

(III-76) 地震衝撃波により杭中に生じる応力波の模型実験

元宇都宮大学 正会員 横山 幸満

宇都宮大学大学院 ○学生員 瀬川 信弘

同

正会員 今泉 繁良

1. はじめに

1995 年に発生した阪神・淡路大震災の被害報告の中に、これまで地震による代表的な被害特性とされてきたせん断破壊という概念では、説明がつかない被害状況のものが多く存在した。このことは、この地震が強い鉛直地震動を伴った直下型であり、その時に生じた縦波が杭に引張破壊や局部座屈といった被害を与えたのだと考えられる。その破壊メカニズムを解明するために、衝撃荷重により生じる衝撃応力波の伝播特性を把握する必要があると考え、これまでに、そのための計測システムおよびその再現性の確立を行った¹⁾。

そこで本研究では、破壊には上部構造物と密接な関係があると考え、構造物-杭系をモデル化した簡素な供試体を用いて、上部構造物に関する影響を把握することを目的とした。

2. 実構造物のモデル化

前節で述べた破壊メカニズムを解明するために、まず、鉛直地震動のように下方からの衝撃荷重を忠実に再現する必要があると考えられたが、本研究での伝播特性の把握には、構造物の自重による影響を考慮しなくても、十分であると考え、水平方向から供試体の長軸方向に衝撃荷重をハンマにより作用させることで、その再現を行った。用いた載荷装置は図.1 に示される簡易なものである。なお、その載荷速度には兵庫県南部地震時の鉛直地震動を考慮して 100(kine)cm/s に設定し、これにより、供試体に生じるひずみを半導体ゲージで計測した。次に供試体は、その破壊には上部構造物と密接な関係があると考え、

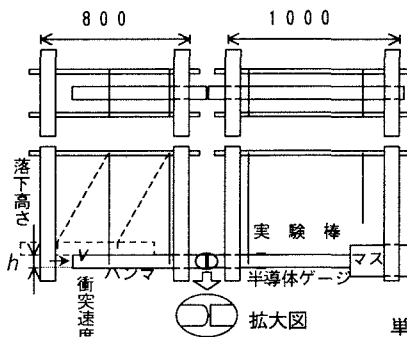


図.1 実験装置図

構造物-杭系のモデル化したものを用いた。そのモデル化は、細長い実験棒の先端にマスを、一体性を有する様に取り付けることで行った。

3. 衝撃応力波の伝播評価法

衝撃荷重によりハンマおよび供試体中に生じる衝撃応力波の計算値について、Thomas Young の基本式とエネルギー保存則により、まず両方に次式のような初期応力波 σ_{10} , σ_{20} が作用することが求められる。

$$\sigma_{10} = \frac{r}{1+r} \frac{c_1 \gamma_1}{g} V, \quad \sigma_{20} = \frac{1}{1+r} \frac{c_2 \gamma_2}{g} V \quad (2)$$

ただし、 $r (= A_2 c_2 \gamma_2 / A_1 c_1 \gamma_1)$ は動的剛比であり、 V は衝突速度、 g は重力加速度、 c は伝播速度、 γ は単位体積重量、 A は断面積を表し、添え字の 1 および 2 はハンマおよび供試体を示している。また、これらの応力波が不連続面を通過する時、その面で反射・透過が生じ、応力波はその大きさを変化させる。その係数は、反射係数 α ・透過係数 β として次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{-A_a c_a \gamma_a + A_b c_b \gamma_b}{A_a c_a \gamma_a + A_b c_b \gamma_b}, \quad \beta = \frac{2A_a c_b \gamma_b}{A_a c_a \gamma_a + A_b c_b \gamma_b} \quad (3)$$

なお、添え字 a はその境界面に到達するまでの伝播母材を示し、 b はもう一方の伝播母材を示している。

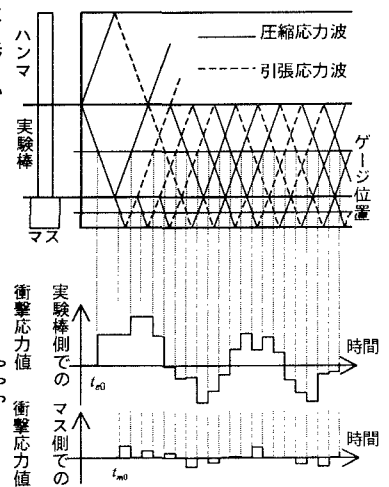


図.2 特性曲線解析法での伝播形状

キーワード：衝撃荷重、構造物-杭系、応力波、伝播特性

連絡先：〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7丁目1番2号

宇都宮大学大学院工学研究科 地域施設学研究室 Tel : 028-689-6218 Fax : 028-662-6230

その応力波の伝播特性を任意の点において把握するために、本研究では特性曲線解析法²⁾を用いて、図式化することにした。その参考例を図.2に示す。

4. 実験内容

本研究の実験で用いたハンマおよび供試体は以下の表.1に示される丸鋼であり、そのハンマには断面積 285.3cm^2 、長さ 750cm のものを採用した。

表.1 実験材料の物性値

	弾性係数 E (kgf/cm^2)	単位体積重量 γ (kgf/cm^3)	伝播速度 c_p (cm/s)
鋼	2.1×10^6	7.86×10^{-3}	5.12×10^5

表.2 実験棒に付けたマスの詳細

マス	面積 A (mm^2)	長さ l (mm)	重量 M (kgf)	計測位置 (マスとの境界面より) (mm)
1	1134	150	1.34	75, 150, 375
2	1134	250	2.23	125, 250, 375
3	1134	375	3.34	187.5, 375
4	1134	750	6.69	375
5	572.6	750	3.38	375
6	346.4	750	2.24	375

次に、供試体の詳細について表.2に示す。この表中のマスは、ハンマと同じ寸法の実験棒の先端に取り付けられており、本実験ケースはマスの形状変化により、作用応力波の影響を調べるものである。この表の値について、作用応力への影響因子として断面積が挙げられる。一方、マスとの境界面での反射・透過を考慮すると、応力波の伝播特性にも影響が生じることが考えられる。それゆえ、長さも影響因子として扱った。そこで本研究ではまず、長さ変化に着目し計測を行った。マス 1-4 の長さは、実験棒およびマスを伝播してきた応力波が、その境界面で同時に作用するように実験棒の長さ (750mm) の約数に設定した。次に断面積変化を与えたマス 4-6 は、マス 3, 2 と同じ重量になるように断面積を設定し、マス 5, 6 とした。

5. 計測結果・考察

各実験ケースで応力の経時変化を計測し、その結果は圧縮を正、引張を負として整理している。

まず、マス 1-4 を付けた実験棒の各々の計測結果について、まず図.3に、その中点 (375mm) での計測結果をまとめて示し、次に境界面よりマス長の

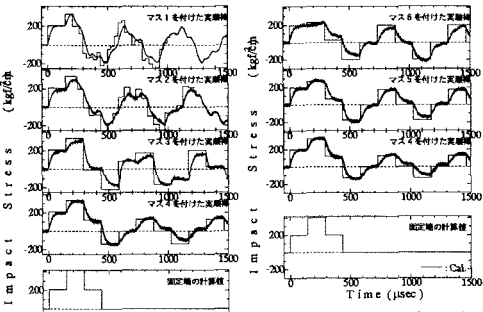


図.3 各々の計測結果
各々のケースにおける実験棒の計測結果 (いずれのケースも計測位置は境界面より75mm)

位置での結果を、実験棒の長さ l_0 を基準にし、マスの長さ比 l/l_0 に対する最大圧縮・引張応力の関係について、図.4に示した。これらより、全体的な伝播形状はその形状が大きくなるに従い、固定端の計算値に近づく傾向がある。さらに、伝播形状の違いによる影響をみると、引張応力値はマスの長さが短いほど若干大きくなる傾向がある。次に、マス 4-6 を付けた実験ケースについて、同様に図.5.6に示した。マスの形状が大きくなるに従い、固定端の計算値に近づく傾向があり、また、マスの形状が大きくなるに従い、最大圧縮応力は大きくなり、引張応力は小さくなる傾向がある。

6. 終わりに

本研究では、破壊メカニズムを解明するために、衝撃荷重により供試体に作用する応力波について、種々の先端条件における伝播特性を把握することを試みた。その結果、実験棒に作用する応力波は、圧縮応力では、その先端に取り付けたマスの断面積にのみ依存し、引張応力では、マス長と断面積双方に依存することが分かった。さらに、境界面よりマス長の領域で引張応力が最大となることが分かった。

今後、異材料間での実験および解析を進め、実際の構造物に対して適用できうるものか判断し、兵庫県南部地震の被害報告に挙げられたような破壊現象を実験的に説明付けができるように行う予定である。

<参考文献>

- 1) 瀬川信弘, 横山幸満, 今泉繁良, 上野勝利; 地盤-杭-構造物系の相互作用を考慮した動的応答に関する研究, 土木学会第53回年次学術後援会講演概要集, (社)土木学会, 1998.
- 2) H. Kolsky; Stress Wave In Solids, pp.36-40, New York: Dover Publications, Inc., 1952.

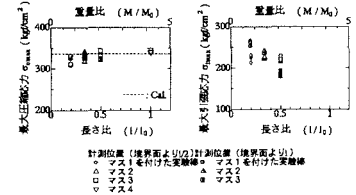


図.4 長さ比に対する最大応力値の関係

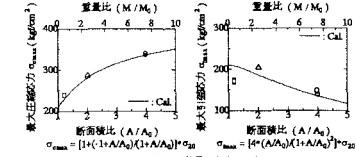


図.5 断面積比に対する最大応力値の関係