬さと炭素量の関係

σ_y^* 、保証引張強さを σ_{max}^* で表示すれば、硬さが測定された場合、強度がそれぞれ σ_y^* 、 σ_{max}^* 以上である確



図一10 試験体の配筋図

率を図一5、6に示す。図には、 σ_y^* 、 σ_{max}^* 以上である確率が95%になる硬さも示した。すなわち、例えば図一5で硬さ測定値が $H_v=141$ の場合、降伏強さが $30\text{kg}/\text{mm}^2$ 以上である確率は95%であるといえる。

2.2.2 硬さと伸び、絞り

硬さと伸び、および絞りの関係を図一7に示す。図から硬さの増加に伴ない伸び、絞りが低下する傾向は認められるが、相関関係は弱い。したがって、硬さから伸びおよび絞りは推定できない。

2.2.3 硬さと化学成分

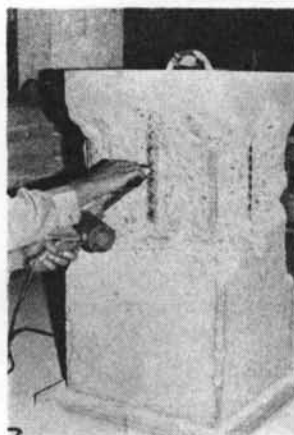
硬さと炭素当量(C_{eq})の関係を図一7に、硬さと炭素量の関係を図一9に示す。硬さと炭素当量、炭素量との相関関係は弱く、したがってこの場合も、硬さから炭素当量、炭素量は推定できない。

§ 3. 現場への適用

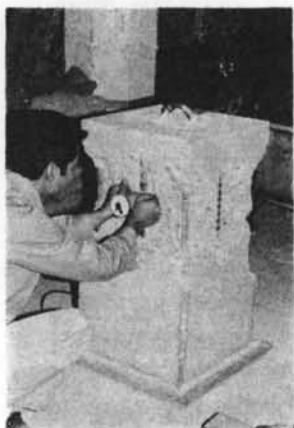
既存RC造の鉄筋の硬さを測定する場合、以下のような問題点がある。

- ①コンクリートから鉄筋をはつり出す場合の範囲。
- ②硬さ測定には可搬式硬度計を使用する(第1報¹⁾で問題のないことを確認)。
- ③柱が調査の対象の場合、硬さ測定は横向きで行なうので治具の必要性の検討。
- ④硬さ測定は、はつり出した鉄筋の側面で行なう(第1報で問題のないことを確認)。

以上の問題点、特に①と③の問題点を調べるために、図一10に示したようなRC柱を製作し実験を行なった。実験に供した主筋はD19、D25、D32の3種類の径で、



写真一1 鉄筋のはつり出し後の研磨



写真二 硬さ測定

S D30とS D35が同一本数になるように配置した。またフープ筋は200mmと300mmピッチに配筋した。実験の様子は写真一1、写真二に示す。

実験の結果は、以下のようにまとめられる。

(1)鉄筋のはつり出す長さは、200mm~250mm程度で十分である。

(2)鉄筋の側面の硬さを横向きで測定する場合でも、特殊な治具は必要ない。

(3)硬さ測定値は、図一1に並記したように十分精度が良い。

以上から、本方法を既存RC造の耐力診断等へ適用することは、十分可能であると考えられる。

§ 4. まとめ

硬さから、鉄筋の機械的性質を推定する方法について

調査した結果、以下のような結論が得られた。

①硬さと強度（降伏強さ，引張強さ）には強い相関関係があり，硬さから強度が推定できる。その場合の95%信頼限界幅は $\pm 5 \sim \pm 7 \text{ kg/mm}^2$ である。

②“硬さから，ある確率で保証できる強度”という概念を導入した（図-5，図-6参照）。

③硬さから，伸び，絞りおよび化学成分は推定できない。

④現場でコンクリートをはつり出し，鉄筋の硬さを精度良く測定できることを実験的に確認した。

⑤したがって，既存RC造建物の耐力診断等に本方法を適用し，硬さから鉄筋の強度保証をすることは可能である。

なお，本研究で調査した鉄筋の硬さの範囲は， $H_V = 100 \sim 200$ 程度である。この範囲を逸脱する硬さの鉄筋については調査を行っていない。本方法を適用する場合は注意が必要である。さらに，塑性変形や火災等によ

る熱履歴を受けた鉄筋についても調査を行っていないので，本方法は適用できない。

しかし，鉄骨造の建物の耐力診断や工事監理において，鋼板の強度や鋼種を非破壊的に調べるのにも本方法は有効であると推察される。ただし，硬さと強度の回帰関係が異なる可能性もあるので注意が必要である。

以前筆者らが，鉄骨工事監理に本方法を応用した例を以下に示す。ある工事において，梁材に使用した鋼種に疑問が生じ，非破壊的にSS41かSM50Aかを明らかにする必要が生じた。このとき，同一工事に使用されている多くのSS41材とSM50A材の硬さ測定値と図-2の回帰関係を参考に，梁材の硬さからその梁に使用されている鋼種を明らかにした。このように，本法は鋼種の判別にも利用できる。

謝辞 本研究を遂行するにあたり，試料を提供していただいた関係各位，およびデータの統計処理に際してご助言をいただいた計算センター山田隆氏に謝意を表す。

＜参考文献＞

- 1) 中辻他：“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）”清水建設研究所報 Vol. 26（昭和51年4月）

