

九州工業大学 正員 渡辺 明
 東京大学 学生員 渡辺義則
 九州工業大学 学生員 〇高山俊一

1. まえがき

現在、ぐいの支持力を求める数多くの式が提案され使用されていることは周知のとおりである。しかしながら打込時に、ぐい体が発生する応力のチェックはほとんど行なわれておらず、このためコンクリートぐい打込みの際、引張応力によりぐい頭部が破断した報告すらある。筆者らは数年来、波動方程式を用いたぐいの打撃時の応力の計算法（Smithの方法）を模型実験で検討してきた。

ここには、コンクリートぐいの内部減衰定数、先端抵抗に関する実験結果について述べる。

2. 実験方法

実験は図-1に示す如く水平に吊された模型ぐいを振子式ラムで横方向に叩く方法で行なった。

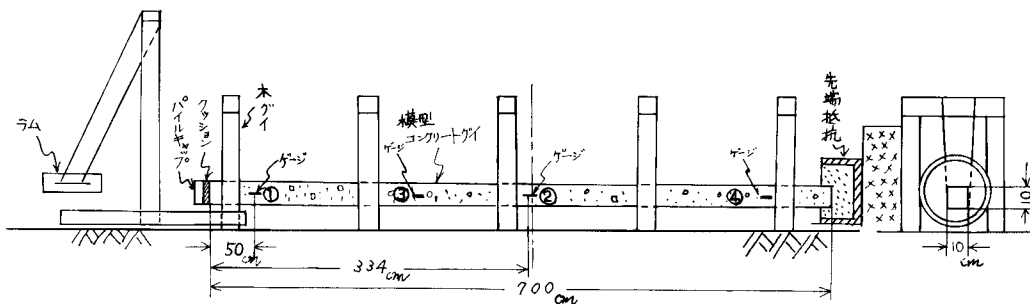


図-1 実験装置（先端抵抗）

ラムがぐいに衝突する直前フォトランジスタが作動しトリガーパルスが発生するように回路を組み、シンクロスコープで測定した（図-2）。シンクロスコープに出たひずみ波形を写真撮影し、その最大高さを読みとり、予め用意された動ひずみ計のひずみとシンクロスコープの値との校正から応力を求める。

測点はNo.1, No.2のぐいでは、ぐいの頭部、先端そして中間との4箇所を選んだ。

ぐいのコンクリートの物理的性質を表-1に示す。

表-1 各コンクリートの物理的性質

ぐいの種類	圧縮強度	引張強度	弾性係数	単位重量
NO.1	462 $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	— $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$4.2 \times 10^5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	2430 $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$
NO.2	591	43.9	3.7×10^5	2450
NO.3	497	41.1	3.7×10^5	2440

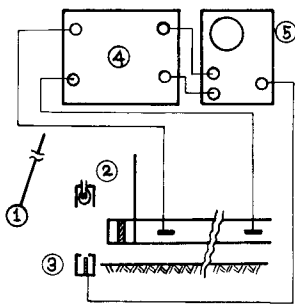


図-2 動ひずみ測定回路

- ① ラム
- ② ランブ
- ③ フォトランジスタ
- ④ 動ヒズミ計
- ⑤ シンクロスコープ

実験には表-2に示すごとき3種類の模
型コンクリートぐい(断面 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$)を用い
概略9ケースに分けて実施した。

表-3にラム、パイルキャップそしてク
ッションの形状等を示す。

表-3

	重さ	形状
ラム(鉄・重錘)	55.25 kg	円盤
パイルキャップ(鉄板)	1.86 kg	$10 \times 10 \times 246$
クッション(ゴム板)	0.0455 kg	$10 \times 10 \times 0.3\text{cm}$

表-2 概略実験目的

ケース	振種	3分ほど 下置後 7分後	クッション	長さ	先端条件	実験目的	ぐい 長さ
1	No1	23.5	7分後 1枚	9m	先端自由	ケース2の衝撃速度に よる波形の変化	6mm
2	No2		3分後 1枚			内部減衰の状 態を調べる	30mm
3		62.6					
4							
5	No3						
6		62.6		7m	固めに砂を 埋め密度 $D_r=44\%$	先端抵抗の バネ定数求 める	
7					$D_r=91\%$		
8					先端にコンクリートブロック 弾性係数 $E=3.07 \times 10^6$		
9	鋼板パ イル					異なるクッションに よる波形の変化を調べる	

打撃時のひずみ測定にはワイヤーストレンゲージを使用し、
断面のひずみを平均的に求める目的から一断面について4枚貼
布した。コンクリートぐいの内部減衰を調べる実験ではぐい先端
を自由とし、また先端抵抗を調べる実験では先端に、砂を締
め固めたもの、コンクリートブロックなどを置いた。なおこの
場合、ぐい先端にあそびがないように、図-3のようにぐいを
ジャッキで模型地盤にあらかじめ押しつけた。圧力はいずれの
場合にもぐい先端で約 2kg/cm^2 とした。

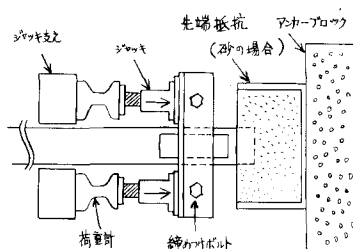


図-3 先端抵抗へのあそび

3. 実験結果

1) 衝撃速度による波形の変化

ケース2の場合、すなわち他の条件を同じにして衝撃速度の
みを変えた場合のぐい頭部①での実測波形を比較すると図-
4のようになった。衝撃速度を小さくすれば、ぐい応力度が小
さくなることを示している。

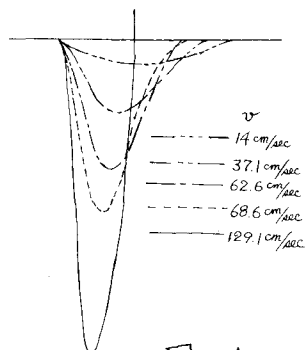


図-4

2) クッションのバネ定数の違いによる波形の変化

図-5は $K_c=90.3\text{t/cm}$ と 3.01t/cm で
衝撃速度 $v=171.4\text{cm/sec}$ の場合の塩化
ビニール製パイル供試体に生じた実測
波形である。

この結果より、クッションのバネ定
数が小さい時は、最大圧縮応力に達す
る時間が長くなり最大応力は小さいことかわか
り、クッションの改良によってぐい内の応力分
布が改善されることを示している。

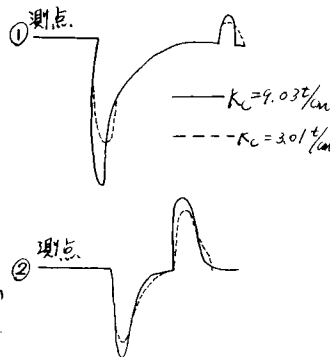


図-5

3) 内部減衰定数の決定

写真-1は外部抵抗のない場合の打撃時ひずみ波形である。写真の実測波形より以下に示す要領でSmithの方法により電子計算機を用いて写真と同じような波形を求め、内部減衰定数を定める。

まず図-6に示すように測点①の応力波形に着目し、クッションのバネ定数(K_k)を変化させて種々計算し、実測値に近い応力を生じさせる K_k を定めた。つぎにこの K_k を用いて図-7に示すように測点②の最大圧縮応力と最大引張応力の大きさを比較して最も実測波形に近い理論値を計算し

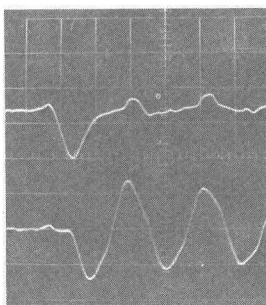
その場合のB値をこのくいの内部減衰定数と定めた。

4) くいの先端抵抗について

先端の支持条件を示せば表-4のとおりである。図-8は各々の支持条件について得られた測定②における実測波形である。内部減衰定数を求めたと同様に先端の地盤バネ定数を変化させて実測波形と一致する理論波形を求めてそ

れに用いた K_p 値を地盤のバネ定数とする。表-5に実験によって得られた各定数を示す。

写真-1



①は頭部より50cm
②はくいの頭部より33.4cm

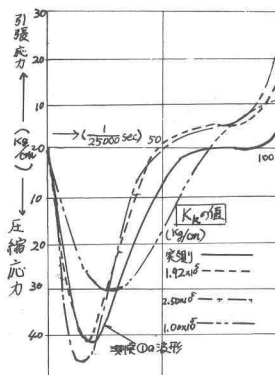


図-6

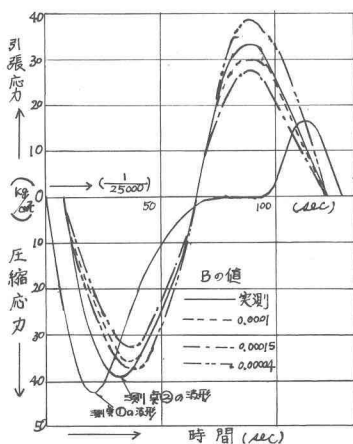


図-7

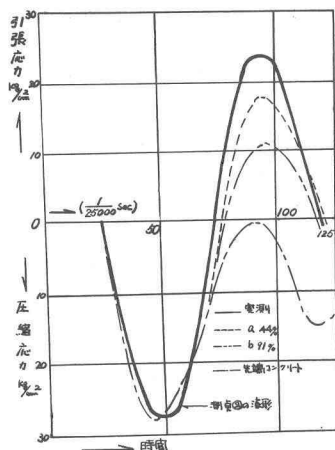


図-8

測定②における先端抵抗の異なる支持条件による反射波の変化

表-4

種類	含水比%	相対密度 の 弾性係数
a 砂	3.52	44.4 %
b 砂	7.47	91.4 %
c コーク		3.07×10^5 $\frac{kg}{cm^2}$

表-5

ケース	衝撃速度 cm/sec	クッションバネ定数 kg/cm	内部減衰定数 sec	地盤定数 kg/cm
1	93.5	1.69×10^5	0.0001 ~ 0.00015	
3	68.6	1.92×10^5	0.00009 ~ 0.0001	
4			0.00015 ~ 0.0002	
5				
6	62.6	1.00×10^5	0.00015	
7				1.73×10^4
8				4.30×10^4
				7.50×10^4

J: ゼースコスタンピング ABC/cm

5) Nisrach 式との比較

$p^2 > n^2$ のとき

$$v = \frac{KV}{AP} \exp\left(-\frac{n}{\sqrt{p^2 - n^2}} \sin\left(\frac{\sqrt{p^2 - n^2}}{p}\right)\right)$$

g : 980 cm/sec^2 (重力)

γ : $2.45 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$ (くいの単位体積重量)

V : 68.6 cm/sec と 62.6 cm/sec (打撃速度)

W : 57.11 kg (122マ重量)

t_k : 0.3 cm (クッションの厚さ)

A_k : $10 \times 10 \text{ cm}$ (クッションの断面積)

E_k : 300 kg/cm^2 と 400 kg/cm^2 (クッションの弾性係数)

表-6

ケース	スミスの式 最大圧縮応力度 kg/cm^2	Hirsch の式		
		弾性 係数	速 度 cm/sec	
3	29.52	300 kg/cm^2	68.6	62.6
4	24.76		32.31	29.48
5	28.26			
6	26.82	400 kg/cm^2	33.95	30.98
7	33.65			

本実験で用いたゴムのクッションの場合、すなわち $E_k = 300 \text{ kg/cm}^2$ と 400 kg/cm^2 をそれぞれ Hirsch の式に代入して、圧縮応力度を計算してみると表-6 のごとく得られる。これは Smith 式による最大理論圧縮応力度に近いことがわかる。

4. おおひ

本研究をまとめてみると

- 1) 衝撃速度が小さくなれば、くいの最大圧縮応力度は小さくなる。
- 2) くい頭部の破壊を防ぐためには、適当なるバネ定数を有する クッションを選定する必要がある。
- 3) 本実験においての模型コンクリートぐいの内部減衰定数は 0.00015 であった。
- 4) 先端抵抗のいかんによっては、くいに引張応力が発生し、その値がかなり大きくなるので注意を要する。

5) Smith の理論式より求めた応力波形と、Nisrach の式より求めた値は、ほぼ等しい値を示した。

5. 参考文献

1. 渡辺明、清永、松本: 波動方程式によるくいの打撃時応力解析、コンクリート学会、Vol.6, No.10, 1968
2. 岡田、小野: PCパイプの打込み実験、材料、第16巻、第167号
3. 明石、: コンクリート打撃時の挙動について、セメント技術年報、S42
4. 出光、松本、渡辺義: 模型パイプによる打込み時応力の測定、土木西部支部論文集、S45, 2, 22
5. 渡辺明、渡辺義、カルマチャリヤ: 模型コンクリート杭の打撃時応力測定、土木西部支部、S46, 2, 21
6. 渡辺明、渡辺義、高山: 模型コンクリートグイの打撃時応力について、土木西部支部、S47, 2.
7. E.A.L. Smith: Pile driving analysis by the wave equation Transaction of A.S.C.E, 1962.
8. Nisrach, T.J: Highway Research Record. 147, P.24, (1966)