

水中噴流混合領域内のキャビテーション

“Cavitation dans la zone de mélange d'un jet noyé”.

Par H. Rouse.

La Houille Blanche, No.1, Janv.-Fév. 1953, p.9~19

この論文は Iowa Institute of Hydraulic Research において、1949年以來行われてきた水中噴流のキャビテーション現象に関する研究の現在までの成果を記述したものである。

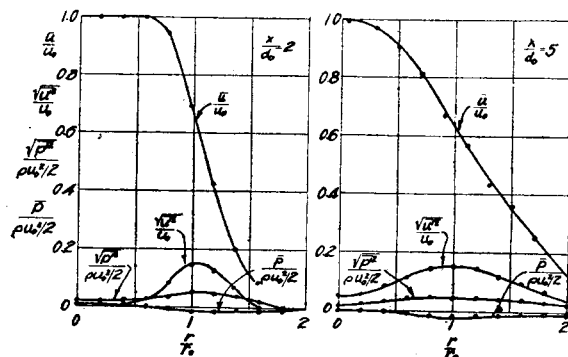
一般に流線形境界に沿う流れのキャビテーション発生は、ポテンシャル理論に基づき次式であらわされるキャビテーション指数 σ によつて予知することができる。すなわち、

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\rho u_0^2 / 2}$$

ここに、 p_0 及び u_0 は周囲の流体の圧力の強さ及び流速で、 ρ は流体の密度、 p_v は蒸気圧である。しかしながら、一旦剥離が生ずると、速度不連続の領域内に発生する渦のためにはるかに大きな σ の値でキャビテーションが惹起する。水中のオリフィスまたはノズルから噴出する水流はこの代表的な場合である。この水中噴流のキャビテーション発生を予知するためには、渦流の形成、拡散による圧力変動の特性を何らかの形で噴流の平均流速と関係づけることが必要である。速度変動と圧力変動との相関関係は均等性の乱れ (isotropic turbulence) の場合に対して Batchelor によつて解析的に次のごとくあらわされた。

$$\frac{\sqrt{\overline{p'^2}}}{\rho \bar{u}^2 / 2} = 1.17$$

図-1



ここに、 $\sqrt{\overline{p'^2}}$ は圧力変動の root-mean-square, \bar{u}^2 は速度変動の mean-square である。水中噴流の場合にはその混合領域内の乱れは均等性というにははるかに速く、この値からキャビテーションの発生をただちに予知することはできない。そこでこのような場合にはある程度まで実験に依存しなければならない。

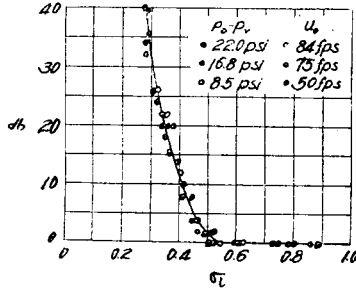
流出口径 $d_0=6''$ の空気噴流について特殊の装置 (electromechanical pressure cell) を用いて予備的な測定を行つた結果は図-1 に示してある。いま速度変動及び圧力変動の曲線からその最大値をとつて、 $\sqrt{\overline{u'^2}}/u_0=0.16$, $\sqrt{\overline{p'^2}}/(\rho u_0^2/2)=0.055$ とすると $\sqrt{\overline{p'^2}}/(\rho \bar{u}^2/2)$ の値は約 2.15 (前述の均等性の乱れに対する値 1.17 に対応) となることがわかる。しかしながら $\sqrt{\overline{p'^2}}/(\rho u_0^2/2)$ の値にキャビテーション発生頻度をあらわす frequency factor を乗ずれば、キャビテーションの予知に重要な意義をもつことになる。この factor を求めるには時間的及び場所的な乱れの分布を考慮せねばならない。時間的な分布を正規確率曲線と仮定して、圧力変動が 5% の時間だけ蒸気圧に達するとき、キャビテーション発生端緒であると定めれば、時間の factor C_t は 1.6 なる値をもつ。一方場所の factor C_s の値は渦の規模や cavity 自体の大きさ等に関係しキャビテーション現象そのものを観測する以外にその大きさを決定する方法はない。差がつてキャビテーション発生指数 σ_i としては次式の形であらわすものとする。

$$\sigma_i = C_s C_t \frac{\sqrt{\overline{p'^2}}}{\rho u_0^2 / 2}$$

さて水中噴流のキャビテーションを実測するために、この研究所に特別に設けた直径 5', 長さ 10' のタンクの一端に 1 1/2" のノズルをとりつけ、水中に含まれる空気量をできるだけ除く作業を行つて後に測定を実施した。キャビテーションの強度は実験タンクにとりつけたクリスタル型ハイドロフォン (水中聴音器) によつて観測し、これを増巾回路を通じてペン・レコーダーに記録できるようにした。この観測結果によれば

ハイドロフォンの示す音程は最初 σ の値の減少とともに一定値を保つが、キャビテーションの開始とともに急速に増大する。平均音程と σ との関係は 1 1/2" ノズルから流出する噴流について測定した結果が図-2 である。この実験では圧力、流速をいろいろに変え、その他の諸量を一定に保つて行つたものであるが、パラメーターについての系統的な偏差は認められない。そこで、この図から $\sigma_i=0.55$ なる値が得られ、これは $C_t \times C_s$ なる積の値が約 10 であることに相当する。ノズルの

図-2



先端を平行に直径の約8倍だけ延長して噴流の周囲の速度勾配を減少せしめ低圧の渦の発生を少なくするようにした場合 σ_h の値は15%だけ減少した。一方、水中に含まれている空気の量が過度に及ぶときは圧力が真の蒸気圧に達する前に流体内に cavity を形成する傾向があり σ_h の値は15%増大する。これらを考え合わせて、 $\sigma_h = 0.6$ なる設計値が水中噴流のキャビテーション発生指数として最も合理的なものであるといえることができる。以上の結果は最後のものではなく、今後の研究へ至る第一段階として意義のあるものである。
(電力中央研究所 千秋信一)

静的並びに動的な土の締め固め

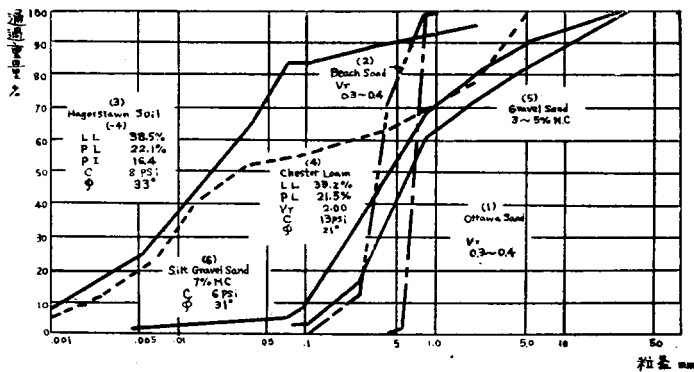
“Static & Dynamic Soil Compaction”.

by B.K Bernhard

Highway Research Board Proceeding. Vol. 31.

ニュージャージー州道路局, Bureau of Public Roads, 及び Rutgers 大学は「土の動的性状」に関する協同研究の一環として「土の締め固め」の問題を取り上げ 1947 年以降数年にわたって組織的な研究を行った。研究は、1) 種々の大きさの容器による室内締め固め試験と、2) 実用になつている種々の Compactor による現場輾圧試験とからなる。実験に使用さ

図-1



れた土は 図-1 に示す 6 種で、現場試験ではこのうち Gravel Sand (砂利混り砂) 及び Silt Gravel Sand を用い Compactor の性能の比較、並びに締め固め機構の研究を行い、室内試験ではさらに大巾に土の種類並びに含水状態を変えた場合について動的及び静的な締め固めの比較を行った。Ottawa 及び Beach Sand は粘着性のない土を、Chester loam 及び Hagerstown silt loam は粘着性のある土を代表させたもので、前 2 者はそれぞれ気乾状態、毛管飽和状態、及び飽和状態において後 2 者はそれぞれ 5~23%、10~15% に含水状態をかえて測定を行った。実験は次のような順序で行われた。

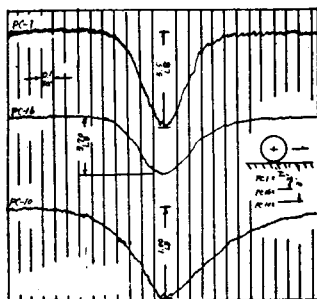
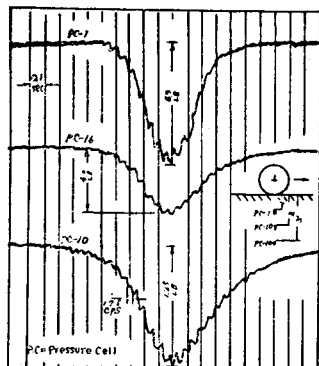
- 1) あらかじめ土をゆるく盛り平均の密度を測定する。
 - 2) 締め固め中表面の変位振巾, 土中へ伝わる pressure の測定を行う。
 - 3) 締め固め後沈下量及び密度の測定を行う。
- このうち締め固め中の沈下量の測定は室内試験では底版に取りつけた紐とこれに連繋させたポテンシオメーターにより連続的に行えるが、現場では連続測定が不可能なので測定前後におけるレベルのよみを用いた。

振動測定には電磁型の pick up と普通の電流計オシログラフを用いた。土圧計は特に振動的な衝撃力が測定できるよう留意され、結局抵抗線輪型のものではためなので linear differential transformer を用いた。圧力は 0.003~0.01" 厚の銅ベリリウム薄膜を通じて伝達され 0~60 cycle 0.001~10 lb の測定が可能であつた。また使用した Compactor は次のように大別される。

- 1) 静的なもの：ニューマチックタイヤローラー
トラックター 締め固め機 C (静的)
 - 2) 動的なもの：
 - a) 自力で前進できるもの (純動的なもの)：締め固め機 A, B, C (動的)
 - b) 索引車を附属させたもの (動的なものとの静的なものとの組合せ)：トラックター締め固め機 A
- 2.a) はさらに蛙とび運動をする衝撃式のもの、正弦的な発振装置をもつものと分けられる。このうち後者は発振機の手操作により静動両様に使えるものである。

図-2 はこの種の締め固め機 C による地盤内土圧の測定例で (a) は発

(a) 図-2 (b)



-3

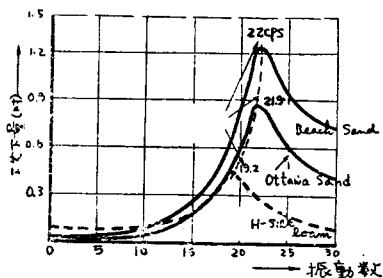


図-4

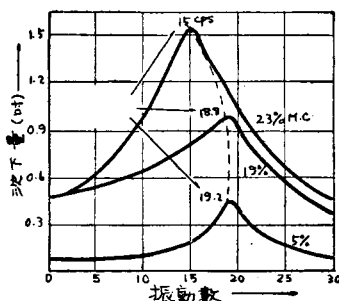
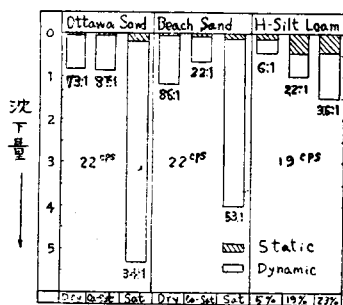


図-5



振機 (17.5 cps) を作用させた場合を (b) は作用させない場合を示す (Silt Gravel Sand 7% M.C.)。締め固

まり度の直接の比較は密度の測定及び輾圧後の沈下量の測定によって行えるが、結果からいえることは室内試験、現場試験いづれの場合においても動的締め固めによる場合は土と締め固め機の組み合わせに応じ最大の効果を示す振動数が存在することである。例えば図-3, 4は土の種類及び含水状態をかえた場合の振動数-沈下量曲線を示す (いずれも室内試

験、図-4はシルトロームによる試験結果を示す)。室内試験による結果では、最大沈下量はいかなる土の場合でも高い含水比の下で生じ砂の場合は完全飽和状態において、シルトロームでは23%において生じている。図-5はこの結果を総括せるもので動荷重と静荷重の両者によつて生ずる沈下量の比から砂質の場合ほど動荷重の効果が大きいことがわかる。現場実験の場合は締め固め機の効果を比較するために

Capacity =

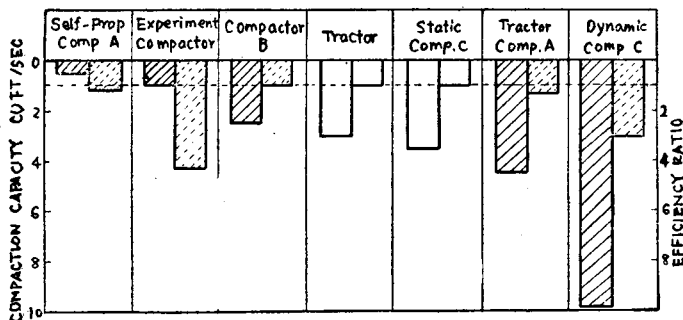
$$\frac{\text{Width} \times \text{Depth} \times \text{Velocity}}{\text{No. pass}}$$

を計算してみた。ここで締め固めの深さ (Depth) とは Proctor Density の 95% の密度を示す限界を回数 (No. pass) は表面から少

なくとも 2 ft までの深さがこの密度に達するまでに必要な締め固め回数を示す。これだけでは機械の性能が考慮されていないので一応馬力数で割つてこれを締め固めの効率 (Efficiency) と考えると 図-6 が求まる。ここで各 part の右側は Efficiency を左側は Capacity を示し、白で示したのは静的な方法によるもの、斜線で示したのは動的な方法によるものを示す。これからいえることは

- (1) 普通の路盤に用いられるような土では動的な方法による締め固めの方が有利である。
- (2) 動的な方法による場合は土と機械の各の組合

図-6



わせによつて締め固めに最も適当な振動数がある。

しかしさらに粘土分の多い土に対しての検討，費用の問題については述べられていない。

(建設省土木研究所 南部繁春)

新しい装薬法

“Alternate-Velocity Loading Introduced”.

By David M. Mc Farland.

Pit and Quarry, July, 1953.

石山から碎石を採取するための新爆破法として，さきに岩盤にあけた各孔の点火時間を $1/4$ sec づつづらせる方法を発見して，碎石を一挙に大量に製造することに成功したが，ここ1年間の経験はこれにさらに改良を加えて，驚異的な効果を収めることになった。

石山から碎石を採取するための爆破は，破碎すべき面にあけた孔につめた火薬を同時に引火爆破させるのが最上とされていたのはつい最近までのことである。1945年に $1/1000$ sec づつづらせる爆破法が案出され，写真で解析されるに及んで，この従来の概念が誤りであることが証明された。この方法にさらに改良を加えて，第1段階としてわずかづつの時差をもつ爆破を行い，これに少くおくれで第2段階としてわずかづつの時差をもつ“ノックアウトパンチ”の威力を有する爆破を行えば，さらによい結果が得られることがわかってきた。

この改良された新方法を換言すれば，振動及び音を立てないようにして2段階の爆破を行うこと，すなわち爆発によつて生ずるガスをなるべく長く中に閉じ込めておくことである。

爆破の順序として最初は低速度爆破を行つて岩盤に応力を生じさせ，次の段階として鋭い高速度爆破を行つて粉碎する。簡単に云えば，高速度と低速度の火薬を交互に一つおきに孔につめることである。この方法を発見した当初の実験においても，その効果は驚異的であつた。明らかに，第1段階として行つた低速度爆破は，岩盤に引張力等の応力を生じさせるだけで，破碎しすぎたり爆発したガスが逃げたりすることはほとんど起らなかった。このように応力を生じてくさびを打ち込まれた岩盤に，次の鋭い爆破を加えることによつて，以前の $1/4$ sec づつおくらせるだけの方法よりも相当大きな効果を収めた。

このようなことができるということは理論的には了

解されたが，実際に爆破実験を行つてこの考えの正しかつたことが明確になつた。低速度爆破を行つた箇所は高速度爆破を行つた箇所比べて面積が広く，明るい色彩を帯びている。採石用爆破に要求される理想的原理は，第2次破碎を必要としないことであるが，この新しい方法はこの条件をみごとに充した。この方法を実際に行つた老練な現場員の説明によれば，低速度爆破によつて岩盤中の弱点を探し，高速度爆破でこれを始末するというのである。あまり高速度の火薬を使用することは，少なくとも相当しつかりした岩盤に対しては，その効果が表面附近だけに限られることがわかつた。

この方法は1年前までは未だ実験的な域をでていなかった。すなわち，新しい発明がなされたあらゆる場合と同じように，この方法によつて費用がどのくらい増加するかが重要な問題であつた。ところが幸いにこの高速度爆破を助ける低速度爆破の方法としては，すでに米特許 2 609 750 の番号で硝酸アムモニウム製造の際に使用している方法があつたので，これを利用することができた。

各薬室 (Cartridge) と連絡している直径 $1\frac{1}{2}$ " の芯薬 (Core) があり，その芯薬の成分によつて薬室の爆発速度を変えることができる。この方法では芯薬の少量のゼラチンで全薬室を爆破させることができる。たしかに薬室の成分を変えるよりも，この方法の方がはるかに安い費用でできる。普通の破碎の標準としては，高速度爆破で 60%，低速度爆破で 30% ゼラチン含有の芯薬がよいであろう。

さらに，この硝酸アムモニウム製造方法から附属として次のような利点を得ることができた。すなわち，独得の耐水性の芯薬を得たことと，薬室の中の芯薬が全周でダイナマイトと接触する方法がわかつたことである。芯薬材料の改良は爆破圧力に関しては，やや増加する傾向であり，また，周辺全体で接触することによつて初期の圧力増加が減少して，全体に圧力がかかつて盛り上り，一部だけが飛ぶようなことはなくなつた。

この薬室の爆破速度調節法を碎石の技術にもぜひ取り入れるのがよいと思われる。この方法を行うことによつて，爆破の速度を変化させるとともに，爆発のタイミングをも変えることが可能となり，碎石製造法に革命的变化をもたらすであろう。

(建設技術研究所 梅田昌郎)