

Ice Scour Eventの地盤掘削プロセスと 実験条件の制御

PROCESSES OF ICE SCOUR EVENT AND CONTROL METHODS OF TEST CONDITIONS

木岡信治¹・安永喜勝²・松尾優子³・佐伯浩⁴

Shinji KIOKA, Yoshikatu YASUNAGA, Yuko MATUO and Hiroshi SAEKI.

¹正会員 工博 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²正会員 工修 前田建設工業株式会社 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2丁目)

³学生会員 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁴正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

Ice Scour Event is a phenomenon that occurs when ice comes into contact with seabed. Ice scour has been reported to have caused damage to communication cables and water intake pipelines. Since oil and natural gas exploration projects in offshore areas of arctic seas are becoming popular, more care must be taken over the design and installation of oil pipelines in such areas in order to avoid accidents due to ice scour. It will be very important to acknowledge mechanisms (ice motions, sub-seabed conditions on gouge events). In addition to our previous tests including the medium-scale model test (Kioka et al., 2000,2001), we have performed many series of model tests under various conditions. We examined the main factors for Scour-process, and obtained many results needed for future work (numerical simulation of Ice scour event). We also examined the control methods of test conditions due to an excess pore water pressure that influence the scour process, including scale-effect.

Key Words : keel, ice scour, scour curve, excess pore water pressure, bulldozing force, attack angle

1. はじめに

Ice Scour (Gouge) Eventとは風・流れ・コリオリ力,あるいは周りの平坦氷との相互作用も含む広義のdriving forceと呼ばれる原動力をもとに,喫水の大きな氷塊がより浅海域に移動する場合,海底地盤を掘削する現象である。その喫水の大きな氷塊はアイスバーグ,または氷の乗り上げ,破壊によって形成した変形氷(アイスリッジ,ハンモック等と呼ばれる)であり,前者の場合,喫水は数百m,後者の場合,数10mに達する場合がある。これにより取水パイプライン,各種ケーブル等海底構造物の破損事例が報告されている。今後氷海域への石油天然ガス開発のニーズと期待が高まる中,大規模な氷塊の移動を考慮した氷海構造物,特にIce Scour Eventに関わる石油・ガスパイプライン等の海底構造物の体系的な設計法(埋設深の推定法)の開発が急務となっているのが現状である。

著者等は従来から,砂質地盤を想定し,その基盤となるべき情報を得るため小規模それに中規模程度の模型実験を実施してきた¹⁾²⁾。本研究はそれらの模

型実験に引き続き,実験ケース(地盤勾配,模型氷の移動速度,砂のタイプ,attack angle)を広げるとともに,従来の実験データと合わせて,定量的な分析を行い,新たな考察を加えた。これは主として掘削深(Scour depth)を表す氷の挙動特性(Scour-curve;氷の掘削軌跡)を明らかにするとともに,Ice scour eventに関する数学モデル³⁾の妥当性の検証あるいはその適用限界を知る事を目的としている。また,Scour-curveは氷の移動速度に応じた(あるいは粒径)地盤内に生じる過剰間隙水圧と密接な関係にあった。その場合,スケールによるその影響を除去できるような模型実験方法について若干議論した。最後に,これらの知見に立脚した,実用的な掘削深推定手法の概要についてのべた。

2. 実験方法および実験条件

実験方法は基本的には従来¹⁾と同様であるが,再度簡単に示しておく。水で満たされた60cmの幅を有する水路に一定勾配となるように砂(各3種類,表-1参照)を敷き詰め,模型氷(鋼製モデルKeel;変

形氷等の水面下の部分をkeelという)を最大長5mのピニオンラックを走行する台車で水平方向に一定速度 V_0 (1, 5, 10, 20, 30cm/sの5段階)で押すシステムで行った。モデルkeelは回転は許さないが、鉛直方向には自由に運動できるように走行台車との間にはローラーを配備し、モデルKeelの重心位置の鉛直方向の相対変位量を変位計により計測した。ここで、モデルkeelの回転を許さないというのは、①本来不確定な地盤の状態や環境力に依存する極めて複雑な回転を除去し、注目するパラメータに対する応答特性を定量的に調べる(現象の単純化)、②実現象においても、初期には回転は無視でき巨視的な回転が誘発する前に、地盤抵抗力によって停止、あるいはkeel底部の破壊が発生することが考えられる(後述)、のもとに近似的にこの条件を与えた。また、モデルKeelとローラ当たり板との間にロードセルを介し水平方向の荷重 F (bulldozing force)を計測した。同時に3地点に間隙水圧計を地盤表面より深さ10cmに埋設し、過剰間隙水圧を計測した。

表-1 実験に用いた砂の特性(珪砂)

	S.T.1	S.T.2	S.T.3
中央粒径(mm)	0.167	0.554	1.387
均等係数	2.19	1.49	1.66
内部摩擦角(間隙比0.7)	33.1	35.0	37.7
安息角	33.0	33.0	36.0
砂粒子比重	2.66	2.69	2.70
水中単位重量(kN/m ³)(間隙比0.7)	9.57	9.74	9.80
模型氷と砂との動摩擦係数	0.32	0.35	0.38

表-2 模型実験条件の概要

	ケース1	ケース2	ケース3
海底勾配	1/25	1/25	1/25
砂のタイプ	ST.1	S.T.2	S.T.3
Attack angle(deg.)	30~90	30~90	30~90
氷の移動速度(cm/s)	1~30	1~30	1~30
最大計測範囲(cm)	230	230	230
間隙水圧計測の有無	有	有	有
標本数(同一条件)	5~8	5~8	5~8
	ケース4	ケース5	
海底勾配	1/50	1/100	
砂のタイプ	S.T.1	S.T.1	
Attack angle(deg.)	30~90	30~90	
氷の移動速度(cm/s)	1~20	1~30	
最大計測範囲(cm)	300	380	
間隙水圧計測の有無	無	無	
標本数(同一条件)	5~9 一部29	5~8	

備考) ケース4において、一部データ欠損

ケース1, 4は既に報告済、 ケース2, 3, 5は新規

表-2に示すよう、実験は5ケース実施し、①砂の勾配、②モデルkeelの移動速度 V_0 、③砂のタイプ(名称S.T.1~3)、④attack angle(氷の形状; 代表値として水平面より測ったモデルkeel前面の傾斜角度)、に対するモデルkeelのパフォーマンス及び作用するbulldozing force(この場合台車で押す力)の応答特性等を調査した。なお、同一実験条件において繰り返し数(標本数)は5~8回とした。

3. 実験結果と考察

(1) Scour curveの直線的性質

既報告と同様、ケース2, 3, 5(表-2参照)を追加した本実験においても、Scour-curveがほぼ直線近似可能であることを確認した。これは氷が水平に貫入していくのではなく、上方に変位(ライドアップ)していく事を意味するが、中規模程度²⁾、あるいは実規模レベル⁴⁾においてもこの傾向が報告されている。ここで図-1にその1例を示し、Scour-curveを表す代表パラメータとして以下のように定義する。ここに、横軸と縦軸はそれぞれモデルkeelが地盤接触した後の水平変位 X 、鉛直変位(ζ)を初期喫水深($h_0=21\text{cm}$)で除したものである。図のように初期の直線部分(C1)の距離を L_m 、後半の直線部(C2)と水平面とのなす角を ϕ_m とする。従ってScour curveの代表パラメータとしては、 L_m 、 ϕ_m とC2直線周りの変動特性が考えられる。一般に L_m は小さく、また変動特性については別途統計処理を行っているが、本報告では主に ϕ_m ($\tan \phi_m$)に注目した。

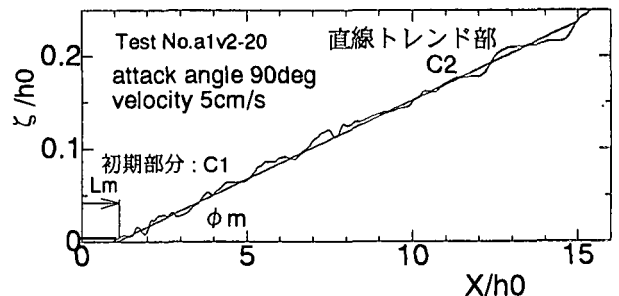
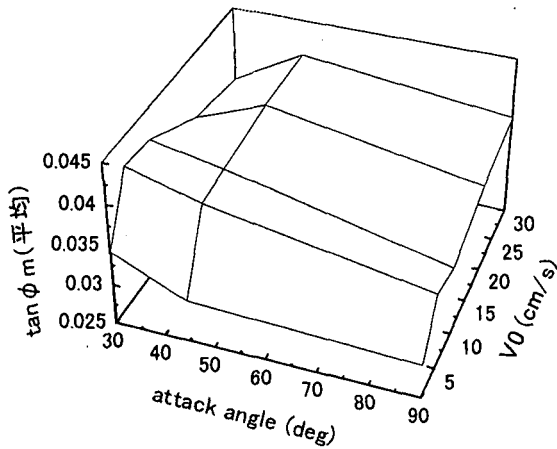


図-1 Scour-curveの直線近似

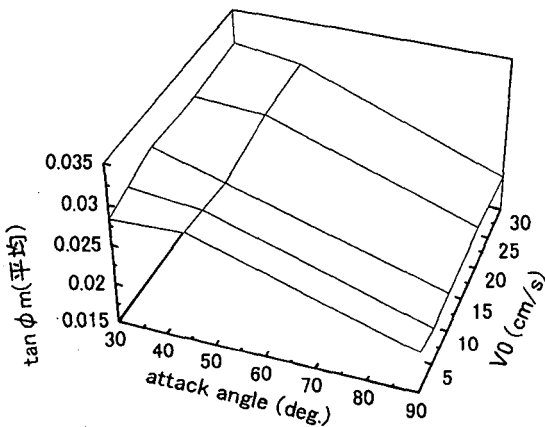
(2) Scour curveのパラメータ(ϕ_m)

一例として図-2(a)(ケース1)、同(b)(ケース3)にモデルkeelの移動速度(V_0)とattack angleが、 $\tan \phi_m$ (平均値)に及ぼす影響を示す。まず全ケース(1~5)の共通点としては、概ね、attack angleが減少すれば $\tan \phi_m$ は増大し(上方変位量が大きくなり)、即ち地盤の掘削深が減少する。これはモデルkeel前面部と地盤とのすべりが卓越、あるいはモデルkeelの鉛直方向の沈下量¹⁾の減少によるものと考えられ、既報告¹⁾と同様な傾向を示したことを確認した。また図-3には各ケースにおける V_0 と $\tan \phi_m$ との関係の一例(attack angle=45deg., $i=1/25$, ケース1, 2, 3)を示した。 $\tan \phi_m$ の速度依存性について

は、概ね見られなかったが、図-2(a)、図-3のように、中央粒径が一番小さな砂(S.T.1)即ちケース1,4,5のうち、速度が小さい時($V_0=1\text{cm/s}$), $\tan\phi_m$ が極端に小さくなっている。あるいは図-3のように、中央粒径が大きくなるケース2,3においては速度依存性があまり見られず、ケース1は他の2ケースに比べて $\tan\phi_m$ が明らかに大きくなっており、 $V_0=1\text{cm/s}$ のときは他の2者の値とほぼ同程度である。これは後述するように keel の速度に伴う過剰間隙水圧の発生と関連がある。即ち、水圧が過剰に作用すると、本来あるべきモデル keel の沈下が阻害されたり、あるいはモデル keel 前面部と地盤とのすべりが誘発さ



(a) ケース1 (表-2 参照)



(b) ケース3 (表-2 参照)

図-2 氷の移動速度 V_0 と attack angle にともなう $\tan\phi_m$ の変化

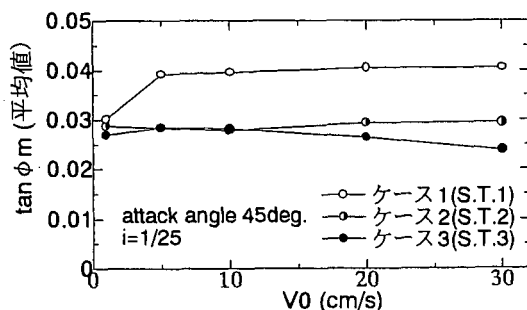


図-3 各ケースにおける V_0 と $\tan\phi_m$ との関係の一例 (attack angle=45deg., $i=1/25$, ケース1,2,3)

れやすいものと考えられる。事実、過剰間隙水圧が無視できる程小さい場合、砂の種類によらず $\tan\phi_m$ に大きな違いはないという興味深い結果が得られた。

以上の傾向は平均値について視覚的に述べたに過ぎないが、バラツキを考慮した分散分析においてもこの事を裏付ける結果が得られた。

また地盤勾配による影響(ケース1,4,5)を調べた結果、直感的にも明らかなように、勾配が大きくなるほど $\tan\phi_m$ も大きくなった(図略)。

(3) bulldozing force (F)

図-4に一例として bulldozing force (F) と移動速度の関係を示す。この例はケース1~3, attack angle=90deg. のものである。縦軸は代表値として同一計測区間に示す F のピーク値の平均値をモデル keel の空中重量 W で除したものである。一般に、移動速度とともに F が増大する。その要因は様々挙げられるが主として過剰間隙水圧の寄与が考えられる。この例では、粒径が一番小さなケース1の場合の F のオーダーはケース2,3よりも格段に大きくなっていることが分かる。これは後述するように粒径が大きいケース2,3についてはほとんど間隙水圧が発生しなかった。これは粒径に応じた透水性の程度に起因するであろう。その分、F のオーダーは小さく大きな上昇率とはなっていない。やや上昇傾向にあるのは、間隙水圧を除く他の効果によるものと思われる。また attack angle についての F の変化は概ね $90\text{deg} > 45\text{deg} > 30\text{deg}$ であり、 90deg の場合の F が最大で、 30deg と 45deg の場合ではやや 45deg の方が大きい感があるが、大きな差はない。これは主として掘削深の大きさによる前面の受圧抵抗の増大に起因するものと思われ、前述のようにすべてのケースにおいて 90deg をもつ keel がよく砂を削る傾向がある。

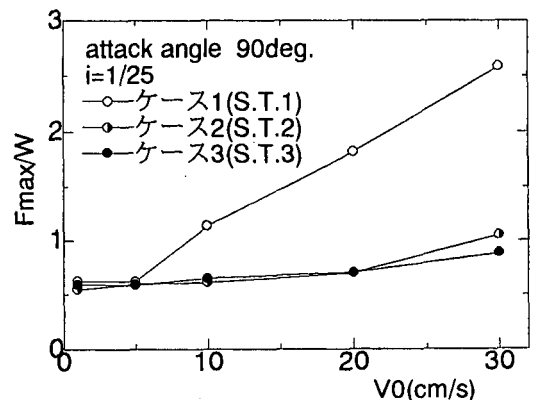


図-4 bulldozing force と移動速度の関係 (一例, attack angle=90deg., ケース1,2,3)

次に例として、ケース1,2,3における全てのサンプルデータ(平均ではない)についての bulldozing force (F) と掘削深の相関性について、各 attack angle 毎に調べた。この時、F と掘削深を示す代表値としては F_{mean}/W (上述のピークではなく平均値), Z_{mean}/h_0 (同一計測区間に示す掘削深の平均値を初期喫水深で除したものを)を用いた。力学モデルから単純に F

は掘削深のみでは記述できないが、条件によってどの程度、掘削深のみで表される事ができるか（あるいは掘削深の寄与はどの程度か？）調べたものである。ここに相関性の検討は有意水準1, 5%の無相関検定を行った。その結果、標本相関係数で比較すると、粒径が大きくなるにつれ、Fと掘削深の相関性を示し、一方でattack angleが小さくなるにつれ、相関性（同一条件下では）は弱まってくるものと推察された。まずケース1で全く相関性を示さないと考えられるのは上述したよう、顕著な間隙水圧の発生とそのバラツキの程度により、掘削深の寄与が利かなくなってくるためと考えられる（keel近傍の地盤の有効応力は0近くとなる）。Fのバラツキ（変動係数）は、粒径が小さくなるにつれ、概ね増加傾向にあるのは、間隙水圧の発生とそのバラツキであるものと考えられる。特に粒径が大きいケース3における90degの場合は、Fの変動係数も少なく、掘削深に大きく依存しているのが分った。

表-3 bulldozing forceと掘削深の無相関検定結果

		ケース1	ケース2	ケース3
90deg	N	47	38	40
	ρ	-0.152	0.829	0.957
	判定	-	**	**
45deg	N	41	39	40
	ρ	-0.238	0.378	0.674
	判定	-	*	**
30deg.	N	41	40	40
	ρ	-0.0791	0.013	0.601
	判定	-	-	**

注) 1%棄却**, 5%棄却*, 5%採択-, 母相関係数を ρ として、仮説： $\rho=0$, 対立仮説： $\rho \neq 0$ とする

(4) 過剰間隙水圧の発生機構

図-5に地盤の中央粒径(d)及び移動速度の変化が地盤内の過剰間隙水圧に及ぼす影響（一例、ケース1~3, attack angle; 90deg.）を示した。ここに過剰間隙水圧とは、地盤表面より10cmに埋設した水圧計の示す値で、モデルkeelの隅角部が丁度水圧計の直上に来た場合ピークを示すことから、代表値としてこのピーク値の平均値を採用した。正負のダイレタンシーを含む過剰間隙水圧の発生機構等についての基本事項はすでに報告した¹⁾。図-5より、ケース1のみは移動速度と共に水圧が顕著に増大し、ケース2, 3ではほとんど水圧の上昇はみられない。これは前述した移動速度とbulldozing force(F)との関係（図-4参照）に対応している事が分かる。既報告²⁾によれば、簡単なモデルより、Fは速度の二乗、透水係数の逆数に比例するものと予想され、さらには間隙比等その他の条件が同一なら、結局Fで近似できると考えられる。

$$F = \alpha \left(\frac{V0}{d} \right)^2 + F_0 \quad (1)$$

F_0 は流体抗力、掘削深あるいは砂の堆積高の速度依存性、地盤の有効応力に基づく寄与等と解釈される。無論Fは過剰間隙水圧とも関連づけられ、図-5より式(1)を裏付ける関係を示しているものと思われる。ここで、ケース1~3で得られたbulldozing forceである F_{mean}/W （同一条件での平均値）を $V0/d$ に対してプロットした例を図-6に示す。この図より概ねFは式(1)を満足し $V0/d$ の2乗に比例しているように見える。厳密には F_0 は各ケースによって異なり、Fはモデルkeel近傍における地盤の有効応力が0になるまで一定でそれ以降でさらに水圧が作用する場合は $V0/d$ の2乗に比例して増大するものと考えられる。

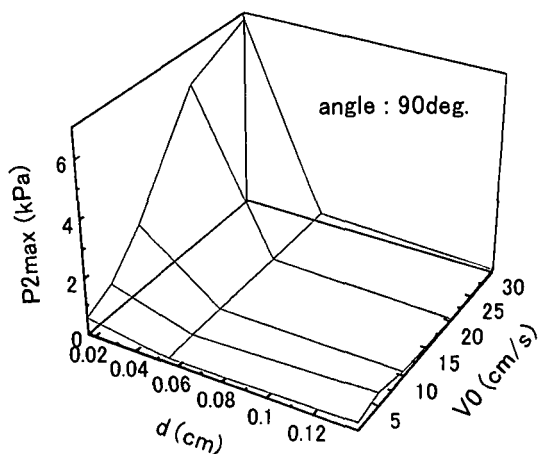


図-5 地盤の中央粒径(d)及び移動速度の変化が過剰間隙水圧に及ぼす影響（一例、ケース1~3）

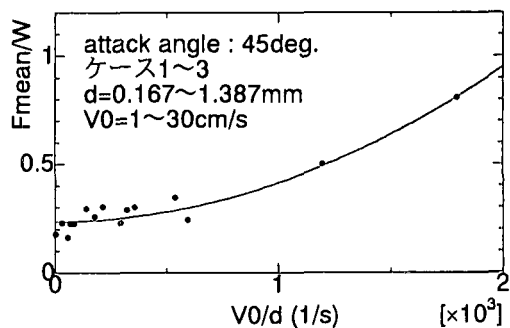
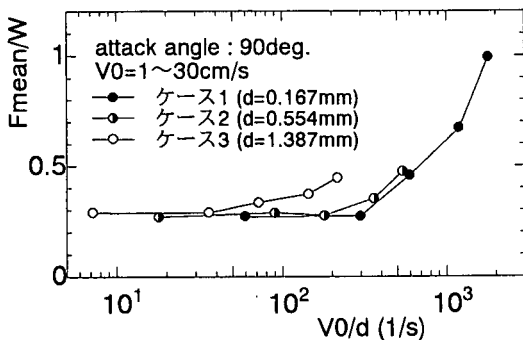


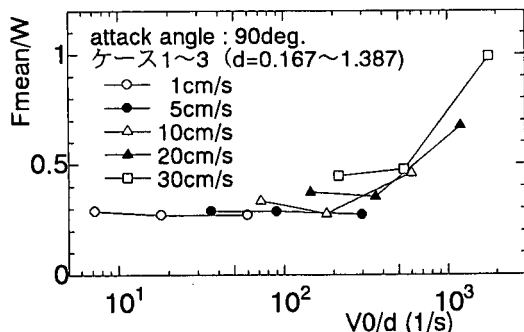
図-6 $V0/d$ とFとの関係例 (attack angle=45deg.)

ここで以上の事を示すため、図-7(a)には各実験ケース毎（各ケースには5つの点があるが左より $V0=1, 5, 10, 20, 30$ cm/sに相当している）に、また図-7(b)には各速度毎に F_{mean}/W を $V0/d$ に対してプロットしたものを例示した。まず図-7(a)は述べたように、ある程度まではFが一定でそれ以降 $V0/d$ の2乗に比例して増加している。但し、ケース2, 3も同様に $V0/d$ に対して増加しているが、述べたようにこの2者については殆ど間隙水圧が発生しておらず、上述した水圧項以外の速度に依存する別の増加要因であ

と考えられる。図-7(b)を見ると、全ての領域を網羅していないので確かではないが同じ V_0/d に対して V_0 が増加すれば若干も増加傾向にあるとみなせる。これが水圧項以外の寄与であると考えられる。ケース1については両図より判断して、速度が5cm/s程度以上で、有効応力が0となり過剰な水圧が作用していると考えられる。実際この場合、keel近傍での地盤の有効応力を計算すると0となっている。また、各ケースにおける F_0 はその各ケース（砂の性質）によらずほぼ同一の値となっていることは注目に値する。これは間隙水圧の顕著な影響がない場合に、前述したことも含め(図-4参照)bulldozing force (F) は砂の特性の変化にあまり影響を受けず比較的鈍感であることを意味している。



(a) 表-3におけるケース毎(90deg.)



(b) 速度をパラメータとした場合

図-7 V_0/d と F_{mean}/W の関係 (90deg.)

(5) 模型実験条件の制御

小規模模型実験結果を実用的な問題に適応していこうとする場合、むしろ実規模との力学的相似性を考慮しなくてはならない。中規模模型実験結果より²⁾, bulldozing forceはフルードの相似則を満足し、実用的観点からScour curveは幾何学的相似が成り立つ事を示した。これは、自重によるモデルkeelの沈下作用を含んだものと考え、地盤内の歪みが同一とはならず、従って変位に関して厳密には幾何的相似は成り立たない。しかしkeel底部の地盤への接地面積で考えると現地の方が大きいとすれば、応力レベルのオーダーでは大きな違いはなく、また他の力学的作用（水平方向の強制変位による地盤内のすべり等）による効果の方が卓越するとすれば、

Scour curveの幾何的相似を仮定できるという解釈であった。顕著な間隙水圧が発生しない場合、Scour curveの幾何的相似とbulldozing forceのフルードの相似則を仮定した場合、上記までの議論を考慮した簡単な考察より、「模型実験を行う場合、基本的にはフルードの相似則に従って各物理量をスケールすればよいが、粒径に関しては縮尺せず、現地砂と同じものを用いればよい」が得られる。事実、過剰間隙水圧が作用しない場合、力学モデルを用いたシミュレーションでもFに関するフルードの相似則が成り立つ事を確認した⁴⁾。しかしながらシルトや粘性土などの場合には、近似的にも上記の議論が当てはまるかは不明である。それでもやはり、Modeling of Modelsや遠心载荷実験を行い、このバイアス特性について考察する余地はあるだろう。

上記では、あくまでフルードの相似則を用いて全体量であるbulldozing forceを模型実験の値から現地のオーダーに変換する場合に近似的にいえる事である。次に別の視点から考えてみる。水圧（圧力）レベルでいうと、やはり現地の方が模型よりλ（縮尺比）倍作用している（速度をフルードの相似則により変換された場合）。これは砂の状態を著しく変え、特に（現地レベルの）地盤内の有効応力が0になった場合には本質的な力学機構が異なってくる。さらに顕著な間隙水圧の発生はscour curveにも大きく影響してくることは述べた。実用的な問題に適応することを考えると、Scour curveが重要であるから、この圧力レベルを優先として、再度考察する。 V_0/d が一定であれば、同程度の水圧が作用すると仮定すると、速度をある縮尺比で実験を行うと、粒径も同じ縮尺比で行う必要があるという一つの根拠を得る。このように過剰間隙水圧を考慮するとそのスケールは容易ではないが、現地の粒径が大きく移動速度も小さい場合（有効応力の減少が無視できるほど）には、前者の方法を用い、逆に現地においてkeel近傍の地盤の有効応力が0になるほど水圧の発生が顕著である場合には、後者の方法を用いる方が良いものと思われる。

(6) 力学モデルの妥当性の検証

従来から小規模・中規模実験結果を用いて著者等が構築した力学モデル（bulldozing forceの算定にはScour curveの実測値を用いる）の妥当性を検証してきた²⁾³⁾。本研究はさらに多くの実験条件を追加したので再度確認した。図-8にbulldozing forceの計算値と実測値の比較した幾つかの例を示す。過剰間隙水圧が顕著に上昇しない場合、従来と同様、計算値はbulldozing forceの増減とともに、よく実測値の傾向を再現している。一方、やはり、S.T.1の砂で移動速度が大きくなる場合（特に $V_0 \geq 10$ cm/s）では実測値は計算値を遙かに上回っていた。これは力学モデルでは水圧の作用を無視しているためであると考えられる。また同図下の波形から分かるように、水圧が顕著に発生する場合に、明らかにbulldozing

forceの増減に違いが見られる。これは空間的あるいはモデルkeelの移動による間隙比の変化に伴うものと思われ、極めて複雑な内部の力学機構を有していることが推察される。このように力学モデルのさらなる改善の余地は残されているが、実現象では、氷の移動速度は小さい場合が多く（数十cm/s以下、地盤がS.T.2クラスの粒径以上であれば、実用的にはこの力学モデルを利用できるものと思われる。事実、S.T.2クラスの粒径の砂質地盤では、小規模・中規模実験において、氷の移動速度が20~30cm/sであっても、計算値と実測値はよい一致を呈した。

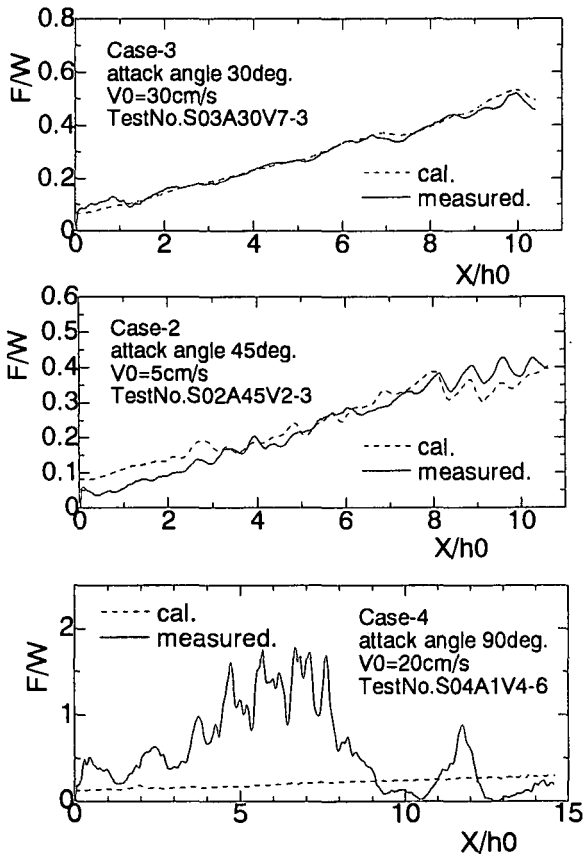


図-8 Bulldozing forceの計算値と実測値の比較

4. 実用的な掘削深の推定手法と本実験成果の活用法

本研究課題の最終目的はハンモックの移動・掘削によって干渉しないようなパイプラインの埋設深の推定である。本実験では氷を水平方向に一定速度の強制変位を与えたに過ぎない。実現象では、流れ・風・さらにはハンモックを取り巻く氷盤群による相互作用（破壊が生じるため無限ではない）を含む環境力(driving force)は有限である限りハンモックが地盤に接触したのち、減速しつつ、いずれ停止する。本実験では、力学モデルの検証には測定が容易なbulldozing forceを通じて間接的にその妥当性を検証し、実規模にも適応できるという根拠を得た。Scour curveが与えれば、その力学モデルにおけるbulldozing forceをdriving forceに置き換える事により、停止距離が算定でき、その幾何的關係によ

- り、任意の水深における掘削深が算定できる。また前述のようにScour curveについては直線性の仮定と、代表パラメータを与えることによって簡略化できると仮定する。これは予め様々な条件を変える事によって得られた実験データを学習・汎用化するため一つの方法としてニューラルネットワークを用い、任意の条件を入力した場合の、Scour curveのパラメータを推定するためのシステム構築することが考えられる。ここで掘削深算定の手順例を以下に示す。
- ① プロジェクトの決定・実験の実施
 - ② Scour curveの実験データの学習・汎用化
 - ③ 確定量と見なされる環境パラメータの入力
 - ④ 種々の環境パラメータの乱数発生
 - ⑤ 学習済ニューラルネットワークへの接続(Scour curveのパラメータ出力)
 - ⑥ 力学モデルを用いて掘削深を算定する(運動方程式を解く)。
 - ⑦ ④~⑥を所定の回数繰り返し、掘削深分布(水深別)を獲得

試作段階ではあるが、実際に、以上の手順で、掘削深分布の推定プログラムを開発した。そのシミュレーション結果は、掘削深、掘削長(氷が地盤に接触し停止するまでの水平距離)のオーダーとその分布形、条件による大局的な現象の傾向特性等、現地観測記録と比較して遜色ない結果が得られた。これらの検討結果は未だ試験的段階に過ぎないが、更なる改良を加え、改めて次回報告する。

5. おわりに

本論文は実用的な掘削深推定手法を開発する上で重要な基礎段階となる実験による掘削プロセスとメカニズム、力学モデルの検証、それに若干ではあるが実験制御法について報告した。またこれらの知見に立脚した掘削深推定手法の概要を述べた。現状でも、そのシミュレーション結果は妥当な結果を得ているが、大規模な現象に対応するScour curveの本質的な相似性の検討やハンモック底部の破壊機構、幅広い実現象の観測結果との整合性等、さらに検討する余地が残されている。

参考文献

- 1) 木岡信治, 安永喜勝, 松尾優子, 佐伯浩:「様々な条件下におけるIce Scour Eventに関する実験的研究」海洋開発論文集Vol.17, pp.607-612, 2001.
- 2) 木岡信治, 安永喜勝, 松尾優子, 河合邦弘, 佐藤正樹, 佐伯浩:「Ice Scour Eventに関する中規模野外実験」海洋開発論文集Vol.17, pp.613-618, 2001.
- 3) Kioka,S.,Yasunaga,Y.,Watanabe,Y.,and Saeki,H.: Evaluation of Ice Forces Acting on Sea bed Due to Ice Scouring, Proc.of the 10th International Offshore and Polar Engineering Conference(ISOPE),Vol.1, pp.749-755,2000.
- 4) Shearer,J.,et al.: Canadian Beaufort Sea 1984 Repetitive Mapping of Ice Scour, Environmental Studies Research Funds, FSRF Report No.32,by Geoterrex Ltd., Ottawa, Ontario,1986.