

立命館大学理工学部 正会員 工博 明石外世樹  
立命館大学理工学部 正会員 工修 竹内 正喜  
立命館大学 大学院 学生員 ○ 尼崎 省二

1 まえがき

コンクリートくいが打撃によって打ち込まれるとき、くい頭に生じる応力波およびその挙動がくいの貫入量および破損に関係あると思われるが、その実態については現在のところ明らかではない。この報告では、PC模型くいを用いてクッション、打撃速度などの変化によって、応力波高値、波形がいかに変化するか、さらに応力波の伝播状態を調査し、その結果を理論解と比較検討しようとするものである。なお近く応力波形と貫入量との関係について研究する予定である。

2 実験方法

実験に用いた供試体は直径75<sup>mm</sup>、長さ約380<sup>mm</sup>のものに公称径9.3<sup>mm</sup>の7本筋PC鋼線でアレストレスカを与えたもので、配合は水セメント比40%の1:2モルタルである。この供試体を撞木状に水平に釣り下け、重量5<sup>kg</sup>の重錘で、40、60、80<sup>mm/sec</sup>の速度で供試体に打撃を与えた。応力波の測定に用いたゲージは新興通信のEN108U半導体ゲージで、ゲージ率は1/5~1/20と大であり、 $2 \times 10^{-6}$ 程度の歪が測定できた。シンクロスコープおよびアリアンプには岩崎通信のDS-5305BおよびSP-01H-Bを使用した。応力波をアウテン管上に映像させ、最大圧縮応力および立ち上り時間を測定するために重錘が光のビームを切ることにより電気信号を作り、これによって可変遅延トリカーを作りスロー開始時間を制御した。また、応力波の減衰定数 $\alpha = \delta/C$ を求めるのに必要な対数減衰率 $\delta$ の測定は供試体の大きさの関係から、供試体の4等分点の両端点を支持して一次のたわみ振動をさせ、その自由減衰振動から行なった。応力波の伝播率を測定するためのゲージ間隔はいずれの供試体も235<sup>mm</sup>である。なお、表-1、2は実験に用いた諸材料の弾性係数、単位体積重量などの性質を示す。

表-1 供試体の種類

| 初アレストレスカ<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 長さ<br>( $\text{cm}$ ) | 動弾性係数<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 単位重量<br>( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) |
|-----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 40                                      | 382.6                 | $3.68 \times 10^5$                   | $2.08 \times 10^3$                  |
| 60                                      | 382.0                 | $4.02 \times 10^5$                   | $2.22 \times 10^3$                  |
| 80                                      | 379.5                 | $4.45 \times 10^5$                   | $2.22 \times 10^3$                  |

表-2 クッションの性質

| 種類     | 静弾性係数<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 弾性バネ定数<br>( $\text{kg}/\text{cm}$ ) | 単位重量<br>( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) |
|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 合成ゴム   | $1.00 \times 10^2$                   | $2.07 \times 10^3$                  | $1.34 \times 10^{-3}$               |
| 強化合成ゴム | $1.50 \times 10^3$                   | $1.78 \times 10^4$                  | $1.13 \times 10^{-3}$               |
| ホスターレン | $6.00 \times 10^3$                   | $6.54 \times 10^4$                  | $0.97 \times 10^{-3}$               |

3 実験結果および考察

実験の結果得られた応力波の一例を写真1~4に示す。これらはPC-80（初期アレストレスカが80<sup>kg/cm<sup>2</sup></sup>の供試体）を打撃速度60<sup>mm/sec</sup>で打撃したときの応力波である。また、たわみ振動による自由減衰振動の減衰曲線の一部を写真5に示す。これらの応力波初値をもとにして計算した最大圧縮応力 $\sigma_m$ 、立ち上り時間 $t_0$ および応力波の伝播率をそれぞれHirschの理論解および粘性を有する棒の応力波の伝播（減衰）に関する理論解と比較したものをPC-60について表-3に示す。これらの解法についてはその詳細を省略する<sup>(1)(2)</sup>。以上の実験結果について検討した結果をまとめるとつきのようになる。

a). 比較的応力域ではあるが、くい頭の最大圧縮応力のおよび立ち上り時間 $t_1$ はいずれも Hirsch の理論解と比較的よく一致している。

b). 供試体の重量に比較して軽い重錘でしかも弾性バネ定数の大きいクッションを介して打撃した場合、先端が固定であっても、くいに振動が生じるために引張応力が生じる。

c). 応力波の伝播率は、当研究にみるかぎり表-3からわかるように実験値、理論値のいずれも非常に大きく、減衰はわずかしかなない。これは立ち上り時間が長いことにも原因するかもしれないが、実際のくい打ち込み時に観測されているような伝播率 $20 \sim 35\%$ という結果は<sup>(1964)</sup>くいの周辺の地盤の影響のためと思われる。

d) 対数減衰率 $\delta$ は、フレストレスカの増加によって小さくなっており、従って応力波の伝播率が高い。

e) クッションの弾性バネ定数が大きくなると、同じ打撃速度でも立ち上り時間が短くなるので、応力波の伝播率が高い。

写真-1 合成ゴム

測定電圧  $0.5 \text{ mV/cm}$  掃引速度  $2 \text{ msec/cm}$

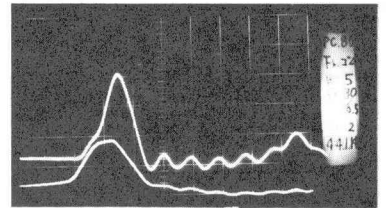


写真-2 強化合成ゴム

測定電圧  $1 \text{ mV/cm}$  掃引速度  $2 \text{ msec/cm}$

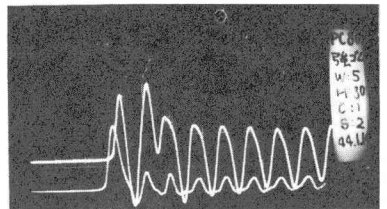


写真-3 ホスターレン

測定電圧  $1 \text{ mV/cm}$  掃引速度  $2 \text{ msec/cm}$

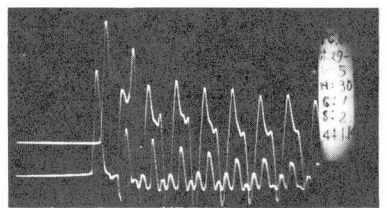


写真-4 クッションなし

測定電圧  $1 \text{ mV/cm}$  掃引速度  $1 \text{ msec/cm}$

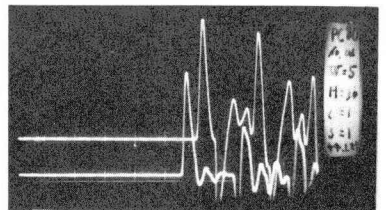


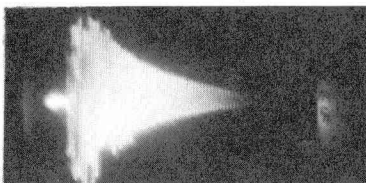
表 - 3

| クッション材 | 打撃速度<br>(cm/sec) | くい頭の実験値          |                               | Hirsch の解法       |                               | くい先の実験値          |                               | 伝播率     |         |
|--------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|---------|---------|
|        |                  | 立ち上り時間<br>(msec) | 最大応力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 立ち上り時間<br>(msec) | 最大応力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 立ち上り時間<br>(msec) | 最大応力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 実験値 (%) | 理論値 (%) |
| 合成ゴム   | 40               | 2.75             | 2.3                           | 2.41             | 2.61                          | —                | —                             | —       | 99.8    |
|        | 60               | 2.40             | 3.5                           |                  | 3.92                          | —                | —                             | —       | 99.8    |
|        | 80               | 2.30             | 4.6                           |                  | 6.30                          | —                | —                             | —       | 99.8    |
| 強化合成ゴム | 40               | 1.10             | 6.5                           | 0.79             | 6.95                          | 0.87             | 4.9                           | 76.4    | 99.5    |
|        | 60               | 0.90             | 10.4                          |                  | 10.43                         | 0.73             | 9.8                           | 94.2    | 99.4    |
|        | 80               | 0.75             | 14.1                          |                  | 14.21                         | 0.80             | 13.8                          | 92.2    | 99.4    |
| ホスターレン | 40               | 0.90             | 8.1                           | 0.39             | 11.66                         | 0.67             | 6.4                           | 79.0    | 99.4    |
|        | 60               | 0.90             | 17.1                          |                  | 17.42                         | 0.70             | 16.3                          | 95.3    | 99.3    |
|        | 80               | 0.50             | 23.1                          |                  | 23.58                         | 0.55             | 23.5                          | 101.7   | 99.0    |
| なし     | 40               | 0.25             | 11.1                          | —                | —                             | 0.20             | 10.9                          | 98.9    | 98.5    |
|        | 60               | 0.25             | 18.7                          |                  | —                             | 0.25             | 18.4                          | 98.4    | 97.6    |
|        | 80               | 0.30             | 22.2                          |                  | —                             | 0.15             | 24.2                          | 99.2    | 97.9    |

#### 4. 参考文献

- ① T. J. Hirsch, "Fundamental Design and Driving Considerations for Concrete Piles" Highway Research Record No. 147
- ② 明石外世樹「コンクリート打撃時の挙動について」セメント技術年報 昭和42年 Ⅲ
- ③ 岡田清、木六郎、他「PCくいの使用」日本材料学会
- ④ 渡辺繁、他「くい打作業時の叩部応力に関する研究」ホルバル協会技術委員会 衝撃試験小委員会 研究報告

写真-5 たわみ振動 減衰曲線



・ PC-60  
 ・ 基準振幅が  $\frac{1}{2}$  になるまでのサイクル数  $N=14$   
 ・ 対数減衰率  $\delta = \frac{0.693}{N}$   
 $= 0.0495$