

III-141 水噴流による空中穿孔に関する基礎実験(潜掘工法の省力化実験その二)

フジタ工業(株)技術開発センター 正会員 石山和雄

宮沢秀治

○ 本間一臣

1 はじめに

超高圧水カジェットによる掘削の実験は、多くで行われているが、中高圧ポンプ(吐出圧20~30MPa)を用いた空中噴射掘削実験は少ない。本実験は潜掘工法の省力化の一方法として、用途のなかで中高圧ジェットによる土砂のまりくずレと軟岩の掘削に用いるための基礎実験であり、今回はその一部を報告するものである。

2. 実験目的

水カジェット掘削において、掘削に影響する要因として吐出量 Q 、吐出圧 H_0 、ノズル口径 d_0 、噴流軸長 L があり、それぞれが関連して複雑な機能をしている。本実験ではこれら問題を解決のために吐出圧の低いものについての基礎的な性質を求めることに主眼を置いて噴流軸長の変化に対する穿孔効果を調べることを目的とした。

3. 実験方法

高圧タービンポンプ(吐出圧30MPa)により発生した圧力水をジェットモニター(耐圧75MPa)より供試体に向って噴射して穿孔を行った。なおノズル(ノズル径12mm)を固定して穿孔だけに主眼をおいたものと、ノズルを移動して切ること主眼をおいたものの二種類とし、各々ノズルと供試体との距離は25mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mmの5種類である。供試体は圧縮強度として10~100MPaのものを必要とするために、セメントモルタルにベントナイトを混合して任意の強度のものを得られようようにした。その配合例を表-1に示す。なお強度は穿孔後の供試体から4本採集して試験した。

表-1 供試体配合表

配合 70強度(MPa)	セメント	砂	水	ベントナイト
50	1	5	1	0.5
70	1	4	1	0.3

実験装置はノズル固定の場合を図-1に、ノズル移動の場合を図-2に示す。

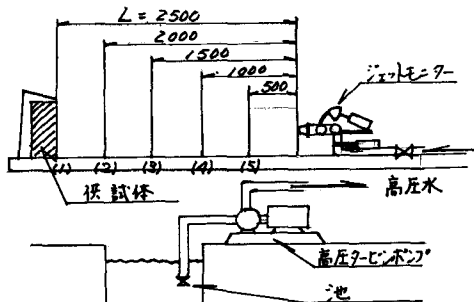


図-1 ノズル固定実験

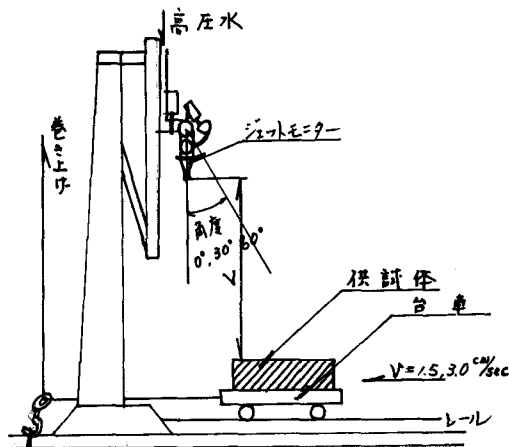


図-2 ノズル移動実験

4. 実験結果

4-1. 穿孔量と圧縮強度の関係

穿孔量 V と圧縮強度 σ の関係は、図-3に示したように、噴流軸長 L にかかわらず圧縮強度の増加に対して、特に吐出圧と同程度の圧縮強度の点で急激に穿孔量は低下する。同一強度のものに対し、噴流軸長の変化による穿孔の変化については軸長 L が短い場合には穿孔径が小さく深さが深くなるが、それから軸長 L が長くなると穿孔深さはあまり進まず径が小さくなる。またそれ以上軸長 L が長くなると穿孔径があまりかわらず深さを増す。それとこえらともはや深さは変化しなくなり径が広くなる現象があらわれている。これは水カジェットにおいては、水のはねかえりが穿孔能力の大きな要因となり、ある径以上になると、はねかえりの水が容易にはきだされるために穿孔深さをますますすることができ。すなわち、ある深さを掘るためにはそれだけの径を必要とするわけで穿孔深さに最適な穿孔径が存在することである。もちろんこれらには吐出量 Q が関係してくる。穿孔深さと圧縮強度の関係も同じようなことがいえるが、噴射時間に対しての関係があらかとなり、ある時間噴射して一定の穿孔深さに達した後には、噴射時間とものばしても穿孔深さは変化しなくなり効果が急減する図-4。

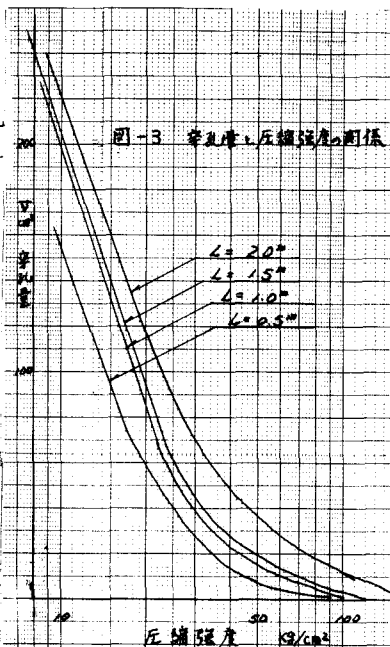


図-3 穿孔量と圧縮強度の関係

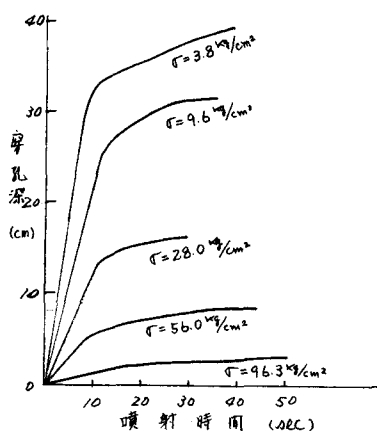


図-4 穿孔深さと噴射時間の関係

4-2. 噴流軸長 L

噴流軸長 L を小さい面積(径を変化させる)で受けて、その打撃力を測定してみたのが図-5、図-6である。

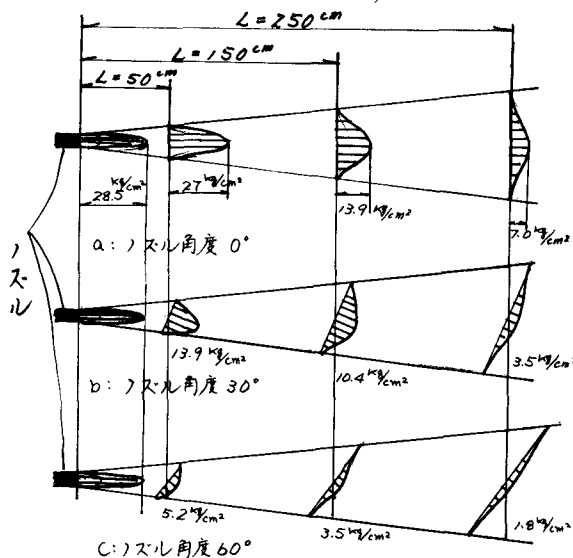


図-5 圧力分布

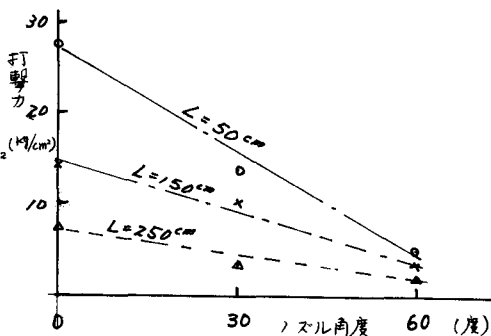
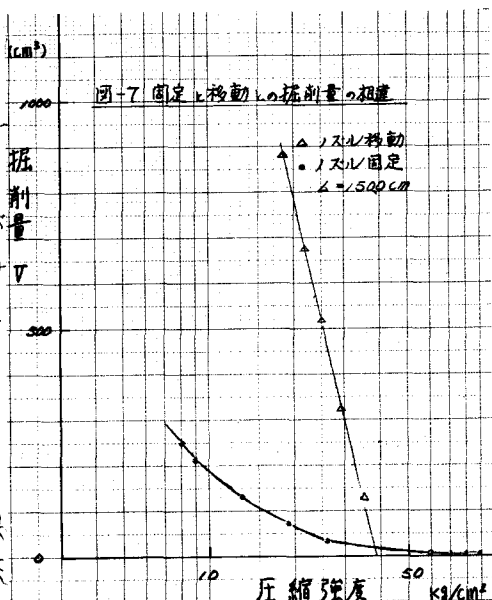


図-6 圧力分布

この図-5, 図-6は噴射水に水平に当たる面その圧力と30度の角度をもってあたる場合及び60度の角度をもってあたる場合の圧力分布を示したものであるが、ほとんどの軸長しが同じ場合には直線関係がみられるが60度の角度になると、軸長しの点ですでに角度0度の場、30度の場合と比較するとオニ巴の終りの部分と同程度の打撃力しかしめさないことになる。これはノズル移動のところでの掘削実験で実際にほとんど穿孔されない結果になっていることがらも判明している。噴流水に垂直に当たる場合には、軸長しのところで打撃力が最大であるが、その時の有効的に穿孔できる供試体の圧縮強度は30%であることからおよそ2倍程度の圧縮強度のものまで有効に穿孔できる。また軸長しと噴流軸上断面径dは簡略式で $d = d_0 + 0.82L$ の式でほぼ満足できる。

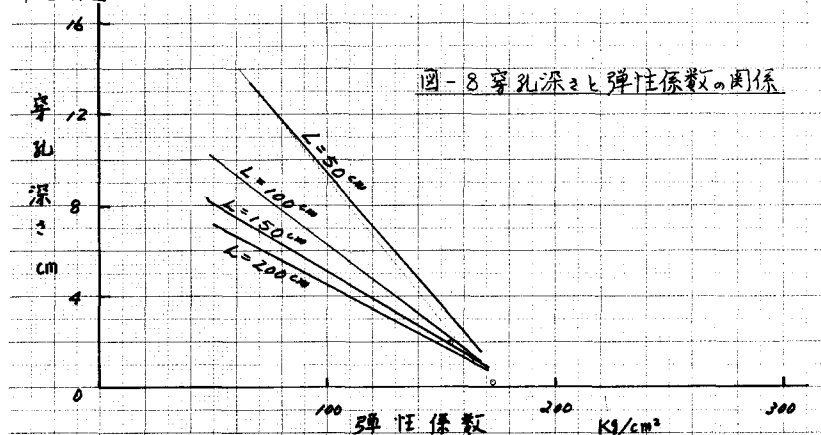
4-3. ノズル移動による穿孔量について、

ノズルを移動させた場合には、ノズル固定した場合よりも圧縮強度に対しては敏感になり、吐出圧 H_0 以上のものではほとんど穿孔されないが、吐出圧以下のものに対しては、噴射水の排除が容易であるために効率がよく、同じ時間一定の所で噴射するよりも移動した場合の方がより穿孔量も多いことが図-7より判断できる。また斜めに噴射した場合には、供試体に対しての入射角が60度のところで限度に近く、それ以上になると噴射水のほとんどが突きあたるだけでにける方にエネルギーがつかわれて穿孔はほとんどしなくなる。



4-4. 弾性係数と掘削深さの関係

物理的にも力学的にも関連のある弾性係数 E と掘削深さの関係を調べてみると、モルタルの圧縮強度と弾性係数の関係を利用してみた結果は、掘削深さと弾性係数の間には明白な直線関係を見いだすことができ、噴射距離によってその常数が変化している。これについては今後の研究課題である



5. おわりに

以上、ジェットノズルを固定した場合と移動した場合の掘削能力に関する実験結果から次の各項が考察できる。

- a. 掘削能力を穿孔量からみると、噴射距離が長い程、効率が良く、噴流のオニ区に存在する。本装置では $L = 1.50 \sim 2.50$ m 程度と推定される。
- b. 本装置の吐出圧 $H_0 = 30$ 程度の中高圧の吐出圧における掘削可能な土(岩)の最大圧縮強度は吐出圧と同程度と考えられる。また弾性係数 E から推定すると砂質軟岩、粘土質軟岩、膨潤性軟岩などが穿孔可能である。
- c. 最適噴射時間は、圧縮強度によって多少かわるが10秒内であり、移動速度としては15%程度でほとんどの穿孔が終了する。
- d. ノズルの角度は0度から30度までが穿孔効率からみて有効である。
- e. ノズルを固定して穿孔するよりむしろノズルを移動した場合の方が効率がよい。



写真-1 ノズル固定実験

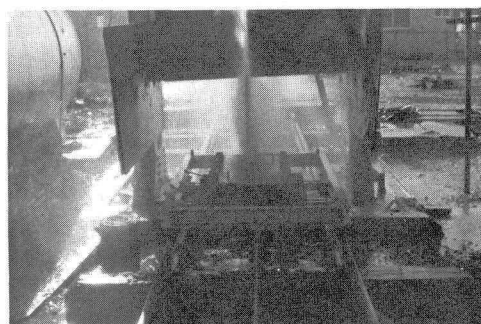


写真-2 ノズル移動実験

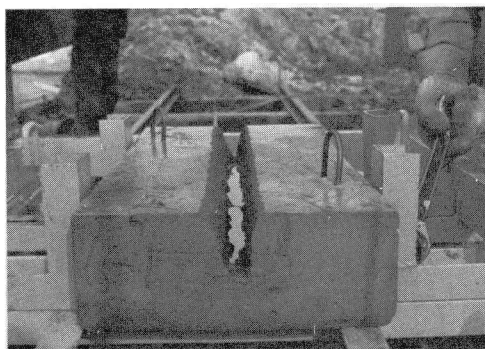


写真-3 ノズル移動後穿孔状態

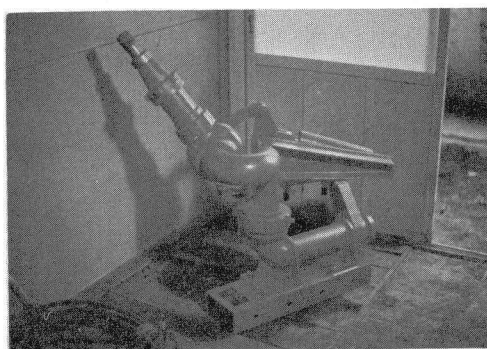


写真-4 ジェットモーター

参考文献

1. 水力採炭と水力輸送 上下巻 外尾善次郎訳
2. ジェット文献集 I II III フジタ工業(株)編集