

金沢大学大学院 学生員 ○藤野 智幸
金沢大学工学部 正会員 松本 樹典
同 上 正会員 西田 義親

1. まえがき 杭の打撃貫入時に杭体に発生する応力波のうち、ハンマーの打撃による入射波の大きさは、杭体に作用する貫入抵抗には関係せず、一次元弾性波理論により、ハンマーの衝突速度、ハンマーと杭の断面積および弾性係数の値によって決定される。一方、反射波の大きさは、杭体に作用する貫入抵抗の影響を反映するものである。そこで本報告では、杭体に発生する応力波を逆解析することによって杭の動的先端抵抗と評価するための基礎的研究結果について報告する。

2. 応力波の逆解析による杭先端抵抗の評価法(反射応力波法)

杭の打設モデルとして、ここでは地盤表層にのっている杭を、ハンマーの自由落下を利用して打撃貫入させる場合について考える(図-1)。応力波の解析においては、以下のことを仮定している。

- 1) 弾性応力波は、杭体内を一定の縦波速度で伝播する。また、杭が地盤に貫入して杭に水平応力が作用しても、弾性波の伝播速度は、変化しない。
- 2) 応力波には、重ね合わせの原理が成り立つ。

杭先端部における力の釣合いは、入射波を f 、反射波を g 、透過波を f' として、次式で与えられる。

$$f + g = f' \tag{1}$$

杭先端抵抗のみが存在する場合に測定される応力波形は、特性曲性法により、図-1のように示される。重ね合わせの原理と式(1)により、 f と g を重ね合わせた応力が f' である。この透過波 f' は、杭先端から地盤内に伝播してゆくものであり、杭の動的先端抵抗とみなすことができる。

3. 実験装置、実験試料及び実験方法 実験装置及び応力波の測定システムの概要を図-2に示す。ハンマーには鋼棒を、杭には鋼管を使用した。それらの諸元を表-1に示す。杭には、打撃端から40cmのところに半導体ひずみゲージを貼付けて応力波の測定を行った。地盤試料として、石川県能登半島に分布する珪藻泥岩を円柱状に作成したものを用いた。その物理的性質は、表-2に示す通りである。一軸圧縮強度は、18 kgf/cm²である。また、比較のために、大谷石を地盤試料とした実験も行なった。大谷石の一軸圧縮強度は 100 kgf/cm²、弾性係数は 3.5×10^4 kgf/cm² である。

実験は、ハンマーの落下高さ

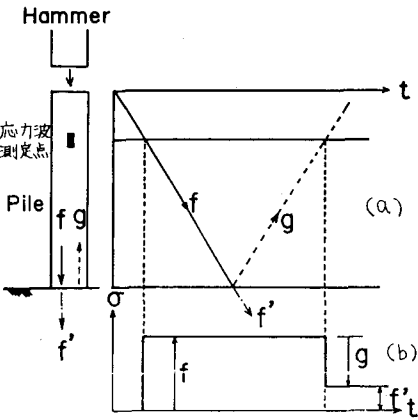


図-1 特性曲線法による応力波形

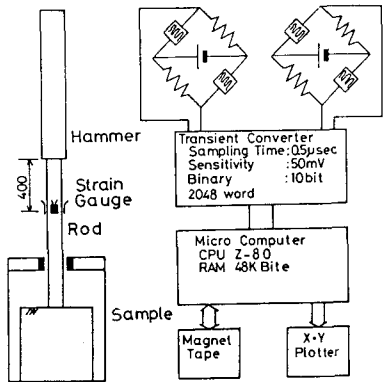


図-2 実験装置と応力波形測定システム

表-1 杭とハンマーの諸元

	Pile	Hammer
長さ l (cm)	100.0	97.0
外径 ϕ_o (mm)	25.0	3.01
内径 ϕ_i (mm)	21.0	
単位体積重量 γ (g/cm ³)	7.68	7.78
弾性波速度 C (m/sec)	5000	5250
弾性係数 E (kgf/cm ²)	1.96×10^6	2.19×10^6

表-2 珪藻泥岩の物理的性質

Natural water content	= 128 %
Natural void ratio	= 2.76
Degree of saturation	= 100 %
Unit weight	= 1.31 g/cm ³
Dry unit weight	= 0.57 g/cm ³
Specific gravity	= 2.16
Liquid limit	= 151 %
Plastic limit	= 93 %

(H)と地盤試料の直径(ϕ)を変えて、試料表層から杭を打撃貫入させて動的先端抵抗(σ_T)を求めた。

4. 実験結果 図-3は、ハンマーの落下高さ(H)を20cmとして直径(ϕ)が、それぞれ、10, 20cmの珪藻泥岩試料に杭を打撃貫入させた場合の応力波形である。三者の応力波形は、ほぼ一致している。ここで、応力波形について説明を加える。図-1(a)の特性曲線からわかるように、点Bは先端での反射波の影響が現れ始める時刻である。点Cは、反射波の大きさが一定になり始める点、すなわち先端抵抗がその最大値に達した時刻に対応する。点Dは、ハンマー頭部での反射波の影響が現れ始める点である。図からわかるように、最大先端抵抗は80~100 kgf/cm²の範囲にあり、今回行った実験の範囲では地盤の大きさは、動的先端抵抗の大きさに影響しないことがわかった。また、一打撃当たりの杭の最終貫入量は、いずれの場合も約10mm程度であった。

図-4は、 ϕ が5cmの珪藻泥岩を用いて、Hをそれぞれ10, 20cmとした場合の応力波形である。入射波の大きさに関わらず、先端抵抗の大きさには、ほとんど差は無い。ただし、H=10cmの場合の最終貫入量は8mmである。図-5は、両者の先端抵抗の時間的変化を示したものである。Hが大きい場合の方が立上りは急になっているが、両者の先端抵抗の最大値はほぼ等しく、速度効果はみられない。

図-6は、H=10cm, ϕ =5cmとして、それぞれ珪藻泥岩と大谷石も地盤試料に用いた場合の応力波形である。大谷石の場合の先端抵抗は、珪藻泥岩の場合のものよりかなり大きい。さらに大谷石の場合、先端抵抗の時間的な増加傾向は、珪藻泥岩に比べてかなり長い時間継続している。たとえば、珪藻泥岩の場合、点Cですでに最大先端抵抗に達しているが、大谷石では、点Dの少し前で先端抵抗は最大値(380 kgf/cm²)に達している。大谷石の場合の最終貫入量は0.1mmである。

図-7は、杭先端貫入量(u)-時間関係を模式的に示したものである。現在のところ、本研究で測定可能な範囲は、約0.1msecまでである。

図-8は、図-6に示した実験について、測定可能な範囲内で、応力波から算出した σ_T と σ_T の関係を示したものである。今後、最終貫入量に達するまでの σ_T -u関係も求めることにより、杭の動的貫入機構を明らかにしてゆく予定である。

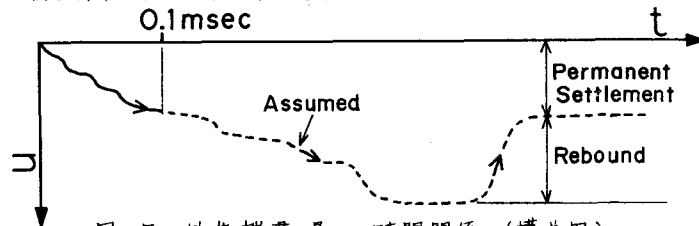


図-7 杭先端貫入量-時間関係 (模式図)

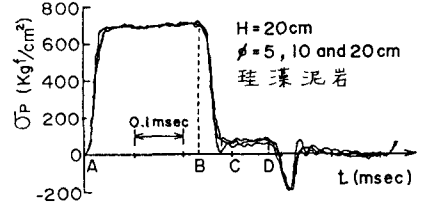


図-3 試料の直径が異なる場合の応力波形

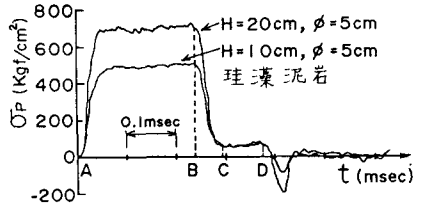


図-4 ハンマーの落下高さが異なる場合の応力波形

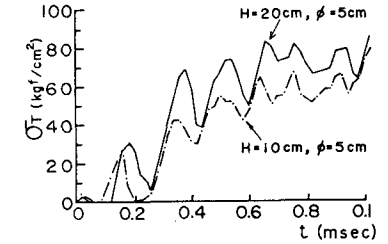


図-5 先端抵抗-時間関係

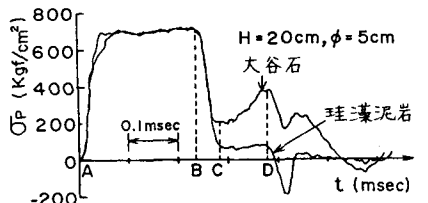


図-6 大谷石と珪藻泥岩を地盤試料に用いた場合の応力波形

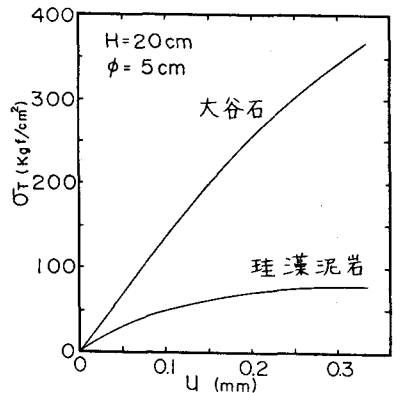


図-8 杭先端抵抗-杭先端貫入量関係

参考文献 西田,関口,松本,長谷(1983):応力波測定による鋼管杭の側面摩擦評価,第18回土質工学研究発表会(発表予定)