
異形 PC 鋼棒リバーボンをを用いた PC くいの実用性試験

Practical Adaptability Test on P.C. Pile Using Deformed P.C. Bar RIVER BON

原 道彦(Mitihiko Hara) 佐々木 寿毅(Hisaki Sasaki) 篠原 凡平(Bonpei Shinohara) 内田 貞雄(Sadao Utida) 岡田 清(Kiyoshi Okada)

要旨：

最近、パイル、ポールなどの遠心力コンクリート製品に使用される異形 PC 鋼棒の需要が増大している。川崎製鉄（株）ではこれに対処するために新製品異形 PC 鋼棒リバーボンを開発し、その実用性試験をおこなった。試験は、ヘッディング性、ねじ転造性、点溶接性、コンクリートとの付着性などの PC 鋼棒自体の性能試験、および、リバーボンをを用いた PC くい of 打撃前後における曲げ試験、カットオフ試験をおこなった。試験結果はすべて良好であり、リバーボンが PC くい用 PC 鋼材として十分満足するものであることがわかった。

Synopsis：

Recent years have seen a persistently rising demand for deformed P.C. bars to be used in manufacturing P.C. piles. To meet this situation, Kawasaki Steel Corporation has developed a new type of deformed P.C. bars under the brand name of RIVER BON, and tested their practical adaptability. In addition to the tests of practical adaptability of RIVER BON P.C. bars themselves in respect of their heading properties, thread rolling, spot welding and bondability to concrete, the P.C. piles manufactured by use of RIVER BON P.C. bars were also tested by conducting bending and cutoff tests before and after hammering. The results of all these tests were good and clearly showed that RIVER BON P.C. bars were to be reliably used in manufacturing P.C. piles.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

異形 PC 鋼棒リバーボンをを用いた PC くいの実用性試験

Practical Adaptability Test on P.C. Pile Using Deformed P.C. Bar **RIVER BON**

原 道彦*

Mitihiko Hara

佐々木 寿毅**

Hisaki Sasaki

篠原 凡平***

Bonpei Sinohara

内田 貞雄****

Sadao Utida

岡田 清*****

Kiyosi Okada

Synopsis :

Recent years have seen a persistently rising demand for deformed P.C. bars to be used in manufacturing P.C. piles.

To meet this situation, Kawasaki Steel Corporation has developed a new type of deformed P.C. bars under the brand name of **RIVER BON**, and tested their practical adaptability.

In addition to the tests of practical adaptability of **RIVER BON** P.C. bars themselves in respect of their heading properties, thread rolling, spot welding and bondability to concrete, the P.C. piles manufactured by use of **RIVER BON** P.C. bars were also tested by conducting bending and cutoff tests before and after hammering.

The results of all these tests were good and clearly showed that **RIVER BON** P.C. bars were to be reliably used in manufacturing P.C. piles.

1. まえがき

最近、土木、建築の分野において、電子計算機の発達普及にともない、複雑かつ高精度の構造設計が可能となり、構造物の規模は大形化、複雑化の傾向にある。

このような傾向の中にあつて、施工法の簡易化、プレハブ化が進み、構造物の基礎および各部材に使用する鋼材としては、均一な品質、良好な

加工性、施工性、高強度化などが要求されてきた。

昭和37年頃から、おもに構造物基礎材として使用され始めたPCくいは、JIS A5335（プレテンション方式）およびJIS A5336（ポストテンション方式）に制定されている。

PCくいは遠心力によって成形する工場製品であるため、コンクリートの品質管理がよく、養生方法、条件が最適であるので、品質が均一で、経済的にすぐれた製品の一つであり、

* 鋼構造研究所構造研究室主任研究員

*** 技術研究所鋼材研究室室長

***** 京都大学工学部教授工学博士

** 鋼索溶接棒工場製造部鋼索課製線掛長

**** 日本ヒューム管(株)取締役生産部長

- (1) ひびわれ曲げモーメントが大きい
- (2) 取り扱い、運搬、あるいは打込み中にひびわれがはいらない
- (3) 腐食に対する抵抗が大きい
- (4) 水平力によるたわみが少ない

などの特徴がある。P C くい基礎杭として、これらのすぐれた特徴を発揮するためには、コンクリートの配合、品質管理、成形条件、養生条件などが最適であるとともに、主筋である軸方向のプレストレス緊張材としての P C 鋼材がすぐれた品質をもっていなければならない。

この P C 鋼材として、高強度の P C 鋼より線、あるいは、異形 P C 鋼棒がある。P C 鋼より線はフレキシブルでしかも適当な表面さびの状態でコンクリートとの付着性が良好であるが、端末の固定法に難点があること、生産工程における、鉄筋籠の自動編成が不可能なことなどが、問題として残っている。そのため、最近ではコンクリートとの付着強度が大きく、ヘッディング、ねじ転造などにより端末の固定が容易で、スポット溶接による自動編成が可能な異形 P C 鋼棒が多く使用され、一般化されてきた。異形 P C 鋼棒を用いることにより自動編成機によって、高能率に鉄筋籠が組み立てられるばかりでなく、鋼材端末部のヘッド、および転造ねじ止めを利用してプレストレスを全長にわたり確実に導入でき、また付着強度が大きいので、任意の位置で切断しても、プレストレス有効長が短いためプレストレスの損失を最少にすることができる。

このような異形 P C 鋼棒の具備すべき条件として

- (1) 所要の機械的性質を満足すること
- (2) コンクリートとの付着強度が大きいこと
- (3) 真直性、ヘッディング加工性、ねじ転造性
点溶接性などの加工性能が良いこと
などを挙げることができる。

今回、当社で上述の各条件を満足する異形 P C 鋼棒リバーボンを開発したので以下に、この新製品リバーボンの機械的性質、加工性、実用性試験結果などについて報告する。

2. リバーボンの諸特性

2.1 異形状状

リバーボンの異形状状は、2 面凹溝で、溝は鋼棒の軸方向に対し約 30 度の角度をもつ一様な斜め縞状である。その概略図を図 1 に示す。

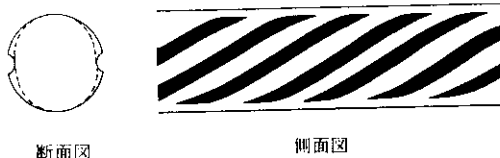


図 1 異形状概略図

この形状は次に示す特徴をもっている。

- (1) 長さ方向のどの横断面でも、その面積をほぼ等しくできる。
- (2) スパイラル状の溝に比べ初期すべり荷重が大きくなるので、コンクリートとの付着性が良い。これは、鋼棒が引張荷重をうけたとき、回転モーメントが働いても、スパイラル溝のように溝が連続していないためと、溝底が鋼棒の同心円上にないために、回転が抑制されることによるものである。

2.2 化学成分

P C 鋼棒の製法は、“ストレッチング”、“熱処理”、“引き抜き”など種々あるため、JIS G 3109「P C 鋼棒」では不純物元素だけが化学成分として規制されている。リバーボンでは点溶接性、ヘッディング加工性を考慮して開発された特殊な鋼種が採用されている。表 1 に JIS G 3109 の成分規格とリバーボンの成分の一例を示す。

2.3 機械特性

リバーボンの機械特性は、JIS A 5335「プレテンション方式遠心力プレストレスコンクリートくい」に規定される異形 P C 鋼棒 2 種に適合する。JIS 規格および、リバーボン 10mm の機械特性の

表 1 PC 鋼棒 JIS G3109 成分規格とリバーボンの化学成分の一例

鋼 種	化 学 成 分 (%)						備 考
	C	Si	Mn	P	S	Cu	
JIS 規格	—	—	—	0.030 以下	0.035 以下	0.30 以下	
リバーボン	0.27	0.45	1.35	0.020	0.019	0.015	他に特殊元素の 添加あり

表 2 JIS A 5335 規格

呼び径(1) (mm)	種別	引張荷重 (kg)	降伏点荷重(2) (kg)	伸び(3) (%)	レラクゼーション(4) (%)
10	2 種	9200以上	8300以上	5 以上	1.5以下

注 (1) 呼び径は、ねじの外径を示す。

(2) 0.2%の永久ひずみを生ずるときの荷重である。

(3) 標点間距離を呼び径の8倍として試験した値とする。

(4) レラクゼーションは、規格の降伏点荷重の80%を初荷重として10hr試験するものとする。

表 3 リバーボンの機械特性値の一例

呼び名 (mm)	外 径 (mm)	引 張 強 さ		0.2 % 耐 力		伸 び (%)	レラクゼーション %	
		kg	kg/mm ² ※	kg	kg/mm ² ※		10hr	100hr
10	9.15	9,650	150.8	8,890	138.9	9.0	0.57	1.51

※ 断面積を64mm²として計算した。

一例を表 2, 3 に示す。

2・4 点溶接性

PCくい用鋼弦籠は自動鉄筋籠編成機(写真 1)

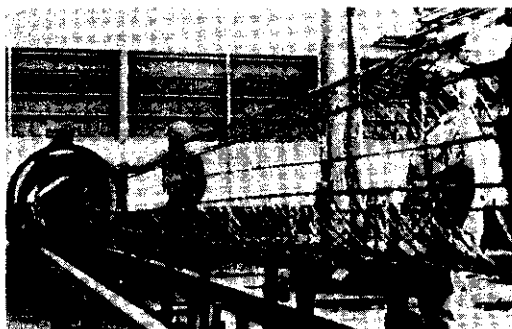


写真 1 自動鉄筋籠編成機

をもちい、スパイラル外輪筋とPC鋼棒とを点溶接して組立てられるが、PC鋼棒の機械特性はこれらの点溶接によって劣化しないことが必要であり、またPC鋼棒とスパイラル外輪筋とは十分接着していなければならない。これらの性質は、PC鋼棒の種類、編成機種および溶接条件などにより左右される。

実験は、日本ヒューム管株式会社工場の自動編成機をもちいて、溶接電流、通電時間をかえて溶接したリバーボンとスパイラル鉄筋との接着状況および溶接後の鋼棒の機械的性質の変化を調べた。

実験結果の一例を表 4 に示す。また点溶接後の引張破断状況の一例を写真 2 に示す。これらより明らかなように、溶接電流60A、通電時間5

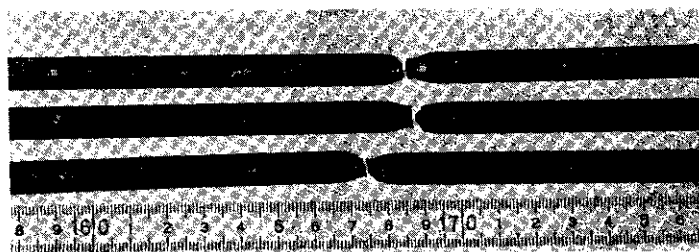


写真 2 点溶接したリバーボンの引張試験における破断状況

～6/60sec で、接着状況は良好であり、引張特性もすぐれた値を示した。さらにリバーボンは、スパイラル筋が焼付くほどの苛酷な溶接条件でも引張強度、伸びの低下がほとんど認められないことがわかった。また 60A-6/60sec の溶接条件の試料でレラクゼーション試験をおこなったが、溶接しない試料と全く変りない結果が得られた。

これらの結果よりリバーボンの溶接条件は 60A-6/60sec を適当と考え、供試パイルの製造にはこの条件をもちいた。

2.5 点溶接後の耐引張疲労性

溶接条件 60A-6/60sec で点溶接した試料について引張疲労試験をおこなった。この結果は表 5

表 4 点溶接後の機械特性および接着状況

溶 接 条 件		接 着 状 況	引 張 試 験				参 考 試 験
電 流 (A)	時 間 (1/60sec)		No.	引張荷重 (kg)	伸 び (%)	破 断 位 置	
40	8	不 良 (接着力弱い)	1	9,660	9.4	母 材	
			2	9,640	9.4	母 材	
			3	9,700	8.0	母 材	
50	8	や や 良	1	9,680	10.0	溶 接 部	
			2	9,660	9.0	母 材	
			3	9,640	10.1	母 材	
60	5	良 好	1	9,700	9.6	母 材	
			2	9,640	7.6	溶 接 部	
			3	9,660	—	チャック	
60	6	良 好	1	9,620	8.7	母 材	レラクゼーション 0.55%
			2	9,660	—	チャック	
			3	9,640	9.0	母 材	
70	6	や や 良 (スパイラル 筋 焼 付 き)	1	9,640	7.3	溶 接 部	
			2	9,680	8.7	母 材	
			3	9,640	—	チャック	

表 5 リバーボンの引張疲労試験結果

試 験 条 件	回 転 数	備 考
規格引張強さ (145kg/mm ²) に対する割合	上限荷重 (kg)	下限荷重 (kg)
60%±2.5kg/mm ²	5750	5400
60%±5 kg/mm ²	5900	5250
	2,789,870 (未破断)	2,087,020 (未破断)
		1,293,410でチャック切れ つかみなおし後 793,610 で中止

注 (1) 試験機：ロウゼンハウゼン型バルセーター付 LUR60t—40t 万能疲労試験機

(2) 周 期：666[el]/min

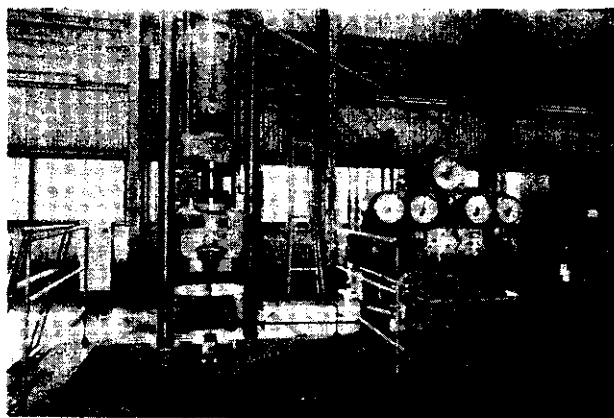


写真 3 引張疲労試験の状況

に示すように規格引張強さの 60%±5 kg/mm²の荷重範囲で 200 万回まで破断しなかった。

写真 3 に引張疲労試験状況を示す。

2.6 ヘッダー加工性

P C 鋼棒を緊張するための端末固定方法の一つにヘッディングによる方法がある。このヘッディングは温間でおこなわれる。加熱時間をかえてヘッディング加工をおこなった試料について引張試験、組織観察、硬度測定をおこなった。引張試験方法を図 2 に示す。写真 4 には、引張破断状況の一例を示す。

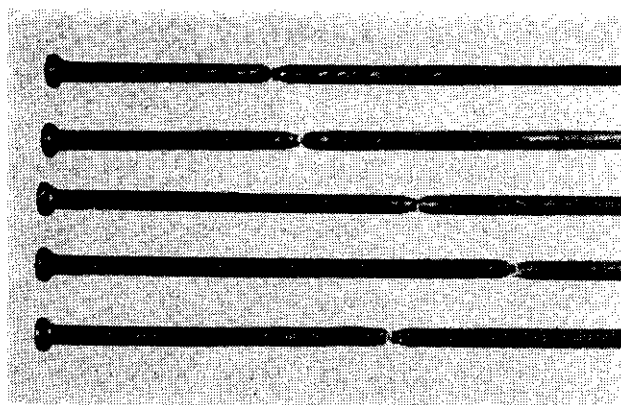


写真 4 リバーボン頭部の引張試験による破断状況

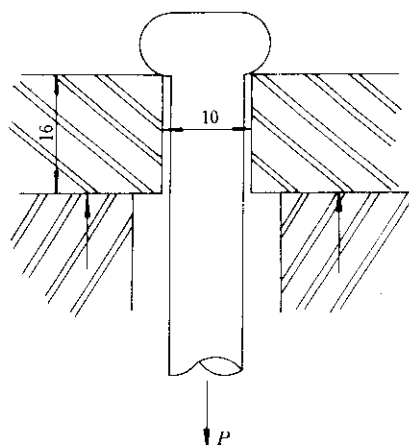


図 2 ヘッド部引張試験方法

表6にヘッド部引張試験結果を示す。引張特性は良好であり、加熱時間 7.5sec ではいずれの試料も母材で破断している。加熱時間 7.5sec 試料の、ヘッド部断面マクロ組織を写真5に、ヘッド部と母材部の顕微鏡組織を写真6, 7に、またヘッド部断面の硬度測定点および硬度分布を図3, 表7に示す。

表6 ヘッド部引張試験結果

加熱時間 (sec)	No.	ヘッド径 (mm)	破断荷重 (kg)	破断位置
7	1	14.3, 14.9	9,620	首下部
	2	14.8, 15.0	9,520	首下部
7.5	1	15.2, 15.7	9,600	母材
	2	15.2, 15.5	9,620	母材
8	1	15.3, 15.6	9,620	首下
	2	15.2, 14.9	9,600	母材



写真6 ヘッド部顕微鏡組織(×600)

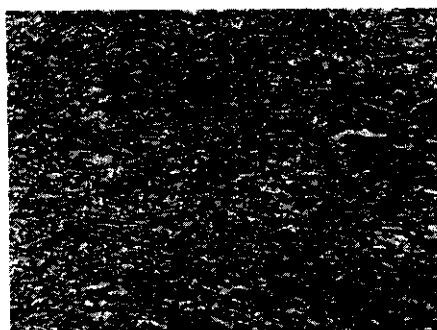


写真7 母材部顕微鏡組織(×600)

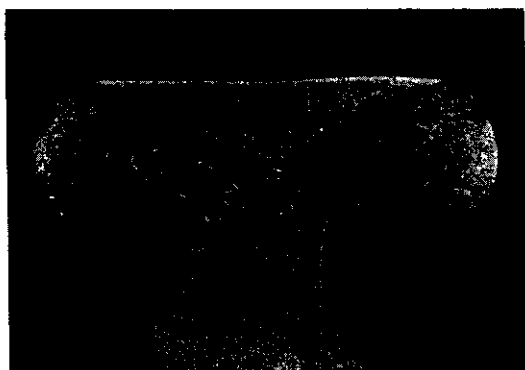


写真5 ヘッド部断面マクロ組織

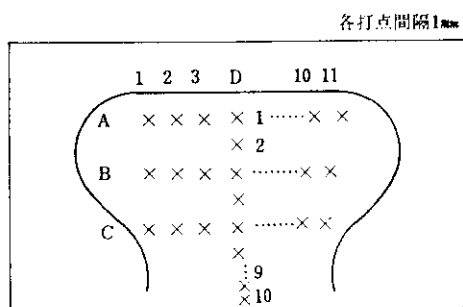


図3 ヘッド部硬度測定点

表7 ヘッド部硬度測定結果(Hv, 荷重 500g)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均
A	334	352	321	316	312	305	313	311	319	346	351	325.4
B	311	311	310	313	320	331	318	308	312	316	317	315.2
C	330	337	345	342	340	345	342	337	335	330	331	337.6
D	319	310	331	324	345	372	408	446	448	457		376.0
母材	平均 460											

これらによればヘッド部の加工によるメタルフローは正常であり、組織も良好である。またヘッド部の硬度は母材より低い値を示しているがとくに問題はない。したがってリバーボンのヘッダー加工性は十分満足しうるものと判定される。供試パイルの製造にあたっては、ヘッディング時の加熱時間は7.5secを適当と考えて、この条件をもちいた。

2.7 ねじ加工性

鋼棒の端末に、転造ねじ加工を施し、これにナットをはめて緊張時の固定端とする方法がある。

実験は、ねじ転造機により鋼棒に JIS 10mm 3 級ねじを切り、これを図 4 に示す方法でねじ部引張破壊強度を調べた。この結果を表 8 に示す。

これらよりねじ部引張強度は十分満足すべきものであり、リバーボンのねじ加工性は良好であることがわかる。

また写真 8 にねじ部の外観、写真 9 にねじ底

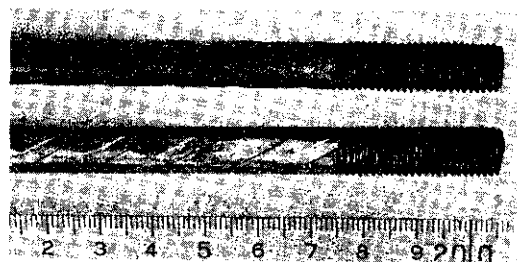


写真 8 ねじ部外観

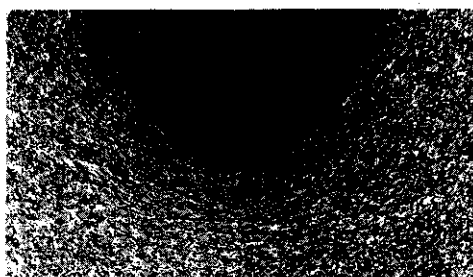


写真 9 ねじ底部顕微鏡組織 (×100)

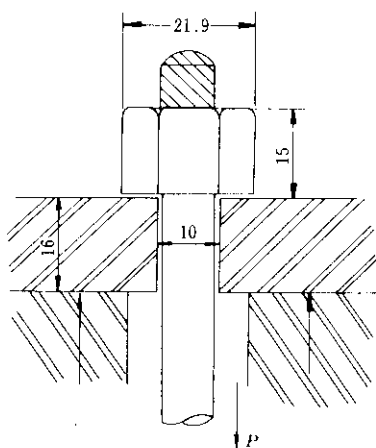


図 4 引張破壊試験方法

表 8 ねじ部破壊強度

試料番号	破壊強度 (kg)	破 断 位 置
1	8,400	ナットねじ破壊
2	9,220	ナットねじ破壊
3	9,200	母材ねじ部破壊

注 ねじ転造機 型式 NTR200-10

部の顕微鏡組織を示す。切削ねじ加工と異なり、母材の組織が分断されていないのは、転造ねじ加工の利点である。

3. 付着試験

3.1 試験方法

付着試験は一般に試験方法によってばらつきが大きく、結果を厳密に評価することは困難であるので他社 (A, B 社) の製品を比較材として用いた。

試験体は、150mm の立方型型枠の中央に供試材を水平に配置し上側から棒状パイプレーターを用いてコンクリートを打設して製作した。用いたコンクリートの配合を表 9 に示す。

試験は ASTM C 234-62T に準じ、図 5 に示すような方法で引抜き試験を行なった。引抜き試験は材令 4 週および 6 週で行ない、自由端側の鋼材移動量は 1/1000mm ダイヤルゲージで一定の荷重間隔で測定した。

表 9 コンクリート配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の 範 囲 (cm)	空 気 量 (%)	水セメン ト比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	混 和 剤
25	5 ± 2	2.0	33	39	151	459	700	1,105	0.78

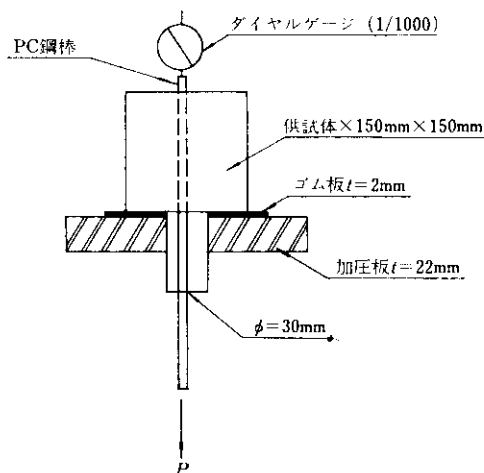


図 5 引抜きによる付着強度試験装置

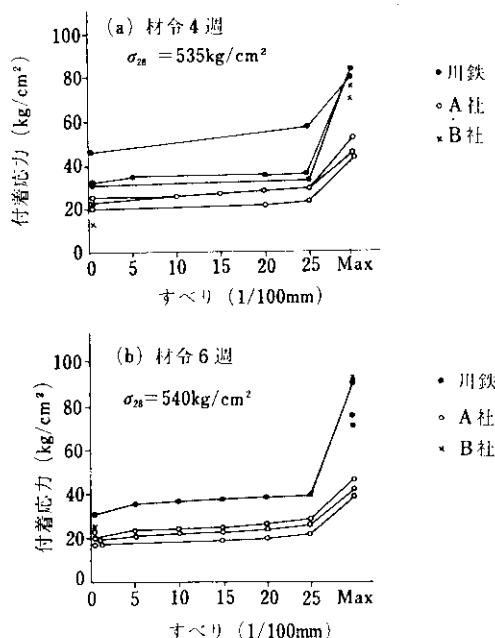


図 6 自由端における鉄筋のすべりと付着応力

付着応力度 τ_0 は (1) 式によって算出した。

$$\tau_0 = \frac{P}{uL} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 P : 試験荷重

u : 公称径によるPC鋼材の周長

L : PC鋼材の埋め込み長さ

3.2 付着試験結果

試験の結果を図6に示した。リバーボンは、他社(A, B社)製品に比べ、初期すべり荷重が大きく、すぐれた付着性能を示した。

4. PC くいの曲げ試験およびカットオフ試験

リバーボンをを用いたPCくいの実用性能を調べるために、日本ヒューム管(株)尼ヶ崎工場で、表10に示すJIS A5335のA種350φのPCくい、24本を試作し、この中から供試体を得て打撃前後の曲げ試験およびカットオフ試験をおこなった。

表 10 曲げ試験およびカットオフ試験用 PC パイル試作品

種別	種類	径(mm)×長さ(m)	本数	備 考
単杭	A下	350×8	3	打撃前の曲げ試験用
継杭	A上	350×8	6	
単杭	A上	350×10	4	打撃後の曲げ試験およびカットオフ試験用
継杭	A中	350×10	7	
単杭	A上	350×8	4	打撃前のカットオフ試験用

4.1 供試体の製作

試験用PCくいの形状および配筋図は図7の

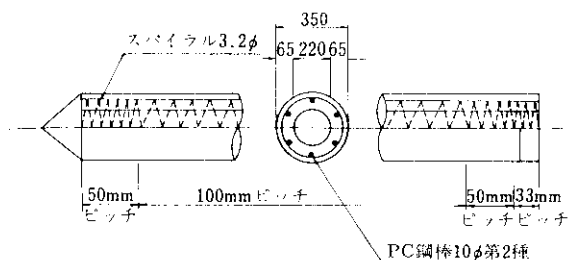


図 7 配筋図

とおりである。

製作に用いた主要材料，コンクリート配合およびコンクリートの圧縮強度は表11, 12, 13に示す。

表 11 試験用PC杭の主要使用材料

セメント	日本セメント(株)普通ポルトランドセメント
細骨材	徳島県古野川産 比重2.62 吸水率1.52%
粗骨材	砂利 高知県四十川産 比重2.64吸水率1.19% 碎石 香川県小豆島産
PC鋼材	川崎製鉄(株) 10φ第2種異形PC鋼棒

PCくいのひびわれ抵抗モーメントは下記のよう
に計算される。

プレストレスによるひびわれ抵抗モーメント
 M_{ri} は

$$M_{ri} = \sigma_{ce} \left(Z_c + \frac{1}{2} n A_p r_s \right) = 1.9 \text{ (t} \cdot \text{m)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ただし， $\sigma_{ce} = 51.7 \text{ kg/cm}^2$ ：有効プレストレス

$Z_c = 3,550 \text{ cm}^3$ ：杭の断面係数

$n = 5$ ：有効プレストレスに対するコン
クリートとPC鋼材の弾性係
数比

$A_p = 3.822 \text{ cm}^2$ ：PC鋼材の全断面

$r_s = 150 \text{ mm}$ ：鋼材の中心半径

表 13 コンクリートの圧縮強度

供試体寸法	スランブ	脱型時	28 日
10φ×20cm	4.6cm	292kg/cm ²	548kg/cm ²

くい自身のひびわれ抵抗モーメント M_{ci} は

$$M_{ci} = \sigma_{bt} \left(Z_c + \frac{1}{2} r_o n A_p r_s^2 \right) = 2.2 \text{ (t} \cdot \text{m)} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ただし $\sigma_{bt} = 60 \text{ kg/cm}^2$ ：コンクリートの引張
強度

$r_o = 175 \text{ mm}$ ：杭の外周半径

したがってひびわれ抵抗モーメント M_{cr} は

$$M_{cr} = M_{ri} + M_{ci} = 1.9 + 2.2 = 4.1 > 3.5 \text{ (t} \cdot \text{m)} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし 3.5 t・m は JIS A335 に規定するひびわ
れ抵抗モーメント。



写真 10 試験杭の切断状況

4.2 打撃試験

4.2.1 打撃試験現場

打撃試験は，当社葺合工場基礎杭打現場で実施
した。打撃試験位置 および 打撃試験の杭位置を
図 8, 9 に示した。

試験場所のボーリング図を図 10, 11 に示して

表 12 試験用PC杭のコンクリート配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	単位水量 (kg/m ³)	単位 セメント量 (kg/m ³)	水セメント 比 (%)	絶対細 骨材率 (%)	単位細 骨材量 (kg/m ³)	単位粗 骨材量 (kg/m ³)	混和剤 (kg)
25	3～6	151	459	33	39.0	700	1.105	3.12

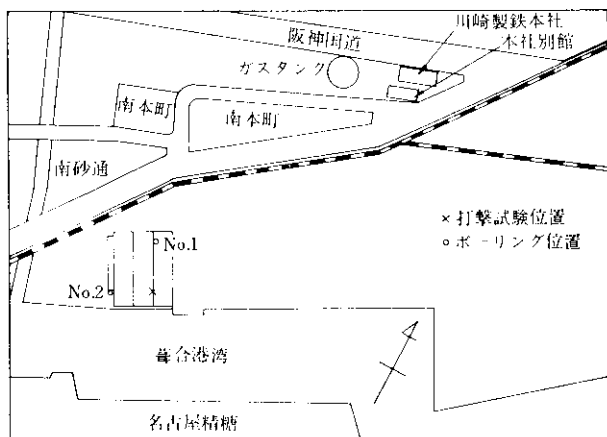


図 8 打撃試験見取図

いるが、8～12mで支持層に達する。

4・2・2 打撃試験方法

打撃試験はディーゼルハンマ K22 を用いて、下杭を6.0m 程度打ち込みその上に試験用杭を溶接で継ぎ、下杭の頭部が所定の高さになるまで打ち込んだ。なお打撃後の曲げ試験およびカットオフ試験用の試験杭は打撃試験後杭の計画高さで切断して採取した(図 12 参照)。

4・2・3 打撃試験結果

表 14 に打撃試験の結果を示した。

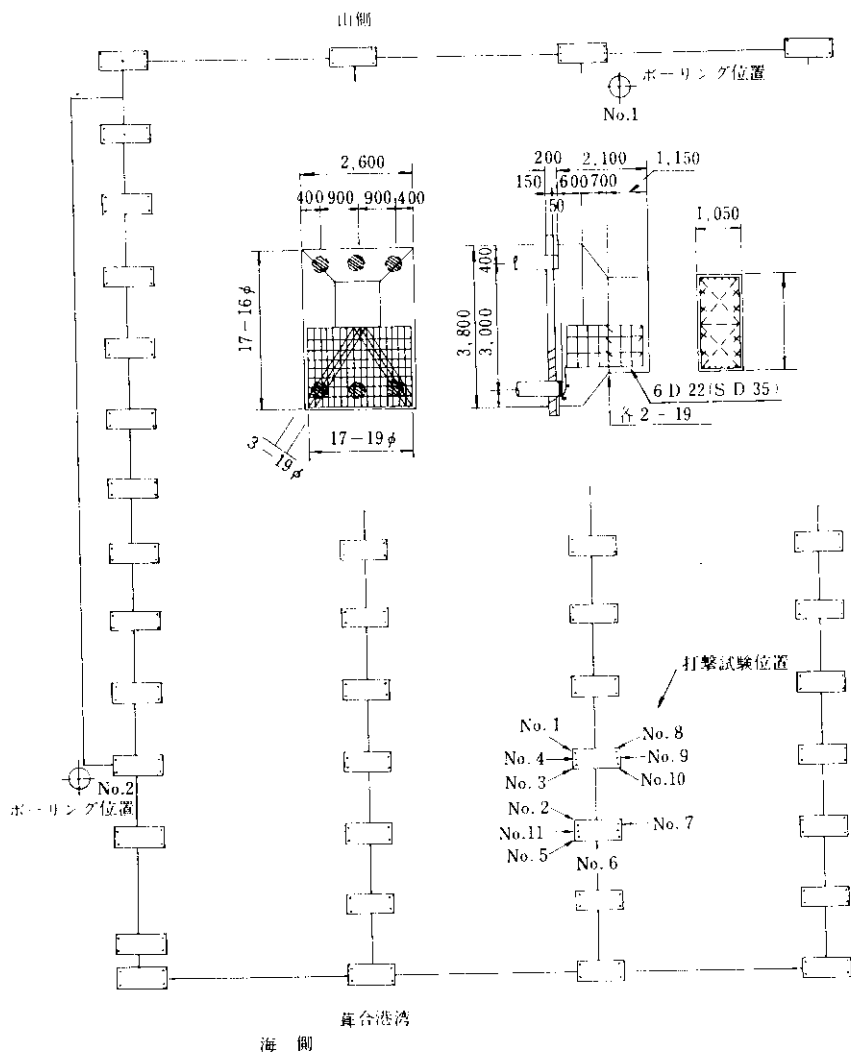


図 9 打撃試験杭位置

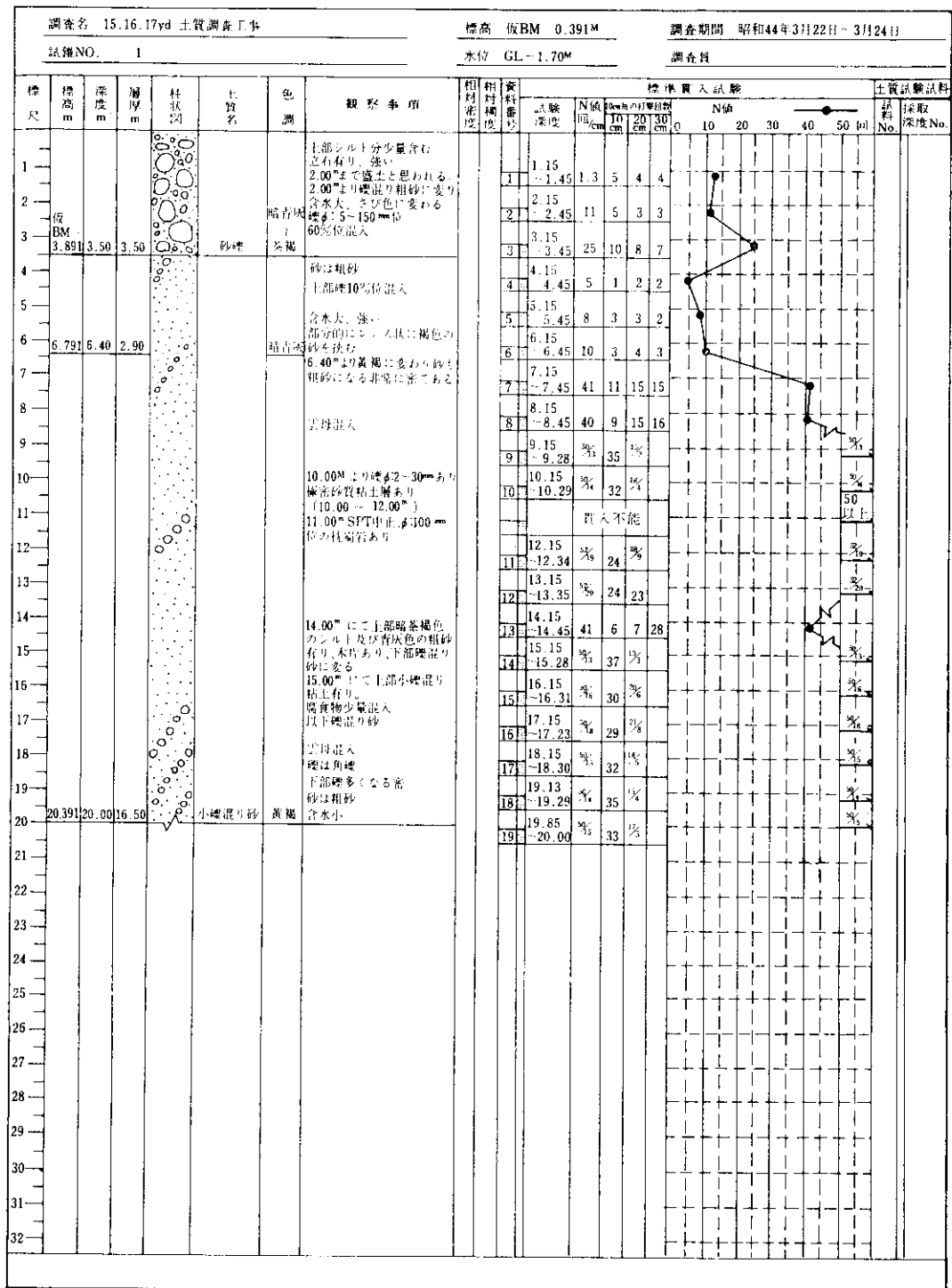


図 10 土質柱状図

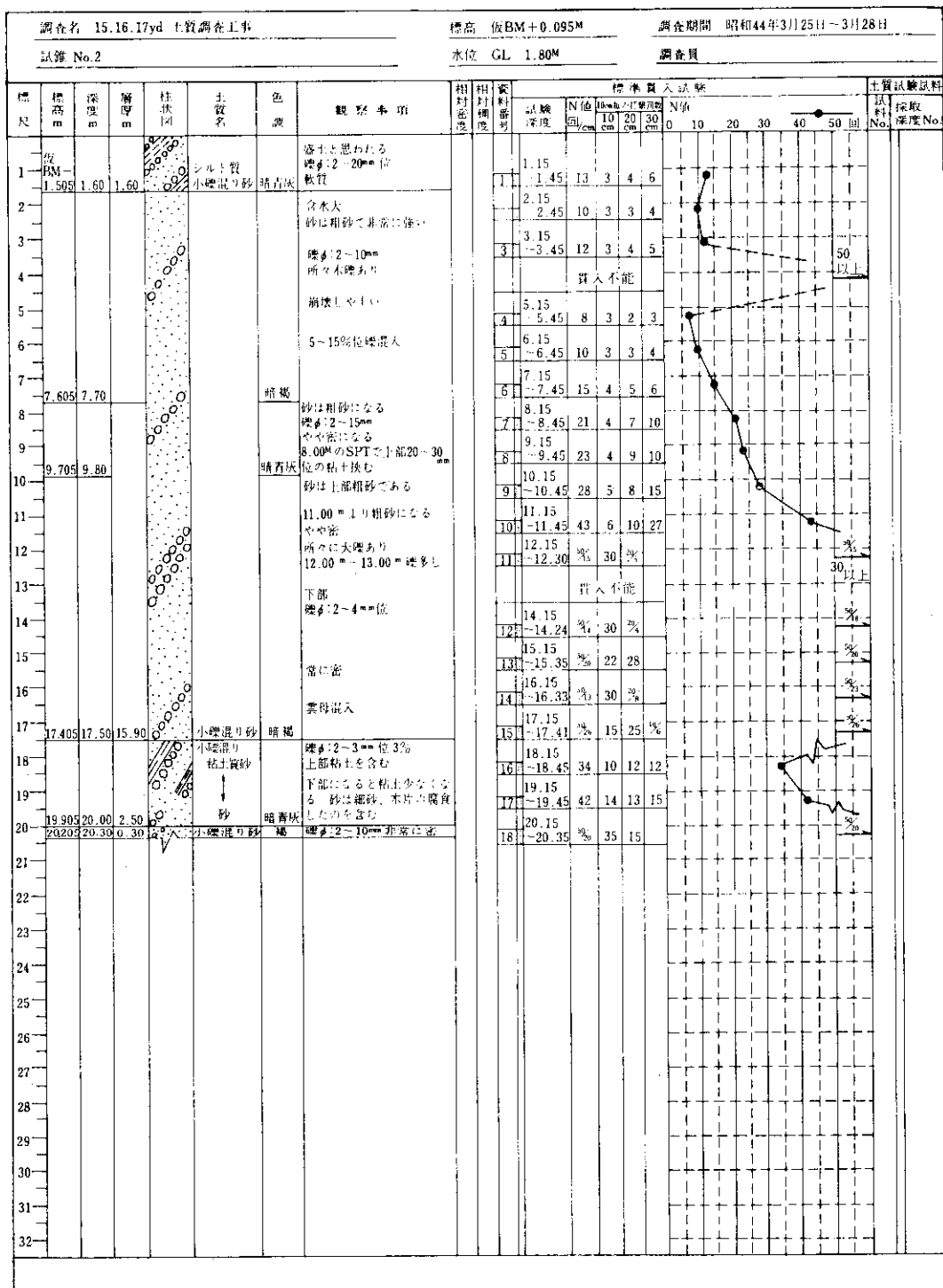


図 11 土質柱状図

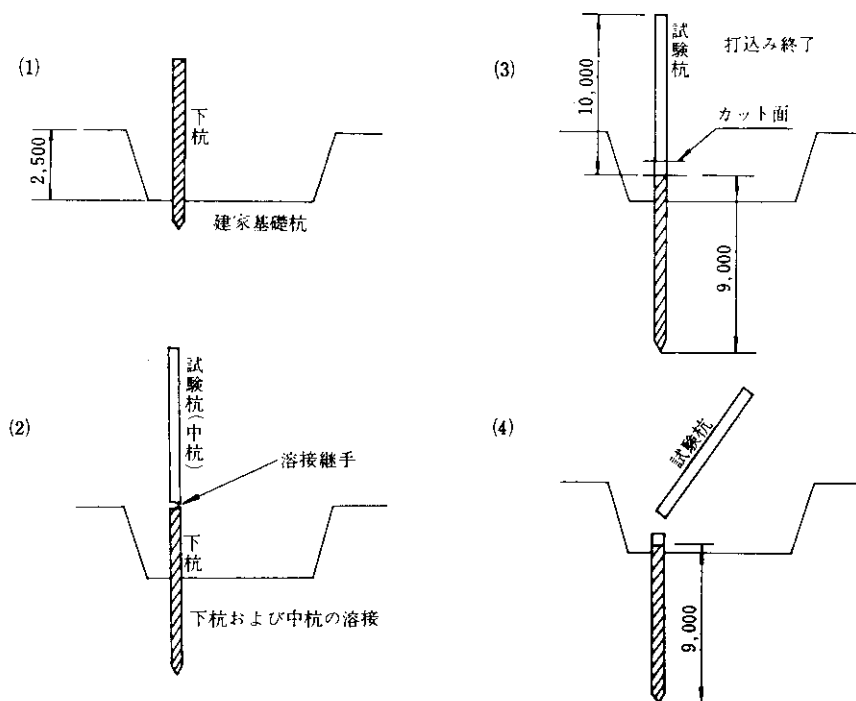


図 12 打撃試験説明図

表 14 試験用 PC 杭の打撃試験結果

項目 杭番	杭 種	打込深度 (m)	打 撃 回 数	垂落下高 (m)	リバウンド量 (cm)	貫 入 量 (cm)	備考
No. 1	$\phi 350 \times 20\text{m}$	12.5	下杭 111, 上杭 485	1.9	1.5	0.18	
No. 2	$\phi 350 \times 20\text{m}$	11.3	下杭 124, 上杭 712	1.9	1.4	0.27	
No. 3	$\phi 350 \times 19\text{m}$	12.7	下杭 78, 上杭 523	1.8	1.3	0.21	
No. 4	$\phi 350 \times 19\text{m}$	12.3	下杭 101, 上杭 532	1.9	1.3	0.12	
No. 5	$\phi 350 \times 19\text{m}$	12.5	下杭 97, 上杭 517	1.9	1.3	0.10	
No. 6	$\phi 350 \times 20\text{m}$	10.8	下杭 234, 上杭 1703	2.0	1.2	0.07	補試
No. 7	$\phi 350 \times 20\text{m}$	10.8	下杭 194, 上杭 2008	2.0	0.9	0.04	補試
No. 8	$\phi 350 \times$	12.4	下杭 109, 上杭 489	1.8	1.4	0.14	
No. 9	$\phi 350 \times 20\text{m}$	12.3	下杭 124, 上杭 460	1.8	1.5	0.14	
No. 10	$\phi 350 \times 19\text{m}$		下杭 129, 上杭 523	1.9	1.4	0.04	
No. 11	$\phi 350 \times 19\text{m}$	12.8	下杭 95, 上杭 573	1.9	1.3	0.06	

(注) 上杭は試験用, 下杭は基礎杭である。

下杭を6m打ち込んだ後、試験用杭を継いだので、試験杭にはN値20以上の支持層近くから打撃を与えたことになり、50cm打ち込むのに90~200回、終りの150回位はN値50以上であった。最終貫入量は10回平均値1~3mmで、試験用杭としてはきわめて苛酷な条件であったと考えられる。また、杭No.6, No.7は打撃回数がそれぞれ、1,703回および2,008回に達するまで打ち込んでみたが異常は認められなかった。

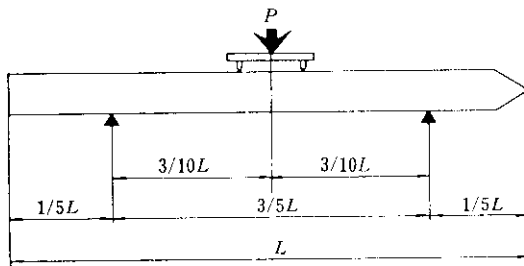
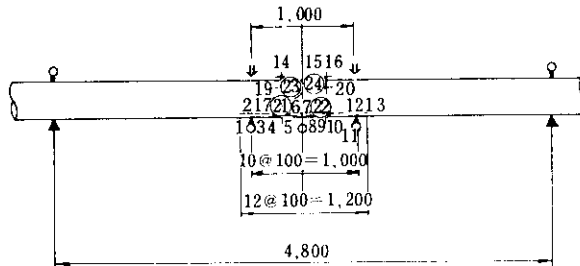
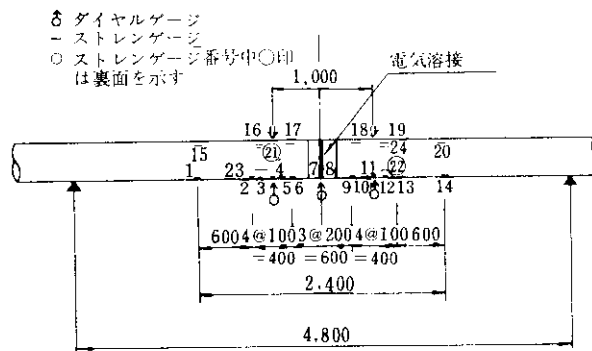


図13 JIS A5335による載荷法



単杭測定位置



継杭測定位置

図14 試験杭測定位置

4.3 曲げ試験

4.3.1 試験方法

曲げ試験は通常の単杭と継杭および打撃試験杭の単杭（杭No.3, No.5およびNo.8）と継後（杭No.11+No.9, No.1+No.10およびNo.2+No.4）について行なった（杭No.は図9参照）。

試験方法は JIS A5335（プレテンション方式遠心力プレストレストコンクリートくい）に準じ、支点間隔を4.8m, 載荷点間隔1mの2点載荷方式で行なった（図13参照）。200t曲げ試験機を用いて載荷し、図14に示すような位置の、曲げひずみとたわみをワイヤーストレインゲージとダイヤルゲージ（1/100mm）で測定した。

4.3.2 曲げ試験の結果

(1) ひびわれモーメントおよび破壊モーメント

PCくいの曲げモーメント M は JIS A5335に示される計算式(5)によって求められる。

$$M = \frac{1}{40} WL + \frac{P}{4} \left(\frac{3}{5} L - 1 \right) \quad \text{.....(5)}$$

ただし P : 載荷荷重 (t)

L : PC杭の長さ (m)

W : PC杭の重量 (t)

載荷荷重の実測値 P を用いて、(5)式により、ひびわれモーメントと破壊モーメントを求めた。その結果を表15に示す。

ひびわれモーメントおよび破壊モーメントのばらつきはきわめて小さく、ひびわれモーメントは規格値に対して1.2~1.4倍、破壊モーメントは規格値に対して1.5~1.8倍であり、良好な結果が得られた。

また、表15には、引張ひずみから推定されるひびわれモーメントを目視によるひびわれモーメントと比較して示したがよく一致している。

測定値のバラツキを考えれば打撃の有無にかかわらず、単杭と継杭のひびわれモーメントは等しいと考えられるが、破壊モーメントは継杭の方が単杭より大きくなっており、継

表 15 ひびわれモーメントおよび破壊モーメント

種別	No.	試験杭 No.	ひびわれモーメント (t・m)			規格値に 対する実測値 の倍率	破壊モーメント (t・m)		規格値に 対する倍率	破壊位置 (mm) (中央より)
			規格値	実測値	ストレインに よる推定値		規格値	実測値		
単 杭 打撃前	1		3.5	4.75	4.5~4.75	1.36	5.25	9.0	1.71	100
	2		〃	4.75	4.5~4.75	1.36	〃	8.7	1.65	100
	3		〃	4.75	4.5~4.75	1.36	〃	9.0	1.71	0
	平均			4.75		1.36		8.9	1.7	
単 杭 打撃後	1	No. 3	3.5	4.6	4.5~4.75	1.31	5.25	9.0	1.71	220
	2	No. 5	〃	4.5	4.5~4.75	1.28	〃	8.95	1.7	100
	3	No. 8	〃	4.25	4.0~4.25	1.21	〃	8.0	1.52	200
	平均			4.45		1.27		8.6	1.64	
縦 杭 打撃前	1		3.5	5.0	4.75~5.00	1.43	5.25	9.7	1.85	495
	2		〃	4.6	4.5~4.75	1.31	〃	9.4	1.79	500
	3		〃	4.75	4.5~4.75	1.36	〃	9.1	1.73	400
	平均			4.78		1.37		9.4	1.79	
縦 杭 打撃後	1	No.11+No. 9	3.5	4.5	4.25~4.5	1.28	5.25	9.45	1.8	500
	2	No. 1+No.10	〃	4.25	4.0~4.25	1.21	〃	9.5	1.81	500
	3	No. 2+No. 4	〃	4.6	4.5~4.75	1.31	〃	9.25	1.76	500
	平均			4.45		1.27		9.4	1.79	



写真 11 PC 鋼材の破断

手部の剛性がきわめて有効に働いているためと思われる。

破壊は写真 11に見られるとおり、PC鋼材の破断によって生じた。これは、JIS A5335 A種の杭であるため、B種あるいはC種に比べて、鉄筋比が小さいためである。

PC鋼材の破断位置はら線筋との溶接部以外がほとんどであり、しかも破断面には明らかに絞りが認められ良好であった。このことはリバーボンの機械的性質はら線筋と溶接しても劣化しないことを実証するものと考えられる。

(2) たわみおよびひずみ測定値

図 15はダイヤルゲージ (1/100mm) で測定した中央点のたわみの平均値を、曲げモーメントに対してプロットしたものである。また曲げひずみと曲げモーメントとの関係を 図 16~19 に示した。

曲げひずみ曲線について、曲げモーメントの規格値 $3.5t \cdot m$ 以下では直線状態で曲げモーメントに比例しており、打撃前と打撃後の杭の間に差は見られない。また直線が $4.0 \sim 5.0t \cdot m$ で乱れているが、この値は目視によってひびわれが発見されたときのひびわれ曲げモーメントの大きさに一致している。したがって、規格値以下では打撃の有

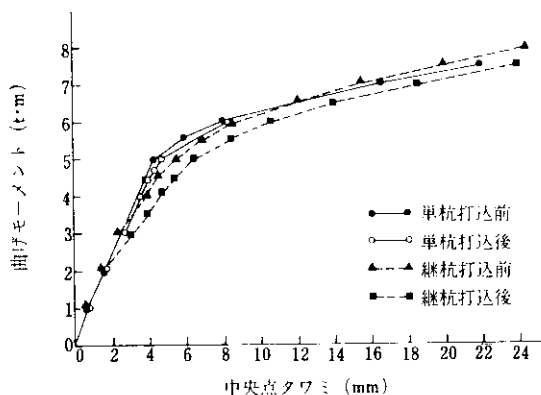


図 15 中央点タワミ曲線の比較

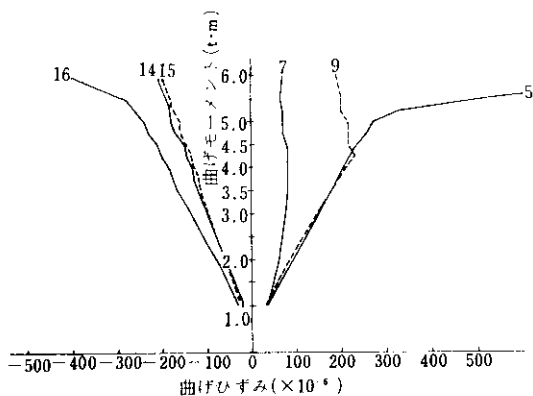


図 18 継杭打撃前の曲げひずみと曲げモーメントとの関係

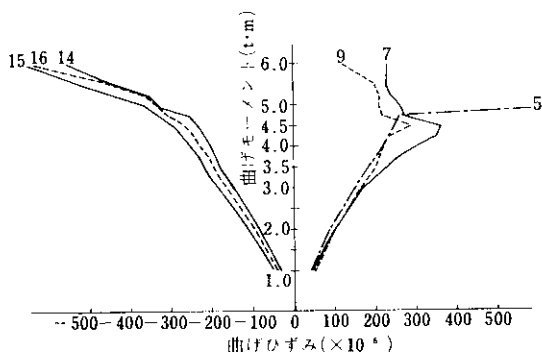


図 16 単杭打撃前の曲げひずみと曲げモーメントとの関係 (番号は測定位置, 図14参照)

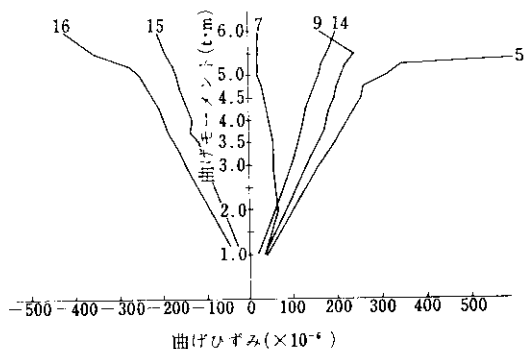


図 19 継杭 (杭 No. 2+No. 4, 打撃回数712+532回) 打撃後の曲げひずみと曲げモーメントとの関係

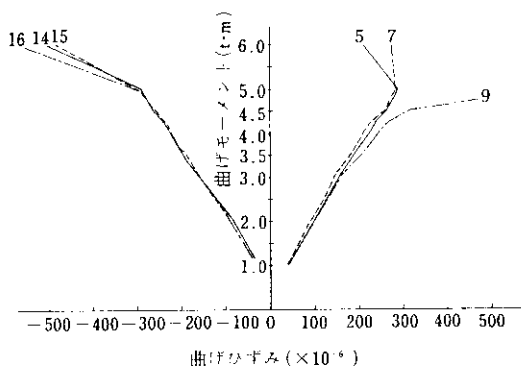


図 17 単杭 (杭 No. 3, 打撃回数523回) 打撃後の曲げひずみと曲げモーメントとの関係

無にかかわらず杭本体にひびわれが発生していないことを示しており、満足すべき結果であると考え

えられる。

打撃後の杭は打撃を与えない杭に比べて、たわみは大きく出る傾向にあり、規格ひびわれモーメント $3.5t \cdot m$ をあたえたときの、中央点のたわみが平均値で単杭は $0.4mm$ 、継杭は $0.7mm$ 大きくなっているが、この程度の差は打撃の有無によるものではなく、他の要因、たとえば、コンクリートの強度、弾性係数、断面寸法、有効プレストレスなどの測定誤差によるものと考えられる。

4.4 カットオフ試験

4.4.1 カットオフ試験

P C 杭の施工に際して、頭部を切断することが

しばしば行われる。切断する前のPC鋼材は杭の端プレートに、ヘッド部が固定されているが、杭の切断後はコンクリートとPC鋼材との間の付着で定着される。したがって、PC杭の頭部を切断したときの、プレストレスの定着長がどの程度であるかをあらかじめ測定しておくことが必要である。これは通常カットオフ試験と呼ばれ、切断後のプレストレスの解放に伴うコンクリート表面の伸びひずみを切断面から一定間隔に長軸方向に測



写真 12 カットオフ試験状況



写真 13 切断後の状況

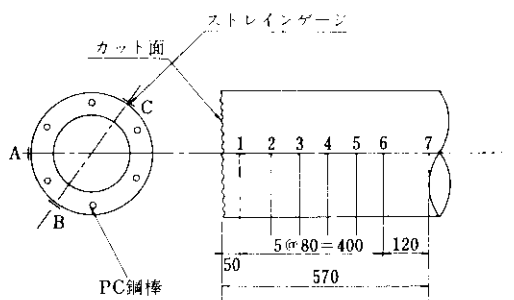


図 20 カットオフ試験ひずみ測定位置

定し、ひずみが生じる長さを定着長とするものである。

本実験においても、プレストレスの定着長を確認するためカットオフ試験を、打撃を与える前と後で実施した。試験体は表 10 に示す切断方法は手ノミを用いてコンクリートをはり(写真 12)、PC鋼材を露出させた後電気サンダーで切断した(写真 13)。ひずみ測定は図 20 に示す位置にワイヤーストレインゲージを貼付け、切断直後と切断後60min経過した場合について行なった。

4.4.2 カットオフ試験結果

カットオフ試験結果を、横軸に切断面からの距離、縦軸に軸方向引張ひずみをとって、各杭別にプロットすると図 21～24 のようになる。

切断部分の有効プレストレス σ_{ce} はカットオフ試験データより次式で計算することができる。

$$\sigma_{ce} = \sigma'_{ce} - \Delta \varepsilon' E_c \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $\sigma'_{ce} = 51.7 \text{ kg/cm}^2$: 有効プレストレス

$\Delta \varepsilon'$: カットオフ試験における引張ひずみ

$E_c = 4.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$: コンクリートの弾性係数

(6)式を用いて、引張ひずみの測定値より切断部分の有効プレストレスを計算すると表 16 のようになる。

表より打撃前における定着長は切断直後で約20cm切断後1hrで約20～25cmまた打撃後においては、切断直後および切断後1hrとも、約20～30cmと判断される。

杭頭部切断にともなうひずみの変化量を打撃前後の供試体について比較すると打撃前、打撃後ともに材端から約15cmの点までは、切断直後の値よりも切断後の値の方が大きくなっているが、全体的にみれば打撃後1hrの値の方が多少大きくなっている。しかし、切断位置より約30cm以上離れた点では、打撃前、打撃後ともひずみはほとんど0になる。

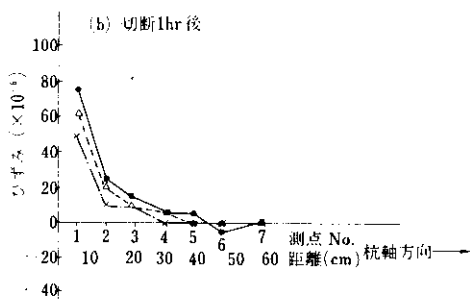
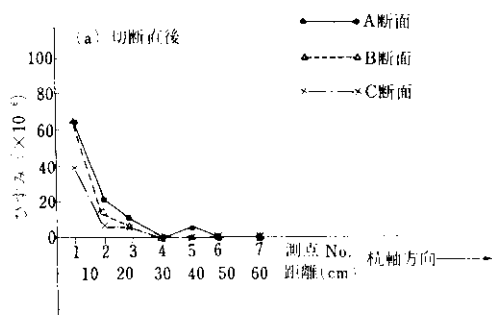


図 21 打撃前単杭のカットオフ試験結果

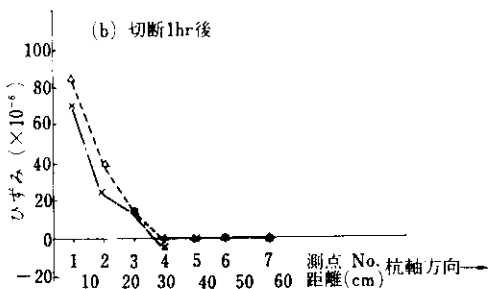
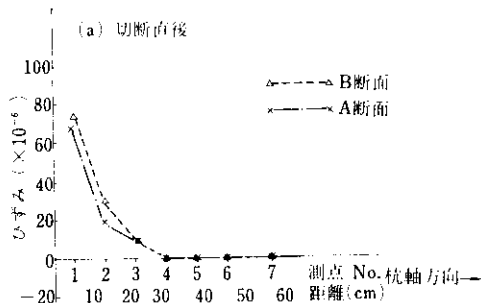


図 22 打撃前継杭のカットオフ試験結果

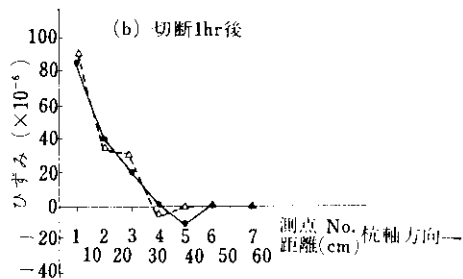
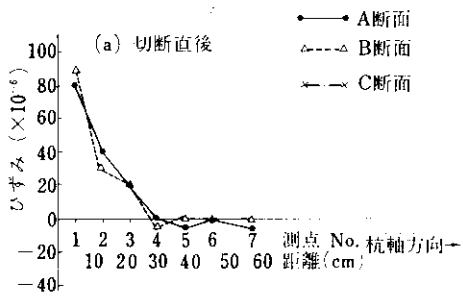


図 23 打撃後単杭 (杭 No. 5 打撃回数517回) のカットオフ試験結果

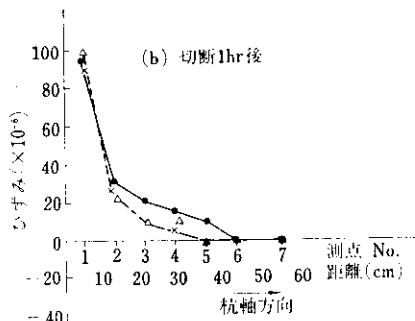
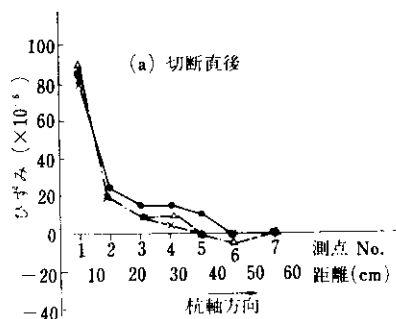


図 24 打撃後継杭 (杭 No. 10 打撃回数523回) のカットオフ試験結果

表 16 カットオフ時のプレストレスの分布（測定値の平均ひずみに対して）

切断面 からの 距離 (cm)	打 込 前				打 込 後			
	測 定 値 ($\times 10^{-6}$)	応力 σ'_c (kg/cm ²)	有効プレス トレス σ_{ce} (kg/cm ²)	σ_{ce}/σ'_{ce} $\times 100$ (%)	測 定 値 ($\times 10^{-6}$)	応力 σ'_c (kg/cm ²)	有効プレス トレス σ_{ce} (kg/cm ²)	σ_{ce}/σ'_{ce} $\times 100$ (%)
5	64.6 (69.7)	25.8 (27.9)	25.9 (23.8)	50.2 (46.0)	84.6 (91.8)	33.8 (36.7)	17.9 (15.0)	34.6 (29.1)
13	19.0 (25.3)	7.6 (10.1)	44.1 (41.6)	85.1 (80.4)	28.4 (31.9)	11.4 (12.8)	40.3 (38.9)	78.0 (75.3)
21	8.4 (15)	3.4 (60)	48.3 (44.7)	93.5 (86.4)	15.9 (17.0)	6.4 (6.8)	45.3 (44.9)	87.8 (86.8)
29	0 (0)	0 (0)	51.7 (51.7)	100 (100)	3 (0)	1.2 (0)	50.5 (51.7)	97.7 (100)
37	2 (2)	(0.8) (0.8)	50.9 (50.9)	98.5 (98.5)	0 (0)	0 (0)	51.7 (51.7)	100 (100)
45	0 (0)	(0) (0)	51.7 (51.7)	100 (100)	0 (0)	0 (0)	51.7 (51.7)	100 (100)
57	2 (3)	(0.8) (1.2)	50.9 (50.5)	98.5 (97.7)	0 (0)	0 (0)	51.7 (51.7)	100 (100)

(注) 1. () 内は切断して1 hr 後の値を示す。

2. 測定値の平均値が負になる場合は0とした。

5. 結 び

PCパイルのプレストレス緊張材として用いられる異形PC鋼棒はすでに、数社によって商品化されているが、今回、リバーボンが新しく開発され

た。このリバーボンをを用いた一連の実験で、鋼材の加工性、溶接性および付着強度などがすぐれていることが立証され、また杭の緊張材として用いられた場合、荷重な打撃を与えた後でも、プレストレスを保持しPC杭の性能を損なうことなく、十分に実用性があることが明らかとなった。