

[74] 縞鋼管にコンクリートを充填した合成鋼管の力学的特性

正会員 ○佐藤 政勝 (川崎製鉄構造技術研究所)
 加藤 親男 (川崎製鉄エンジニアリング事業部)
 三好 弘高 (川崎製鉄エンジニアリング事業部)

1. 緒言

鋼管にコンクリートを充填した外殻鋼管付コンクリート部材は、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物である。鋼管の中空部にコンクリートを注入し、遠心力締め固めを行って製造する中空円環断面の鋼管コンクリート杭については、設計指針が作成され¹⁾、建築基礎の分野で使用されている。合成鋼管の重要課題は、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材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行条件に大きく左右されるので信頼性に乏しい。その意味では上述の既製杭は一步進んだ複合杭と言えるが、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。

そこで著者らは、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(以下、縞鋼管と記す)を開発した。すべり止めを目的とした従来の縞鋼板をスパイラル製造した縞鋼管の静的付着特性については文献2)に報告したが、さらに合成鋼管用として突起高3mmの縞鋼板を用いた縞鋼管を新規に開発した³⁾。

ここでは、これら新・旧の両縞鋼管のコンクリートとの静的および疲労付着特性および両縞鋼管にコンクリートを全充填した合成鋼管の曲げ耐力と曲げ剛度などの複合杭としての力学的特性について報告する。

2. 縞鋼管の種類と縞目形状

縞鋼管とは、使用目的に応じて鋼管の内面または外面に設けた縞目突起によってコンクリートとの付着強度を増大させた鋼管であり、その突起面が内、外面のものをそれぞれ内および外縞鋼管と称する。縞鋼板には、すべり止めを主目的として市販されている3本筋で突起高が1.5mm以下の床用鋼板と複合杭用として新規に開発した2本筋目で突起高さ3.0mm程度のもの2種類(図1参照)があり、本報告では前者を旧縞鋼板、後者を新縞鋼板と称し、またこれらの鋼板を製管したものをそれぞれ旧縞鋼管、新縞鋼管と称する。本実験に使用した縞鋼管および従来の縞目なし鋼管(以下、平鋼管と記す)はSTK41規格に適合するもので、その寸法、種類、製管方法および機械的性質を表1に示す。

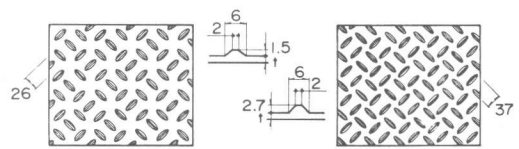


図1 旧縞および新縞鋼板の突起形状と寸法

表1 鋼管の種類と機械的性質(STK41)

寸法 φ×t(mm)	縞の種類		降伏点*	引張強さ	伸び	製管方法
	新旧	内外	K _{0.2} /N/mm ²	K _{0.2} /N/mm ²	%	
600×9.0	旧	内	29.4	43.5	20.9	スパイラル
600×9.0	新	内	30.3	44.9	25.2	"
600×9.0	縞目なし		29.0	43.5	25.8	"
406×6.0	旧	外	29.6	42.6	34.5	中径電綫

*0.2%オフセットによる値

3. 縞鋼管のコンクリートとの付着特性

縞鋼管の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、さらに疲労を考慮する場合の縞鋼管の許容付着を検討するため、実物大の供試体を用いた新、旧縞および平鋼管の静的押抜きせん断試験および新、旧縞鋼管の押抜きせん断疲労試験を実施した。

表2 コンクリートの示方配合および材料試験(標準養生)の結果

呼び強度 σ_k (Kgf/cm ²)	粗骨材の最大寸法(mm)	W/C (%)	S/a %	単位量 (Kg/m ³)				スランブ (cm)	材合		適用した供試体
				W	C	S	G		日	圧縮強度 (Kgf/cm ²)	
300	25	45.6	0.40	145	318	694	1090	12±2	28	342	静的押抜き試験 9体
									92	382	疲労押抜き試験 3体
300	25	48.0	0.43	156	325	813	1065	15±2	28	332	曲げ載荷試験用 6体
									63	340	疲労押抜き試験 5体

3.1 実験の概要

静的実験用供試体は、図2に示すように、鋼管径φ609mm、板厚t9mm、付着長L30cmの新、旧縞および平鋼管にコンクリートを全充填したものをそれぞれ3体制作した。疲労試験用供試体では、旧縞鋼管を用いた3体は2重管形式とし、静的押抜き用供試体と同一のコンクリートを打設したが、残りの旧縞鋼管2体と新縞鋼管は全充填形式とし、曲げ載荷試験用供試体と同一のコンクリートを用いた。表2に、使用したコンクリートの示方配合および標準養生した円柱供試体の圧縮試験結果を示す。

疲労試験にはサーボ電気油圧式疲労試験機を用い、繰返し速度を150~200c.p.mとした。すべての供試体について、自由端における縞鋼管とコンクリートとの相対滑り δ_f をπ型クリップゲージを用いて、適時測定した。

3.2 静的押抜きせん断試験の結果と考察

平均付着応力 τ_b (押抜き荷重をコンクリートとの接触面積で除した値)と δ_f の関係を示した図2から、旧縞鋼管の最大平均付着応力 τ_{bmax} は49.4 Kgf/cm²と非常に高く、平鋼管の3.8 Kgf/cm²に対して約13倍であること、新縞鋼管の τ_{bmax} は旧縞鋼管に比べて1.13倍であるが、滑り量は新縞鋼管が小さい(例えば、 δ_f が0.20mmに対応した新縞の τ_b は旧縞のその約1.5倍である)ことから新縞鋼管の滑りに対する抵抗が大きいことが確認された。

3.3 押抜きせん断疲労試験の結果と考察

平均付着応力振幅 τ_{br} における繰返し回数 N_c と δ_f の関係を表3に示す。2重管形式(旧縞)鋼管における N_c と δ_f の関係を図3に、全充填形式新、旧縞鋼管のそれを図4に示す。初期載荷では、比較的大きな残留滑りが観察されているが、2回目以後は残留および弾性滑りの増加が鈍化し、200万回載荷時の最高荷重における δ_f は、初期載荷時のその約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 は旧縞鋼管の約1/2であることから次のような点が明らかになった。

(1) 最小付着応力 τ_{min} を1.0 Kgf/cm²としたとき、200万回の繰返し載荷に耐える最高付着強度は、旧縞鋼管では26 Kgf/cm²、また新縞鋼管では

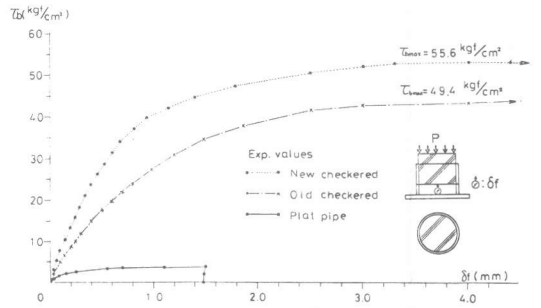


図2 押抜きせん断試験における $\tau_b - \delta_f$ 曲線

表3 押抜きせん断疲労試験結果

供試体 記号	縞目	付着応力 (Kgf/cm ²)			繰返し回数と δ_f (mm) の関係				
		τ_{max}	τ_{min}	τ_{br}	1	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	2×10 ⁶
OF-1	旧	11	1	10	0.17	0.26	0.28	0.30	0.32
	-2	16	1	15	0.45	0.61	0.67	0.77	0.79
	-3	21	1	20	0.58	0.78	0.83	0.91	1.00
	-4	26	1	25	0.74	1.00	1.20	0.22	3.04
NF-1	新	16	1	15	0.19	0.29	0.32	0.33	0.34
	-2	21	1	20	0.24	0.47	0.50	0.53	0.58
	-3	31	1	30	0.50	0.76	0.83	0.89	1.05
	-4	36	1	35	0.59	0.95	1.06	1.35	1.75



写真1 全充填形式縞鋼管の押抜きせん断疲労試験の状況

3.6 kgf/cm² であって、静的最大付着強度の 53、65% と非常に高い値である。

(2) 設計上の安全性を考慮して、最高荷重における δ_f を 1.0 mm に規定した場合、許容応力度として旧編鋼管では 2.1 kgf/cm²、新編鋼管では 3.1 kgf/cm² を採用できる。

4. 複合杭の曲げ特性

新、旧編鋼管を複合杭として現場で使用するときの曲げ耐力およびその剛性などの曲げ特性を把握するために単純曲げ載荷実験を実施した。

4.1 実験の概要

供試体は新、旧編および平鋼管にコンクリートを全充填した複合杭各 2 体ずつと新、旧編鋼管杭各 1 体の計 8 体である。充填したコンクリートは、前述した通り全充填形式の疲労試験用供試体と同一のものをを使用した。そのコンクリートの示方配合および材令 28 日における圧縮試験結果を表 1 に示す。

載荷は図 5、写真 2 に示すように、間隔 1.6 m 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 (写真 3 参照) 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、鋼管のひずみを電気抵抗ひずみ計で、純曲げ区間における 3 点のたるみと両支点沈下量を 1/500 mm 電気式変位計で測定し、各供試体ごとに荷重 P_f - ϵ 曲線および P_f - ρ (曲率) 曲線を求めた。

4.2 実験の結果と考察

(1) 曲げ耐力

複合杭について、鋼管の引張縁ひずみの実測値から求めた M_{a1} 、 M_{y1} および M_{max} を図 6 に示す。ここで、 M_{a1} は鋼管の引張縁応力が許容引張応力度の 1.4 kgf/cm² に達したときの許容曲げモーメントを示し、 M_{y1} は、鋼管の引張縁ひずみが降伏ひずみ (0.2% オフセットから求める) に達したときの曲げモーメントであり、 M_{max} は最大抵抗曲げモーメントの実測値である。なお、これらの値は各供試体 2 体を平均した値である。

これらの実験から、弾性域における複合杭の曲げ耐力はそれぞれ新、旧編鋼管杭の 1.2 倍程度であるが、鋼管の引張縁が降伏する頃から、複合杭における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高まり、複合杭の終局耐力は鋼管のものより

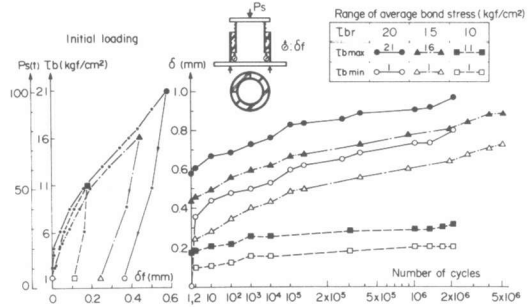


図 3 2重管形式旧編鋼管における N_c と δ_f の関係

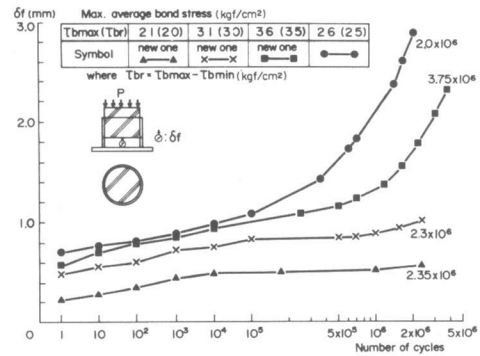


図 4 全充填形式編鋼管における N_c と δ_f の関係

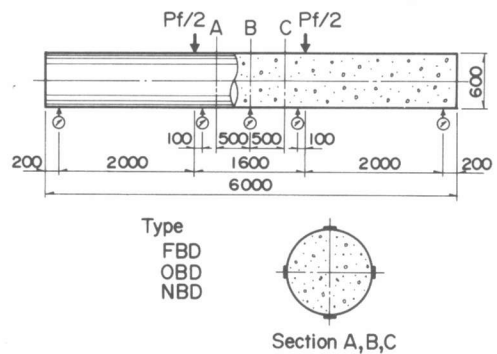


図 5 全充填複合杭の形状寸法と荷重載荷位置

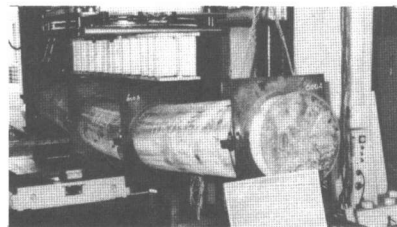


写真 2 全充填複合杭の曲げ載荷実験状況

1.5倍以上であること、 M_{a1} における新編の複合杭の曲げ耐力が旧編および平鋼管を用いたものより若干高いことなどが確認された。

(2) 曲げ剛度

複合杭の曲げ剛度 $E_s I_c$ 、曲げモーメント M_p および曲率 ρ の関係は次式で表わされる。

$$E_s I_c = \frac{M_p}{\rho}$$

M_p が 5.0×10^4 (P_f が 5.0×10^4) の段階で、 ρ を純曲げ区間内における3点のたわみ値から求め、上式に従って計算した $E_s I_c$ を図7に示す。新、旧編の複合杭の曲げ剛度は平鋼管を用いたものより1割程度大きくなり、それぞれ新、旧編鋼管杭のその1.4倍である。コンクリートの弾性係数 E_c を $3.0 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ とし、コンクリートの引張応力を無視したRC方式(鋼管を鉄筋と具做し、コンクリートと一体とした計算方法)から求めた曲げ剛度の計算値は $2.0 \times 10^{11} \text{ Kg/cm}^2$ であり、ほぼ平鋼管を用いた複合杭の実験値に一致することから、本実験の妥当性が確認されよう。したがって、縞鋼管を用いることによって、曲げ剛度が平鋼管を用いたものより1割増大したものと考えられる。

5. 結言

新、旧編および平鋼管のコンクリートとの付着試験およびこれらの鋼管をコンクリートで充填した複合杭の曲げ載荷実験によって以下の点が明らかになった。

(1) 縞鋼管のコンクリートとの一体性は、平鋼管に比べて非常に高く、 σ_c が 300 Kg/cm^2 のコンクリートを用いた場合、新、旧編鋼管の τ_{bmax} は $4.9.4$ 、 $5.5.6 \text{ Kg/cm}^2$ であって、それぞれ平鋼管の τ_{bmax} (3.8 Kg/cm^2) の $1.3.0$ および $1.4.6$ 倍である。

(2) 200万回の繰返し載荷に耐えうる τ_{max} は、新編鋼管では、 3.1 Kg/cm^2 また旧編では 3.6 Kg/cm^2 で非常に高い。また設計上の安全を考慮して、最高荷重時における相対滑り量を 1.0 mm に制限した場合でも、新編、旧編鋼管でそれぞれ 2.1 、 3.1 Kg/cm^2 となり、異形鉄筋のコンクリートとの付着強度並の許容付着応力を採用できる。

(3) 新、旧編鋼管を用いた複合杭の鋼管杭に対する曲げ耐力の比は、鋼管の許容引張応力度の段階では1.2倍であるが、その引張応力が降伏する頃から、曲げ耐力の比が徐々に増加し、終局時では1.5倍となる。

(4) 縞鋼管を用いた複合杭の曲げ剛度は、平鋼管を用いたものより1割高く、鋼管杭の剛度の1.4倍である。

文献

- 1) 国土開発技術研究センター：SCくい設計指針(1980)
- 2) 佐藤、石渡：平鋼および突起付鋼板の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
- 3) 加藤ほか：縞鋼管の製造とその特性、川崎製鉄技報、Vol. 12、No. 1(1981)
- 4) 福田武雄：鉄筋コンクリート理論、生産技術センター、pp. 317~320(1976)

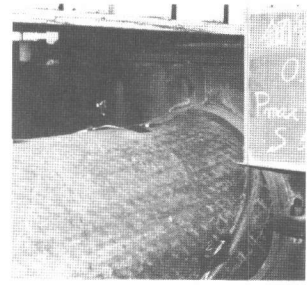


写真3 全充填複合杭が局部座屈した例

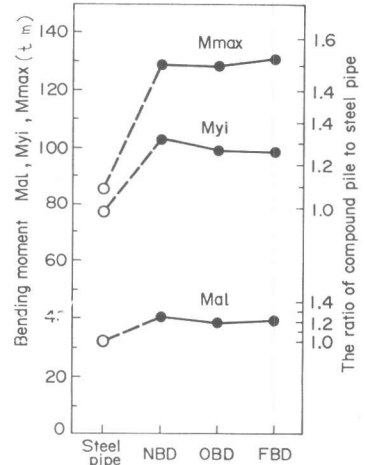


図6 複合杭および鋼管杭の曲げ耐力

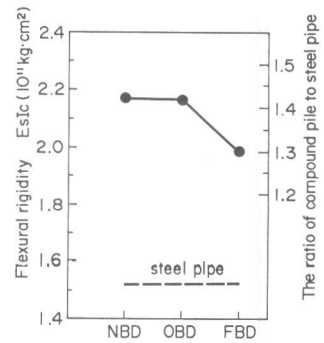


図7 複合杭と鋼管杭の曲げ剛度の比較