

技術ノート

キーワード

クリスタルタワー
TMCP鋼
溶接性試験

クリスタルタワーに用いた TMCP鋼の確認試験について

Confirmation Test of Thermo Mechanical
Control Processed Steel for Crystal Tower

森 井 一 茂*
Kazushige MORII

佐久良 剛 史**
Tsuyoshi SAKURA

早 川 清***
Kiyoshi HAYAKAWA

1. まえがき

大阪ビジネスパーク(OBP)は、大阪城に隣接し、超高層ビルの立ち並ぶ大阪の新しいビジネス街である。現在、この地区に建築中のクリスタルタワーの構造にはさまざまな特徴があるが、そのひとつに、2節、3節のBOX柱にTMCP鋼を適用していることが挙げられる。TMCP鋼の適用に際してはいくつかの問題点が考えられ、各種の試験を実施して確認を行った。その結果、無事に製作を完了できたので、ここに報告する。

2. 建築概要

この建物は、超高層オフィスビルとしての機能を十分に高めるために、大スパン空間の採用、それに伴う柱やブレースなど構造部材を外周壁周りやコア周りに集中配置している。

下記にクリスタルタワーの建築概要を示す。

工事名称：クリスタルタワー新築工事

施 主：(株)竹中工務店

設計施工：(株)竹中工務店

工事場所：大阪市中央区城見1丁目2番

階 数：地下2階、地上37階、塔屋2階

軒 高：GL+149.7 m

構造概要：地下部 柱・梁SRC

地上部 柱・梁S造

床 面 サイトプレファブ梁(5F~37F)

鉄骨重量：13 145 t

(当社製作分約9 800 t, うちTMCP鋼を約300 t使用)

工 期：昭和63年4月~平成元年8月

3. 超高層ビルに要求される鋼材の特性

超高層ビルに採用されている鋼材種別としてはSM50材が多いが、最近では材料の高強度化、極厚化の方向が著しい。鋼材の高強度化に伴って、添加合金量を増加させて強度を確保しようとするれば、炭素当量も大きくなり、溶接時の割れ、熱影響部の硬化、大入熱時の脆化など溶接性が悪くなる。さらに、これらの高強度の鋼材は降伏比が高く、塑性変形能力が低下する。

そこで、建築構造物にも、次の性能を有するTMCP鋼(Thermo Mechanical Control Processed Steel: 制御圧延鋼)が用いられるようになってきた。

- ① 炭素当量が低く溶接性に優れ、予熱管理、施工管理が容易である。すなわち、予熱温度を低くでき、耐割れ性に優れている。
- ② 低炭素当量でありながら高強度が得られる。
- ③ 組織が微細で低温靱性に優れている。
- ④ 降伏比を自由に調整できるので、塑性変形能力を確保できる。

TMCP鋼は昭和54年頃より製造され、造船、パイプライン、海洋構造物、建設機械など、これまで約300万tの使用実績がある。建築においては、板厚が40 mmを超えるとF値(基準値)が下がるなどの理由で、それ以下の板厚で設計する思想があり、従来鋼で十分であるという考え方が一般的であった。しかし、近年のビルの大型化、インテリジェント化により100 mmクラスの鋼材を使う必要が出てきて、前述のような問題が生じた。そのため、昭和60年頃より建築用TMCP鋼が検討されてきており、既に約14 000 t以上が使用されている。また、JISの改定でTMCP鋼が規格化されたこともあって、今後さらに採用が増える傾向にあると思われる。

*川田工業(株)生産事業部四国工場生産技術課課長 **川田工業(株)生産事業部四国工場製造課係長 ***川田工業(株)技術本部溶接研究室

強度的には、いずれの試験体とも規格値を十分満足するものであった。降伏比(YR)においては、バラツキはあるものの、ほぼ75%以下の目標を満足した。

厚さ方向においても良好な絞りを示しており、目安値(WES3008: 絞り値35%以上)を十分満足するものであった。

(3) 曲げ試験

曲げ試験は、銅板を片面から板厚中央まで減厚し、板厚中央面が湾曲の外側になるように曲げ試験を実施した。この結果、1社の従来銅C方向の一部で、介在物の偏折による微細割れが少量認められたが、その他はすべて良好であった。

(4) 衝撃試験

TMCP銅および従来銅の0℃における吸収エネルギー(νE_0)は規格を十分満足するものであった。なお、破面遷移温度は、特に従来銅においてバラツキが大きい結果となった。

(5) 硬さ試験

硬さ試験結果を図-2, 3に示す。

TMCP銅は従来銅に比べやや硬く、厚さ方向においては、従来銅は表面と中央においてほぼ均一であるが、TMCP銅は制御冷却を行うため、表面がHv30~40硬くなっている。

(6) 音響異方性

超音波探傷における音響異方性は、従来銅の一部において、屈折角度差2.0~3.0°、音速比1.02~1.03と音響異方性を有している結果となった。逆にTMCP銅は、異方性については許容を満たす結果が得られた。

(7) 最高硬さ試験, Y開先拘束割れ試験

最高硬さ試験, Y開先拘束割れ試験は、溶接性を判断するため補足として行った。試験結果を図-4, 5に示す。

室温における最高硬さ試験において、TMCP銅は $H_{Vmax}=300$ であり、従来銅に比べ100低い値を示している。また、Y開先拘束割れ試験においても、予熱50℃において割れが生じていない結果が得られ、従来銅に比べ、割れ防止最低予熱温度が50℃以上違う結果となっている。

以上、母材特性試験の結果は、TMCP銅が従来銅に比べ耐割れ性が非常に優れていることを示した。

6. 溶接性確認試験

溶接性確認試験は、工場溶接部試験として、角継手・ダイアフラム部継手を対象にしたものと、現場溶接を模擬した拘束溶接部試験について行った。試験項目を表-5に、試験体を図-6に示す。なお、角継手溶接試験体の削除部分より、超音波探傷用溶接部欠陥モデルを採取している(前述の音響異方性測定用)。また、溶接条件と試験

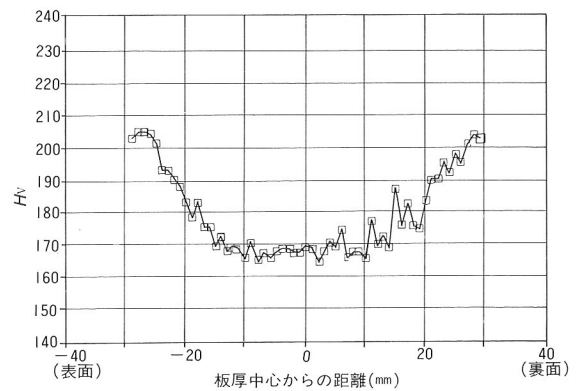


図-2 母材の硬さ試験結果(TMCP鋼)

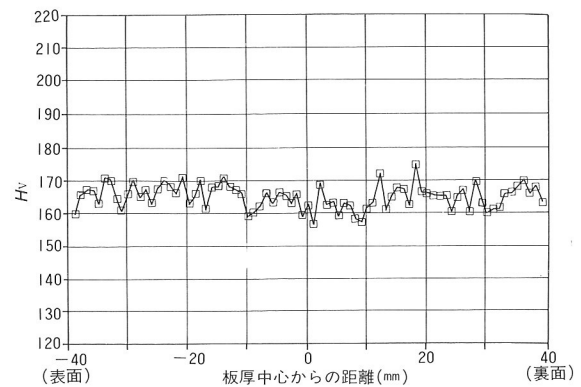


図-3 母材の硬さ試験結果(従来鋼)

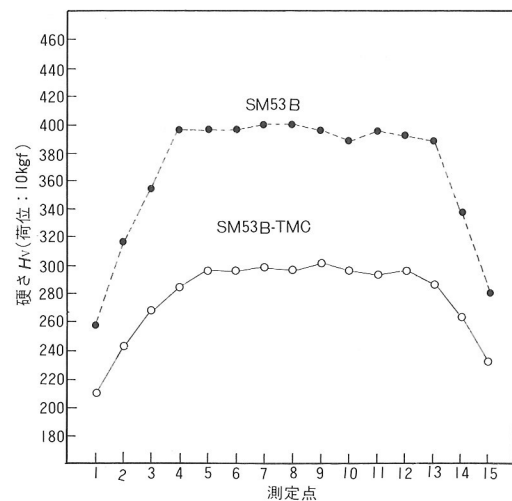


図-4 最高硬さ試験結果

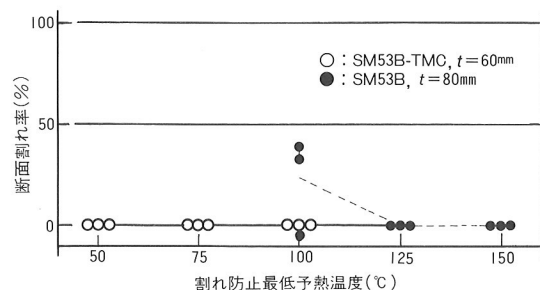


図-5 Y開先拘束割れ試験結果

結果を表-6, 7に示す。

低炭素による溶接部強度の確保は、60キロ級の大入熱溶接用溶材を用いることで対応し、良好な試験結果が得られた。また、大入熱溶接部の軟化においては、 H_{Vmin} が140ほどを示したが、V型で局所的であることより支障ないものと考えられる(図-7参照)。

以上の溶接性に関する試験結果において、TMCP鋼は、角継手で予熱がない場合でも予熱を実施した従来鋼と同等以上の性能を示したことでわかるように、優れた溶接性を示している。また、拘束溶接部試験においては、本試験で採用した2種の環境条件による性能の差は見られなかった。

7. 実部材の製作

TMCP鋼を用いるに当たって、母材特性試験、溶接性確認試験の結果より、一部溶接材料を変えるほかは特に問題がないことが確認されている。

そこで、実工事については、鋼材仕様・条切りキャンバーについて確認を行いながら施工した。

(1) 鋼材仕様

本工事で用いたTMCP鋼の降伏比、衝撃値、炭素当量は、図-8に示すように仕様を十分満足するものであった。

(2) 条切りキャンバー

条切り切断時に発生したキャンバーは4.5 mm/11.8 m以下であり、管理目標値(5 mm/10 m)を満足するものであった(図-9参照)。

(3) 超音波探傷

超音波探傷において、従来鋼に問題が見受けられた。そこで、TMCP鋼、従来鋼ともに、対比試験片(RB)を製作して対応した。

8. まとめ

本工事で使用したTMCP鋼は、鋼材仕様を設定し、確性試験にて確認して購入したため、施工試験材とほぼ同等

表-5 溶接性確認試験項目

溶 接 継 手	試験鋼板	溶接方法	試験項目	試験片	試験方法	施工条件
工場溶接部	角継手溶接試験 TMCP鋼 SM53B, $t=60\text{mm}$ および 従来鋼 SM53B, $t=80\text{mm}$	GMAW + SAW	外 観 検 査 継手引張り試験 側 曲 げ 試 験 衝 撃 試 験 マ ク ロ 試 験 硬 さ 試 験 超音波探傷試験	JIS Z 3121-A1号 JIS Z 3124-3号 JIS Z 3112-4号	JIS Z 3121 JIS Z 3124 JIS Z 3112	TMCP鋼 予熱無し 従来鋼 予熱温度: 120°C
	ダイヤフラム部溶接試験 TMCP鋼 SM53B, $t=60\text{mm}$ と従来鋼 SM50B, $t=40\text{mm}$ および 従来鋼 SM53B, $t=80\text{mm}$ と従来鋼 SM50B, $t=40\text{mm}$	ESW ESW × GMAW	外 観 検 査 十字形引張り試験 平形引張り試験 十字形曲げ試験 衝 撃 試 験 マ ク ロ 試 験 硬 さ 試 験 超音波探傷試験	JASS 6 (付則3) JASS 6 (付則3) JIS Z 3112-4号	JASS 6 (付則3) JASS 6 (付則3) JIS Z 3112	予熱温度: 120°C 〔環境条件-1〕 気温: $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 湿度: 80~90% 風速: 0~0.5m/s 〔環境条件-2〕 気温: $0 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 風速: $2 \pm 0.5\text{m/s}$
拘束溶接試験						

注) GMAW: ガスシールドアーク半自動溶接, SAW: 高能率サブマージアーク溶接, ESW: エレクトロスラグ溶接

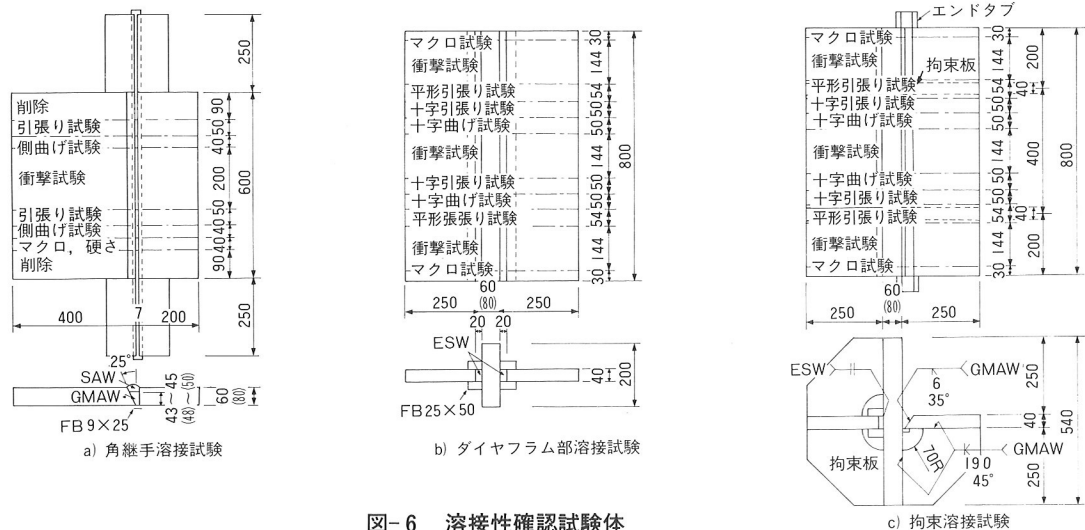


図-6 溶接性確認試験体

表-6 溶接材料および溶接条件

溶接方法	溶 接 材 料		溶 接 機 器		目標入熱量 (kJ/cm)	溶 接 条 件	
	ワイヤ	メーカー	機 種	メーカー		角継手・ダイヤフラム部	拘束溶接
GMAW (CO ₂ 半自動溶接)	MG-50 (1.4φ)	神 鋼	ダイナオート SC350	ダイヘン	30	電流 280~360A 電圧 36~39V 速度 25~30cm/min	電流 230~300A 電圧 32~40V 速度 15~40cm/min
SAW (サブマージアーク溶接)	US36(4.8φ) US49(6.4φ) × PFI-52ES		SWT-24		100~270	4.8φ 6.4φ 電流 1400A 1300A 電圧 38V 46V 速度 26~30cm/min	—
ESW (エレクトロスラグ溶接)	YM-55A (1.6φ)	日 鉄	SESNET	H 鉄	500~550	電流 360~400A 電圧 44~50V 速度 1.2~1.5cm/min	

表-7 溶接性確認試験結果

試験項目	鋼材種	工 場 溶 接				拘 束 溶 接			
		角継手溶接		ダイヤフラム部溶接		施工環境 気温25℃, 湿度85%, 風速0m/s		施工環境 気温0℃, 風速2m/s	
		TMCP鋼	従来鋼	TMCP鋼	従来鋼	TMCP鋼	従来鋼	TMCP鋼	従来鋼
マ ク ロ 組 織		良	良	良	良	良	良	良	良
引張り試験	十字形	σ _b (kg/mm ²)	—	57	58	57~58	57~58	57~58	56~58
		破断位置	—	A	A	F	F	F	F
平形	σ _b (kg/mm ²)	55~58	56~59	53~56	53~56	53~57	53~54	53~58	53~56
	破断位置	C	A:C=75:25	A:C=25:75	A:C=50:50	C:F=50:50	C:F=25:75	C:F=50:50	C:F=50:50
曲げ試験	十字形側曲げ	—	—	—	—	—	—	—	—
衝撃試験 vE ₀	粒状域	29.8	19.7~29.8	16.6~24.5	22.7~26.4	12.6~7.6	14.0~25.9	20.6~28.3	9.1~26.7
	融合部	10.0~29.8	5.2~10.0	3.6~9.2	4.4~6.2	12.7~18.2	16.8~20.0	14.0~22.5	13.7~14.3
	溶着金属	3.9~7.4	5.2~14.5	3.0~3.3	4.6~5.6	7.3~12.2	7.8~12.4	8.9~9.2	11.6~14.9
硬さ試験 H _V	表面部	148~222	156~240	144~247	150~245	150~270	141~306	140~285	140~299
	ルート部	172~213	165~267	144~233	154~268	143~230	140~297	137~258	143~274

注) 破断位置

角継手溶接

A: 母材

B: 溶着金属

C: 溶着金属+母材

ダイヤフラム部溶接

A: ダイヤフラム母材

B: 溶着金属

C: 柱フランジ母材

拘束溶接

A: ダイヤフラム母材

B: ダイヤフラム側溶着金属

C: 柱フランジ母材

D: 梁フランジ側溶着金属

E: 梁フランジ側溶着金属+母材

F: 梁フランジ母材

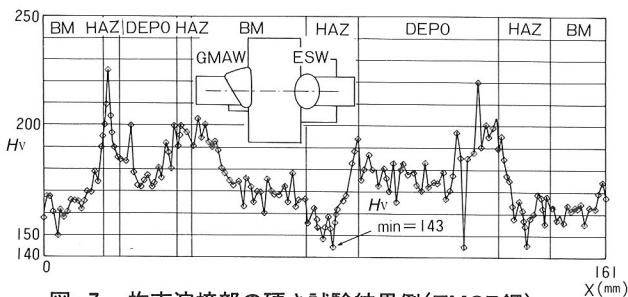
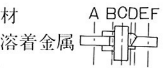


図-7 拘束溶接部の硬さ試験結果例(TMCP鋼)

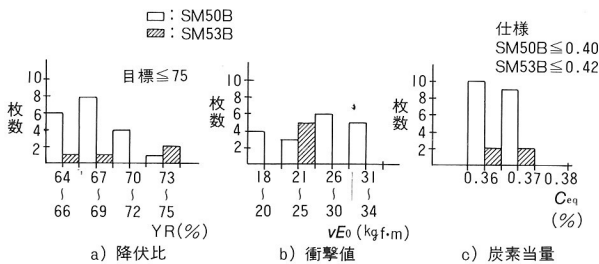


図-8 使用鋼材の降伏比, 衝撃値, 炭素当量

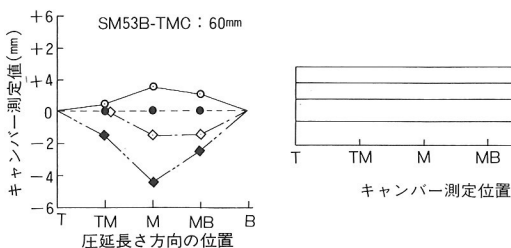


図-9 条切りキャンバー測定結果例

の鋼板が得られており, 溶接などに問題は生じなかった。

一連のデータから見て, TMCP鋼は, 炭素当量, 溶接割れ感受性組成, 最高硬さ試験, Y開先拘束割れ試験などでその優れた溶接性を示し, 懸念された溶着金属強度, 音響異方性, 条切りキャンバーに対しても, 適切な仕様を設定すれば問題にならないことが確認された。

本工事における経験は, 貴重なデータとして今後も増加する傾向にあるTMCP鋼の施工に生かしていきたい。

最後に, 本工事および本試験において常に適切なご指導を賜った㈱竹中工務店の方々, ならびに, 有益なご助言をいただき母材特性試験を担当していただいた㈱神戸製鋼所, 住友金属工業㈱の関係各位に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 加藤: 建築用鋼材の降伏比について, 鉄と鋼, 第6号, 1988.
- 2) 阿部・村山・奥井・中西: 鉄鋼新素材, TMCP鋼溶接部の使用性能, 溶接学会誌, Vol.55, No.6, 昭和61年9月.
- 3) 共同研究会品質管理部会非破壊検査小委員会: 音響異方性を有する鋼溶接部の超音波斜角探傷法, 鉄と鋼, 第6号, 1987.