

線状加熱用 SM570 材の開発 — 曲線橋梁 3 次元曲げ加工法の開発 (第 2 報) —

石川島播磨重工業 (株) 技術開発本部 ○木治昇, 猪瀬幸太郎, 中西保正
住友金属工業 (株) 川畑友弥, 大西一志

Development of 3Dimensional forming for Curved Bridges 3D-Plane girder (2nd Report)

Development of the SM570 for heat forming

by, Noboru KIJL, Koutarou INOSE, Yasumasa NAKANISHI,

Tomoya KAWABATA, Kazushi OHNISHI

キーワード: 3 次元曲げ加工, 線状加熱, 鋼材開発

Keywords: 3 dimensional forming, linear heating, New developed steel

1. 緒言

図 1 のような景観に配慮した 3 次元曲面橋梁に対し, 前報ではプレスと線状加熱の組合せによる加工方法が合理的であることを示した. この加工により材料には最大 3.4% の冷間ひずみと最大 0.14% の線状加熱によるひずみが発生する. しかし橋梁に多く用いられている 590N/mm² 級高張力鋼 (SM570) は調質鋼であるため, 道路橋示方書 (以下道示) では最高温度が制限されているほか加熱直後の赤熱状態からの水冷も禁止されている. 本研究では, 熱加工用として新たに開発された鋼種を含む 3 種類の SM570 について曲げ加工が材料に及ぼす影響を検討し, その上で加熱直後の直水冷の可能性について検討した.

2. 曲げ加工による鋼材材質の劣化

本実験で使用した鋼種を表 1 に, 化学組成を表 2 に示す. 鋼種ⅢおよびⅤは QT 鋼であり, とくに鋼種Ⅲは Ceq, Pcm 低減鋼である. 鋼種Ⅳは熱加工用に今回開発した TMCP 鋼板である. 図 2 に示すように, これらの材料によって実施した曲げ加工実験供試体から試験片を採取し, 材料劣化を調査した. 図 3 に引張試験結果を示す. 橋軸方向に採取した試験片では, いずれの鋼種も降伏点が低下し, 引張強さが増加した. じん性の評価は Mod-曲げ CTOD 試験 (全厚) およびシャルピ試験によって行った. 結果を図 4, 図 5 に示す. 限界 CTOD 試験 (δ_c) では, 加工後の鋼種Ⅲ, 鋼種Ⅴにおいてじん性の低下が確認された. しかし鋼種Ⅳでは母材と同等であった. この傾向はシャルピ衝撃試験においても同様である. 道示によると, 約 3% の冷間加工による vE_{-15} 低下の目安は約 20% (SM570) となっている. そこで, 母材の vE を高く設定しじん性を確保することが有効となる. しかし, 線状加熱では鋼材の製造法の影響が大きく, 母材のじん性レベルを高くすることは効果がないことを確認した.

3. 曲げ加工用鋼材の選定方法

母材に要求するシャルピ吸収エネルギー ($vE(T)$) は WES3003 で求めることができる. しかし, 曲げ加工用鋼材においては材料劣化によるエネルギー遷移温度の上昇を考慮することが必要である.

$$vE(T) = 130 + 3.9 \cdot (T - (vTrs - \Delta vTrs))$$

$\Delta vTrs$; 加工によるシャルピ破面遷移温度上昇 ($\Delta vTe \approx \Delta vTrs$ と仮定)

$\Delta vTrs$ は曲げ加工実験結果をベースとした再現ひずみ (最大 4%) + 熱サイクル試験 (最高 1050℃) によって算出した. 結果を図 6 および表 3 に示す. 鋼種Ⅳの場合, $\Delta vTrs = 26^\circ\text{C}$ であり鋼種Ⅴに比べ極めて良い値であった. このように, 曲げ加工用鋼材においては加工前のじん性レベルではなく, 加工によるじん性低下に留意する必要がある. 今回用いた方法は実用的でありかつ有効である.

4. 結言

- 1) 冷間プレスと線状加熱による曲げ加工を想定して開発した鋼種を含む 3 種類の SM570 について, 加工が材料に及ぼす影響を検討した.
- 2) 材料劣化によるシャルピのエネルギー遷移温度の上昇を考慮し, 所要吸収エネルギーを設定することで曲げ加工による影響を鋼材仕様に反映させることが可能となる.
- 3) 鋼種によっては, 曲げ加工によって著しくじん性が損なわれる.
- 4) 今回曲げ加工用鋼として開発した SM570 (TMCP 鋼) は材料劣化が少なく, 加工に適していることを確認することができた.

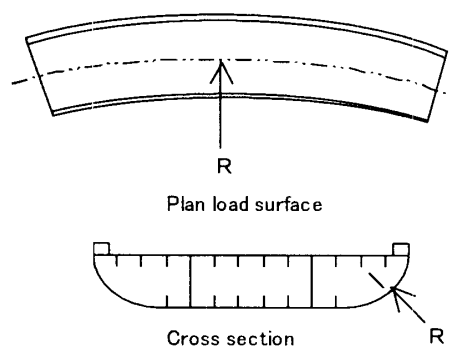


Fig. 1 General arrangement of the Curved-Bridge

Table-1 Materials

	Grade	manufacturing process
III	SM570Q	QT(Low Pcm)
IV	SM570TMC	New Developed TMCP
V	SM570Q	Conventional QT

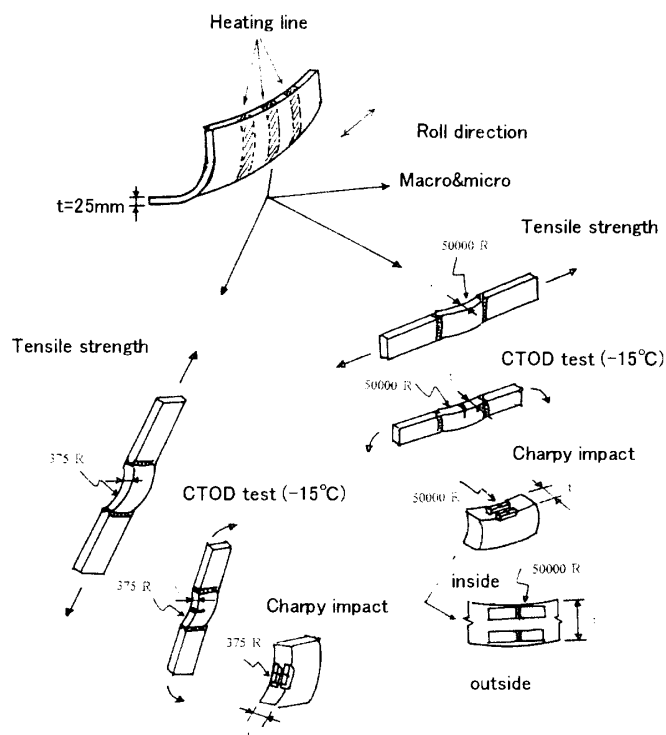


Fig 2. Specimens from the worked metal

Table-2 Chemical compositions(mass %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Others	Ceq	Pcm
III	0.11	0.35	1.36	0.008	0.006	Mo-V	0.38	0.20
IV	0.06	0.20	1.59	0.009	0.001	Cu-Ni-Cr-Nb	0.37	0.17
V	0.15	0.37	1.34	0.009	0.001	V	0.40	0.24

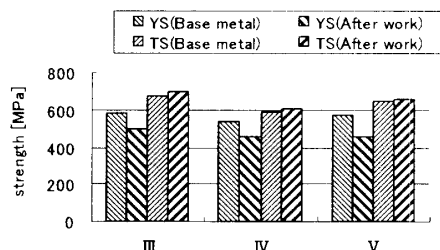


Fig. 3 Tensile properties (L-direction)

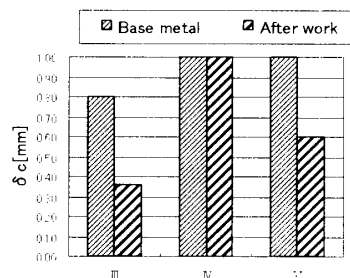


Fig. 4 Result of Mod-CTOD Test(-15°C)

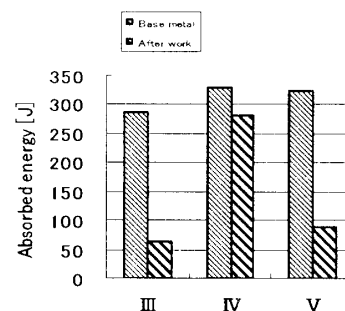


Fig. 5 Result of Charpy impact test(-5°C)

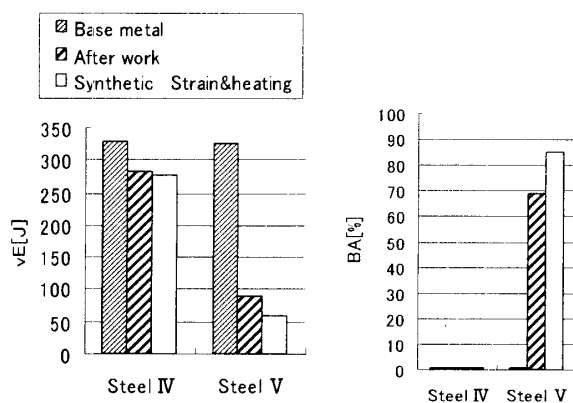


Fig. 6 Synthetic strain & heating (-5°C)

Table 3 vE and $\Delta vTrs$ of Steel IV& V

	Steel IV		Steel V	
	vE _{-5°C} [J]	$\Delta vTrs$ [°C]	vE _{-5°C} [J]	$\Delta vTrs$ [°C]
Base metal	330	—	324	—
After work	281	—	88	—
Synthetic Strain&heating	276	26	57	132