

東海大学工学部 正員 宇部一馬

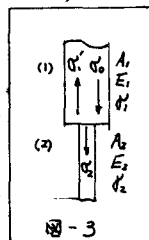
正員 冬木 衡

正員 近藤 博

1. まえがき 昨年の報告¹⁾では、波動論的な見地から筆者らが原案を担当した「道路橋下部構造設計指針・くい基礎の施工篇」におけるくい頭打撃応力の算定式の考え方を明らかにした。図-1、図-2は同指針の算定式を図にしたもので、ラムとくいの断面積比(A_u/A_p)、ラムの落下高さ(h)がわかれば、くい頭応力 σ_0 は推定できることになる。しかし、この値はあくまでもくい頭に発生する応力であり、波動がくい体を進行するとき、くい体の周囲や不連続面、くいの先端などで反射と透過の現象が生じ、 σ_0 がくい体が発生する最大応力とは限らないことになる。このような現象を考慮した応力をくい体応力として、くい頭応力と区別し、下記の項目について同指針における筆者らの考え方を述べる。ただし、今回の報告では波動現象は一次元的であるととし、くい体側面の摩擦に関しては、これを無視している。

2. くい頭座底 ラムが偏心打ちなどの原因で、くい頭のほんの一部の断面を打撃するような場合($A_u/A_p = \infty$)でもくい頭を陥伏させないようなラムの限界落下高さ h_{cr} が存在する。応力効率 e の値により異なるが、鋼材の陥伏応力を $\sigma_y = 2300 \text{ kg/cm}^2$ としたとき、 $e = 0.7$ (図-1)の場合 $h_{cr} = 320 \text{ cm}$ 、 $e = 1$ の場合 $h_{cr} = 160 \text{ cm}$ となる。すなわち、鋼ぐいの場合どのハンマーでいかなる断面積を有するくいを打込んでも、 $h = 160 \text{ cm}$ 以下でラムを落下させればくい頭応力はくい材の陥伏応力を越えないことがわかる。ただし、くい頭座底をさらに厳密に扱うには、三次元的な波動の考察が必要となる。

3. 不連続面に生じる応力 くい頭に生じた応力 σ_0 は、時間の経過とともにくい先端に向かって伝ばする。このとき、図-3に示すような不連続面で材質(E, ν)や断面積(A)が変化する場合には、この部分で入射した応力 σ_0 の一部 σ_1 は入射側に反射し、残りの σ_2 は透過する。このような現象の取扱いの詳細は文献²⁾を参照されたい。簡単な考察の結果、入射側の応力 σ_1 、透過側の応力 σ_2 はそれぞれ次式となる。 $\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma_r = 2\sigma_0 \frac{A_1 \sqrt{E_1 \rho_1}}{E_2 \rho_2} / \left\{ 1 + \frac{A_1 \sqrt{E_1 \rho_1}}{A_2 \sqrt{E_2 \rho_2}} \right\} \dots (1)$, $\sigma_2 = 2\sigma_0 \sqrt{E_1 \rho_1} / \left\{ 1 + \frac{A_1 \sqrt{E_1 \rho_1}}{A_2 \sqrt{E_2 \rho_2}} \right\} \dots (2)$



また、材質が等しく断面積のみが変化する場合には、上式はそれぞれ $\sigma_1 = 2\sigma_0 \frac{A_1}{A_2} / \left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) \dots (3)$, $\sigma_2 = 2\sigma_0 / \left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) \dots (4)$ となる。図-4は鋼ぐい、図-5はPCぐいについて、(1)~(4)式で与えられるときの反射応力比(反射係数): $\sigma_1/\sigma_0 = \alpha$ 、反射側の応力比: $\sigma_1/\sigma_0 = 1 + \alpha$ 、透過応力比(透過係数): $\sigma_2/\sigma_0 = \beta$ の値を図示したもので、これより入射側、透過側の断面積比(A_u/A_p)がわかれば、不連続面の応力 σ_1 , σ_2 は決定できる。ここで求めた σ_1 , σ_2 はさらにくい体を伝ばしてゆく過程で重複反射を繰返し、複雑な現象を呈することになるが、文献²⁾で述べた図解法により、比較的簡単に解析できるがここでは省略する。

4. 応力集中 くいの継手部やくい頭、くい先端における補強部などの不連続面では3.で述べた理由から局部的な応力集中がみられ、くい体が発生する応力を過大にすることがあるので注意する必要がある。例えば、中812x16の鋼ぐい頭を厚さ9mmのバンドで補強し、ハンマー-D42、ラム落下高260cmで打込むとき、補強部の断面には $\sigma_0 = 1540 \text{ kg/cm}^2$ (図-1)の応力が発生するのに対して、バンド補強下部の断面には $\sigma_0 = 1.2 \times 1540 = 1848 \text{ kg/cm}^2$ と応力が増大して伝わることになる。この値はバンド補強なしに直接打撃した場合の $\sigma_0 = 1700 \text{ kg/cm}^2$ よりも大きくなっていることがわかる。この事實はバンド下部にみられるチョーチン座屈の発生原因の一つと考えられる。ヤットコ打ちの場合も同様の理由で、ヤットコ断面はくい断面積と等しくすることが望ましい。

5. くい先端部の地盤の影響 くい先端の地盤の相対的な硬さは、くい先端における反射係数 α の値によって表わされる。一般に α は $-1/5 \leq \alpha \leq 1$ の範囲をとるもので、 $\alpha = -1$ のとき自由端、 $\alpha = 1$ のとき固定端、 $\alpha = 0$ のときくいと地盤のdynamic stiffnessが等しいといえる。図-6はくい頭が発生する打撃応力を三角波形で近似して、極

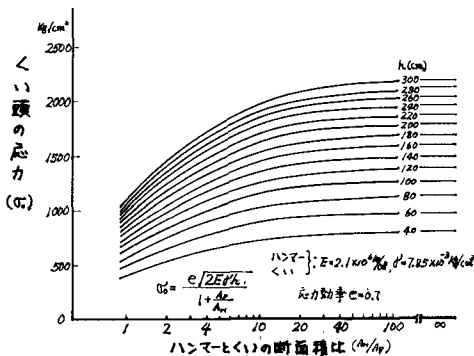


図-1 くい頭の打撃応力 (鋼くい)

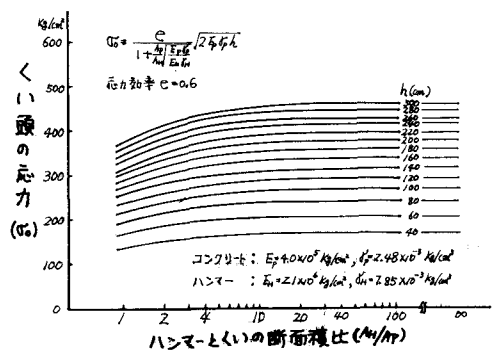


図-2 くい頭の打撃応力 (PCくい)

端な先端地盤の状態での応力波形を模式的に表現したもので、くい体には発生している応力の分布状態がよく理解できると思う。

図-6(a)から、くい先端が自由端に近い場合(軟い地盤の場合)、

$T = 2/c$ 時間付近で

くい頭に大きな引張応力

が発生していることがわかる。

コンクリートぐいにおいては、

くい頭付近に発生する引張応力

には十分注意する必要がある。

結論からいえば、この引

張応力を小さくするには重い

ハンマーを低い落下高さから

落し、クッションを加減する

ことによりその絶対値を減ら

すことが可能となる。

また、図-6(c)から、先端地盤が極めて硬い場合には、

$T = 1/c$ 時間付近で

大きな圧縮応力が発生していることがわかる。

この応力は入射応力の2倍と見積もられる。

6. まとめ 今回の報告は、「道路橋下部構造設計指針・くい基礎の施工編」における打込み時にくい体には発生する打撃応力を、くい頭に発生する打撃応力と区別して、その取扱いはについて筆者らの考え方を述べた。

本来、くい打ちは極めて複雑な現象であって、本指針においても地盤定数の定量的な取扱い、くい支持力の算

定式などを提案するには至っていない。筆者らは、この種の動的要入機構に関する一連の研究を行なっており、

今後、くい頭応力算定の精度の向上、周面摩擦、先端支持力などに用いる定量的な研究を進める予定である。

なお、基礎的な実験結果については発表当日、報告する予定である。

参考文献 リ宇都・冬木・近藤：波動理論による打込み時くい頭応力の算定式について、第20回年次学術講演会

概要集、第3部、土木学会(1975) 2)宇都；クイの打込み(弾性波としての打撃応力について)橋梁と基礎161.146.7(1967)

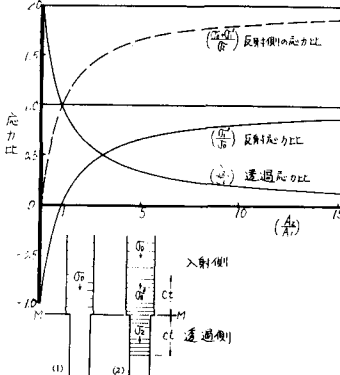


図-4 応力の反射と透過の関係(1)

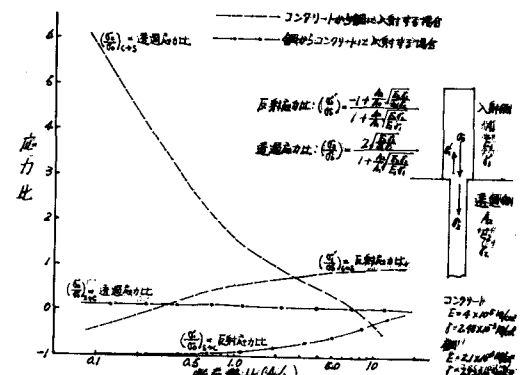


図-5 応力の反射と透過の関係(2)

ハンマー くい	D-12	D-22	D-32	D-40	D-42	D-70
#355 x t7.9	8.3	13.9	19.3	22.7	24.6	32.4
x t11.1	6.0	10.0	13.8	16.3	17.7	23.3
#508 x t6.4	7.1	11.9	16.5	19.5	21.0	27.8
x t9.5	4.8	8.1	11.2	13.2	14.3	18.8
x t12.7	3.6	6.1	8.4	9.9	10.7	14.2
#609 x t9.5	4.0	6.7	9.3	11.0	11.9	15.6
x t12.7	3.0	5.0	7.0	8.2	8.9	11.8
x t16	2.4	4.0	5.6	6.6	7.1	9.4
#812 x t9.5	3.0	5.0	6.9	8.2	8.9	11.7
x t12.7	2.3	3.6	5.2	6.1	6.7	8.8
x t16	1.8	3.0	4.2	4.9	5.3	7.0
#1212 x t12	1.6	2.7	3.7	4.4	4.7	6.3
x t16	1.2	2.0	2.8	3.3	3.6	4.7
#1822 x t12	1.3	2.2	3.0	3.5	3.8	5.0

表1 ハンマーとくいの断面積比(A_h/A_p)

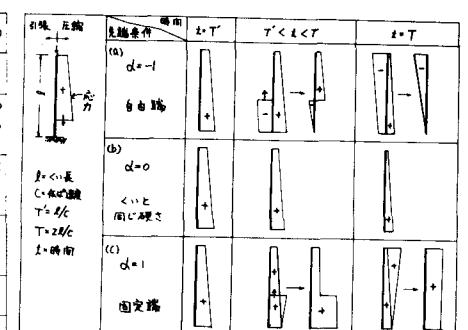


図-6 くい先端地盤の影響