

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.18 (1986) No.4

スパイラルリブ付合成鋼管の耐荷力

Strength of Composite Pipe with Spiral Rib

菊川 春三(Shunso Kikukawa) 赤秀 公造(Kohzo Akahide) 植木 八寿彦(Yasuhiko Ueki) 塚原 戴司(Taishi Tsukahara)

要旨：

管内面にスパイラル状のリブを連続的に取付けた鋼管を対象とし、コンクリートとの合成鋼管構造部材の力学的諸特性を押抜きせん断、圧縮ならびに曲げの諸試験を通じて調査した。この結果、以下の諸事項が明らかになった。(1)リブ高さが8 mm以上あれば、リブ形状には無関係に、実用上十分なコンクリート付着強度が得られる。(2)みかけの付着強度はリブの本数に対応して上昇する。(3)本形式部材は、鋼とコンクリートが完全に一体化すると考えて設計、使用できる。

Synopsis：

This study deals with the applicability of a newly developed pipe, which has spiral ribs on its inner surface, thereby making it a composite structure. Mechanical properties of the composite pipe were investigated through push-out, compression and bending tests. Main conclusions obtained are as follows; (1) Bond stress can satisfy the ordinarily required value for the composite pipe having ribs more than 8 mm high. (2) Nominal bond stress increases steadily with increasing the number of ribs. (3) Structural member made of spiral ribbed pipes and concrete can be designed and used as a fully integrated body

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Strength of Composite Pipe with Spiral Rib



菊川 春三
Shunso Kikukawa
エンジニアリング事業
部 研究開発センター
施工研究室 主任研究
員(課長)



赤秀 公造
Kohzo Akahide
エンジニアリング事業
部 研究開発センター
施工研究室 室長(部
長)・工博



植本 八寿彦
Yasuhiko Ueki
エンジニアリング事業
部 土木技術部建材技
術室 主査(部長補)



塚原 戴司
Taishi Tsukahara
川鉄鋼管(株) 製造部
設備課 課長

1 緒 言

鋼管とコンクリートを一体化させて構造部材とする考え方は従来からあり、多方面での使用実績が見受けられる。とりわけ、鋼-コンクリート合成鋼管杭については、昭和49年の日本建築学会基礎構造設計基準改訂にともない、杭への水平力負担が規定されたことや、昭和53年の宮城県沖地震で基礎用PC、RC杭頭部の破損事故が数多く発生したこと、さらには、昭和58年からの杭に対する新耐震設計法の適用などの背景があって、その需要が飛躍的に増大した。

合成鋼管杭では、一般的に、鋼管と管内面に中空ライニングしたコンクリートとの付着力をコンクリートに添加した膨張剤で確保し、両者の一体化を達成している。しかし、膨張剤が高価であること、膨張剤の経年変化の不安が問題点として残されている。一方、一般構造物では、土木¹⁾および建築²⁾両学会の推奨する鋼-コンクリート一体化手段、すなわち、ジベルが広く利用されている点から、同様の機構に基づく合成鋼管柱の商品化に対する期待も大きい。

要旨

管内面にスパイラル状のリブを連続的に取付けた鋼管を対象とし、コンクリートとの合成鋼管構造部材の力学的諸特性を抑抜きせん断、圧縮ならびに曲げの諸試験を通じて調査した。この結果、以下の諸事項が明らかになった。

- (1) リブ高さが8mm以上あれば、リブ形状には無関係に、実用上十分なコンクリート付着強度が得られる。
- (2) みかけの付着強度はリブの本数に対応して上昇する。
- (3) 本形式部材は、鋼とコンクリートが完全に一体化すると考えて設計、使用できる。

Synopsis:

This study deals with the applicability of a newly developed pipe, which has spiral ribs on its inner surface, thereby making it a composite structure. Mechanical properties of the composite pipe were investigated through push-out, compression and bending tests. Main conclusions obtained are as follows:

- (1) Bond stress can satisfy the ordinarily required value for the composite pipe having ribs more than 8 mm high.
- (2) Nominal bond stress increases steadily with increasing the number of ribs.
- (3) Structural member made of spiral ribbed pipes and concrete can be designed and used as a fully integrated body.

そこで、スパイラル鋼管の造管時にあわせてスパイラル状のリブを管内壁に取付け、合理的に合成杭用鋼管を製造する新プロセスの開発を目的として、リブ付合成鋼管の耐荷力試験からリブの形状、大きさ、配置方法について検討を加え、さらに、適正リブを配した合成鋼管を工程試作し、製品としての実用性を確認した。本製造法はリブの高さや間隔の調整が容易で、比較的低廉に合成用鋼管を供給できるといった利点を有している。以下に、これら結果につき報告する。

2 供試体

鋼管はSTK41 600mm ϕ ×9mm t を用い、リブには9mm ϕ の丸鋼と9mm×9mmの角鋼を使用した。鋼管の機械的性質と化学成分をTable 1に示し、供試体諸条件をTable 2に示す。リブのピッチはスパイラル鋼管用鋼板の幅員にあわせた812mmと、この1/2である406mmの2種類とした。リブはスパイラル状に冷間加工後手溶接でリブ断面の両側を隅肉溶接した。脚長は4mmである。なお、一部の供試体(Table 2中記号J)については鋼-コンクリート間のずれ止めとして多用されているスタッドボルトを採用、リブ付タイプと比較した。これら、リブやスタッドボルトを取付けた鋼管の概観をPhoto 1に示す。

* 昭和61年7月10日原稿受付

Table 1 Mechanical properties and chemical composition of pipe

Mechanical properties			Chemical composition (wt %)				
YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	C	Si	Mn	P	S
275	461	41	0.16	0.18	0.57	0.014	0.016

Table 2 Specimens used

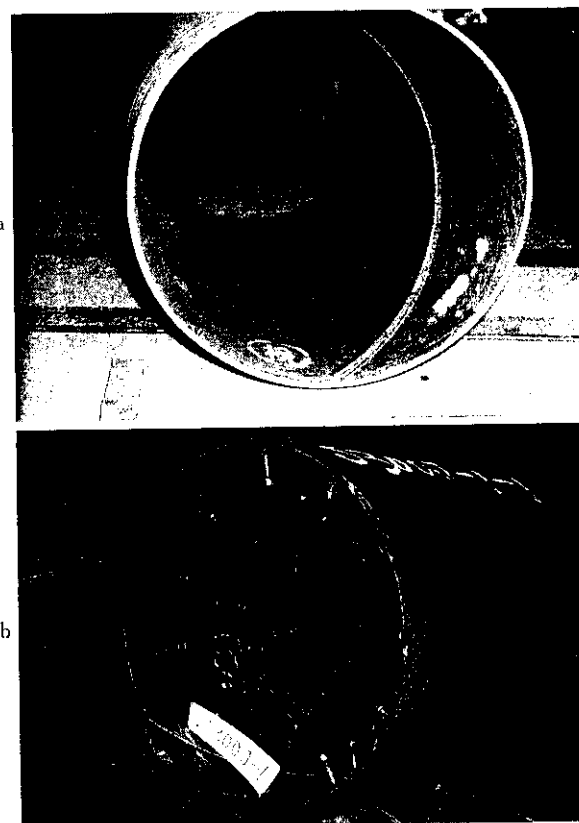
Test	Specimen	Concrete		Rib			
		Strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Lining (cm)	Figure	Dimension (mm)	Pitch (mm)
Push out	S300FN	29.1	19.2	filled in			
	S300FS-1	29.1	19.2	9	Square	9×9	812
	S300FR-2	29.1	19.2	9	Round	9φ	406
	S800LN	70.3	37.5	9			
	S500LS-1	43.3	27.9	9	Square	9×9	812
	S500LS-2	43.3	27.9	9	Square	9×9	406
	S500LR-1	43.3	27.9	9	Round	9φ	812
	S500LR-2	43.3	27.9	9	Round	9φ	406
	S500LJ-1	43.3	27.9	9	Stud	13φ×60	270
	S500LJ-2	43.3	27.9	9	Stud	13φ×60	170
Compression	CPR-2*				Round	9φ	406
	CPS-2*				Square	9×9	406
	C500LS-2	43.3	27.9	9	Square	9×9	406
	C500LR-2	43.3	27.9	9	Round	9φ	406
	C500LJ-2	43.3	27.9	9	Stud	13φ×60	170
	C300FN	29.9	19.7	filled in			
Bending	C800FN	81.3	38.1	filled in			
	BPR-2*				Round	9φ	406
	BPS-2*				Square	9×9	406
	B500LS-2	43.3	27.9	9	Square	9×9	406
	B500LR-2	43.3	27.9	9	Round	9φ	406
	B500LJ-2	43.3	27.9	9	Stud	13φ×60	170
	B300FN	29.9	19.7	filled in			
	B800LN	81.3	38.1	filled in			

* Without concrete

コンクリートは強度水準を3種類選択した。これらのうち、強度が 30 MPa 級のものは現場打ちコンクリートを対象としており、鋼管内に完全充填した。強度が 50, 80 MPa 級のものはライニング厚 90 mm の中空タイプであり、前者をリブ付鋼管に、後者を通常のリブ無鋼管へとライニング加工した。後者はコンクリート中に膨張剤を混入しており、最も一般的な市販合成鋼管に対応している。なお、強度 30, 50 MPa のコンクリートには膨張剤は添加していない。

3 押抜きせん断試験

日本建築学会基準では鋼管-コンクリート間の許容付着応力度をコンクリート強度に関係無く一定、かつ、0.15 MPa と低く押えて



(a) Pipe with spiral rib
(b) Pipe with stud bolts

Photo 1 Schematic view of pipes with spiral rib and stud bolts

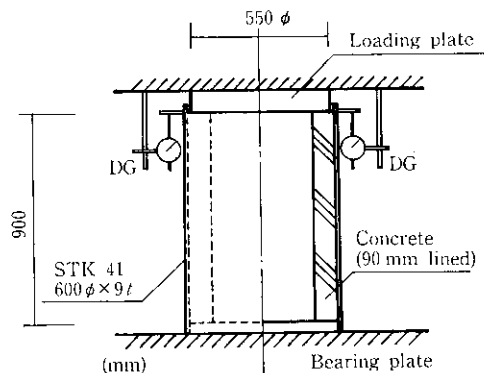


Fig. 1 Push-out testing apparatus

いる³⁾。これは、通常のコンクリート打設、とくに、現場打の状態では、コンクリートの硬化収縮のほか、管内面の汚れなどによって付着強度の低下やばらつきが大きくなることを危惧したためと推察される。これに対し、本研究で対象とした合成鋼管は、スパイラル状のリブとコンクリート間の機械的な結合力を利用するため、安定した付着強度が期待できる。

実験は Fig. 1 に載荷要領を示すごとく、9.8 MN 構造物試験機を用い、単調押抜きせん断方式で鋼-コンクリート間の付着性状を調査した。鋼管とコンクリートの相対ずれは載荷板直下のコンクリートと鋼管上部間で測定した。

実験の結果得られた最大耐荷力を Table 3 に示す。試験はいずれの供試体についても3体ずつ、計30体実施した。S300 FN は通常をやや上回る強度のコンクリートを STK 41 鋼管に打設したもの

Table 3 Bond stresses obtained from the push-out tests

Specimen	Collapse load (kN)		Nominal bond stress (MPa)	Ratio to 800 LN	Ratio to allowable stress*
	Average	Standard deviation			
S300FN	1 689	263.7	1.03	0.62	4.67
S300FS-1	4 200	20.4	2.55	1.53	11.5
S300FR-2	5 132	83.5	3.12	1.87	14.1
S800LN	2 788	274.3	1.67	1.00	7.56
S500LS-1	5 401	128.0	3.29	1.97	14.9
S500LS-2	6 407	233.0	3.89	2.34	17.6
S500LR-1	5 374	68.6	3.27	1.96	14.8
S500LR-2	6 051	648.1	3.68	2.21	16.7
S500LJ-1	3 586	109.3	2.18	1.31	9.87
S500LJ-2	6 407	304.0	3.89	2.34	17.6

* Specified in "Specification for calculation of composite tube structures"¹²⁾

であるが、付着強度は日本建築学会規定短期許容応力度の4.7倍もの高い値を得た。これらの鋼管はすべてコンクリート打設の直前に管内壁をグラインダで清掃しており、素地調整すれば高い付着力が得られることがわかる。

S500LJ-1, 2はスタッドジベルを用いており、付着確保の目的で一般の合成構造部材に用いられているものであるが、リブ付合成鋼管の場合、リブ断面形状が角形、円形とも、ジベル形式と同程度の付着力を示した。したがって、スパイラルリブを管内壁に配置する方法は合成鋼管として、十分実用に耐え得ると判断した。

S800LNは合成鋼管杭として建設省の評定を受けた既製品であるが、これと他の実験結果を比較すると、リブが無く、膨張剤も添加していないS300FNを除き、すべての供試体でS800LNの付着強度を上回った。すなわち、鋼-コンクリート間の付着確保を目的とする場合、膨張剤を混入させ、発生する摩擦抵抗に期待するよりも、リブを配置して機械的抵抗を与える方式がより優れているといえる。**Photo 2, 3**はそれぞれ、リブ付合成管(S300FR-2)と在来型合成管(S800LN)の押抜きせん断試験後のコンクリート表面状況であるが、耐力が前者はリブにおけるコンクリートの支圧で決定した一方、後者はコンクリートのすべりで決定したことがよくわかる。したがって、リブを密に配置すれば、さらに付着強度が向上すると推察される。

ところで、本実験の範囲では、付着強度に関するリブ形状の差異は認められなかった。このため、付着については、角形と円形では、リブ高さが等しければ同等の効果を有すると判断した。リブ付合成鋼管の付着強度は次式で表し得る。

$$\sigma_s = \frac{1}{A_p} (\sigma_f A_p + \sigma_b A_R) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 σ_s : みかけの付着強度
 σ_f : 管内壁部で期待される付着強度
 σ_b : リブに期待される支圧強度
 A_p : 管内壁表面積
 A_R : リブの支圧面積

(1)式において、 σ_f はコンクリート強度に関係無く一定と仮定すると、**Fig. 2**に示すごとく、各リブ付合成鋼管ごとの σ_b を求め得る。本図から、 σ_b はリブ本数によって異なる値を示し、かつ、コンクリート強度には無関係と判断される。ただし、**Photo 4**に示すように、リブ付合成鋼管の耐力が、リブ位置でのコンクリートの圧潰のみならず、リブ位置での管周方向への管の局部座屈にも支

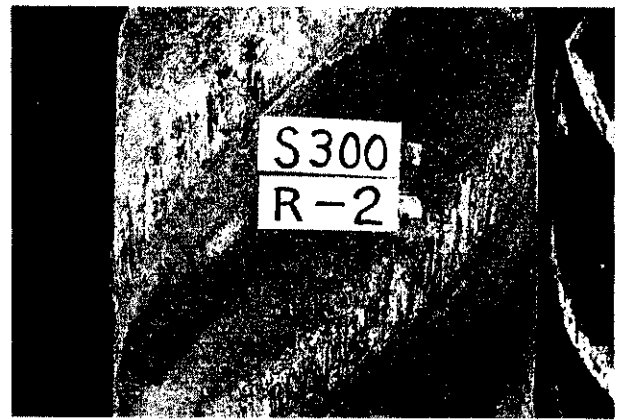


Photo 2 Crushed concrete at the rib after push-out test (S 300 FR-2)

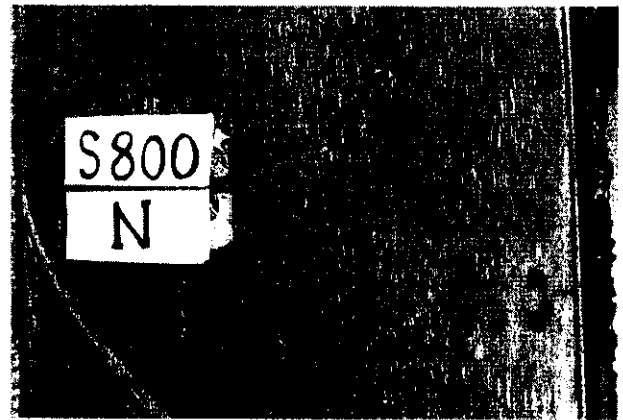


Photo 3 Slippage of concrete after push-out for ordinarily used type (S 800 LN)

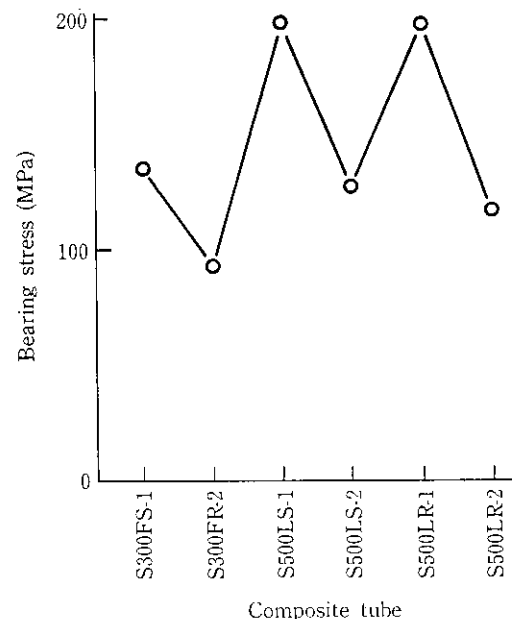


Fig. 2 Bearing stresses of composite tubes

配されていることから、上記両現象が一般的に成立するか否かは明らかではない。すなわち、コンクリートの変形を拘束する外皮鋼管の強度が向上すれば、 σ_b の向上も期待できるとも考えられる。いずれにしろ、 σ_b は100MPa前後の大きな値となることが予想さ

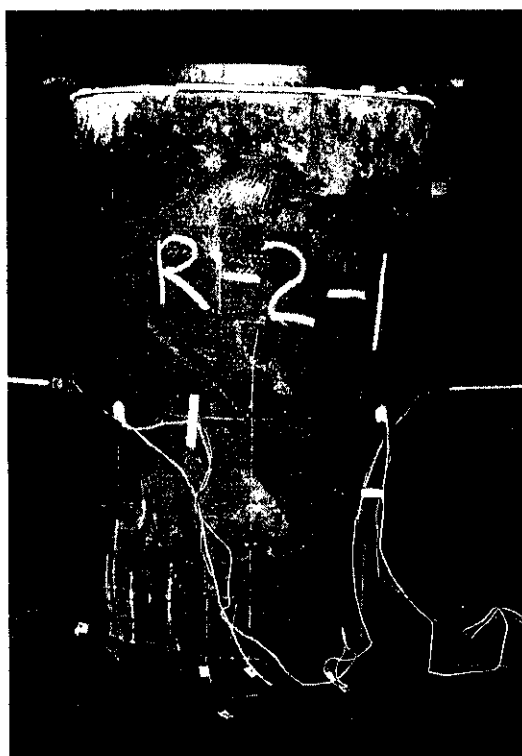


Photo 4 Local buckling of steel at the rib

れ、コンクリート強度をはるかに上回る強度が期待できるといえる。

4 圧縮試験

試験は 29.4 MN 構造物試験機を用いた単調圧縮荷重方式とした。供試合成鋼管長は 3 000 mm であるが、供試体中央部断面 4 箇所の軸方向ひずみ測定値が平均 $\pm 10\%$ の範囲に納まるよう荷重点を微調整後に荷重、崩壊に至らしめた。供試体の上下端には平面度調整のため、高強度石こうを注入し、鋼管とコンクリートが等しいひずみを受けるよう、工夫した。

結果の一覧を Table 4 に示すが、最大荷重および初期剛性とも計算値の予測精度は良好である。合成鋼管の最大荷重は次式に従って算出した。

$$P_{\max} = A_s \sigma_s + A_c \sigma_c \quad (2)$$

ここに、 A_s : 鋼管部断面積

A_c : コンクリート部断面積

σ_s : 鋼管柱の座屈強度

σ_c : コンクリート強度

Table 4 の鋼管 (CPR-2, CPS-2) の耐荷力は局部座屈に関する加藤の方法⁴⁾を用いて算出した。ただし、計算には、リブの補剛効果は考慮していない。合成鋼管については、鋼管の耐荷力にコンクリート部の最大耐荷力を重ね合わせたものである。

ところで、地震や風による外力を負担する部材については、当然、粘り強さが要求される。この粘り強さは一般的に部材変形能 (Table 4 の $D_{\max}/D_y$) で表され、RC 構造では、 $D_{\max}/D_y \approx 3$ である。今回の実験では、C 500 シリーズの R, S, J と C 800 LN の 4 タイプが $D_{\max}/D_y < 3$ となったが、これらは中空合成鋼管であり、管内面のコンクリート自由表面での膨張変形抵抗 (すなわち、引張に対する抵抗) が完全充填に比べて小であったためと考えられる。ちなみに、完全充填 (C 300 FN) の場合、 $D_{\max}/D_y = 3.2$ が得られている。

中空合成鋼管で変形能を比較すると、 $J > R = S > N$ の順になり、リブ付合成鋼管の方が膨張剤添加型合成鋼管よりも粘り強い部材といえる。

5 単純曲げ試験

試験は、スパンが 6 000 mm で両端をローラー支持した供試体の中央部 2 点 (スパン 2 000 mm) に等荷重を単調に与えて行き、途中、適宜供試体各部のひずみや撓みを測定しつつ崩壊に至らしめる方法を採用した。得られた荷重・供試体中央撓み曲線を Fig. 3 に示す。合成鋼管については、コンクリート完全充填管である B 300 FN を除き、初期剛性や耐荷力はほぼ同等値が得られた。図中に示した供試体の初期剛性に対応する直線群はコンクリートの全断面が有効と考えて求めた計算値である。これらから明らかのように、合成鋼管の場合、リブや膨張剤 (800 LN のみ使用) の効果により、引張側コンクリートが拘束された結果、コンクリートの亀裂伸展が鋼管の弾性範囲では防止され、高い曲げ剛性が維持されたと考えられる。すなわち、リブ付あるいは膨張剤を添加した合成鋼管では、実際の鋼とコンクリートのヤング係数比を用い、全断面を有効として、部材変形挙動が算定可能である。

Table 4 Strength of composite column

Specimen	Collapse load			Stiffness			P_y^{*3} (kN)	$D_{y^{*4}}$ (mm)
	exp.*1 (kN)	cal.*2 (kN)	exp./cal.	exp.*1 (kN/mm)	cal.*2 (kN/mm)	exp./cal.		
CPR-2	5 413	4 962	1.09	981	1 147	0.85	4 305	7.0
CPS-2	5 472	4 962	1.10	1 010	1 147	0.88	4 344	7.2
C500R-2	14 220	11 219	1.27	2 501	2 481	1.01	11 376	1.7
C500S-2	15 200	11 219	1.36	2 667	2 481	1.08	11 895	1.7
C500J-2	12 621	11 219	1.13	2 177	2 481	0.89	9 414	2.4
C300FN	16 279	13 435	1.21	2 903	3 011	0.96	12 866	3.2
C800LN	18 142	16 691	1.09	2 618	2 981	0.88	15 691	1.2

*1 Test results

*2 Calculated values

*3 P_y : Yield load obtained by general yield method

*4 D_y : Displacement obtained at P_y

*5 $D_{\max}$: Displacement obtained at collapse load

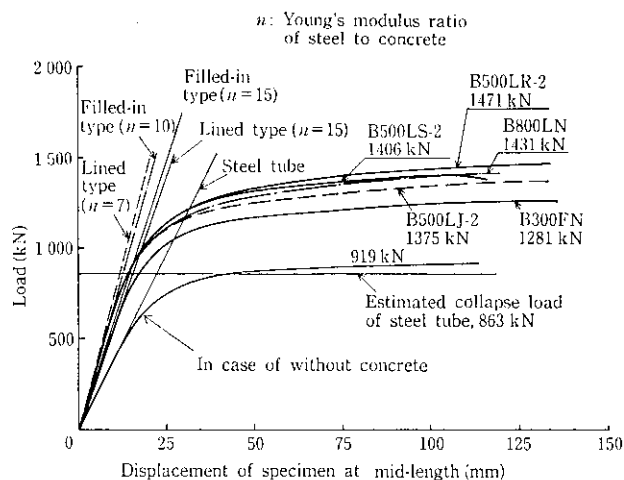


Fig. 3 Bending test results

一方、充填管の場合、リブ付や膨張剤添加の場合に比してやや変形が大である。この理由は、単に鋼管にコンクリートを打設したのみでは通常の RC 造と同様、比較的初期の荷重段階で引張側コンクリートに亀裂が入ってしまい、全断面が有効に作用しなかったためと推定する。

6 リブ付合成鋼管の試作

6.1 造 管

押抜きせん断試験を始めとした構造実験の結果、リブ形状は付着強度に無関係との所見を得たので、スパイラル造管設備を用いた試作に際しては、(1) リブ用材料が容易に入手できる、(2) リブ送給装置が簡単である、(3) 自動溶接が適用できるなどの理由から、8mmφの丸鋼を採用した。試作合成鋼管は上述のものと同様、STK 41 600mmφ×9mm^t、コンクリートライニング厚 90mm とした。

リブの取付けは Fig. 4 に示すように、ピンチロールと成形機の間に丸鋼を供給、ついで、加圧ロールで丸鋼を母板に押付けると同時に GMAW (CO₂ ガスシールド) とする方式である。すなわち、ホットコイルが延伸されて造管機に至る過程でリブを取付けるようにした。

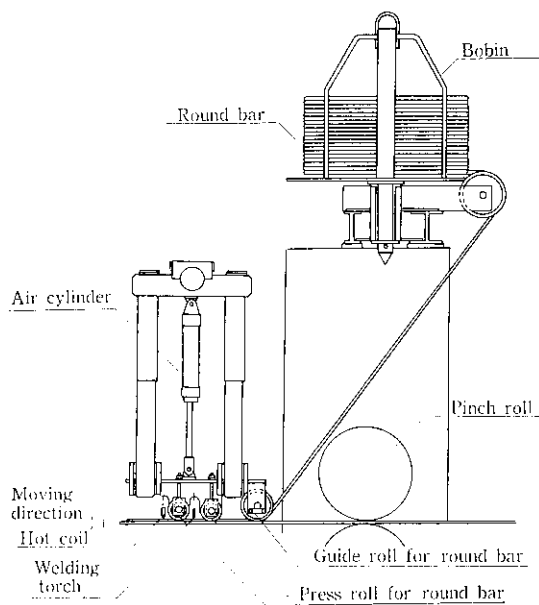


Fig. 4 Manufacturing process of "Spiral ribbed pipe"

6.2 試作合成鋼管の付着性能

上述の装置を用いてリブ付鋼管を試作した。試作鋼管を Photo 1 (a) に示す。使用コイルは Table 5 の KPH 42、丸鋼は 8mmφのなまし鉄線である。試作鋼管は 6000mmL が 2 本であるが、うち 1 本はリブの両側を、他の 1 本は片側のみを Table 6 の溶接条件に従って溶接した。

付着性能は Fig. 1 と同様、押抜きせん断試験で調査した。本試験のコンクリートは膨張剤無添加であるが、圧縮強度が 85.1MPa といった高強度のものを使用した。

試験の結果の一覧を Table 7 に示すが、耐荷力に関するリブ取付け溶接の影響は認められない。したがって、リブの溶接は片側のみで実用上は十分と判断できる。

Table 5 Properties of coil used for manufacturing test of "spiral ribbed pipe"

Coil	Size (mm)	Mechanical properties			Chemical composition (wt %)				
		YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	C	Si	Mn	P	S
KPH 42	9 t × 1 305 W	294	481	37	0.16	0.20	0.61	0.025	0.014

Table 6 Conditions of rib welding

Welding	Consumables	Current (A)	Voltage (V)	Velocity (cm/min)
GMAW	KC-50, 1.2mmφ, CO ₂ gas shielded (20 l/min)	220	33	120

Table 7 Bond stresses obtained for manufacturing test specimens

No. of specimen	Strength of concrete (MPa)	Bearing area of rib (cm ²)	Collapse load (kN)	σ_b^{*1} (MPa)	σ_s^{*2} (MPa)	Rib welding
800 S-1	85.1	104.4	3 697	186.9	2.25	One side
800 S-2	85.1	104.4	3 707	187.9	2.26	One side
800 S-3	85.1	104.4	3 746	191.6	2.28	One side
800 W-1	85.1	104.4	3 677	185.1	2.24	Both sides
800 W-2	85.1	104.4	3 717	188.8	2.26	Both sides
800 W-3	85.1	104.4	3 815	198.2	2.31	Both sides
		Average	3 727	189.8	2.27	
		Standard deviation	44.1	4.27	0.025	

*1 Bearing stress

*2 Nominal bond stress

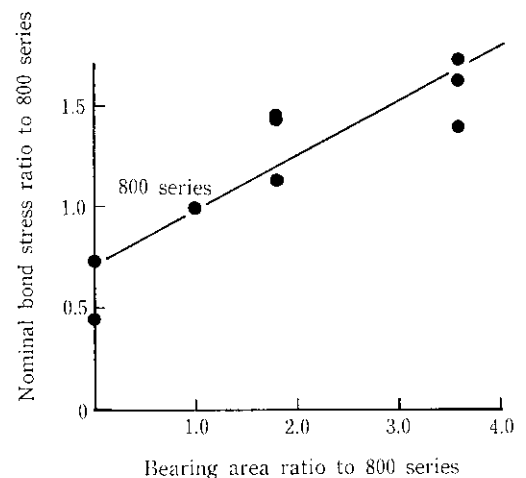


Fig. 5 Nominal bond stress vs. bearing area

Fig. 5 は Table 3, 7 をもとに、リブの支圧面積と平均最大付着応力度の関係を整理したものである。本図より、支圧面積の増大に対応してみかけの付着応力度の上昇することがわかる。また、本図をもとに、付着応力度を確保するのに必要なリブ支圧面積、すなわち、必要リブ本数を算出することができる。

7 結 論

内面リブでコンクリートとの付着力を向上させた合成鋼管の構造性能に関する予備的考究と、同合成鋼管の試作を通じて次の諸事項を明らかにした。

- (1) リブ高さが 8 mm 以上あれば、リブ形状に無関係に鋼管との付着は十分なものが得られる。
- (2) 管径が 600 mm ϕ 以下の場合、リブは使用鋼帯中央部に 1 条あれば鋼管との付着は確保される。
- (3) リブの取付け溶接は 1 側面で実用上、十分な耐荷力を保証し得る。

(4) リブ本数増加にともない、合成鋼管の付着応力度が増加する。

(5) リブ付鋼管を用いたコンクリートとの合成材は、鋼とコンクリートが一体的に動作すると考えられて設計できる。

上記諸項目のうち、構造性能は 600 mm ϕ ×9 mm t 鋼管についてのみ確認されたもので、これら結論を一般化するためには、管径に関する追試が必要である。また、コンクリート強度とリブの効果の関係も明らかではない。

このように、若干の不明な事項はあるにせよ、スパイラル状のリブを有する合成鋼管が膨張剤を混入させた既製合成鋼管に比して優れた機械性能を有することは実証できたと判断している。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：「道路橋示方書・同解説」，(1973)，252-260，[丸善]
- 2) 日本建築学会：「鋼管コンクリート構造計算規準・同解説」，(1980)，109-119 [丸善]
- 3) 日本建築学会：「鋼管コンクリート構造計算規準・同解説」，(1980)，30-31，[丸善]
- 4) 加藤 勉，秋山 宏および鈴木弘之：「軸圧縮力を受ける鋼管の塑性局部座屈耐力」，日本建築学会論文報告集，No. 204 (1973)，9-17