
縞鋼管の製造とその特性

Steel Pipe with Checkered Projections and its Mechanical Characteristics

加藤 親男(Chikao Kato) 佐藤 政勝(Masakatsu Sato) 三好 弘高(Hirotaka Miyoshi)
寺田 利坦(Toshihiro Terada) 大谷 輝夫(Teruo Otani) 有賀 勇(Isamu Aruga)

要旨：

鋼管にコンクリートを充鎮した複合鋼管は鋼材の靱性とコンクリートの剛性を巧みに利用した合理的な製造形式であり、土地構造物、海洋構造物等に広く利用している。この複合鋼管における最大の課題は、鋼管のコンクリートの付着抵抗を増大させ両者の一体性を確保することにある。当社では、鋼管表面の状態や現場の施工条件にかかわることなく大きな付着抵抗を得るため、表面に突起を有する鋼管、すなわち縞鋼管を開発した。本報告は縞鋼管を開発するために際し、実施した、突起形状選定のための基礎実験、縞鋼管の試作実験、各種性能実験について述べたものである。

Synopsis：

Concrete-filled steel pipe is widely used not only as pile but also as substructures of offshore and land structures, but how to secure steel-concrete interface strength has sometime been a considerable problem. A new pipe with checkered projections on the surface has been developed recently by Kawasaki Steel to give increased resisting strength at the interface, thereby solving the problem. The newly developed concrete-filled pile trial manufactured with checkered projections have been subjected to several kinds of field tests such as static bending and pile driving and pushing out tests, and checkered projection is found to be significantly effective in resisting the pull-out and bending loading.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

縞鋼管の製造とその特性

Steel Pipe with Checkered Projections and its Mechanical Characteristics

加 藤 親 男*
Chikao Kato

佐 藤 政 勝**
Masakatsu Sato

三 好 弘 高***
Hirotaka Miyoshi

寺 田 利 坦****
Toshihiro Terada

大 谷 輝 夫*****
Teruo Otani

有 賀 勇*****
Isamu Aruga

Synopsis:

Concrete-filled steel pipe is widely used not only as pile but also as substructures of offshore and land structures, but how to secure steel-concrete interface strength has sometime been a considerable problem.

A new pipe with checkered projections on the surface has been developed recently by Kawasaki Steel to give increased resisting strength at the interface, thereby solving the problem.

The newly developed concrete-filled pile trial manufactured with checkered projections have been subjected to several kinds of field tests such as static bending and pile driving and pushing out tests, and checkered projection is found to be significantly effective in resisting the pull-out and bending loading.

1. まえがき

鋼管にコンクリートを充填した複合鋼管は、鋼管の靱性とコンクリートの剛性を巧みに利用することにより、鋼管の弱点である局部座屈とコンクリートの弱点である脆性破壊を防止する合理的な構造である¹⁾。

従来から鋼管杭基礎等において、その頭部に膨張剤を混入したコンクリートを充填することにより、拘束モーメントの著しい領域における鋼管の局部座屈を防止する方法が多用されてきた²⁾。これらも一種の複合鋼管（複合杭）といえよう。さらに、昭和51年ごろから、膨張剤を混入したコンク

リートに鋼管内に注入した後、遠心力成形、高温高圧養生を施した既製杭³⁾が製造、販売されるようになり、主として建築基礎の分野で使用されている。

複合鋼管の特徴は鋼管とコンクリートの付着抵抗を増大させ、両者の一体性を確保することにあるが、単にコンクリートに膨張剤を混入しただけでは、その付着抵抗は鋼管表面の状態や施工条件に大きく左右されて信頼性に乏しい。この意味では上述の既製杭は一步進んだ複合杭といえるが、製造設備や輸送方法を考慮すると杭径、杭長が制限される。

そこで筆者らは、現場でコンクリートを打設しても鋼管表面の状態や施工条件にかかわらず付

* エンジニアリング事業部土木技術部主査(副部長待遇)
*** エンジニアリング事業部パイプライン・海洋技術部主査(掛長待遇)
***** 知多製造所第1造管部溶接管技術室
〔昭和55年9月12日原稿受付〕

** エンジニアリング事業部構造技術研究所主任研究員(掛長待遇)
**** 知多製造所管理部技術管理室主査(掛長待遇)
***** 千葉製鉄所管理部熱延管理課

着抵抗を増加させる方法として鋼管表面に突起を施した新形式の鋼管を開発した。以下この鋼管を縞鋼管と呼ぶ。この縞鋼管の用途は単に杭基礎のみにとどまらず、Fig. 1 に示すように多岐にわたるものと期待できる。

本報は、縞鋼管を開発するにあたって実施した突起部の形状を検討するための基礎実験⁴⁾、縞鋼管の製作実験、試作鋼管の各種性能試験について述べたものである。

なお、縞鋼板には、主としてすべり止めを目的とした従来からの3本縞目で突起高さ1.5mm以下の床用鋼板⁵⁾と、複合杭用として新規に圧延した2本縞目で突起高さ3.0mmの2種類（Fig. 2 参照）があり、本報では前者を旧縞鋼板、後者を新

縞鋼板と呼び、またこれらの鋼板を製管したものをそれぞれ旧縞鋼管、新縞鋼管と呼ぶ。

2. 縞形状の選定

2-1 突起付鋼板のコンクリートとの付着強度⁶⁾

突起形状を選定するにあたって、コンクリートに埋め込まれた突起付鋼板の突起高さおよびその間隔が付着強度に及ぼす影響を把握するために新、旧縞鋼板を含めた各種突起付鋼板の引抜き試験を実施した。

使用したコンクリートの粗骨材の最大寸法は25mm、その呼び強度 σ_r は30MPaである。

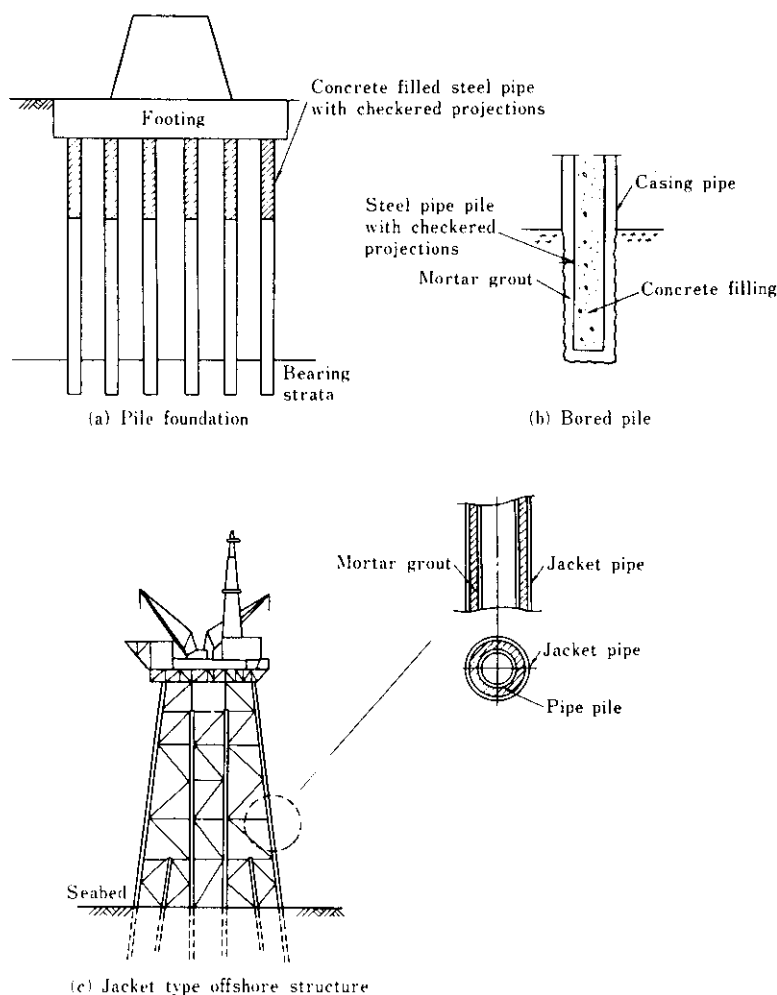


Fig. 1 Application of steel pipe with checkered projections

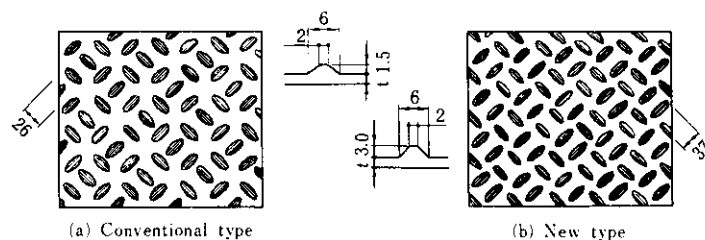


Fig. 2 Conventional checkered plate and new one

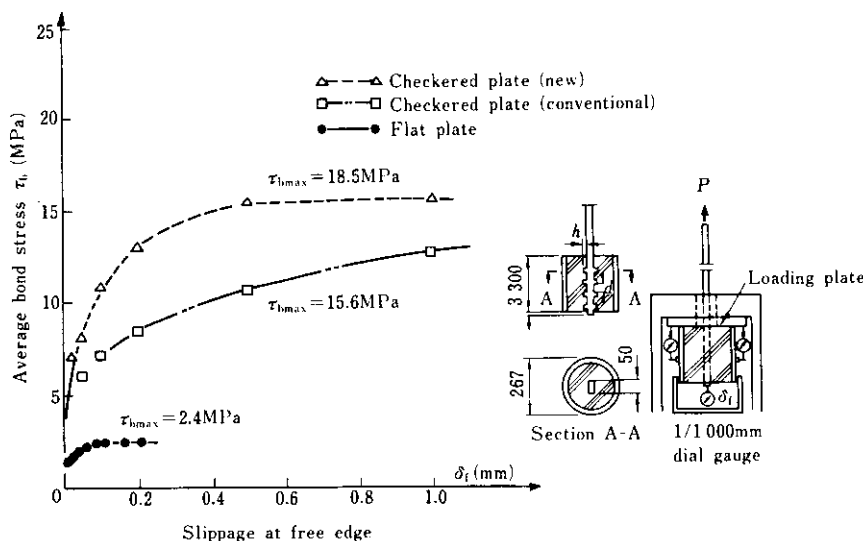


Fig. 3 Relations between bond stress and slippage at free edge in pull out test

Fig. 3 は引抜き試験における付着応力 τ_b と自由端における滑り量 δ_f の関係を示したものである。

平鋼板の場合の付着抵抗力は鋼材とコンクリートの接触面に作用する膠着力と摩擦抵抗力からなるが、その大部分は后者である。したがって鋼材が滑り始めると急激にその量が増大し、最大付着応力 τ_{bmax} に達する。一方、突起付鋼材は突起により滑りに対する機械的な抵抗を意図的に強化しようとしたものであり、相対滑りが発生した直後に、自由端での滑り量が急増する現象は見られず荷重とほぼ比例して増大する。したがって、突起付鋼材では、 τ_{bmax} よりむしろ特定の滑り量に対する τ_b が重要な意味をもつといえよう。

種々の δ_f に対応した τ_b と突起間隔 d の関係を示したものが Fig. 4 である。この図から、 τ_b は d にほぼ反比例し、また突起高さ h が大きくなれば τ_b も大きくなるようすがうかがえる。

そこで滑り量 $\delta_f = 0.05$ および 1.00mm における

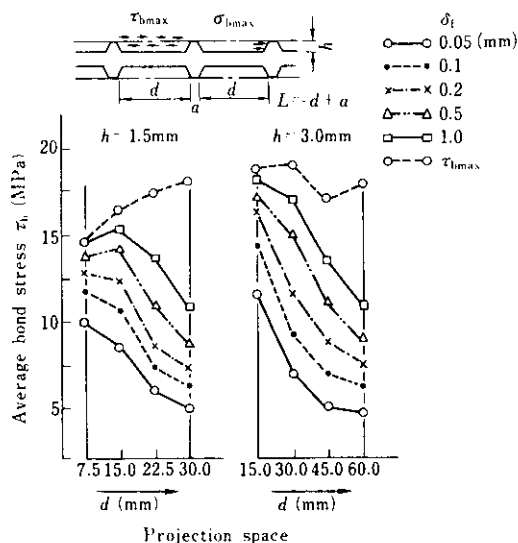


Fig. 4 Relations between average bond stress and projection space

τ_b と h/d の関係について整理したものが Fig. 5 であり、この図から (2) 式が得られる。

$$\left. \begin{array}{l} \delta_f = 0.05\text{mm に対して} \\ \tau_b = 3 + 50 \cdot (h/d) \\ \delta_f = 1.00\text{mm に対して} \\ \tau_b = 9 + 72 \cdot (h/d) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

2.2 縞鋼板の最適突起形状

Fig. 5 は、新、旧縞鋼板の τ_b と h/d の関係を示しているが、これらが (2) 式上に位置していることから、縞鋼板とコンクリートの付着強度についても (2) 式が適用できることが確認される。したがって、 h/d を大きくすることによってより高い付着抵抗が期待できるが、実際には鋼板圧延

時における圧下力などにより h が制限される。 $\delta_f = 0.05\text{mm}$ および 1.00mm に対応した旧縞鋼板の付着応力 τ_b が平鋼板の場合の 2.8 および 5.3 倍であり、旧縞鋼板でもコンクリートとの間に十分な付着抵抗が得られるものと考えられるが、現場の施工時においては鋼管表面に泥や油などが付着し、付着抵抗が低下することも懸念されるので、旧縞鋼板よりも突起が $1.0 \sim 1.5\text{mm}$ 高い新縞鋼板を使用することが望ましい。

3. 縞鋼管の製造

3.1 縞鋼帯の製造

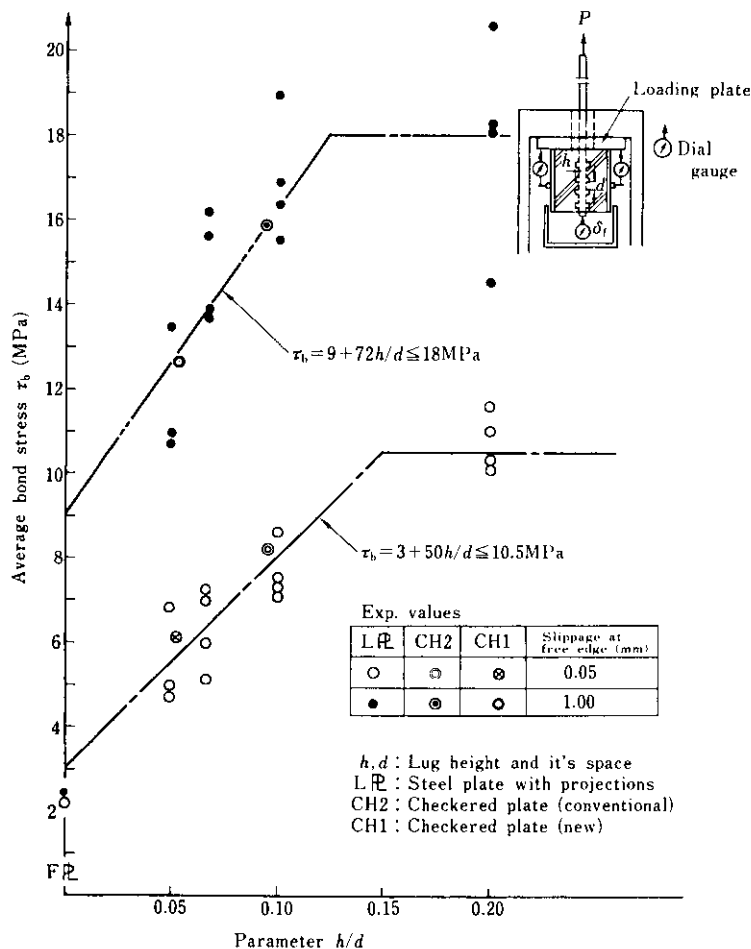


Fig. 5 Relation between average bond stress and parameter h/d

縞鋼管を製造するに際しては、床用鋼板として従来から実績のある縞板用圧延鋼帯を使用するのが得策である。しかし、床用鋼板を縞鋼管用素材として使用するには、下記のような特有の問題点があるため、これらについてどのように対処したかを述べる。

- (1) 造管時の溶接のためにエッジがフラットでなければならない。
- (2) コンクリートとの付着性を高めるために縞目にある程度の高さが必要である。

3・1・1 両端にフラット部を有する縞鋼帯

鋼管用縞鋼帯の、板幅の両端にフラット部（縞目のない部分）を確保するためには、圧延時に、特殊な縞ロールを使用することと、被圧延材のセンターリングが必要である。後者については仕上ミル・サイドガイドの設定時のクリアランス分だけ幅方向に変動するのみであり実用上は問題とならない。しかし、前者については、フラット部に対して縞目のメタルマスに相当する分だけ板厚を厚くすることが必要となるので、ロールのフラット部を Fig. 6 に示すように段付とすることで対処した。

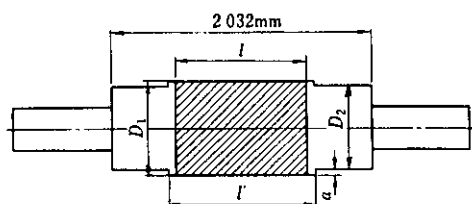
段付量 a については、エッジ部での長手方向および幅方向のメタルフローから実験的に (3) 式のように設定すれば、縞目におけるマスフローとフラット部におけるマスフローとが適切にバランスして、形状の良好なホットコイルが得られる。

$$t_1 - 0.05 \leq a \leq t_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

$$2a = D_1 - D_2$$

t_1 : 圧延後の被圧延材の縞目部分の重量換算



	a (mm)	l (mm)	l' (mm)	Pair roll curve
New type	0.27	1130	1080 ± 10	+55/100
Conventional type	0.18	1130	1080 ± 10	+30/100

Fig. 6 Roll for checkered plate

板厚 (mm)

D_1 : 縞目部におけるロール直径 (mm)

D_2 : フラット部におけるロール直径 (mm)

実際の圧延においては、 $a = t_1$ すなわち $a = 0.27$ mm となるように研削したロールを使用した。

3・1・2 縞目形状

通常の縞鋼板用突起は、高さ 1.5mm、長さ 26mm であるため、使用目的によってはコンクリートとの付着力が不足する場合も考えられる。

そこで、突起高さ 3.0mm を目標とした新しい縞目を有する縞鋼帯を圧延することにした。

突起高さは、圧延材単位幅あたりの圧延荷重を増すことによって、高くすることが可能である。縞鋼板の突起高さを 3.0mm 以上にするためには鋼帯寸法が 9.0mm × 1230mm の場合、Fig. 7 に示すように 15kN/mm 以上の圧延荷重が必要である。さらに、ロールの縞目付部へのメタルフローを大きくすることが必要であり、圧延荷重の増加とあわせて縞目形状を従来の 3 本縞目から 2 本縞目に変え、また FDT (Finishing Delivery Temperature) を通常より約 60°C 高い 900°C とすることにより圧延時の材料の変形抵抗を小さくした。さらに、圧延荷重の増大にともなう鋼帯形状不良、すなわち、耳のびを防止するために、仕上げワークロールのロールカーブを Table 1 のように変更した。

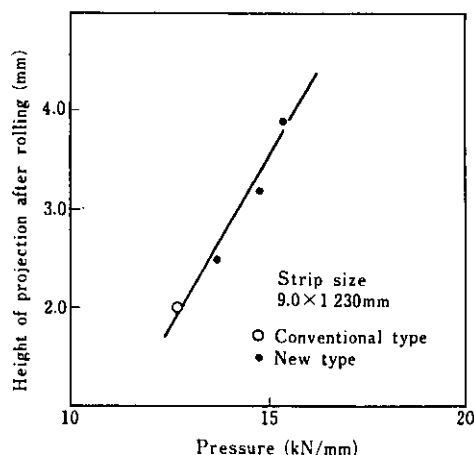


Fig. 7 Rolling pressure

Table 1 Roll curve of finished work roll
($\times 1/100$ mm)

		F1	F2	F3	F4
Conventional type	Upper	5	5	10	FL
	Lower	5	5	10	30
New type	Upper	5	5	10	FL
	Lower	5	5	10	55

3-1-3 圧延結果

エッジのフラット幅の精度は、製管条件に大きな影響を与える。

Table 2 にそのフラット幅の測定結果を示す。

Skelp I, II ともフラット幅の値が鋼帯の両端で異なっているところから、熱間圧延時にセンターずれが多少生じていたと考えられるが、長手方向については、変動は少なく安定している。

次に、突起高さについて述べる。Fig. 8 に幅方向の突起高さ分布（新編目）を示す。

エッジ部に比して、中央部の突起高さが若干高くなっているが、これはロールカーブのコンベックス量を大きくした影響であると考えられる。

突起高さに若干の不均衡はあるものの、熱延鋼帯としての目標高さ 3mm を達成できたといえよう。

なお、今回 9.0mm $\times$ 1230mm の鋼帯に圧延した素材の成分を Table 3 に、その鋼帯の引張試験結果を Table 4 に示す。また、巻取形状は Photo. 1 に示すように、良好であった。

Table 2 Variation of no-checked portion's width in the longitudinal direction (mm)

	Leading end		Middle		Tailing end	
	Edge A	Edge B	Edge A	Edge B	Edge A	Edge B
Skelp I	110	80	115	80	110	85
Skelp II	112	83	120	75	105	90

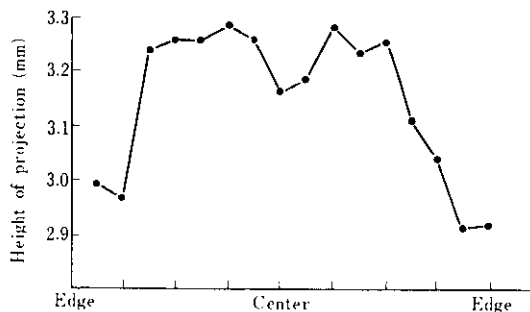
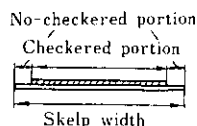


Fig. 8 Distribution of checked projection height along the coil width

Table 3 Chemical composition of rolled steel

	C	Si	Mn	P	S
(%)	0.18	0.10	0.67	0.015	0.018

Table 4 Mechanical properties of steel plate

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
340	490	22

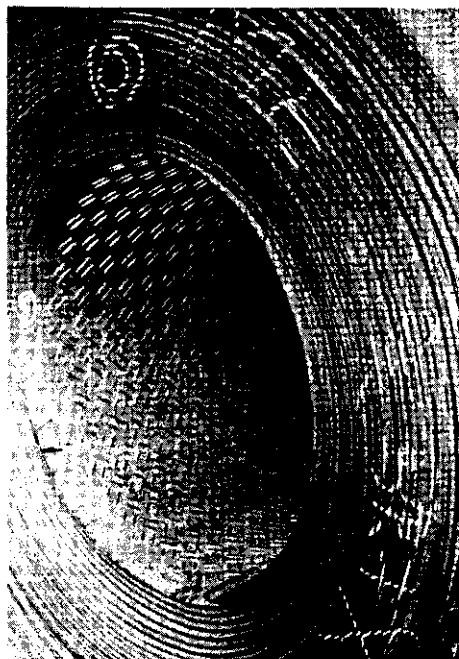


Photo. 1 Coiled checked strip

3・2 縞鋼管の製造

縞鋼帯を使用しても通常のフラットな鋼帯と同一条件で成形および溶接ができるようにした鋼帯両端にフラット部を有する縞鋼帯を使用し、主にスパイラル鋼管と、一部電縫鋼管を製造した。

3・2・1 スパイラル鋼管および電縫鋼管の製管条件

製管に当たっては鋼帯の突起高さをできるだけ保持して製管する必要がある。

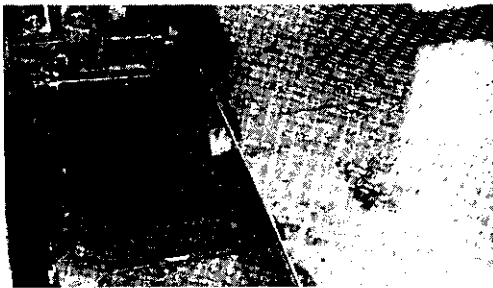
このため、スパイラル鋼管の場合、ピンチロール圧下量とプリフォーム条件は“コイルワーク”防止を考慮して決定し、中径電縫鋼管の場合、ブレードダウンロールの圧下条件は“スケルプのローリング”防止を考慮して決定した。Table 5 はこれらの製管条件を示したものである。

なお、Photo. 2 にスパイラル鋼管および中径電縫鋼管の製管状況を、Photo. 3 にこれらの方法により製管された縞鋼管を示す。中径電縫鋼管の場合、成形ロールに一部縞目マークが転写される現象が認められたが、ロールに傷をつけるほどではなく問題にはならなかった。

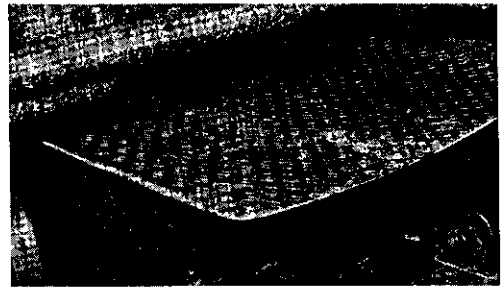
3・2・2 製管結果

Fig. 9 に、スパイラル鋼管製管後における突起高さの長手方向測定結果を示す。突起高さは長手方向にほぼ均一であり、鋼帯および鋼管の製造とも安定した状態であることがわかる。Skelp I と Skelp II での突起高さの相異は、鋼帯および鋼管の製造条件によるものであり、ある程度、製造条件で突起高さが調整できると考えられる。

また、製管後の突起高さが重要であるので、鋼帯から鋼管への製造過程における突起高さの減少



(a) Spiral-welded



(b) ERW

Photo. 2 Pipe-making process

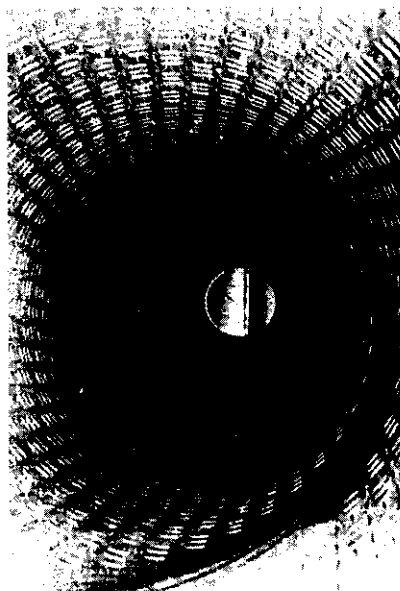
Table 5 Pipe-making conditions

(a) Spiral-welded pipe

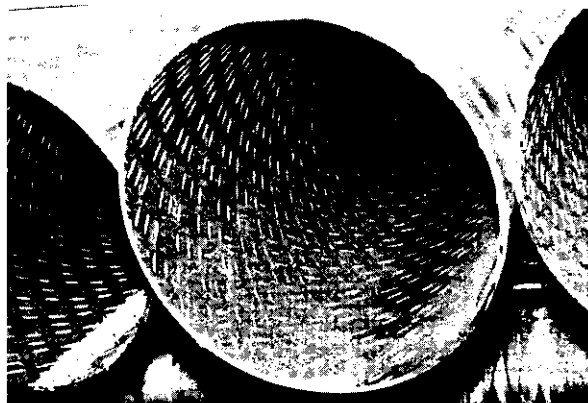
Size	Grade	Checkered surface	Internal welding condition		External welding condition		Welding speed
			AC	DC	AC	DC	
600φ×9t	STK41 (ASTM A 252 Gr2)	Inside	600A 30V	900A 27V	550A 30V	1 100A 27V	2.0m/min

(b) ERW pipe

Size	Grade	Checkered surface	Welding condition		Welding speed	Contact chip position
			E_p	I_p		
406φ×6t	STK41 (ASTM A 252 Gr2)	Inside	11.9kV	22.1A	2.2m/min	135mm



(a) Spiral welded pipe



(b) ERW pipe

Photo. 3 Inside view of steel pipe with checkered projections

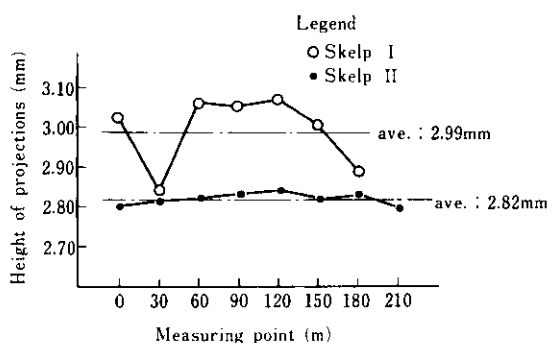


Fig. 9 Distribution of new type checkered projection height in longitudinal direction of strip after pipe-making

代を定量的に把握しておく必要がある。

Table 6 にその減少代を示す。今回のスパイラル鋼管製管の場合、突起高さの減少代は 0.4mm～0.9mm であった。

Fig. 10 に外径寸法測定結果を、Table 7 に引張試験結果を示す。これらはそれぞれ JIS 規格および STK 規格値を満足している。

3.3 縞鋼管の端面加工法

Table 6 Decrease of checkered projection height due to pipe-making (mm)

	Checkered projection height of skelp ①	Checkered projection height of pipe ②	Decrease ①-②
Skelp I	3.2	2.8	0.4
Skelp II	3.9	3.0	0.9

Table 7 Tensile test results

Size	Pipe-making process	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
600φ×9.0t	Spiral	281	436	41.7
600φ×9.0t	Spiral	312	504	33.3
406φ×6.0t	ERW	291	423	34.5

3.3.1 端面加工および縞目除去の必要性

縞鋼管が、現地で継ぎ溶接されることを考慮すると、その管端は溶接開先加工を行う必要がある。

鋼管杭の現場溶接継手としては、Fig. 11 に示す JASPP JOINT が広く用いられている。しかし、この継手は裏当て方式の溶接であり、溶接性を考慮すると裏金を完全に管に密着させなければならない。このため縞鋼管を鋼管杭として使用する場

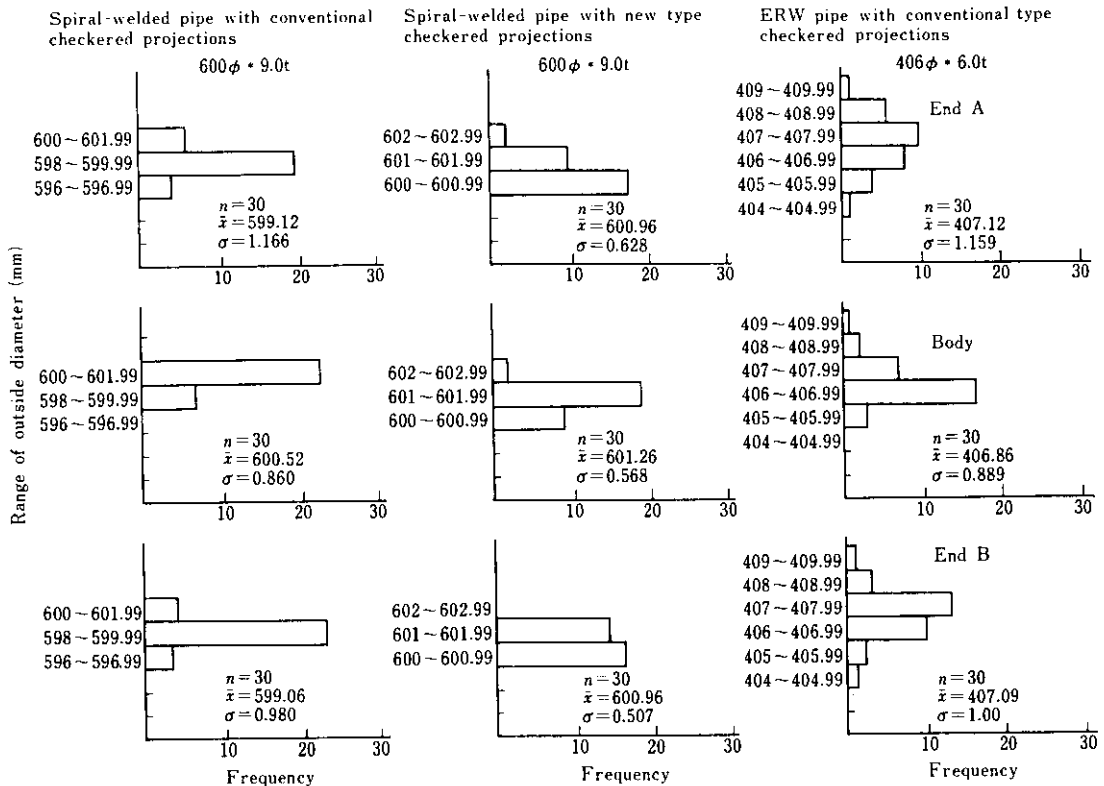


Fig. 10 Histogram of measured outside diameter

合、その管端は必ず縞目を除去しておかなければならない。

3・3・2 縞鋼管用端面加工装置

現場溶接を行う場合、その管端はプレーンエンドとベベルエンド45°に加工される。また、縞鋼管の縞目除去範囲は、前述の溶接方法による場合、プレーンエンド側で管端より55mm以上、ベベルエンド側で30mm以上必要となる。

通常、鋼管の場合の端面加工は、Fig. 12に示す方法で、バイトにより切削される。この端面加工機で縞鋼管を切削する際、プレーンエンドの場合はスムーズに加工され問題はないが、ベベルエンドの場合は、倣いローラーが縞目上を走るの刃物台が振動する。このために、ルートフェースの確保が困難となり、また切削面も凹凸がひどく、製品化がむずかしい。そこで、端面加工法および縞目の除去方法について種々検討したが、機械的な方法では、縞目が断続的であることからバイト欠けおよびチップ欠け等が多く発生し実用的でな

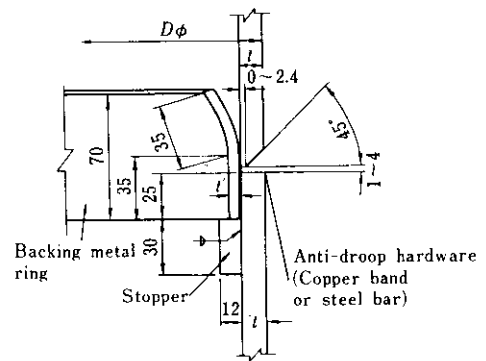


Fig. 11 JASPP Joint

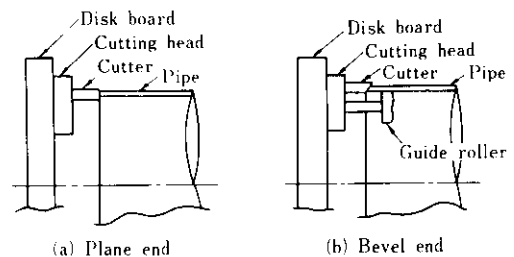


Fig. 12 Pipe end facing equipment

いため、砥石による方法を採用することにした。その原理図を Fig. 13 に示す。

この装置によれば縞鋼管をターニングローラに載せたのち、管を回転させながら、それぞれの砥石を管に押しつけて、Whetstone I により端面加工、Whetstone II により内面縞目除去、Whetstone III により開先加工を同時に行うことが可能である。

4. 縞鋼管の性能試験

4.1 縞鋼管の力学性能

4.1.1 打撃実験

知多製造所敷地内に $600\text{mm}\phi \times 16\text{mm}$ の鋼管杭 2 本を支持層 (G.L.-28.5m) まで打設し、この上に試験体となる縞鋼管を溶接し打撃実験を行った。

ディーゼルハンマー M-23 を使用して、打撃中の応力、ラム落下高さ、リバウンド量、貫入量を測定し、打撃終了後、試験体頭部の損傷の有無を染色浸透探傷法によりチェックした。その結果、最終打止時の貫入量は 0.0mm 、リバウンド量は $8.0 \sim 15.0\text{mm}$ で一般の打撃条件とは少し異なっているものの、試験体頭部の打撃応力は $200 \sim 250\text{MPa}$ であり、通常の施工と同等以上の厳しい条件といえよう。

また、打撃を加えるにつれてラム落下高が次第に増大したため、作業の安全性を考慮し 1000 回で打撃を停止したが、試験体には全く損傷は認められず、さらに 2000~3000 回打撃しても破壊には至らないものと判断した。

4.1.2 実物大曲げ試験

縞鋼管の曲げ耐力および打撃による曲げ耐力低下の有無を確認するため、 $600\text{mm}\phi$ の縞鋼管および前述の打撃試験後の供試体に対して実物大曲げ試験（供試体長： 6.0m 、曲げスパン： 1.6m 、せん断スパン： 2m ）を行った。

試験結果を Table 8 に示す。縞鋼管の曲げ耐力は一般のスパイラル鋼管の曲げ耐力と同等であり、かつ打撃による耐力低下も全く認められないことが明らかとなった。

4.2 コンクリートとの付着強度

縞鋼管とコンクリートとの付着強度が平鋼管に比べてどの程度増大するか、さらに、コンクリート強度や縞鋼管の表面状態がどの程度平均付着応力度に影響を及ぼすかなどを検討するため、実物大の供試体を用いて押抜き試験を実施した。

4.2.1 静的押抜き試験

パイプ径 600mm 、厚み 9mm 、付着長 (L) 300mm

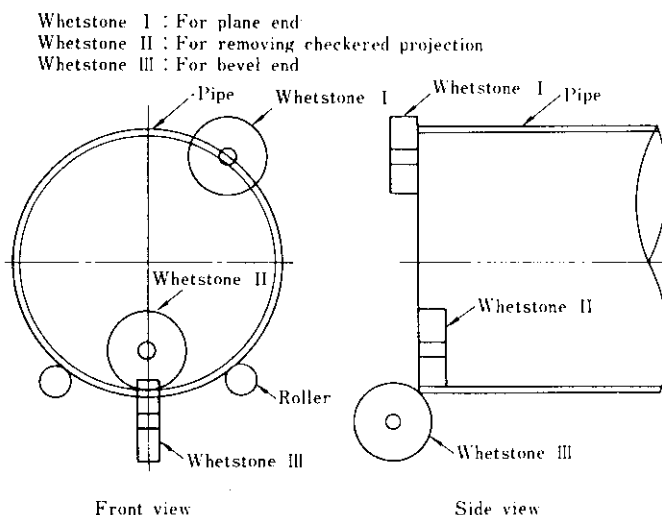


Fig. 13 Equipment for removing checkered projection

およびコンクリート呼び強度 (σ_r) が 30MPa を標準試験体として、 L を 200 および 600mm にしたもの、 σ_r を 15、および 45MPa に変えたもの、突起面に油あるいは泥を塗布したもの、内側に 500mm ϕ $\times$ 9mmt の縞鋼管を有する 2 重鋼管形式のもの、さらに、比較用としての平鋼管など 10 種類の供試体について押抜き試験を行い、押抜き荷重と滑り量 δ_f の関係を求めた。

$\delta_f = 0.05$ および 1.00mm に対応した付着応力 τ_b および最大付着応力 τ_{bmax} を示した Fig. 14 から次のような点が明らかになった。

まず、Fig. 14(a) より

- (1) 旧縞鋼管の τ_{bmax} は 4.9MPa と非常に大きな値を示し、平鋼管の τ_{bmax} の約 13 倍である。
- (2) 突起面に油を塗布した場合は、その τ_{bmax} は若干低下する程度であるが、泥を塗布した場合は、その τ_{bmax} は 2 割程度低下する。
- (3) 新縞鋼管の τ_{bmax} は旧縞鋼管のそれに比べて 1.13 倍であるが、 $\delta_f = 0.05$ mm に対応した τ_b は新縞鋼管のものが旧縞鋼管の約 1.3 倍の値を示しており、これは Fig. 5 に示した引抜き試験の結果と同程度の比率である。

Table 8 Bending test results

Projection type	Driving test	M_{s1} (kN $\cdot$ m)		M_{max} (kN $\cdot$ m)		
		Measured	Calculated	① Measured	② Calculated	①/②
Conventional	—	334	341	870	754	1.16
Conventional	Executed	330	341	850	754	1.13
New	—	350	366	952	811	1.17
New	Executed	320	366	940	811	1.15

Note Pipe dimension : 600 ϕ $\times$ 9.0t

M_{s1} : Bending moment corresponding to extreme fiber stress of 140MPa

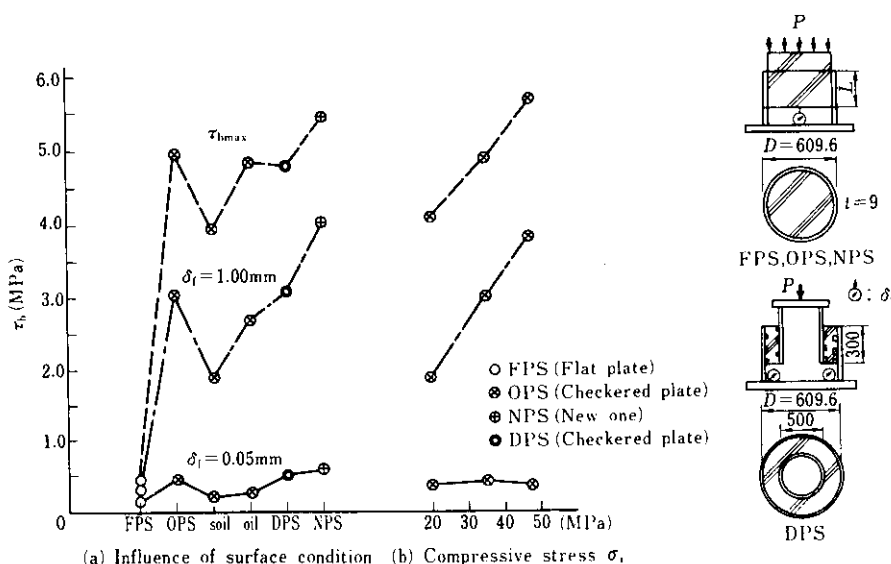


Fig. 14 Bond stress of compound pile in push-out test

次に(b)より

- (4) コンクリートの呼び強度 σ_r は、縞鋼管の τ_{bmax} に大きな影響を及ぼし、その割合は σ_r にほぼ比例する。

4・2・2 押抜き疲労試験

静的押抜き試験に引続いて荷重振幅を一定にした押抜き疲労試験を実施した。旧縞鋼管の供試体

のうち3体は、2重鋼管形式のもので、静的押抜き試験用供試体と同時に製作した。使用したコンクリートの σ_r は 30MPa である。

Fig. 15, 16 は、付着応力振幅 τ_{br} 、繰返し回数 N_c 、滑り量 δ_f の関係を示したものである。

初期荷重では比較的大きな残留滑りが生じるが、2回以後は残留および弾性滑りの増加が鈍化し、200万回時の上限荷重における δ_f は初期上限荷重

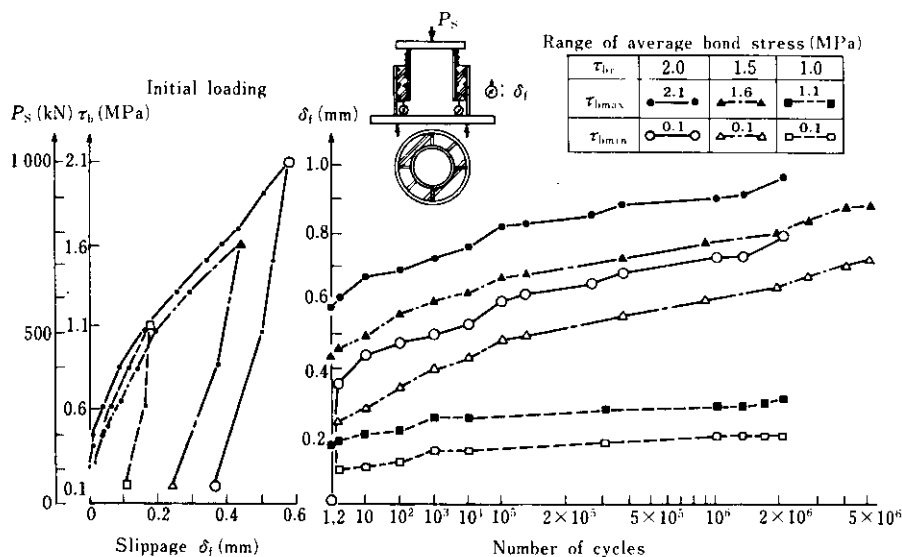


Fig. 15 Relation between number of cycles and slippage at loading edge

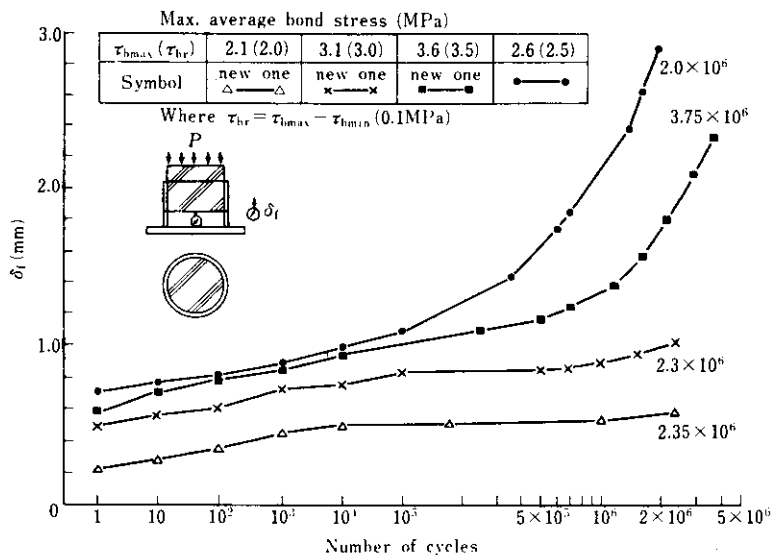


Fig. 16 Relation between number of cycles and δ_f for compound pile

における δ_f の 2 倍程度である。同じ応力振幅レベルで比較した場合、新縞鋼管の δ_f は旧縞鋼管のその 50% 程度である。これらの実験結果から次のようなことが確認された。

(1) 最小付着応力を 0.1MPa とした時、200 万回の繰返し載荷に耐える最大付着強度は旧縞鋼板では 2.6MPa また新縞鋼板では 3.6MPa であって、静的最大付着強度の 53%, 65% と非常に高い値を示している。

(2) 設計上の安全性を考慮して、最高荷重における相対滑り量 δ_f を 1.0mm に規定した場合、許容付着応力度として旧縞鋼板では 2.1MPa、新縞鋼板では 3.1MPa を採用できる。

4・3 複合杭の単純曲げ試験

新、旧縞鋼管を複合杭として現場に使用する場合の曲げ耐力および曲げ剛度の資料を得るために単純曲げ試験を実施した。

供試体は新、旧縞鋼管および平鋼管にコンクリートを全充填したもの各 2 体ずつと、普通鋼管 1 体の計 7 体である。ここでも粗骨材の最大寸法は 25mm で、その呼び強度 30MPa のレーデミクストコンクリートを使用した。

載荷は Fig. 17 に示すように、間隔 1.6m の中央対称 2 点集中載荷方式とし、鋼管の圧縮領域に顕著な局部座屈が観察されるか、あるいは鋼管の引張縁ひずみが 2% に達するまで荷重を漸次単調増加させた。各荷重段階において、鋼管のひずみ、

径間中央のたわみなどを測定し、各供試体ごとに荷重-ひずみ、荷重-変位曲線を求めた。

Photo. 4 は載荷試験の状況を示したものである。



Photo. 4 Setup for bending test

4・3・1 曲げ耐力

各試験体について、鋼管の引張縁ひずみの実測値から求めた M_{a1} , M_{y1} , M_{max} を Fig. 18 に示す。ここで、 M_{a1} , M_{y1} は鋼管の引張縁応力が許容応力度 140MPa に達するときの許容曲げモーメントおよび 0.2%offset を用いて引張縁ひずみから求めた降伏曲げモーメントであり、 M_{max} は最大抵抗曲げモーメントである。

これらの試験から弾性域における複合杭の曲げ耐力は鋼管の 1.2 倍程度であるが、鋼管の引張領域が降伏するころから鋼管の局部座屈がコンクリートで拘束されるためか、曲げ耐力の比は徐々に

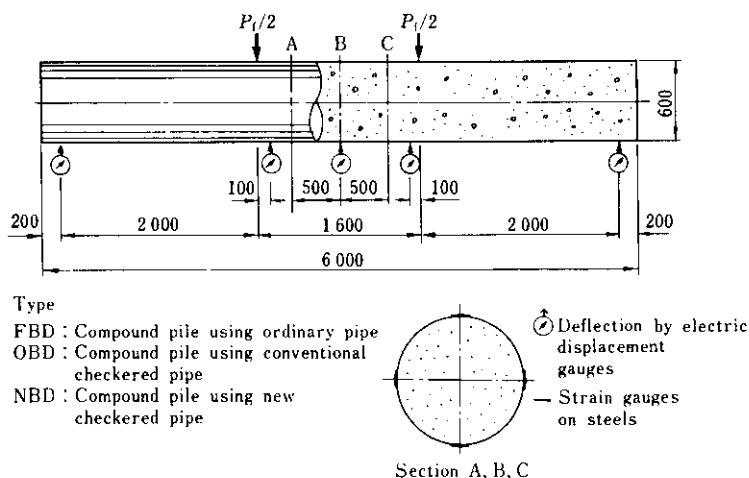


Fig. 17 Schema and types of compound pile specimens

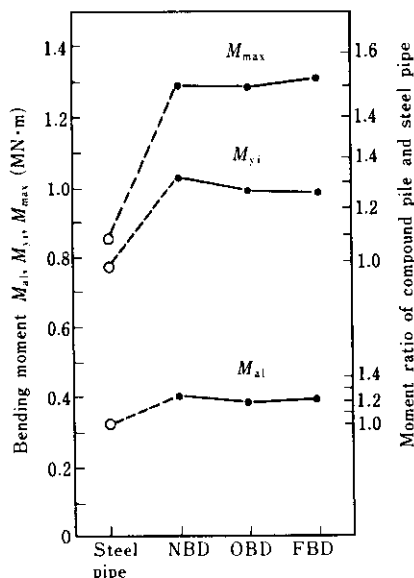


Fig. 18 Bending strength of compound piles

高くなり、終局時における耐力は鋼管のそのの1.5倍以上であること、また、許容曲げモーメントにおける新縞鋼管の複合杭の曲げ耐力が平および旧縞鋼管の複合杭より若干高くなることなどが確認された。

4・3・2 曲げ剛度

曲げモーメント M_p 、複合杭の曲げ剛度 $E_s I_c$ 、曲率 ρ の関係は式(4)で表される。

$$E_s I_c = \frac{M_p}{\rho} \quad \dots\dots\dots (4)$$

載荷点および径間中央における3点のたわみの実測値から求めた M_p が $500 \text{ kN} \cdot \text{m}$ に対応した $E_s I_c$ を示した Fig. 19 から、旧および新縞鋼管の複合杭 (OBD, NBD) の曲げ剛度はいずれも平鋼管 (FBD) を用いたものより1割程度大きくなり、鋼管の剛度の1.4倍程度であることがわかる。一方、コンクリートの弾性係数を 30 GPa とし、コンクリートの引張応力を無視した場合の複合杭の曲げ剛度は $200 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$ と計算され⁷⁾、平鋼管を用いた複合杭 (FBD) の曲げ剛度とほぼ一致することから、本実験の妥当性が確認できる。

5. あとがき

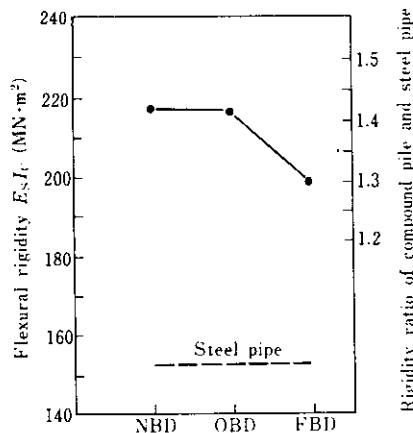


Fig. 19 Flexural rigidity of compound piles

縞鋼管の製造およびその力学性能について述べてきたが、まとめると下記ようになる。

- (1) ロールを改良することにより、エッジにフラット部を有する縞鋼帯の圧延が可能になった。
- (2) (1)により縞鋼管は、スパイラル鋼管、電縫鋼管ともに製管可能である。
- (3) 縞目模様を改良することにより、 3 mm 程度の縞目高さが確保できる。
- (4) 鋼管杭に突起(縞目)が付いたことによる静的、動的耐力の低下は全く認められない。したがって縞鋼管を杭基礎として使用する場合、平鋼管と同等に扱うことができる。
- (5) 縞鋼管とコンクリートの付着強度は、平鋼管のそれに比べ約13倍になる。また新縞鋼管では、さらに1.3倍程度の付着抵抗が期待できる。
- (6) 縞鋼管にコンクリートを充填することにより、鋼管とコンクリートの結合度が増大し、特殊なコンクリートを使用したり、特別なコンクリート養生を行わなくても、相当大きな断面性能を有する複合杭を形成しうる。

筆者らは、縞鋼管による複合杭が実際の杭基礎として使用された場合の現場水平載荷試験およびその室内曲げ試験をすでに実施しており、コンクリート充填作業が現場において行われた場合においても十分実用に供し得るものであることを確認している。

今後、複合杭の水平抵抗メカニズムの解明、設計および施工指針の確立等を行い早期商品化を目指す所存である。

参 考 文 献

- 1) 例えば, 岸田, 村上: 鋼管コンクリート杭の曲げ強度, JSSC, 15 (1979) 164
- 2) Yamasaki, Hara, Takahashi: STATIC AND DYNAMIC TESTS ON CEMENT-GROUTED PIPE-TO-PIPE CONNECTIONS, 12th OTC 3790 (1980)
- 3) 例えば, 山口: 鋼管コンクリート複合パイプについての経済比較, 施工技術, 10 (1977) 9
- 4) 嶋, 三好, 佐藤: 突起付鋼管の付着強度に関する実験, 土木学会第 33 回年次学術講演会概要集 V-155, (1978)
- 5) 川崎製鉄(株): 川鉄の床用鋼板
- 6) 佐藤, 石渡: 平鋼および突起付鋼板とコンクリートの付着特性, 第 2 回コンクリート工学年次講演会, (1980)
- 7) 福田: 鉄筋コンクリート理論, (1976), 317~320 [生産技術センター]

データシート：鋼管製造設備一覽

区分	製造方式	基数	稼働 (昭和年/月)	設置場所	生産能力 (t/年)	製造可能範囲 (mm)		製品種
						外径	肉厚	
継目無鋼管	マンネスマン マンドレルミル	1	45/6	知多製造所	270 000	21.3~168.3	2.3~15.9	●各種配管用鋼管 ●水道用鋼管 ●ライオンパイプ
		1	47/9			12.7~114.0	2.0~12.0	●ボイラ・熱交換器用鋼管 ●油井用鋼管
	マンネスマンブラグミル	1	53/5	"	180 000	177.8~406.4	5.0~40.5	●一般構造用鋼管 ●機械構造用鋼管 ●材料管、その他
電縫鋼管	高周波誘導溶接 (2½')	1	49/2	"	120 000	50.8~168.3	1.2~11.0	●各種配管用鋼管 ●水道用鋼管
	" (3')	1	47/1	"	36 000	21.3~76.3	1.0~7.0	●ライオンパイプ ●ボイラ・熱交換器用鋼管
	" (6')	1	49/2	"	34 000	21.3~89.1	1.2~4.2	●油井用鋼管
	高周波抵抗溶接 (20')	1	39/5	"	240 000	165.2~508.0	2.7~12.7	●一般構造用鋼管 ●機械構造用鋼管
	" (26') (ケージロールフォーミング)	1	53/10	"	180 000	267.4~660.4	4.0~16.0	●材料管 ●塗覆装鋼管 ●鋼管杭、その他
鍛接鋼管	鍛接	1	46/1	"	288 000	21.3~114.3	2.0~8.6	●配管用鋼管 ●水道用鋼管 ●一般構造用鋼管、その他
電弧溶接鋼管	スパイラル	2	36/5	"	96 000	400.0~1 524.0	4.0~14.0	●配管用鋼管 ●水道用鋼管
		2	42/11	川鉄鋼管㈱	100 000	400.0~2 032.0	4.0~22.0	●ライオンパイプ ●一般構造用鋼管
	UO プレス	1	49/2	千葉製鉄所	300 000	508.0~1 625.6	6.35~38.1	●塗覆装鋼管 ●鋼管杭
		1	45/9	川鉄鋼管㈱	30 000	450.0~3 200.0	6.0~32.0	