

清水建設株式会社研究所 正員 ○岡田武二
清水建設株式会社研究所 正員 小粥庸夫

1. ま え が き

PIPくい (Pakt in Place Pile) は場所打鉄筋コンクリートくいの一種で、現在構造物の基礎くいとして、あるいは柱列状に施工した土留矢板として多く利用されている。昭和43年12月までの施工実績は、延べ1,800,000mにおよぶ。

従来、土留矢板として打設したPIP柱列くいは、矢板としての役目を終ると埋め殺される場合がほとんどである。筆者等は、PIP柱列くいを土留矢板として利用した後に、これにコンクリートを打ち継いで合成壁を形成し、PIP柱列くいを構造計算に組み込み、地下構造体の一部として利用することを検討するためにPIPくいとコンクリートによる合成はり（以下、PIP合成はり」と略称する）の実物大曲げ実験を行なつた。

本報告は、この実験結果をもとにPIP合成をりを一体はりとして設計する場合の打ち継ぎ面の許容せん断応力度について考察したものである。

2. 実 験 概 要

PIPくいと後打ちコンクリートの打ち継ぎ面のせん断抵抗を調べるために実施した実験は、直接せん断実験およびPIP合成はり曲げ実験の二種類である。実験の仕様および試験体寸法は、表-1および図-1の通りである。

表-1 試験体の仕様

実 験 項 目	テ ス ト	シ リ ーズ	試 験 体 の 仕 様	備 考
直 接 せん断 実験	押し抜き	Sc-1	Pz=0 %	ここに $Pz: \text{ジベル鉄筋比} \frac{A_{se}}{b \cdot s} \times 100 (\%)$ $A_{se}: \text{ジベル鉄筋断面積} (\text{cm}^2)$ $b: \text{くい径} (\text{cm})$ $s: \text{ジベル鉄筋の間隔} (\text{cm})$
	せん断実験	Sc-2	Pz=0.3 %	
	引き抜き	Sc-3	Pz=0.63 %	
PIP合成はりの曲げ実験	引き抜き	St-1	Pz=0 %	試験材令 PIPくいモルタル : 52~57日 σ _c 5.6 = 34.1 コンクリート : 32~36日 (kg/cm ²) σ _c 35 = 203 (kg/cm ²)
		St-2	Pz=0.3 %	
		St-3	Pz=0.63 %	
	せん断実験	Gp100	Pz=0 %	
		Gp200	Pz=0.3 %	
		Gp300	Pz=0.63 %	
		Gn100	Pz=0 %	各シリーズ3体 合計18体
		Gn200	Pz=0.3 %	
		Gn300	Pz=0.63 %	

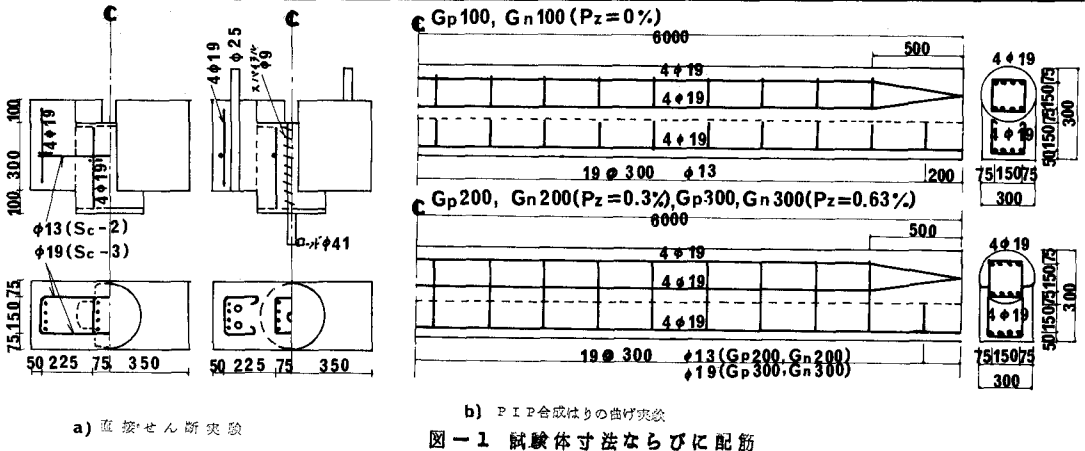


図-1 試験体寸法ならびに配筋

直接せん断実験の試験体は、押し抜きせん断用 (Scテスト) と引き抜きせん断用 (Stテスト) との二つに分けられる。Sc用の試験体は現場打設した P I P くいから切断片 ($\phi 30 \times 400\text{mm}$) を取り出し、その両側面に後打ちコンクリートを打ち継いだものである。St用の試験体も Sc用と同一であるが、コンクリートとモルタルに引張力を与えるように、コンクリートには引張用の鉄筋 ($\text{D}\phi 25\text{mm}$, 2本) を予め設置しておき、P I P くいには断面中央に予め埋設してあるラセン筋の内部モルタルに $\phi 50\text{mm}$ の穴をあけ、 $\phi 41\text{mm}$ の丸鋼を接着剤で固結した。

P I P 合成はり曲げ実験の試験体は、現場打設した P I P くい ($\phi 30\text{cm}$, $\ell = 600\text{cm}$) にコンクリートを打ち継いだもので、打ち継ぎ面の補強ジベル鉄筋量を $P_z = 0, 0.3, 0.63\%$ と変化させたものである。

P I P くいと後打ちコンクリートの打ち継ぎ方法は、次の ①②とした。

① Sc-1, St-1, Gp100, Gn100 ($P_z = 0\%$)

P I P くい表面に付着した土をディスクサンダで除去して、水洗いした後、後打ちコンクリートを打ち継ぐ。

② Sc-2, 3, St-2, 3, Gp200, 300, Gn200, 300 ($P_z = 0.3, 0.63\%$)

P I P くい主鉄筋 (矩形配置) に図-2に示す形状のスターラップ筋を溶接し、有孔発泡スチロールを取り付けておく。打設した P I P くい表面に顔われた発泡スチロールを除去して、スターラップ筋の一部を曲げ起しジベル鉄筋とする。同時に P I P くい表面に付着した土をディスクサンダで除去し、ジベル鉄筋埋設個所のモルタルをたがね仕上げして水洗いする。曲げ起したジベル鉄筋に後打ちコンクリートの主鉄筋を溶接し、後打ちコンクリート用型わくを設置して、コンクリートを打設する。

直接せん断実験の載荷方法は、図-3に示す通りで、200t 万能試験機を用いた。

なお、P I P 合成はりのコンクリート打設は6mの縦打ちとし、上部より長竹によつて突き固めると同時に、側方より木づちで振動を与える方法を採用した。

P I P 合成はり曲げ実験の載荷方法は図-3に示す通りで、中央対称2点荷重 (200t 油圧電動ジャッキ使用、スパン400cm, α_2 Gpテスト: 33, Gnテスト: 35) とした。ここに Gpテストとは P I P くい圧縮側となる載荷方法であり、Gnテストとは P I P くい引張側となる載荷方法である。

直せん断実験、P I P 合成はり曲げ実験の測定項目はともに打ち継ぎ面のずれ変形、亀裂および破壊荷重とした。ずれ変形の測定は、図-3に示す測定個所についてコンタクトゲージ (測定間隔200mm) を用いて行った。

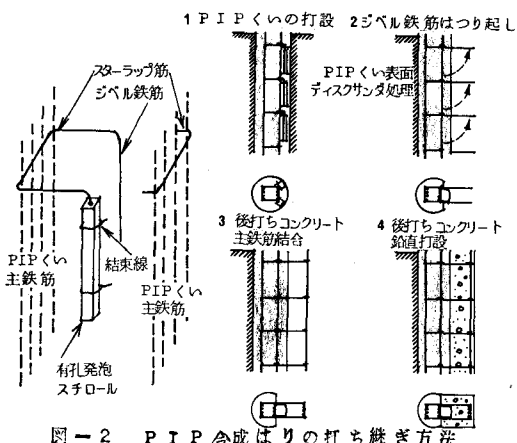


図-2 P I P 合成はりの打ち継ぎ方法

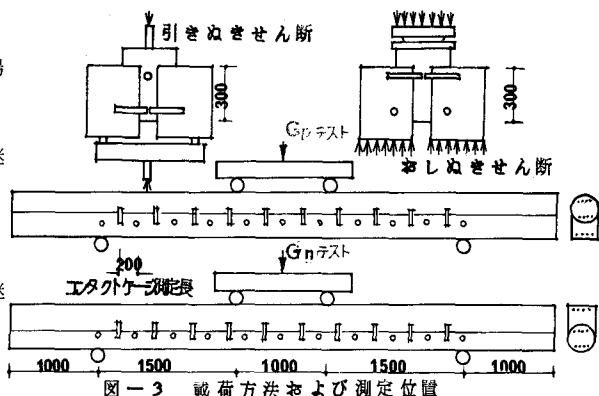


図-3 載荷方法および測定位置

3. 実験結果および考察

実験結果を図-4および図-5に示す。

図-4から明らかなように、打ち継ぎ面のせん断強度はジベル鉄筋量ならびに外力の作用状態すなわち押し抜きせん断と引き抜きせん断の相異なるの影響を受ける。打ち継ぎ面のせん断強度は引き抜きせん断の場合より押し抜きせん断の場合の方が大きい。これは引き抜きせん断の場合には打ち継ぎ面にボアソン効果による引張りずみが作用しており、押し抜きせん断の場合には圧縮ひずみが作用していることに起因するものと考えられる。ジベル鉄筋を入れない場合には、ずれひずみが 300×10^{-6} に達するとひずみの増加割合は大きく変化しはじめ、 1000×10^{-6} に達すると急激に大きくなり、破壊に至る。これに比べ、ジベル鉄筋を0.3, 0.63%入れた場合には、ずれひずみが 300×10^{-6} 近傍で増加割合は変化しはじめるが、 $P_z = 0\%$ の場合ほど大きくはならない。以後ずれひずみが 1200×10^{-6} に達するまで徐々に増加してゆく。

実験PIF合成はりの破壊は、ジベル鉄筋を入れない場合には、PIFく

いとコンクリートの打ち継ぎ面がずれ破壊を起し、曲げ破壊に先行してせん断破壊となつた。ジベル鉄筋を0.3, 0.63%入れた場合には、打ち継ぎ面はずれ破壊に至らず、PIF合成はりは曲げ破壊となつた。合成はり破壊時のせん断応力度は表-2の通りである。ジベル鉄筋比0.3, 0.63%の場合の値は曲げ破壊時の値であるので、打ち継ぎ面のせん断強度は、各々8%以上ならびに11%以上であると言える。ジベル鉄筋を入れない場合には、スパン全長の平均ずれひずみ（以後平均ずれひずみと略称する）が 300×10^{-6} 近傍に達するとひずみの増加割合は変化しはじめ、以後ずれひずみが急激に増大して、ずれ破壊に至る。一方ジベル鉄筋を入れた場合には、平均ずれひずみは徐々に増加して曲げ破壊に至るまで急激に大きくなつてはいない。曲げ破壊時の平均ずれひずみは約1200

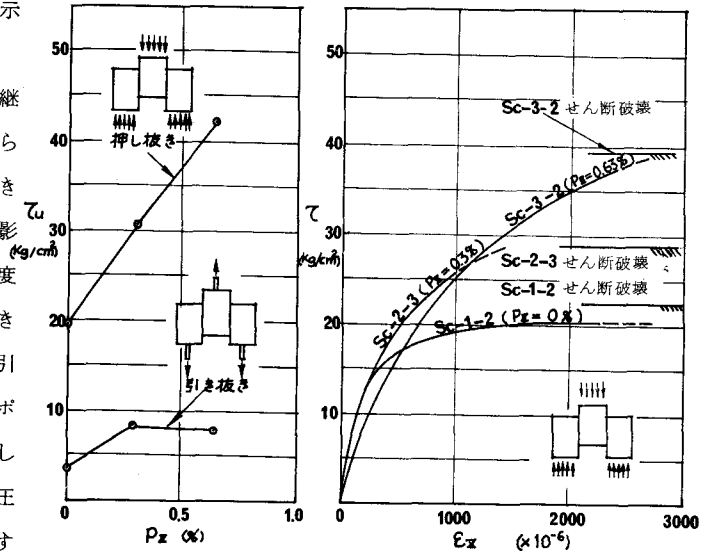


図-4 直接せん断実験の結果：

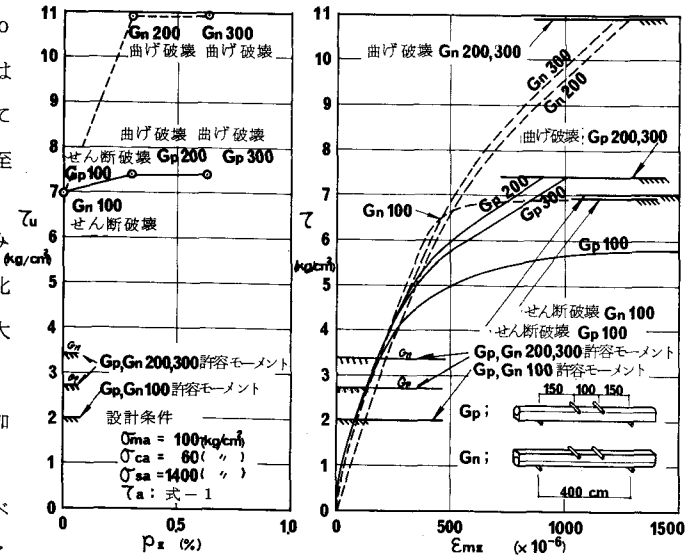


図-5 PIF合成はり曲げ実験の結果

$\times 10^{-6}$ となつている。平均ずれひずみが 300×10^{-6} および 1200×10^{-6} における打ち継ぎ面のせん断応力度は表-2の値となる。P I P くいとコンクリートとの打ち継ぎ面の龜裂は、部分的に発生し始め、

表-2 P I P 合成はりのせん断応力度

ジベル鉄筋比 %	記号	せん断応力度 (覧)			
		$e = 300 \times 10^{-6}$	$e = 1200 \times 10^{-6}$	目測によるずれ発見時	破壊時
0	Gp100	4	6	3.5	7
	Gn100	5	7	3.5	7
0.30 0.63	Gp200 300	4	7	4	(8)
	Gn200 300	5	11	4	(11)

τ : 1 体はりとして計算した値, 小数点 1 位を 4 捨 5 入

打ち継ぎ線にそつて水平方向

() は曲げ破壊の値

に進展する。ジベル鉄筋を入れない場合には、打ち継ぎ線にそつた水平方向の龜裂 (以下ずれ龜裂と略称する) の進展は急激に進み、ほぼスパン全体にわたつて進展した時に打ち継ぎ面のずれ破壊を起した。この場合の曲げ龜裂の性状は、ずれ龜裂が発生するまでは一体はりと同様であるが、それ以後は打ち継ぎ線で中断されたかたちとなり、重ねはりに近いものとなる。ジベル鉄筋を入れた場合には、ずれ龜裂はスパン全体には進展せず、曲げ破壊時でも部分的に発生しているにすぎない。曲げ龜裂の性状は、曲げ破壊にいたるまで一体はりと同様である。

表-3 P I P 合成はりの破壊安全度

	P_z (%)	M_a ($\tau \cdot m$)	M_u ($\tau \cdot m$)	$f = M_u/M_a$	破壊性状
Gp100	0	4.84	17.7	3.7	せん断
Gp200	0.3	6.54	19.1	2.9	曲げ
Gp300	0.63	6.54	19.1	2.9	"
Gn100	0	4.31	14.0	3.3	せん断
Gn200	0.3	7.34	24.3	3.3	曲げ
Gn300	0.63	7.34	24.2	3.3	"

本実験のごとき方法で打ち継いだ場合の打ち継ぎ面の許容せん断応力度 τ_a は、せん断破壊時のせん断応力度ならびに平均ずれひずみ限界値 ($P_z = 0\%$ の場合 300×10^{-6} , $P_z \geq 0.3\%$ の場合 1200×10^{-6} とする) に対して安全度 3 を確保するように決定すると下記の値のなる。

$$\tau_a \leq 2 + 10P_z \quad (0 \leq P_z \leq 0.3) \quad \text{ここに } \tau_a: \text{打ち継ぎ面の許容せん断応力度 (覧)}$$

$$\tau_a = 5 \quad (0.3 \leq P_z) \quad P_z: \text{ジベル鉄筋比 (\%)}$$

上記許容せん断応力度を用いて求めた実験合成はりの許容モーメント (M_a) は表-3 に示す破壊安全度 (f) を確保している。一般に鉄筋コンクリートはりのせん断耐力はせん断スパン比が $a/d = 2.5 \sim 3.0$ の載荷条件で最小となる。また打ち継ぎ面が引張側にある場合にはせん断抵抗が小となるものと考えられる。本実験の a/d は 3.3 および 3.5 であり、打ち継ぎ面は引張側にある。したがつて上記許容応力度は、 a/d が 2.5 以下の場合あるいは打ち継ぎ面が圧縮側にある場合には安全側の値と考えられる。

4. ま と め

P I P くい表面に付着した土をディスクサンダで取り除き、水洗いしてコンクリートを打ち継いだ P I P 合成はりを設計するにあたり、打ち継ぎ面の許容せん断応力度を下記の値とするならば、一体はりとして設計した P I P 合成はりの許容モーメントは、すくなくとも曲げ破壊に対して 3 以上、せん断破壊に対して 2 以上の安全度を確保し得る。

$$\tau_a \leq 2 + 10P_z \quad (0 \leq P_z \leq 0.3) \quad \text{ここに } \tau_a: \text{打ち継ぎ面の許容せん断応力度 (覧)}$$

$$\tau_a = 5 \quad (0.3 \leq P_z) \quad P_z: \text{ジベル鉄筋比 (\%)}$$

本実験は、早稲田大学土木工学科神山一教授の指導のもとに西松建設㈱と共同研究として実施したものである。