

PC くい技術委員会パイルベント小委員会活動報告(その 1)

委員長

鈴木俊男(東京都)

個人委員

青木重雄(東京都), 浅間達雄(建設省), 猪股俊司(日本構造橋梁), 市川紀一(道路公団), 岡田清(京大), 岡山義人(建設省), 小沢義昌(東急コンクリート工業), 栗林栄一(建設省), 駒田敬一(建設省), 玉野治光(首都公団), 津野和男(首都公団), 星野満(建設省), 松本嘉司(東大), 宮坂慶男(国鉄), 六車 熙(京大), 山木崇史(建設省), 吉田 巖(本四公団)

法人委員

関西コンクリート(株), 久保田コンクリート(株), セキサシ工業(株), ゼニス菱光コンクリート工業(株), 高砂コンクリート工業(株), 大日コンクリート工業(株), 東急コンクリート工業(株), 日本ヒューム管(株), 日本高圧コンクリート(株), 東日本コンクリート(株), ピー・エス・コンクリート(株), 富士ピー・エス・コンクリート(株), 前田製管(株)

1. ま え が き

近年, 土木および建築構造物に使用する材料や構築法などが著しく発達して, その規模はますます大型化する傾向にあり, その結果として必然的に基礎構造に大きな支持力を求めるようになってきている。そのため従前の基礎工法では考えられなかったような深層の良質な支持地盤に, 基礎構造物を到達させなければ構造物全体を安全に支持させる目的を達成することができなくなってきた。このようなことから建設工事における基礎工法のなかで, 特に杭基礎が設計・施工ともにめざましい進歩を続け, より大径の, より長尺の基礎杭を効率のよい工法によって施工することにより, 上部構造から要求される支持力や変位などの諸問題を解決してきた。

このような情勢下において, 当然のことながらPC杭の需要が大幅にのびてきており, さらにユーザーの期待にこたえるべくPC杭の設計・施工などについての技術向上を図るため, 昭和44年8月プレストレストコンクリート技術協会にPCくい技術委員会(猪股俊司委員長)が設立され, 本委員会の下に杭の設計方法, 杭打ち施工およびパイルベントの3小委員会が発足した。

パイルベント小委員会(鈴木俊男委員長)は47年12月18日に第1回の委員会を開催し, 今後の研究課題および運営方法などについて討議を行った。以後今日まで小委員会を10回開催している。小委員会活動の目的として, パイルベント構造は従前から小橋梁の橋台・橋脚や港湾の棧橋式岸壁などに多く利用されているが, PC

杭の持つ材料的あるいは構造的性能が多分にパイルベント構造に適していることに着目して, その設計上および施工上の諸問題を解決し, できれば標準設計例集の作成までと考えている。なお小委員会を対象とするPC杭は $\phi 800 \sim \phi 1200$ である。

本報告は, 今日までのパイルベント小委員会の活動内容を中間報告としてその一部を紹介するものである。

2. パイルベント構造に関する研究テーマ

PC杭がパイルベント構造に利用してメリットがあることは従前から知られていたが, 諸外国では大規模な海上構造物(橋梁)に多く使われている。パイルベントは, 基礎杭と脚柱(立ち上り躯体)とを一体として施工することができるから, 基礎工事の工費の経済化や工期の短縮化などに大いに貢献する。特に河川や海をまたぐ橋梁においては, 仮締切りを設けて躯体のフーチングを築造する必要がないので, パイルベントは工法上からみれば好ましい構造といえよう。反面, わが国では構造物に対する地震の影響を考慮しなければならないから, 地震時における全体構造系の安全を検討する必要があり, パイルベントのように比較的スレンダーな構造物の挙動を解明しなければならない。

パイルベント小委員会では, PC杭を使用したパイルベント構造について設計・施工および製作上の諸問題を小委員会のメンバーよりアンケート方式により提起して貰った。その主なものを以下に列記する。

1) 橋梁構造物全体系としての再検討

- 2) PC杭本体のねじり抵抗
- 3) まくらばりおよび地中ばり（繋ぎばりを含む）の効用
- 4) 地震時水平力によるパイルベントの挙動
- 5) 水上（海洋を含む）での施工法
- 6) その他

これらのアンケート内容を検討の結果、まずPC杭本体のねじり抵抗を実験により確認するため、昭和48年度の主な事業として、「PC杭のねじり実験とその解析」を取り上げ報告書としてまとめた（本誌別稿を参照されたい）。次に橋梁のような構造物ではパイルベントの可撓性を利用して単純桁であっても両端をヒンジ結合とした方が地震時には有利となるので、その場合、常時の温度変化による桁の伸縮がPC杭本体にどのような影響を

与えるかを理論的に追究している。またパイルベント形式であるから、杭本体には軸圧縮力と同時に曲げの影響が作用する。軸力を一定として曲げモーメントを増加させると、杭のたわみは次第に大きくなる。このような状態でのPC部材のバックリングについて、プレストレス量との関係を解明すべく検討を進めている。さらに標準設計の初歩的段階として、実在する橋梁について設計上の問題点（修正震度法の採用、常時と地震時の杭の自由長など）について解析を行っている。今後も前向きにパイルベント構造の問題点に取り組み、解明したものについては順次本誌を通じて報告したいと思っている。

最後にお願として、PC杭を使用したパイルベント構造の設計上あるいは施工上の問題点について御意見をお持ちの方は当委員会まで御一報頂ければ幸いである。

PC杭のねじり耐力に関する実験

PC くい技術委員会パイルベント小委員会

1. ま え が き

PC杭を利用したパイルベント橋脚に対して、地震時水平力が作用するとその方向によってはPC杭にねじりモーメントが生ずる場合がある。本報告はJISに規定されているPC杭を対象とし、そのねじり耐力を実験によって求めて計算値と対比し考察したものであり、今後ねじりの影響を考慮する場合のねじり破壊に対する安全度の検討方法や計算に用いる材料の力学的諸数値を決定するための参考資料とするものである。

2. 実験の内容

(1) 供 試 体

供試体はJIS A 5335 プレテンション方式遠心カプ

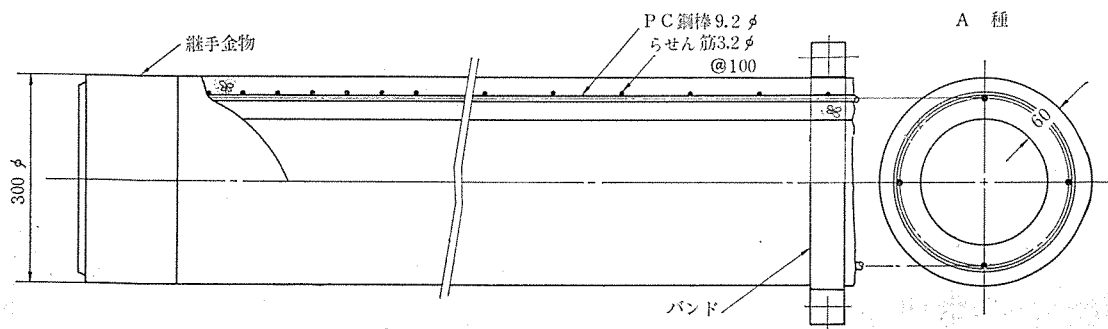
レストレストコンクリート杭より、径300 A種を使用した。形状寸法、材料は次のおとりである（図—1 参照）。

- 供試体
- 1) 300φ×2700 厚さ 60 mm 2本
 - 2) 有効プレストレス $\sigma_{pe} \approx 40 \text{ kg/cm}^2$
 - 3) 使用PC鋼棒 4@9.2φ
(鉄筋比 $p=0.00563$)
 - 4) らせん鉄筋 3.2φ 100 mm pitch

供試体製作時に測定した同種のコンクリートに対する遠心力供試体圧縮強度、その他諸数値は表—1に示すとおりである。

これより、せん断弾性係数 G は次のようになる。

- 1) $E=3.5 \times 10^5$, $\mu=0.22$ (実験値より)
 $G=E/2(1+\mu)=1.43 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- 2) $E=4.0 \times 10^5$, $\mu=0.2$ (指針等によって一般に使



図—1 PC パイル

用される値)

$$G = 1.67 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 試験方法

載荷装置は都立大学村田研究室の純ねじり載荷試験装置を使用した。図-2 に示すように供試体の支持点は正方形断面であるため、供試体は中心間隔 2.00 m の箇所それぞれ 400×400 の鉄筋コンクリートによる端部補強を行っている。補強としては P C 杭を鋼製バンド (Fl. bar 3.2×50) の内面にエポキシ樹脂を塗布して締付け、ジベルには Pl. 50×6×50 を

表-1 コンクリートの力学的諸数値

遠心供試体圧縮強度, 弾性係数およびポアソン比 (φ200×300×50)			標準供試体圧縮強度および引張強度 (φ100×200)			
No.	圧縮強度 (kg/cm ²)	弾性係数 $\sigma_a/3$ (kg/cm ² 10 ⁵)	ポアソン比	No.	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)
1	637	3.46	0.23	1	572	43.9
2	629	3.55	0.21	2	578	43.6
3	627	3.55	0.22	3	601	45.4
平均	631	3.52	0.22	平均	584	44.3

溶接している。

供試体端部補強の詳細を 図-3 および 写真-1 に示

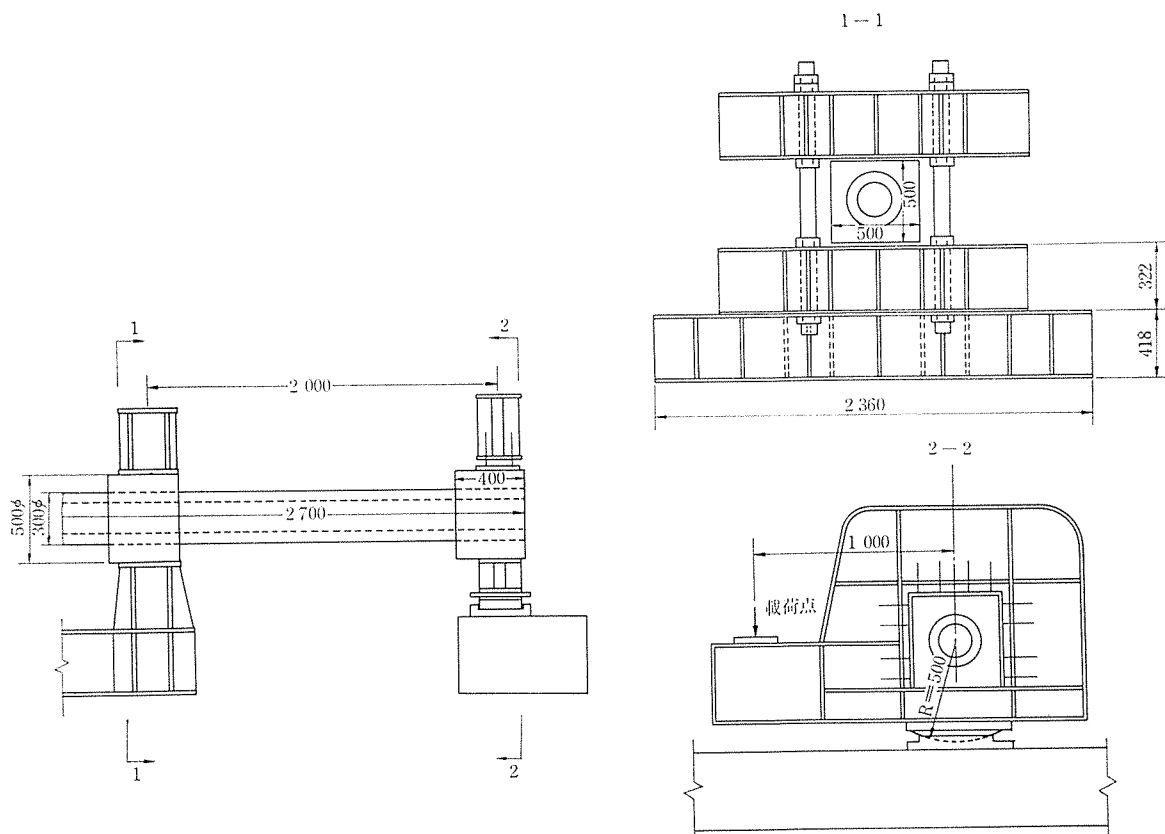


図-2 載荷装置

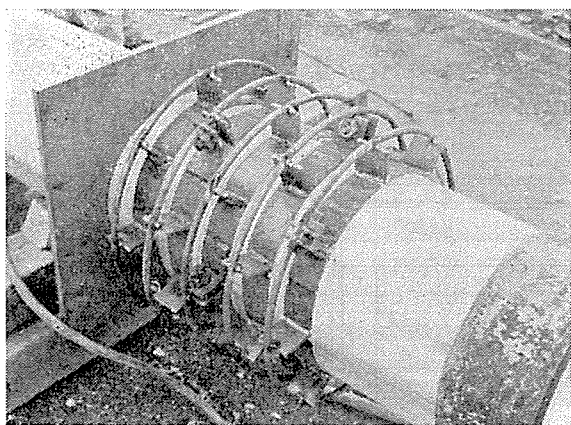


写真-1 端部補強

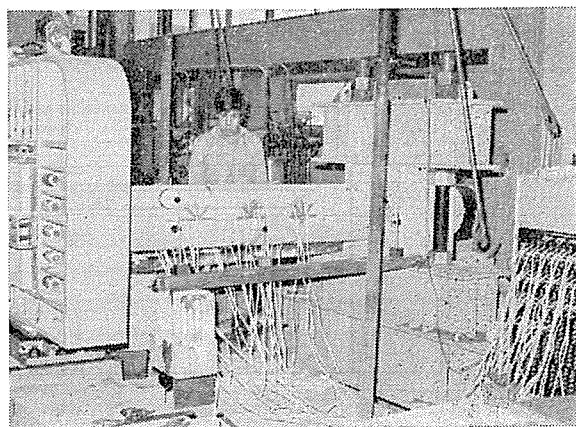


写真-2 載荷試験状況

す。

測定項目としては、次のとおりである。

- 1) ひびわれ発生荷重
- 2) 破壊荷重
- 3) ねじれ回転角
- 4) コンクリートひずみ
- 5) ひびわれ幅

供試体は 300φ×6.00 m の PC 杭を中央で切断して、2本製作し、それぞれにワイヤストレーンゲージ（ゲージ長 60 mm）を1か所3枚、3方向に貼り付けた。

ゲージ取付配置図を 図-4 に示す。

なお、ダイヤルゲージ（ストローク=30 mm）は表裏各3か所計6か所である。

荷重階としては、

- 1) 供試体 A-1 に対しては、らせん鉄筋とひびわれ発生方向になるよう载荷した。

0 t → 0.5 → 1.0 → 1.5 → 2.0 → 2.4 → 1.7 → 0

- 2) 供試体 A-2 に対してはらせん鉄筋とひびわれ発生方向とが交差する方向に载荷した。

0 t → 0.5 → 1.0 → 0.2 t pitch → 2.6 → 1.8 → 0

荷重のチェックには 30 t ロードセルを用いている。载荷試験状況を 写真-2 に示す。

3. 試験結果と計算値

(1) ひびわれ発生および破壊について

ひびわれ分布図を 図-5 (a), (b)、ひびわれ発生状況を 写真-3, 4、ねじりモーメント M_t -ひずみ ϵ 関係図を 図-6 (a), (b) に示す。

図-5 から見られるように、ひびわれは A-1, A-2

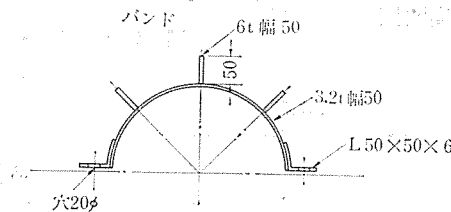
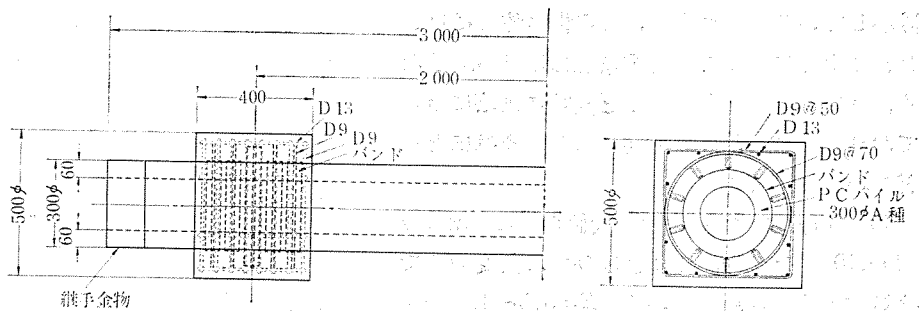


図-3 供試体端部補強詳細図

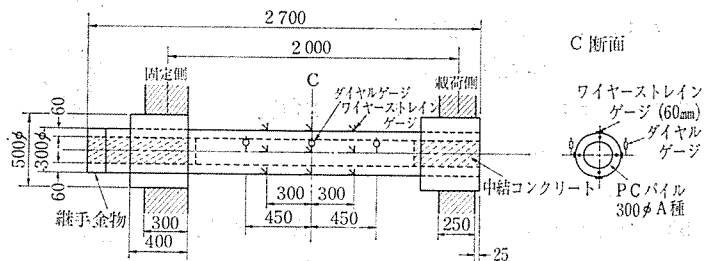


図-4 ゲージ取付位置図

供試体とも1本のひびわれ発生のみで破壊に至っており、ひびわれ角度 γ は A-1 で $\gamma \approx 30^\circ$ A-2 で $\gamma \approx 35^\circ$ 程度である。また、破壊と見なされる荷重状態でのひびわれ幅は、A-1 の場合で荷重 2.4 t、ひびわれ幅 0.35、A-2 の場合で荷重 2.8 t、ひびわれ幅 0.4 程度であった。

図-7 は、それぞれの供試体の中央断面の 45° 方向に貼ったワイヤストレーンゲージの測定値を示している。荷重の増加につれてひずみは直線にのび A-1 では 2.0 t、A-2 では 2.6 t でひびわれが発生し、急激にひずみが

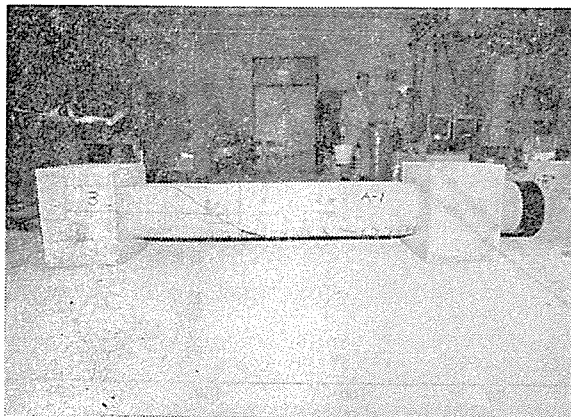


写真-3 A-1 供試体ひびわれ状況

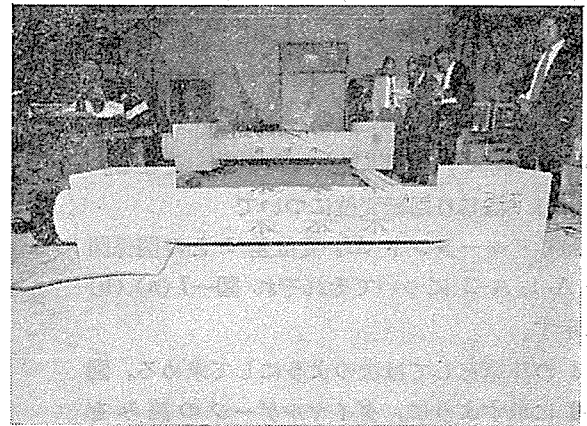


写真-4 A-2 供試体ひびわれ状況

減少している。これより、この供試体ではひびわれ発生と破壊までの荷重増加はほとんどなく、ひびわれ発生とほとんど同時に破壊に至っており、らせん鉄筋の方向による差異はほとんどないといってよい。

45° 方向のひずみ ϵ の最大値の平均は $\epsilon = 140 \times 10^{-6}$ であり、これをひびわれ角度 30° で換算すると $\epsilon = 165 \times 10^{-6}$ 、 $E = 3.5 \sim 4.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とすると、この供試体の引張強度 σ_t は $\sigma_t = 41 \sim 47 \text{ kg/cm}^2$ 程度となり表-1 の実験値とよく一致していることが分る。

a) ひびわれ角度の計算

$\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{pe} = 40 \text{ kg/cm}^2$ とすると

$$\sigma_t + \sigma_{pe}/2 = \sqrt{(\sigma_{pe}/2)^2 + \tau_t^2} \text{ より}$$

$$\tau_t = 56.8 \text{ kg/cm}^2$$

τ_t : ねじりせん断応力度

$$\tan 2\gamma = 2\tau_t/\sigma_{pe} \text{ より}$$

ただし、 γ : 主応力の部材軸となす角度

$$\tan 2\gamma = 2 \times 56.8/40 = 2.85$$

$$\gamma = 35^\circ \text{ となる。}$$

b) ひびわれ発生モーメントの計算 無筋

コンクリートの弾性理論によるひびわれ発生モーメント M_{tco} は

$$M_{tco} = \pi(d^4 - d_1^4) \cdot \tau / 16d$$

$d = 30 \text{ cm}$, $d_1 = 18 \text{ cm}$ ($t = 6 \text{ cm}$), $\tau = \sigma_{ck}/12 = 42 \text{ kg/cm}^2$ とすると、

$$M_{tco} = 1.92 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

PC部材の純ねじり強度をひびわれ発生強度とすると部材のひびわれ発生モーメント M_{tcr} は Cowan の式より

$$M_{tcr} = M_{tco} \sqrt{1 + \sigma_{pe}/\sigma_t}$$

$\sigma_{pe} = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$ とすれば

$$M_{tcr} = 1.92 \times 10^5 \sqrt{1 + 40/40} = 2.7 \text{ t} \cdot \text{m}$$

となる。なお、表-1 の実験値より $\sigma_t = 44.3 \text{ kg/cm}^2$ では、同様にして、

$$M_{tcr} = 2.6 \text{ t} \cdot \text{m}$$

また、前述の $\tau_t = 56.8 \text{ kg/cm}^2$ を τ とし M_{tco} に代入すれば $M_{tcr} = 2.6 \text{ t} \cdot \text{m}$ となる。

(2) ねじり回転変位について

ねじりモーメント M_t -変位差 δ との関係図を A-1, A-2 についてそれぞれ 図-7 (a), (b) に示す。

δ の計算としては次のようにして求める。図-8 に示すように、ダイヤルゲージの読みを ω , 回転角を θ とすれば、

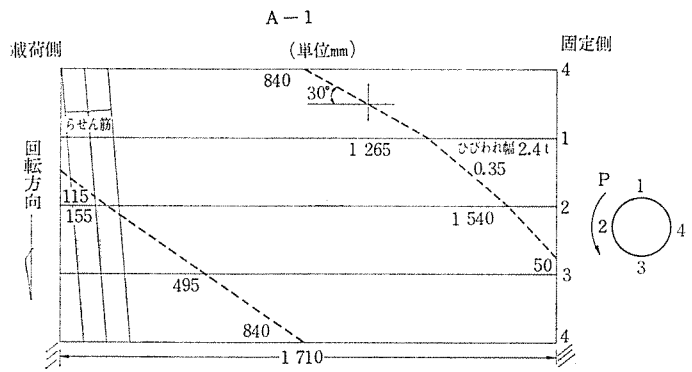


図-5 (a) ひびわれ分布図

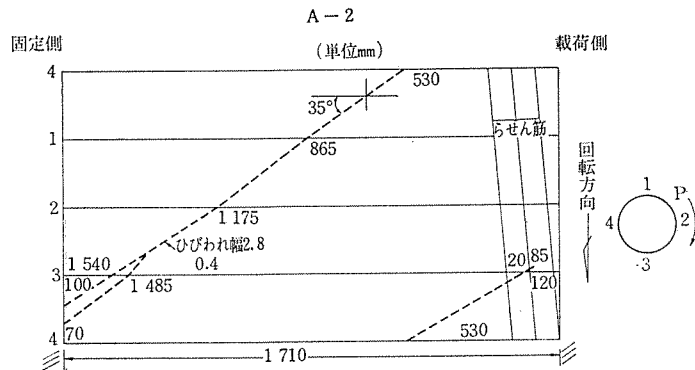


図-5 (b) ひびわれ分布図

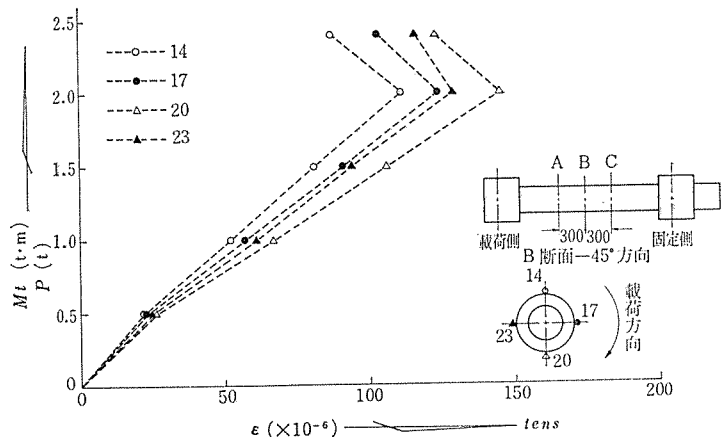


図-6 (a) ねじりモーメント M_t -ひずみ ϵ 関係図 (供試体 No. A-1)

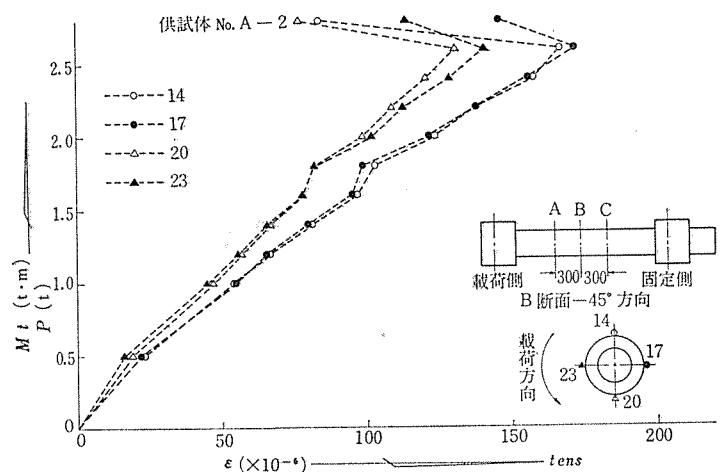


図-6 (b) ねじりモーメント M_t -ひずみ ϵ 関係図 (供試体 No. A-2)

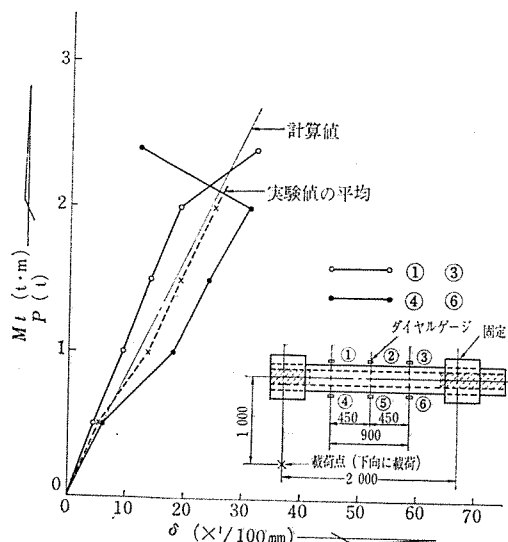


図-7 (a) 供試体 No. A-1

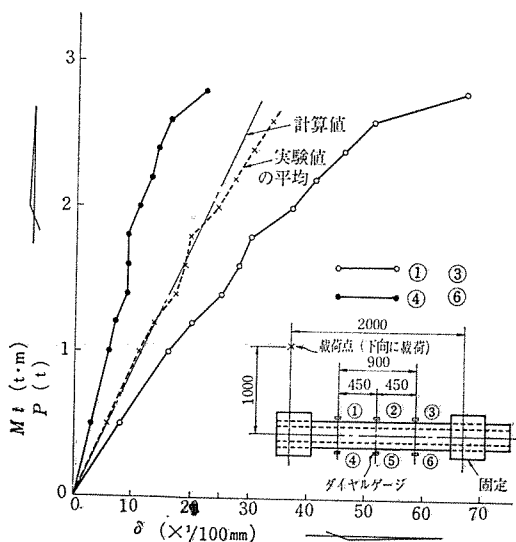


図-7 (b) 供試体 No. A-2

$$\omega_1 = b\theta_1, \quad \omega_2 = b\theta_2$$

$$\theta_1 = \omega_1/b, \quad \theta_2 = \omega_2/b$$

$$\varphi = (\theta_1 - \theta_2)/l = (\omega_1 - \omega_2)/lb \text{ から}$$

$$\delta = lb\varphi = \omega_1 - \omega_2$$

これが、図-7 の横座標となっている。計算値としては、

$$\varphi = M_t / G \cdot I_p = \frac{32}{\pi(d^4 - d_1^4)} M_t$$

$G = 1.43 \times 10^5$ とすると

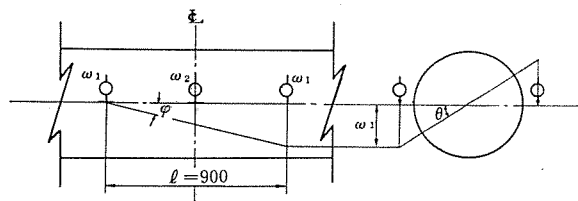


図-8

$$\varphi = 0.432 \times 10^{-9} \cdot M_t \text{ (rad)}$$

$M_t = 2.7 \text{ t}\cdot\text{m}$ では

$$\delta = \omega_1 - \omega_2 = l \cdot b \cdot \varphi$$

$$= 90 \times 30 \times 0.432 \times 10^{-9} \times 2.7 \times 10^5$$

$$= 31.5 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

であり、図-7 に示すように、実測値の平均と計算とはよく一致していることがわかる。

4. ま と め

本実験の結果から次のようなことがい得る。

- 1) JIS に規定されるPC杭では、ねじり耐力を算定する計算式としては弾性理論によって求めてよい。
- 2) 計算に用いる諸数値としては、次の値を用いてよい。

$$\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2, \quad E = 4.0 \times 10^5,$$

$$\mu = 0.2 \text{ (ポアソン比)}, \quad \sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$$

- 3) 破壊は、ひびわれ発生後、急激におこるため、安全度を検討するさいには、適切な材料、荷重に対する安全係数を考慮する必要がある。

- 4) JIS に規定されるPC杭を橋脚に利用する場合、過大なねじり作用を受けることが予想されるときは充分その構造系全体に対し検討する必要がある。

以上であるが、PC杭に対するねじり耐力の増強方法、ねじり作用をさけるための構造系への配慮等が今後の課題として残されている。

本報告をまとめるにあたって、御指導を頂いた都立大村田教授、供試体製作および実験に御協力を賜った、東急コンクリート工業(株)、日本ヒューム管(株)に謝意を表する次第である。

[津野和男・記]

1974.7.18・受付