
LP 鋼板（テーパプレート）の製造技術と船舶，橋梁への適用

Development of Manufacturing Technologies of Longitudinally Profiled Steel Plates for Ships and Bridges

弓削 佳徳(Yoshinori Yuge) 堀 紀文(Toshifumi Hori) 西田 俊一(Shun-ichi Nishida)

要旨：

LP (longitudinally profiled) 鋼板の需要家での適用効果および川崎製鉄における製造技術，製造実績を紹介した。LP 鋼板は、板厚を長手方向に連続的に変化させた鋼板で，負荷応力の変化に応じて使用することにより，構造物の重量削減や板継ぎ工数削減などの利点を得られる。川崎製鉄では，LP 鋼板の製造技術として，製造に必要な情報数の増設を行うとともに，最適なパス回数で精度よくテーパ形状を付与する圧延制御技術，さらに制御冷却，熱間矯正，剪断にも新たな製造技術を導入した。これにより，使用用途に応じたさまざまな要求に応え得る形状および材質の LP 鋼板を精度良く製造する技術を確立した。

Synopsis：

Applied stress to structural materials often varies in longitudinal directions. L.P. plates, which stand for longitudinally profiled steel plates, are plates whose thicknesses vary continuously along the length within a plate. They are used for ships and bridges in the way that changes of proof stresses in a L.P. plate can correspond to changes stresses loaded on the plate, and enable cost savings by reducing steel weights and welded joints. In this paper, various special technologies for L.P. plates are shown, for example, technologies for rolling, accelerated cooling and shearing. By developing the technologies, manufacturing of L.P. plates became substantially, automated to perform mass production. And the production of L.P. plates is increasing year by year.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

LP 鋼板（テーパプレート）の製造技術と船舶、橋梁への適用*

川崎製鉄技報
30 (1998) 3, 137-141

Development of Manufacturing Technologies of Longitudinally Profiled Steel Plates for Ships and Bridges



芳淵 佳徳

Yoshinori Yuge

水島製鉄所 厚板・鋳鍛部厚板・鋳鍛技術室
主査(掛長)



堀 紀文

Toshifumi Hori

水島製鉄所 管理部
厚板・鋳鍛管理室



西田 俊一

Shun-ichi Nishida

厚板セクター室 主査
(課長)

要旨

LP (longitudinally profiled) 鋼板の需要家での適用効果および川崎製鉄における製造技術、製造実績を紹介した。LP 鋼板は、板厚を長手方向に連続的に変化させた鋼板で、負荷応力の変化に応じて使用することにより、構造物の重量削減や板継ぎ工数削減などの利点を得られる。川崎製鉄では、LP 鋼板の製造技術として、製造に必要な情報数の増設を行うとともに、最適なパス回数で精度よくテーパ形状を付与する圧延制御技術、さらに制御冷却、熱間矯正、剪断にも新たな製造技術を導入した。これにより、使用用途に応じたさまざまな要求に応え得る形状および材質の LP 鋼板を精度良く製造する技術を確立した。

Synopsis:

Applied stress to structural materials often varies in longitudinal directions. L.P. plates, which stand for longitudinally profiled steel plates, are plates whose thicknesses vary continuously along the length within a plate. They are used for ships and bridges in the way that changes of proof stresses in a L.P. plate can correspond to changes stresses loaded on the plate, and enable cost savings by reducing steel weights and welded joints. In this paper, various special technologies for L.P. plates are shown, for example, technologies for rolling, accelerated cooling and shearing. By developing the technologies, manufacturing of L.P. plates became substantially, automated to perform mass production. And the production of L.P. plates is increasing year by year.

1 緒 言

近年、造船、橋梁をはじめとする各業界でのコスト削減気運の高まりとともに、素材として用いられる厚鋼板に対しても、施工工数低減や構造の簡素化を可能とする新しい高性能鋼の誕生が望まれている。LP (longitudinally profiled) 鋼板、すなわち長手方向に連続的に板厚を変化させた厚鋼板も、構造物の溶接箇所の減少や重量低減を可能とする高性能鋼である。大型構造物では、低層部の板厚が厚く、高層部にいくにしたがって板厚が薄くなる構造が一般的である。LP 鋼板は、このような板厚を連続的に変化させる必要がある部位に有効利用が可能で、板継ぎの工数削減、鋼材重量軽減を最大限追求できる^{1)~4)}。

LP 鋼板の製造にあたっては、圧延中にロール間度を連続的に変化させて板厚差を付与する方法が一般的である。川崎製鉄が 1970 年代後半に開発した MAS (Mizushima automatic plan view pattern control system) 圧延法⁵⁾は、圧延中のロール間度変更を用いた先駆的な技術と言える。今回の LP 鋼板製造技術の開発にあたっては、

MAS 圧延法を基本技術とした上で、新たに種々の圧延技術の開発を行ない、さらに冷却、矯正、剪断にも新たな製造技術を導入し、多くの要求に応え得る形状および材質の LP 鋼板を製造する技術を確立した。

本報では、LP 鋼板の適用効果、主な製造技術および製造実績について述べる。

2 LP 鋼板の適用効果

川崎製鉄が製造可能な LP 鋼板の形状を Fig. 1 に示す。タイプ 1、2 は、長手方向一方向に板厚が変化する LP 鋼板（一方向 LP 鋼板）で、船舶、円形タンクなど構造物の上下方向で板厚差を必要とするような部位に有効利用が可能である。タイプ 2 は、先端、尾端に等厚部分を設けており、ボルト継ぎ手部の板厚一定化を図ることがができる。タイプ 3 から 6 は、長手方向二方向に板厚が変化する LP 鋼板（凸型、凹型 LP 鋼板）で、橋桁のような凹型および凸型に応力がかかるような部位に有効利用が可能である。なお、凸型、凹型 LP 鋼板は、板厚、各部の長さが長手方向で非対称のものも製造可能である。

* 平成10年6月30日原稿受付

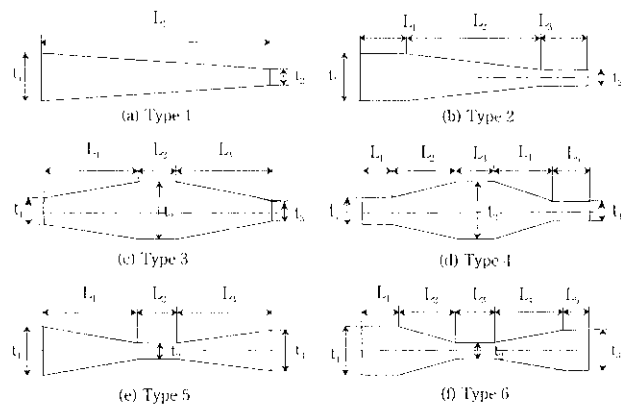


Fig. 1 Various profiles of longitudinally profiled plates

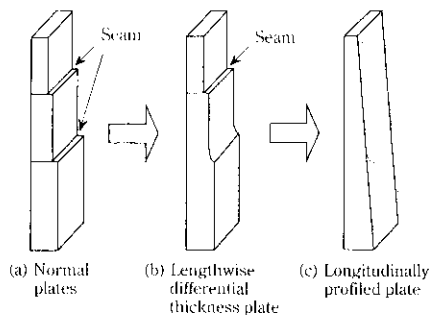


Fig. 2 Example of an omission of seams and reduction of weight by using LP plate

2.1 造船用鋼材への適用効果

LP 鋼板が造船用鋼材として適用されたのは、バルクキャリアーのトランスバルクヘッド（船倉の横方向隔壁）で、船のデッキ側から船底に向かって板厚を厚くする必要がある部分である。従来は、軽量化を図るべく応力が小さくなるにつれて板厚が薄くなるよう Fig. 2 (a) に示すように、厚さの異なる多数の鋼板を溶接で板継ぎして施工していた。この部分に Fig. 2 (b) のように差厚鋼板を適用すると、溶接箇所の削減が可能となる。差厚鋼板とは、長手方向で厚さの差を設けた鋼板で、厚さの異なる 2 枚の鋼板を溶接により継いでいた部分に適用することで、溶接線を含まない一枚の鋼板とすることができる。さらに、Fig. 2 (c) に示すように LP 鋼板を適用することで、さらなる鋼材重量の削減と板継ぎ箇所の減少が可能となった^{1,2)}。

2.2 橋梁用鋼材への適用効果

従来の鋼製橋桁の設計では、部材として等厚鋼板を用いフランジ厚およびフランジ幅の異なる鋼板を溶接またはボルトで接合することにより、必要断面力に最小限の鋼重で対応する方法が一般的であった。一方、近年の合理化設計桁では、一部材（断面として桁全長でフランジ厚およびフランジ幅を一定にするなど、形状を単純化し板継ぎ工程の省略に重点をおいた省力化桁が適用されるようになってきている^{3,4)}。ただし、この方法では、板継ぎ工程の省略にともなって鋼材重量が増加してしまう。その部分に、LP 鋼板を適用することで、以下のような効果が得られ一層の合理化、省力化を図ることができる^{5,6,7-10)}。

(1) 必要断面力に応じた合理的な板厚構成

Fig. 3 に、中間支点上の桁のフランジに凸型 LP 鋼板を適用

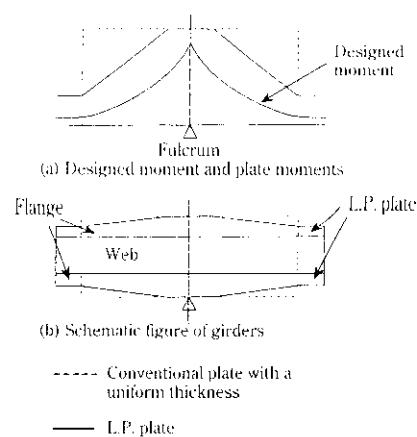


Fig. 3 Comparison between a LP plate moment and a conventional plate moment against a designed moment in a girder for bridge

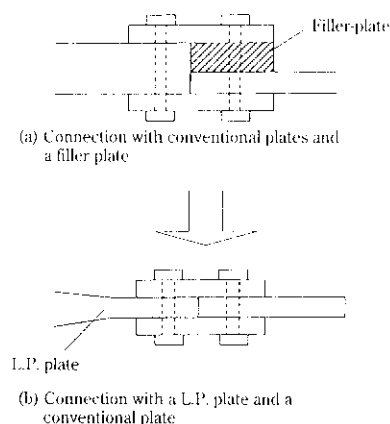


Fig. 4 Example of an omission of a filler plate in connected parts

した場合の効果の概念図を示す。凸型 LP 鋼板を適用することにより必要断面力に応じた合理的な板厚変化を得ることができ、等厚鋼板を適用した場合に比べ鋼重の大幅な削減を図ることができる。

(2) 接合部の等厚化

Fig. 4 に示すように、接合部がボルト接合の場合、等厚鋼板の板厚差に対応するために用いられていたフィラープレート（フィラープレート）を、LP 鋼板の適用により省略できる。また、溶接継手の場合は、継手部のテーバー加工が不要になる。

3 LP 鋼板の製造技術

Fig. 5 に LP 鋼板の製造プロセスを示す。通常の厚鋼板（等厚鋼板）製造プロセスをベースとした上で、圧延のみならず、加速冷却、熱間矯正、剪断、寸法検査の各工程で LP 鋼板製造対応のための技術開発を行った。

Fig. 1 のタイプ 4 および 6 のように、長手方向非対称の凸型あるいは凹型の等厚部付き LP 鋼板を製造する場合、寸法情報は、板厚関係の情報 3 種類、長さ関係の情報 5 種類が必要となる。川崎製鉄では受注から製造、品質保証にいたるすべてのシステムで情報数の増設を行い、Fig. 1 に示したあらゆる形状の LP 鋼板の製造を可能とする体制を整備した。

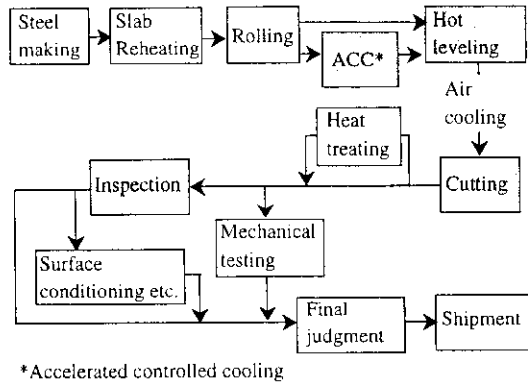


Fig. 5 Manufacturing process for L.P. plates

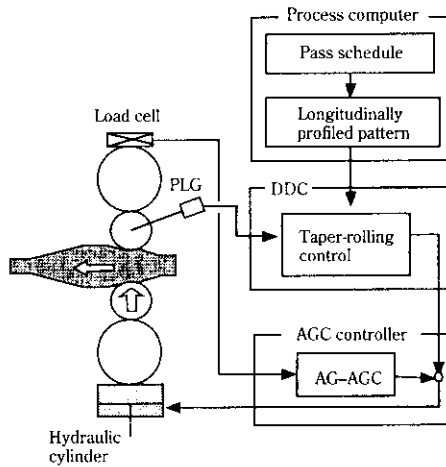


Fig. 6 System configuration for taper-rolling

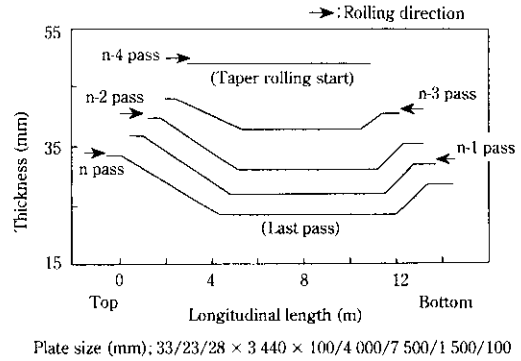


Fig. 7 Example of a rolling pass schedule for a L.P. plate

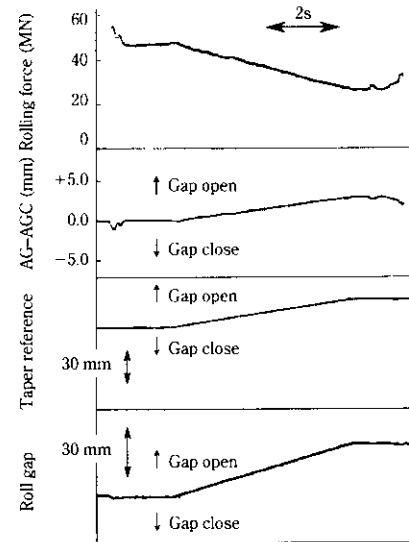


Fig. 8 Actual operating data of taper-pass

3.1 板厚制御

(1) 板厚制御システム

LP 鋼板の板厚制御は、パス内で精度良く板厚修正を行う MAS 圧延法⁹⁾の技術が基本となっている。Fig. 6 に LP 鋼板の板厚制御システム概要を示す。パススケジュール計算、各パスで付与するテーパ形状などを決定するプロセスコンピュータ、長手方向位置をトラッキングしながらロール開度設定量を決定する圧下 DDC (direct digital controller)、油圧圧下シリンダ位置を制御する油圧圧下コントローラにより構成されている^{11, 12)}。

(2) パススケジュール計算

圧延でのテーパ付与は、平坦度、圧延荷重制限などを考慮した上で、圧延寸法や付与するテーパ量に応じて最適なパス回数を選定する。厚部、薄部それぞれの板クラウン比率変化を平坦度が乱れない範囲内に収めることが前提である¹³⁾。加えて、各パスのロール開度変更が油圧圧下システムの能力内であるように、各パスで付与するテーパ勾配、圧延荷重が適切になるように決定する。なお、凸型および凹型 LP 鋼板の場合は、厚部、中間厚、薄部のそれぞれの板厚に対して同様のパススケジュール計算を実行する¹⁴⁾。Fig. 7 に非対称凹型等厚部付き LP 鋼板のパススケジュールの例を示す。

(3) パス内板厚制御

テーパを付与するパスでは、プロセスコンピュータが決定したテーパ形状にならって、油圧圧下シリンダによりロール開度を変更していく。そして、それと同時に長手方向の圧下率変化

から生じる荷重変動に起因するロール開度変動を、AG-AGC (absolute gauge-automatic gauge control) で補正している。すなわち付与するテーパ形状にそった変更量に、AG-AGC 制御量を加えてロール開度を変更することにより、精度の良いテーパ形状を得ている^{11, 12)}。Fig. 8 にテーパ付与パスでの実績制御データを示す。

3.2 制御冷却

引張強度 490 N/mm² 以上の LP 鋼板の製造では溶接性を考慮して、通常材と同様に制御圧延や制御冷却が適用される場合がある。制御冷却を適用する場合は、等厚鋼材と同様な水冷制御を行うと、板厚の違いによる冷却速度差に起因して厚部と薄部の冷却停止温度に差が生じてしまう。それを防止するために、冷却中に移送速度、加減速率を適切に制御することにより、長手方向に連続的な冷却時間差を生じさせる制御冷却方法を開発した¹⁵⁻¹⁷⁾。Fig. 9 にその概要を示す。Table 1 に本制御を適用し製造した LP 鋼板の材料試験結果を示す。厚部板厚 25 mm、薄部板厚 15 mm と 10 mm の板厚差があるにもかかわらず、ほぼ同等な特性が得られている。

3.3 熱間矯正

LP 鋼板の熱間矯正は、鋼板の形状にならってロール開度を変更しながら行う。すなわち、圧延仕上がり後測定した長手方向の板厚形状に基づいて、鋼板先端検出センサ、レベルングロール回転角検

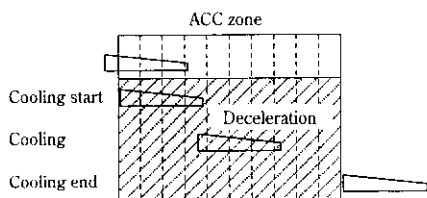


Fig. 9 Special cooling pattern of accelerated cooling system for L.P. plate

Table 1 Example of mechanical properties of a L.P. plate

	Thick part	Thin part
Thickness (mm)	25	15
TS (N/mm ²)	542	537
YP (N/mm ²)	399	413
vE ₀ (J)	155	168

出センサにより高精度のトラッキングを行いながら入側、出側のロール開度を制御する。これにより、長手方向で板厚が変化する LP 鋼板においても、全長にわたり均一な矯正効果を得ることが可能となった¹⁹⁾。

3.4 剪断

LP 鋼板の場合、長手方向に板厚勾配を有しているので、所定の板厚を確保するためには圧延母板の適切な位置から製品を採取しなければならない。例えば、4/1000 の勾配を持つ LP 鋼板では、製品採取位置が適切な位置から 100 mm ずれば、板厚にして 0.4 mm ずれることになる。そこで、剪断ラインに設置している冷間 γ 線厚さ計による板厚測定値に基づいて、最適な製品採取位置を決めると同時に、公差判定を実施するシステムを開発した¹⁹⁾。

4 LP 鋼板の製造実績

川崎製鉄では、需要家からの使用用途に応じた様々な形状の要求に応じて、各種 LP 鋼板を製造してきた。Fig. 10 に代表例を示す。Fig. 10(a) は、造船のトランスバークヘッド用で、板厚差 3.5 mm の

一方向 LP 鋼板である。Fig. 10(b) から (f) は、いずれも橋梁のフランジ部用である。Fig. 10(b) は、板厚差 30 mm、勾配 3/1000、厚部に 2.4 m、薄部に 4.0 m の等厚部を有している一方向等厚部付き LP 鋼板である。Fig. 10(c) は、薄部の等厚部が 10 m と長く、厚部側 (鋼板トップ側) に勾配が 2.3/1000 のテーパー部を有している。Fig. 10(d) は、板厚差が 20 mm と 22 mm、勾配が 3.7/1000 と 3.9/1000 の非対称凸型等厚部付き LP 鋼板で、厚部がちょうど中間支点上になるように使用される。Fig. 10(e) は、非対称凸型で、中央の等厚部を設けていないタイプである。Fig. 10(f) は、非対称凹型等厚部付き LP 鋼板で、応力が凹型に作用する部分に適用される。

LP 鋼板の製造可能鋼種は、JIS G 3101 および JIS G 3106 に代表される引張強さ 400 N/mm² 級から 570 N/mm² 級までをカバーしており、さらに JIS G 3114 の耐候性鋼板の製造も可能である。これにより、橋梁用および造船用のほとんどの鋼種に対応可能である。

LP 鋼板は、長手方向に板厚が変化するという特徴を有しているがゆえに、TMCP (thermo-mechanical control process) 鋼や焼入れ焼戻し鋼では材質造り込みにおいて工夫が必要である。川崎製鉄では、前述したような制御冷却法の開発を行ったのをはじめ、成分設計および製造条件設定の最適化を行い、長手方向の機械的性質の均質化を図っている。Fig. 11 に TMCP 型の降伏点 355 N/mm² 級一方向 LP 鋼板の機械的性質の実績を示す。薄部の降伏点が厚部に比べやや高い程度で、厚部と薄部で特に大きな差は見られず、規格値を十分満足している。Fig. 12 に、引張強さ 570 N/mm² 級調質型耐候性鋼で、最大板厚差 22 mm の非対称凸型等厚部付き LP 鋼板の引張試験結果を示す。適切な熱処理条件設定により板内で均質な強度特性が得られている。

川崎製鉄の LP 鋼板は、1993 年に造船用鋼板として初適用されて以来、着実に適用数が増加している。Fig. 13 に 1993 年以降の LP 鋼板の製造実績重量の累計値を示す。

5 結 言

LP 鋼板の需要家での適用効果、川崎製鉄における製造技術および製造実績を概括した。

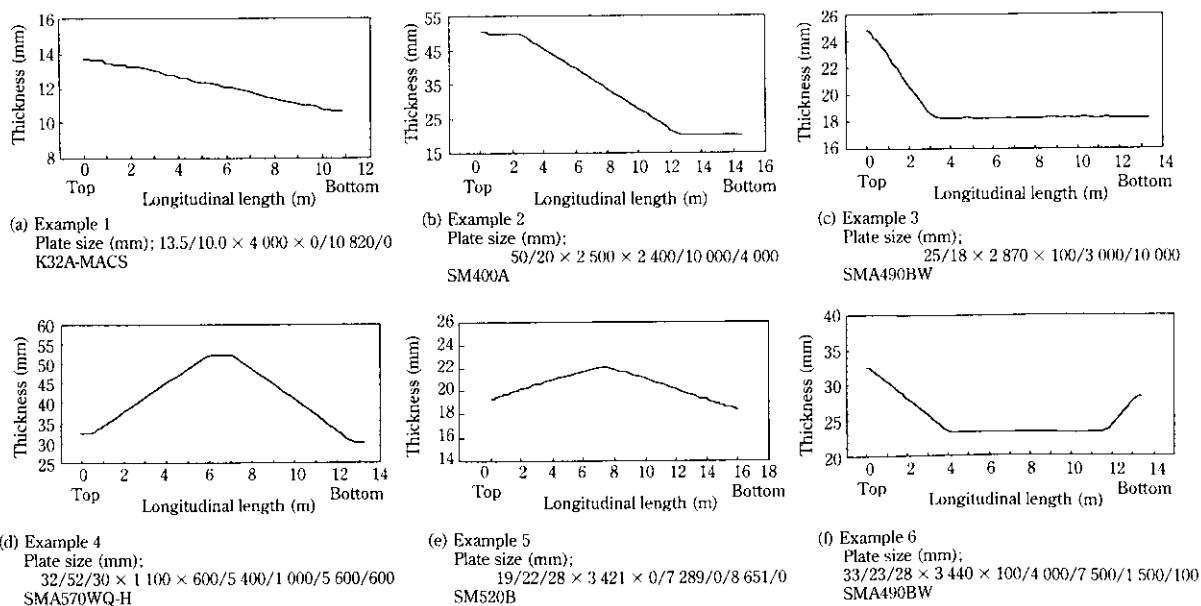


Fig. 10 Example of longitudinal profiles of actual thickness

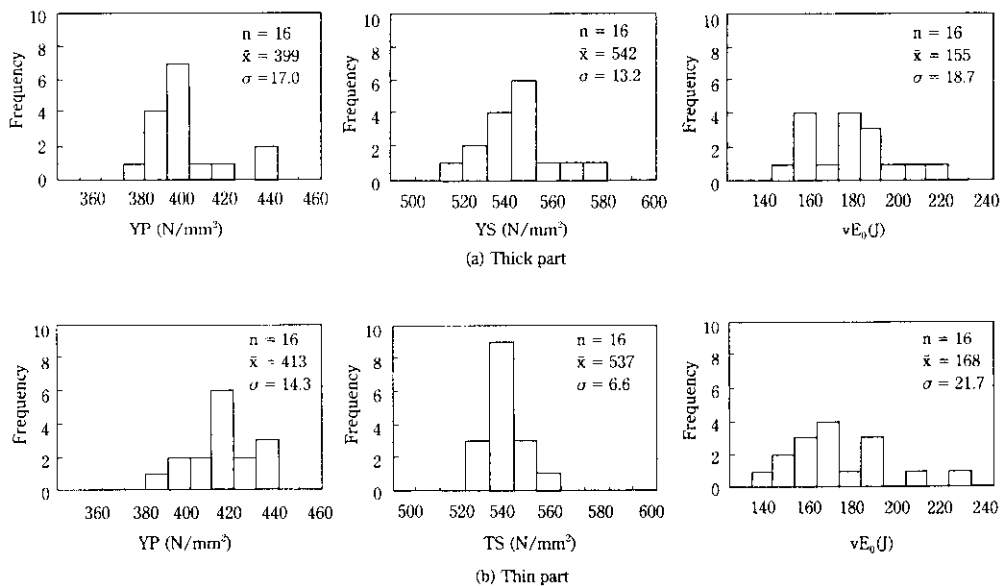


Fig. 11 Histograms of mechanical properties of high strength steels for shipbuilding

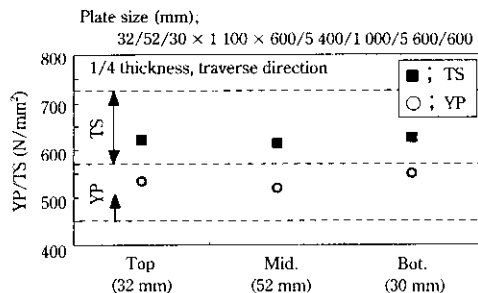


Fig. 12 Result of tensile test for a L.P. plate whose class is JIS G 3114 SMA570WQ-H (heat treated type)

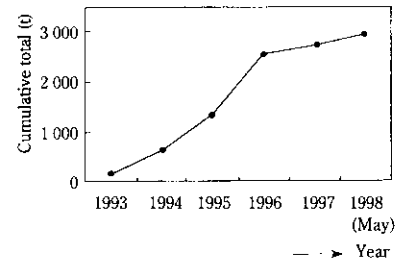


Fig. 13 Change of manufacturing quantity of longitudinally profiled plates

- (1) LP 鋼板は、板厚を長手方向に変化させた鋼板で、造船用や橋梁用鋼材として適用されており、構造物の重量削減や板継ぎ工程の省略に寄与している。
- (2) LP 鋼板の製造技術として、製造に必要な情報数の増設を行うとともに、最適なパス回数で精度よくテーパ形状を付与する圧延制御技術、さらに制御冷却、熱間矯正、剪断にも新たな製

造技術を導入した。

- (3) LP 鋼板の形状は、一方向のみならず、凸型および凹型、等厚部付き、さらには非対称形状も製造可能である。鋼種としては、引張強さ 400 N/mm² 級から 570 N/mm² 級までをカバーしており、耐候性鋼板の製造も可能である。

参考文献

- 1) (社)鋼材倶楽部 鉄鋼製品普及委員会：「造船と鋼材」，(1993)12
- 2) 橋原祐司：第 159・160 回西山記念技術講座，「新しい時代を創造する高性能厚板」，(1996)2，1-17
- 3) (社)鋼材倶楽部 橋梁研究会：「高性能鋼（橋梁向け）の概要」
- 4) 西村宣男：「圧延変厚鋼板を用いた構造部材の強度評価と設計法に関する研究」，平成 7 年度科学研究費補助金研究成果報告書，(1998)3
- 5) 柳沢忠昭，三芳 純，坪田一哉，菊川裕幸，池谷高弘，磯山 茂，旭 一郎，馬場和史：川崎製鉄技報，11 (1979)2，168-181
- 6) 西川和廣：第 159・160 回西山記念技術講座，「新しい時代を創造する高性能厚板」，(1996)2，231-244
- 7) 八部順一，磯江 暁，大垣賢津雄，久保拓也，作川孝一，川口喜史：川崎重工技報，(1998)137，84-89
- 8) 緒方辰男，林 辰一，上高原正弘，板橋杜吉：第 50 回土木学会年次学術講演会概要集，I-306，(1995)9
- 9) 益子直人，並川賢治，宮田 明，板橋杜吉：第 51 回土木学会年次学術講演会概要集，I-A292，(1996)9
- 10) 塚島 朗，高橋昭一，川尻克利，林 芳文，矢ヶ崎保幸：土木学会北海道支部論文報告集第 53 号 (A)，I-53，(1997)
- 11) 弓削佳徳，西崎 宏，折田朝之，堀 紀文，柳野公治：日本鉄鋼協会第 107 回圧延理論部会，107 圧延-14，(1997)11
- 12) 弓削佳徳，堀 紀文，西田俊一，三代祐嗣：CAMP-ISIJ，8 (1997)，414
- 13) 川崎製鉄(株)：特開平 07-265922
- 14) 川崎製鉄(株)：特開平 09-069568
- 15) 岩田邦夫，三代祐嗣，柴田 亮，堀 紀文，伊藤高幸，川島俊明：CAMP-ISIJ，8 (1995)，1353
- 16) 川崎製鉄(株)：特開平 07-068309
- 17) 川崎製鉄(株)：特開平 07-096319
- 18) 川崎製鉄(株)：特開平 07-178455
- 19) 川崎製鉄(株)：特開平 07-185604