

流れに対する応答特性（変形特性）に着目した 既往かごマット工と剛性の強い金網を用いた 小粒径かご工の水理的評価

HYDRAULIC EVALUATION OF JAPANESE POPULAR TYPE GABION
MATTRESS AND NEW TYPE GABION MATTRESS MADE OF SMALL SIZE
STONES AND STIFF STEEL WIRE MESH CONSIDERING THEIR
CHARACTERISTICS AGAINST FLOOD FLOW

末次忠司¹・諏訪義雄²・東高德³・平林桂⁴

Tadashi SUETSUGI, Yoshio SUWA, Takanori HIGASHI and Katsura HIRABAYASHI

¹正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地）

²正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所（ 同上 ）

³正会員 独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6）

⁴正会員 株式会社サンボー（〒400-0111 山梨県中巨摩郡竜王町竜王新町 2277-15 赤坂ソフトパーク）

In this study, we evaluated the characteristics against flood flow of Japanese popular type gabion mattress and new type gabion mattress made of small size stones and stiff steel wire mesh by full-scale hydraulic experiments. The Evaluation is carried out for three states of their response to flow. The Evaluations for state I, II are corresponding to method done by Colorado University. State III is evaluated by same method done by us in 2000. As the result, Japanese popular type gabion mattress is stronger than that used for hydraulic experiments in Colorado University. New type gabion mattress made of stones that size are 4~5cm and stiff steel wire mesh is as strong as Japanese popular type gabion mattress.

Key words: Gabion mattress, characteristics against flood flow, small size stones and stiff steel wire mesh, high-speed model test

1. はじめに

コロド大学の水利実験^{1),2)}及び2000年の研究³⁾において、かご工は、流れの強さによって中込材の移動状況や金網の変形状況、力の作用状態が変化する応答特性（変形特性）を持っていることがわかっている。これを具体的に示すと、図-1のような3つの状態（状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）に分けられる。状態Ⅰは、流れが弱い時に見られ、中込材の移動や金網の変形が起きていない状態であり、設置時と同じ状態を保ち安定している。状態Ⅱは、状態Ⅰより流れを強くしていくと起こり、中込材の移動は若干生じるものの金網の変形が起らない状態である。状態Ⅲは、さらに流れを強くしていった時に起こる状態であり、中込材の移動が大きくなって下流に偏り、金網が押し上げられて変形している状態である。この状態では、流れによる中込材の変形を金網の抵抗力（剛性）が抑えている。

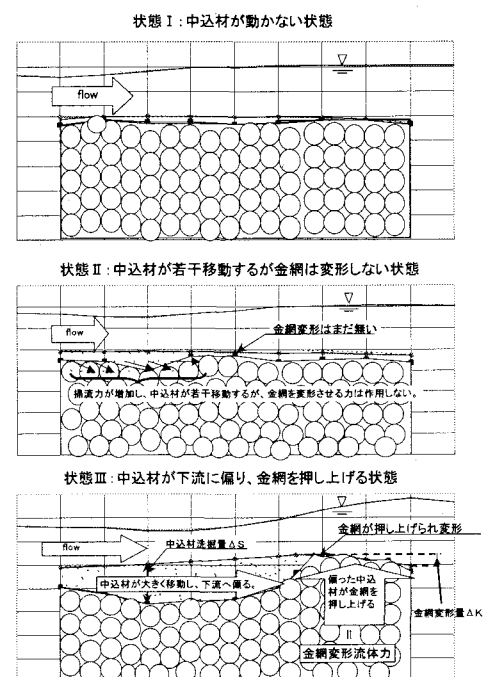


図-1 鉄線かご工の流れによる応答特性

表-1 実物大実験ケース一覧

かご工の種類	金網諸元			中込材諸元		使用水路	状態Ⅰ→Ⅱ				状態Ⅱ→Ⅲ			
	種類	目合い	線径	遮蔽率	種類	平均粒径	最大流速(m/s)	摩擦速度(m/s)	無次元掃流力	掃流力(N/m ²)	最大流速(m/s)	摩擦速度(m/s)	無次元掃流力	掃流力(N/m ²)
中込材のみ	なし	—	—	—	玉石(均一)	54mm	1.7	0.18	0.037	32.41	—	—	—	—
	なし	—	—	—	玉石(均一)	76mm	2.03	0.18	0.027	32.34	—	—	—	—
	なし	—	—	—	割棄石(混合)	82mm	2.44	0.27	0.057	75.068	—	—	—	—
既往かごマット	菱形金網	65mm	5mm	0.1580	割棄石(混合)	82mm	3.9	0.48	0.17	226.38	5.07	0.83	0.30	400.82
	菱形金網	65mm	5mm	0.1580	玉石(均一)	76mm	4.06	0.42	0.14	172.97	4.94	0.57	0.26	321.44
小粒径強剛性金網	溶接金網	40mm	4.0mm	0.1000	玉石(均一)	54mm	3.83~4.86	0.52~0.58	0.31~0.36	270.48~311.64	5.42	0.71	0.58	506.66
	"	"	4.0mm	0.1000	玉石+粗目砂	40mm(玉石)	1.77~3.04	0.191~0.319	0.056~0.157	13.84~101.72	4.53	0.572	0.505	327.03
	"	"	5.0mm	0.1250	玉石+粗目砂	"	1.94~2.98	0.202~0.287	0.063~0.136	40.79~88.17	4.77	0.547	0.463	298.1
	菱形金網	40mm	4.0mm	0.1850	玉石+粗目砂	40mm(玉石)	—	0.294~0.362	0.134~0.203	86.40~130.99	—	0.466	0.336	217.07
	溶接金網	"	4.0mm	0.1000	玉石+粗目砂	"	—	0.362	0.203	131.27	—	0.466	0.336	217.07
	"	"	3.2mm	0.0800	玉石	"	—	0.362~0.391	0.203~0.236	130.99~152.82	—	0.391	0.236	152.78
	"	"	6.0mm	0.1500	玉石	"	—	0.28~0.37	0.121~0.211	78.37~136.85	—	0.443	0.303	196.17
	"	"	4.0mm	0.1000	"	"	—	0.28~0.42	0.121~0.273	78.37~176.33	—	0.464	0.333	215.21
	溶接金網	40mm	2.5mm	0.0620	玉石+粗目砂	40mm(玉石)	0.94~1.9	0.11~0.23	0.019~0.078	12.1~50.6	3.07	0.416	0.27	172.97
	"	"	1.6mm	0.0400	"	"	1.43~1.89	0.13~0.23	0.027~0.08	17.68~51.51	3.09	0.349	0.188	121.72

現在のかご工の設計⁴⁾では、コナド[®]大学の水利実験結果^{1),2)}を取り入れて、設置対象地点の水利条件において、かご工を状態Ⅰもしくは状態Ⅱに保つという考え方で、中込材の無次元掃流力 τ_* を0.10以下に抑えるよう設計する。かご工に多少の変形を許す場合には中込材の無次元掃流力 τ_* を0.12まで許容する。昨年の研究では、現場発生材(小粒径材料)の中込材への利用、新製品開発につながる金網性能の設計への反映を念頭に、状態Ⅲを対象にした新しい設計法を提案した。しかし、2000年の研究³⁾では、中込材が小粒径のもの、金網は剛性の強いものについての実験結果しか整理しなかったため、また、設計の対象としている状態が異なるため、新たに提案した設計法やかご工が既存のかご工の性能と比較してどのような位置づけとなるかが明確でなかった。

そこで、本研究では、既往かごマット工と剛性の強い金網を用いた小粒径かご工の両者について、既往の実験結果の整理や新たな実物大水利実験を行って、応答特性の状態別に水量との関係の評価した。評価は、状態Ⅰ→Ⅱ、状態Ⅱ→Ⅲは中込材粒径と掃流力との関係で、状態Ⅲは、最大流速と中込材・金網の変形量との関係で整理した。

2. 実物大実験によるかご工の流れに対する応答特性検討

今回、検討の対象とした実物大実験のケース一覧表を表-1に示す。実験の対象は、中込材のみ、既往かごマット工、金網の種類を変えた小粒径かご工の3つに大きく分けられる。実験方法は、高流速水路を用いた実験と傾斜水路を用いた実験の2つに分けられる。

高流速水路実験は、2000年の研究³⁾と同様、長さ1.6m、幅1m、厚さ50cmのかご工を表面が水路床と一致するように設置した上に、水深20cm弱の水脈を流速1.0m/sから7.6m/sまで段階的に変化させて通水した。各段階の通水後のかご工の変形状況と通水時の水面形、流速の鉛直分布を測定した。

傾斜水路を用いた実験では、幅4.8m、深さ3.5m、縦断勾配1/5の大型水路内を幅2mの水路2本に仕切り、水路床に実物大かご工を数基連続して設置した。かご

工は水路ごとに金網や中込材の入れ方を変えた。流量を段階的に上げて通水し、各流量通水時の水面形と通水後のかご工の変形状況を測定した。

整理解析は、主として高流速水路による実験結果を中心に行い、補助的に傾斜水路を用いた実験結果も整理した。

状態Ⅰと状態Ⅱにおける掃流力の算定は次のように行った。高流速水路実験では流速の鉛直分布に対数則を仮定して摩擦速度 U_* を算定し、 $\tau = \rho \cdot U_*^2$ で掃流力を算出した。傾斜水路実験では、水面形が等流に近かったことから、 $\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I_e$ で I_e に水路勾配1/5を用いて掃流力 τ を算出した。なお、コナド[®]大学の水利実験^{1),2)}も、傾斜水路による実験であり、掃流力の算出は $\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I_e$ で行っている。

状態Ⅲにおける整理は、高流速水路による実験結果についてのみ行い、方法は、2000年の研究と同じく、流速鉛直分布測定結果の最大流速と中込材、金網の変形量の関係、最大流速と金網変形流体力の関係を整理した。

3. 実験結果と考察

(1) 状態Ⅰ→Ⅱにおける評価

図-2に状態Ⅰ→Ⅱに変化する掃流力 τ と中込材粒径の関係を整理した結果を示す。図は、コナド[®]大学の実験結果^{1),2)}に、今回整理した実物大水利実験の結果を重ねて作成した。

中込材のみの実験結果から算定した移動限界掃流力は、 $\tau_{*c}=0.05$ のまわりに概ねプロットされた。ただし、粒径7.6cmの玉石の移動限界掃流力が小さかった。

かご工の場合の、状態Ⅰ→Ⅱに変化する掃流力 τ は、中込材粒径だけでなく、かご工の種類によっても変化する。コナド[®]大学の水利実験結果^{1),2)}では、中込材の移動限界掃流力は $\tau_{*c}=0.10$ であったが、既往かごマット工の実験結果では状態Ⅰ→Ⅱに変化する掃流力は、コナド[®]大学の実験結果^{1),2)}よりも大きく、 $\tau_{*c}=0.15$ 前後であった。参考に他の実験結果もプロットしてみる

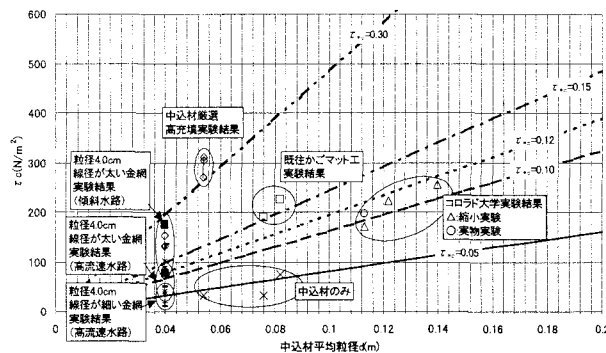


図-2 中込材粒径と τ の関係(状態Ⅰ→Ⅱ)

と、図-2のように大きくバラつく。粒径4cm 中込材(粗目砂も混合)と線径の異なる剛性の強い金網(目合いは同じ)を用いた実験では、線径が細かい金網の掃流力は線径が太い金網の掃流力より小さい。また、同じ線径の金網を用いた場合でも実験によって差が出る。線径の細かい金網を用いた場合の無次元掃流力は、 $\tau_{*c}=0.03\sim0.08$ で、コロバド大学の水理実験結果^{1),2)} $\tau_{*c}=0.10$ より小さく、線径の太い金網を用いた場合の無次元掃流力は、 $\tau_{*c}=0.05\sim0.30$ と大きくなり、既往かごマットの実験結果である $\tau_{*c}=0.15$ と同程度と見ることができる。また、中込材の粒径を金網から抜けない粒径に厳選し、充填を高くした実験では状態Ⅰ→Ⅱに変化する無次元掃流力が $\tau_{*c}=0.30$ 以上と極端に大きい。

かご工が中込材の移動限界掃流力を大きくする作用について平林ら⁵⁾は、かご工表面に作用する流体力の一部を金網が分担することにより中込材に作用する流体力を小さくする効果(掃流力分担効果)と流体力により浮上しかけた中込材を金網が押さえ込む効果(押さえ込み効果)の2つによると推定している。ここでは、前者の金網による掃流力分担効果について考察するため、図-3のような金網の遮蔽率と中込材の無次元移動限界掃流力(状態Ⅰ→Ⅱに変化する時の中込材の無次元掃流力)の関係について整理してみた。金網の遮蔽率とは、かご工上面における流れ方向から見た金網の面積の総和をかご工上面の面積で割ったものである。金網の遮蔽率が大きいほど、かご工表面に作用する掃流力における金網の分担量が大きいと想定される。図-3では、バラツキ・幅はあるものの、想定したとおり金網の遮蔽率が大きくなるにしたがって中込材の無次元移動限界掃流力が大きくなる傾向が伺える。コロバド大学の水理実験^{1),2)}で用いた金網の遮蔽率は0.06もしくは0.08と推定され、今回我々が実験を行った既往かごマット工の金網の遮蔽率0.16に比較して小さく、その影響が中込材の無次元移動限界掃流力の違いに表れたものと考えられる。

ただし、線径4mm、目合い40mmの金網を用いた

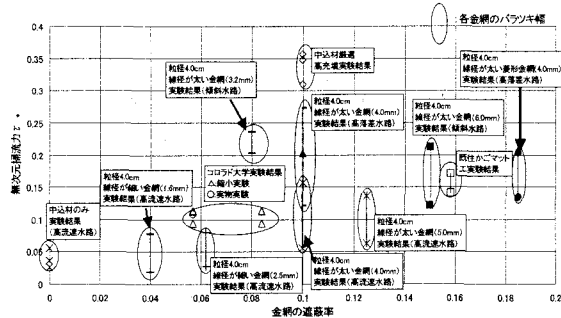


図-3 金網の遮蔽率と τ の関係(状態Ⅰ→Ⅱ)

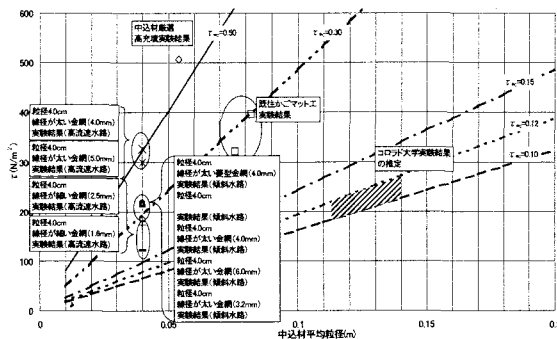


図-4 中込材粒径と τ の関係(状態Ⅱ→Ⅲ)

実験結果は、バラツキが大きい。極端に無次元移動限界掃流力が大きい結果は、中込材粒径を厳選し、充填を高くした実験のものである。それを除いても、バラツキが大きいものは残る。

(2) 状態Ⅱ→Ⅲにおける評価

図-4に、状態Ⅱ→Ⅲに変化する掃流力 τ と中込材粒径の関係を整理した結果を示す。この図も、図-2と同様、コロバド大学の実験結果^{1),2)}推定値に今回整理した実物大実験の結果を重ねて整理している。

図-4から、既往かごマット工の状態Ⅱ→Ⅲに変化する無次元掃流力は $\tau_{*c}=0.30$ 程度と評価され、コロバド大学の実験結果^{1),2)} $\tau_{*c}=0.12$ よりも大きい。

かごマット工以外の実験結果についても同様に整理すると、金網の種類によって、実験ケースによって結果のバラツキが大きいことがわかる。中込材の粒径を金網から抜けないものに厳選し、充填を高くしたケースでは掃流力 τ が大きくなっており、中込材の無次元掃流力 $\tau_{*c}=0.50$ 以上と評価される。同じ粒径の中込材を用いて、金網の種類を変えた実験では、線径が太いケースの方が、線径が細かいケースに比較して掃流力が大きくなる傾向がある。状態Ⅰ→Ⅱに変化する時の掃流力とは異なり、線径が細かいケースにおける状態Ⅱ→Ⅲに変化する無次元掃流力 $\tau_{*c}=0.15\sim0.30$ は、コロバド大学の実験結果^{1),2)} $\tau_{*c}=0.12$ よりも大きい。また、線径が太いケースの状態Ⅱ→Ⅲに変化する無次元掃流力は $\tau_{*c}=0.30\sim0.50$ と評価され、既往かごマット工と同等もしくは大きい。掃流力で比較しても、既往かごマット工に近い値とな

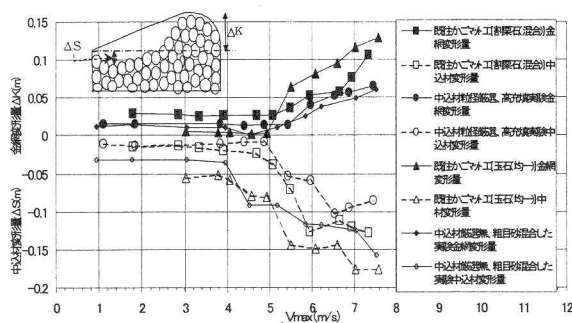


図-5 流速と金網変形量 ΔK 、中込材変形量 ΔS

っており、金網から抜けにくい粒径を厳選して充填を高くすれば既往かごマット工より大きくなっている。これは、小粒径の中込材を用いても、金網の種類や中込材の粒径の選定と充填の仕方によって、既往かごマット工と同程度の強さにできることを示している。

(3) 状態Ⅲにおける評価

図-5は、最大流速と中込材、金網の変形量の関係を、図-6は、最大流速の2乗とその時にかご工に作用した金網を押上げる力（図-1の状態Ⅲ参照。以降これを金網変形流体力と呼ぶ）の関係を示したものである。図は、中込材に割栗石を用いた既往かごマット工、中込材に玉石を用いた既往かごマット工、小粒径中込材と強剛性金網を用いたかご工2種類の4つについて示している。既往かごマット工の中込材については、玉石、割栗石ともほぼ同じ平均粒径（それぞれ7.6cm、8.2cm）のものを用いている。ただし、玉石についてはほぼ均一粒径、割栗石については混合粒径となっている。小粒径中込材と強剛性金網を用いたかご工は、金網から抜けにくい粒径の中込材を厳選し充填を高くしたケースと粒径を厳選していない小粒径中込材に粗目砂を混合したケースの2ケースである。金網変形流体力は、2000年の論文³⁾と同様、金網変形量と荷重の関係を調べるかご工の曲げ剛性試験を行い算出した。

図-5から、中込材の変形、金網の変形ともに、粒径を厳選していない小粒径中込材と強剛性金網を用いたかご工、中込材に玉石を用いた既往かごマット工、中込材に割栗石を用いた既往かごマット工、厳選した小粒径中込材の充填を高くし強剛性金網を用いたかご工の順に変形を開始しやすいことがわかる。また、中込材の変形量は、中込材に玉石を用いた既往かごマット工、粒径を厳選していない小粒径中込材と強剛性金網を用いたかご工、中込材に割栗石を用いた既往かごマット工、厳選した小粒径中込材の充填を高くし強剛性金網を用いたかご工の順に大きい。金網変形量は、中込材に玉石を用いた既往かごマット工、中込材に割栗石を用いた既往かごマット工、厳選した小粒径中込材の充填を高くし強剛性金網を用いたかご工、粒径を厳選していない小粒径中込材と強剛性金網を用いたか

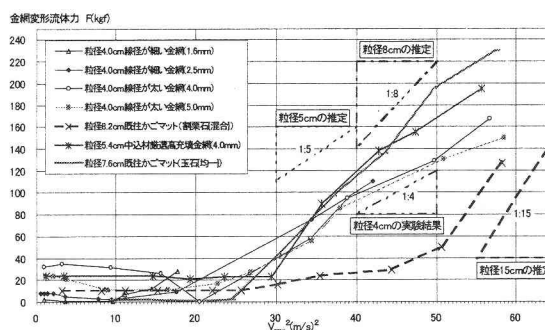


図-6 流速の2乗と金網変形流体力の関係

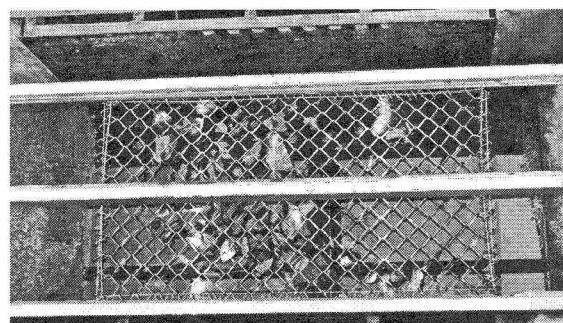


写真-1 既往かごマット(割栗石混合)金網に刺さる状態

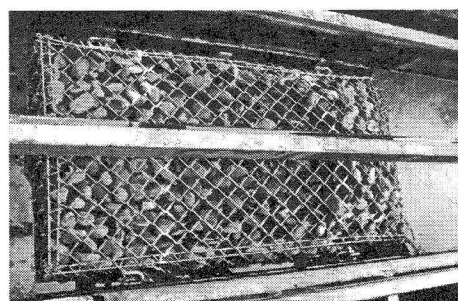


写真-2 既往かごマット(玉石均一)金網を押上げる状態

ご工の順に大きい。ただし、中込材に玉石を用いた既往かごマット工以外の3ケースには大きな差はない。中込材に割栗石を用いたかごマット工は、金網が変形し始めてしばらくは流速の増加に伴う金網の変形量の増加は小さいが、最大流速6.6m/sを越えると金網変形量の増加が急激に大きくなる。

図-6からは、玉石を用いた既往かごマット工、厳選した小粒径中込材の充填を高くし強剛性金網を用いたかご工、粒径を厳選していない小粒径中込材と強剛性金網を用いたかご工、中込材に割栗石を用いた既往かごマット工の順に金網変形流体力が大きいことがわかる。割栗石を中込材に用いた既往かごマット工は $V_{\max}^2=50(\text{m}^2/\text{s}^2)$ まで金網変形流体力が小さく、 $V_{\max}^2=50(\text{m}^2/\text{s}^2)$ を越えると金網変形流体力が急激に増加する。これは、次のような要因によると考えられる。割栗石を用いた既往かごマット工は、変形してからしばらくは写真-1のように動き出した中込材の先端が金網に刺さった状態となり中込材が下流に偏るのを防いでいる。一方、玉石を用いた既往かごマット工は、写真-

2のように中込材が下流側に偏って金網を押し上げており、写真-1のような中込材が金網に刺さる状況は見られない。割栗石を中込材に用いた場合でも、流速を上げていくと、最後には写真-3のように中込材が下流に偏り、金網を押し上げるようになる。この状態が、図-6の $V_{max}^2=50(m^2/s^2)$ 以上の金網変形流体力が急激に増加する状態にあたる。割栗石の写真-1の状態では、中込材に作用する流体力の一部が、中込材が金網に刺さったことにより金網を下流方向へ押す力に分担され、金網変形流体力が小さくなるが、写真-2や写真-3の状態では、中込材に作用する流体力のほとんどが金網変形流体力に変換されていると推定される。

したがって、状態Ⅲを想定して設計する場合には、中込材に割栗石のような金網に刺さりやすい形状の石を用いた方が、変形しにくい構造物にすることができそうである。

(4) 2000年論文³⁾の考察との比較

2000年の論文³⁾において、金網変形流体力と流速の2乗の関係は、一定の流速以上になると比例し、この比例係数(図-6における傾き。以下、金網変形流体力係数と呼ぶ)は、かご工の幅 B と中込材の粒径 d もしくは有効斜面長 l に比例すると考えられることを示した。今回の実験において、中込材の粒径を変えた実験を行ったことから、2000年論文の考察²⁾の適否を評価してみる。

今回新たに行った実験では、中込材粒径が5.2cm、7.6cm、8.2cmの3ケースである。かご工の幅は2000年³⁾と同じ1mであるため、実験結果には粒径の違いが表れるはずである。図-6には、2000年の実験における中込材粒径4cmと金網変形流体力係数をもとに、粒径の違いを反映させて推定した傾きを示してある。図-6から、推定した傾きと合っているように見える部分も多い。(3)で述べたように、中込材に割栗石を用いたケースの流速が小さい時の傾きは、中込材が金網に刺さったため中込材に作用する流体力が金網変形流体力に変換されなかったものと考えられる。また、粒径を厳選した小粒径中込材の充填を高くし強剛性金網を用いたケースの変形しはじめの傾きが急な部分は、中込材の充填を高くしたことによって中込材、金網の変形開始が遅れたためと考えられる。それらを除けば、概ね実験結果の傾きと推定値はよく一致していると評価できる。つまり、中込材粒径を大きくすると、変形後の金網変形流体力は急激に大きくなる(=変形を始めると急に壊れるおそれがある)。

次に、金網変形流体力係数について考察する。2000年の論文³⁾で、金網変形流体力係数の理論値と実験結果が合わないこと、その原因として変形部分の中込材近傍の流速が測定した流速より速い可能性が考えられ

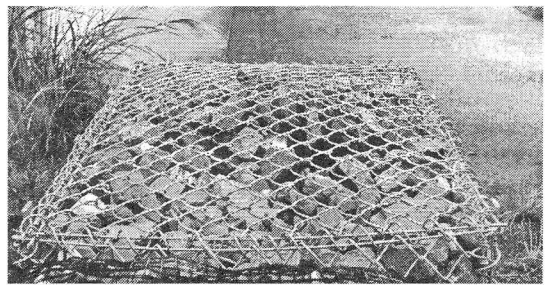


写真-3 既往かごマット(割栗石混合)金網を押し上げる状態

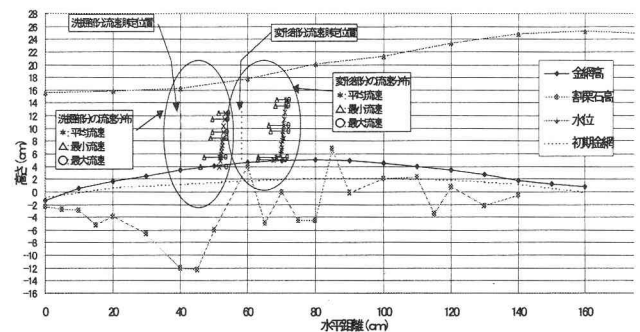


図-7 金網最大変形地点の流速分布

ることを示した。そこで、今回の実験では変形部分における流速の鉛直分布を測定した。その結果を図-7に示す。図-7から明らかなように、最大変形部分においても、流速は底面で遅いことがわかる。したがって、理論値と実験結果との違いは、他に原因があると考えた方がよい。

なお、本研究では、状態Ⅲにおけるデータ整理にあたってかご工上の流速鉛直分布の最大値を用いているが、その根拠は次のとおりである。図-7には、流速鉛直分布測定結果に流速変動幅を入れてある。流速変動は、ピト管の静圧管、動圧管の圧力変動を圧力計によって0.02秒間隔で1分間測定し、各時点の圧力差を流速に換算したものの変動である。静圧管の圧力測定に課題が残るが、流速変動は概ね測定できていると考えられる。図-7から、底面付近の最大流速は、平均流速鉛直分布の最大値とほぼ等しいことがわかる。かご工の変形は、このような乱れのある流速の最大値が中込材に作用した時に起きていると考えられる。

金網変形流体力係数の理論値と実験結果が合わない最も有力な原因は、金網を押し上げようとする中込材に作用する水平方向抵抗力の仮定である。2000年の論文³⁾では、中込材の水平方向抵抗力として金網と中込材の摩擦抵抗を見込んだ。しかし、写真-2、3のかご工の変形状況を再度よく見ると、下流に偏った中込材は、金網に袋状に抑えられており、金網を押し上げる中込材の水平方向の抵抗力は、金網と中込材との摩擦抵抗以上に、袋状に貯まった中込材を金網の水平方向張力で支える力の方が大きそうである。この抵抗力

を適切に見込んでいないことが、理論値と実験結果との差となって表れている可能性が高い。

金網に作用する張力を見込んで金網変形流体力と流速の関係を推定すると、次のようになる。金網を押し上げる中込材に作用する力の関係を図-8のようにモデル化する。ここで、水平方向の力の釣り合いを考えると、

$$D = X + \mu \cdot N \cdot \sin \theta + N \cdot \cos \theta \quad (1)$$

ここで、D：中込材に作用する抗力、X：金網の張力、 μ ：中込材間の摩擦係数、N：金網を押し上げる中込材とそれを支持する中込材の間に働く垂直抗力、 θ ：金網を押し上げる中込材とそれを支持する中込材の接地面が鉛直方向となす角度。また、Nは、鉛直方向の力の釣り合いから、

$$N = D \cdot \cos \theta + F \cdot \sin \theta - L \cdot \sin \theta \quad (2)$$

と表せる。ここで、F：金網変形流体力（＝金網が中込材を押さえつける力）、L：中込材に作用する揚力である。単荷重が作用する桁の軸力は荷重の2乗に比例する関係にあることから⁶⁾、金網に作用する張力と金網変形流体力は(3)式のような関係にある。

$$X = K \cdot F^2 \quad (3)$$

ここで、K：金網の張力と鉛直方向荷重の2乗との間の比例係数。また、抗力Dと揚力Lは、次のように表せる。

$$D = 1/2 \cdot \rho \cdot C_D \cdot A_D \cdot V^2, \quad L = 1/2 \cdot \rho \cdot C_L \cdot A_L \cdot V^2 \quad (4)$$

$$A_D = A_L = \pi/4 \cdot d^2 \quad (5)$$

ここで、 ρ ：水の密度、 C_D ：中込材の抗力係数、 C_L ：中込材の揚力係数、 A_D 、 A_L ：中込材の抗力・揚力方向の投影面積、V：中込材に作用する流速、d：中込材の粒径である。(2)～(5)式を(1)式に代入すると、

$$K \cdot F^2 + (\mu \cdot \sin^2 \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta) F + ((\mu \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + \cos^2 \theta - 1) \cdot C_D - (\mu \cdot \sin^2 \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta) \cdot C_L) \cdot \rho \cdot \pi/8 \cdot d^2 \cdot V^2 = 0 \quad (6)$$

となり、金網変形流体力Fは流速Vに比例すると推定される。

なお、現時点では金網の張力と鉛直方向荷重の2乗の比例係数が不明であるため、(6)式の定量的な妥当性検討を行うことはできない。また、実験結果整理にあたっては、金網変形流体力Fをかご工の曲げ剛性試験結果と金網変形量から算出しているが、かご工の曲げ剛性試験では、金網に張力を作用させていないことから、曲げ剛性試験・金網変形流体力算定方法に課題が残っていることがわかる。

4. 結論

本研究の成果をまとめると以下のとおりである。

- ① 既往かごマット工は、中込材のみと比べ、中込材の移動限界掃流力を状態Ⅰ→Ⅱで3倍（ $\tau_c=0.15$ ）、Ⅱ→Ⅲで約5.5倍（ $\tau_c=0.30$ 程度）にすることができ、コナテ大学の実験結果¹⁾²⁾、状態Ⅰ→Ⅱで2

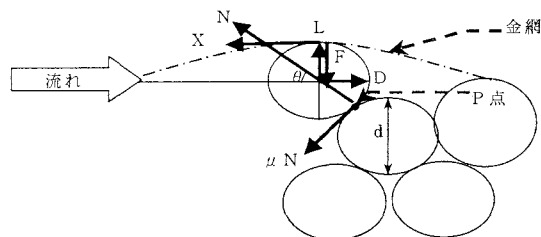


図-8 金網を押し上げる中込材に作用する力のモデル

倍（ $\tau_c=0.10$ ）、状態Ⅱ→Ⅲで2.4倍（ $\tau_c=0.12$ ）よりも大きく、強い構造物であると評価できる。これは、金網の掃流力分担効果の違いによると考えられる。

- ② 小粒径中込材と強剛性金網を用いたかご工は、中込材のみと比べ状態Ⅰ→Ⅱで1～6倍（ $\tau_c=0.05 \sim 0.3$ ）、状態Ⅱ→Ⅲで6～10倍（ $\tau_c=0.3 \sim 0.5$ ）にする効果がある。特に金網から抜けにくい粒径を厳選し、中込材の充填を高くすれば、既往かごマット工と同程度あるいはそれ以上の強度を発揮させることができる。
- ③ 状態Ⅲでは、既往かごマット工は、中込材の粒径が大きいため急激な変形が生じる。一方、小粒径強剛性ふとんかごでは、中込材粒径が小さいこと、金網の剛性が強いことにより金網の変形量を小さくする事ができる。
- ④ 中込材の種類では、状態Ⅲの範囲で割栗石の方が玉石の場合より金網の変形量を抑えることができる。これは、割栗石の先端が金網に刺さって、中込材に作用する流体力が金網を押し上げる力ではなく金網を水平方向に押す力に使われるためと考えられる。
- ⑤ 金網変形流体力を計算によって理論的に評価するためには、金網に作用する張力を考慮して評価する必要がある。

参考文献

- 1) D.B.SIMONS,Y.H.CHEN,L.J.SWENSON,Hydraulic test to develop design criteria for the use of Reno mattresses, Fort Collins, Colorado, 1983
- 2) Office Maccaferri S.p.A.:Flexible linings in Reno mattress and gabions for canals and canalized water courses,1985
- 3) 藤田光一、諏訪義雄、東高德、平林桂：流れによる変形特性に着目した新しいふとんかご設計の試み、河川技術に関する論文集 第6巻,pp357～pp362,2000年6月
- 4) (財)国土開発技術研究会編：護岸の力学設計法、山海堂、平成11年2月
- 5) 平林桂、望月達也、藤田光一：河床上の球体に作用する流体力の時間変動および球体の運動解析、水工学論文集 第41巻, pp723～pp728,1997年2月
- 6) たとえば、酒井忠明著：構造力学、技報堂出版、1970年3月

(2001. 4. 16 受付)