

立命館大学 理工学部 正員 ○ 尼崎 省二

正員 明石 外世樹

1 まえがき

コンクリートくいを打撃したときにくいに生じる応力の推定には、波動方程式による方法を用いるのが最も理論的であると考えられているが、くい頭部の重錘・クッション・くい系の応力-歪関係に不明な点があるために、正確な推定が困難なのが現状である。本研究は、くいに生じる応力および応力波の伝播性状の推定をより実験に近くするために、E. A. L. Smith が提案したくい頭部の重錘・クッション・くい系の応力-歪関係について改良を加え、実験結果と比較検討したものである。

2 解析方法

本研究に用いた重錘・クッション・くい系は図-1(a)に示す簡単なもので、その応力-歪モデルとして、(b)、(c)および(d)の三種を考えた。図-1(b)はSmithの解法によるもので、(c)はくいの分割重量を打撃端から遠い位置に置き、かつクッション材の内部粘性抵抗を考慮するためにクッションをMaxwellモデルで表わしたもので、クッションの重量は考えていない。(d)は重錘が長い場合以外は考慮していなかった重錘の弾性を考え、またクッション材の重量をも考慮したもので、系の応力-歪関係を簡単にするためにクッション材はくい材料と同様にVoigtモデルで表わした。こうすると、クッションのない場合には、 E_c および α_p の代りに E_p および α_p を用いればよく、計算が簡単になる。各モデル(b)、(c)および(d)の応力-歪関係はそれぞれ次式で与えられる。

$$\sigma_{cu} = \varepsilon \cdot E_c$$

$$\sigma_{cu} = \frac{\varepsilon \cdot E_c}{e} - \left(\frac{1}{e^2} - 1 \right) \varepsilon_{\max} \cdot E_c$$

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{\dot{\varepsilon}}{B} = \frac{\ddot{\delta}}{E_c} + \frac{1}{B \cdot E_p} \left(1 + \frac{E_p}{E_c} + \frac{B \cdot E_p}{B_1 \cdot E_c} \right) \dot{\delta} + \frac{\sigma}{B \cdot B_1 \cdot E_c}$$

$$B_1 \dot{\varepsilon} + \varepsilon = \frac{B_1}{E_r} \dot{\delta} + \frac{1}{E_c} \left(1 + \frac{E_c}{E_r} \right) \delta$$

$$\text{ただし、} B_1 = \frac{2\pi}{\omega(1-e^2)} = \frac{1}{f(1-e^2)} = \frac{t}{1-e^2}, \quad B = \frac{\delta}{2\pi^2 f} = \frac{\delta \cdot t}{2\pi^2},$$

e はクッション材の回復係数、 δ はくい材料の対数減衰率および α は重錘の打撃時間である。なお、回復係数 e は図-2に示すクッション材の静的応力-歪関係を用いて、次式で与えられるクッション材のエネルギー吸収に関する定数である。

なお、計算は式(a)~(c)を階差法により分解し、

$$e = \sqrt{\frac{\text{area(BCD)}}{\text{area(ABC)}}}$$

Smithの解法における外力と変形の関係を式に代入して行ない、またコンクリートくいの打撃時間および応力波の立ち上がり時間は重錘重量、打撃速度およびクッション材の種類によって変化することから考えられるために、最初に仮定した打撃時間[頭部応力波の立ち上がりから負になるまでの時間]が計算から得られた打撃時間に収斂するまで繰返し計算を行なう方法を用いた。

3 考察

くい頭部の最大圧縮応力に関する結果の一例を図3~5に示す。これらはいずれも実験条件をそのまま解析の条件にした結果で、図-3はクッションを用いない場合で、図4,5はそれぞれ桧および合成樹脂をクッション材

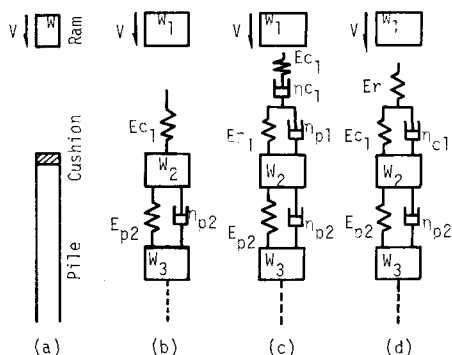


図-1

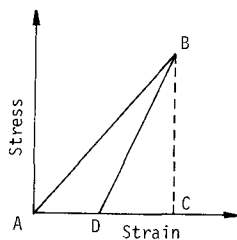


図-2

として用いたものである。いずれの場合も、打撃効率 e_1 は1として計算したが、実測値は応力波のもつ波動エネルギーを計算するとかならずしも打撃エネルギーに等しくならないために、波動エネルギー E_w と打撃エネルギー E_d との比を打撃効率 e_1 として、 $e_1=1.0$ の場合についても図にあらわした。ただし、クッション技のある場合には、クッションによるエネルギー吸収があるために e_1 はかならずしも1.0にはならない。

図-3から、実測値は打撃効率がよく打撃エネルギーはほとんどがくに伝播されているが、計算値は式(c)の結果が最も実測値に近い値になっており、重錘が応力波の波長よりも短い場合でも、重錘の弾性を考慮する必要があることを示している。一方、クッションを用いた場合には、クッションを用いない場合ほど計算値と実測値との一致性はなく、むしろ式(a)あるいは(b)の計算結果が実測値に近くなっている。これは、クッション技の動的特性を単に回復係数という静的特性で与えているからと考えられる。図-6は、応力波の立上り時間 t_r と打撃速度との関係を示したものであるが、実測値では打撃速度の増加とともに短くなるにわかかわらず、計算値はいずれも一定である。しかし、式(c)の結果は式(a)あるいは(b)に比較して実測値にもっとも近い値になっている。

図-7、8は頭部および中央部の応力波形および応力の減衰について示したものであるが、頭部の波形を調べると、最大値以降は実測値とは異っているものの、波形そのものは式(c)がもっとも実測値に近くなっている。図3~7に示す実測値では頭部と中央部の応力波の同時測定は行っていないが、くい技料の内部粘性抵抗による応力の減衰は図-8に示すように非常に小さく、式(c)で示めされる結果がもっとも実測値に近いことがわかる。

以上から、打撃によってくに生じる応力波の挙動を推定するには、重錘の弾性を考慮すればより実測値に近い結果が得られることがわかる。

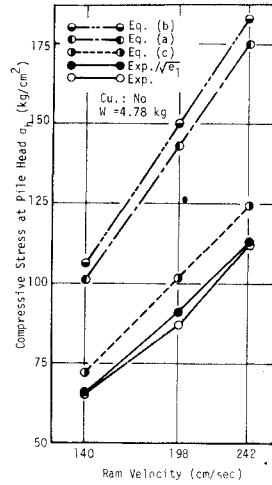


図-3

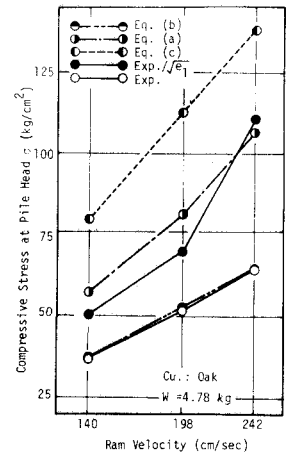


図-4

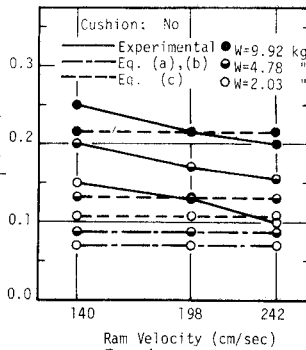


図-5

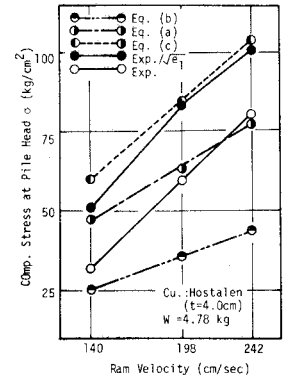


図-6

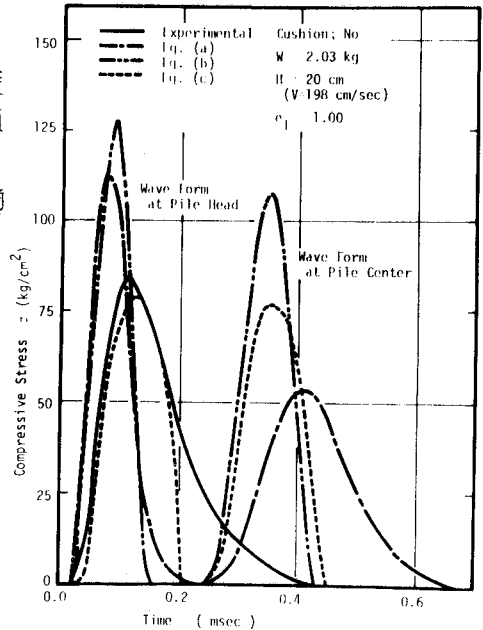


図-7

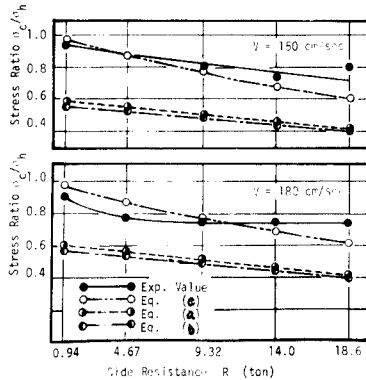


図-8