

# スパイラル鋼管外周長精度に影響を及ぼす要因の検討と外周長制御法の開発

今井 一郎\*<sup>2</sup>・柿田 和俊\*<sup>2</sup>・檜崎 満生\*・天野 芳隆\*

## Investigation of the Factors Having Effects on the Circumference of Spiral Pipe and Its Control

Ichiro IMAI, Kazutoshi KAKITA, Mitsuo NARAZAKI, and Yoshitaka AMANO

Synopsis :

Geometrical and physical factors having effects on the circumference of spiral pipe have been investigated experimentally. Geometrical factors such as weld seam gap, swing angle of pipe by gap controlling system and especially camber of coil after trimming have big effects on it. In order to avoid the camber after trimming, a coil walk control system has been developed and the accuracy of circumference is much improved by it. Physical factors such as yield strength of hot rolled coil and deflection of coil by forming rolls ( $\delta$ ) have no direct influences on it but big influences on residual stress of pipe. The change of residual stress of pipe causes a change of geometrical factors such as seam gap and/or forming angle and leads to the pipe circumference deviation. Therefore the  $\delta$  must be kept constant in spiral pipe forming operation.

### 1. 緒 言

ラインパイプや鋼管杭の現地溶接継施工能率向上のために、鋼管の外周長精度に対する要求がきびしくなつてきている。一方、スパイラル鋼管はホットコイルのキャンパーや成形、溶接条件が相互に交絡して複雑なため、外周長に影響を及ぼす要因の系統的な解明があまりなされていない状態である。筆者らは、これを幾何学的要因と物理的要因に分けて実験的に解析し、これにもとづいた外周長制御の方法を開発したので紹介する。

### 2. 外周長に影響を及ぼす幾何学的、物理的要因

スパイラル鋼管はホットコイルや厚板を一定の角度で線状に曲げ加工しながら溶接製管する方法であり

$$\sin \beta = \frac{B + G}{\pi D} \dots\dots\dots (1)$$

なる関係がある。ここで、 $\beta$  : 成形角度、 $B$  : コイル幅、 $G$  : 溶接部のギャップ、 $D$  : パイプ外径である。コイル幅  $B$  が一定でも、成形角度  $\beta$  によりパイプ外径が変えられるのがスパイラル鋼管の特徴である。したがって、

$\beta$ ,  $B$ ,  $G$  の微小な変化が外周長  $\pi D$  に影響を及ぼすことは当然予想される。これらを幾何学的要因とする。一方、スパイラル鋼管は三本のピラミッド型に配列されたロールによつて成形される。これはベンディングロールフォーミングに似ており、外周長は圧下量によつても影響をうけることが予想される。また、素材コイルの強度や板厚の変化により、ベンディングロールのたわみ量

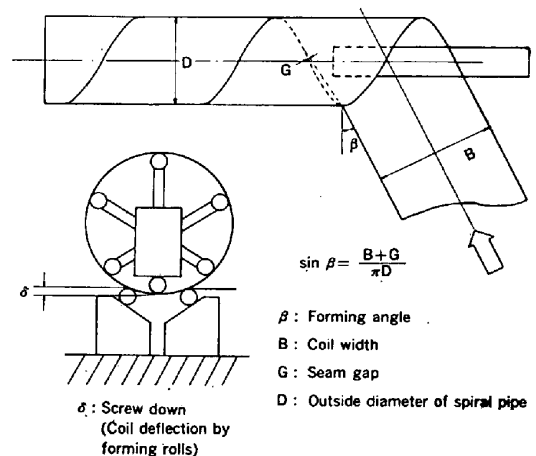


Fig. 1. View of spiral pipeforming.

昭和 56 年 2 月 20 日受付 (Received Feb. 20, 1981)

\* 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp.)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (現: 本社) (Yawata Works, Now Head Office, Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku 100)

が変わり実圧下量が変化して、外径が変わることも考えられる。このような要因を物理的要因とする。

### 3. 幾何学的要因に関する検討

#### 3.1 解析

(1)式の両辺を偏微分して整理する。トリマーを使用した場合、 $B$ は一定と考えてよく、 $\Delta B=0$ とした。

$$\begin{aligned} \Delta(\pi D) &= -(\pi D) \cot \beta \cdot \Delta \beta + \operatorname{cosec} \beta \cdot \Delta G \\ &= -(\pi D) \cot \beta \cdot \Delta \beta_1 \\ &\quad + \{ \operatorname{cosec} \beta \cdot \Delta G - (\pi D) \cot \beta \cdot \Delta \beta_2 \} \\ &= \Delta(\pi D)_1 + \Delta(\pi D)_2 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

ただし、 $\Delta \beta = \Delta \beta_1 + \Delta \beta_2$ で、 $\Delta \beta_1$ はトリミング後発生したコイルキャンバーによる成形角度変化分、 $\Delta \beta_2$ はギャップコントロール時のパイプ旋動による成形角度変化分である。Fig. 2に従って、 $\Delta \beta$ を変位に換算して整理すると外周の変化式は次のように表現できる。

$$\begin{aligned} \Delta(\pi D)_1 &= -(\pi D) \cot \beta \cdot \Delta \beta_1 \\ &= -(\pi D) \cot \beta \cdot \Delta a/l \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta(\pi D)_2 &= \operatorname{cosec} \beta \cdot \Delta G - (\pi D) \cot \beta \cdot \Delta \beta_2 \\ &= \operatorname{cosec} \beta \cdot \Delta G - (\pi D) \cot \beta \cdot \Delta C/L \dots\dots (4) \end{aligned}$$

ただし、 $\Delta \beta_1 = \Delta a/l$ の $\Delta a$ はキャンバーの大きさで成形直前a点におけるコイルエッジの変位として測定できる。 $l$ はキャンバー長の1/2。 $\Delta \beta_2 = \Delta C/L$ の $\Delta C$ はギャップコントロール用フレームの変位量として測定できる。(ここではパイプの旋動量に等しいと仮定した。)  $L$ はパイプ旋動の回転中心から $\Delta C$ 測定点までの距離である。したがって、

$$\begin{aligned} \Delta(\pi D) &= \Delta(\pi D)_1 + \Delta(\pi D)_2 \\ &= f(\Delta a/l, \Delta G, \Delta C) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

となり、 $\Delta(\pi D)$ 、 $\Delta a/l$ 、 $\Delta G$ 、 $\Delta C$ を測定すれば相互の関連を実験的に解明できる。

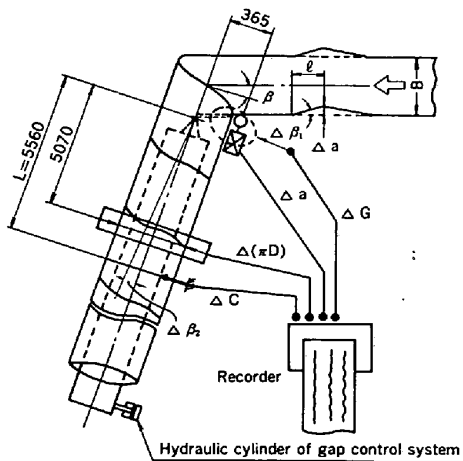
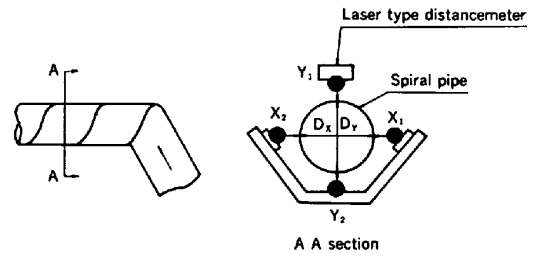


Fig. 2. Layout of measuring apparatuses.



$$\begin{aligned} \Delta X_{1i} + \Delta X_{2i} &= \Delta D_{Xi} \\ \Delta Y_{1i} + \Delta Y_{2i} &= \Delta D_{Yi} \\ \Delta \pi D &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\pi}{2} (D_{Xi} + D_{Yi})}{n} \end{aligned}$$

$n$ : Number of measuring points during a quarter rotation of spiral pipe

Fig. 3. A principle of pipe circumference measurement.

#### 3.2 測定方法

$\Delta a$ 、 $\Delta C$ は接触変位計により容易に測定できる。

$\Delta(\pi D)$ 、 $\Delta G$ の測定は以下の方法によつた。

##### 3.2.1 外周長測定装置

Fig. 3に示すようにレーザー式非接触変位計により、 $X \cdot Y$ 方向の外径変化 $\Delta D_{Xi}$ 、 $\Delta D_{Yi}$ を連続的に測定し、パイプが1/4回転する間の平均値を計算し、これに $\pi$ をかけたものをその点での外周長とした。平均値処理をするため、外周の急激な変化に対しては若干精度が劣るが、この測定機により、スパイラルピッチごとに外周長の変わる様子を連続的に把握できた。Fig. 4・5に測定精度を示す。

##### 3.2.2 溶接ギャップ測定装置

溶接点での真のギャップ量 $G_w$ を直接正確に測定する方法はまだない。そこで従来から行われている間接的な測定法により、溶接点から一定距離(ここでは300mm)だけ離れた溶接前でのギャップ量 $G_T$ を測し、

$$\Delta G_w = 0.48 \Delta G_T \dots\dots\dots (6)$$

により換算した。ただし、この方法では、コイルキャンバーのある部分は、正確なギャップ測定ができないこと

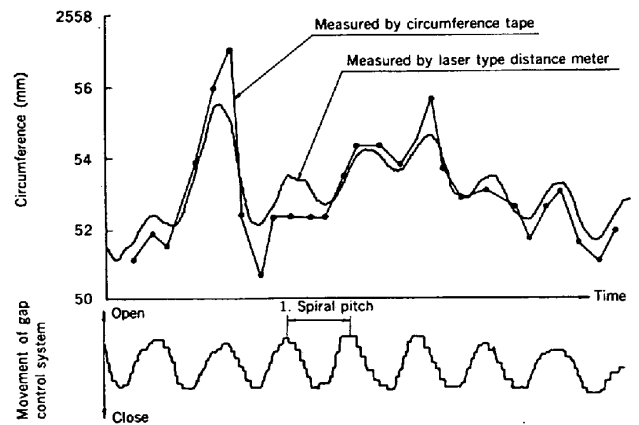


Fig. 4. Accuracy of circumference meter (a).

は念頭におくべきである。

3.3 実験結果

Fig. 6 にコイル継直後における測定結果の一例を示す。ただし、

- 材 質 : STK 41 (降伏点 : 35~38 kg/mm<sup>2</sup>)
- パイプ外径 : 812.8 mm
- パイプ板厚 : 9 mm
- コイル幅 : 1435 mm (トリム後)
- 成形角度 : 35 度

まず、 $\Delta a$  が変化する。これはトリミングされたコイルにキャンパーのあることを示している。この部分の

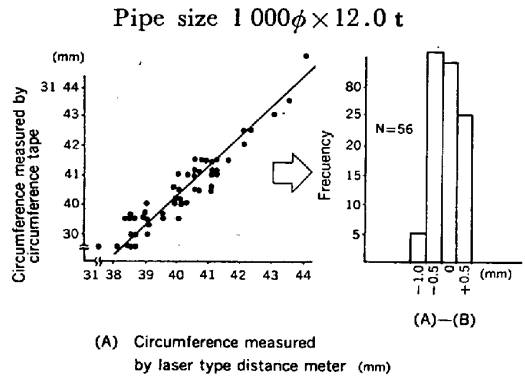


Fig. 5. Accuracy of circumference meter (b).

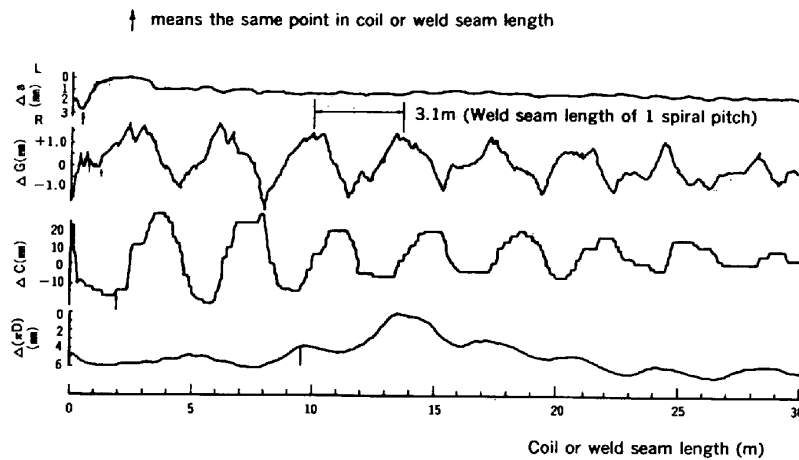


Fig. 6. Relation among  $\Delta a$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta C$  and  $\Delta \pi D$ .

イル形状は Fig. 2 における  $\Delta \beta_1$  のようになっており、この部分が溶接点に達すると、ギャップが過大になつたり、過少になつたりするので、ギャップコントロール装置が操作され、 $\Delta C$ ,  $\Delta G$  が変化する。この変化は周期的に行われ、その周期はスパイラルピッチに相当する溶接長にほぼ等しい。この周期的変動は  $\Delta a$  の変動がなくなつたあとも長時間にわたつて続く。 $\Delta C$  と  $\Delta G$  のみを取り出して Fig. 7 にプロットし相互の関係をみた。ギャップ量  $\Delta G$  が過大になるとこれを制御するため、 $\Delta C$  はギャップ量を小さくする方向 (close の方向) に変位する。適当なギャップ量になつたところで  $\Delta C$  がとまる。しかし、 $\Delta C$  が一定でも  $\Delta G$  はひとりでに小さくなり、こんどは逆方向 (open の方向) への修正が必要になる。この操作がくり返され、 $\Delta C$ ,  $\Delta G$  ともにしだいに零点に収束する、Fig. 6 における  $\Delta(\pi D)$  に着目すると、長いスパンで変化する要素と、 $\Delta G$ ,  $\Delta C$  と同周期で変化する要素に分けられる。前者が  $\Delta(\pi D)_1$ 、後者が  $\Delta(\pi D)_2$  と考えられる。Fig. 8 に  $\Delta \beta_1$  と  $\Delta(\pi D)$  の関係を示すがかなりよい相関を示し、外周の変化はほとんど、トリミングされたコイルのキャンパー量によつて決

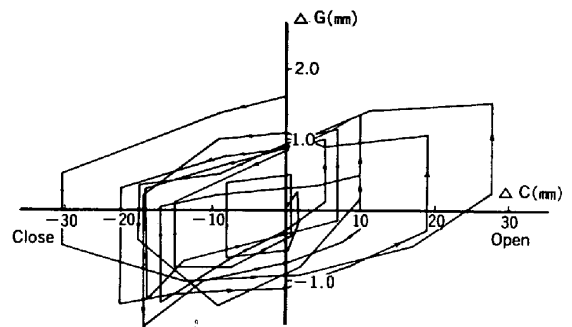


Fig. 7. Relation between  $\Delta C$  and  $\Delta G$  during operation of gap control system.

まると考えてよい。 $\Delta(\pi D)_2$  は小幅な変化であるが、これは(4)式において、一項目と二項目が相互に径差を少なくする方向に作用するためである。したがつて、パイプの外周長変動のメカニズムは次のようにまとめることができる。すなわち、コイル継直後に発生する  $a$  点でのコイル変位 (トリミングされたコイルのキャンパー) のため、ギャップコントロールがなされ成形角度が変化し、外周長が変化する。このギャップコントロールは、長時間にわたつて続き、作業上の煩雑性をともなうとも

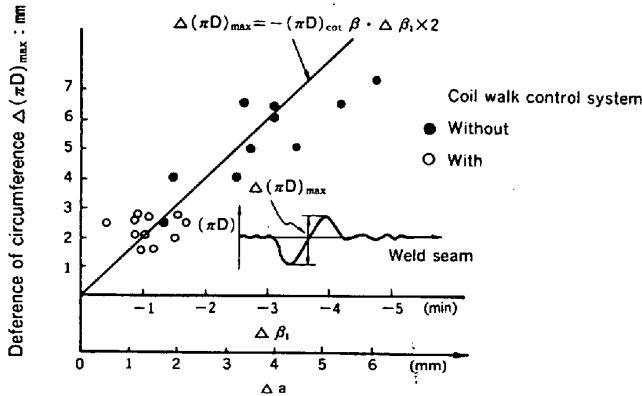


Fig. 8. Relation between  $\Delta B_1$  and  $\Delta(\pi D)_{max}$ .

に、外周の変動も誘発する。このため、キャンパーの発生しないトリミング方法が必要となる。

3.4 トリミングコイルのキャンパー防止策

(コイルウォーク防止装置の採用)

3.4.1 装置の概要

一般にホットコイルにはキャンパーがあるため、このキャンパーを許容した上で、これによる外周長変動を議論したり、オフセット（溶接部の段違い）による外周長制御を議論している例が多い<sup>1)</sup>。しかし、素材コイルのキャンパーとトリミング後のコイル形状とは全く無関係でありコイルをウォークしないようにトリミングすれば真直なコイルの得られることは Fig. 9 から容易に理解できる。ここで、コイルウォークとは、コイルが正規の

進行方向と直角方向の成分をもつて動くことであり、キャンパーとはコイル幅方向の中心線が長手方向に真直でないことをいう。コイルウォークとキャンパーを測定しながらコイルウォークを防止する装置の概略図と言葉の定義を Fig. 10・11 に示す。Fig. 11 において、トリミング前での各点  $e_{1L}$ ,  $e_{1R}$ ,  $e_{2L}$  でのコイルエッジの変位を連続的に測定し、コイルウォークとキャンパーをコイル長 50 mm ごとに計算し記録した。コイルウォークは  $e_{1L}$  検出機の出力をコイルの走行速度 ( $v$ ) と同期させ、一定距離 ( $l_0$ ) 間でのコイルの移動時間 ( $l_0/v$ ) だけ遅延した時点での値を  $e_{2L}$  と比較することにより求めた。これにより、素材コイルの幅変動やキャンパーの有無にかかわらず、コイルウォークを測定することができる。また、本装置はコイルウォークをトリミング前で検出し、防止制御するためのサイドガイドを有している。サイドガイドはコイル幅変動やキャンパーに追従できるよう常時低圧でコイルに接触し、ウォークが発生すると高押し付け力でコイル進行方向を修正する。本装置はスペースの関係上サイドガイドを使用したため、コイル幅方向のバックリングを防止するための付帯設備も必要であつた。スペースが十分とれる場合は、ピンチロール等によるウォーク制御が好ましいと思われる。

3.4.2 実験結果

コイル継部前後における測定結果を Fig. 12, 13 に示

Case	1	2	3	4
Coil as hot-rolled	Without camber		With camber	
Movement of coil	Straight	Coil walk	Straight	Coil walk
Shape and movement of coil before trimming				
Coil shape after trimming				

Case 1 & 3: Without camber after trimming Case 2 & 4: With camber after trimming  
 $\Delta y$ : Movement of coil to the set up direction  $\Delta x$ : Rectangular movement of coil to  $\Delta y$

Fig. 9. Relation among coil cambers and coil walk in plane view.

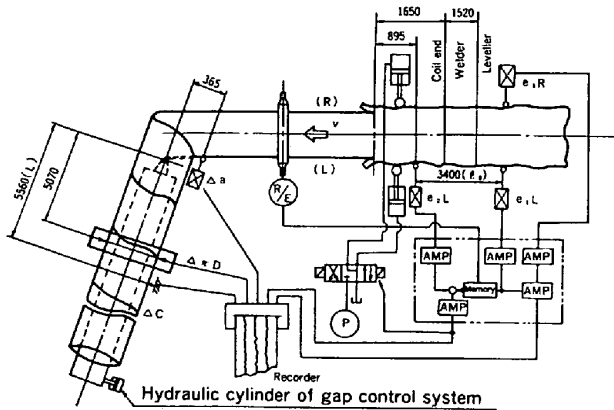


Fig. 10. Coil walk control system and various measuring apparatuses.

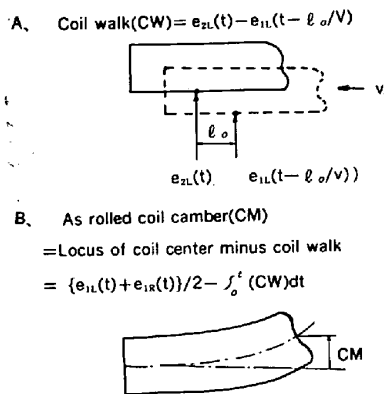


Fig. 11. Definition of coil walk and camber.

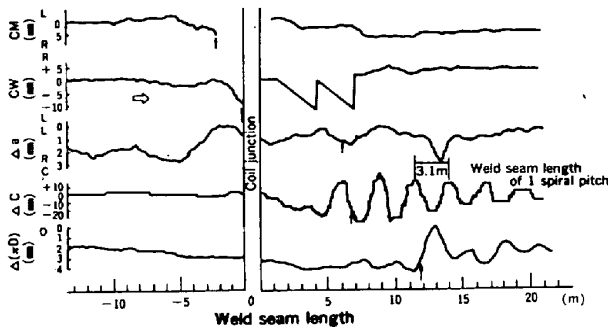


Fig. 12. Relation among CM, CW,  $\Delta a$ ,  $\Delta C$  and  $\Delta(\pi D)$  (Coil walk control system not operated).

す。Fig. 12 はウォーク防止装置を使用しない場合である。コイル尾端において進行方向に対し右方向にキャンパーがあり、左方向にウォークが発生している。このためトリミングされたコイルに新しいキャンパーが発生する。このことは、コイルウォークが発生した時刻では、a 点でのコイル変位はないが、その時刻にトリミングされたコイル位置が a 点にきたとき、コイル変位  $\Delta a$  のあることから推察できる。このため、Fig. 6 の例と同じく外周長変動が大きい。Fig. 13 はウォークを防止制御し

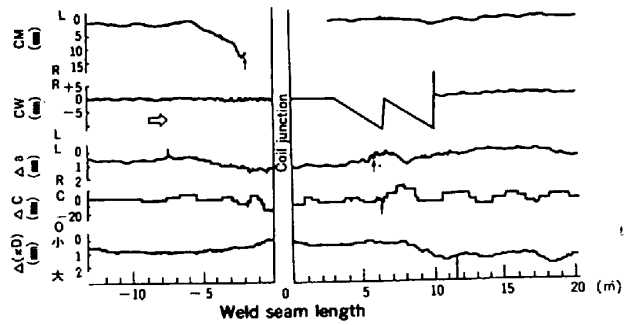


Fig. 13. Relation among CM, CW,  $\Delta a$ ,  $\Delta C$  and  $\Delta(\pi D)$  (Coil walk control system operated).

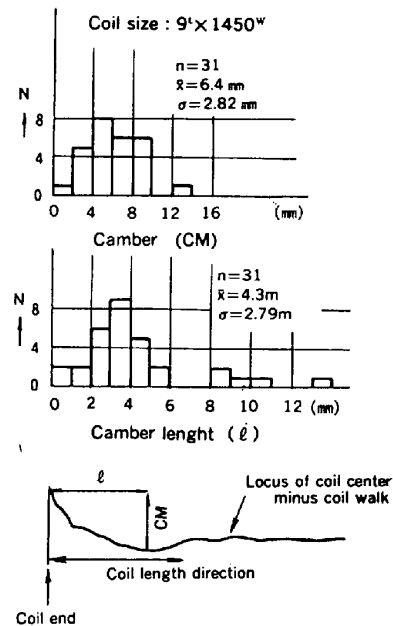


Fig. 14. Example of as hot rolled coil camber.

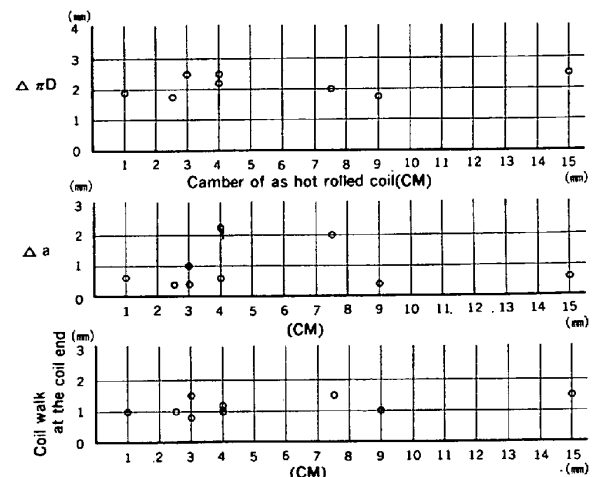


Fig. 15. Relation between  $\Delta\pi D$ ,  $\Delta a$ , coil walk and coil camber (Coil walk control system operated).

た場合であるが、キャンパーがあるにもかかわらず、a 点でのコイル変位は少なく、外周長の変動も少なくなっている。Fig. 8 の○印がウォーク制御時の外周長変動で

あるが、未制御時の●印に比し、変動が小さくなっていることがわかる。Fig. 14 にコイル尾端（内巻側）のキャンパー測定例を示す。Fig. 15 はワーク制御により、素材のキャンパーとは無関係に外周長制御が可能であることを示している。

#### 4. 物理的要因に関する検討

##### 4.1 概要

ベンディングロールによる曲げ理論については、すでに幾多の研究結果があり<sup>2)</sup>、圧下量と外径に関する式も求められている。しかし、スパイラル鋼管の成形溶接中に圧下を変化させても、ベンディングロールフォーミング時のように外径は変わらない。そこで、同一サイズのパイプを造管中、素材コイルの降伏点の異なるものを通板したり、圧下量を変えるなどしてその影響を調査した。

##### 4.2 実験方法

圧下量の調整は外面ロールスタンドを上下させ、実圧下量変化  $\Delta\delta$  の測定は外面ロールスタンドとパイプ下面の間にダイヤルゲージを装入して連続的に測定記録した。(Fig. 16) また製管後のパイプから 150mm 長の輪パイプを切り出し、ビード部から切断してパイプの開口量  $\alpha$  を測定し、残留応力の程度を同時に観察した。

##### 4.3 実験結果

パイプ外径：812.8mm パイプ板厚：12mm コイル幅：1435mm

の素材コイルの材質として、

STK 41 (降伏点：35~38 kg/mm<sup>2</sup>)

STK 50 (降伏点：45~50 kg/mm<sup>2</sup>)

の両者を用い、実圧下量も変化させた場合における、外周長輪切りテスト、およびギャップコントロール旋動量の関係を Fig. 17 に示す。実圧下量が増すと、外周長は小さくなり、同時に輪切りテスト開口量  $\alpha$  も小さくなる。ここで  $\Delta C$  (すなわち  $\Delta\beta_2$ ) も大きくなっていることに注目する必要がある。実圧下量が変わったときのギ

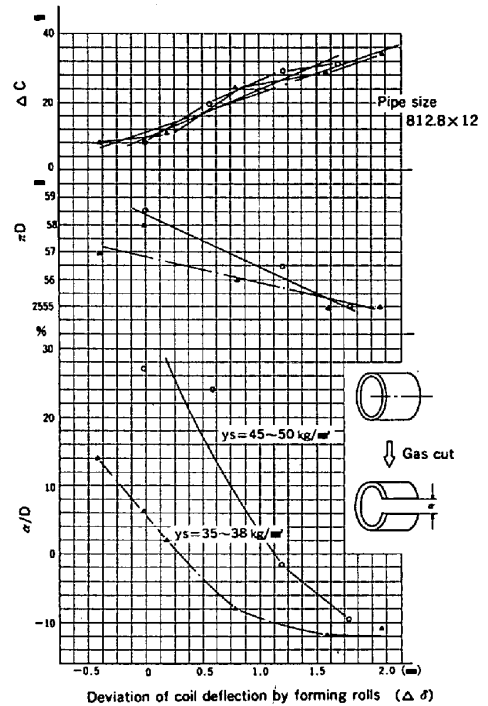


Fig. 17. Relation between  $\Delta C$ ,  $\Delta\pi D$ ,  $\alpha/D$  and  $\Delta\delta$ .

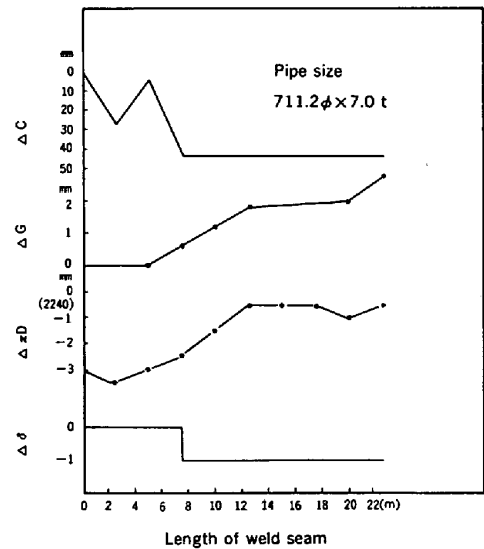


Fig. 18. Relation among,  $\Delta\delta$ ,  $\Delta G$  and  $\Delta\pi D$  (in the case  $\Delta C=0$  after  $\delta$  changed).

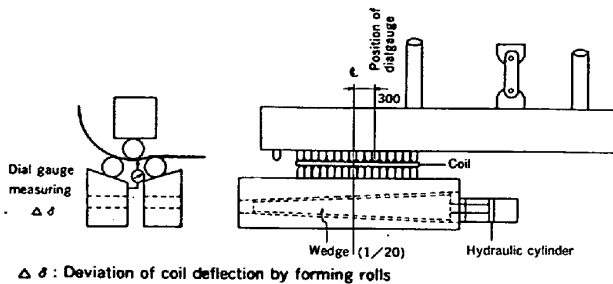


Fig. 16. Spiral pipe forming stand and  $\Delta\delta$  measuring method.

ャップコントロール量と外周長変化過程の一例を Fig. 18, 19 に示す。Fig. 18 は実圧下量が変わったとき、ギャップコントロールを行わない場合である。圧下軽減によりパイプは径大化する方向に残留応力が働いているため、ギャップが大きくなり径大化する。しかし、ギャップ量が一定値に到達すると、外周長変化もなくなる。Fig. 19 はギャップを一定に保つためにギャップコントロール操作をした場合であるが、Fig. 18 のように拡大するギャップを補正するため成形角度が変り、次に外周

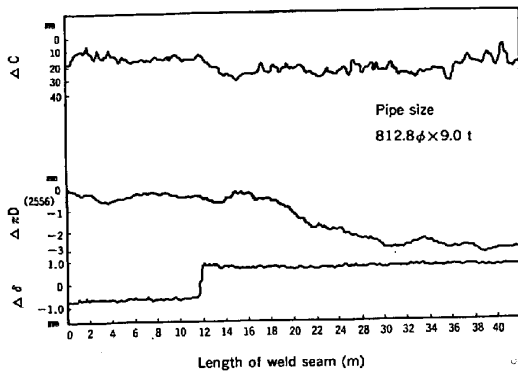


Fig. 19. Relation among  $\Delta\delta$ ,  $\Delta\pi D$  and  $\Delta C$  (in the case  $\Delta G=0$  after  $\delta$  changed).

長が変化している様子がわかる。これらの結果から実圧下量の変化は、ほとんどがパイプの残留応力として吸収されるが、この残留応力のためにギャップや成形角度が変わり、外周長に影響を及ぼしていると考えられる。従って、 $\delta$ が一定ならば外周長はほぼ一定であり、特に $\alpha < 0$ の領域では $\delta$ が一定ならば、素材の降伏点が $10 \text{ kg/mm}^2$ 程度異なつていても一定の外周長がえられることがわかる。

### 5. 結 言

スパイラル鋼管の外周長に影響を及ぼす要因と制御方

法を幾何学的要因と物理的要因に分けて検討した。

(1) スパイラル鋼管の外周長は  $\sin \beta = (B+G)/\pi D$  できまる幾何学的要因によるため  $\beta \cdot B \cdot G$  を一定値に保つ必要がある。このため特にトリミング後のキャンバーを防止する必要がある。

(2) トリム後のキャンバーは、素材コイルのキャンバーに関係なく、コイルワーク防止装置により制御できる。

(3) 物理的要因である実圧下量の変化が引き金となつて幾何学的要因が変化し、外周長が変化するがこの寄与率は小さく、大部分が残留応力としてパイプに吸収される。

(4) 実圧下量を一定に保てば、物理的要因による外周長変化はほとんどない。特に  $\alpha < 0$  の領域ではこの傾向が顕著である。

### 文 献

- 1) たとえば、神余道夫、志風直彦、滝井仁志：住友重機械技報，22 (1974) 66, p. 106
- 2) 曾田長一郎、小西せつ子：塑性と加工，3 (1962) 18, p. 474  
益田森治：薄板の曲げ加工 (1958), p. 182 [誠文堂新光社]