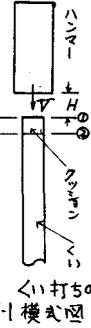


東海大学工学部 正会員 宇都一馬  
 正会員 〇冬木 衛  
 正会員 近藤 博

1. まえがき 昨年改定された建築基礎構造設計規準(以下基礎規準と略す)によると、打撃応力 $\sigma_p$ は次式で算定することになっている。

$$\sigma_p = \frac{\alpha \sqrt{2 C_p E_p \rho H}}{\left(1 + \frac{A_c E_c C_c}{A_H E_H C_H}\right) \left(1 + \frac{A_p E_p C_p}{A_c E_c C_c}\right)} \dots (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} E_p: \text{ドロップハンマー-0.6, デーゼルハンマー-0.8} \\ \alpha: \text{ドロップハンマー-1.0, デーゼルハンマー-}\sqrt{2} \end{array} \right.$$

筆者らも数年來打撃応力の算定式に関する基礎的な研究を行なっており、その結果、(1)式の誘導の過程に誤りがあることが判明したので指摘し、正したいと思う。また、筆者らが原案を作成した道路橋下部構造設計指針くい基礎の施工篇(同、下部構造指針)での考えも、(1)式と同一模式図の関係を明確にし、さらに、この種の動的現象に関する根本的な誤解があるので指摘したい。



$A_H, A_c, A_p$ : ハンマー、クッションおよび くいの断面積 ( $\text{cm}^2$ )
$E_H, E_c, E_p$ : 同上 弾性係数 ( $\text{kg/cm}^2$ )
$\rho_H, \rho_c, \rho_p$ : 同上 単位体積重量 ( $\text{kg/cm}^3$ )
$C_H, C_c, C_p$ : 同上 伝ば速度 ( $\text{cm/sec}$ )
$v_H, v_c, v_p$ : 同上 変位速度 ( $\text{cm/sec}$ )
$H$ : ハンマーの落下高さ ( $\text{cm}$ )
$e_f$ : 効率 $\alpha$ : 係数

表-1 記号 (鋼ぐい規準と異なる部分もある)

2. 建築鋼ぐい基礎設計施工規準(以下、鋼ぐい規準) 式の誘導過程の問題点について 鋼ぐい規準の記述において、(1)式の誘導過程の誤りを指摘するが、以下の説明では同書の記号(表-1)を用い、同書の式番号には[ ]をつける。

2.1 ドロップハンマーの場合のくい頓打撃応力 図-1は、くいがクッションを介してハンマーによって打撃される場合の模式図である。0-0断面におけるハンマーとクッションのカ積の関係から、クッションの変位速度 $v_c$ および打撃応力 $\sigma_c$ は  $v_c = \frac{A_H C_H \rho_H V}{A_H C_H \rho_H + A_c C_c}$  ... (2), [8.8],  $\sigma_c = \frac{E_c v_c}{C_c}$  ... (3) となる。つぎに、②-②断面においては以下述べるように考える。クッションの分子は(2)式で与えられる速度で下方に移動するが、同時にクッション内部には(3)式で与えられる応力が発生し下方に伝ばする。波動が②-②断面に到達した瞬間において、クッションの下面の分子は $v_c$ なる速度でくいの上端を圧縮すると同時に、 $\sigma_c$ なる応力が作用する。クッションの速度変化が $v_c$ から $v_p$ までであるとすると、速度変化によるカ積と伝ばした応力のカ積の和を考慮しなければならぬから、[8.9]式は、 $F_c \alpha t = A_c \sigma_c \alpha t + \frac{A_c C_c \rho_c}{g} (v_c - v_p) \alpha t$  ... (4) となるべきで、これがかくいの頭のカ積[8.5]式と等しくならなければならない。これより、

$$[8.10] \text{式は } v_p = \frac{2 A_c C_c \rho_c}{A_c C_c \rho_c + A_p C_p \rho_p} v_c \dots (5) \text{ となり、} [8.10] \text{式で与えられる値の2倍になる。以下同様の整理を行なって、}$$

$$[8.14] \text{式は } \sigma_p = \frac{2 A_H E_H \rho_H}{A_H E_H \rho_H + A_c E_c \rho_c} \frac{A_c E_c \rho_c}{A_c E_c \rho_c + A_p E_p \rho_p} \sqrt{2 e_f \rho_p H} \dots (6) \text{ となる。また、ハンマーが直接くいを打撃した場合は、}$$

$$(2), (3) \text{式において、サスツクス } c \text{ を } p \text{ とおいて整理し } \sigma_p = \frac{A_H E_H \rho_H E_H \rho_H \sqrt{2 e_f H}}{A_H E_H \rho_H + A_c E_c \rho_c} \dots (7) \text{ となる。また、} \rho \text{ による } \rho \text{ 断面}$$

で、クッションがかくい頭に密着した場合であったが、いま両者の間にわずかなすき間があるような場合には、ハンマーで打撃されたクッションがかくい頭に衝突するような状態になる。このとき、クッションの下面は自由端になっているから変位速度は $2v_c$ となり応力は発生していない。したがって、クッションの速度変化は $2v_c - v_c$ となり、[8.9]式に相当するものは、 $F_c \alpha t = \frac{A_c C_c \rho_c}{g} (2v_c - v_p) \alpha t$  ... (8) となり、以下整理をして(5),(6)式を得る。いずれにしても、鋼ぐい規準の[8.10]式以下の結論は正しい値の1/2の値しか与えないもので、以上述べた理由で正されるべきものである。

2.2 デーゼルハンマーの場合のくい頓打撃応力 鋼ぐい規準の[8.16]式以下に説明があるが、筆者らの現場測定などの結果から、くいとラムの衝突が爆発と同時に起こることはなく、したがってハンマーの速度変化を $0$ から $2V - v_c$ とするのは誤りで、 $0$ から $V - v_c$ と考えた方が妥当である。すなわち、[8.16]式はドロップハンマーの場合の[8.6]式と同じものをとるべきで、以下2.1と同様に考えてデーゼルハンマーによる場合も(6)式となる。結果的には(6)式と[8.17]式は一致しているが、誘導の過程に誤りがあることは2.1で述べたとうりであり、ハンマーの取扱いを鋼ぐい規準のように考えた場合、[8.17]式は2倍すべきである。爆発のエネルギーの応力に対する影響は、立上り応力以降の応力の増分に関与することになる。すなわち、鋼ぐい規準では、ハンマーの位置エネルギーがクッション

ンやくいなどへ伝はするときのエネルギー変換の取扱ひ方法に根本的な誤りがあったわけである。さらに注意すべきことは、以上述べてきた打撃応力はクッションおよびくい頭が発生するオ1波の値を求めたもので、この波はハンマー、クッションあるいはくいの内部で反射と透過の現象を生じ、極めて複雑な様相を呈することになる。これについては、つぎにあげる。

3. 重複反射理論による考察 図-2は鋼ぐい規準R84の例題を同解法で解いたもので、図中の記号は文献(1)によってい。ただし、図ではクッションの影響を明確にするため、その厚さを誇張してあるので時間軸は実際と異なり模式的になっている。クッションを介さず直接打撃した場合の波形を破線で入れてあるので、(6)式と(7)式の関係、あるいはそれらが反射と透過の現象を繰返しているのがよく分かると思う。これらの結果を要約すると、①オ1波目の応力は  $\sigma_{pm} = \sigma_c \beta_{cp} \frac{1 - (\alpha_{cp} \alpha_{ch})^2}{1 - \alpha_{cp} \alpha_{ch}}$  ... (9) で与えられる。②したがって、時間の経過とともに(6)式で与える値より大きくなる。③そして、ハンマーとくいがクッションに比べて十分長い場合には、(9)式は(7)式となり、ハンマーで直接打撃した場合に一致する。④ハンマーで直接打撃した場合の応力波形は、(7)式の値をピークにして階段状に減少し、これは St. Venant 解で近似できる。⑤これらの事実より、クッションなどを介して打撃した場合、くい頭にはハンマーで直接打撃した場合の(7)式の値以上の打撃応力は発生しえない。

4. 道路橋下部構造設計指針-くい基礎の施工編における筆者らの考え方<sup>2)</sup> 打撃応力の算定式に関する問題点をまとめるにつぎのようになる。①クッションを介して打撃した場合の算定式(1)の誘導の過程に誤りがあり、ドロップハンマーもガゼルハンマーも(6)式になる。また、直接打撃する場合はともに(7)式になる。ただし、当然ながら  $e_f$  の値は異なるであろう。②そして、これらの式は、オ1波の値を与えるものであり必ずしもくい頭に発生する最大応力とはならない。③クッション等の影響を考慮して、重複反射理論によって厳密に解析することは、ハンマーの構造の複雑さ材料の定数の選定などに向題があり現状では困難である。④さらに、(1)式が取扱りの不明良なクッションの諸定数を含んでいることや、効率  $e_f$  が不明確な係数  $\alpha$  で二重の補正を行なっていることなど。このように考えると(1)式は非常に不確定な要素が多いことがわかる。そこで筆者らは、これらの問題点をふまえた上で、3.で述べたような根拠からハンマーが直接くいを打撃した場合を理論値としてこれを基準とし、クッションやキップなどの影響を含めた応力に関する効率  $e_f$  も考慮して(10)式を提案した。この(応力)効率  $e_f$  は、現場における実測値の検討の結果決定したものである。また、藤田らは、(10)式 ( $e=0.6$ ) と実測データとの比較から(10)式の修正係数を提案している。今後このような実測例の収集によりさらに実用的な式に発展することを期待したい。ただし、この種の透過現象を論じる場合の計測では、測定器系の選定に十分注意する必要がある<sup>3)</sup>。

$$\sigma_p = \frac{e_f Z E_p \rho H}{1 + \frac{A_p E_p}{A_h E_h}} \dots (10)$$

$A_h, A_p$ : ハンマー、くいの断面積 (cm<sup>2</sup>)、 $E_h, E_p$ : 同弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)、 $\rho, \rho_p$ : 同単位体積重量 (kg/cm<sup>3</sup>)  
 $H$ : ハンマーの落下高さ (cm)、 $e_f$ : 応力効率  $RC < 1, PC < 1, 0.6$ 、鋼ぐい  $0.7$  (下部構造指針の  $0.6$  を修正)

5. まとめ ①基礎規準による算定式(1)はハンマーの位置エネルギーがクッションやくいなどへ伝はするときのエネルギー変換の取扱ひ方法に根本的な誤りがあるので、今後係数  $\alpha$  や効率  $e_f$  などの再検討が望まれる。②下部構造指針の(10)式は、物理的に明確な根拠を備え、かつ実用的な補正係数をただ1つもつ明かな式であるので、忠実な実測値を用いて今後さらに種々のケースについて適正な  $e_f$  の値を定めると、より実用的になるわけである。

今後、くい体、継手部、先端部などに生じる応力あるいは引張応力などの問題について筆者らの考え方を述べてみたい。  
 参考文献 (1)宇部一馬; 7/1の打込み(弾性波としての打撃応力について)橋梁と基礎 16, 116, 7(1967). (2)冬木誠彦; 橋の継手部に對する基礎的研究, 542年度卒業研究. (3)森田・宇部・冬木; シンクロスコブを用いた打撃応力の観測; 第23回土木学会年次学術講演会第3部 (1968). (4)宇部・小坂・吉村; 実際と施工実績を背景とする施工指針の検討(道路橋下部構造設計指針)基礎の施工篇解説, 道路, 1969-10. (5)藤田古賀; 波重の方程式をもとにしたくい頭打撃応力の算定式, 第28回土木学会年次学術講演会, 第3部, (1973)

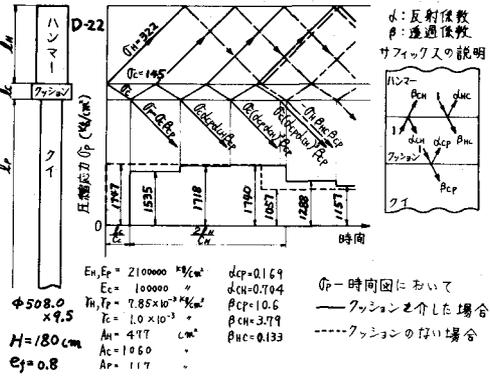


図-2 くい頭打撃応力に及ぼすクッションの影響(鋼ぐい規準R84の例題の図式解)