

プランジングジェットに伴う気泡連行による水位上昇とその伝播

豊橋技術科学大学 ○岩田 武則
 豊橋技術科学大学 丸山 衛
 Univ. Queensland Hubert CHANSON
 豊橋技術科学大学 青木 伸一

1. 研究目的

砕波帯付近の水理現象は理論的なアプローチが難しいために、未解明の部分が多く残されている。特に、砕波によって連行された気泡の影響は、スケール効果が大きいことため水理実験による検討も難しい。本研究では、巻き波砕波によって連行された気泡が砕波帯付近の水位上昇にどのように寄与し、更にその水位上昇が波動としてどのように伝播するのかを明らかにするために、鉛直プランジングジェットによって発生する段波を対象とした水理模型実験を行って気泡の水位上昇に及ぼす影響を調べたものである。

2. 実験方法

水理模型実験は長さ20mの水路を用いて行った。水路上部約1mの位置に容量約1 m³の貯水タンクを設置し、タンク底部に設けたオリフィス(75cm×7cm)のゲートを開放することにより鉛直のジェットを水路内の水面に突入させる。これによって巻き込まれた気泡の挙動をビデオカメラを用いて撮影するとともに、ジェット突入点近傍から水路全長にわたる水位変動を記録し、水位の時空間変動を調べる。

実験ケースは、水路の水位を20cm, 30cm, 40cm、タンクの水位を約32cm (0.43m³)、57cm (0.7 m³)、77cm (1.06m³)で行った。気泡の連行の影響をみるためにジェットを薄いビニールシートで覆って気泡連行を抑制した場合についても実験を行った。以後、シートを用い気泡連行を抑制したケースを「シートあり」、通常のジェットを用いたケースを「シートなし」と呼ぶ。水位の測定位置は、ジェットの突入地点を原点とし-0.1m, 1m, 2.3m, 4m, 7m, 12m離れた点で行った。

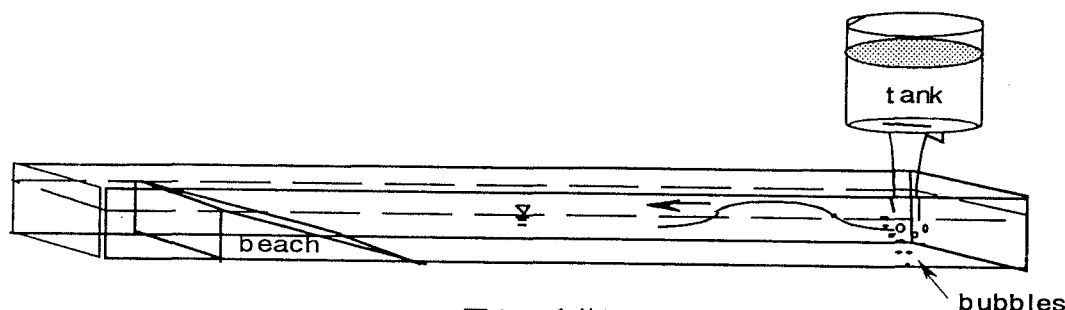


図1 全体図

3. 段波理論

プランジングジェットでの気泡連行による水位上昇量を知るためには、突入水塊自体による水位上昇量との区別が必要である。そこで段波理論に注目した。

段波は静止あるいは定常状態で流れている開水路流に水門を開いて流量を急増したり、あるいは水門を一部もしくは全部閉じて流量を急減した場合に発生する。今回の実験でもジェット突入時には段波の現象が見られ、発生機構も水門の開閉に例えられる。つまり、タンクからのジェット流出時は開門時に、タンク内の水位低下に伴うジェット流量の減少は閉門に伴う流量の減少に相当する。そこで、段波理論には気泡連行の影響が考慮されていないことから、この理論を用いることで気泡連行が全く起らなかった場合のジェット突入、つまり突入水塊自体による水位上昇量を求めることができ、実際のジェット突入による水位上昇量との差で気泡連行による水位上昇量を求めることができる。

タンクからのジェット突入による段波水深 d_2 は、段波前断面Ⅰ～段波後断面Ⅱでの連続式、運動量保存則から得られ、(1)式のように与えられる。

$$Q^2 = \frac{1}{2} g d_2 (d_2^2 - d_1^2) (d_2 - d_1) / d_1$$

また、時系列毎の段波水位減少量 Δd は特性曲線の理論から(2)式のように与えられる。

$$\Delta d = \frac{\Delta Q}{Q/d_2 + B\sqrt{gd_2}} \quad (2)$$

Q : ジェット流量 [m³/s]

ΔQ : ジェット流量の変化量

d_1 : 段波前の水深 [m]

d_2 : 段波水深 [m]

Δd : 段波後の水位減少量 [m]

B : 水路幅 [m]

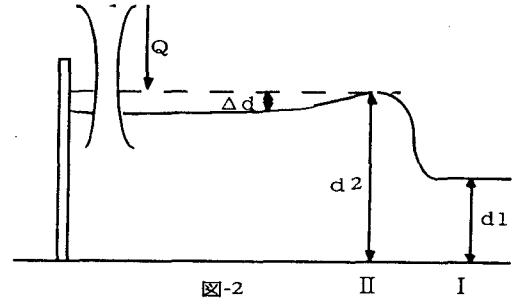


図-2

4. 考察

シートありとシートなしのオリフィスの流出係数を比較すると、シートありの流出係数は、約0.8であるのに対してシートなしは、0.62~0.65であった。したがって、シートありとシートなしでは違う流出係数になってしまい、単純に水位データを比較することはできない。図-1はシートなしの水深データと段波理論から求まる水深値を比較したもの、図-2はシートありと理論値との比較をしたもので、太線は実験による水深値の平均的な変動を表したものである。実験の平均的水位変動と理論による水位変動の差は、シートなしとシートありではシートなしの方が大きくなった。この違いを数値的に捉えるために理論値との差を水位上昇率として表したものが図-3, 4である。X=1mの点ではジェット突入直後の水位上昇率は、シートなしの方がシートありより大きくなった。X=2.3mの点でも同じようにシートなしの方が大きくなった。これらの結果からジェット突入での気泡連行により水位上昇が発生することが言えるが、上で挙げた流出係数の違い、気泡による水位上昇が水塊による水位上昇と比べ小さいことなどを考えると、上述の差異は現時点では気泡による差異かどうかを明確にすることは難しい。

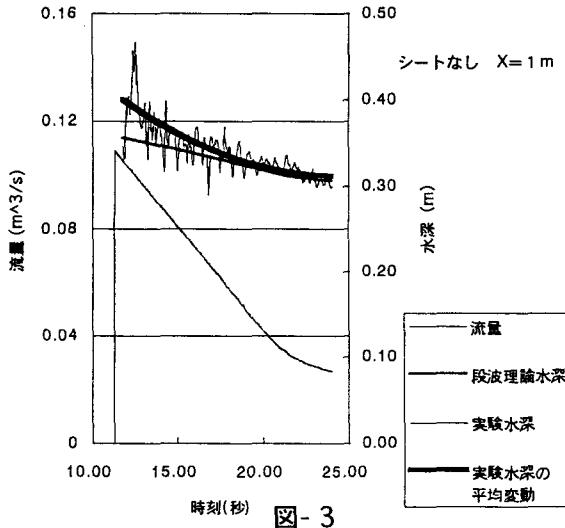


図-3

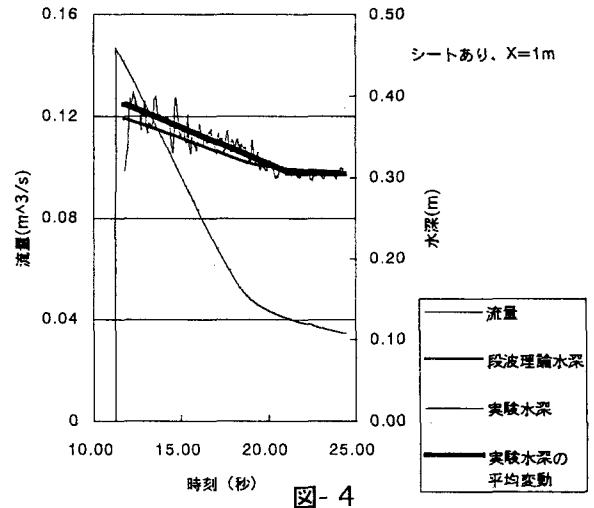


図-4

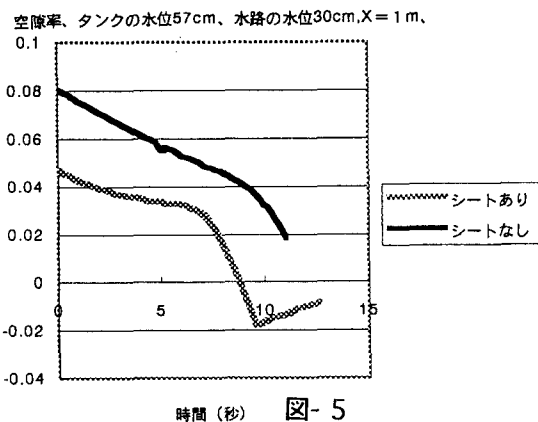


図-5

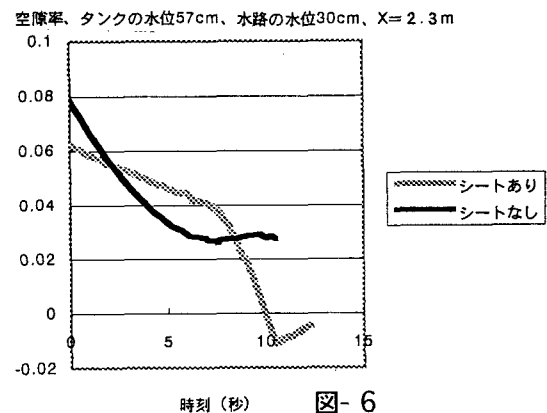


図-6