

- 次応力の新算定法とその2・3の特性について、  
土木学会誌第23巻第3号(昭.12)
- 6) Bericht der Gruppe V der T. K. V. S. B.:  
"Nebenspannungen infolge vernieteter

Knotenpunkt-Verbindungen eiserner Fachwerk-Brücken"; Schweizerische Bauzeitung, 1923.

(昭 28. 3. 20)

## 管内の砂水流れにおける各種限界流速について

正員 小川 元\*

### ON SEVERAL BOUNDARY VELOCITIES OF THE FLOW OF SAND AND WATER MIXTURES IN A PIPE

(JSCE Aug. 1953)

Hajime Ogawa, C.E. Member

**Synopsis** Head loss of the flow of sand and water mixture in a pipe depends deeply on boundary velocity of that flow. The writer in this paper has investigated that relation and researched several kinds of boundary velocities by two-inch pipe. And he describes a method of getting head losses under voluntary conditions.

要旨 管による砂輸送における抵抗の問題は、結局砂水の流れの限界流速の問題に帰することを述べ、2"管において各種の限界流速を求めて、これによつて数種の砂につき一般に抵抗を求める方法を示したものである。

#### 1. 限界流速の値

次項に述べるような観察によつて、抵抗の大きさは終局的に砂流れの状態によるものであるという考えに達したので、その状態を決定する限界流速の測定に実験を向け、表-1~4のような値をほぼ確実なものとして決定することができた。測定回数は約300回で、実験方法、砂の種類その他は前稿と同様である。数字は平均流速 (cm/sec) を示し、濃度は表記のとおりであるが、砂投入速度を一定にしているので沈澱の項は

濃度高く、完全分布の項は、その流速に応じて濃度が低い。

表中「沈澱」とは徐々に流速を減じていつた場合砂粒が初めて静止して沈澱する流速、「転動」とは沈澱していた砂が転動または滑動して静止する部分がなくなつた時の流速、「浮遊」とは転動していた砂粒がすべて管底をわづかでも離れるに至つた時の流速、「完全分布」とは、砂粒がほぼ管断面一様に分布する時の流速を各示してある。なお蛇動というのは沈澱している部分が、沈澱したまま移動と静止とをくり返す状態である。

従つて「沈澱」は上限を示し、「転動」は下限を示すからその値は近似すべきであり、「転動」と「浮遊」及び「浮遊」と「完全分布」とはある距離を持つべきで

表-1~4 限界流速 (cm/sec)

#### 1. 砂投入 200~250 g/sec, 濃度 5~3%

砂種	沈澱	転動	浮遊	完全分布
No. 1	95	120	140	180
No. 2	145	150	195	290
No. 3	150	150	180	290
No. 4	150	160	190	320
No. 5	140	150	200	300

#### 3. 砂 970 g/sec 濃度, 19~9%

砂種	沈澱	転動	浮遊	完全分布
No. 2	150	170	210	290
No. 3	155	160	220	290
No. 4	150 <sup>1)</sup>	175 <sup>2)</sup>	220	(320)
No. 5	140	150	220	300

1) 120 から蛇動 (周期約 1") 2) 150 から滑動 (連続)

#### 2. 砂 580~610 g/sec, 濃度 12~6%

砂種	沈澱	転動	浮遊	完全分布
No. 1	125	140	160	220
No. 2	155	170	200	280
No. 3	150	150	200	280
No. 4	150	160	190	320
No. 5	140	150	210	300

#### 4. 砂 1140 g/sec, 濃度 20~10%

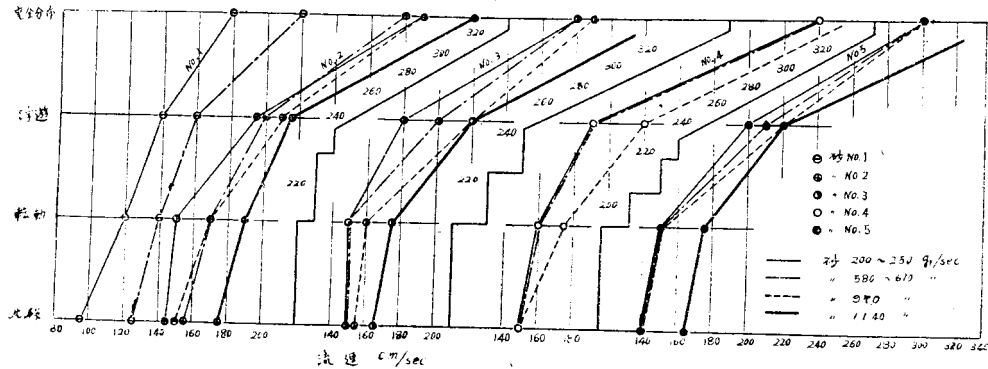
砂種	沈澱	転動	浮遊	完全分布
No. 2	175	190	215	320
No. 3	165 <sup>1)</sup>	175 <sup>2)</sup>	220	(320)
No. 5	165	175	220	(320)

1) 蛇動 (周期約 1") が混る

2) 蛇動 (周期約 0.1") が混る

\* 山口大学講師, 工学部土木工学教室

図-1 流れの状態と限界流速



ある。転動の上限は浮遊と考えることができる。濃度は流速によつてことごとく異なるので、各その流速に対する濃度を計算及び実測を照合して求めてある。粗粒 (No.3, No.4) の砂は最後まで完全に分布するまでに至らず、「完全分布」の項に示してある流速でも上部は幾分砂が少な目であつた、( )を附したものは特にそうである。

表-1~4 を図化すると 図-1 になる。

2. 流れの状態と抵抗値

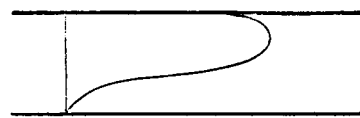
両者の関係を観察すると次のようである。

完全分布をしている時は比重によつて表わされた抵抗値は水の場合と一致する。流速がそれ以下になると抵抗値は水と離れ始める。この場合濃度が一定ならば抵抗は一定に保たれるから、結局抵抗は点の分散する位置を求めれば求められることになる。

まず観察するに、管内の砂が沈殿静止している時でも表面には転動あるいは浮遊しているものがあり、下層は転動していても上層は浮遊していることが多い。

しかして浮遊している粒は転動している粒より流速が速い。全部浮遊している場合でも完全分布していなければ上部は下部より流速が速い。これから管内の流速分布は 図-2 のごとくであろうと推定されるがこれは次の事実によつてさらに裏付けられると思われる。

図-2 沈殿時における管内の流速分布 すなわち



初め清水を流しておいてその中へ砂を投入すると、流速が落ち、その落ちた流速によつて濃度及び流れの状態が決まるのであるが、その流速の減少量を求めてみると表-5~8 のごとく常にほぼ一定である。これも平均流速の差を  $cm/sec$  で示し、濃度は表-1~4 に大体対応している。この表における「沈殿」「転動」等は、限界ではなく領域を示している。

この表をまず横方向に見ると、大体において数字が一定である。すなわち砂の種類によつて流速減少量が

表-5~8 流速差 (cm sec)

5. 砂投入 200~250 g/sec

領域	砂No.1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均
沈殿	8	9		7,11	7.8	8.3
転動	5				8,6,9,7	7.0
浮遊	3	(18)(16) (18)6 6	8,7	12	9,9,7	7.4
完全分布		3(-2)	7		10,2 (22)5 11	6.3

7. 砂 970 g/sec

領域	砂 No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均
沈殿	28,29		25,24	32	27.6
転動	(6)33,38		26,28 27,30	28,26,26	29.1
浮遊	(6)	26	31,27	34,34,35	31.1
完全分布	22	29,23		19,26,19	23.0

6. 砂 580~610 g/sec

領域	砂No.1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均
沈殿	12	17,21			23,19	18.4
転動	10	22,23 26,17	20		18,21 18,19	19.4
浮遊		26,26 (0)17 22	(36)	21,16	27,(5)	22.1
完全分布		24		24		24.0

8. 砂 1140 g/sec

領域	砂 No. 2	No. 3	No. 5	平均
沈殿	31	30	34	31.7
転動	21,25	43,35,30	36,34	32.0
浮遊	31,36	27	36,37	33.4
完全分布	36	22	30	29.3

ほとんど変わらないことがわかる。そこでいま( )を附した10個(母数104)の特異値を除いて比較のためこれを平均してみる。するとその平均値は1表中では大した変動がなく、その大きさの順序は偶発的である。故にこれから砂の流れる状態によつても、流速差はほとんど変化がないことが認められる。明瞭な差異は表と表との間にあるだけである。このことは流速減少量は、砂投入速度によつて変わるだけで、換言すれば毎秒搬送量によつて変わるだけであつて、初めの水の流速及び砂の流れる状態にはほとんど関係しないということを示している。念のため濃度ごとに流速差を分散し直してみても濃度による影響は認められない。

この理由についてはまだ断定できないが、結果論的に次のことはいえる。

完全浮遊している時の流速減少は管断面全体で起るが、沈澱している時のそれは断面様には起つていないはずである。しかるにこの両者の減少量が等しいならば、沈澱している時の上部流速は平均流速よりも大でなければならぬ。これが沈澱を生ずる時に抵抗が大になる原因であつて、マンメータータップは管の上部2箇所開口しているから、上部流速による損失が現われる。沈澱している場合は流水断面が最小であるから抵抗は最も大きく、転動域にある場合は流水断面は完全断面との中間になるので抵抗の増加率もその中間の値をとる。

一方実験によつてその増加した抵抗の値が、これらの領域においては、濃度が一定であれば常に一定であることが観取されているから、従つてこの区間では部分的流速は、砂の状態には無関係に一定に保たれることが推論される。しかりとすれば結局抵抗の値は本質的には砂によつて生ずるものではなく、部分的な水流によつて生ずるものであり、問題は砂流れの状態にあることになる。よつて第1項のごとき限界流速を求めたものである。

なお抵抗の絶対値は、清水中に砂を投入すると、砂が完全分布する場合には少し下がり、そうでない場合には上がる。下がるのは平均流速が落ちるからであるが、その下がつた抵抗も、その流速の清水の抵抗に比べれば高い。その高い比率はちようど砂水の比重に等しい、ということになる。抵抗の減少量は、それだけが砂を上げるに要する仕事に使われたためである。

### 3. 限界流速の吟味

表一1~4を少し分析してみる。

i. 粒径による限界流速の変化 表の各欄を縦に見ると、No.1を除いて数値にたいした変化がない。完

全分布欄のみ No.4の値が多少大になつている。これは粒径 0.3 mm 以下 (No.1) になると限界流速が急に变化するが、0.3 mm 以上 1.2 mm までの区間では粒径による変化はあまりないことを示している。

完全分布の流速のみ、粒径が粗くなると (No.4) 大になるが、その程度はこの段階の流速がかなり大きい。ため、他の段階におけるほど正確にはわからない。これらのことがら図一1において No.1を除く4種の砂の曲線がほとんど位置が等しいことによつて観察できる。

次に表を横に見ると、砂の状態がどれぐらいの流速域で変化してゆくかわかる。

「転動」は転動域中の下限、「浮遊」は浮遊域中の下限流速をそれぞれ示しているから、従つて「転動」から「浮遊」までは転動域である。これによつて表を見ると No.1は転動域 20, No.2 以下は 30~70 cm/sec で No.5 が最も大きい。すなわちここでも 0.3 mm (No.1) の境界が顕著で、0.3 mm 以下の細砂はこの附近では比較的不安定で、浮遊している段階から急に沈澱を起しやすいくことを示している。No.2 以下では粒径による差はあまり認められない。

図一1を見ると No.1は全体の領域が狭く、勾配が急である。また全般的には浮遊から完全分布に至るまでの領域が最も長いことがわかる。

ii. 濃度による変化 表一1~4の相対応する項を比較すると濃度による変化がわかる。例えば沈澱欄 No.3の項を比べると 150, 150, 155, 165 である。このようにして各項を比較してみると、大体その差は 10~20 cm 以内であるが、時によつて 40, 50 cm に及ぶものもある。これらを要約すると、次のように推論される。

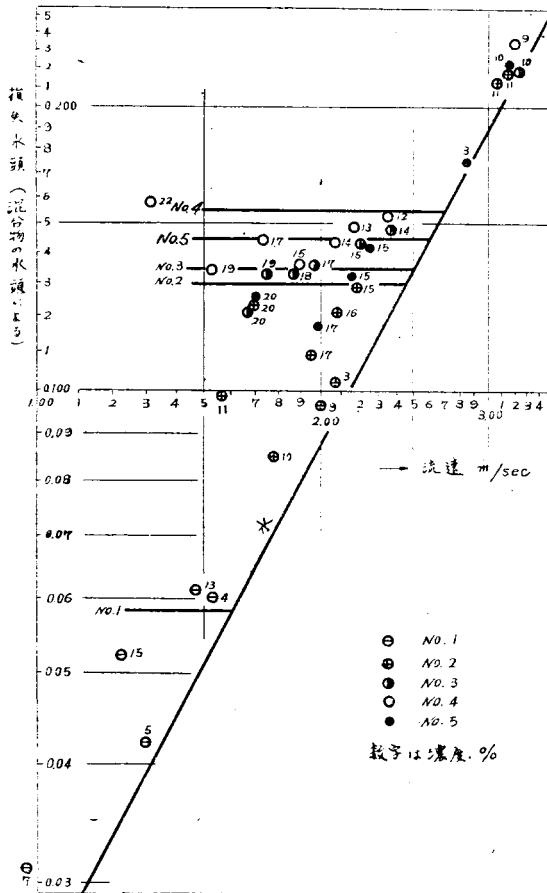
- (1) 小粒の砂 (No.1) は濃度の影響が大きい。
- (2) 濃度 20% 以下では限界流速に大なる変化がないが 20% に近づくとかかなり急に上昇する。
- (3) 大粒の砂 (No.3, 4, 5) は濃度による変化が小さい。

図一1をみると濃度ごとの線は大体平行移動するようであるが、砂量 1140 g/sec を除いて、その位置の変化が少ないことによつて、濃度の影響が少ないことが了解される。なお濃度は表間で重複しているところがあるが、「沈澱」欄で濃度大、「完全分布」欄で濃度小になるので、相対応する欄では常に表一1~4の順序で濃度が大になつている。

iii. 細粗混合による影響 砂 No.5 は No.1, 2, 3の砂の混合である。これによると混合の影響と思われるものを見出すことができる。

表によつて No. 5 の転動域を求めると 50 cm/sec (濃度 5~4%) 60 (濃度 12~9%) 70 (濃度 19~13%) 45 (濃度 19~15%) であつて他の砂より大きい。No.5 の流れる状態を観察すると、細粒から順次に転動あるいは浮遊し始めて、沈殿の領域でも一部は転動あるいは浮遊している。「浮遊」欄に示してある値は、最後の粗粒が完全に浮遊を終る流速で、この時にはすでに大部分のものは浮遊を終り、水は相当濁つた状態にある。これは単一の粒径の場合とかなり趣が異なるもので、細粗混合の場合は砂粒は自然に選別せられて細粒から順次浮遊するものと思われる。従つて No. 5 の転動域はその組成粒径の転動域をふくめたものとなり、最も長くなる。しかしさらに No.3 と No.5 はともに最大粒径 1.2 mm であるにもかかわらず、低濃度においては No.5 の方が浮遊流速が大きく、そのため転動域が長い。その理由は No.5 は細粗混合しているために (中間粒径 No.3=0.72 mm, No.5=0.49 mm) 先に浮遊した細粒が乱れを減少させるためであると思われる。高濃度になると絶対量が多いためその影響が

図一三 砂水の抵抗値 (実験 VI)



消える。

以上によつて細粗混合した場合は、転動域は各粒径の砂のそれを総合したものとなるが、低濃度の場合にはそれ以上に浮遊しにくくなると言える。この場合どの程度の値をその代表的限界流速としてとるべきかは、目的によつて異なるであろうが、いずれにしてもその大きさは、粒度組成、各段階の沈殿速度及び濃度による沈降加速を考慮した有効沈降速度とでも名づけるべきものによつて決定すべきであろう。

4. 任意状態における抵抗値

実測された抵抗値 (前稿及び本稿 図一三) より、抵抗が平行型に移行する分岐点を求めてみると大体表一9 のようになる (濃度は総合したものをとる)。この値

表一9 測点分散を始める流速 (cm/sec)

砂 No.	1	2	3	4	5
流速	160	245	250	270	260

を限界流速と比較してみるといずれも浮遊と完全分布との間にある。しかし No.1 と No.2 は浮遊流速の方に近いが、No.3 と No.4 は完全分布の方に近い。しかしこれは No.4 が粗粒 (相馬標準砂) で完全分布が困難であつたから、正確にはわからない。

これらから次のことが言える。

砂水の抵抗は、砂が完全に分布しなくなると水と離れて水平に移行し始める。しかしてその分岐点は、細粒のものは浮遊限界流速に近く、粗粒のものはそれよりかなり高流速になる。

このことがわかり、さらに表に示された限界流速、及び前稿に示した水の抵抗図とがあれば、これによつて任意濃度 (20%以下)、任意流速の砂水の抵抗をただちに求めることができる。すなわち与えられた濃度に対応する浮遊限界流速を表から求め、それからのズレを考慮して点の分散する流速を定める。与えられた流速がこれより上の場合は比重で割つた抵抗値は水と一致し、下の場合はそのまま一定に保たれる。もちろんその時の砂の流れる状態もただちにわかる。水抵抗図がない場合には一般の平均流速公式を用いばよい。

以上によつて砂水の抵抗の性質はほぼ明らかになされたとするものであるが、これは 2" 管についてであり、一般の管径についてはさらに今後の研究による。

なお以上の限界流速の値は、硝子管部の観察によつて得られたものであり、硝子管と鉄管との粒度の相違、両者の継目の影響は考慮していないから

その値に多少の変動は予想される。それにしても全体の領域としては信頼し得るものと考えている。なお鉄管は内面亜鉛鍍 2" 鈔鉄管で、内面の状態はかなりなめらかである。

5. 結語

砂水流れの抵抗は、砂のために変化した水の部分的流速のために生ずるもので、これを求めるためには、砂が浮遊し、完全に分布するに至る流速を知ればよい

ということを述べたものである。

以上の現象の定量的解析はさらに実験を進めてから行いたい。文部省科学研究費及び他の援助ならびに御指導を賜わつたことは前回と同様である。

参考文献

- 1) 小川 元：2 インチ管による砂輸送の抵抗に関する実験，土木学会誌，第 38 巻第 4 号。

(昭. 28. 4. 12)

コンクリートアーチ橋の横荷重応力について

正員 工学博士 水野高明\*  
 准員 彦坂良次\*\*

ON THE LATERAL LOAD STRESSES IN CONCRETE ARCH BRIDGES

(JSCE Aug. 1953)

Dr. Eng., Takasaki Mizuno, C.E. Member, Ryōji Hikosaka, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** In this paper, for the purpose of wind stress calculation in reinforced concrete arch bridges, these structures are treated as a space rigid frame and their panel moments are obtained by the generalized slope-deflection method. Two joint rotation angles as well as one member rotation angle being taken as unknowns at each panel joint, a set of linear equations with 3n unknowns for n panel points are written. For the symmetrical structures, the process can be much simplified by combining the symmetric and polar-symmetric loadings.

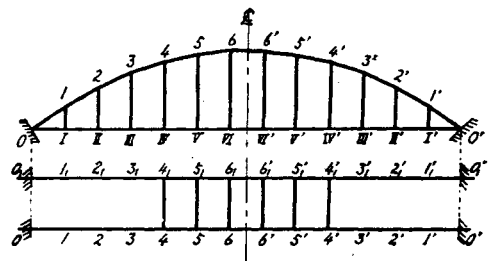
要旨 鉄筋コンクリートアーチ橋の横荷重応力を求めるに当り、二、三の仮定を設けてこれを立体ラーメンとして取扱ひ、その節点モーメントを撓角法に準じて求める方法を示す。

この場合未知量としては、各節点に節点迴转角 2 個、吊材迴转角 1 個づつを選ぶ。従つて節点の数の 3 倍の多元 1 次連立方程式を解かねばならない。しかし構造が対称性を有する普通の場合には、対称荷重及び逆対称荷重を組合わすことによつて未知量の数を半減せしめ得る。またこの連立方程式を機械的に表示して計算の便をはかることができる。

1. 序言

一般に鉄筋コンクリート構造物では、各部材が節点において剛結されるのが普通で、例えば図-1 のごとき下路式アーチ橋の場合、アーチリブ、吊材及び上横材は横方向には互いに剛結されて立体剛節構造を形成する。アーチが横荷重を受ける場合の応力算定の方法については、すでに多くの研究があるが<sup>1), 2), 3), 4), 5), 6), 7)</sup>、本文では最も一般の場合として以上のごとき立体剛節

図-1



構造に対し撓角法を応用せんとするものである。

図-1 のごとき下路橋の場合、吊材の下端は横方向には床部に剛結されたものと考え、床部は剛性大なるものとみなしてその変形を無視し、従つて吊材の下端を固定端と考える。また荷重は節点の両側半格間及び吊材の上半部に働くものはこの節点に集中荷重として作用するものと仮定し、背面のアーチも前面のアーチと等しい横荷重を受けるものとする。なお簡単のためにアーチリブは各節点間では一定矩形断面の直線部材として取扱うこととする。

2. 未知量及び釣合条件

上述の仮定に従えば問題は立体ラーメンが水平横荷

\* 九州大学教授，工学部土木教室

\*\* 宮崎大学講師，工学部土木教室