

九州工業大学 正員 渡辺 明
同 正員 出光 隆
同 学生員 〇松本 進

1. はじめに

土木、建築工事量の増大に伴い基礎工法の進展には着しいものがあるが、なかんずくクイ基礎工法の進展には着しいものがある。しかしながら、クイに関してはその支持力機構をはじめとして打込時のヒビワレの問題、その後のネガティブフリクションによるオーバロードの問題など不確定要素が多く、今後の解明が待たれている。本文では、その中で特にクイ打ち時、条件によってはクイ内に引張力が生じ、コンクリートグイにヒビワレを生じる問題を取りあげる。本実験では、塩化ビニール製の簡単な模型パイルを製作し、それに引張力が生じる様に計画し、その歪波形をシンクロスコープで観測し、実験および理論の両面からパイル中に生じる歪波形をしらべようとするものである。以下、その実験内容、結果、理論および若干の考察を述べる。

2. 実験材料、実験器具および実験装置

(1) 実験材料

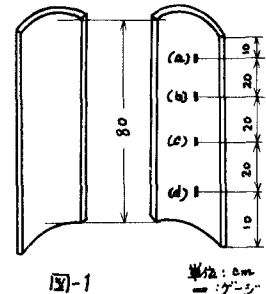
実験に使用した模型パイルは市販されている塩化ビニールパイプを使用し、その形状、寸法を図-1に、物理的性質を表-1に示す。また、実験に使用したクッションは市販のゴムアレットを、サイドフリクション用の材料としては同様にゴムホースを使用した。

表-1 塩化ビニールパイプの物理的性質

弾性係数	径		密度	伝播速度
	外径	内径		
$3.35 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$	2.6 cm	2.0 cm	1.03 g/cm^3	$1.79 \times 10^3 \text{ cm/sec}$

表-2 ゴムアレット・ゴムホースの物理的性質

ゴムアレット			ゴムホース		
径	厚さ	バネ定数	径		バネ定数
			内径	外径	
2.7 cm	0.5 cm	$2.58 \times 10^3 \text{ kg/cm}$	2.6 cm	3.1 cm	66 kg/cm

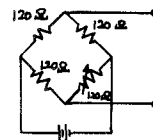


それらの物理的性質を表-2に示す。ゲージは測定の精度を上げるために新興通信製の1.5 mmホールゲージを使用し、中割れにした模型パイルの内側に貼布した。ゲージ貼布位置を図-1に示す。

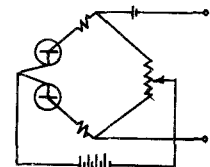
(2) 実験器具

1) ブリッジボックス

この実験では2種類のブリッジボックスが使用され、一方は、ゲージのバランス用に、他方は、シンクロスコープの同期を遅らせるためにフォトランジスターを使用した回路のバランス用である。その各々の回路図を図-2に示す。



(a) ゲージ用



(b) フォトランジスター用

図-2

2) 直流安定化装置

図-2の(b)の電源としては、中央電子工業製の505U安定化直流電源を利用した。

3) 直流増巾器

表-3 直流増巾器の特性

入力インピーダンス	1 MΩ
周波数帯域	DC ~ ±500 kHz (±0.5 dB)
利得	60 dB

測定回路に生じる電圧変化は非常に小さいので、桑野電機製 VZ-908 PREAMPLIFIER を利用した。その主な特性を表-3 に示す。

4) シンクロスコープ

本実験では、岩崎通信製の SS-5004 型シンクロスコープを利用した。

(3) 実験装置

図-3 に示す装置はラムを垂直に落とし、模型パイルを垂直に設置するもので、骨組はチャンネル、アングルおよび鉄筋から成り、落棒で止められている。

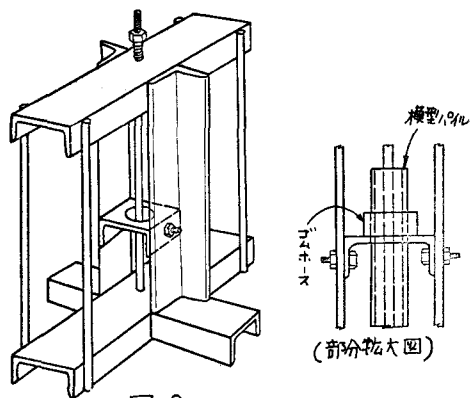


図-3

3. 実験方法および解析方法

(1) 実験方法

各器具、装置間の関係を図-4 に示す。まず、重量 0.1 kg のラムを任意の高さから、先端が自由な模型パイルの上に落とし、光源からの光を遮断する。衝突直前にトリガーパルスがフォトトランジスタ回路に生じ、シンクロスコープを作動させる。衝突後、ホイーストンブリッジに生じる電圧変化は非常に小さいので直流増幅器により 1000 倍に増幅される。そこで、歪波形がシンクロスコープ管面上で観測され、写真撮影される。

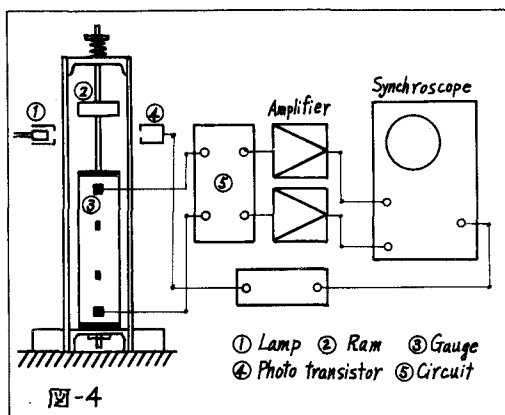


図-4

(2) 解析方法

本実験で利用したシンクロスコープは 2 現象しか取らえることができないので、2 測定以上の観測には次の様な方法とする。まず、図-1 にあけるゲージを上から順番に ①, ②, ③, ④ 測定と名付ける。最初に、①, ② 測定を同時に、何回か観測、写真撮影し、次に ③, ④ 測定を同様に写真撮影し、①, ③ 測定も同様にする。次に写真撮影結果から圧縮又は引張りの歪波形の高さの最大値が

	(a)	(b)	(c)	(d)
測定 ①, ②	η_1	---	---	---
平均	a_1	b_1		
測定 ③, ④	η_2	---	---	---
平均	a_2		c_1	
測定 ①, ③	η_3	---	---	---
平均	a_3			d_1
最終値 (単位: mm)	$\frac{\eta_1 A_1 + \eta_2 A_2 + \eta_3 A_3}{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3} = A_1$	$b_1 \times \frac{A_1}{A_2}$ ($A_1 > A_2$)	$c_1 \times \frac{A_2}{A_1}$ ($A_2 > A_1$)	$d_1 \times \frac{A_1}{A_3}$ ($A_3 < A_1$)

読みとられ、各々の値が表-4 の様に整理される。①, ②, ③, ④ 測定の最終の読みの値は表中の計算で求められる。そこで、予め模型パイルに静的荷重をかけ、シンクロスコープ管面上の歪波形の高さを読みとり、荷重係数 (kg/mm) を求めておくと、模型パイルに働く衝撃荷重は表-4 に示される最終値に、その荷重係数を乗じることにより求められることになる。

4. 実験結果

実験は表-5 に示す 2 通りについて行った。写真撮影結果による

表-5 実験の種類

ゴムプレート	ゴムボス	ラム速度	ケース
2.58×10^3 kg/cm	66.0 kg/cm	$V_1 = 171.4$ cm/sec	ケース I
		$V_2 = 242.5$ cm/sec	ケース II

データ (前記表-4 に説明) を各々について表-6, 表-7, 表-8, 表-9 に示す。写真撮影結果は紙面の都合により、ここでは 1 例のみを写真-1 に示し、残りは講演の際に示す。

表-6. ケースⅠ (圧縮)

	(a)	(b)	(c)	(d)
測定 (a), (b)	20.0, 20.0 18.3, 19.4 18.9	13.8, 13.3 14.4, 12.1 11.1		
平均	19.3	12.9		
測定 (a), (c)	20.0, 18.3 18.9, 20.0 18.3, 19.4		6.6, 6.1 7.8, 7.2 8.9, 9.4	
平均	19.2		7.7	
測定 (a), (d)	19.4, 19.4 18.3, 20.6 18.9, 18.2			5.0, 5.6 5.6, 4.4 4.4, 5.0
平均	19.1			5.0
最終値 (単位: mm)	19.2	12.8	7.7	5.0

表-7. ケースⅠ (引張)

	(a)	(b)	(c)	(d)
測定 (a), (b)	-3.9, -4.4 -3.9, -4.4 -4.4	-4.4, -4.4 -6.7, -5.6 -7.2		
平均	-4.2	-5.7		
測定 (a), (c)	-4.4, -3.9 -3.9, -3.9 -4.4, -3.9		-6.7, -7.8 -7.2, -8.3 -6.1, -7.2	
平均	-4.1		-7.2	
測定 (a), (d)	-4.4, -3.9 -3.9, -4.4 -3.9, -4.4			-5.0, -4.4 -5.0, -4.4 -4.9, -3.9
平均	-4.2			-4.5
最終値 (単位: mm)	-4.2	-5.7	-7.4	-4.5

表-8. ケースⅡ (圧縮)

	(a)	(b)	(c)	(d)
測定 (a), (b)	27.2, 28.3 29.4, 28.3 28.3, 28.9 28.9	21.1, 20.0 18.9, 20.0 21.7, 17.8 19.4		
平均	28.5	19.8		
測定 (a), (c)	28.3, 28.9 28.3, 28.3 28.3, 20.0		18.3, 12.8 15.0, 15.0 15.5, 16.1	
平均	28.7		14.6	
測定 (a), (d)	29.4, 28.3 29.4, 28.9 28.3, 28.3			9.8, 8.3 9.4, 10.6 10.0, 11.0
平均	28.8			9.9
最終値 (単位: mm)	28.7	19.9	14.6	9.9

表-9. ケースⅡ (引張)

	(a)	(b)	(c)	(d)
測定 (a), (b)	-7.8, -7.8 -8.9, -7.8 -7.2, -7.2 -8.3	-11.1, -8.9 -7.2, -10.6 -10.0, -6.7 -10.6		
平均	-7.9	-9.3		
測定 (a), (c)	-7.8, -8.3 -7.2, -8.3 -8.3, -7.8		-13.3, -13.8 -13.3, -12.3 -12.8, -13.6	
平均	-8.0		-13.2	
測定 (a), (d)	-7.8, -6.7 -7.2, -7.8 -7.8, -7.8			-7.8, -8.3 -9.4, -7.2 -7.8, -7.8
平均	-7.5			-8.1
最終値 (単位: mm)	-7.8	-9.2	-12.9	-8.4

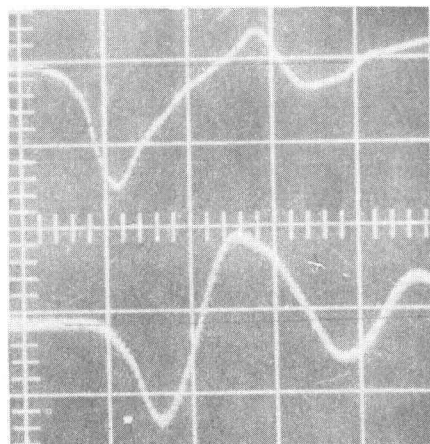


写真-1

表-10 符号の説明

C = time n におけるハネのちぢみ量	F = time n におけるハネに付した力
c = time $(n+1)$ におけるハネのちぢみ量	g = 重力加速度
D = time n における変位量	k = ハネ定数
d = time $(n-1)$ における変位量	k' = 地盤のハネ定数
d' = time $(n-2)$ における変位量	R = time n における抵抗
E = ハネの弾性係数	V, v = time $n, (n+1)$ における速度

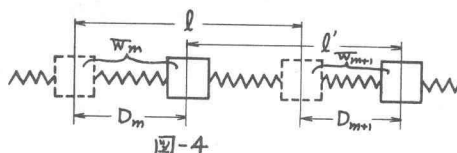


図-4

5. 理論解析

E.A.L. SMITHによると, $D_m = 2d_m - d_m^* + g \cdot \Delta t^2 / W_m \cdot [(d_{m+1} - d_m)k_m - (d_m - d_{m+1})k_m - R_m]$ —①

一方, 外部抵抗Rを考えた場合の波動方程式は, $\partial^2 D / \partial t^2 = g / W \cdot \partial^2 D / \partial x^2 - g / W \cdot R$

そこで, $\partial^2 D / \partial t^2 = (D_m - 2d_m + d_m^*) / \Delta t^2$, $\partial^2 D / \partial x^2 = (d_{m+1} - 2d_m + d_{m-1}) / \Delta x^2$ なる関係を用いて, 上式を差分方程式になおすと,

$$D_m = 2d_m - d_m^* + g \cdot \Delta t^2 / W_m \cdot [(d_{m+1} - d_m)k_m - (d_m - d_{m+1})k_m - R_m]$$

となり, ①式と一致する。すなわち, SMITHによる式と波動方程式とは同じものを表わしている。なお, 符号の説明を表-10に示し, SMITHにより誘導された①式の理解を助けるために図-4掲げる。

本実験の理論解析はSMITHの各式を利用して, 電子計算機により行なった。

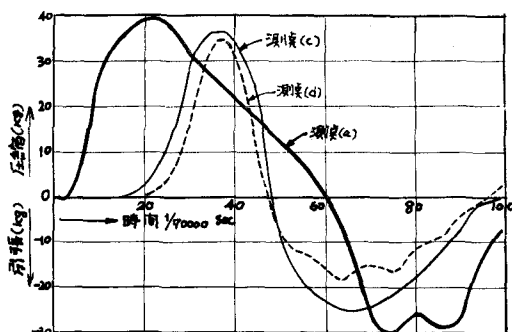


図-6

6. 実験結果と理論解析結果の比較および考察
 模型パイロ長さ方向に対する最大圧縮力又は最大引張力図を図5に示す。また、理論解析による歪波形を
 図6に示す。

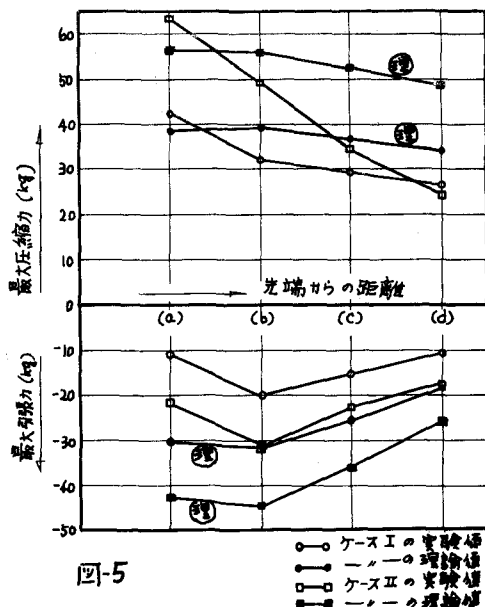


図-5

図5において、圧縮側では、ブロッグが上部 (a) 測定側
 であればある程、実験と理論はかなり良く合っている。しかしながら、ブロッグが (d) 測定側で
 あればある程、両者は一致しなくなり、ラムの衝突エネルギー大である程、その差は著しいようであ
 る。また、引張り側に関してはいずれのケースも理論値の方が絶対値は大きくでている。この原因と
 しては、理論解析において模型パイロ自身の内部減衰を考慮に入れていないことや、外部減衰を静
 的にしかとらえていないためであろうと考えられる。

圧縮側、引張り側において理論よりも実験の方がダンピングの傾向が大きくでているようである。
 この原因としては、サイドフリクションのバネ定数が静的に求められていて、見掛けの反力が運動の速
 度に比例して大きくでてきたものと思われる。

ラムの衝突エネルギーが大きければ、圧縮力も引張り力も実験、理論共に大きくでている。

図6において、各歪波形は時間に対してずれて起こり、減衰も見受けられ、定量的には良く説明し
 得るものと考える。また、写真の結果と比較してみるとかなりの一致が見られるようである。

7. あわりに

模型パイロに生じる引張りの歪波形を実験では観測し得たが、引張力を定量的に説明し得るには、
 まだまだ不十分の結果となつてしまった。今後、更に色々な条件のもとで衝撃時応力を調べるため室
 内実験および現場実験を計画中である。

なお、九州工業大学佐々木昭士助手より電気計測に關して御助言を頂いたことを付記して謝意を表
 する。

参考文献

- ① E.A.L. SMITH: 'Pile driving analysis by the wave equation' Transaction of A.S.C.E. 1962
- ② 土木学会編 : 土木工学ハンドブック
- ③ 土木学会編 : 土木技術者のための振動便覧
- ④ 津辺清永・松本 : 波動方程式によるくい打撃時応力解析, コンクリートジャーナル Vol. 6, No. 10 昭和43年1月.