

コンクリート強度の推定 - インピーダンス法とリバウンド法 -

日東建設(株) 正会員 ○久保 元樹
 日東建設(株) 正会員 久保 元
 日東建設(株) 正会員 金田 重夫
 アプライドリサーチ(株) 正会員 境 友昭

1. まえがき

リバウンドハンマは、構造体コンクリートの圧縮強度推定方法として長い歴史と多くの実績を持っているが、その精度、適用性については、様々な見地からの議論がある。これに対し、機械インピーダンス法は、開発後数年と歴史が短いこともあり、広く普及した技術とは言い難い。本論では、リバウンドハンマ及び機械インピーダンス法の測定原理を再度理論的側面から検討し、リバウンドハンマの反発度が、機械インピーダンス値と同様に、構造体コンクリート表面のバネ係数を指標化した値であることを示す。

2. 数値計算によるリバウンドハンマの反発度

リバウンドハンマによるコンクリート強度測定の基本原理は、簡単には打撃エネルギーの一部がコンクリート表面の塑性変形エネルギーに消費され、ハンマの反発エネルギーが減少する、という考えに基づいている。系の弾性変形エネルギーがハンマの反発エネルギーに動員されるという考えである。しかし、このような測定原理が成立するのは、塑性変形するコンクリート表面の直下の構造体コンクリートが剛な場合であって、この仮説は、現実的ではない。むしろ、コンクリート自体を弾性体と考える方が实际的である。さらに、実際に生じている現象は、極めて短い時間での動的現象であり、静的な力の釣り合いやエネルギー収支のみでは説明出来ない。このため、本論ではコンクリートを弾性体とみなし、その表面がバネとしての挙動を示すモデルを用いてリバウンドハンマの挙動を波動理論によって解析し、反発度を支配する要因について検討した。リバウンドハンマは、質量約 380g のハンマがプランジャーに衝突して打撃力を発生させ、その打撃力がコンクリート表面に接するプランジャー先端に伝搬し、その境界条件によって反力が生成される機構である。力学モデル的には、「ハンマによる杭打ち」と同じであり、すでに精密な数値計算方法¹⁾が確立されている。

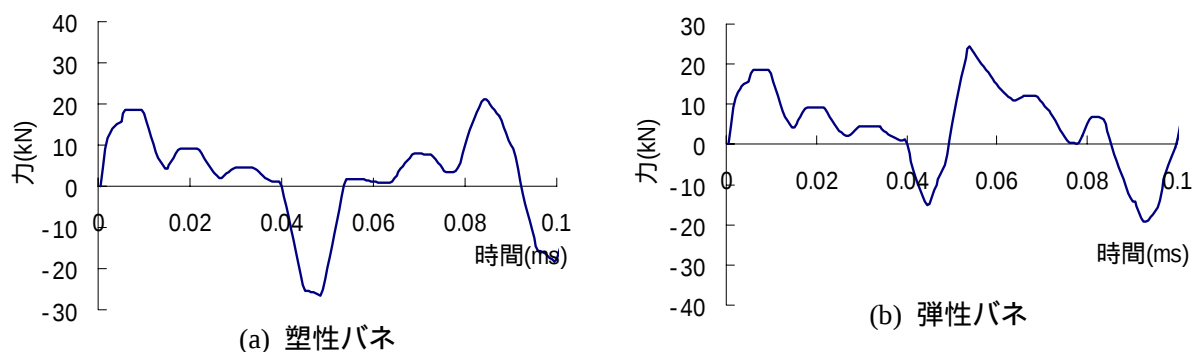


図1 リバウンドハンマのプランジャーに作用する打撃力波形

図1は、数値計算によって求めたリバウンドハンマの打撃力波形(プランジャー頭部の打撃力)である。図1(a)は、先端でのバネ抵抗が圧縮強度 30N/mm^2 程度に相当する塑性バネの場合、(b)は、その400倍のバネ係数の場合である。図に示されるとおり、時刻 $40\mu\text{s}$ までは、(a),(b)とも同じ波形である。この時間は、ハンマがプランジャーを押している時間である。プランジャー先端からの反射波は、 $40\sim 80\mu\text{s}$ の間に発生しており、図1(a)の塑性バネでは、反発が生じない。(b)では、 $40\mu\text{s}$ 以降の力積が正となることから、ハンマの反発現象が生じると判断される。図2は、コンクリート表面のバネ係数と反発度の関係を数値計算によって求めたもので

キーワード コンクリート強度、機械インピーダンス、リバウンドハンマ

連絡先 〒003-0833 北海道札幌市白石区北郷3条4丁目9-8 日東建設(株) TEL:011-874-6200

ある．図に示すように反発度は，バネ係数と単調増加関係にあるが比例関係ではなく，バネ係数が増加すると反発度は飽和する傾向を示す．すなわち，リバウンドハンマの場合，高強度コンクリートでの適用性に疑問が生じる．なお，波動方程式を用いた応答計算では，コンクリート表面の塑性変形は考慮していない．また，反発度は，打撃力のみが作用している時間での力積と，反発力が生じている時間での力積との比としている．

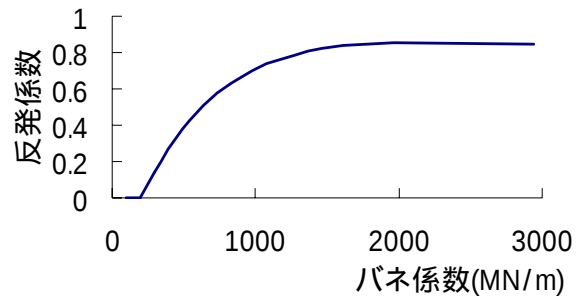


図2 バネ係数と反発度の関係

3. 機械インピーダンス法

質点が弾性体に衝突した時，弾性体に発生する応力は，弾性体の音響インピーダンスを z とすると， $\sigma = zV$ となる．ここで， V は，質点の衝突速度である．音響インピーダンスは $z = \sqrt{\rho E}$ であり，コンクリートの密度 ρ が強度にかかわらずほぼ一定でありかつ，測定可能であることから，音響インピーダンスはコンクリートの弾性係数 E を推定するには有用な指標であると言えよう．しかし，コンクリート表面の応力を直接的に測定する手段がないので，音響インピーダンスではなく，ハンマとコンクリートの接触面の機械インピーダンスを測定する方法を用いる．機械インピーダンス法である．この方法はコンクリート表面をバネとみなし，そのバネ係数を機械インピーダンス ($Z = \sqrt{MK}$) によって測定するものである．ハンマがコンクリート面に接触して停止するまでの時間，あるいは，ハンマが停止した後コンクリート面の反発力によってハンマが押し戻される時間でのハンマの運動エネルギーとコンクリート表面の弾性変形によるポテンシャルエネルギーの釣り合いから，式(1)が成立し，コンクリート表面のバネ係数が得られる．ここで $F_{\max}$ はハンマが衝突して発生する最大打撃力， V_0 ， M は，それぞれハンマの衝突速度(あるいは反発速度)，ハンマ質量である．なお，理論的展開²⁾は既に報告している．

$$K = \frac{1}{M} \left(\frac{F_{\max}}{V_0} \right)^2 \quad (1)$$

リバウンドハンマと異なり，直接ハンマでコンクリート面を打撃することから，ハンマに発生する打撃力(コンクリート表面に発生する反力)と衝突あるいは反発速度を測定することによって，コンクリートのバネ係数が得られる．実際的には，ハンマが弾性体であるため，最大打撃力は，ハンマ衝突速度の1.2乗に比例し，したがって打撃力については，速度ベキ補正が必要である．

4. まとめ

原理的考察及び波動理論による数値計算から推定されるリバウンドハンマの反発度は，コンクリート表面のバネ係数に支配されていると判断される．勿論，コンクリート表面の塑性変形によるエネルギー吸収を否定するものではないが，ハンマの反発現象は，エネルギーの釣り合いによって説明できる程長時間継続している訳ではない．更に，リバウンドハンマの場合，コンクリート表面のバネ係数と反発度は比例関係ではなく，バネ係数が大きくなると反発度が飽和する傾向を示す．つまり，高強度コンクリートの強度推定では，その精度に疑問が生じる．これに対し，直接打撃を行う機械インピーダンス法では，コンクリート表面のバネ係数に対応して発生する打撃力が変化し，測定される値はコンクリート表面のバネ係数と直接的な比例関係にある，高強度コンクリートの場合であっても，原理的な測定精度に違いはない．むしろ，報文²⁾でも示しているように高強度コンクリートの方が強度推定時の精度が高いものと思われる．

参考文献

- 1) 境友昭:打撃式杭打機構の解析 - 差分法による1次元波動方程式の解法 - ，土木技術資料，Vol.17, No.9, pp.483-488, 1985
- 2) 金田重夫他:インピーダンス法によるコンクリート強度推定・原理と誤差, 2010年土木学会年次講演会, 2010