

プレテンションド・コンクリートパイルに関する実験的研究

橋 本 敏 秀*

EXPERIMENTAL STUDIES ON STRENGTH OF PRETENTIONED CONCRETE PILES

Toshihide HASHIMOTO

The test pile was driven in through a hard soil layer to the hard bottom.

The test pile was 350 mm diameter, 10 m length, with 14 pretensioned steel bars each 7 mm diameter. Under driving in maximum compressive stress was recorded 385kg/cm^2 at 4.8m depth from the ground surface, and maximum tensile stress was measured 44.4kg/cm^2 at the same depth.

The test pile had not been cracked in the course of the driving test.

As the result of this experiment, we consider as follows:

1. Pretentioned concrete piles show higher bearing value than ordinary reinforced concrete piles, especially for tensile stress under driving.

2. Tensile stress, often rising under incidental eccentric driving, may increase when the pile should be driven in through a certain hard layer.

3. A certain reflecting waves of stress may sometime be represented as tensile stress, when piles are driven not only in a weak stratum but in a hard layer.

Another experiment was the bending tests using a loading apparatus; the test piles were 350mm prestress piles, strengthened with pretentioned steel bars.

One test pile was single 10m length, another was 8m and 2m length connected pile.

Their deflection was compared under the same bending moment.

The connected pile, welded each other on their fixed steel cap-plates, showed approximately equal deflection to the single pile.

1. 富山市における打込試験

A. 試験の目的

硬い地層を貫通して杭を打込むときの、杭に生ずる応力の状態をしらべ、またそのような地層におけるプレテンションド・パイルの性能をしらべるために試験を行うものである。

B. 試験要領

1. 試験杭の形状および寸法等

プレテンションド・パイル,

外径 350mm, 肉厚 70mm, 杭長 10m,

緊張鋼線 14—7φ,

鋼線の降伏点強度 $10,000\text{kg/cm}^2$,

鋼線 1 本当りプレテンション 2.2 ton,

コンクリート有効プレストレス (推定) 40kg/cm^2 ,

コンクリート強度 $\sigma_{28}=500\text{kg/cm}^2$,

$\sigma_{ct}=50\text{kg/cm}^2$,

コンクリートのヤング係数 $E_c=400,000\text{kg/cm}^2$

* 中部工業大学教授

2. 杭 打 機

ディーゼル・ハンマー K-22

3. 応力測定装置

動歪計およびオシログラフ.

ストレイン・ゲージの位置および番号は 図-1 の通り.

実測波形の高さと歪との関係, および応力の算出は次のように行う.

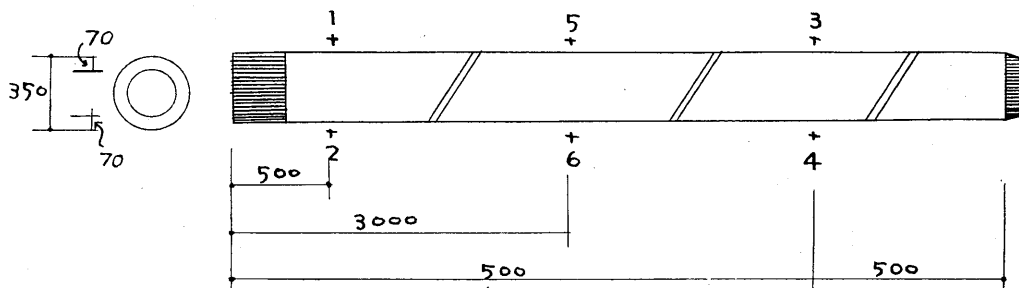
波形高を S としたときに歪度を ε とし, 又そのときの応力度を σ_0 とする.

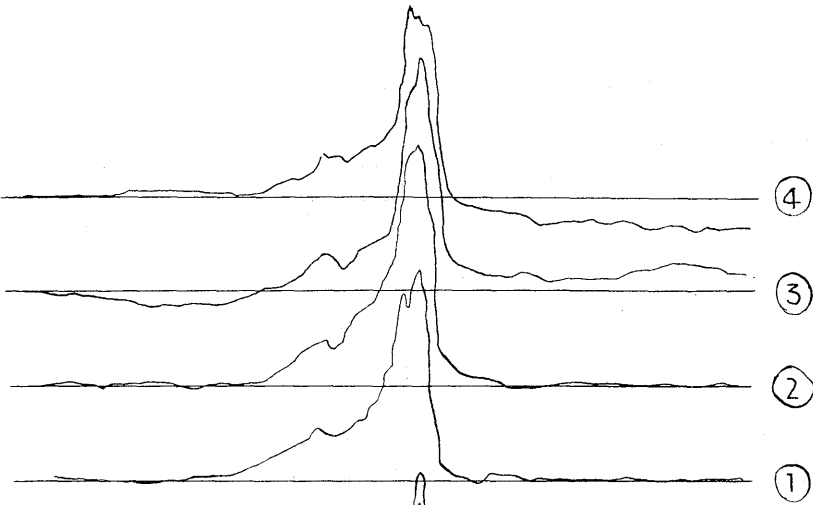
図-1 測点位置および番号

図-2 打込み中の軸応力測定数値 (kg/cm^2)

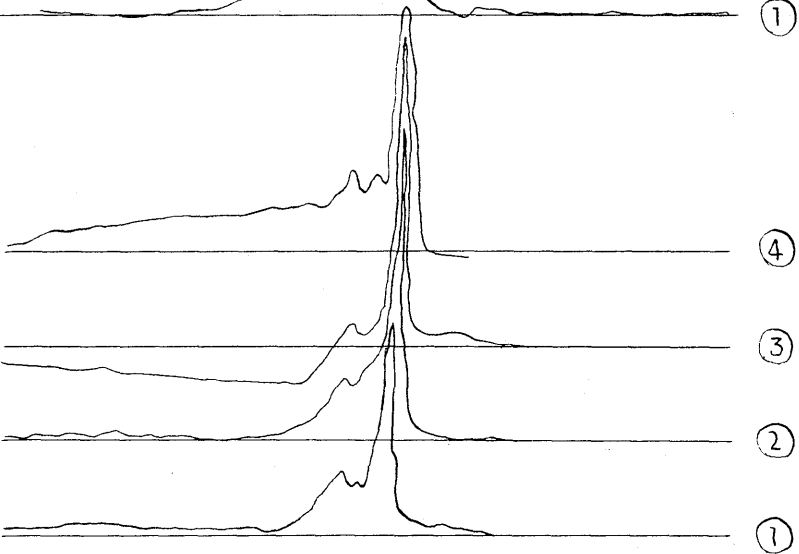
深 さ (m)	回 数 (回目)	測 点 1		測 点 2		測 点 3		測 点 4	
		+	-	+	-	+	-	+	-
2.5	1	146.5		147.5		145.5		160	
	2	169		141		153		153	
3.0	1	249		225		223		227	
	2	249		267		218		231	
3.5	1	262		297		271		284	
	2	289		313		307		289	
4.0	1	271		305		311		298	
	2	258		263		280	16	246	30
4.8	1	271		305		383	44.4	298	
	2	258		263		373	8.9	246	
		測 点 1		測 点 2		測 点 5		測 点 6	
		+	-	+	-	+	-	+	-
6.0	1	232		280		206	13.9	154	
	2	187		213		167	30	114	
6.8	1	—		—		—		—	
	2	205		246		185		114	
8.0	1	160	20	246		—		—	
	2	173		272		—		—	
8.8	1	160		246		—		—	
	2	173		272		—		—	
9.0	1	223		310		—		—	
	2	223		306		—		—	
9.4	1	223		289		—		—	
	2	223		289		—		—	

備考 + 圧縮応力度, - 引張応力度 (kg/cm^2)

(a) 深さ 4.0m
第 2 回測定



(b) 深さ 4.8m
第 1 回測定



(c) 深さ 6.0m
第 2 回測定

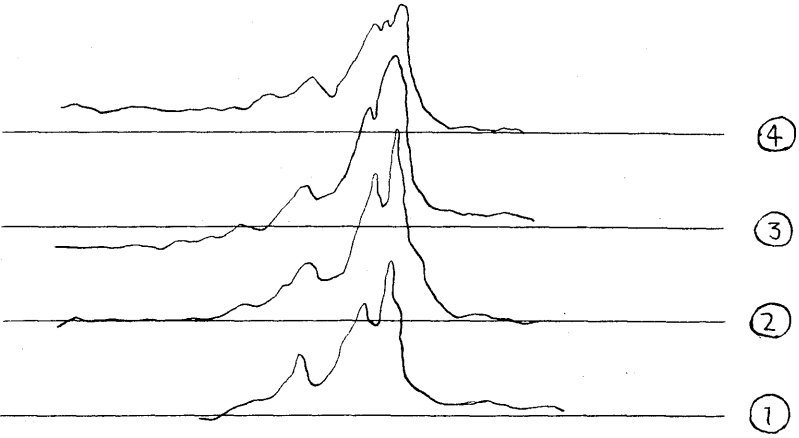


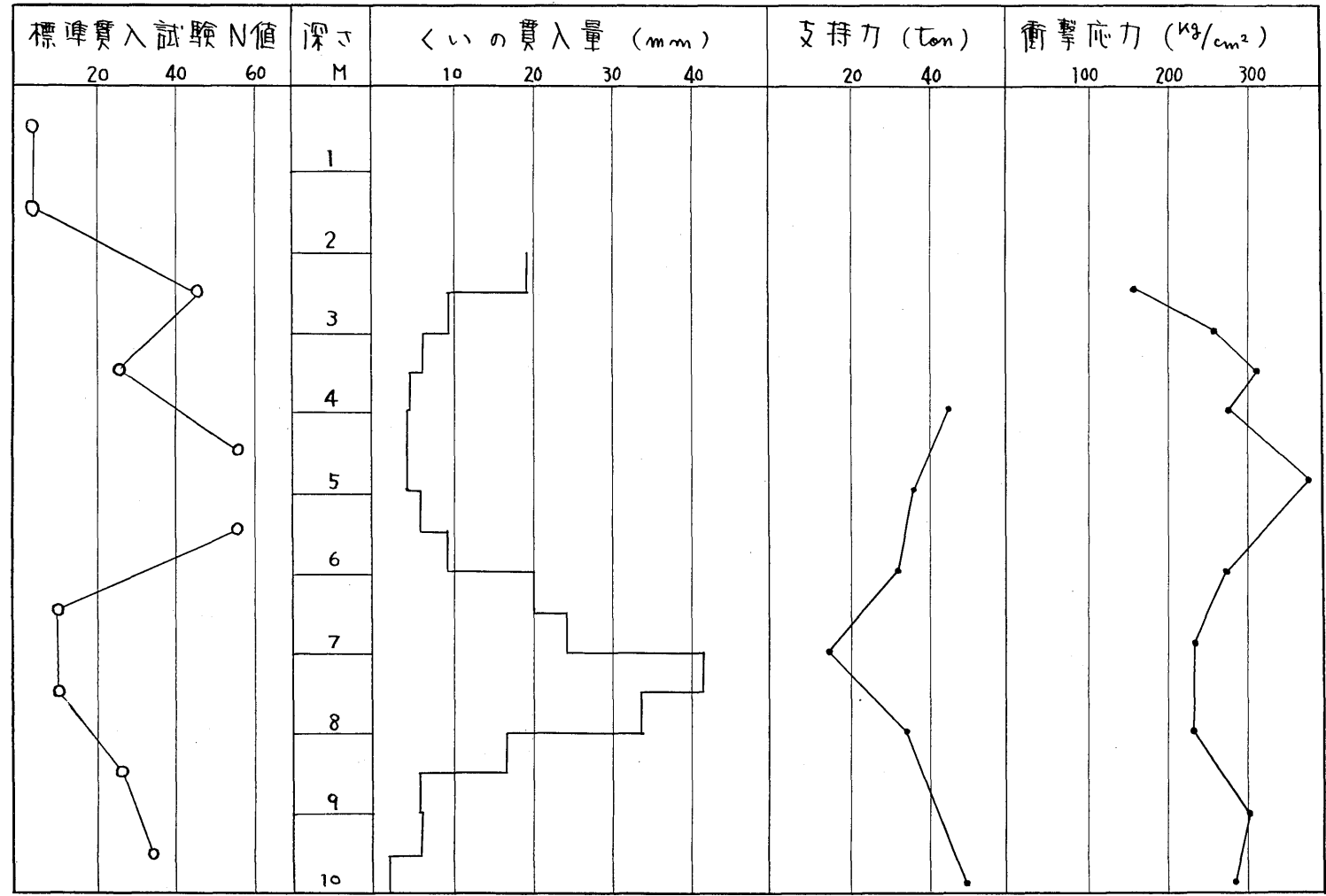
図-3 歪測定波形図

図-4 打込試験総括図

$$\sigma_c = E_c \times \varepsilon,$$

$$\varepsilon = k \times S \quad (k \text{ は比例定数})$$

$$\sigma_c = k' \times S \quad (k' \text{ は比例定数})$$



c. 試験の結果

1. 打込み時における軸応力度

貫入深さ毎に各測点の歪を測定し、これより軸応力度を計算したものを図—2に示す。

またオシログラフによる波形図を記録したものを図—3に示す。

2. くい打公式による支持力

くい打公式として $R = \frac{F}{5S+0.1}$ を用いて許容支持力を計算した。

貫入量、支持力、衝撃応力等を総括してみると図—4のようになる。

3. 最大圧縮応力は、貫入深さ 4.8m のとき測点 3 に生じたもので、 383kg/cm^2 を示している。

また最大引張応力は、同じ深さにおいて同じ測点に生じたもので、 44.4kg/cm^2 を示している。

打撃による貫入量は深さ 4~5m では平均 3.8mm となったが、一つの打撃については 2 mm 内外のものもあった。

c. 試験結果に対する考察

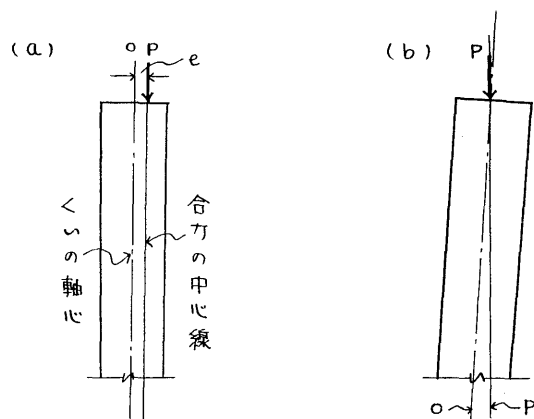
本試験の結果からは、次のような事が推論される。ただし、これらの事項が一般論として条件の異なる場合にも通用するものとは言えない。

1. 杭の打込みに際し、貫入量が小さくなると杭の圧縮応力が大きくなることは知られている事であるが、引張応力もまた大きくなる。

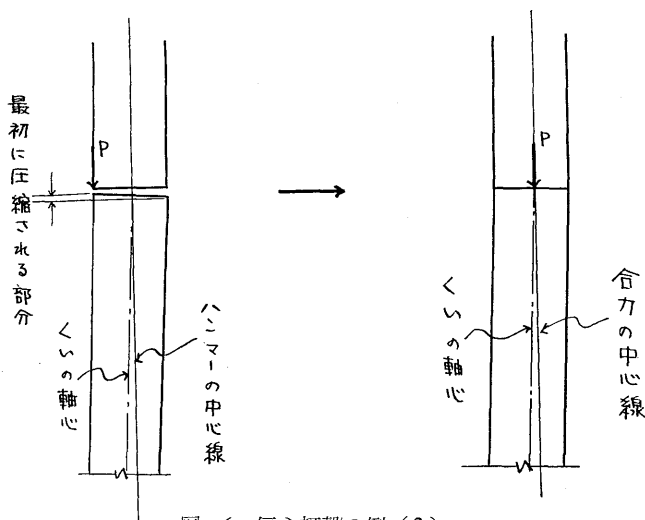
2. 杭の打込みに際し、いわゆる打止り付近まで打つたとき杭に引張応力が生じることは既に知られているが、本試験のように杭の長さ約半分のときに硬い地層に出合う場合には、最大引張応力は杭頭付近とは限らず、地上露出部の下部に生ずることもあり得る。

3. 杭の両側に於て測定応力の差異があるのは、あきらかに打撃の偏心によるものである。

しかし、杭の片側に圧縮——片側に引張——という関係にはなっていない。本試験では、圧縮応力の大きい側に引張応力も大きい。このことは打撃の偏心と言っても、いくつかのタイプがある



図—5 偏心打撃の例 (1)



図—6 偏心打撃の例 (2)

ことを示すものである。通常考えられる、偏心打撃のタイプは次の二つであろう。

a) 打撃による力の合力の中心が、杭の軸心と平行の場合（図-5 参照）

b) 打撃による力の合力の中心が、杭の軸心と平行でない場合（図-5 参照）本試験において最大圧縮応力、最大引張応力を生じたのは、後者の場合であろう。

この場合には、打撃の初期において、最初にハンマーに接触する側が、より強い圧縮を受けるが、杭の全断面がハンマーに接触する時には、曲げモーメントのために引張り応力を生ずる。これを図にあらわせば、図-6 のようになる。

この程度の打撃の偏心は実際の杭打工事には珍らしくない。とすれば、この程度の貫入エネルギーを与えた杭には、おおむねこの程度の圧縮応力、引張応力とも生ずるものとするのが实际的である。

4. 本試験は測点数も測定回数も少いので、はたして真の最大圧縮応力、最大引張応力を測定し得たかどうか疑問の点もあるが、測定数値による最大圧縮応力度 383kg/cm^2 および最大引張応力度 44.4kg/cm^2 について考えてみると、これらは通常の鉄筋コンクリート杭では、おそらくひびわれを生じるはずである。又本試験のように打撃回数の多い場合は、杭頭部の損傷を見ることがよくある。

しかし試験杭は、杭の打込み中、地上部に何等損傷を認められなかった。（地中部は調べておらない。）

この結果から見て、プレストレスの効果について次のように考察される。

a) 最大引張応力の 44.4kg/cm^2 はコンクリートの静力学的引張強度を超えている。にもかかわらずひびわれを生じなかつたのはプレストレスの効果によるものである。

b) 圧縮応力に対しては、プレストレスが働いていることは不利であるとされているが、この試験では普通のコンクリート杭と同等以上の強度を示している。それは衝撃による圧縮強度の低下が、普通のコンクリートよりも少いためである。

II. 鈴鹿市における曲げ試験

A. 試験の目的

熔接継手を用いた継パイルと単体パイルについて、横力をうけた場合のたわみの状態を比較する。

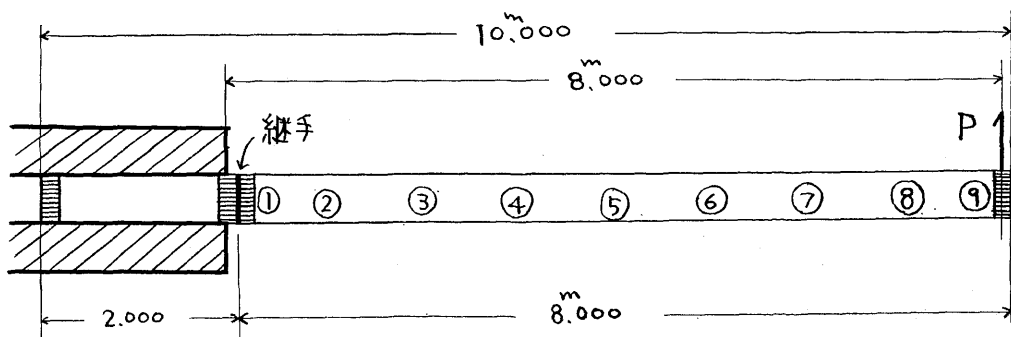


図-7 試験方法および測点位置

B. 試験要領

1. 試験ぐいの形状および寸法

プレテンションド・パイル

外径 350mm, 肉厚 6 mm, 断面積 547cm²

鋼線 8—7φ, らせん筋 3φ

試験ぐいの長さは, 継手のないものは 10m, 継手のあるものは, 8m+2m とした.

2. 外力の加え方

図-7 のように一端を固定し, 他端に外力を加えた. 外力は材軸に直角方向へ引張った.

3. 測定装置

測定 9ヶ所にダイヤルゲージを設置し, その読みにより各測点における試験ぐいのたわみを測定した.

その他, 各測点にストレイン・ゲージを貼りつけ, 静歪計により歪を測定して各測点における応力の推定を行った.

c. 試験の結果

1. 試験によって得た荷重とたわみとの関係は 図-8 の通りである. ここに記録したものは荷重点すなわち測点 9 と, くい材の中央すなわち測点 5 におけるたわみだけであって, 他のものは省略した.

2. また荷重点のたわみをグラフであらわしてみると 図-9 のようになる.

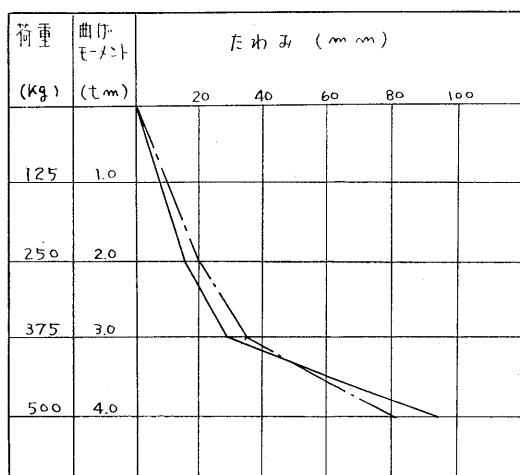
3. $P=375\text{kg}$ まではクラックの発見が認められなかった更に荷重を上げて行ったとき, あまり正確でないが $P=450\text{kg}$ 付近のときクラックの発生が認められた.

このことについては単杭, 継杭ともあまり差はなかった.

5. クラックの生ずる前後における, 応力の分布状態を, 歪計による歪の実測値から推定した.

図-8 荷重とたわみ (mm)

測点 荷重	単 杭		継 杭	
	5	9	5	9
0	0	0	0	0
125	3.1	9.0	3.4	10.0
0	0.3	1.0	0.1	0
250	6.8	17.0	7.9	20.0
0	0.6	1.0	0.9	2.0
375	10.9	29.0	13.4	35.0
0	0.8	1.0	1.0	2.0
500	42.0	96.0	31.0	81.0
0	5.0	10.0	4.0	8.0



—— 単杭
- - - 継杭

図-9 荷重とたわみのグラフ

これを図-10に示す。

PC コンクリートの弾性係数は、圧縮引張ともに $400,000\text{kg/cm}^2$ とした。図-10に示すものは、継杭におけるものである。

D, 試験の結果に対する考察

1. 今回の試験は、単杭、継杭各1本について行ったものであって、その結果から見て数量的な結論を出すことできないが、いくつかの傾向を知るためには参考となるものと思う。

2. 曲げモーメントによるたわめは、単杭の場合と継杭の場合と大差はない。これは継手部分が部分的に変形しない場合には当然のことであろう。溶接継手は今日までに多数の試験を経て、一般的には信頼されているものであるけれども、溶接継手でさえあれば何でもよいと言うわけではないから、その構造と、継手付近の補強方法が適当であるかどうかということをチェックするためにも、実際に使用する以前に実験によって確かめることが望ましい。

3. クラックの発生については、理論的には発生しても、肉眼で発見することが、なかなか困難なものである。しかし、設計において期待したひびわれ抵抗モーメントを持っているか否かを見当はつく。

$$P=375\text{kg} \text{ のとき } M=3,000\text{kg} \cdot \text{m}$$

このときにはクラックが認められていないから実際のひびわれ抵抗モーメントは少くとも $3,000\text{kg} \cdot \text{m}$ はあるものと考えてよい。

この試験杭の設計上の許容抵抗曲げモーメントは $2,500\text{kg} \cdot \text{m}$ であるから、安全率は 1.2 以上であることがわかる。

4. クラックが生ずる以前、すなわち $P=375\text{kg}$, $M=3,000\text{kg} \cdot \text{m}$ のとき、引張側の縁応力度を考えて見よう。

$$\text{断面係数 } Z=3,500(\text{cm}^3)$$

であるから

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{300,000}{3,500} \doteq 85(\text{kg/cm}^2)$$

但しこれは鋼線を見捨てた計算である。

鋼線を含めて考えると次のようになる。

$$A_p = \text{鋼線 8 本の断面積} = 3.00(\text{cm}^2)$$

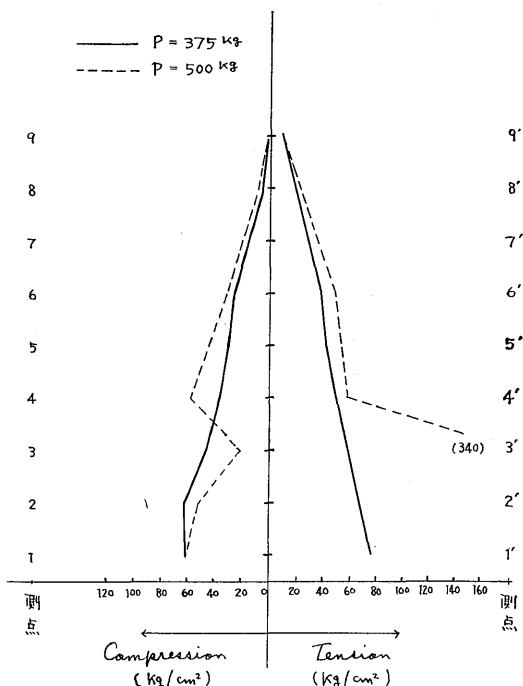


図-10 応力分布状態図

n = 鋼線とコンクリートとの弾性係数比

$$= 15$$

y_p = 断面の図心から鋼線の断面中心までの距離

$$= 15(\text{cm})$$

J_e = 換算断面二次モーメント (cm^4)

I_c = コンクリートの断面二次モーメント (cm^4)

とすると、

$$\begin{aligned} I_e &= I_c + \frac{1}{2} n A_p y_p^2 \\ &= 61,200 + \frac{1}{2} \times 15 \times 3 \times 15^2 \\ &= 61,200 + 5,060 \\ &= 66,260 (\text{cm}^4) \\ \sigma &= \frac{M}{I} y_0 = \frac{300,000}{66,260} \times 175 = 79.2 (\text{kg/cm}^2) \end{aligned}$$

以上でわかる通り鋼線を考慮に入れてもなお縁応力度は 79.2kg/cm^2 である。

普通のコンクリート杭では、コンクリートの引張強度が 40kg/cm^2 程度であるが、この試験杭ではその約 2 倍の引張応力に対してひびわれを生じなかったのはプレストレスの効果によるものである。

昭和40年1月11日受付

中部工業大学紀要第Ⅰ集正誤表

ページ	行	誤	正
目次	1	創刊に寄せて	創刊にあたって
3	2	$K_{d, 2\xi+1}$	$K_{d, 2\xi+1}$
4	24	被る.	ある.
5	6	$\left\{ \sum_{\xi=0}^8 (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2$	$\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2$
5	6	$(k_1 - K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
5	14	$(k_1 - K_{2\xi+1}^2 \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
5	14	$(k_1 - K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
5	26	$(k_1 + K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
6	4	$(k_1 - K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
53	4	PRETENTIONED	PRETENSIONED
53	12	Pretentioned	Pretensioned
53	16	tenscile	tensile
53	19	pretentioned	pretensioned
82	30	中柱と繋ぎ柱	中柱と繋梁
92	18	3 ページ	39 ページ
92	23	1965	1955
目次	10	—集束磁界の影響(その1)	(その1)—集束磁界の影響—