

くい頭部の接合に関する実験について

PCくい技術委員会くい頭部接合方法小委員会

委員長 津野和男

個人委員 宮坂慶男・三浦一郎, 吉成元伸, 阪口理, 富永恵
 法人委員 アサノポール(株), オリエンタルコンクリート(株),
 ゼニスコンクリート工業(株), 大同コンクリート工業(株),
 日本ヒューム管(株), 日本ビー・エス・コンクリート(株),
 東日本コンクリート(株), ビー・エス・コンクリート(株),
 前田製管(株), 日本コンクリート工業(株), 東急コンクリート工業(株) (順不同)

1. まえがき

本報告は、プレストレストコンクリート技術協会に委託された、PCくいに関する研究の内、くい頭接合についての実験研究を昭和45年10月より約1年にわたって行なった結果をとりまとめたものである。

各種構造物の基礎ぐいとしてPCくいを使用する場合、作用水平力に対して、くい頭固定、もしくは自由端として設計する。一般には構造物の水平変位量を少なくし構造物全体の安定度を確保するためくい頭固定として設計する場合が多い。この場合、くい頭と構造物基礎との接合方法としては大別して、くいを一定の長さ埋め込むか、PC鋼材、鉄筋を利用してアンカーするかのいずれかがとられる。また、くいは支持地盤が不整であったりして、所定の長さそう入できず、計画高に合わすため、くい頭を切揃える場合が多く、くい頭のカットオフによる曲げ剛性の低下の問題があり、これに対する補強を考慮する必要が生ずる場合もある。

以上のことから、埋め込み方式に対して、基準供試体を含めて、8供試体、鉄筋、PC鋼材による接合方式にたいして、同じく5供試体を作成し、片持ちばり方式による曲げ試験を行なって、その固定度の差異を調査し、それぞれの方法を接合に用いた場合、設計上、配慮すべき点について考察したものである。

2. 供試体の内容

実験に関する供試体の製作、試験装置等

の設備は、東急コンクリート工業(株)寒川工場において準備し、当工場実験室で試験を実施した。

(1) 供試体の形状

供試体の形状寸法を図-1に示す。また、くいおよびアンカーブロックの配筋は図-2に示すとおりである。

図-1 供試体の形状寸法

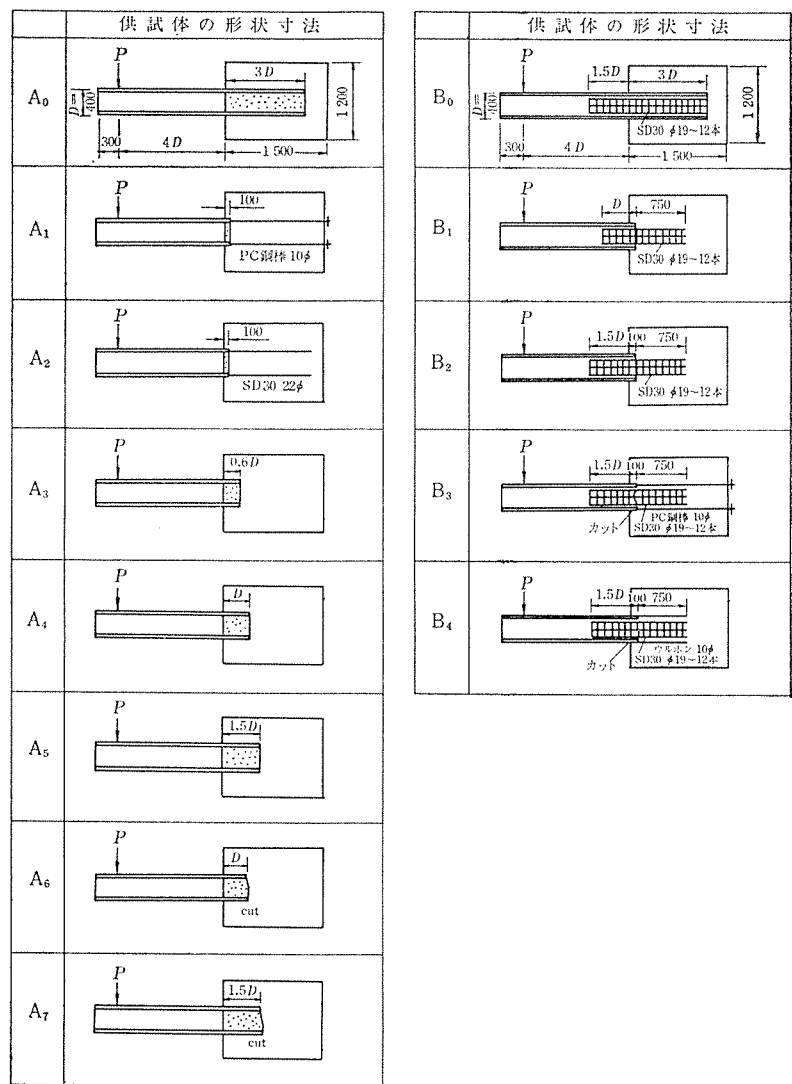


図-2 供試体の配筋図

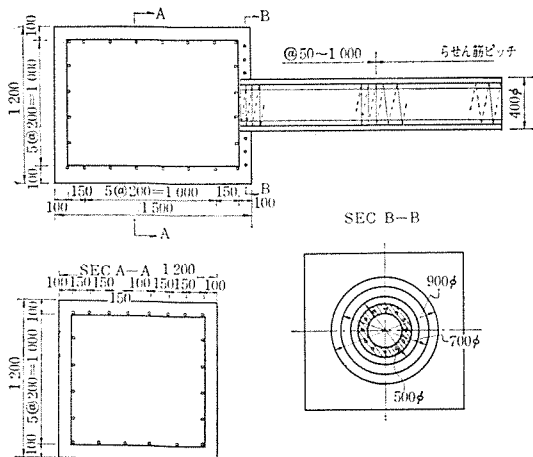


表-1 PC くいの断面諸元

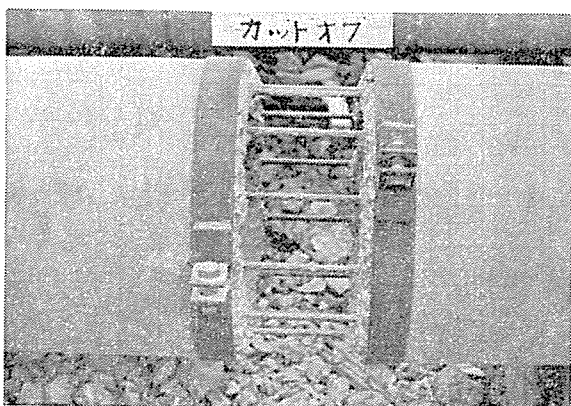
JIS 記号	外径 (mm)	厚さ (mm)	PC 鋼棒 径一本数	有効プレ ストレス (kg/cm ²)	ひびわれ 曲げモー メント (t·m)	破壊曲 げモー メント (t·m)
PR-B 400	400	75	10~12	80	7.5	15.6

供試体の記号は埋込み深さを対称とするものをAシリーズ、くいの中空内部補強を対称とするものをBシリーズとし、添字0,1,2,……7で各供試体を表わす。供試くいの断面諸元を表-1に示めす。

供試体の製作方法としては以下の方法によっている。

a) カットオフの方法 カットオフを要するくいは材令に関係なく製品置場から抜き取ったPR-B 400のくいに写真-1に示めすカットバンド (l=50 mm, t=3.2 mm) をつけてカットオフし4本の供試くいを採取した。

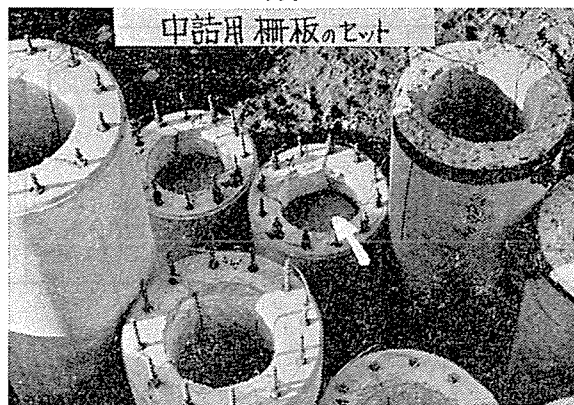
写真-1



また、カットオフを要しないくいについては、1本の型わくで4本または5本取りを行なって製作し、PC鋼棒の固定側にワイヤーストレインゲージを貼り付けて緊張力を確認した。

b) 中詰めコンクリートの打込み方法 中詰めコンクリートは写真-2に示めすように、PCくいを建て込んで中空内部へ柵板(ベニヤ板)を10#鉄線で吊り込み、

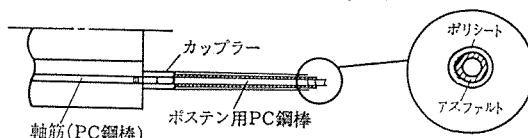
写真-2



突き棒および棒パイプレーターを用いてコンクリートを締め固めた。

c) ポステンアンカー方法 ボンドレス方法としては図-3に示めすように、ポステン用PC鋼棒をアスファルト(商品名、ラストループ 226 T)で覆い、その上

図-3 ポステン方法



からポリシートで巻いてボンドレスにした。また、軸筋との結合はカップラーで行なった。

PC鋼棒の緊張はセンターホールジャッキで2本ずつ6回緊張し、緊張力は軸筋と同量とした。

d) 異形鉄筋の結合 PCくいの軸筋と補強用異形鉄筋との結合は、前記ポステンアンカー方法と同様に異形カップラーを用いて異形鉄筋をカップラーに溶接し軸筋にねじ込んだ。

(2) 材 料

a) PC鋼棒および鉄筋の機械的性質 PC鋼棒を表-2に、また、鉄筋の機械的性質を表-3に示めす。

b) コンクリートの配合と強度 PCくい、アンカーブロックおよび中詰めコンクリートの強度を表-4に示めす。

表-2 PC 鋼棒の機械的性質

JIS 記号	径 (mm)	引張強度 (kg/mm ²)	降伏点強度 (kg/mm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)	伸び (%)
SBPD 130/145	9.2	145	130	2 000 000	5

表-3 鉄筋の機械的性質

JIS 記号	径 (mm)	引張強度 (kg/mm ²)	降伏点強度 (kg/mm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)	伸び (%)	備 考
SD 30	D16	49~63 (50.6)	30 (34)	2 100 000	14 (43)	()内数値は実測値
	D19					
	D22					
	D25					
SR 24	9	39~53	24	2 100 000	20	

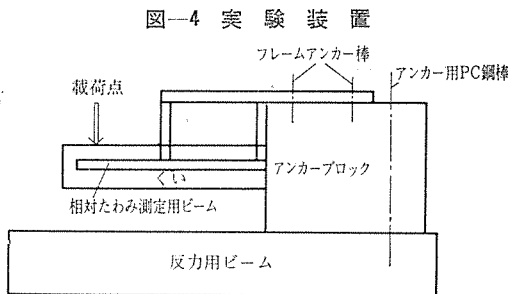
表-4 コンクリートの配合と強度

	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	単位水量 W(kg)	単位セメント量 C(kg)	水・セメント比 W/C(%)	絶対細骨材率 S/A(%)	単位細骨材量 S(kg)	単位粗骨材量 G(kg)		実測強度 σ_{28} (kg/cm ²)	実測弾性係数 E_c (kg/cm ²)
								20~10mm	10~5mm		
くいコンクリート	20	3~6	171	450	38.0	44	794	825	205	606~610	3.7×10^5 $\sim 3.8 \times 10^5$
中詰めコンクリート	20	8	185	328	56.4	43	804	869	216	367	—
アンカーブロックコンクリート	20	8	169	324	52.1	40.9	781	1152		322	2.8×10^5 $\sim 3.6 \times 10^5$

3. 実験方法とその結果

(1) 実験装置

実験装置は図-4に示すように反力用ビーム上に供試体を載せ、P C鋼棒でブロックを反力用ビームにアンカーする。また、荷重は油圧型コンクリートパイプ 100 t 曲げ試験機を用いた。



(2) 荷重方法

曲げ試験は片持ちばり方式とし、アンカーブロックの浮上りをおさえるためにP C鋼棒(φ32)で反力用ビームにブロックを固定した。

図-5 荷重段階

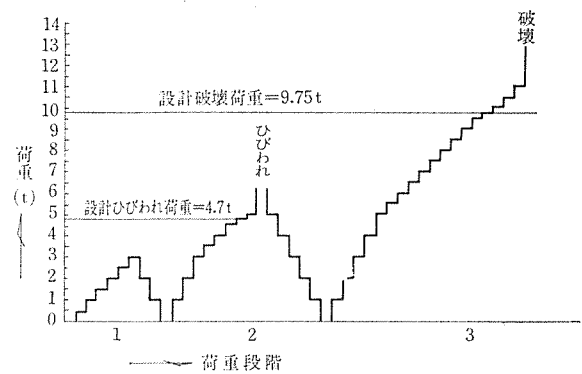


表-5 結果一覧表

記号	供試体形状	くいコンクリート		ブロックコンクリート		中詰めコンクリート圧縮 σ_{sc} (kg/cm ²)	ひびわれモーメント M_{cr} (t·m)	ひびわれ時最大たわみ σ (mm)	ひびわれ時回転角 θ (rad)	破壊モーメント M_u (t·m)	荷重100時たわみ δ (mm)	荷重100時回転角 θ (rad)	ひびわれおよび破壊状況	備考
		圧縮 σ_{sc} (kg/cm ²)	圧縮(達心) σ_{sc} (kg/cm ²)	圧縮 σ_{sc} (kg/cm ²)	引張(割裂) σ_{st} (kg/cm ²)									
A ₀		610	596	328	26.1	367 (32.2)	9.82 (1.37)	2.728 (2.030)	0.00113 (0.00094)	19.33 (1.24)	10.598	0.00480 (0.00504)		ブロックひびわれ: 11.0時
A ₁		606	596	328	26.1	367 (32.2)	9.14 (1.22)	3.217 (2.010)	0.00074 ()	18.50 (1.19)	14.682	0.00617 ()		本筋PC棒P=6.4t/本 ブロックひびわれ: 11.5時
A ₂		610	596	316	29.4	367 (32.2)	8.45 (1.13)	3.495 (2.637)	0.00121 (0.00025)	18.93 (1.21)	12.925	0.00126 (0.00171)		アンカー棒 SD30 φ25 n=12 l=25 ブロック異状なし
A ₃		606	596	316	29.4	367 (32.2)	9.59 (1.28)	2.878 ()	()	17.39 (1.11)	12.175	()		ブロックひびわれ: 10.4時
A ₄		606	596	376	—	367 (32.2)	10.00 (1.33)	2.730 (1.990)	0.00150 (0.00042)	18.96 (1.22)	12.890	0.00586 (0.00689)		ブロック異状なし
A ₅		610	596	376	—	367 (32.2)	10.65 (1.42)	3.065 (1.993)	0.00153 (0.00065)	18.83 (1.21)	11.450	0.00507 (0.00340)		ブロック異状なし
A ₆		688	—	304	—	367 (32.2)	9.72 (1.30)	3.020 (1.910)	0.00163 (0.00056)	18.03 (1.16)	11.783	0.00125 (0.00232)		ブロック異状なし
A ₇		688	—	304	—	367 (32.2)	8.54 (1.14)	2.663 (1.943)	0.00113 (0.00032)	18.85 (1.21)	11.753	0.00084 (0.00201)		ブロック異状なし
B ₀		610	596	312	—	460 (28.1)	10.03 (1.33)	2.965 (1.775)	0.00200 (0.00033)	22.58 (1.45)	6.535	0.00120 (0.00147)		ブロック異状なし
B ₁		606	596	312	—	460 (28.1)	8.29 (1.11)	5.510 (3.350)	0.00500 (0.00175)	19.22 (1.23)	13.115	0.0082 (0.00431)		ブロックひびわれ: 11.6時
B ₂		606	596	332	—	460 (28.1)	10.06 (1.34)	3.705 (2.708)	0.00650 (0.00197)	21.53 (1.38)	8.870	0.00830 (0.00338)		ブロックひびわれ: 11.0時
B ₃		688	—	332	—	460 (28.1)	7.66 (1.02)	1.668 (1.668)	0.00060 (0.00029)	22.89 (1.53)	6.960	-0.00370 (0.00072)		ブロック異状なし
B ₄		688	—	332	—	460 (28.1)	8.59 (1.20)	3.593 (2.353)	0.00200 ()	22.70 (1.16)	9.320	0.00400 ()		ブロックひびわれ

注1 ()内数値は規格値に対する比 $M_{cr,0}=7.5t \cdot m$ 、 $M_{u,0}=15.6t \cdot m$
 注2 < >内数値は引張割裂強度
 注3 []内数値は設計ひびわれ(4.7t)時である
 注4 { }内数値はアームによる回転角である

注5 たわみ、回転角、測定位置
 注6 ※印は荷重6t時とする

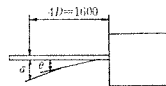


図-6 荷重—たわみ曲線 (各 Type の最大たわみ比較) 荷重階 3

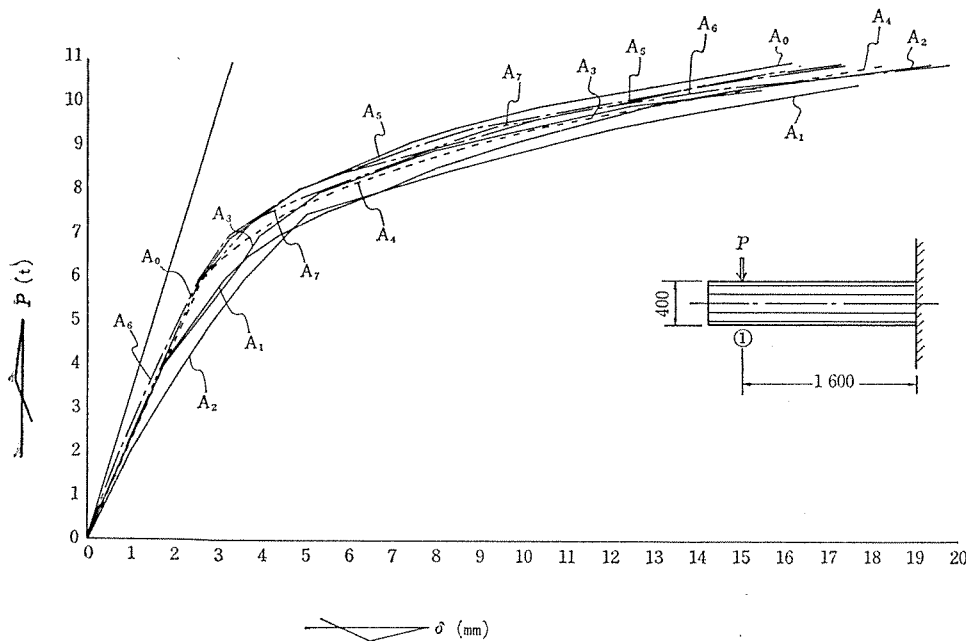
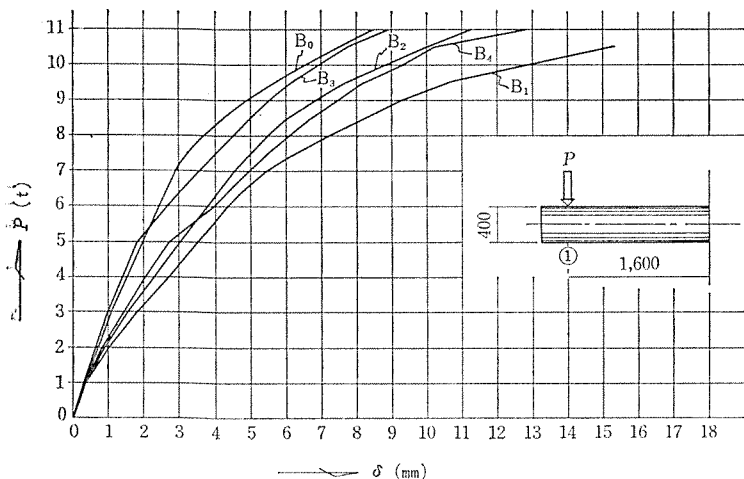


図-7 荷重—たわみ曲線 (各 Type の最大たわみ比較)



(3) 荷 重

荷重は静荷重で図-5に示めすサイクル荷重とした。

(4) 実験結果

実験結果を表-5に、また、載荷点のたわみを図-6、7に、アンカーブロック内のリング鉄筋のひずみを図-8に示めす。

4. 実験の解析

(1) 固定度の有意差の検定

求めた固定度を有するくい頭部が図-9のように水平力 H を受けるとき、次の3ケースについてくい頭部水平変位およびモーメント分布にどの程度差が生じるか計算して検討資料をつくる。

① くい頭完全固定

- ② くい頭完全ピン
- ③ くい頭弾塑性固定 (実験より求めた固定度を用いる)

(2) 実験データの整理方針

実測したたわみを図-10のように分類する。

(3) くい頭部の考え方
くい頭部接合固定度を構造的に把握することを第一目的とする。したがって、接合部を図-11のような水平(または垂直)および回転方向の弾塑性を有する(ピン)と仮定し、その弾塑性ばね定数を接合部仕様に対して比較する。埋込み

ブロック内の応力、ひずみ状態を考慮して、弾塑性ばね定数を解析的に求めることは必要に応じて次の段階で行なう。

(4) ばね定数の出し方

1) 理論計算のたわみ量をモールの定理によって算出する(図-12)。

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI} \left(1 - \frac{3x}{2l} + \frac{x^3}{2l^3} \right)$$

2) 実測たわみ量 (δ_1) と理論たわみ量 (δ) との差を求める(図-13)。

3) δ を各荷重ごとに測定位置でプロットする(図-14)。

これによって回転角 (θ) を計算する。

$\theta_1 \dots \theta_n$; 固定端水平変位を含めた回転角

$\theta_{f1} \dots \theta_{fn}$; 固定端水平変位を除いた回転角

4) 回転角と荷重よりばね定数を求める(図-15)

5) ばね定数を用いた固定度の計算方法

くいを弾性床の上のはりとして

$$y = e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \dots \dots \dots (1)$$

境界条件 $x=0$ のとき、

$$EIy''' = H \dots \dots \dots (2)$$

$$EIy'' = -M = K\theta \dots \dots \dots (3)$$

式(2), (3)によって定数 C, D を求め式(1)に代入すると

$$y = \frac{1}{2\beta^2 EI} e^{-\beta x} \left[\left(\frac{H}{\beta} + K\theta \right) \cos \beta x - K\theta \sin \beta x \right]$$

$x=0$ のとき $y=y_0$ とすると、

$$y_0 = \frac{1}{2\beta^3 EI} [H + K\theta\beta]$$

図-8 リング筋のひずみ分布

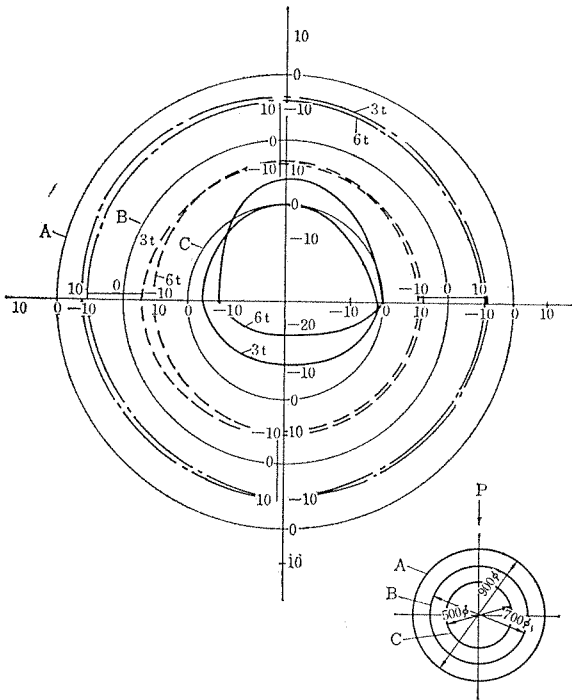


図-9

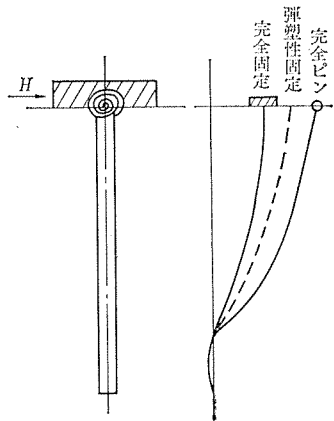
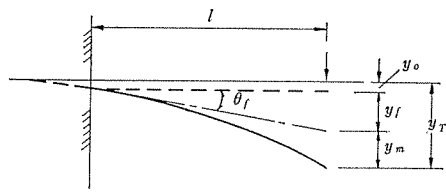


図-10



y_T : 載荷点相対たわみ
 y_f : 固定度に関するたわみ

図-11

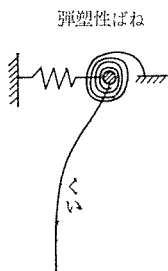


図-12

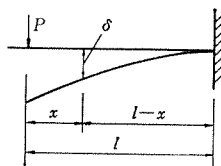


図-13

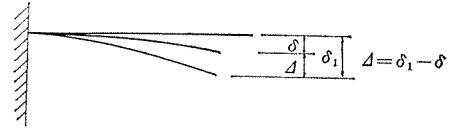


図-14

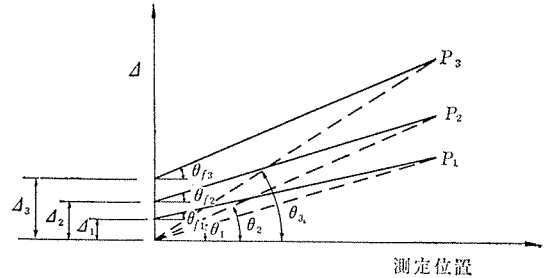
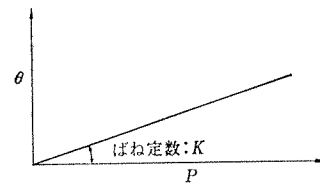


図-15



ピンの場合 $K=0$ $y_{0(0)} = H/2 \beta^3 EI$

完全固定の場合 $y_{0(\infty)} = H/4 \beta^3 EI$

故に

$$\text{固定度} = \frac{y_0}{y_{0(\infty)}} = \frac{2}{H} (H + K \theta \beta) = \frac{2 \beta + K/EI}{\beta + K/EI}$$

6) くい頭部接合固定度の具体的評価方法は、載荷点の相対たわみ y_T から接合部水平変位 y_0 、部材の弾塑性たわみ y_m を差引いた残り $y_f = y_T - y_0 - y_m$ だけ部材が接合部を中心として剛体回転したものとして、この回転角 θ_f を計算してばね定数を求める。

(5) 解析結果

前記の解析方法に従って計算すると表-6、図-16, 17の結果を得た。

4. 考察

1) 弾性範囲内で論ずると、Aシリーズ、Bシリーズの各供試体とも大差ないと思われるが、しいていえばBシリーズ（内部補強によるもの）の固定度が低い。

2) 実際設計に対して水平変位量は上部構造物に加えられるものであるが、本実験においてその影響はごくわずかで無視できると思われる。

3) 各供試体の固定度を考えると、完全固定との比は1.05~1.20 となり、実際設計に対しては、Y.L. Changの式 $\delta = \beta H / KD$ 、 $M = H/2 \beta$ に完全固定との比を乗ずるか、あるいは除した式として用いれば実際の設計に適用できると思われる。

なお、これについて数値計算を行なってみる。

表-6 回転ばね定数による固定度比較

(1) 水平変位を含めた場合

注：() 内数値は完全固定に対する比

記号	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4
$0.1 \leq k < 2.0$	1.0 (1.059)	0.988 (1.047)	1.055 (1.118)	0.999 (1.058)	0.984 (1.042)	0.995 (1.054)	0.999 (1.059)	1.006 (1.066)	1.0 (1.047)	1.157 (1.211)	1.126 (1.178)	0.983 (1.029)	1.067 (1.117)
$2.0 \leq k \leq 4.0$	1.0 (1.086)	0.984 (1.068)	1.074 (1.166)	0.998 (1.084)	0.977 (1.061)	0.994 (1.079)	0.999 (1.085)	1.008 (1.095)	1.0 (1.068)	1.203 (1.285)	1.165 (1.244)	0.976 (1.043)	1.091 (1.165)

(2) 水平変位を除いた場合

記号	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4
$0.1 \leq k < 2.0$	1.0 (1.055)	0.990 (1.045)	1.058 (1.116)	1.003 (1.058)	0.983 (1.038)	0.994 (1.049)	0.997 (1.052)	1.008 (1.064)	1.0 (1.040)	1.075 (1.118)	1.089 (1.133)	0.987 (1.026)	1.066 (1.109)
$2.0 \leq k \leq 4.0$	1.0 (1.077)	0.990 (1.066)	1.074 (1.157)	1.007 (1.084)	0.978 (1.053)	0.993 (1.069)	0.998 (1.075)	1.007 (1.084)	1.0 (1.059)	1.102 (1.167)	1.121 (1.187)	0.981 (1.039)	1.091 (1.155)

おな、この場合ひびわれ曲げモーメント ($M=7.5 \text{ tm}$) 時を採用した。

図-16 荷重一回転角曲線 ($K_\theta + K_d$)

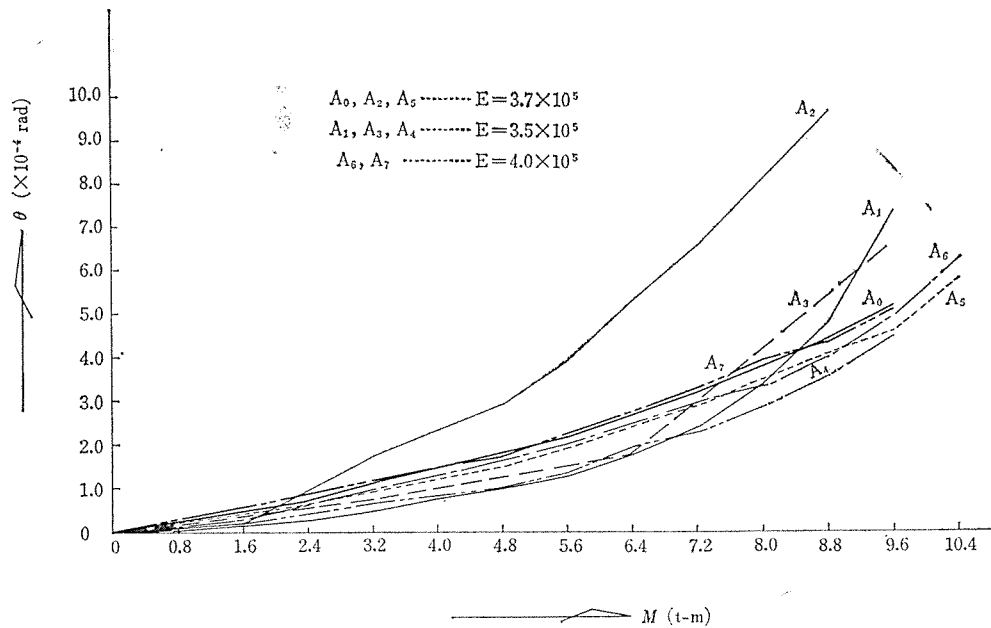
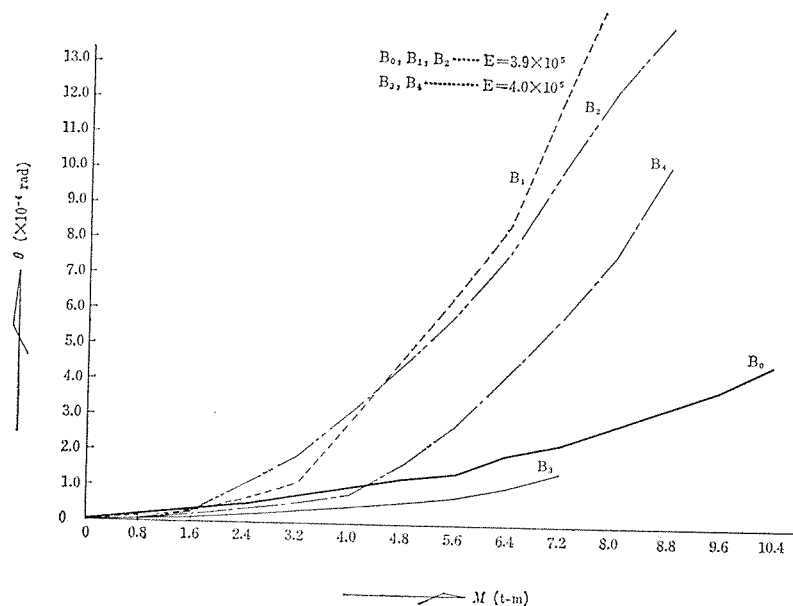


図-17 荷重一回転角曲線 ($K_\theta + K_d$)



① 荷重条件

$$V=30 \text{ t}, H=6 \text{ t} (H=k_H \times V=0.2 \times 30=6 \text{ t})$$

$$D=400 \text{ mm B種}$$

$$K=1.0 \text{ kg/cm}^3 \therefore \beta=\sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}}=0.385 \text{ m}^{-1}$$

② くい頭完全固定の場合

$$M_0=0.5 H/\beta=0.5 \times 6/0.385=7.80 \text{ tm}$$

$$M_m=-0.2079 M_0=-0.2079 \times 7.80=-1.62 \text{ tm}$$

$$\delta=\frac{\beta H}{KD}=\frac{0.385 \times 10^{-2} \times 6 \times 10^3}{1 \times 40}=0.58 \text{ cm}$$

$$l_m=\frac{\pi}{2\beta}=\frac{\pi}{2 \times 0.385}=4.07 \text{ m}$$

$$l=\frac{3\pi}{4\beta}=\frac{3\pi}{4 \times 0.385}=6.10 \text{ m}$$

$$L=\frac{\pi}{\beta}=\frac{\pi}{0.385}=8.14 \text{ m}$$

③ くい頭完全ピンの場合

$$M_0=0$$

$$M_m=-0.3224 H/\beta=-0.3224 \times 6/0.385=-5.03 \text{ tm}$$

$$\delta=\frac{2\beta H}{KD}=\frac{2 \times 0.385 \times 10^{-2} \times 6 \times 10^3}{1 \times 40}=1.15 \text{ cm}$$

$$l_m=\frac{\pi}{4\beta}=\frac{\pi}{4 \times 0.385}=2.04 \text{ m}$$

$$l=\frac{\pi}{2\beta}=\frac{\pi}{2 \times 0.385}=4.07 \text{ m}$$

$$L=\frac{3\pi}{4\beta}=\frac{3\pi}{4 \times 0.385}=6.10 \text{ m}$$

④ くい頭弾塑性固定の場合

この場合供試体を A₁系 (プレストレスアンカー; A₁, B₃), A₂系 (鉄筋アンカー; A₂, B₁, B₂, B₄), A₃系 (頭部埋込みアンカー; A₃, A₄, A₅, A₆, A₇) に区別し, A₁系, A₃系の固定度はほぼ 100% と考えられる。また, A₂系は 90% で, 固定度は 10% 低下する。したがって, A₂系で計算する。

$$M_0=0.9 \times 0.5 H/\beta=0.9 \times 0.5 \times 6/0.385=7.03 \text{ tm}$$

$$M_m=-0.2079 M_0=-0.2079 \times 7.03=-1.46 \text{ tm}$$

$$\delta=\frac{1.1\beta H}{KD}=\frac{1.1 \times 0.385 \times 10^{-2} \times 6 \times 10^3}{1 \times 40}=0.635 \text{ cm}$$

$$l_m=\frac{\pi}{2\beta}=\frac{\pi}{2 \times 0.385}=4.07 \text{ m}$$

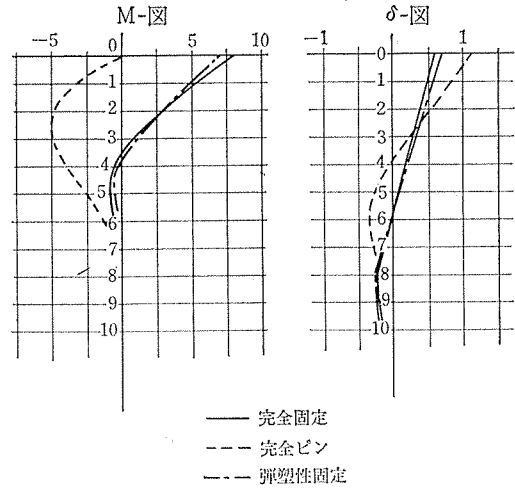
$$l=\frac{3\pi}{4\beta}=\frac{3\pi}{4 \times 0.385}=6.10 \text{ m}$$

$$L=\frac{\pi}{\beta}=\frac{\pi}{0.385}=8.14 \text{ m}$$

上記計算を作図すると 図-18 のとおりである。

4) 今後の問題点として

図-18



今回は弾性範囲内の解析を行なったもので, 塑性範囲内の解析を行ない, 破壊耐力との相関関係を追跡する必要はある。Bシリーズに関しては, 中詰めコンクリートの剛性の影響も考慮して解析したい。

5. あとがき

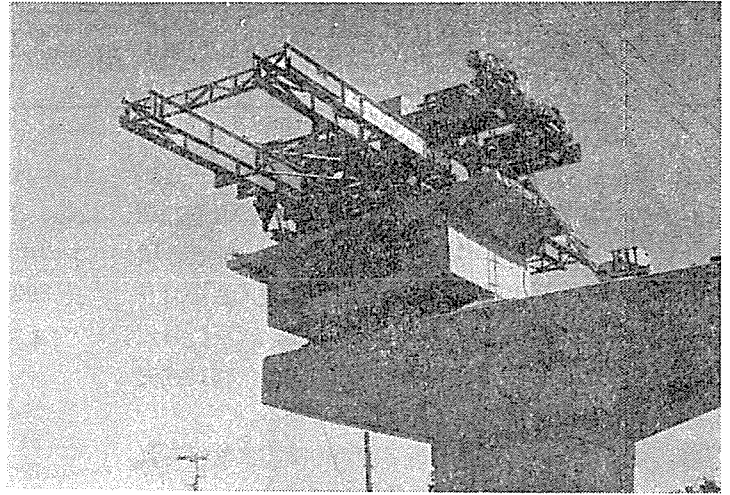
以上, くい頭接合に関する実験研究について報告したが, 今回の試験に用いた方法では, いずれの場合でも, くい固定度に対する影響は, 最も不完全固定と見なされるものでも 10% 程度の減少と考えられる。実験解析の手法として, 弾性範囲内に対して比較考察したが, 今後さらに破壊耐力までの解析を行なう必要があるが, 実際の設計, 施工にあたって考慮しなければならない問題点については今回の実験により十分成果が得られていると思われる。

くい頭接合にあたって, 固定条件を満足させようとして, くいを埋め込む場合には, 構造物基礎の鉄筋を切断し, くい周辺に格子状に鉄筋を追加して補強しなければならない。通常, 固定度が問題となるのは, 地震荷重用時であるが, このようなまれにしか作用しない場合に着目して完全を期すると, 常時の長期持続荷重に対しては基礎構造物としての耐荷力に問題が生ずることもあり得る。10 cm 程埋込み鉄筋で補強する方法では, 常時の持続荷重に対しては問題が生じないが, その方法によっては, 地震時の曲げに対する固定度, 水平変位量が多少影響が生ずることになる。いずれの形式を選ぶかは, 適用する構造物全体の機能, 荷重の作用状態によって判断すべきであろう。

本研究に際しては, 実験の実施に御協力をいただいた東急コンクリート工業 (株) ほか諸会社に謝意を表すとともに, 御多忙の中を研究, 解析, 報告書のとりまとめに尽力いただいた委員各位に対して厚く御礼申し上げる次第である。

1971. 12. 6 受付

PC架設機 の 設計・製作



プレキャストブロック架設機
(首都高速3号線)

三信工業株式会社

東京都千代田区神田錦町1-4 (滝本ビル5階)

TEL (294) 5131・5132

PAT No. 467154
532873

LPPセンターホール
ジャッキ

PC同時緊張機
PAT No. 569584

PC・各工法用ジャッキ・ポンプ・油圧機器・試験機

OX山本扛重機株式会社

東京都中央区新富町二丁目八番地
TEL 東京 (551) 局 2115~9