

建築用鋼材の非破壊的判別法の実用性に関する研究

倉 持 貢
(技術研究所)矢 部 喜 堂
(技術研究所)石 川 登
(技術研究所)

§ 1. まえがき

設計手法や構造解析技術等の向上に伴い、鉄骨造はより一層経済設計を志向する傾向にある。必然的に、主要構造材である SM50A (50 kgf/mm² 鋼) と SS41 (41 kgf/mm² 鋼) は同一建物の中で同時に使用されることが非常に多くなりつつあり、このため鋼材の入荷段階や鉄骨製作過程における両者の誤使用という問題が取り沙汰されている。鋼材の誤使用が明らかとなり、解体撤去や補強を余儀なくされた建物は既に数件報告されている。

鉄骨造に使用される鋼材が、鉄鋼メーカーから鉄骨加工業者に到達するまでの流通経路は、図一1に示すとおりである。本過程で指摘される材種誤用に関する問題点は、以下のように分析される。

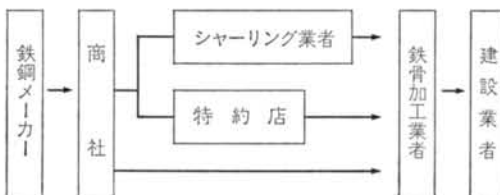
(1) 流通経路が複雑であり、またその間で行なわれる鋼材の切断・加工等の作業が分業化されているため、一貫した製品管理が実施しにくい。

(2) 建築用鋼材の形状・寸法、規格は多岐にわたるが、それらの有効な仕分け法がない。

(3) 鋼材の受入検査は鋼材検査証明書(ミルシート)と製品との照合によることが一般的であるが、ミルシートの発行が製品の入荷時期よりも遅れることがあり、照合が困難な場合がある。

(4) 材質検査法には火花試験法、化学分析法、引張試験法等があるが、いずれも破壊試験であるうえに多大な時間と経費および相当の試験施設を必要とするため、通常の管理業務には適用が困難である。

このような背景から、設計および工事監理の立場から



図一1 建築用鋼材の流通経路

簡便で、かつ高精度の非破壊による鋼種判別試験法の確立が強く求められている。また、使用鋼材が不明な場合が多い既存鉄骨造の耐震診断や、劣化診断を進めるうえでも同様の要求がある。

鋼種や引張強度は外観から判別することは不可能であり、これまで主に機械的試験により調査しているのが実情であるが、最近上記の要求を満たすべき数種の非破壊的鋼種判別試験法が提案されている。本報では、電気抵抗法、磁気法および硬さ試験法の3種類の方法について、建築用鋼材の判別精度を調査し、その有効性を実験的に比較検討するとともに実構造物に適用し、実用性を検証したので報告する。

§ 2. 各種非破壊的鋼種判別試験法の比較

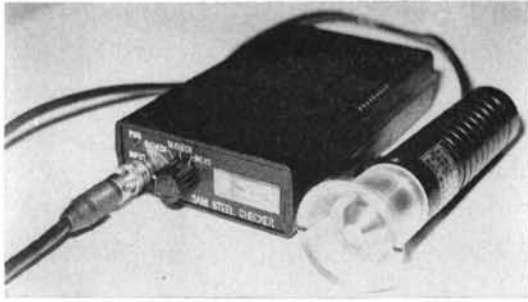
2.1 実験概要

3種類の非破壊的鋼種判別試験法について、判別結果と引張り強さとの対応関係を予備調査した。

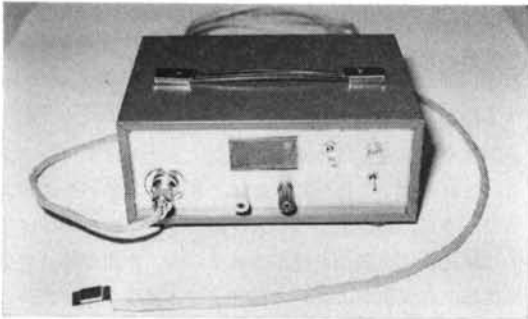
表一1に各試験法の概要を、写真一1に各測定器の外観を示す。供試材は SS41 ($t=16$ mm) と SM50A ($t=16$ mm) で、各10片とした。試験片は非破壊試験後、引張試験により引張り強さを求めるために JIS Z 2201 1A号とし、その表面は、1面を精密仕上げ後パフ研磨とし、

測定法	測定器名称	測定原理
電気抵抗法	サムスチールチェッカー	SS41 と SM50 では Si と Mn 量に差があり、これが鋼材の電気抵抗値に影響を及ぼす。この電気抵抗値の差を利用して SS41 と SM50 を判別する。
磁気法	材質インジケーター	鋼材の磁化(磁壁移動)の容易さは、C, Si, Mn などの強化元素の量に影響される。磁氣的性質の変化を利用して強度を推定する。
硬さ試験法	エコーチップ	鋼材の表面にチップを打撃し、その反発力を測定し、硬さに換算する。

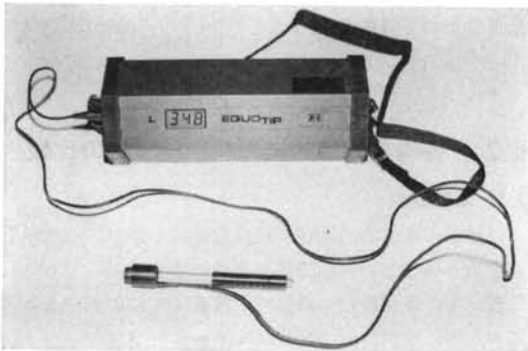
表一1 各種非破壊的鋼種判別試験法の概要



(a) スチールチェッカー



(b) 材質インジケータ



(c) エコーチップ

写真-1 非破壊的鋼種判別試験装置の概要

他方は実際の使用状況を考慮し #140 のサンドペーパー仕上げとした。

各試験法の測定手順は以下に示すとおりである。

(1) 測定は 1 試験片当たり 10 点とし、電気抵抗法、磁気法、硬さ試験法の順で行なった。

(2) 電気抵抗法では測定器の表示部に目盛を貼付し、数値 (0~10) で記録がとれるように工夫した。

(3) 磁気法では試験片の長手方向 (鋼材の圧延方向) とその直角方向の 2 方向で測定し、両者の平均値を測定値とした。

(4) 硬さ試験法は、下向と横向の 2 方向から測定を行なった。

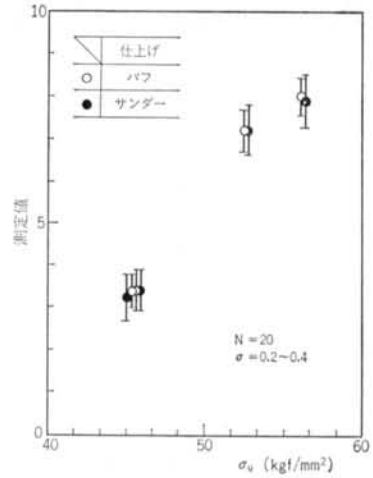


図-2 スチールチェッカーによる測定結果

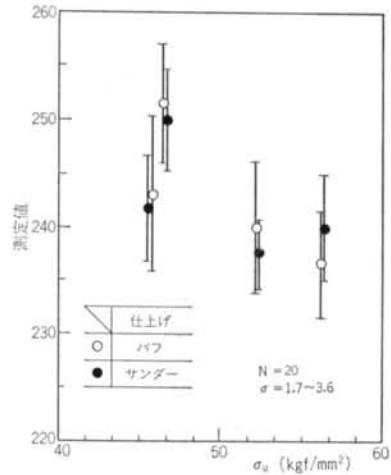


図-3 材質インジケータ (Aモード) による測定結果

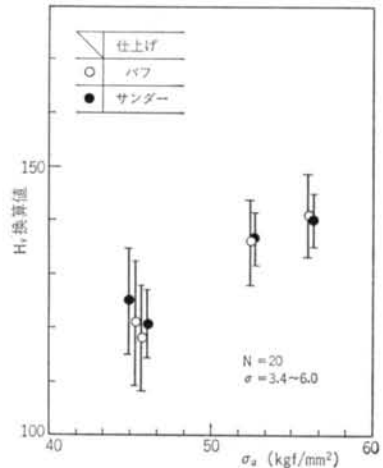


図-4 エコーチップ (下向) による測定結果

2.2 鋼種判別結果

各鋼種判別法の測定値と引張り強さとの関係を図-2～図-4に示す。各図とも縦軸は測定値を示し、横軸は引張り強さである。また、測定値の平均値を○印で、ばらつき(1σ)を実線で示す。

図-2は電気抵抗法(以下、スチールチェッカーという)による測定結果である。スチールチェッカーの測定値はSS41とSM50Aで明らかに分離されている。また、同一鋼種および同一試験片内での測定値のばらつきが、他の試験法に比較して小さいといえる。

図-3は磁気法(以下、材質インジケータという)による測定結果である。材質インジケータのうち透磁率の変化を利用したAモードの測定値は、引張り強さの増大に伴って低減する傾向がある。しかし、測定値のばらつきが大きく、本結果からでは鋼種判別や強度推定が容易にできるとはいいがたい。測定値がばらつく原因は、

鋼種	板厚(mm)	12	16	25	28	32	36	40	50	55	合計
		高炉材 (5メーカー)	SS 41	10	—	15	—	—	—	—	—
	SM 50 A	10	—	—	10	10	5	5	—	5	45
電炉材 (5メーカー)	SS 41	—	30	72	—	—	3	—	—	—	105
	SM 50 A	—	30	69	—	—	3	—	—	—	102
合計		20	60	156	10	10	11	5	—	5	277

表-2 供試材



写真-2 スチールチェッカーによる測定状況

	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Cu	定数項	重相関係数	寄与率	標準誤差
高炉材+電炉材	-4.6	22.6 ②	8.9 ①	—	7.7 ⑤	8.3 ④	2.1 ③	25.5	0.987	0.975	0.813
高炉材	—	28.9 ②	9.1 ①	13.8 ④	—	60.9 ⑤	76.6 ③	21.9	0.989	0.979	0.854
電炉材	—	21.5 ②	8.8 ①	—	—	11.2 ③	4.4 ④	24.9	0.988	0.977	0.711

表-3 重回帰式における諸因子の係数

試験片の表面状態および残留磁気の影響等が考えられる。磁気硬度の変化を利用したBモードの測定結果は、Aモードの結果よりもばらつきが大きく、引張り強さとの相関もない。したがって、鋼種判断、強度推定は困難である。

図-4は硬さ試験法(以下、エコーチップという)の測定結果である。引張り強さが増大するに伴い、エコーチップの硬さ換算値が増大する傾向にあり、両者の間には相関がみられる。この相関は、既述の研究結果¹⁾と一致する。しかし、同一鋼種内での測定値のばらつきが大きく、硬さ換算値からだけでは判別精度が十分とはいえない。

以上の予備実験の結果では、電気抵抗の変化を利用したスチールチェッカーによる判別精度が最も良く、以降の検討は本方法のみについて行なうこととした。

§ 3. スチールチェッカーの性能確認試験および判別手法の確立

3.1 実験概要

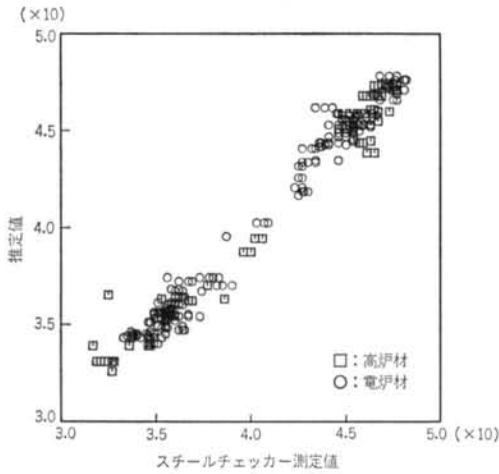
鋼種判別手法を確立することを目的として、スチールチェッカーによる測定結果と引張り強さとの相関を再調査するとともに、化学成分との適合性を検討した。

実験に供した試験材の内訳を表-2に示す。試験片は前項の予備実験と同様にJIS Z 2201 1A号とし、試験片総数は277体である。試験状況を写真-2に示す。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 化学成分との対応

高炉材70体、電炉材207体の試験体について、化学成分を説明変数、スチールチェッカーの測定値を目的変数として、変数増減法による重回帰分析を行なった。ここで、化学成分はチェック分析値を用いた。結果は表-3および図-5に示すとおりであり、以下のように要約される。なお、重回帰式中の化学成分の順位は変数の選択



図一五 スチールチェッカー測定値と化学成分の関係 (高炉材 + 電炉材)

順序を示している。

(1)今回取り上げた8元素のうち、スチールチェッカーの測定値の変動に最も影響を及ぼす化学成分はマンガン(Mn)とシリコン(Si)であり、これに続くものがCu, Cr, Niである。すなわち、スチールチェッカーの測定値は約97%の確率で、MnとSiの2成分の含有量で表わすことができる。SS41とSM50Aの化学成分を比較した場合、MnとSiの含有量に顕著な差がみられるのが一般的であり、スチールチェッカーはこの有意性を利用した測定器であることが確認できた。

(2)高炉材(主原料は鉄鋼石)と電炉材(主原料は鉄くず)を比較した場合、スチールチェッカーの測定値に及ぼす上位2元素には両者の差異がみられない。したがって、高炉材と電炉材は同種の鋼材として取扱うことが可能と考えられる。

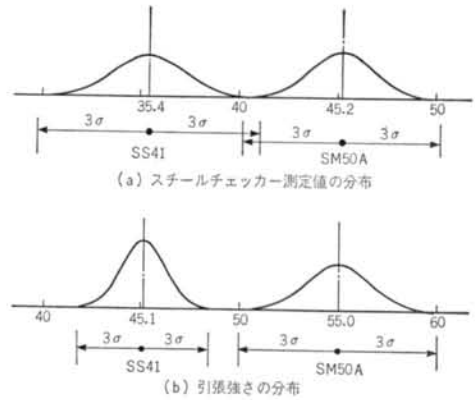
(3)しかし、MnとSiのチェック分析結果に着目すると、特にMnの含有量はメーカー間の差がみられるとともに、同一メーカー内でも他の成分に比較してばらつきが若干大きいといえる。

3.2.2 引張り強さとの対応

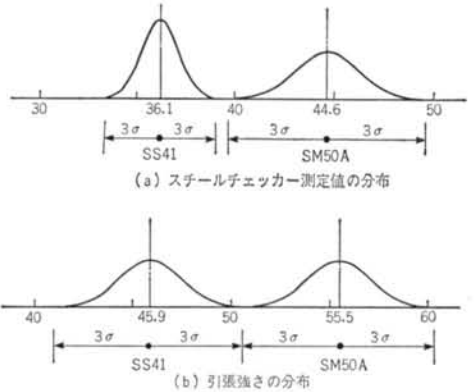
図一6～8は、測定値の頻度分布と引張り強さの頻度分布の位置関係を示したものである。結果は以下のように要約される。

(1)電炉材の結果では、測定値の分布と引張り強さの分布が良く対応し、SS41とSM50Aが十分に層別されている。

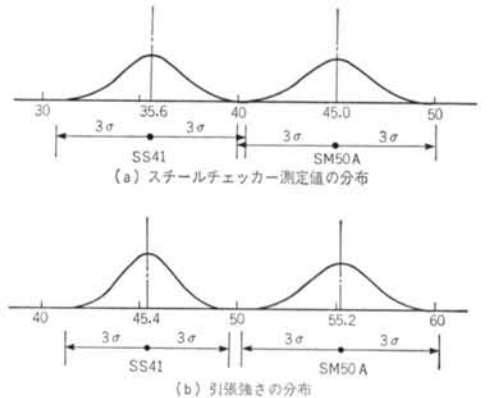
(2)高炉材でも、測定値の分布と引張り強さの分布は電炉材と同様に良く対応しているが、測定値の分布においてSS41とSM50Aで若干重なり合う部分が生じる。



図一六 スチールチェッカー測定値と引張り強さの頻度分布の関係 (高炉材, N=70)



図一七 スチールチェッカー測定値と引張り強さの頻度分布の関係 (高炉材, N=70)



図一八 スチールチェッカー測定値と引張り強さの頻度分布の関係 (高炉材+電炉材, N=277)

しかも、測定値のばらつきはSM50AよりもSS41が若干大きいのに対し、引張り強さのばらつきはSM50Aで大きくなっている。

(3)高炉材と電炉材を総合した場合、引張り強さの分布はSS 41 と SM 50 A で完全に分離するが、測定値の分布は約 2% の確率で両者の測定値が重なり合う。

測定値の分布と引張り強さの分布が完全に一致しない原因は、測定値が主として Mn と Si の含有量に依存するのに対し、これらの含有量がメーカー間でばらつきがあるためであると考えられる。一方、引張り強さは Mn, Si 等の化学成分のほか、圧延条件や熱処理等によって影響を受けるため、両者の分布に差異が生じたものと考えられる。

したがって、スチールチェッカーの測定値から引張り強さを定量的に把握することはできないといえる。しかし、図-8 から明らかなように測定値の分布形と引張り強さの分布形は良く対応しており、測定値の分布形から SS 41 と SM 50 A を層別することは実用的には可能であると考えられる。この場合、SS 41 と SM 50 A を層別するための境界値は、それぞれの測定値の $\pm 3\sigma$ とすれば良いと考えられる。

§ 4. 実構造物への適用

4.1 調査概要

地下 3 階、地上 27 階建ての鉄骨造の主要構造物材（材質 SS 41, SM 50 A, 板厚 6~50 mm）にスチールチェッカーを適用し、実構造物の分布を調査するとともに本手法の実用性を検証した。調査箇所数は 1076 箇所である。

4.2 調査結果

調査結果を図-9 に示す。測定値の頻度分布は 2 つの山をもつ分布に大別されるところから、スチールチェッカーによる鋼種判別法はほぼ満足できる判別精度を有していると判断された。また、このことは同時に当該工事

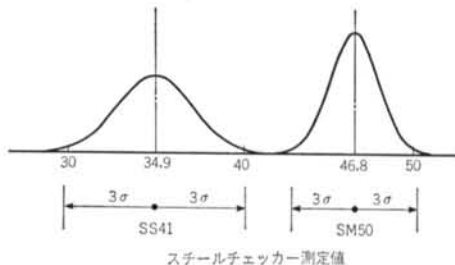


図-9 現場測定値の分布

に使用された鋼材は、設計仕様どおりであったことを示していると判断された。

§ 5. あとがき

構造用鋼材が高炉材、電炉材、輸入鋼材と混沌とする中で、非破壊的鋼種判別法はますます重要視されると予想される。特に、建築・土木工事に使用される主要構造物材は SS 41 と SM 50 A であり、両者を判別するためにはスチールチェッカーは有効、かつ実用的な測定法といえる。ただし、その使用に際しては以下のような事項に注意する必要がある。

- (1)測定器の事前準備：測定値を得るために、本体のメーター部に目盛を書き込む。
 - (2)使用環境の整備：溶接電流や誘導電流等の影響をさけるために、被検材を絶縁するか、アースをとる。
 - (3)被検材表面の手入れ：被検材表面に付着する黒皮および錆を、ディスクグラインダを用いて除去する（直径 15 mm 程度）。
 - (4)測定：測定は 1 箇所当たり 3 点（120°）とし、3 点の平均値をその測定値とする。
- 今後は、さらにデータを蓄積し、より明確な合否判定基準を作成する方針である。

<参考文献>

- 1) 吉沢武男：“硬さ試験法とその応力” 裳華房（1967年）
- 2) 倉持貢他：“建築鉄骨造における非破壊的鋼種判別法” 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭和60年10月）
- 3) 銚建築研究振興協会：“サムスチールチェッカーによる SS 41 および SM 50 鋼材の識別の実用性”（昭和58年12月）

