

川崎製鉄スノウシェッドの性能(耐荷力)
試験報告(第3報)

(186号)

昭和41年3月

建設省土木研究所

目 次

1. 本性能(耐荷力)試験の目的
2. 妙高人工なだ水実験の概要
3. 人工なだ水によって得られたスノウシェッドの性能(耐荷力)試験に関するデータ
4. スノウシェッドの性能(耐荷力)試験結果に関する考察
5. なだ水防衛の力学
6. なだ水の大きさのエネルギーによる表示
7. なだ水のなだ水落ちの質、運動の方程式
8. なだ水の衝撃力を緩衝する緩衝の基本的計算
9. 妙高人工なだ水実験積雪調査
10. 妙高人工なだ水実験爆破関係資料
11. 妙高人工なだ水実験速度測定(正面)
12. 昭和40年度妙高人工なだ水斜面の圧痕計の実測値
13. 妙高人工なだ水実験のスノウシェッドによる動的および静的測定結果
14. 経済性に基づいたスノウシェッドの設計荷重の決め方
15. 経済性に基づいたスノウシェッドの最適建設箇所数を決定するため、基本的方法
16. スノウシェッドに関する覚え書き

1. 本性能(耐荷力)試験の目的

本試験は、川崎製鉄スノウシェッドのなだ水による雪害防御施設としての性能(耐荷力)を、人工なだ水によって調査試験をしようとするものである。

なだ水防御対策は、いわゆる積雪地方の冬季交通を安全に確保することを目的とする。これは、積雪地方の地域格差の是正、地域開発、等の諸問題を総合した地域性に関する交通工学的研究に関連を有するものである。スノウシェッドは、その積雪地方の冬季交通を安全に確保するために、なだ水防御対策の一環として設置されるものである。

なだ水防御対策は、その機能によって、

① なだ水管理と、

② なだ水防御施設

との二つに分類される。これらの機能を明確にするために表示したものは、本試験報告の第1報を参照されたい。

2. 妙高人工なだ水実験の概要

昭和39年度に引き続いて、本試験を行うた妙高人工なだ水実験地は、国道18号線、国鉄信越線関山駅下車、関温泉へ約7 Kmの地奥で、新潟県中頸城郡妙高村黒布の尾根から幕の沢への斜面(妙高高原関温泉地籍)である。

さらに、実験斜面の諸元は、
 斜面山頂(黒布の屋根)爆破地奥の標高 1,040 m,
 幕の沃の標高 780 m,
 実験斜面の標高差 260 m,
 スノウシェッド付近までの実験斜面の平均勾配 34° ,
 斜面総延長約 450 m,
 である。

現地実験は、

① スノウシェッドの積雪荷重の測定

これは、昭和41年2月15日(火)以降、合計4回にわたって、
 静的歪測定器によって、電氣的に、実測した。

② 人工な大水発生方法に関する実験。なうびに、基本実験は、
 本実験後、昭和41年2月18日(金)、P.m. 15時25分に行った。

③ 妙高人工な大水本実験

昭和41年2月18日(金) 12.39 P.m. に爆破、人工な大水発生
 時の状況では、面発生湿雪表面層な大水、な大水の運動形式では、
 なが水型な大水を発生させ、諸観測、測定に成功した。

本実験において、人工な大水を発生させた手段は、昭和38年度、昭和
 39年度と同様に、爆破方式であつて、使用した火薬類は、

カーリット黒 (500 gr 薬包) 172.8 kg

薄爆線 (第2種) 900 m

電気雷管 (MSD-⑤段)

18個

装薬孔数

165孔

であった。

実験本番当日の積雪深は、山頂付近斜面において、3.33 mであって、天候は、晴のち曇、爆破した12.39 P.M.においては晴であった。なお、本実験は、~~昭和38年度~~^{昭和39年度}、昭和39年度と同様に、トンネル研究室が主務を担当し、土木研究所企画室、総務課、千葉支所庶務課、新浮試験所の側面的な協力と北陸地方建設局高田国道工事事務所の厚意ある協力とも得て、行われしものである。さらに、地上立体写真については、東京大学生産技術研究所丸安研究室、爆破関係については、中国工事、現地実験のため諸準備作業については、三紀調査建設の熱心な協力を得て行われしものである。

また、未筆ながら、妙高人工なだ水実験斜面の選定に厚意ある協力を戴いた国鉄塩沢雪実験所長莊田幹夫博士に厚く御礼を申し上げます。そして、その選定には、北陸地方建設局上越国道工事事務所の厚意ある協力を得たことも特記しなければならぬ。また、妙高人工なだ水実験地を設定するに当って、その実験斜面を借用することに、関係各方面の厚意ある協力も戴いた。その一部ではあるが、その主なものを列記して、厚く御礼を申し上げます。

厚生省大臣官房国立公園部

林野庁前橋管林局

高田管林署

新潟県商工労働部観光課

妙高村役場

さらに、現地付近の過去、雪に関する気象関係の資料を参照させて戴くことについては、高田管林署五万戸苗畑、なうびに、林野庁前橋管林局 課の御厚意を得た。なお、実験本番当日と前日までの気象状況については、高田測候所の御協力を得た。あわせて、厚く御礼申し上げる。

そして、現地実験に際しては、関温泉越前屋旅館に宿泊、実験本部を設けさせて戴いた。

5. 人工な雪によって得られたスノウシェッドの性能(耐荷力)試験に関するデータ

これは、つぎの三つが得られている。

① スノウシェッドの積雪荷重の測定

これは、前述のように、昭和41年2月15日(火)以降、合計4回にわたって、静的歪測定器によって、電氣的に、実測したものである。いしかえ水は、スノウシェッド本体の4本の柱の下端等に埋設されているロードセル(荷重計)に加わった積雪荷重をスノウシェッドの自重を分離して測定したものである。

こ水らの測定によって、積雪季間中のスノウシェッドの積雪荷重の推移を知ることができる。

②. 人工な水によるスノウシェッドの動的、衝撃的測定

こ水は、実験本番の日を観測測定されたもので、本性能(耐荷力)試験の中心をなすものである。

こ水は、昭和38年度及び昭和39年度と同様に、実物大のスノウシェッドの実験的模型の本体の各支柱の下端、等に埋設したロードセル(荷重計)によって、測定したロードセルには、延長約300mのキャプタイヤ・ケーブルが接続され、尾根の安全な地裏に設置された観測小屋の、電磁オシログラフによって、なだ水の衝撃力を、電氣的に、自記録した。

③. なだ水の衝撃力測定杭による測定

こ水は、圧痕計を取り付けた受圧板 $0.50\text{m} \times 1.50\text{m} = 0.75\text{m}^2$ 当りの等値静荷重を求め、なだ水の衝撃力の一つの Index としようとするものである。こ水も昭和38年度及び、昭和39年度と同様の測定であって、圧痕計とは、アルミニウム板に相對したスチール製のコーンによって開けられた穴の深さ、あるいは、直径によって、それだけの大きさの穴を開ける必要な等値静荷重を求めるものである。こ水らのなだ水衝撃力の実測と同時に、なだ水の落下滑走速速をも、関連的に実測した。併用した一つの方法は、実験斜面に、斜距離で20m間隔に設けら

水た標識柱の側方を、なだ水落するなだ水の先端の速度を、16ミリ撮影機で追跡して、撮影する方法である。

通常は、 $24\frac{3}{4}$ sec のコマ送り露出で撮影するので、後に、画面解析機にかけた場合、1コマは $\frac{1}{24}$ sec のなだ水の先端の速度を表わすわけである。この外、なだ水の速度は、後述する地上立体写真撮影を、6 sec 間に1枚の自動撮影ができる装置に改造したので、その解析の結果からも、得られる。

さらに、斜面の斜距離の既知の2尺間に張った電気回路をもつヒューズが、なだ水落するなだ水によって切断されることから、得ることができる。

今年、昭和40年度の、以上述べた諸測定によって実測された種々の値は、昭和38年度及び昭和39年度に既に得られているそれらの値と比較するとき、要するに、その order において一致することが確認されたのである。したがって、それは、これらの値の信頼性を裏書きするものといえるのである。

これらのデータは、末尾に一括して、掲載する。

ホ スノウシェッドの性能(耐荷力)試験結果に関する考察

妙高人工なだ水実験によるスノウシェッドの性能(耐荷力)試験
昭和38年度、
は、昭和39年度に継続して、昭和40年度も行われ、その諸観測測定も無事終了した。昭和38年度、昭和40年度においては、

その試験報告(第1報, ~~第2報~~)において述べたごとく, 最初
 の, しかも, 唯一の試験であつたので, 性能(耐荷力)試験の
 データーを得ることに努め, そのデーターの信頼性を裏付け
 繰り返し試験は, ^{昭和39年度,}昭和40年度に継続したのである。

なだ水の防御構造物, とくに, スノウシェットの計画と設計と
 に関して調査すべきことを, 二大列すると,

① どの地災に,

② どの程度の強度をもった,

なだ水の防御構造物を建設すべきかということに, 帰着する。

まず, 第一の災について, 要災を述べると,

スノウシェットの建設地災について, 十分ななだ水地災の調査が必
 要である。その方法, 等に関しては, 試験報告^(第1報)を参照されたい。
 計画と設計とにおいて, 経済性を考慮するならば, なだ
 水の被害の大きさに適応した, 必要にして, かつ, 十分な防御
 構造物を建設すべきである。それには, なだ水の衝撃力の
 大きさを比較的簡便に表示して, それらの A, B, C, 等の等
 級別の設計荷重を採用することが考えられる。

そこで, なだ水の発生が予想されうる地災において,
 発生するであろうなだ水の大きさを推定して, 一つの Index で
 表わすことができれば, 便宜である。

なだ水が落下滑走するおそろしい現象をみて, 第一に考え

られることは、発生するであろうなだれの大きさをエネルギーで表示することである。エネルギーを、定量的に表わすためには、仕事の概念を用いなければならない。

仕事とは、力とそれによって生じた変位とのスカラー積である。したがって、なだれの発生によって移動した積雪の層の重量と、その積雪の層の移動距離とも知ることが必要である。この前者は、移動した積雪の層の体積とその積雪の層の単位体積重量との積で表わされる。

以上の観点から、人工なだれ実験においては、地上立体写真測量によって、発生し、落下滑走したなだれの全体積の測定も、なだれの衝撃力との関連において、とらえることにしているのである。なだれの単位体積重量は、現在のところ、積雪における測定と同様の方法を採用している。

昭和40年度の妙高人工なだれ実験において得られたなだれの単位体積重量の概略値は、 11.530 ㏍ であって、その詳細な値は、現在、東京大学生産技術研究所丸安研究室において、立体写真の図化機にかけて、作業中である。なお、なだれの大きさのエネルギーによる表示については、^{添付の}~~試験報告(第2報)~~“なだれ防衛力学”を参照されたい。

第二の点については、前述のようにして、等級別された地質に適合した合理的な設計荷重を確定することである。

人工な大水実験においては、発生したなだ水の衝撃力の値を、動的な電氣的測定と、靜的な機械的測定とによって、実測している。そして、前述のように、この人工な大水の衝撃力の実測と同時に、なだ水の落下滑走速度をも、関連的に実測している。なだ水の衝撃とその落下滑走速度と力の実測値は、以上のようにして得られるのであるが、なだ水の発生が予想されるような水た地災において、発生するなだ水のその衝撃力を推定する方法が考えられるれば、便宜である。なだ水の衝撃力は、発生したなだ水が落下滑走してくる間の力積、すなわち、微小時間中の運動量の変化によって表現することができる。また、なだ水の流水の中にある物体の形状抵抗の一種と考へても、同様な結果が得られる。この点に関する諸問題については、添付の“なだ水防御の力学”を参照されたい。参考として、昭和38年度、昭和39年度、昭和40年度の3年度に^{わたり}継続して行なわれた妙高人工な大水実験によってスノウシェッドの性能(耐荷力)試験から考えられるいくつかの問題点を列挙して、少しく説明を補いたい。いいかえれば、将来のスノウシェッドの計画と設計とに関しての一つのアドバイスである。

- ① なだ水の衝撃力と適切に緩衝し、軽減する緩衝装置を考へて、スノウシェッドの設計の経済的合理化を計ること。

この水についての考え方は、^{添付の}試験報告(第一報)“なだ水防御の

力学”の中の「なだ水」の衝撃力を緩衝する緩衝の基本的計算を参照されたい。

② なだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッドの効用性と経済性との関連について、

前述のように、なだ水防御対策は、いわゆる積雪地方の冬季交通対策の一環として、行われべきものであって、なだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッドの建設も、それを前提として、行われべきものである。いわゆる積雪地方の冬季交通は、毎年秋11月から翌年春4月にかけての6ヵ月を対象とすることが、最長期間のものである。そして、大部分の地域では、正味4ヵ月程度の期間を対象としている。そのような地域におけるなだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッドの効用を、その利用期間のみについて考えれば、1年間の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ の期間になる。この実は、1年間を通して、利用に対して、その効用を発揮する一般の構造物と、根本的にその経済性の比較において、相違するものがあるわけである。その国の経済的發展の極めて進んだ段階の社会においては、そのような考慮は必要ないであろうが、日本の経済の現段階では、一考を要する問題であると考えられる。それに対する対策としては、前述のように、なだ水防御対策と、

① なだ水管理と、

② なだ水防御施設

この二つに分類するという考え方をとっている。

いいかえれば、その設計条件を、その効用⁹程度に、一応、落して、その不足分は、なだ水管理によって、補うという考え方である。より具体的な説明を加えれば、与えられた地更において、発生すると予想されるなだ水の大きさを、20年に1回程度発生するものまで考える場合と、10年に1回程度発生するものまでを考える場合とでは、その設計条件のとり方において、かなりの相違があるはずである。したがって、その効用⁹から、その地域⁹状況に応じて、設計条件を加減して、計画、設計、建設し、たまたま、その冬が設計条件も考えた年の積雪量よりも、異常な程度に積雪量があった場合には、十分ななだ水管理によって、その冬⁹冬季交通を、安全に、確保するという方式である。

③ なだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッド⁹構造は、一次不静定、等⁹ラーメン構造を考えて、でき得れば、塑性設計による極限計算を行うべきである。

前節において述べたように、なだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッド⁹の効用性と経済性を考慮するならば、その地域⁹状況に応じて、設計条件を落して、設計計算をすることも考え得ることである。しかしながら、その場合には、20年に1回

程度、あるいは、10年に1回程度に発生するであろう最大の大きさも対象荷重として、通常弾性設計をするのであるが、かなり不経済な要素を含んでいる。

比較的発生頻度は稀少で、しかも、比較的大きな荷重を対象とした設計において、経済的設計を意図するならば、通常弾性設計法ではなくて、塑性設計法による極限計算をすること、当然考へ得ることである。なだれ防御構造物、たとえば、スノウシェッドの設計計算は、塑性設計法によるとすれば、塑性設計法が、比較的、より有効な意味をもつ構造が考へられ得る。それは、その構造物を不静定構造にすることである。

勿論、数次の不静定構造も考へられ得るが、たとえば、通常スノウシェッドでは、両脚下端がヒンジ構造の一次不静定構造が、その設計計算のみならず、その施工、建設の面においても、より望ましいものと考へられ得る。さらに、その一次不静定構造を、ラーメン構造とするならば、通常ラーメン構造の利点、すなわち、

- ① 単純支承構造よりも、一般に、経済的である。
- ② 耐振動的である。
- ③ 桁高さを小さくすることができる。
- ④ 外観が比較的よい。

等が、その上、スノウシェッドの構造上の利点とをまとめ

とが考えられる。こ水うについて、少しく説明を加えると、

②については、なだ水の衝撃力は、なだ水の防御構造に対して、地震力程度の振動を与えることがわかったので、その構造物が耐震動的であることも重要な要素である。こ水は、スノウシェッドに加速度計を取り付けて、人工な大水実験を行った結果、定量的な数値が得られたものである。

④については、前述のように、スノウシェッド、等なだ水防御構造物は、一年間を通じて、その効用を発揮する期間は、わずかに、数ヶ月に過ぎない。晩春から早秋にかけての期間は、スノウシェッドならば、人エクトンネルとして付随的な功罪の役割りを果たすに過ぎない。そして、それが主効用を果たさない期間であるだけに、人目につき易い存在になることが、十分考えられる。そのような観点から、外観がよく、その設立付近の地貌、地形にマッチした構造物であることも、また重要な要素となる。そして、それは、なく、交通工学の見地からも要請される条件でもある。

以上において考察した将来のスノウシェッドの計画と設計とに関する諸問題とは、いいかえれば、昭和41年度以降において研究すべき諸問題でもある。昭和41年度以降において、スノウシェッドの性能(耐荷力)試験を行うことは、試験調査の第二段階として、このような方向に研究の焦点を向けることが考えられる。

なお、スノウシェッドの計画と設計、建設とに関連して、

1. 経済性に基づいたスノウシェッドの設計荷重の決め方
2. 経済性に基づいたスノウシェッドの最適建設箇所数を決定するための基本的な方法
3. スノウシェッドに関する覚え書き

等について、考察した。そのうは、それぞれ、参考資料1、参考資料2、参考資料3として、巻末に、添付したって、参照されたい。

なだ水防衛の力学

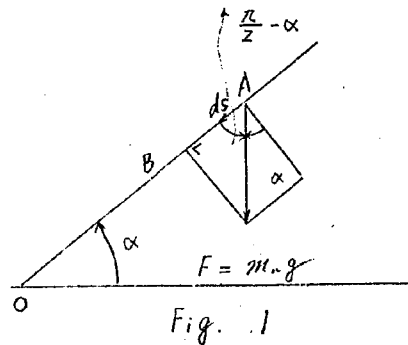
本文は、スノウシェッド(Snowshed, 雪おおい)の計画と設計とを行うに当って、座右にあると便宜なもので、いいかえれば、その構造

- ① 設計計算における基本的な考え方、
- ② 設計荷重、いいかえれば、なだ水荷重、積雪荷重、等の大きさと方向と作用点、等の決め方、
- ③ スノウシェッドの構造計算の公式、
- ④ なだ水、衝撃力と緩衝し、軽減するため、緩衝装置に関する諸計算、等をまとめたものである。

その具体的な内容は、

1. なだ水の大きさのエネルギーによる表示
 2. なだ水のなだ水落ちる質点の運動方程式
 3. スノウシェッドの上を通過するなだ水の軌跡の方程式
 4. スノウシェッドの上を通過するなだ水の遠心力による荷重の大きさ、
 5. スノウシェッドにかかるなだ水、衝撃力荷重の算定
 6. スノウシェッドの構造計算
 7. なだ水の衝撃力と緩衝する緩衝の基本的計算
 8. なだ水の衝撃力と緩衝するコイルばねの基本的計算
 9. なだ水の衝撃力と緩衝する緩衝装置の基本的計算
 10. なだ水によるスノウシェッドの振動の基本的計算
- 等について記述してあり、

1) なだ水の大きさのエネルギーによる表示



(1) 運動摩擦力を考えない場合、質点の運動によってなされた仕事 W
 勾配 α のなだ水の斜面がある。その斜面上に単位質量 m の一質点を考える。その地点の重力の加速度を g とすれば、その質点 m に作用する力 F は、 $m \cdot g$ である。この力 F のために、質点 m が、斜面に沿って微小距離 ds だけ動いたとすれば、そのときになされた微小仕事 dW_0 は、Fig. 1 において、

$$\begin{aligned} dW_0 &= F \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot ds \\ &= m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot ds \end{aligned} \quad (1)$$

である。

質点 m が、この斜面上を任意の点 A から、他の任意の点 B まで移動したときになされた仕事 W_0 は、式 (1) を、この質点の経路、すなわち、斜面に沿って、 A から B まで積分すれば、得られる。

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_A^B m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot ds \\ &= \int_A^B \{ (m \cdot g \cdot \sin\alpha)_x \cdot dx + (m \cdot g \cdot \sin\alpha)_y \cdot dy + (m \cdot g \cdot \sin\alpha)_z \cdot dz \} \end{aligned} \quad (2)$$

いいかえれば、 $F = m \cdot g$ の経路 AB に沿っての線積分で、得られる。

(2) 質点に作用する運動摩擦力によってなされた仕事 W_μ

質点と斜面との間の運動摩擦係数を μ_k とすれば、質点 m が作用する斜面に沿っての運動摩擦力 F_μ は、

$$F_\mu = \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

である。この運動摩擦力 F_μ の作用点である質点 m が、斜面に沿った微小距離 ds だけ移動したために、この運動摩擦力 F_μ によってなされた微小仕事 dW_μ は、

$$\begin{aligned} dW_\mu &= F_\mu \cdot \cos \pi \cdot ds \\ &= F_\mu \cdot \cos(\pi - 0) \cdot ds \\ &= F_\mu \cdot (-\cos 0) \cdot ds \\ &= F_\mu \cdot (-1) \cdot ds \\ &= \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (-1) \cdot ds \\ &= -\mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot ds \end{aligned} \quad (4)$$

である。

質点 m が、この斜面上を任意の点 A から、他の任意の点 B まで移動したとき、質点に作用する運動摩擦力によってなされた仕事 W_μ は、式 (4) を、この質点の経路、すなわち、斜面に沿って、 A から B まで積分すれば、得られる。

$$\begin{aligned} W_\mu &= - \int_A^B \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot ds \\ &= -\mu_k \int_A^B \{ (m \cdot g \cdot \cos \alpha)_x \cdot dx + (m \cdot g \cdot \cos \alpha)_y \cdot dy + (m \cdot g \cdot \cos \alpha)_z \cdot dz \} \end{aligned} \quad (5)$$

いいかえれば、 $F_{\mu} = \mu_k \cdot m_0 g \cdot \cos \alpha$ の経路 $A B$ に沿っての線積分で得られる。

(3) 質点に作用する運動摩擦力を考えた場合、質点の運動によってなされた仕事 W'

この場合の仕事 W' は、前述の①の場合と②の場合とに、それぞれなされた仕事の重ね合わせて得られる。

すなわち、

$$W' = W_0 + W_{\mu} \quad (6)$$

であって、したがって、

$$\begin{aligned} W' &= \int_A^B m_0 g \cdot \sin \alpha \cdot ds - \int_A^B \mu_k \cdot m_0 g \cdot \cos \alpha \cdot ds \\ &= \int_A^B \left\{ (m_0 g \cdot \sin \alpha)_x \cdot dx + (m_0 g \cdot \sin \alpha)_y \cdot dy + (m_0 g \cdot \sin \alpha)_z \cdot dz \right\} \\ &\quad - \mu_k \int_A^B \left\{ (m_0 g \cdot \cos \alpha)_x \cdot dx + (m_0 g \cdot \cos \alpha)_y \cdot dy + (m_0 g \cdot \cos \alpha)_z \cdot dz \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

である。

(4) 体積力を考えた場合の仕事 W

前述の式⑦は、質量 m_0 の一質点の運動についてであるが、さらに、微小体積 dv を考える。いままで考えてきた質量 m_0 の質点は、

$$m_0 = \int m \cdot dv \quad (8)$$

であって、 m_0 を単位質量とすれば、 m は微小質量ともいうべきより高次の微小量である。

すなわち、体積力を考えた場合の仕事は、式(8)と式(7)に代入して、

$$\begin{aligned}
 W &= \int_A^B \int_{v(s)} m \cdot dv \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot ds - \int_A^B \int_{v(s)} m \cdot dv \cdot \mu_k \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot ds \\
 &= \int_A^B \int_{v(s)} m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot dv \cdot ds - \int_A^B \int_{v(s)} \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot dv \cdot ds \quad (9)
 \end{aligned}$$

である。ここで、第1項の $\int_{v(s)} m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot dv$ と第2項の $\int_{v(s)} \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot dv$ とは、体積力で、座標軸原点 O からの距離 S に1次比例する量である。以上3節にわたって、いくつかの基本的な式をたどってきたが、これはつぎのような意味において、一つの総合された式である。いま、なだ水が、しばしば発生する斜面を考へる。この斜面に発生するなだ水の大きさを、なにかの Index で表現しようとするのが、ここで考へようとする目的である。発生するなだ水の大きさは、なだ水のエネルギーで表わすのが、一つの方法であると考えられる。それは、なだ水が発生した場合に、そのなだ水の母体である移動する雪、落下滑走する雪によってなされる仕事量を表わすことに外ならない。そこで、斜面の積雪が滑走、移動する場合になされる仕事について考へると、式(9)が、一応、一般的な、総合された式である。

滑走、移動する雪と斜面との間の運動摩擦力によってなされる仕事 W_μ は、なだ水の総仕事量に対しては、式(5)に示されるように、座標軸に対して、負号、すなわち、減少させる仕事量である。式(9)でいえば、その仕事量は、右辺の第2項が表わ

している。さて、式(9)は、斜面に発生するなだれによってなされる総仕事量を総合表現する一般式である。したがって、式(9)に状況に応じて、境界条件を入れれば、その状況の下における特別解を得ることができる。

さらに、必要に応じて、式(9)に時間 t を導入して、状況に応じた初期条件を入れれば、その状況の下における特別解も得ることができるわけである。

(5) 与状況に応じた境界条件とその一般式、特別解

ここで、つぎのような与状況に応じた境界条件を設定する。

① 通常なだれの発生する斜面は、Fig. 2の形において、2次元

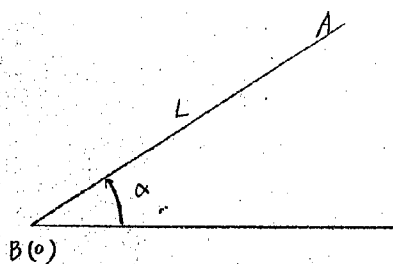


Fig. 2

問題であると考えると、より簡単になる。

② 積雪の単位体積重量が、なだれ発生地点から法戻まで変化しないで、一定であるとする

③ この斜面では、どこでも重力の加速度は一定であるとする

④ この斜面の勾配は、平均 α の直線としてよく近似できるとする。

⑤ この斜面のなだれ落ちる積雪の深さ、厚さを D として、斜面について一定であるとする。

⑥ この斜面について γ 中 B は、前述のように、最初2次元問題として考えていくのであるから、一応、単位 γ とする。

② この斜面より、なだ水落ちる積雪の層と斜面との間、運動摩擦係数 μ_k は、この斜面において、なだ水の発生から法尻付近に及ぶ安定まで、一定であるとする。

以上の条件を考慮して、式(9)を変形すれば、4重の積分であった式(9)は、

$$W = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot D \int_0^L \int_0^B d^u \cdot ds \\ - \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot D \int_0^L \int_0^S dv \cdot ds \quad (10)$$

となる。式(10)の各項、それぞれを2回づつ、総積分を行うと、

$$W = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot D \int_0^L S \cdot ds \\ - \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot D \int_0^L S \cdot ds \\ = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot D \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot S^2 \right]_0^L - \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot D \left[\frac{1}{2} \cdot S^2 \right]_0^L \\ = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot D \cdot \frac{1}{2} \cdot L^2 - \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot D \cdot \frac{1}{2} \cdot L^2 \\ = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot D \cdot L^2 \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot \mu_k \cdot m \cdot g \cdot D \cdot L^2 \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

ここで、積雪の単位体積重量を W とすれば、 $W = m \cdot g$ であって、さらに、式(11)は、つぎのように変形される。

$$W = \frac{1}{2} \cdot W \cdot D \cdot L \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot \mu_k \cdot W \cdot D \cdot L \cdot \cos \alpha \\ = \left(\frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) - \left(\frac{1}{2} \cdot \mu_k \cdot \cos \alpha \right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \\ = \left(\frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \right) \times (\text{斜面よりなだ水落ちる積雪の層の全体積} \times \text{その積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面延長 in m}) \\ - \left(\frac{1}{2} \cdot \mu_k \cdot \cos \alpha \right) \times (\text{斜面よりなだ水落ちる積雪の層の全体積} \times$$

その積雪の層の単位体積重量 in kg-wt) $\times$ (斜面延長 in m) (12)

あるは、式 (11) を、

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} \cdot W \cdot D \cdot L \cdot L \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot \mu_k \cdot W \cdot D \cdot L \cdot L \cdot \cos \alpha \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (\sin \alpha) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) - \left(\frac{1}{2}\right) \times (\mu_k \cos \alpha) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cos \alpha)\} \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面のなだ水落ちる積雪の層の全体積} \times \text{その積雪} \\
 &\quad \text{の層の単位体積重量 in kg-wt)} \times (\text{斜面延長 in m}) \times \\
 &\quad \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cos \alpha)\} \quad (12)
 \end{aligned}$$

と変形しておいた方が計算に簡便である。

なお、コンターラインのはいった地図と利用する場合も、実際には多いと考えられるので、その場合には、標高差と水平距離とで、表現するように、変形しておけば、便宜である。

式 (12) は、

$$\begin{aligned}
 W &= \left(\frac{1}{2} \cdot \sin \alpha\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) - \left(\frac{1}{2} \cdot \mu_k \cos \alpha\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L \cdot \sin \alpha) - \left(\frac{1}{2} \cdot \mu_k\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L \cdot \cos \alpha) \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面のなだ水落ちる積雪の層の全体積} \times \text{積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times (\text{なだ水落ちる標高差}) - \left(\frac{1}{2} \cdot \mu_k\right) \times (\text{斜面のなだ水落ちる積雪層} \\
 &\quad \text{の全体積} \times \text{積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times (\text{なだ水落ちる水平距離}) \quad (14)
 \end{aligned}$$

となる。

さうに、式 (13) は、

$$\begin{aligned}
 W &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cos \alpha)\} \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times \{L \cdot \sin \alpha - (\mu_k)(L \cdot \cos \alpha)\}
 \end{aligned}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面のなだ水落ちの積雪の層の全体積} \times \text{積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times \{(\text{なだ水落ちの標高差}) - (\mu_k)(\text{なだ水落ちの水平距離})\} \quad (15)$$

となる。

前述のように、式(13)、あるいは、式(15)は、発生するであろうなだ水によってなされる仕事量を表わすものである。さらに、式中の基本単位に、m, kg-wt, sec 単位を使用し、いわゆる、M, K, S 系を使用して、その仕事量をキロジュール単位(in kJ)で表示することにする。そうすれば、その量の10の冪指数の大小によって、なだ水の力学的分類の Index にすることができて便宜である。

この考え方は、国鉄塩沢雪実験所長 莊田幹夫博士に suggestion を戴いたものである。ここに、厚く御礼を申し上げる。

なお、その考え方の展開とその表現とは、独自のやり方で行ったので、見掛け上、あるいは、詳細な部分において、その suggestion と異なるものがあるかも知れないが、その主旨においては、程遠くないと思われる。

以上の考え方に基づいて、妙高人工なだ水実験斜面について、適用してみると、つぎのようになる。

なだ水落ちの積雪の層の深さ、厚さ $D = 1.5 \text{ m}$,

その中 $B = 40 \text{ m}$,

その斜面延長 $L = 300 \text{ m}$,

その斜面勾配 $\alpha = 35^\circ$,

なだ水落ちる積雪の層の単位体積重量 $d = 0.500 \text{ kg-wt/m}^3$

なだ水落ちる積雪の層と斜面との間の運動摩擦係数 $\mu_k = 0.3$ とすれば,

この斜面のなだ水落ちる積雪の層の全体積 $V = D \cdot B \cdot L$

$$= 1.5 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 300 \text{ m}$$

$$= 18,000 \text{ m}^3$$

この斜面のなだ水落ちる積雪の層の全重量 W

$$= d \cdot D \cdot B \cdot L$$

$$= d \cdot V$$

$$= 0.5 \text{ kg-wt/m}^3 \times 18,000 \text{ m}^3$$

$$= 9,000 \text{ kg-wt}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) \times \{(\sin 35^\circ) - (0.3 \times \cos 35^\circ)\}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) \times \{(0.574) - (0.3 \times 0.819)\}$$

$$= 0.2$$

$$= 2 \times 10^{-1}$$

である。そこで、これを式(13)にそれぞれ代入すれば、

$$W = \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面のなだ水落ちる積雪の層の全体積} \times \text{その積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面延長 in m})$$

$$\begin{aligned}
 & \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\} \\
 & = (\text{斜面のなだ水落ちる積雪の層の全重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面} \\
 & \quad \text{延長 in m}) \times \left(\frac{1}{2}\right) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\} \\
 & = 9,000 \text{ kg-wt} \times 500 \text{ m} \times 2 \times 10^{-1} \\
 & = 540,000 \text{ kg-wt.m} \\
 & = 5.4 \times 10^5 \text{ kg-wt.m} \quad (16)
 \end{aligned}$$

となる。

ここで、この仕事量を、キロジュール(KJ) 単位で表示する。

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kg-wt.m} &= 1 \times (10^3 \times 980 \text{ dyne}) \times (10^3 \text{ cm}) \\
 &= 1 \times 980 \times 10^5 \text{ erg} \\
 &= 1 \times 9.8 \times 10^7 \text{ erg} \\
 &= 1 \times 9.8 \text{ joule} \\
 &= 1 \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ kilo joule} \quad (17)
 \end{aligned}$$

であるから、式(17)の関係を、式(16)に代入すれば、

$$\begin{aligned}
 W &= 5.4 \times 10^5 \text{ kg-wt.m} \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ kJ/kg-wt.m} \\
 &= 5.4 \times 9.8 \times 10^3 \text{ kJ} \\
 &\approx 5.4 \times 10^4 \text{ kJ} \quad (18)
 \end{aligned}$$

となる。

すなわち、この10の冪指数を、エネルギーで表示されたなだ水の大きさの Index とするものである。

いいかえれば、妙高人工なだ水実験において発生したなだれの

の大きさ Magnitude は、3 であるというのである。

なお、この斜面のなだれ落ちる積雪の層の全体積を推定した後に、地上立体写真測量と電子計算機による計算と解析の結果、 $19,390 \text{ m}^3$ という測定値が得られた。概算の推定値と精密な測定値とが、かなりよく適合していることは、なだれの大きさもエネルギーによって表示しようとする本方法が、比較的容易に適用し得ることも示すことに外ならない。

さらに、上越三俣人工なだれ実験斜面について、本方法を適用してみると、つぎようになる。

なだれ落ちる積雪の層の深さ、厚さ $D = 0.75 \text{ m}$,

その中 $B = 25 \text{ m}$,

その斜面延長 $L = 300 \text{ m}$,

その斜面勾配 $\alpha = 30^\circ$,

なだれ落ちる積雪の層の単位体積重量 $d = 0.500 \text{ t-m}^3/\text{m}^3$,

なだれ落ちる積雪の層と斜面との間の運動摩擦係数 $\mu_k = 0.3$,

とすれば、

この斜面のなだれ落ちる積雪の層の全体積 $V = D \cdot B \cdot L$

$$= 0.75 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 300 \text{ m}$$

$$= 5,600 \text{ m}^3$$

この斜面のなだれ落ちる積雪の層の全重量 W

$$= d \cdot D \cdot B \cdot L$$

$$= d \cdot V$$

$$= 0.5 \text{ kg-wt/m}^3 \times 5,600 \text{ m}^3$$

$$= 2,800$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) \times \{(\sin 30^\circ) - (0.3 \times \cos 30^\circ)\}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) \times \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - \left(0.3 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.1$$

$$= 1 \times 10^{-1}$$

である。そこで、これを式(13)に、それぞれ代入すれば、

$$W = \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面をなだ水落ちる積雪の層の全体積} \times \text{その積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面延長 in m})$$

$$\times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\}$$

$$= (\text{斜面をなだ水落ちる積雪の層の全重量 in kg-wt}) \times$$

$$(\text{斜面延長 in m}) \times \left(\frac{1}{2}\right) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\}$$

$$= 2,800 \text{ kg-wt} \times 300 \text{ m} \times 1 \times 10^{-1}$$

$$= 84,000 \text{ kg-wt} \cdot \text{m}$$

$$= 8.4 \times 10^4 \text{ kg-wt} \cdot \text{m}$$

となる。

そこで、前述とおなじように、この仕事量を、キロジュール(kJ)単位で表示する。すなわち、式(17)によって、

$$1 \text{ kg-wt} \cdot \text{m} = 1 \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ kJ}$$

であるから、この関係を、式(19)に代入すれば、

$$\begin{aligned} W &= 8.4 \times 10^4 \text{ kg-wt.m} \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ Kj/kg-wt.m} \\ &= 8.4 \times 9.8 \times 10^1 \text{ Kj} \\ &\approx 84 \times 10^1 \text{ Kj} \end{aligned}$$

とある。

すなわち、この 10^2 の冪指数 2 を、エネルギーで表示された
なだれの大きさの Index とするものである。

いかえれば、上越三保人工なだれ実験において発生したなだ
れの大きさ Magnitude は、2 であるというのである。

2. なだ水がなだ水落ちる質点の運動の方程式

積雪のある斜面をなだ水がなだ水落ちる運動を考える。その斜面の勾配を α として、直角座標軸をFig. 1のようにとる。単位体積の雪塊の重量を $W = mg$ として、質点の

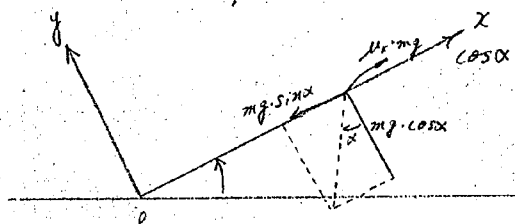


Fig. 1

運動として考える。そうすれば、質量 m の質点に作用する力の x 軸に直角な、 y 軸方向の分力は、 $mg \cdot \cos \alpha$ である。

したがって、この質点に作用する運動摩擦力は、 $\mu_k mg \cdot \cos \alpha$ である。そしてこれを、 x 軸の正方向に働く。

x 軸方向の運動方程式は、

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -mg \sin \alpha + \mu_k mg \cos \alpha \quad (1)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -g (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha)$$

t に関して積分して、

$$\frac{dx}{dt} = \int -g (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) dt$$

$$\frac{dx}{dt} = C_1 - gt (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \quad (2)$$

積分定数 C_1 を決定するためには初期条件 $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=0} = 0$ を(2)に

代入すれば、

$$C_1 = 0 \quad (3)$$

$$\therefore \frac{dx}{dt} = -gt(\sin\alpha - \mu_k \cos\alpha) \quad (4)$$

ここで、斜面の勾配 α と運動摩擦係数 $\mu_k = \tan\varphi_k$ とに限り
二つの場合が考えられる。

$$\textcircled{1} \sin\alpha - \mu_k \cos\alpha > 0, \text{ すなわち, } \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha > \mu_k = \tan\varphi_k$$

この場合には、質点のすべり落ちる速度は、時間 t の増加とともに増加する一方で、それが0となることはない。すなわち、質点のすべり落ちる運動は、その斜面の末端において、障害物によって阻止されるまで、続けられる。

$$\textcircled{2} \sin\alpha - \mu_k \cos\alpha \leq 0, \text{ すなわち, } \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha \leq \mu_k = \tan\varphi_k$$

この場合には、式(4)は、

$$\frac{dx}{dt} = gt(\mu_k \cos\alpha - \sin\alpha) \quad (5)$$

の形となり、その右辺は正となる。

7. なだ水の衝撃力と緩衝する緩衝の基本的計算

なだ水がなだ水落ちて、なだ水の防御構造物に作用する力は、一般に、なだ水の衝撃力であるといわれている。

衝撃力とは、一応、極めて大きな力が、微小時間作用する場合の力を称している。その極めて大きな力とは、相対的に、どの程度のもうまでもいううか、また、微小時間作用するとは、相対的に、どの程度のもうまでもいううか、あまり明確な定義はない。

人工なだ水実験によって、スノウシェドの本体の各支柱、等に埋設されたロードセルに加わった荷重を、オシログラフペーパーからみると、その縦軸荷重 P と横軸時間 t とについて、 $\frac{dP}{dt}$ の値が、大きければ、大きい程、衝撃的作用が大きいということができる。

なだ水が速度 v_0 でなだ水落ちて、その進路にある構造物の単位面積に衝突する場合を考える。なだ水の単位体積重量を W 、重力の加速度を g とすれば、その時間 dt における質量 m は、 $\frac{W \times v_0 \times l}{g} dt$ で、そのなだ水の運動量は、 $m v_0$ の $\frac{W \times v_0 \times l}{g} dt \cdot v_0$ で表わされる。そして、その衝突の瞬間に、その運動量 $\frac{W \times v_0 \times l}{g} dt$ が、瞬間的に失われることになりと考える。そうすると、それには、限りなく大きな、つまり、無限大の大きさの力が作用しなければならぬ。

具体的な数値を代入すると、氷水の単位体積重量 $W = 500 \text{ kg/m}^3$ 、
 重力の加速度 $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ 、氷水の速度 $v_0 = 13 \text{ m/sec}$ として、
 その運動量 mv_0 は、 $mv_0 = \frac{W V_0 \times l}{g} dt = \frac{500 \text{ kg/m}^3 \times 13 \text{ m/sec} \times 1 \text{ m} \times \frac{\pi}{4} \times 1 \text{ m}}{9.8 \text{ m/sec}^2} dt$
 $\approx 0.600 \text{ kg-m} \times dt$ となり、これだけの運動量が、失われなければならぬ。いかにいへば、これだけの力積に相当する力が作用しなければならぬ。もし、作用する時間 dt が 1 sec であれば、 1 m^2 当り、約 0.6 ton の力が作用するのに対して、
 $\frac{1}{10} \text{ sec}$ であれば、 1 m^2 当り、約 6 ton の力が作用することになる。いかにいへば、力の平均値は、作用する時間と逆比例するのであって、作用する時間が 0 になると、作用する力は無限大になるのである。スノウシェッドの屋根 1 m^2 当りに、この氷水の衝撃力が作用する場合に、氷水が方向を変えて、その運動量を減少することもあり、また、スノウシェッド、等構造物自体の弾性によって、接触している時間、作用している時間が有限の大きさがある値をもっている。したがって、実際には、力の大きさは、無限大の大きさになることはない。
 しかしながら、その反面、スノウシェッド、等構造物の計画と設計における経済性、合理性を考慮して、この場合に作用する力の最大値も、可能な限り軽減し、緩衝すために、その作用する時間と可能な限り、長びかす工夫をすることが、望ましい。そのための装置が、緩衝装置 (Shock Absorber) である。

作用する時間、接触してからその運動量が0になるまで、接触してから停止するまでの時間に、なだれはある衝程 (Stroke) だけ前進するわけである。その時間を長びかすとその間に前進する衝程も長くなる。したがって、緩衝装置は、なだれとスノウシェッド、等構造物との間に、その力を伝達しながら、しかも、この前進する衝程を許すものでなければならぬ。そういう性質をもつものとして、第一に考えられるものは、ばねである。ばねは、相当変形することができて、しかも、その変形と強制するものに対して、相当の反力をおよぼすことができるものである。

つぎに、ばね、等の緩衝装置における緩衝効率について考える。緩衝装置は、理想的には、作用する力の最大値 P_{max} がなるべく小さくなるようなものが望ましいわけである。ばねによって緩衝する場合は、ばね定数 K を小さくすれば、 P_{max} を小さくすることができるが、衝程の最大値 X_{max} は大きくなる。一方、反対に、ばね定数 K を小さくすると、 X_{max} は減少するが、 P_{max} は増大する。そこで、いま、 P_{max} を一定におさえておいて、 X_{max} の最も小さくなるような緩衝装置は、どのような特性のものでなければならぬかを、検討してみよう。作用する力の運動エネルギーは、その質量 m 、速度 v_0 に対して、ばねによる緩衝装置に、衝突し、接触する前には、

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2 \quad (1)$$

であったが、作用する力が、 x_{max} だけ沈下する間に、次第に減少して0になる。その間に、緩衝装置が、作用する力に対する反作用として力をする仕事は、

$$W = \int_0^{x_{max}} P dx \quad (2)$$

であって、ちょうど作用する力の変化に等しいはずである。その反作用として力 P は、 x の増加する方向と反対に、いっかえれば、作用する力の速度を減少する方向に、作用する。したがって、式(1)と式(2)とにおいて、つぎの等値関係が成立し

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \int_0^x P dx \quad (3)$$

が得られる。ここで、 P の最大値を、 P_{max} とすると、

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \int_0^{x_{max}} P dx \leq \int_0^{x_{max}} P_{max} dx = P_{max} \cdot x_{max} \quad (4)$$

となり、等号が成立するりは、すべての x について、

$$P = P_{max} \quad (5)$$

すなわち、 P がつねに一定の場合に限る。 P が変化する場合は、不等号である。

式(4)から、

$$x_{max} \geq \frac{1}{P_{max}} \left(\frac{1}{2} m v_0^2 \right) \quad (6)$$

が得られ、これが、一般的な場合であって、

$$P = \text{Const} \quad (7)$$

の場合だけ、等号が成立する。

したがって、 m , v_0 , P_{max} を指定したとき、 x_{max} が最小になるのは、緩衝中、つねに $P = \text{Const}$ となる場合である。

そして、 m , v_0 , x_{max} を指定したとき、 P_{max} が最小になるのは、緩衝中、つねに $P = \text{Const}$ となる場合である。

このような意味において、 $P = \text{Const}$ となる緩衝装置は、理想的なものである。Fig. 1 は、緩衝の仕事を表わすものである。緩衝中、つねに一定の力が作用するような緩衝装置において、接触してから、時間 t のときの沈下距離を x とすれば、その速度は $\frac{dx}{dt}$ 、その加速度は $\frac{d^2x}{dt^2}$ であり、それらの間の関係式は、

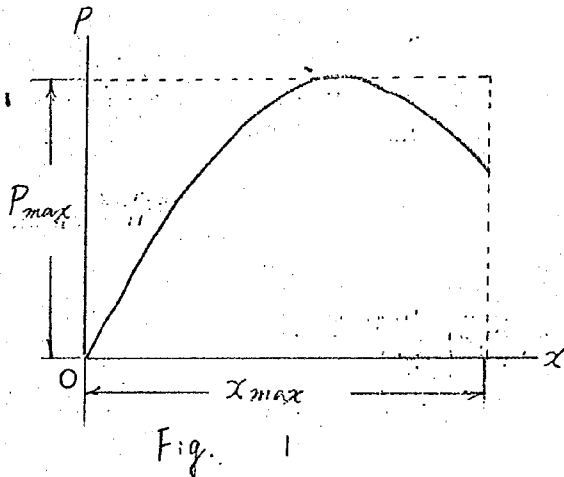


Fig. 1

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -P (\text{Const}) \quad (8)$$

である。式 (8) を、

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{P}{m} \\ = -b \quad (8')$$

として、 P, m を一定、したがって、 b が一定として、 t に関して積分すれば、

$$\frac{dx}{dt} = -\int b dt + C_1 \quad (9)$$

$$\text{あるいは、} \quad \frac{dx}{dt} = -bt + C_1 \quad (9')$$

ここで、 C_1 は積分定数であって、それを決定するために、初期条件として、

$$\text{時間 } t=0 \text{ のとき、速度 } \frac{dx}{dt} = v_0 \quad (10)$$

を、式(9)に代入する。言い換えれば、作用する力が、緩衝装置に、始めて接触するときの速度 $\frac{dx}{dt}$ を v_0 とするということである。そうすれば、式(9)から

$$C_1 = v_0 \quad (11)$$

が得られる。これを、式(9)に代入すれば、

$$\frac{dx}{dt} = v_0 - bt \quad (12)$$

となる。式(12)をさらに、もう一度 t に関して積分すれば、

$$x = \int v_0 dt - \int bt dt + C_2 \quad (13)$$

$$\text{あるいは、} \quad x = v_0 t - b \frac{t^2}{2} + C_2 \quad (13')$$

ここで、 C_2 も積分定数であって、それを決定するために、初期条件として、

時間 $t = 0$ のとき, 沈下距離 $x = 0$ (14)

を式(13)に代入する。いいかえれば, 作用する力が, 緩衝装置に, 始めて接触するときの沈下距離 x は, 当然の事ながら, 0 であるということに外ならない。

そうすれば, 式(13)から

$$C_2 = 0 \quad (15)$$

が得られる。これを式(13)に代入すれば,

$$x = v_0 t - \frac{b}{2} t^2 \quad (16)$$

となる。

このような緩衝装置を作るには, “固体摩擦” を利用するのも, 一つの方法である。また, はねと抵抗とを並列に入れてもできる。この後者の場合についての計算は, つぎのようにすればいい。いま, はね定数 K のはねと, 沈下速度 $\frac{dx}{dt}$ が v のとき Cv の抵抗力を生ずるような抵抗器とを, 並列に入れて, 緩衝中, つねに一定の力 P を生ずるようにする場合を考える。

ここで, C は, 定数係数である。

この場合に, 力 P は, 題意によつて,

$$\begin{aligned} P &= Kx + Cv^2 \\ &= Kx + C \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \end{aligned} \quad (17)$$

である。式(17)に, 式(16)と式(12)とを代入すれば,

$$\begin{aligned}
 P &= Kx + C\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \\
 &= K\left(v_0 t - \frac{b}{2} t^2\right) + C(v_0 - bt)^2 \\
 &= K v_0 t - K \frac{b}{2} t^2 + C v_0^2 - C \cdot 2 \cdot v_0 b t + C b^2 t^2 \\
 &= C v_0^2 + (K - C \cdot 2 \cdot b) v_0 t + \left(-K \frac{b}{2} + C b^2\right) t^2 \quad (18)
 \end{aligned}$$

となる。緩衝中、つねに一定の力 P を生じさせるという条件は、経過時間 t に無関係であるということに外ならない。いかえれば、式 (18) の右辺の t と t^2 の項が、0 にならなければならない。接触時の初期速度 v_0 が 0 の場合は、いさ考慮する意味がないから、

$$v_0 \neq 0 \quad (19)$$

とする。

$$(K - C \cdot 2 \cdot b) = 0 \quad (20)$$

$$\left(-K \frac{b}{2} + C b^2\right) = 0 \quad (21)$$

でなければならない。

式 (20) と式 (21) とから、おなじ条件、

$$K = 2 C b \quad (22)$$

が得られる。さらに、式 (20) と式 (21) とを式 (18) に代入すれば、

$$P = C v_0^2 \quad (23)$$

も得られる。したがって、式 (22) と式 (23) とを同時に、満足するような、緩衝装置を作れば、題意に適することになる。

つぎに、一般の緩衝装置について、受け入れ運動のエネルギー

$\frac{1}{2} m v_0^2$ と、最大衝撃力 P_{max} と最大衝程 x_{max} との積との比、すなわち、

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} m v_0^2}{P_{max} x_{max}} \quad (24)$$

なる量を考える。

$$\eta = \frac{(M \cdot (\frac{1}{T}))}{(M \cdot \frac{1}{T} \cdot L)} = 1 \quad (25)$$

となって、無次元量であることがわかる。さらに、式(5)から、この η は、かならず 0 と 1 の間にあることもわかる。理想の場合には $\eta = 1$ である。すなわち、 η という無次元量は、緩衝装置の“良さ”を表わす一つの Index になる。これを、一般に、緩衝効率というのである。

はねだけを使用する緩衝装置を考える。作用する力衝撃 P は、はね定数 K と衝程 x との函数であって、

$$P = Kx \quad (26)$$

で表わされる。

式(6)の不等号の左辺に、式(26)の関係式を代入すると、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m v_0^2 &= \int_0^{x_{max}} P dx \\ &= \int_0^{x_{max}} Kx dx \\ &= \left(\frac{1}{2} Kx^2 \right)_0^{x_{max}} \\ &= \frac{1}{2} Kx_{max}^2 \end{aligned} \quad (27)$$

が得られる。また、式(26)から、

$$P_{max} = Kx_{max} \quad (28)$$

も得られる。こゝの式(27)と式(28)とを、式(24)に代入すれば、

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\frac{1}{2} m v_0^2}{P_{\max} X_{\max}} \\ &= \frac{\frac{1}{2} K X_{\max}^2}{K X_{\max}^2} \\ &= \frac{1}{2} \quad (29)\end{aligned}$$

となる。いゝか之は、ばねだけを使用する緩衝装置では、緩衝効率 η は、50 percent であつて、理想的に考えれば、かなり効率が低い。前述のように、 $P = \text{Const}$ となる緩衝装置は、緩衝効率 $\eta = 100\%$ となるのである。

以上は、衝撃力、速度が、接触時の初期速度 v_0 から終末速度0になるまでの過程だけを問題にしたが、緩衝装置の全部、あるいは、その一部が、ばねである場合には、いったん蓄積された弾性エネルギーが、ふたたび放出される過程が、これに続くのであつて、その過程の考察もまた重要である。

この場合に、緩衝装置に対して要求されることは、

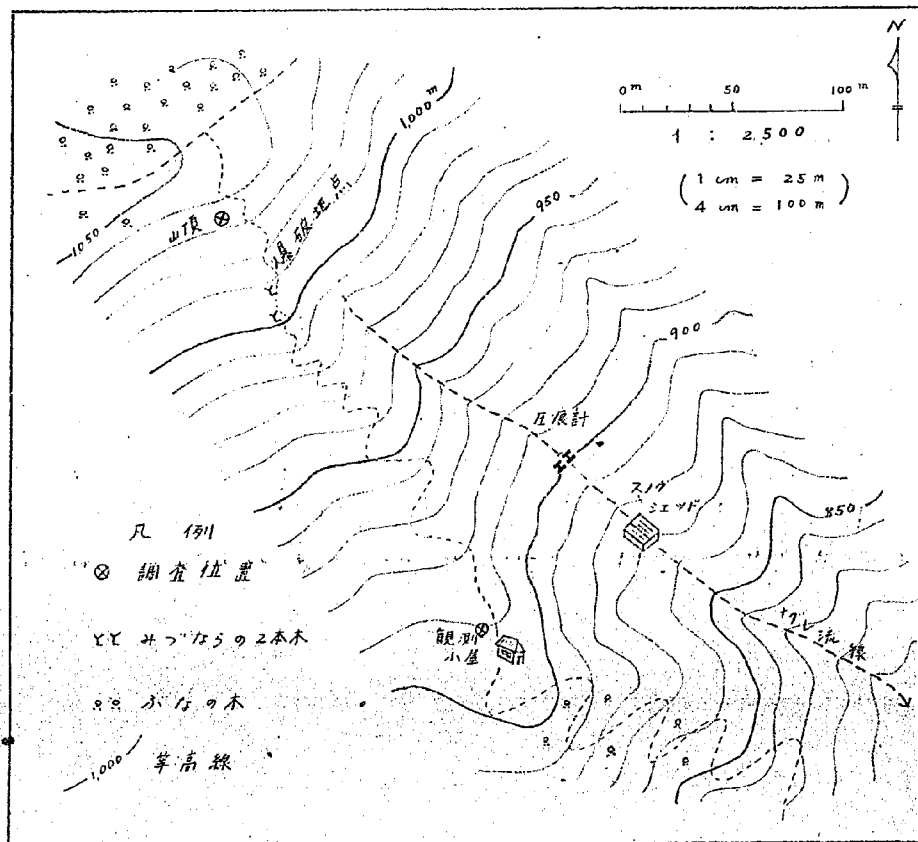
- ① いわゆる、ばね返りがありすぎないこと、
- ② つぎの衝撃力の作用に対する緩衝装置の力学的準備が間に合うこと、

が二つの点である。

調査積雪実験に於ける人工妙高

実験年月日 昭和41年2月18日(金)
 天候 晴のち曇
 実験場所 妙高内温泉幕之沢地先中央斜面

実験斜面と調査位置



積雪調査結果

(1) 山頂 調査時刻 9.30 ~ 11.00

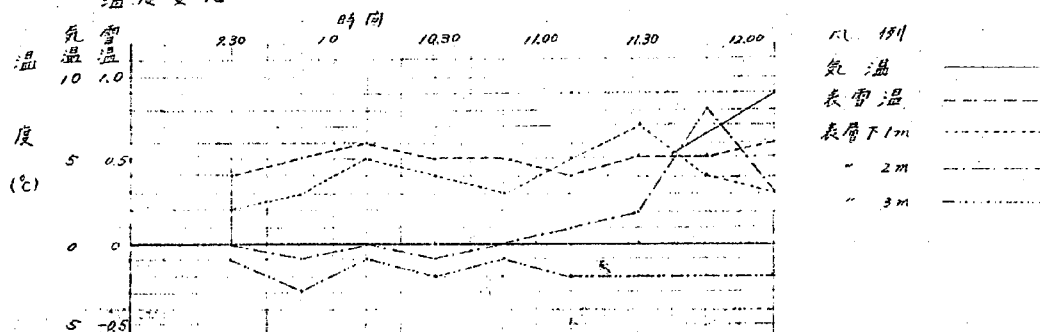
積雪深 3 m 33 cm

積雪の種類、層厚、密度、硬度、含水測定

積雪深 (m) 種類 層厚 (cm) 密度 (g/cm^3) 硬度 含水

3.0	細リ	17	0.197	c~d	B
	細リ	5	0.236	c~d	B
2.5	細リ	22	0.225	c~d	B
	細リ(砂×混)	27	0.357	c~d	C
2.0	大リ(砂×混)	10	0.480	c~d	B
	大リ	52	0.355	c~d	B
1.5	細リ	49	0.395	A	B
	細リ	14	0.39	B	B
1.0	大リ	50	0.345	B	C
	細リ	10	0.435	B	B
	細リ	15	0.468	c~d	B
0.5	細リ	19	0.430	A	C
	細リ	10	0.355	c~d	B
	細リ	16	0.450	A	B
	大リ	84	0.455	c~d	C

温度変化



(2) 観測小屋
積雪深

調査時刻
3 m 19 cm

積雪の種類、層厚測定および剪断力測定

積雪深 (m)

種類 層厚 (cm)

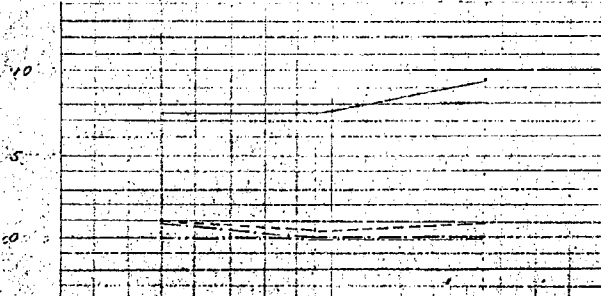
剪断力測定
最大値 (kg/cm²) 剪断力 (kg/cm²)

3.0	ガラス	5		
	新り	41	50	0.214
2.5	ガラス	4		
	新り	12		
	小ガラス	6	140	0.683
	大ガラス	39	90	0.384
2.0	新り	10		
	ガラス	4		
1.5	新り	60	150	0.641
	ガラス	2		
	新り	14	350	1.495
1.0	大ガラス	35	100	0.427
	小ガラス	10		
	新り	11	400	1.785
	ガラス	5		
0.5	新り	19	400	1.785
	大ガラス	20	100	0.427

温度変化

時間 10.30 11.35 12.25

温度 (℃)



凡例

気温

表雪温

表層下 2 m

" 3 m

(3) 観測穴位置, スノーシェッド位置, 圧痕計位置における密度測定(バネバカリ)

・観測穴位置

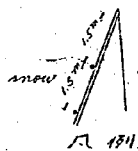
実験前	地層面上 1m の位置	0.44%	実験後	地層面上 0.5m の位置	上 0.642 g/cm ³ 中 0.672 " 下 0.737 "
"	" 2m "	0.42 "	"	" 1.0m "	上 0.612 " 中 0.600 " 下 0.600 "
	表雪面下 0.5m	0.23 "			

・スノーシェッド位置

実験前	スノーシェッド上 (47x) 0.46 "	実験後	スノーシェッド上	0.643 "
	スノーシェッド上 1m	0.46 "	" 上 0.5m	0.660 "
	" 2m	0.335 "	" 上 1.0m	0.562 "
	" 3m	0.43 "	" 上 1.5m	0.600 "
	表雪面下 0.5m	0.23 "	" 上 2.0m	0.667 "

・圧痕計位置

実験後	杭頭 1.5m F	0.662 "
"	" 2.0m F	0.675 "
"	" 2.5m F	0.625 "
"	" 3.0m F	0.667 "
	塊 (47x)	0.667 "



密度測定

- ① 各種雪層に於いて雪を円筒(直径 5cm, 高さ 5.1cm 容積 100cc)で垂直に抜き取る。
 - ② 円筒内の円筒形の雪のみ抜き取る。
 - ③ 竿秤(最小目盛 0.5gr, 最大秤量 50gr)でその抜き取った円筒形の雪の秤量
 - ④ ③の値を円筒形の容積 100cc で割れば、その値がその積雪層の密度である。
- (注) 測定には バネバカリ(秤量 800g, 目盛 2g), 円筒(直径 5.1cm, 高さ 5.1cm, 容積 100cc 重 230g)を使用

硬度測定

硬度階級

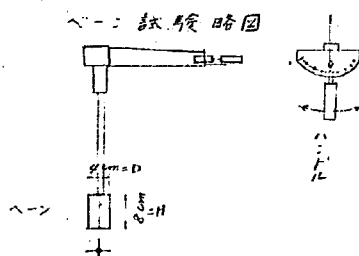
- a : タイフ力軽くささる
- b : 鉛筆力
- c-d : 1-2本指力
- e : 3本指力
- f : ケンコノ力

積雪の含水

記号	含水程度の分類	認定する手法	含水率(%)
A	含水のない雪	dry 握ると固まる	0~5
B	新り気のあつ雪	moist 握れば固まる	5~15
C	水分の多い雪	wet 握れば水がにじむ	15~25
D	水がしたたるくらいある雪	very wet 握ると水がたれる	25~40

抗剪力測定

へーニ試験略図



$$\text{剪断力} = \frac{M}{\frac{\pi D^3 H}{2} + \frac{\pi D^3}{6}}$$

上越三俣人工なれ実験 積雪調査

実施年月日 昭和41年 3月9日(水) PM. 1時30分~2時(本実験前日)

天候 曇り

実験場所 国道17号線 三俣なれ実験斜面

積雪調査結果(山頂地点) 積雪深 1 m 40 cm

積雪の種別、層厚、簡雪深、重さ、密度測定

積雪深 (m)	種別	層厚(cm)	簡雪深(cm)	重さ(g)	密度(g/cm^3)
	新雪	10	6	31	0.26
1.5			8	55	0.34
1.0	小ガラ×	37	20	180	0.45
			13	100	0.38
	結り	16	18	145	0.40
	ガラ×	25	20	188	0.47
0.5	結り	12	14	121	0.43
			20	180	0.25
	大ガラ×	40			
			16	167	0.52
0	地面				

備考: 新雪の下 30 cm は 71人板状である

温度、風速、風向測定

PM 2時

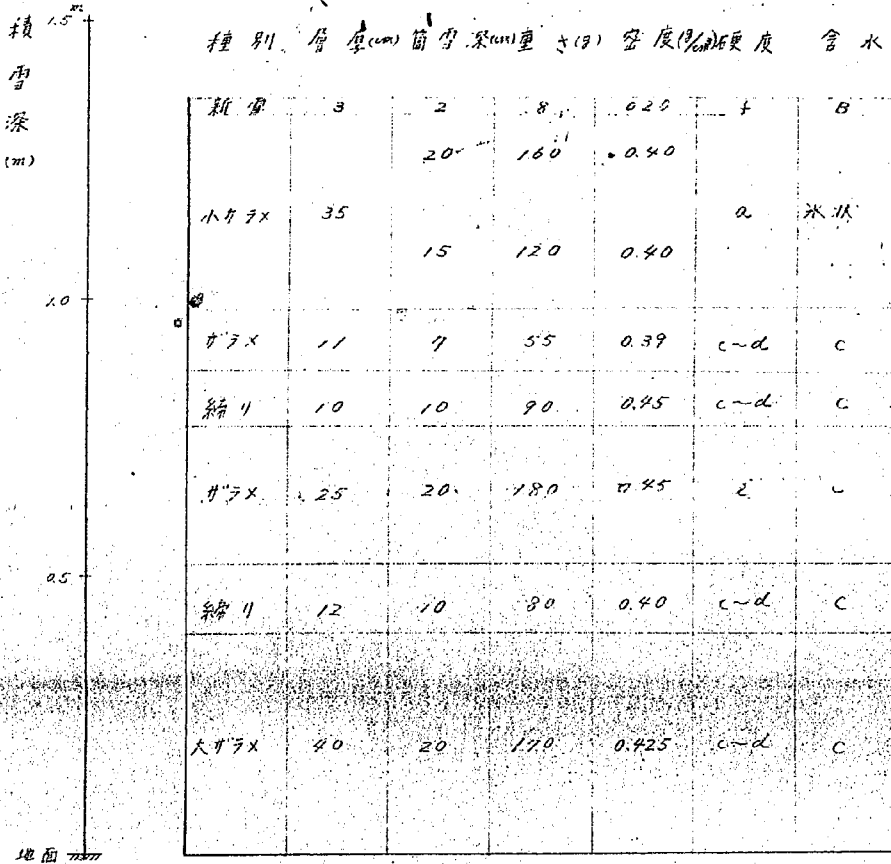
気温: -1°C , 雪温: -0.5°C

風向: NNW , 風速: 0.75 m/s

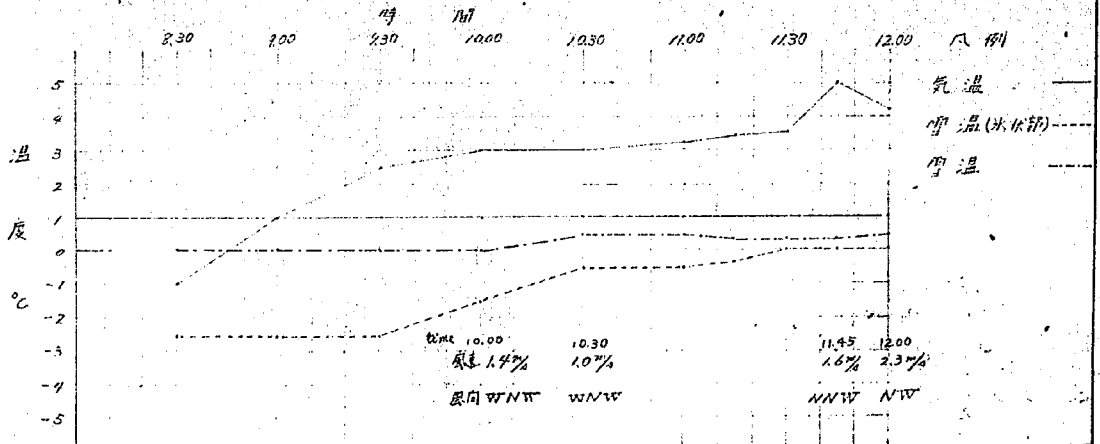
观测年月日 昭和 41 年 3 月 10 日 (木) AM 9 時 30 分 - 10 時 30 分
 天候 晴 風
 実験場所 国道 11 号 線 三 俣 山 火 災 験 斜 面

積雪調査結果 (山頂地点) 積雪深 1 m 36 cm

積雪の種別, 層厚, 箇雪深, 重さ, 密度, 硬度, 含水測定



温度, 風速, 風向変化



凡例

密度測定

- ① 各積雪層について雪を円筒(直径 5.05 cm, 高さ 20 cm 容積 400 cc)で
垂直に抜き取る
- ② 円筒内の円筒形の雪のみ抜き取る。
- ③ ハネ杆でその抜き取った円筒形の雪の量を
- ④ その値を円筒形の容積 400 cc で割ればその値がその積雪層の密度である

硬度測定

硬度階級

- a: ナイフが軽くささる
b: 鉛筆が "
c~d: 1~3本指が "
e: 3本指が "
f: ケンコツが "

積雪の含水

記号	含水程度の種類		認定方法	含水率(%)
A	含水のない雪	dry	握って固まらない	0~5
B	締め気のある雪	moist	握れば固まる	5~15
C	水分の多い雪	wet	握れば水がにじむ	15~25
D	水がしたたるくらいある雪	very wet	握ると水がたれる	25~40

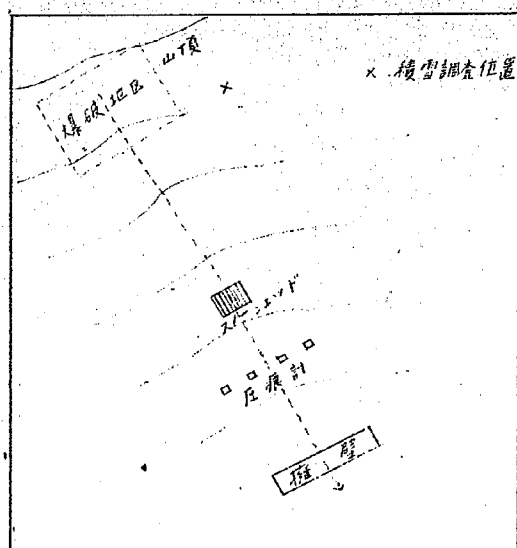
風速、風向測定

風車型風程風速計

測定範囲 1m/s ~ 15m/s

1目盛風程 1m

実験斜面略図



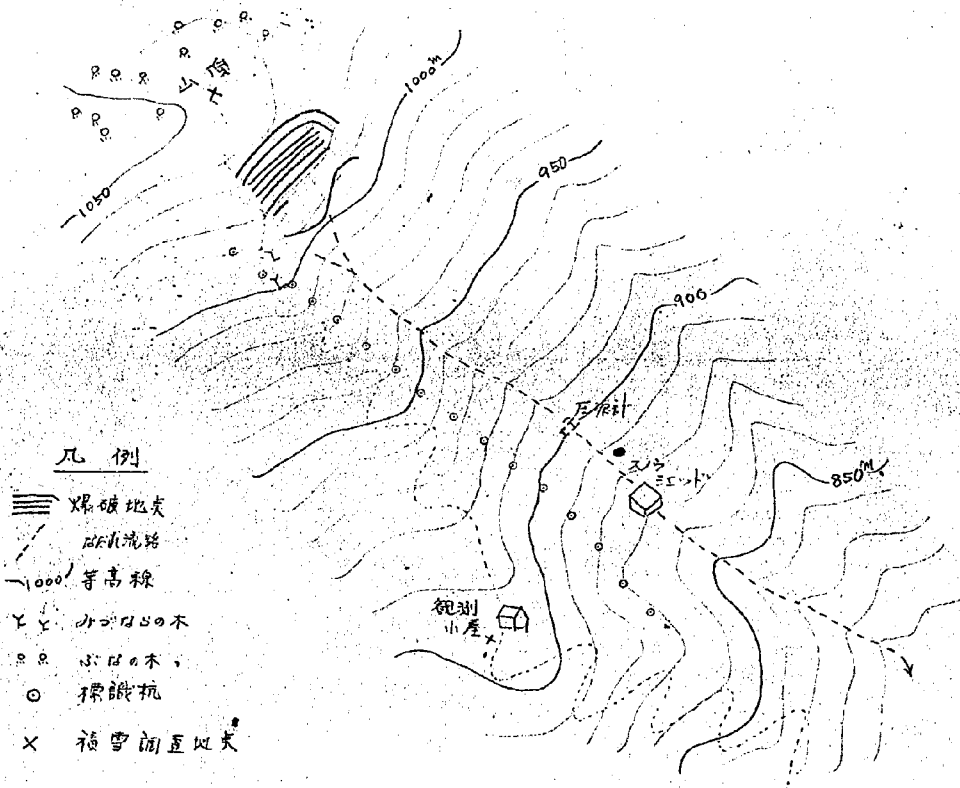
妙高人工炸け実験爆破関係資料

〔本実験〕

- 1) 実施年月日 昭和41年2月18日 12時39分 爆破
- 2) 実験場所 新潟縣中頸城郡妙高村黒布尾根から岩の沢への斜面
- 3) 天 候 晴
- 4) 装填状況

使用火薬類 七一リットル (165kg) 177.300^g
 導爆線 (2種) 900^m
 MIS電気雷管 18個

実験現地略図(平面図)



◎ 昨年、一昨年の積雪量が厚く(約35m)又雪質も硬軟を記するに最適と考へられ、昨年(昭和40年3月14日)の約1km²広範囲に発破をかけねばならぬ必要が、大抵一列と二列の間が30mに達したため(新鹿に於いては)たゞも落すため一列目を予定列追加した。

装填孔数及公尺量

凡例. 装破孔

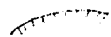
间距

雪后

• (深2.3m)

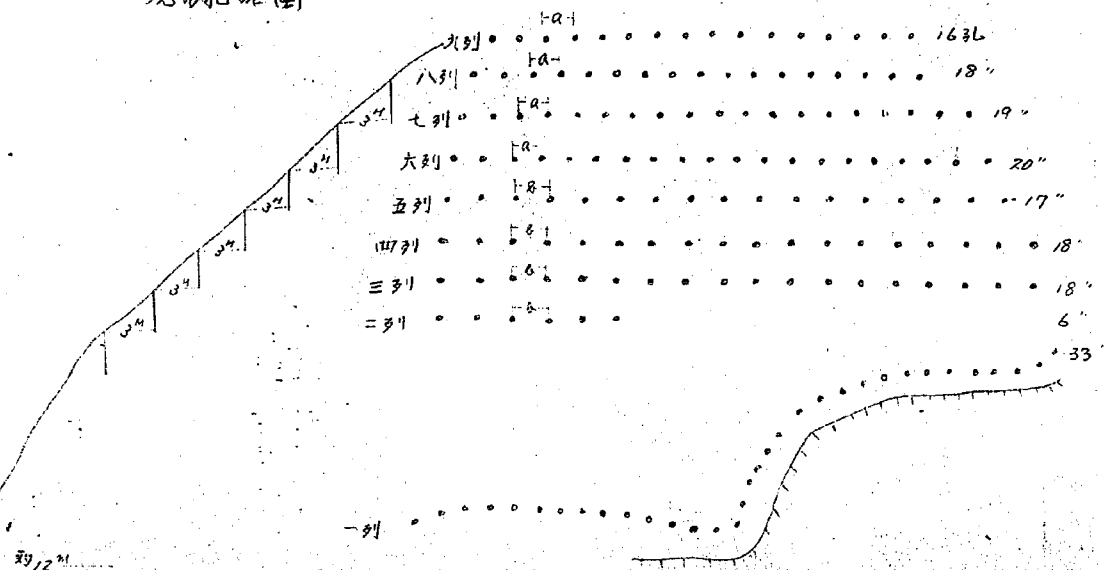
a 2m

b 2.5m



装破孔略图

山顶



公尺量

九列目	公尺量	结果	备注
九	$1350^2 \times 1636$	$= 21,600^2$	118 公尺 5 度
八	1200×18	$= 21,600^2$	" 3 度
七	1200×19	$= 22,800^2$	" 3 "
六	900×20	$= 18,000$	" 2 "
五	900×17	$= 15,300$	" 2 "
四	900×18	$= 16,200$	" 1 "
三	1200×18	$= 21,600$	" 1 "
二	900×6	$= 5,400$	" 1 "
一	$\begin{cases} 900 \times 31 \\ 1200 \times 2 \end{cases}$	$= 30,300$	" 1 "

合计

甲-カ-リ 16536 172.800²
 專線 (2 種) 900M
 MS 電気雷管 18+

5) 結果

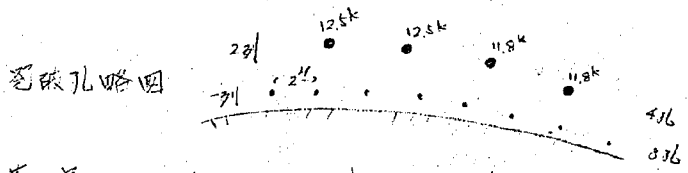
使用火薬類 カーリイ 黒 (6536) 172,800g, 導線線 900m, MS 電気雷管 18ヶ, 土俵内にて昭和 40 年度秋新入土俵に火薬類を埋入した。火薬類の埋入は、比較的少く、又、天候もよく、雪質状態も今より 40 年より火薬類より、雪質がよい状態にあり、今より日照、非常に大きい。火薬類を埋入することになった。爆発による、火薬類の埋入の雪の埋入量は、約 $42m \times 52m \times 2.5m = 5,460m^3$ と考えられる。

〔予備実験〕

1) 実験場所 本実験斜面に何れも右側の斜面

2) 天候 曇り雪

3) 装薬状況



薬量	2列目	カーリイ 2号	15,000g
		黒カーリイ	3,600g (不発残留薬)
	3列目	黒カーリイ	7,200g
合計	爆薬	55,800g	
	導線線	1,000m	
	電気雷管	10ヶ	

火薬 1,545 2/3 分頃

吹雪で視界が悪く、天候回復の可能性が低い。火災発生。

4) 結果

本実験の時に比較し、非常に小さな火災で、天候も悪く、雪質も火薬の埋入部から流出し、斜面の雪表が少し融けて、雪の程度に落ちた。

妙高人工斜面崩壊実験記録(正面)

1. 測定年月日 昭和41年11月18日 12時39分
2. 測定場所 妙高人工斜面斜面に対し、反対側の丘に測定す。
3. 測定方法及目的

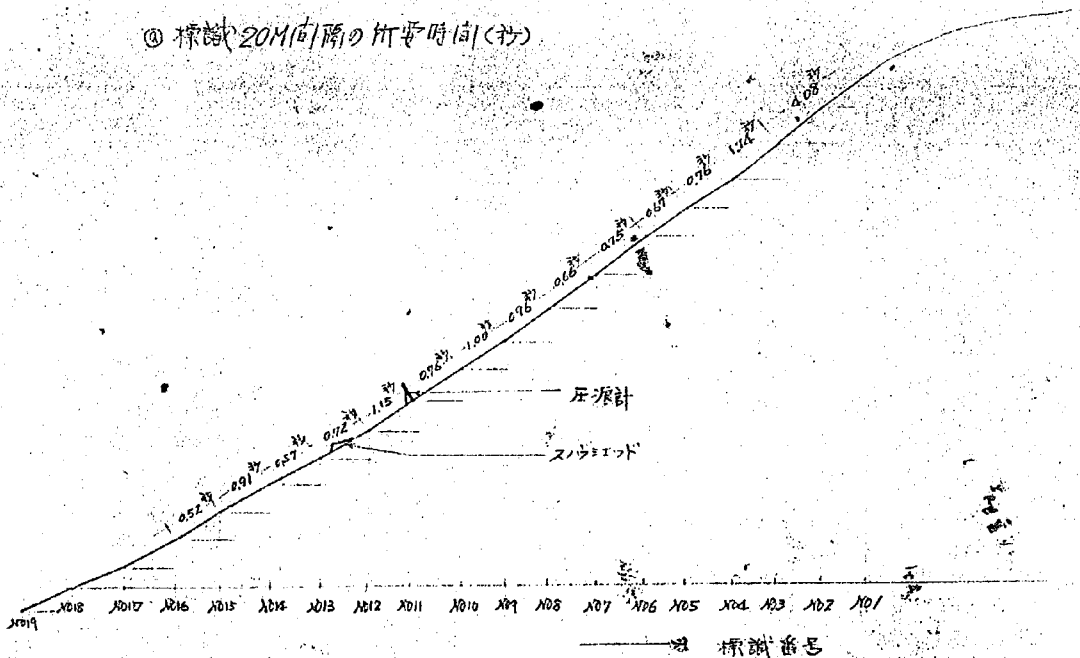
人工斜面崩壊に於いて、なだれ斜面全体を撮影しえる場所及びなだれに対して安全の場所を16mmカメラ(電動)を用いて、爆破と同時に撮影速度、秒速24コマの速さで、なだれの先端と、斜面と接した20M間隔の速度測定用標識(斜面に可及なだれの流路より30M位左)を同一画面に撮影し、20M間隔のなだれの流路に設けられ、構造物内なだれの速度を測定するものである。

又、16mmカメラと電磁オシロ(スロモエサの荷重測定用)とを連動させ、スロモエド上にある雪の状態とローレルにかかった荷重を比較検討する為を行った。

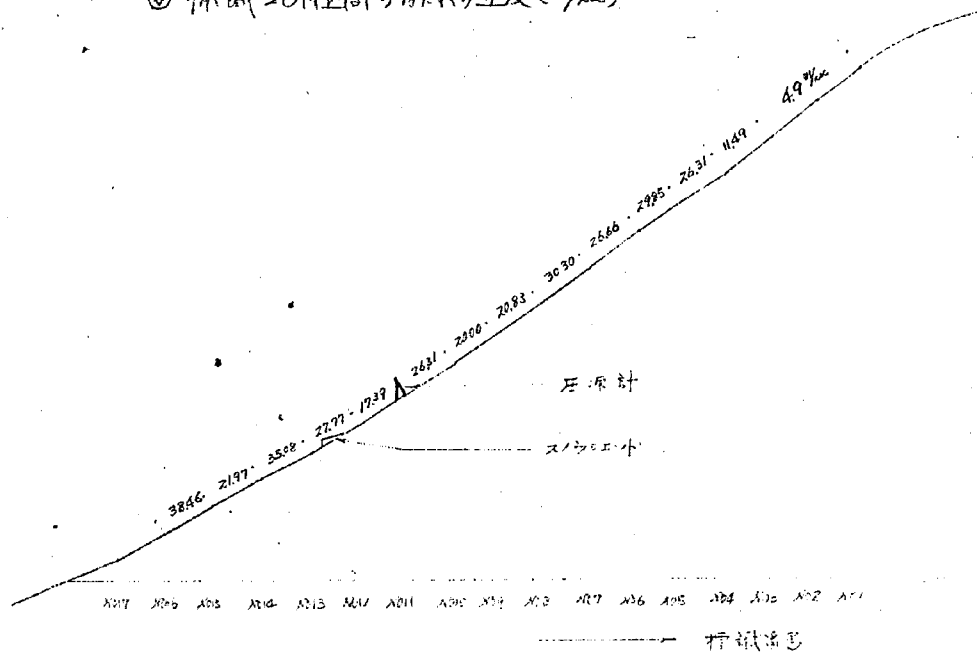
4. 測定結果

(1) 斜面と速度との関係

③ 標識20M間隔の所要時間(秒)



⑧ 標識 20M 区間のばたの速度 (m/sec)

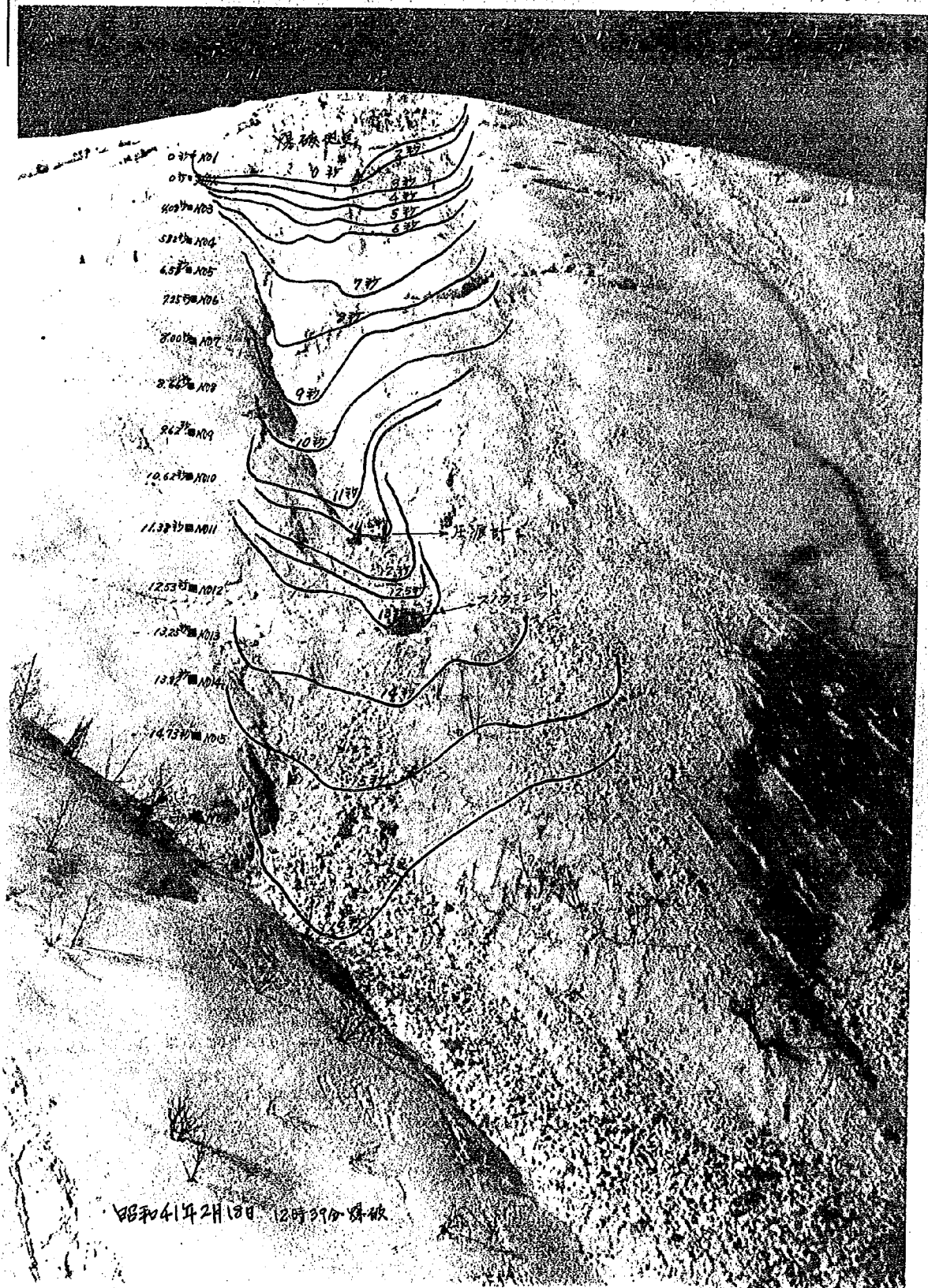


* この速度は 20M 区間の設置した標識を通過する時のばたの先端の速度である。

⑨ 標識間の斜角

標識番号	斜角度	斜距離 (m)	標識番号	斜角度	斜距離 (m)
2 ~ 1	36°52'	20	12 ~ 11	36°15'	20
3 ~ 2	39°06'	"	13 ~ 12	29°03'	"
4 ~ 3	37°24'	"	14 ~ 13	26°34'	"
5 ~ 4	32°00'	"	15 ~ 14	29°03'	"
6 ~ 5	33°42'	"	16 ~ 15	32°00'	"
7 ~ 6	37°53'	"	17 ~ 16	29°03'	"
8 ~ 7	35°13'	"	18 ~ 17	20°14'	"
9 ~ 8	36°52'	"	19 ~ 18	23°56'	"
10 ~ 9	33°41'	"	20 ~ 19	23°56'	"
11 ~ 10	31°26'	"	21 ~ 20	19°16'	"

* この角度は標識設置した所の角である。



※ 写真-1の説明

① 斜面左側に写しこみナンバー数字は、速度測定用標識(煤破切欠を λ と $\lambda/2$ と $\lambda/3$)の書きである。この間隔は斜距離で20Mである。

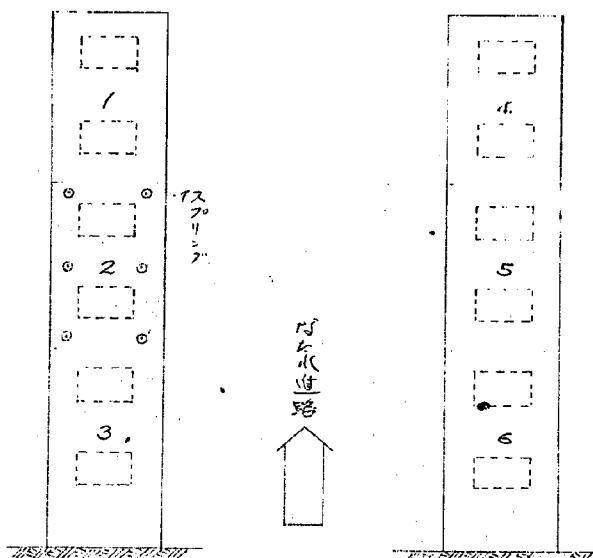
② 速度測定用標識の左側の数字(0.00秒)はなにかが標識12から標識1に
直するまでの時間

③ 写真中央のコーナ、煤破12から(煤破の降曲を0とした)1秒間隔の写り形
を記入してある。特に左側からスロースト時の間は0.5秒のコーナを記入
してある。

以上

昭和40年度妙高人工排水斜面の圧痕計の実測値

1965. 3. 16



昭和41年1月22日の自然排水

圧痕計 番号	圧痕計 番号	圧痕計 番号	圧痕計 番号
1	157	3.28	21.29
	158	3.63	
		3.69	
2	159	2.88	17.73
		2.90	
	160	3.61	
		3.66	
3	201	0.31	6.77
		3.19	
		0.45	
	202	2.08	

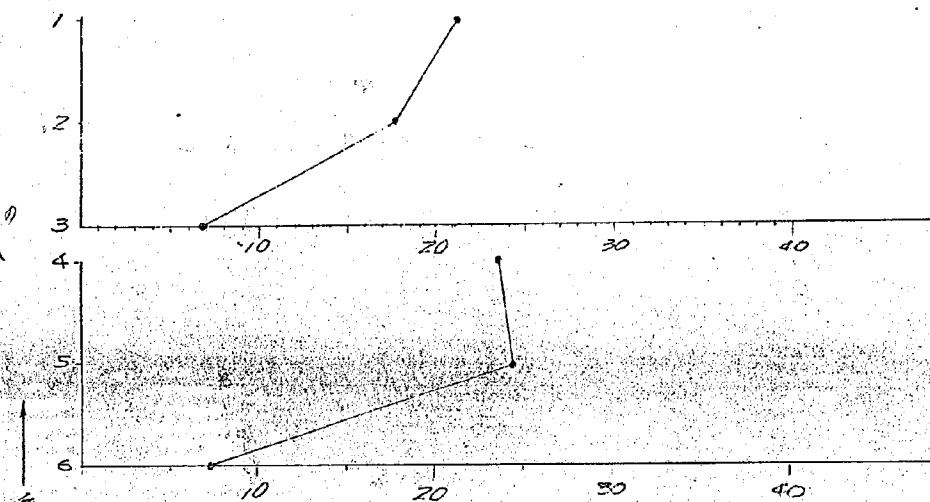
圧痕計 番号	圧痕計 番号	圧痕計 番号	圧痕計 番号
4	156	4.05	23.36
		3.61	
	155	4.10	
		3.59	
5	154	4.22	24.22
		3.87	
	153	4.24	
		3.39	
6	152	2.29	7.15
		2.03	
		1.38	
	151	1.72	

昭和四年二月十七日の人工洪水実験。12時40分爆破。

管番号	管径 (mm)	管長 (mm)	0.75m ² の 水面積
1	315	471	39.79
		528	
	316	528	
		555	
2	313	386	15.44
		278	
	311	343	
		162	
3	314	0	0.500
		277	
	312	0	
		0	

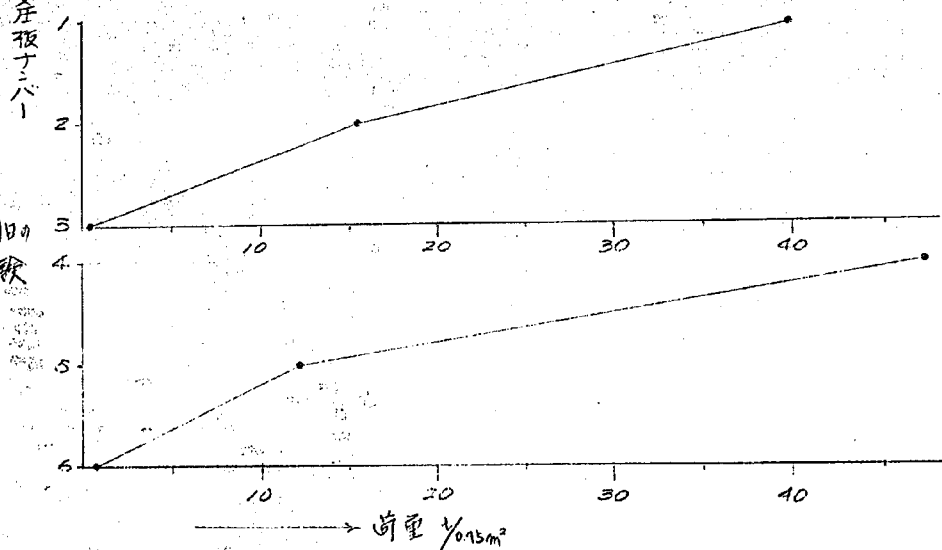
管番号	管径 (mm)	管長 (mm)	0.75m ² の 水面積
4	382	562	47.14
		520	
	381	618	
		602	
5	320	360	12.02
		280	
	319	200	
		164	
6	317	0	0.98
		094	
	318	0	
		054	

昭和四年二月十七日の
自然洪水



管径 31mm

昭和四年二月十七日の
人工洪水実験



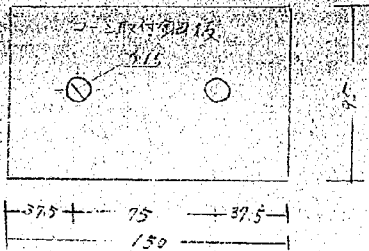
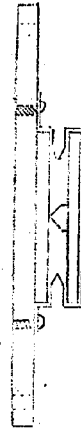
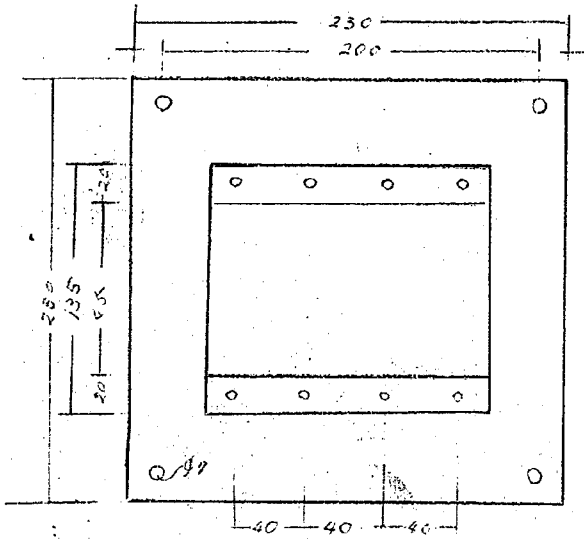
流量 1/0.75m²

1966 (41) 2.



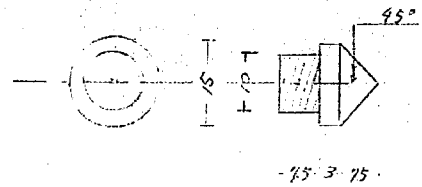
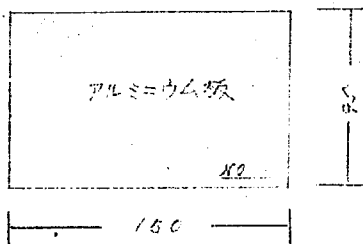
圧痕計

1966(41).2



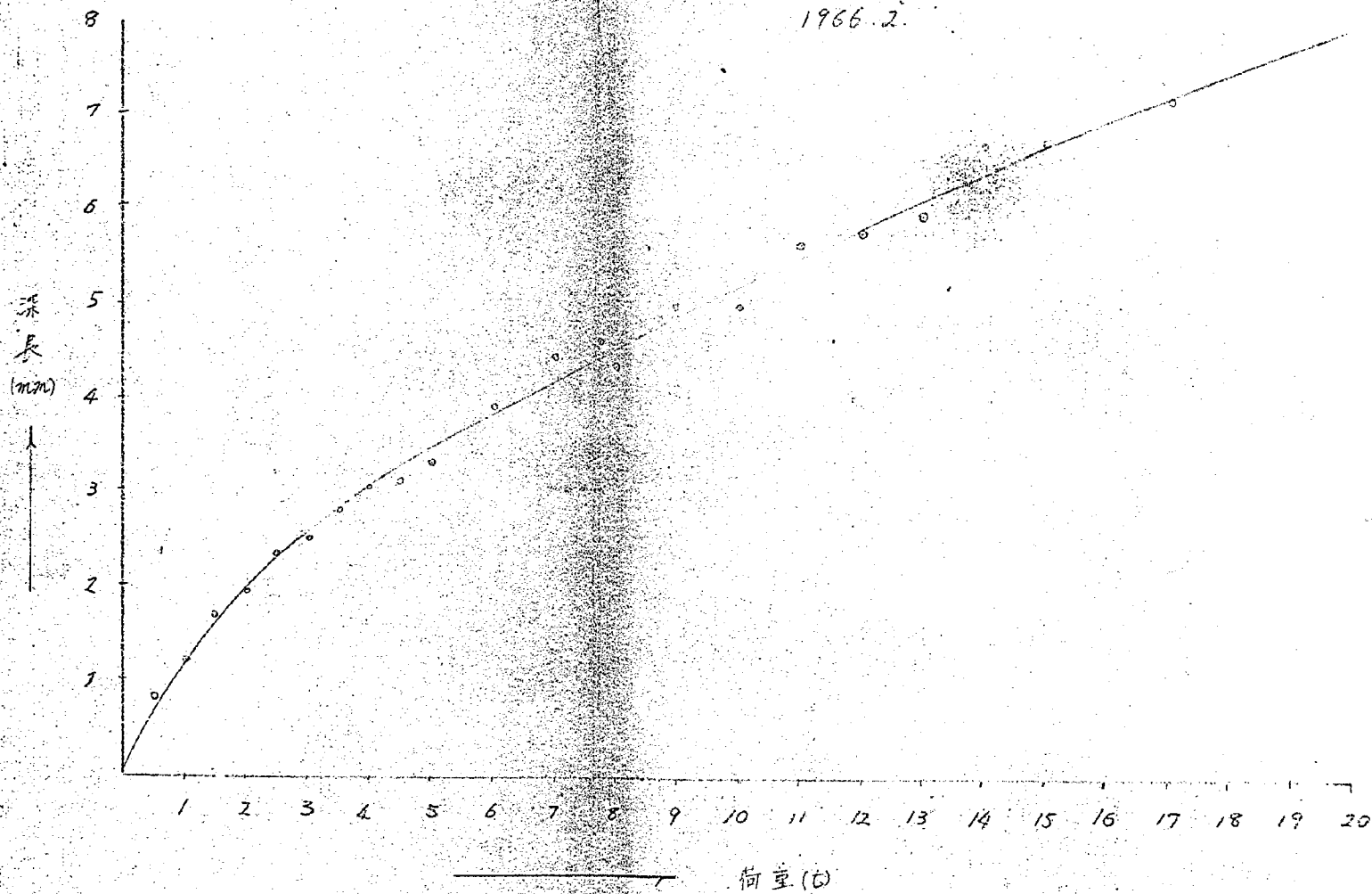
コ-詳細図

$S = 1/4$



アルミ板の深長との関係

Calibration Curve
1966.2.



揚子江人工砂実験スラットKの動的及び静的測定結果

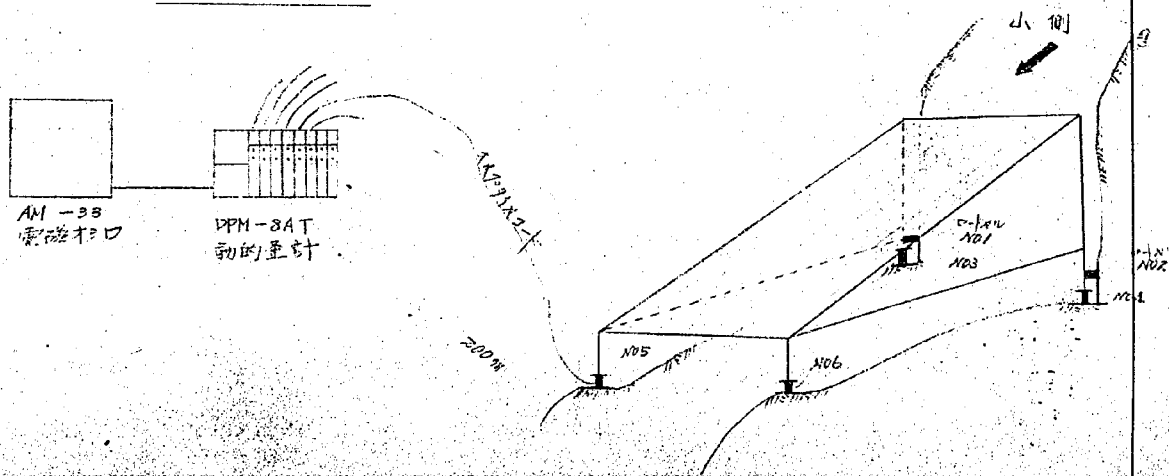
1. 動的(衝撃力)測定

1) 測定年月日 昭和41年2月18日

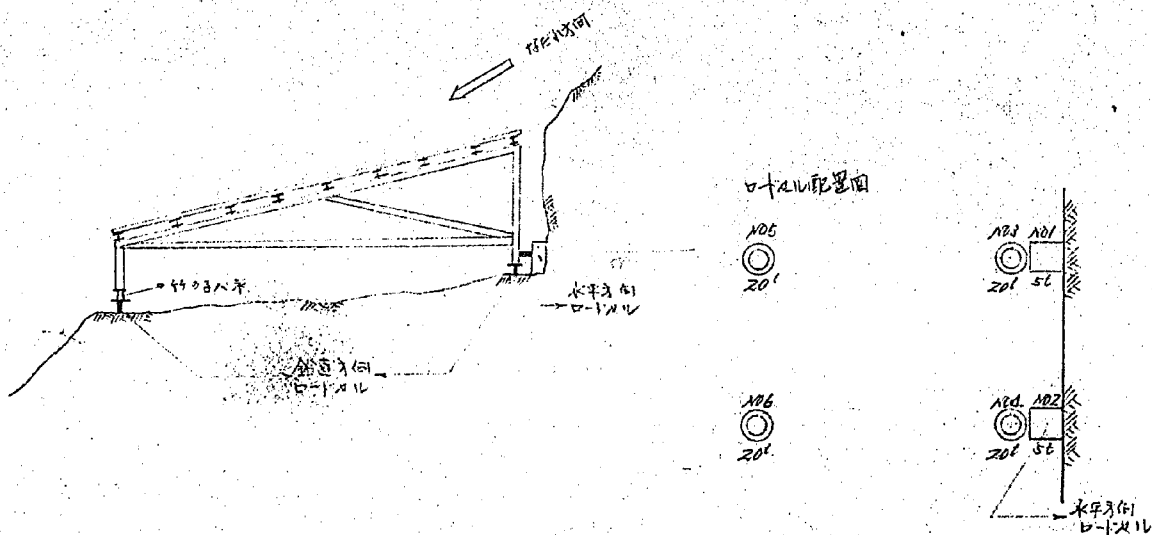
2) 測定方法

揚子江人工砂実験スラットの動的測定は、スラットの各下部角に Zolotar 5ton 圧力セル(荷重計)を斜下方に押しつける方法で電圧的に測定した。

測定器配置図



スラット 概略図



3) 測定結果

(1) 最大荷重

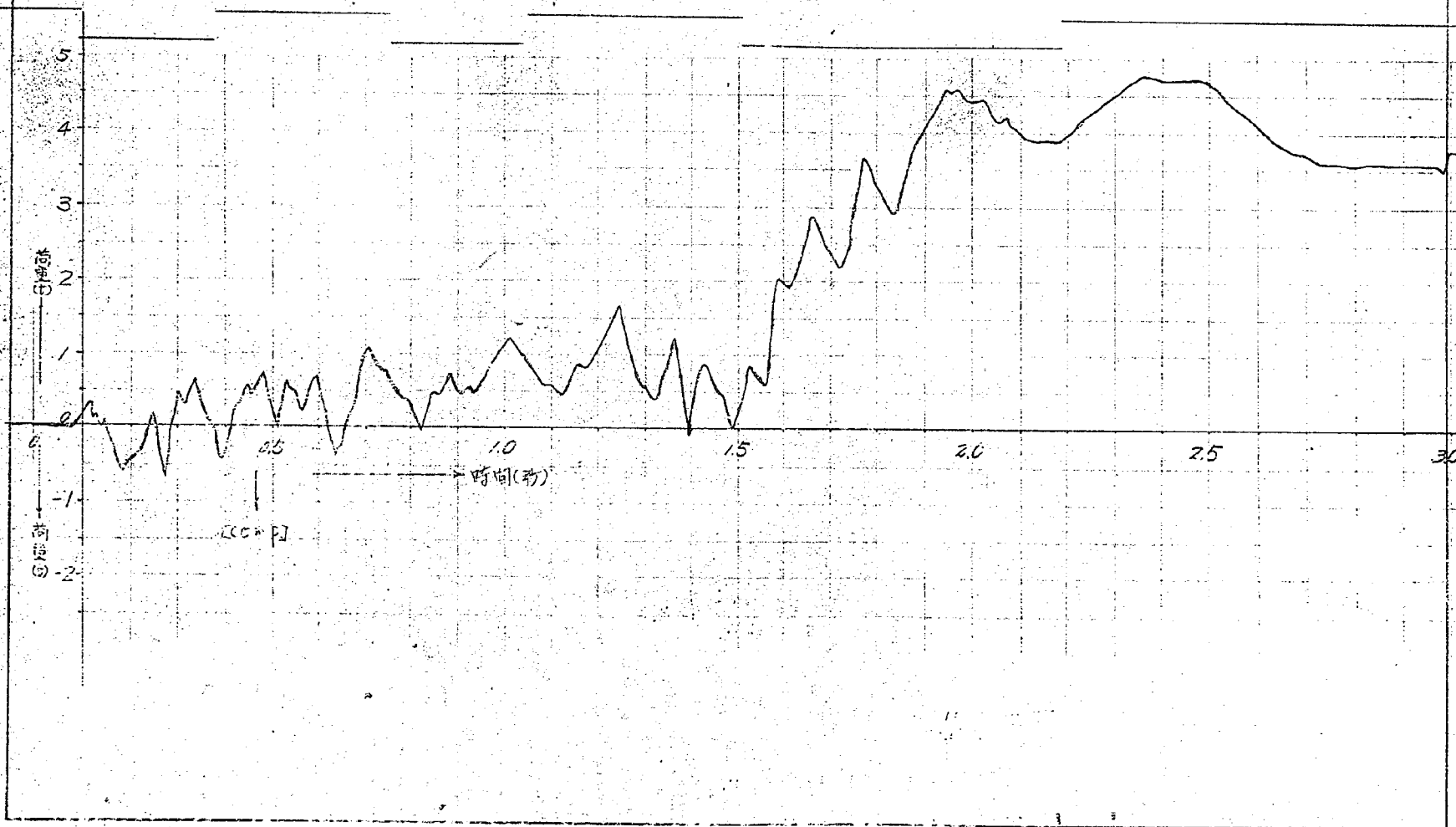
* 荷重が振れ始めの時刻を0とする。

試料NO	計器番号	容量	3000N Coli.	1mm当りの荷重	最大荷重	最大荷重に 達した時間	備考
1	51954	5t	79.8 ^{mm}	0.0626 ^t	0.67 ^t	0.18 ^秒	comp.
					4.79 [°]	2.35 ["]	Tension
2	51955	5 ^t	78.0	0.0641 ^t	1.91 [°]	4.67	comp.
					1.77	1.56	Tension
3	51958	20 ^t	80.5	0.2484 ^t	14.10 ["]	1.63 ["]	comp.
4	51960	20 ^t	86.9	0.2301 ^t	11.22 ["]	1.65 ["]	"
5	51959	20 ^t	81.0	0.2469 ^t	17.17 ["]	1.84 ["]	"
6	51957	20 ^t	81.8	0.2445 ^t	10.08 ["]	1.55 ["]	"

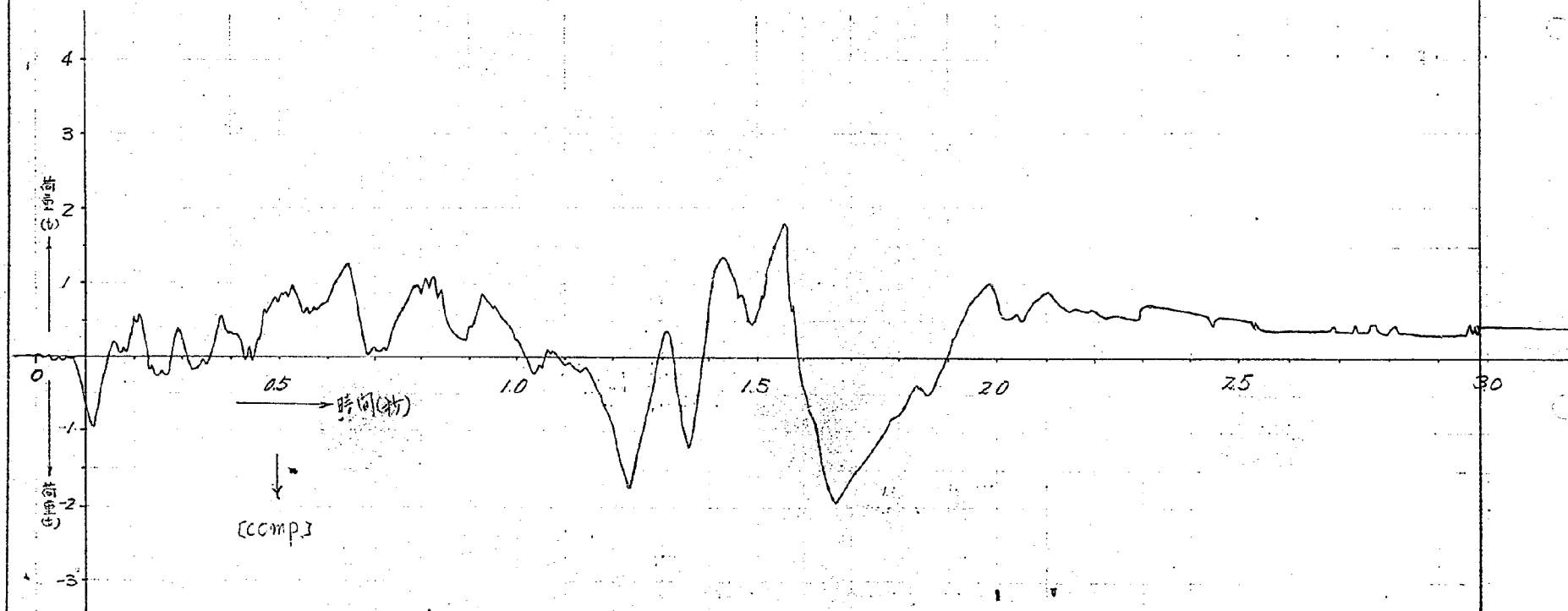
オシログラフペーパーの送り速度: 10cm/sec.

(2) 時間と荷重との関係

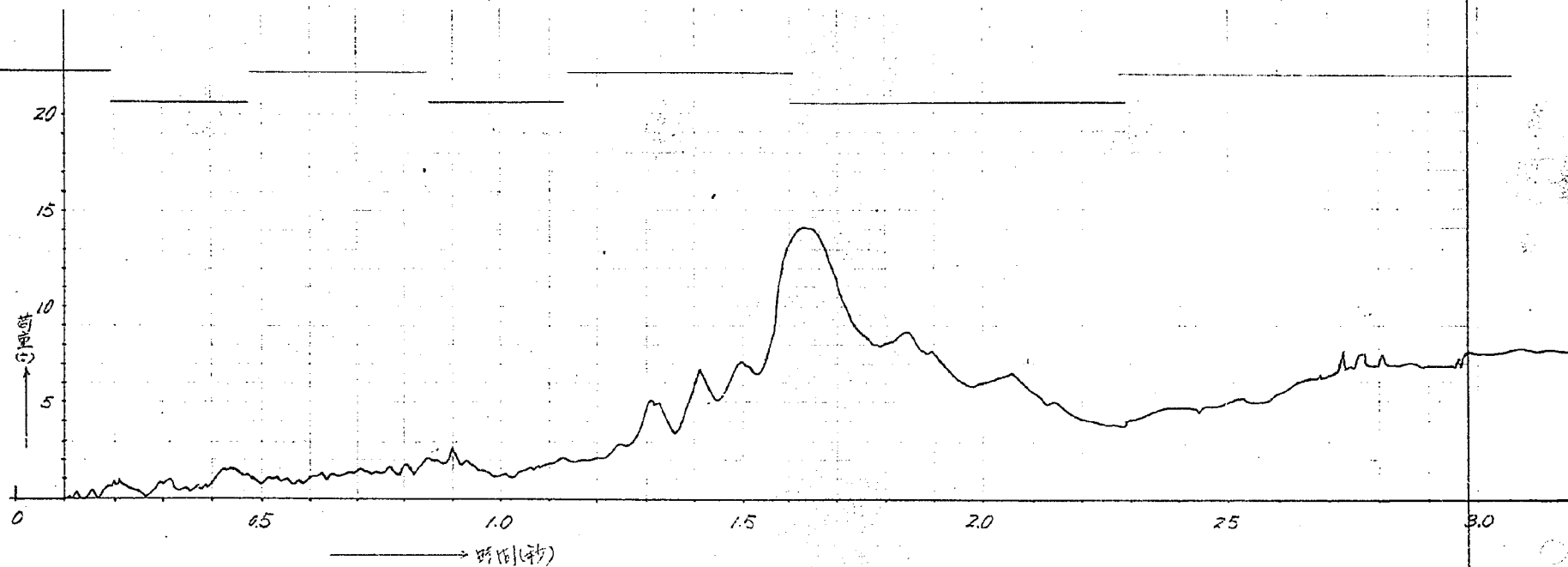
10-11-10.1



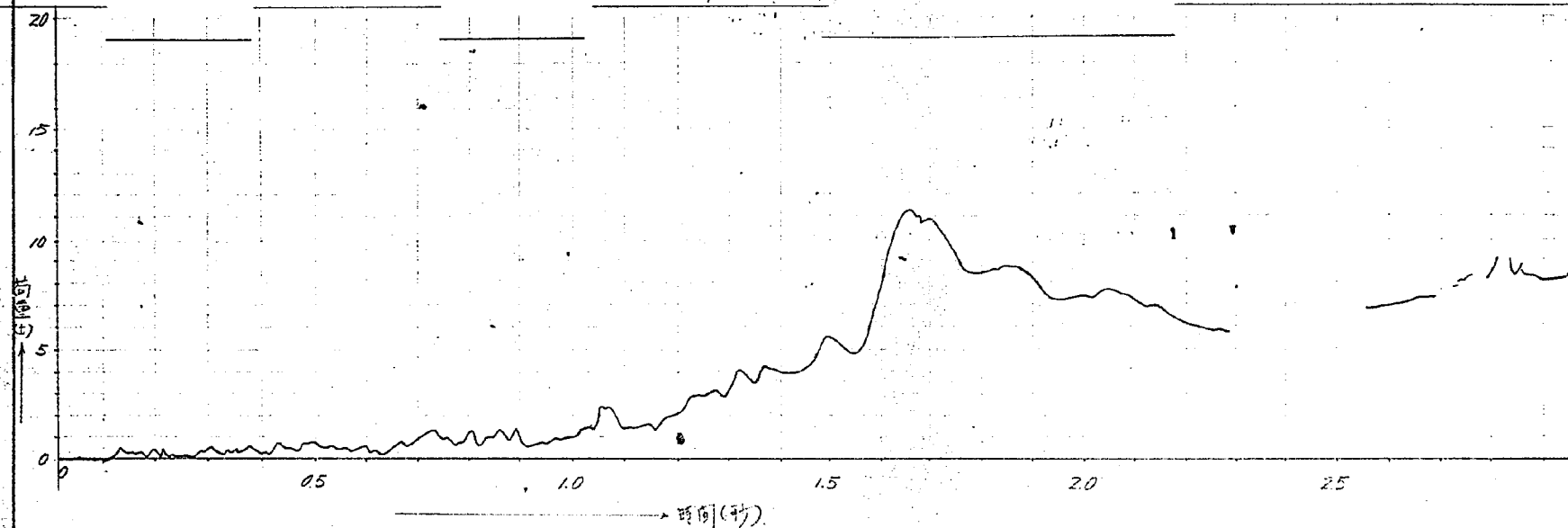
▽-XIL NO 2



NO 3 曲线图



ワタレ NO4



ワ-111 NO 5

20
15
10
5
0

0.5

1.0

1.5

2.0

2.5

→ 時間 (秒)

90N12-A

5
10
15

0.5

1.0

1.5

2.0

2.5

3.0

時間(秒)

4) 考察

- (1) 観測人は、前年同様の実験を行った結果、昭和38年度、昭和39年度に比し、ばね水の速度が非常に早く、スノウエレクトロニクスが流れている時間が短く、ばね水がスノウエレクトロニクスに到達する（ロケット（荷重計）が振れ初めてから）3秒前後でスノウエレクトロニクスに到達している。
- (2) ばね水の最大荷重は、ロケットが振れ初めてから、1.5〜2.0 kgで最大を示している。
- (3) 今年と昨年と比しスノウエレクトロニクスが低く、かつ、自然降雪も少なく、実験後の残留雪もスノウエレクトロニクス上2.00〜2.50 cmあり、残留雪荷重が鉛直ロケットで、6〜10 ton、水平ロケットで、NO1は、3.6 t (tension)、NO2は、2.5 t (tension)を示している。

(4)

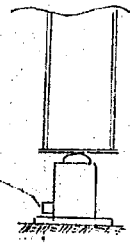
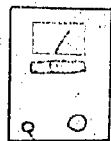
2. 静的荷重測定

1) 測定方法

スノウエレクトロニクス下端部に設けられたロケットにより、スノウエレクトロニクス上に積った雪（静的）も、SM-60AT抵抗線静的歪測定器により、実験前、自然降雪及び実験後のばね水残留雪を測定した。ただし、実験前、スノウエレクトロニクス上の雪を取り除いた時の荷重のみに行った。

測定器配置図

SM-60AT 抵抗線
静的歪測定器



スノウエレクトロニクス

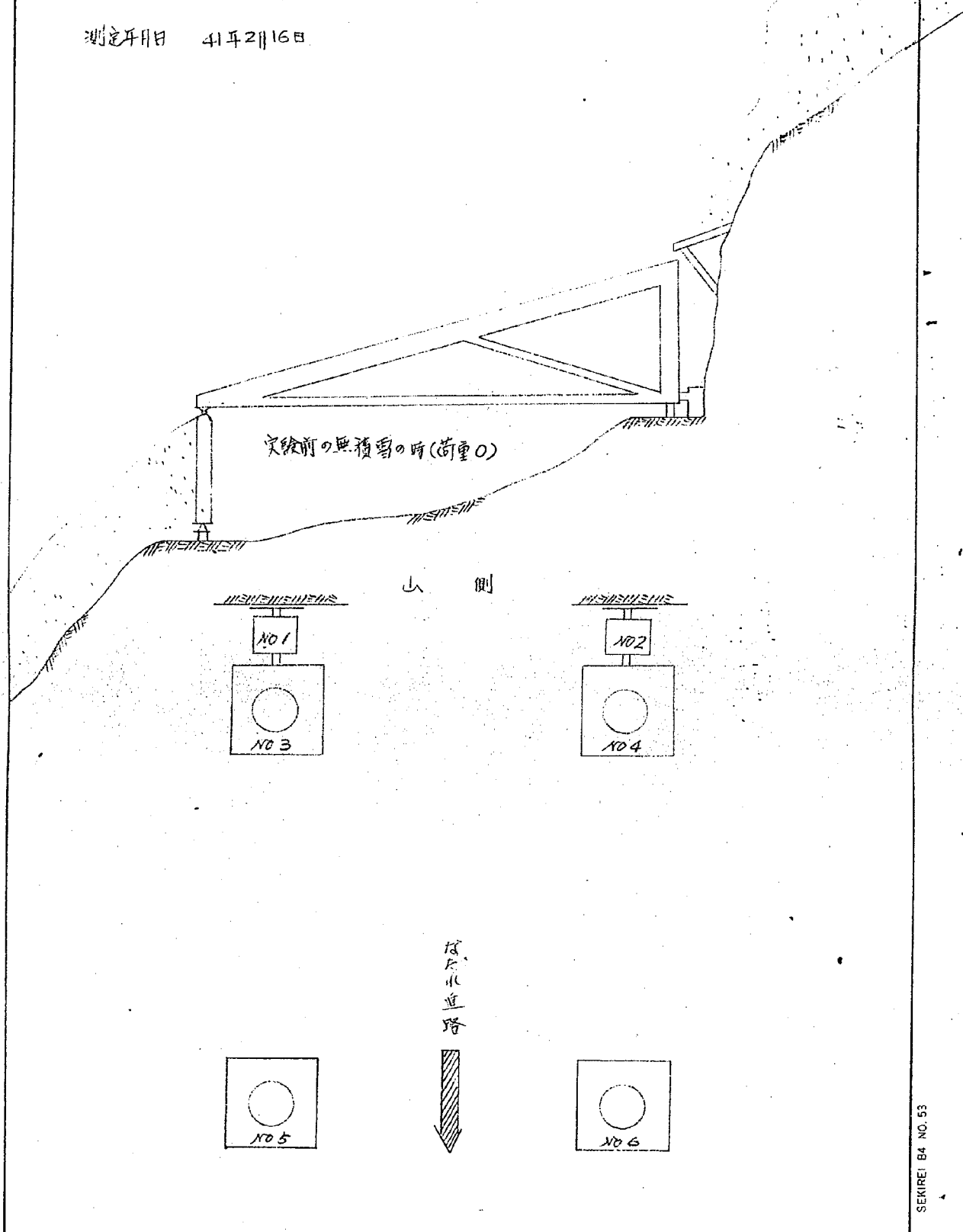
スノウエレクトロニクスコード

約200m

2) 測定結果

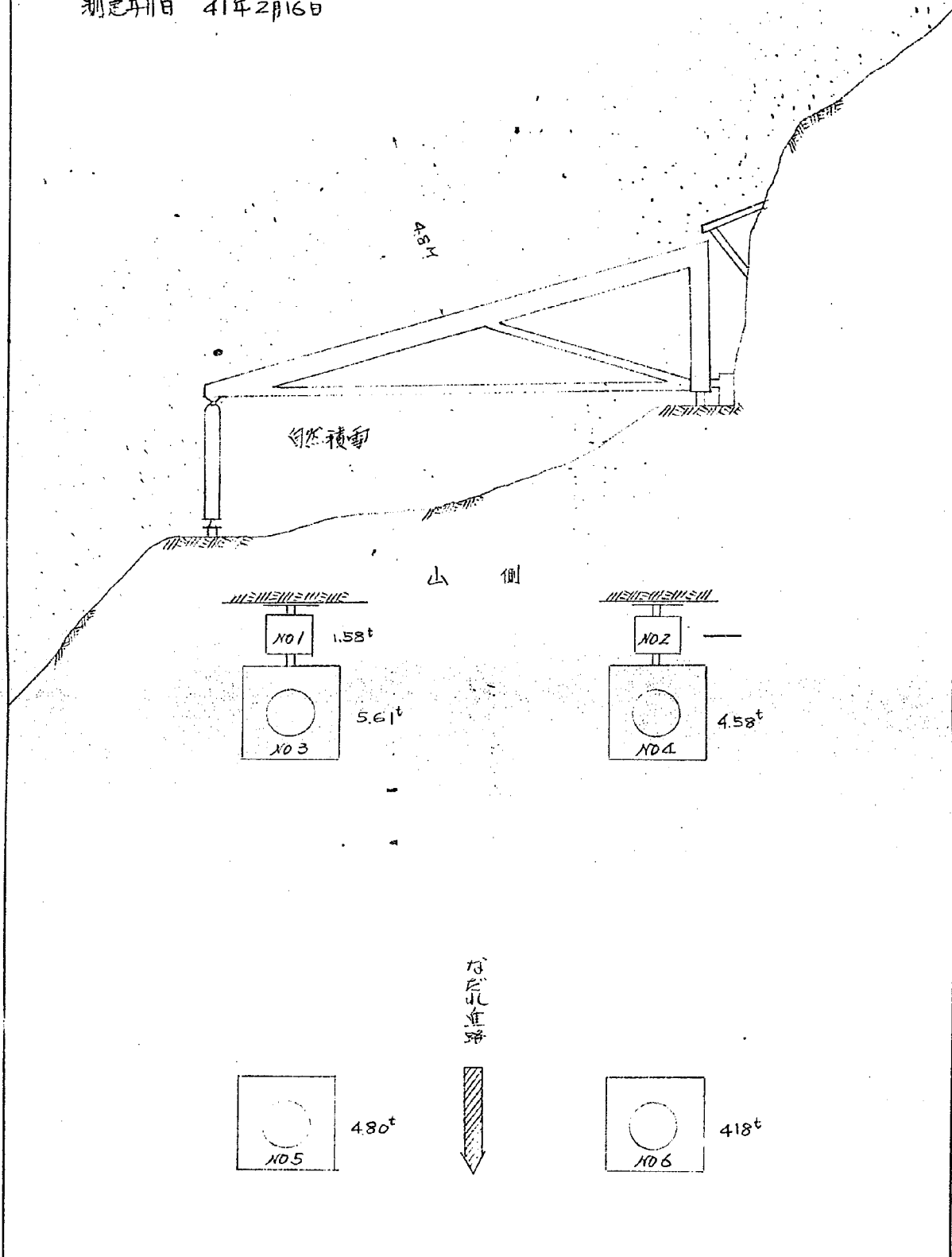
静荷重測定結果 谷崎

測定年月日 41年2月16日



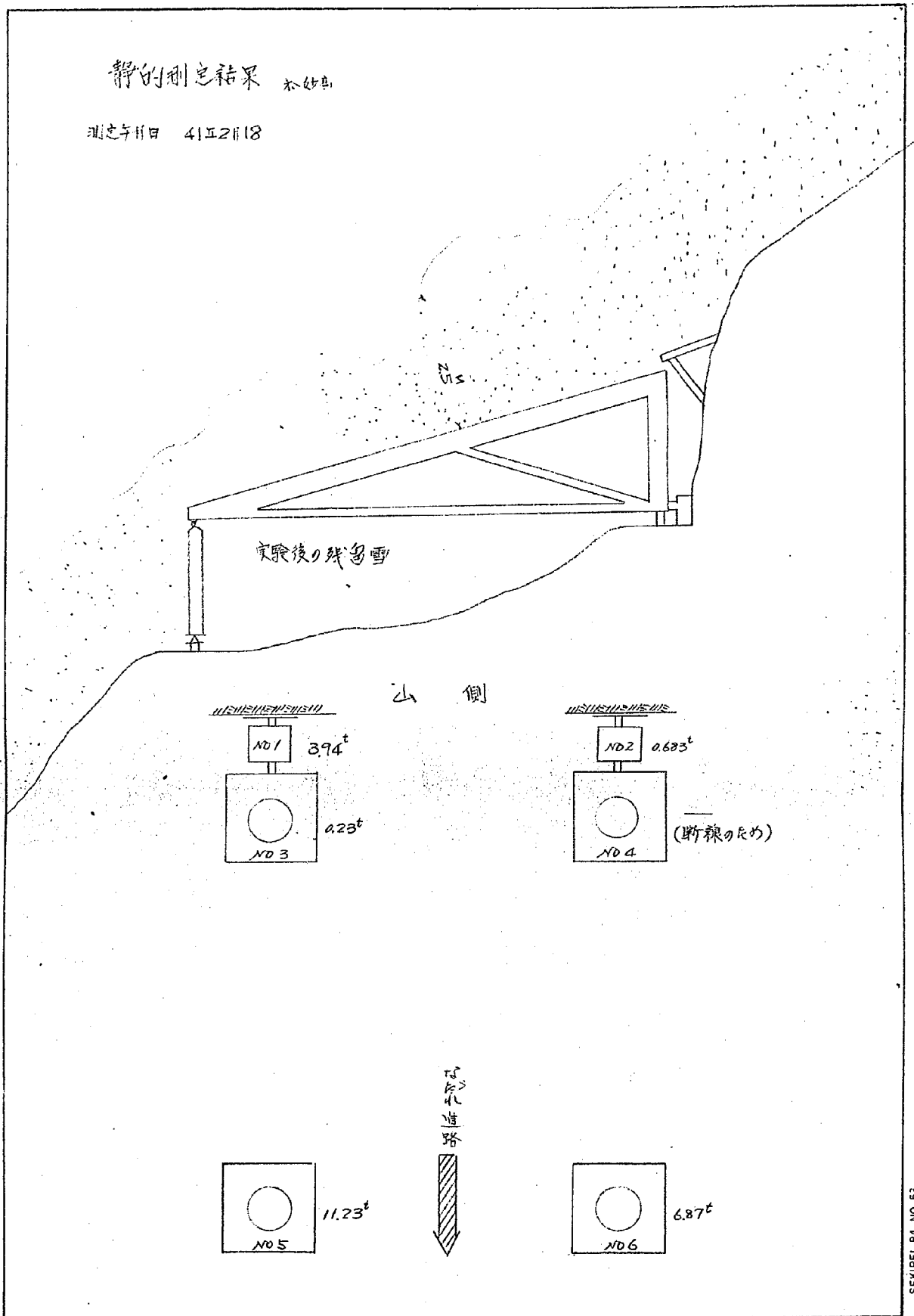
静的測定結果 於妙高

測定年月日 41年2月16日



靜的測定結果 松島島

測定年月日 41.5.26.18



英和電業製荷重計(口板型)試驗成績表

NO.1

LOAD
(TON)



5
4
3
2
1
0

2000

4000

OUTPUT (Strain $\times 10^{-6}$)

NO.2

LOAD
(TON)

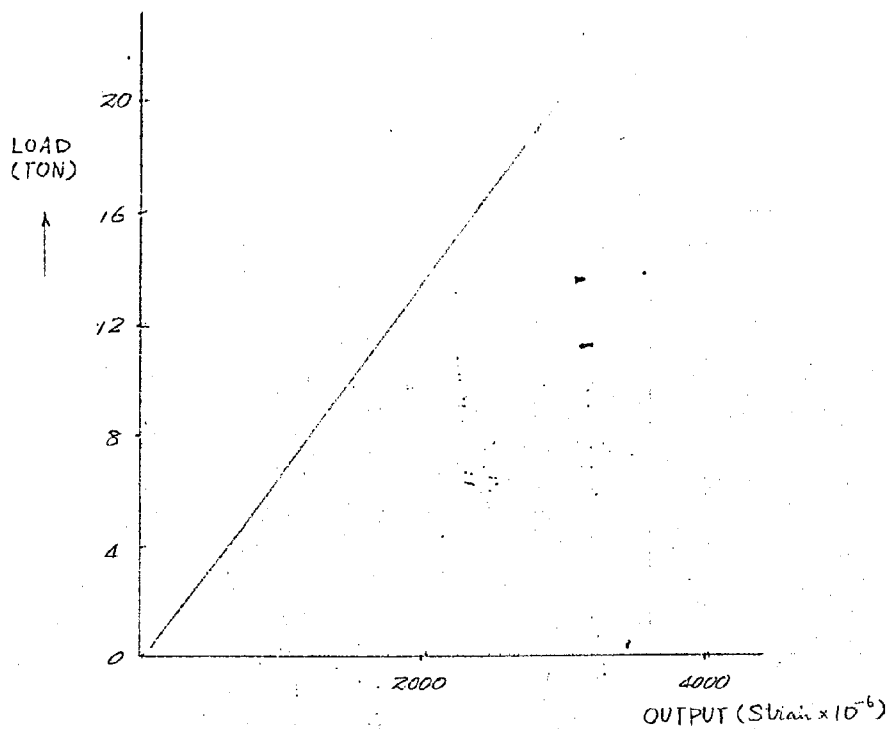
5
4
3
2
1
0

2000

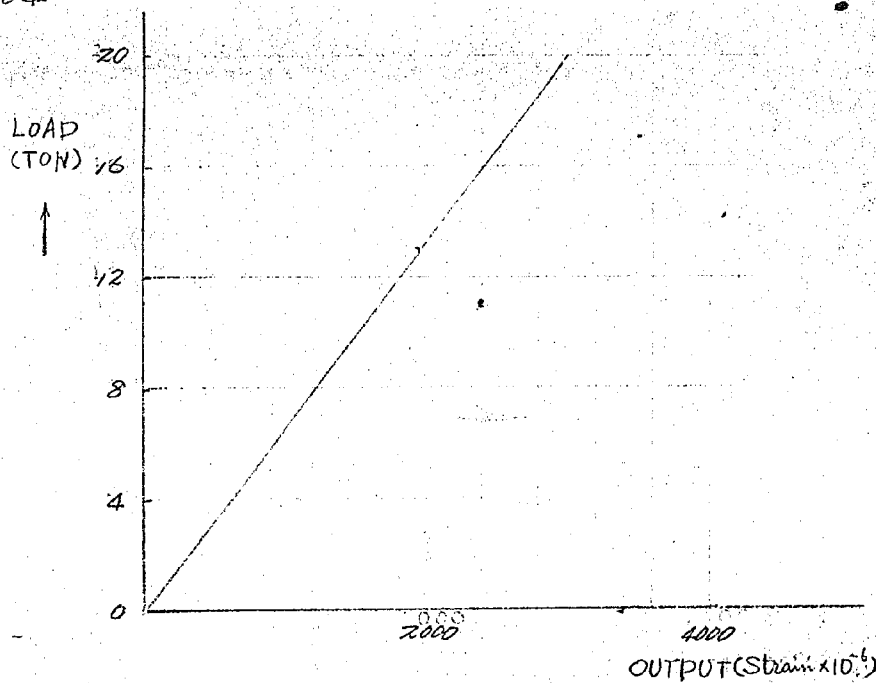
4000

OUTPUT (Strain $\times 10^{-6}$)

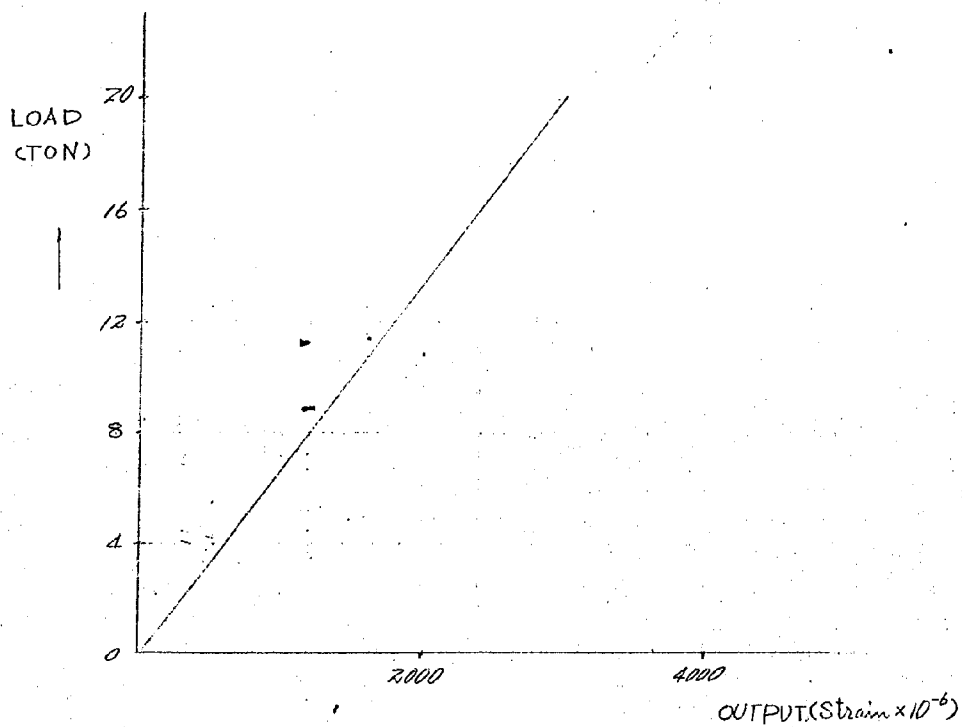
103



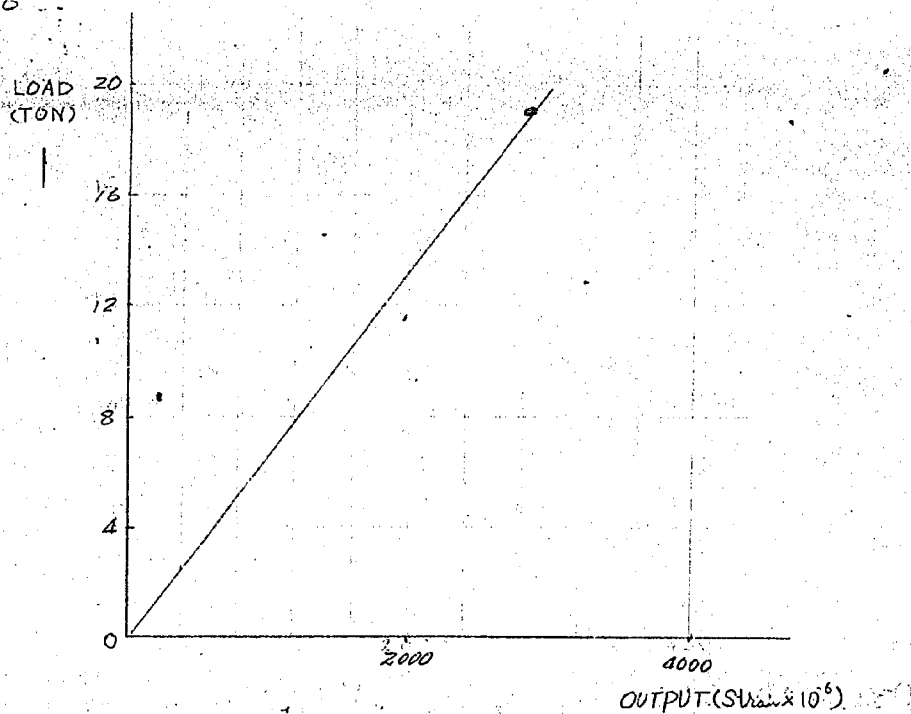
NO4



NO 5



NO 6



参考資料 |

P. 1

経済性に基つたスノウシェットの設計荷重の決め方

Engineering is essentially a means of obtaining desired results with economy.

エンジニアリングは、本質的に、要求する結果を、経済的に得るための手段である。

という H.G. Thuesen の Engineering Economy, Prentice-Hall, Inc, 1953 の冒頭の言葉は、いま、考えようとしているスノウシェットの設計に関しても極めて重要な意味を持っている。

われわれが、なだ水に対する防衛構造物、たとえば、スノウシェットを設計しようとする場合に、まず、当面する問題から考えよう。

① 第一に、スノウシェットに対する設計荷重のとり方である。いま、問題にしている路線上にある地点において、なだ水の発生頻度が比較的高いということが、調査の結果わかったとする。調査の結果わかったのは、得られた過去のデータから、多分、将来もその程度の高い頻度が出現するであろうという推測値である。そのデータが何等かの測度 (measure) で表現され得るものであれば、一般に、それを横軸にとって、縦軸に発生頻度をとって、その確率分布を図示することができ。そうすれば、あらかじめ決めておいた危険率 α percent (信頼

度で表わせば、 $1-\alpha$ percent) に対応する将来出現するであろうと期待されるその最大値を推定することができる。ここまでは、あまり問題がない。

いま、考えているスノウシエドと経済的に設計しようとする場合に、危険率 α percent の決め方について、一考を要する問題がある。従来、経験的に、医学的な問題では、 $\alpha = 1\%$ 、工学的問題では、 $\alpha = 5\%$ 、程度が、一般に適当な値とされていた。たとえば、 $\alpha = 5\%$ がとられた場合、その危険率程度の、その構造物の破壊、破壊の発生はあり得るわけである。

いま、危険率 α percent を、さらに大きくとった場合、その構造物の破壊、破壊の発生頻度は増加して、その補修費、再建費等の期待値は増加する。一方、その危険率 α percent に対応した設計荷重の方は、低下して、その材料費、加工費、組立費等の建設費の期待値は減少する。これらの諸費用の期待値が、一方では、増加し、他方では、減少することは、これらを総合して考えた場合に、その最小費用を示す点、いいかえれば、それに対応した設計荷重値が存在するはずである。

② 第二には、スノウシエドの使用目的の面から考えようとする問題である。スノウシエドは、雪国の冬季交通を確保するための手段であって、なだ水防衛施設としての機能を果して、なだ水管理との関連において考えらるべきものである。それは、

いいかえれば、なだ水管理の重要性を強調して、なだ水防御施設をその運用によって補うという考え方である。

この場合にも、問題にしている路線上のある地点において、前述のようにして、調査から得られたなだ水の発生頻度の確率分布図が得られているとする。一方、冬季間にこの交点を通過する自動車交通量の調査も行い、そのデータに基づいて、一般に、横軸にその測度 (measure) として一定時間内の通過台数をとり、縦軸にその出現頻度をとれば、前述と同様に、その確率分布図を得ることができる。

いま、考えているこの地点に、まだ、スノウシェッドが建設されていないとしよう。この地点の通過交通量である自動車のあり／＼が、なだ水の危険にさらされる路線上の距離を L^m とする。通過する自動車の平均速度を V KPH とし、MPS 単位で表わせば、

$$V^{KPH} \text{ を使用して, } \frac{1,000}{60 \times 60} \times V = \frac{1,000}{3600} \times V = \frac{10}{36} \times V \text{ MPS}$$

である。それゆえ、いま通過する1台の自動車が、なだ水の危険にさらされる時間は、 L を m 単位、 V を KPH 単位として、

$$\frac{L^m}{V^{KPH}} = \frac{L^m}{\frac{10}{36} \times V^{MPS}} = \frac{36}{10} \times \frac{L}{V} \text{ sec} \quad (1)$$

である。それで、前述の通過交通の出現頻度を表わす確率分布図において、その横軸の測度 (measure) を式(1)の $\frac{36}{10} \times \frac{L}{V}$ sec 間内の通過台数とする。この確率分布 $P(x)$ は、多くの場合、

ポアソン分布 (Poisson's distribution) で、表現される。
ポアソン分布は、一般に、その 1 つの母数 (parameter) m で決まり、

$$P(x) = e = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \quad (x = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

で、表わされる。この母数 (parameter) m は、この確率分布の期待値 (expectation)、あるいは、平均 (mean) とその分散 (variance) とが、同一の値を有するものと、考えてよい。いかえれば、この地点における、 $\frac{36}{10} \times \frac{L}{V}$ sec 間内の通過台数の平均とその分散とは、それぞれ、入台であるということである。

一方、もし、このなだれの危険地帯の延長 L の間に、スノウシェッドが建設されなかったならば、なだれが発生した場合に、道路上のそのデブリ (debris) を除雪しなければならぬ。それに要する時間、いかえれば、デブリ (debris) が発生して、交通が阻止されてから、その除雪後、交通が再開されるまでの時間を、 T 時間とする。この T 時間の間に、この地帯に出現する通過交通は、交通を阻止され、停滞する。この停滞時間 T に通過交通量を乗じ、そして、それを、単位時間当りの時間費用に乘ずれば、時間費用で表わされた道路使用者費用の増分が得られる。それに対して、一方、道路費用の増分として、なだれの防御構造物、たとえば、スノウシェッドの費用を計算する。

こ水ラの費用の増加に基づいて、費用便益比を計算して、解析を進める基準とする。

以上の投資基準の計算によって、経済効果の判別を行い、その地質に、スノウシェッドを建設するべきかどうかを決定するのである。

経済性に基づいたスノウシェッドの設計荷重の決め方において問題となるのは、主として、以上の①、②である。その中で、②については、あまり問題がないと思われる。①については、つきに補足的説明をする。

いま、ある道路や夏を有する路線を考える。この路線方向の単位長さ、通常1m、当りのなだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッドの単価を C_s とする。この C_s は、その材料費 C_{s1} と建設費 C_{s2} と維持費 C_{s3} との和である。

すなわち、

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} \quad (3)$$

である。材料費 C_{s1} は、構造物の重量に、線形に比例すると考えてよい。構造物の総重量を W とし、材料によって決まる単位重量当りの価格を K_1 とすれば、

$$C_{s1} = K_1 W \quad (4)$$

である。建設費 C_{s2} も、構造物の重量 W に、線形に比例すると考えてよい。その構造によって決まる単位重量当りの価格

を K_2 とすれば、

$$C_{s2} = K_2 W \quad (5)$$

である。補修費 C_{s3} も、また、構造物の重量 W に、線形に比例すると考えてよい。その材料と構造とによって決まる単位重量当りの価格を K_3 とすれば、

$$C_{s3} = K_3 W \quad (6)$$

である。そこで、式(3)に、式(4)、(5)、(6)を代入すれば、

$$\begin{aligned} C_s &= K_1 W + K_2 W + K_3 W \\ &= (K_1 + K_2 + K_3) W \\ &= K_A W \end{aligned} \quad (7)$$

となる。すなわち、構造物の総重量 W を小さくすれば、するほど、いいかえれば、軽量にすればするほど、経済的であることは、明らかである。

いま、構造物の使用限界を決めて、それに対応して構造物に発生することが予想される応力 σ_c として、単純曲げの場合、すなわち、最大曲げモーメント M が作用する場合について考えれば、 Z を断面係数として、

$$\sigma_c = \frac{M}{Z} \quad (8)$$

である。式(8)をいいかえれば、構造物に発生することが予想される応力 σ_c kg/cm^2 は、その断面積 $A \text{ cm}^2$ に反比例するということができる。すなわち

$$\sigma_c \propto \frac{1}{A} \quad (9)$$

である。これを、その構造物の耐荷力、あるいは、強度の面から見れば、構造物の強度 σ kg/cm^2 は、発生が予想される応力 σ_c kg/cm^2 に反比例するといふことができる。すなわち、

$$\sigma \propto \frac{1}{\sigma_c} \quad (10)$$

したがって、式(9)と式(10)とから、

$$\sigma \propto A \quad (11)$$

が得られる。これは、構造物の強度 σ は、その断面積 A に比例することを意味する。いま、単位長さ L を考えると、式(11)は、

$$\sigma \propto L^2 \quad (12)$$

となる。一方、密度を一定にした場合、一般に、重量 W は、 L^3 に比例する。すなわち、

$$W \propto L^3 \quad (13)$$

であり、これを、 W と L とを交換した形で表わせば、

$$L \propto W^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

となる。したがって、式(12)と式(14)との関係から、

$$\sigma \propto W^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

が得られる。この W は、構造物の総重量と考えてもよい。それゆえ、構造物の強度 σ は、その総重量 W の $\frac{2}{3}$ 乗、すなわち、 $W^{\frac{2}{3}}$ に比例するといふことができる。いま、その構造、断面形状、および、材質によって定まる比例定数を K_B とすれば、

$$\sigma = K_B W^{\frac{2}{3}} \quad (16)$$

と表わせる。

いま、路線上のなだ水の危険地点において、発生したなだ水によるなだ水の衝撃力荷重の大きさを σ とする。

いま、少し、一般論に基づいて、考えてみよう。

1次元1確率変数 X のみの場合に、無限区間 $(-\infty, \infty)$ において、 $X \in (-\infty, x]$ 、または、 $-\infty < X \leq x$ とする確率を考える。これを、次のようにおく

$$\Pr\{X \in (-\infty, x]\} = \Pr\{-\infty < X \leq x\} = F(x) \quad (17)$$

$F(x)$ は、 x の関数であって、確率変数 X の確率分布、または、累積分布関数、略して、分布関数である。この分布関数には、次のような諸性質がある。

$$\begin{aligned} 0 \leq \Pr\{a < X \leq b\} &= \Pr\{-\infty < X \leq b\} - \Pr\{-\infty < X \leq a\} \\ &= F(b) - F(a) \end{aligned} \quad (18)$$

いま、 $a < b$ ならば、式(18)から

$$F(b) \geq F(a) \quad (19)$$

となり、 $F(x)$ は、単調増加関数である。

また、

$$\Pr\{-\infty < X < +\infty\} = 1 \quad (20)$$

である。

次に、この分布関数が、連続で、微分可能であるとき、その

導関数を $f(x)$ で表わし、これが、確率密度関数である。すなわち、

$$\frac{dF(x)}{dx} = f(x) \quad (21)$$

であって、さらに、

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (22)$$

である。したがって、式(18)と式(22)とによって、

$$\begin{aligned} \Pr\{a < X \leq b\} &= \Pr\{-\infty < X \leq b\} - \Pr\{-\infty < X \leq a\} \\ &= \int_a^b f(x) dx \\ &= \int_{-\infty}^b f(x) dx - \int_{-\infty}^a f(x) dx \\ &= F(b) - F(a) \end{aligned} \quad (23)$$

とも、表わすことができる。

以上の一般論に基づいた考察から、ここで、本論にもどる。

前述のように、 n 回の衝撃力荷重の大きさを $X=L$ とする。

そして、その単位期間におけるその大きさ L の確率密度関数を $f(L)$ とする。そうすれば、その単位期間に、計画設計荷重の最大値 L_{max} 、または、それ以上のものが、しかも、ただ1回だけ出現する確率は、前述の式(23)、さらに、式(20)を参照して、

$$\begin{aligned} \Pr\{L_{max} < X < +\infty\} &= \Pr\{-\infty < X < +\infty\} - \Pr\{-\infty < X \leq L_{max}\} \\ &= \int_{L_{max}}^{+\infty} f(L) dL \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(L) dL - \int_{-\infty}^{L_{max}} f(L) dL \\ &= 1 - F(L_{max}) \end{aligned}$$

$$= F_2(L_{max}) \quad (24)$$

$$= \alpha$$

と書くことができる。

次に、なだ水防御構造物の使用期間を T とし、 T の間に、 L_{max} または、それ以上のものが 1 回も出現しない確率 $P_{r.o.}$ は、確率 $\beta = 1 - \alpha$ の事象の T 回の繰り返し試行と考えられるから、

$$P_{r.o.} = \beta^T = (1 - \alpha)^T \quad (25)$$

として、表わすことができる。ここで、 α は、一種の危険率を表わすものであり、一方、 $P_{r.o.}$ は、一種の信頼性を表わすものである。

いま、なだ水防御構造物、たとえば、スノウシェッド等を計画設計するに当って、その設計荷重の大きさを極めて大きくすれば、それが破損、破壊する危険率は、極めて小さくなる。しかしながら、それは、前述の式(3)で検討したように、その建設費が高め、経済的な方法ではない。そこで、総合的に、より経済的な方法を追求するために、次のような検討を進めてみる。基本的な方針としては、次のような考え方に基いている。スノウシェッド等の使用目的を考え、その使用期間と使用箇所に応じた設計荷重を採用して、ある危険率で出現するかもしれないそれ以上に大きい荷重に対しては、なだ水管理方式によって、通過交通の安全を確保するというのである。

スノウシェッド等を新設するための単価 C_s は、前述のとおり、式(7)で表わされる。さらに、破損、あるいは、破壊した場合に、補修、あるいは、再建するための単価 C_r も、前述の新設の場合と同様の考察を進める。そうすれば、その単価 C_r も、また、その重量 W に線形に比例する、と考えてよいことがわかる。

すなわち、

$$C_r = K_c W \quad (26)$$

として、表わすことができる。

スノウシェッドが、破損、あるいは、破壊した場合の損失を考える。その損失には、もちろん、前述の補修再建費、あるいは、新設費がはいる。そして、最も重要なことは、これらの $C_s + C_r$ 以外の損失も、考慮すべきであるということである。その具体的な検討は、別項においてするとして、この損失は、また、支出費用の増加という形で表わされるものである。これを、 C_t で表わす。

いま、スノウシェッドの使用期間を、単位期間の T 倍とする。そうすれば、期間 T において、スノウシェッドが破損、あるいは、破壊するために生ずる損失、いかえれば、支出費用の増加の期待度数は、次のようになる。前述の式(24)のように、単位期間に、計画設計荷重の最大値 L_{max} 、または、それ以上のものが、しかも、ただ一回だけ出現する確率が α であるから、その期待度

数は、 $T\alpha$ となる。したがって、以上の考察を総合して、全費用 C の期待値 $E(C)$ は、

$$\begin{aligned} E(C) &= C_s + (C_r + C_t) T\alpha \\ &= K_A W + (K_c W + C_t) T\alpha \end{aligned} \quad (27)$$

と表わすことができる。

いま、スノウシェッドの耐荷力、いかにせよ、その強度の $\frac{1}{100}$ をより大きく期待すると、そのとき、計画設計荷重の最大値 L_{max} を大きくとれるから、前述の式(24)によって、 α が小さくなる。しかしながら、一方では、前述の式(15)、または、式(16)によって、 W が大きくなる。したがって、式(27)において、 W が増加すると、その第1項は、線形的に、増大する。その第2項は、 C_t の大きさが、相対的に大きいと、減少する。それゆえに、それらの和が最小になるような総重量 W が存在するはずである。これが、経済的重量 W_e である。

その経済的重量 W_e は、次の条件、

$$\frac{d[E(C)]}{dW} = 0 \quad (28)$$

を満足するものである。式(27)によって、書き換えて、

$$\frac{d}{dW} \{ C_s + (C_r + C_t) T\alpha \} = 0 \quad (29)$$

より、

$$\frac{d}{dW} \{ K_A W + (K_c W + C_t) T\alpha \} = 0 \quad (30)$$

とする。式(30)において、 α が W の関数であることを注意して微分演算をすると、

$$K_A + K_C T \alpha + (K_C W + C_t) T \frac{d\alpha}{dW} = 0 \quad (31)$$

となる。

ここで、前出の式(16)を再記すると、

$$\sigma = K_B W^{\frac{2}{3}} \quad \text{前出 (16)}$$

である。いま、なだ水に対するスノウシェードを設計するに際して、その計画設計荷重の最大値 L_{max} ^{kg/m} と、構造物の強度 σ ^{kg/cm²} と等しいと考える。なぜならば、危険率、いっか之れは、信頼度を考慮しているので、通常の安全係数 S は、すでに見込んであると考えてよいからである。したがって、

$$L_{max} = \sigma = K_B W^{\frac{2}{3}} \quad (32)$$

としてよい。これを W の陽関数として表わせば、

$$W = \left(\frac{L_{max}}{K_B} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (33)$$

となる。また、前出の式(24)によって、

$$\alpha = F_2(L_{max}) \quad \text{前出 (24)}$$

であるから、式(32)を使って

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha}{dW} &= \frac{dF_2(L_{max})}{dL_{max}} \cdot \frac{dL_{max}}{dW} \\ &= \frac{d\{1 - F_1(L_{max})\}}{dL_{max}} \cdot \frac{dK_B W^{\frac{2}{3}}}{dW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -f_1(L_{\max}) \times \frac{2}{3} K_B W^{\frac{3}{2}-1} \\
 &= -f_1(L_{\max}) \times \frac{2}{3} K_B W^{-\frac{1}{2}} \quad (34)
 \end{aligned}$$

となる。そこで、式(31)に、前出の式(24)と式(33)と式(34)とを代入すると、

$$\begin{aligned}
 &K_A + K_c T F_2(L_{\max}) + \left\{ K_c \left(\frac{L_{\max}}{K_B} \right)^{\frac{3}{2}} + C_t \right\} T \left\{ -f_1(L_{\max}) \right. \\
 &\quad \times \frac{2}{3} K_B \left(\frac{L_{\max}}{K_B} \right)^{-\frac{1}{2}} \Big\} = 0 \quad (35)
 \end{aligned}$$

となる。これを、整理すると、

$$\begin{aligned}
 &K_A + K_c T F_2(L_{\max}) - \frac{2}{3} K_B K_c T \left(\frac{L_{\max}}{K_B} \right) f_1(L_{\max}) \\
 &\quad - \frac{2}{3} K_B C_t T \left(\frac{L_{\max}}{K_B} \right)^{-\frac{1}{2}} f_1(L_{\max}) = 0 \quad (36)
 \end{aligned}$$

となる。さらに、両辺各項を、 $K_c T \neq 0$ で除くと、

$$\begin{aligned}
 &\frac{K_A}{K_c T} + F_2(L_{\max}) - \frac{2}{3} L_{\max} f_1(L_{\max}) \\
 &\quad - \frac{2}{3} \frac{K_B^{\frac{1}{2}} C_t}{K_c} (L_{\max})^{-\frac{1}{2}} f_1(L_{\max}) = 0 \quad (37)
 \end{aligned}$$

と、

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{K_A}{K_c T} &\equiv p, \\
 \frac{K_B^{\frac{1}{2}} C_t}{K_c} &\equiv q
 \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

とおくと、式(38)は、

$$\begin{aligned}
 &p + F_2(L_{\max}) - \frac{2}{3} L_{\max} f_1(L_{\max}) \\
 &\quad - \frac{2}{3} q (L_{\max})^{-\frac{1}{2}} f_1(L_{\max}) = 0 \quad (39)
 \end{aligned}$$

と書き換えられる。

式(39)を、確率変数 L_{max} について解くためには、その諸関数 $F_2(L_{max})$ と $f_1(L_{max})$ の関数形を決定しなければならない。
 なにしろ衝撃力荷重の確率密度関数形を、または、累積分布関数形を、まず、指数分布と仮定してみよう。

一般的に、指数分布は、その確率変数 X が、連続変数 $x(0, \infty)$ をとるとき、その確率密度関数 $f(x)$ は、

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (40)$$

で表わされる。なお、平均値、または、期待値 $E(X)$ は、

$$\begin{aligned} E(X) &= \int_0^{\infty} x \lambda e^{-\lambda x} dx = \lambda \int_0^{\infty} x e^{-\lambda x} dx \\ &= \frac{1}{\lambda} \end{aligned} \quad (41)$$

さらに、

$$\begin{aligned} E(X^2) &= \int_0^{\infty} x^2 \lambda e^{-\lambda x} dx = \lambda \int_0^{\infty} x^2 e^{-\lambda x} dx \\ &= \frac{2}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (42)$$

であるから、分散 $V(X)$ は、

$$\begin{aligned} V(X) &= E(X^2) - E^2(X) = \frac{2}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda^2} \\ &= \frac{1}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (43)$$

である。

そして、その累積分布関数 $F(x)$ は、

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = \lambda \int_0^x e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x} \quad (44)$$

である。

前出の式(24)の関係から、前出の式(39)の中の、 $f_1(L_{max})$ は、確率密度関数 $f(x)$ に等しく、さらに、 $F_2(L_{max}) = 1 - F_1(L_{max})$ の $F_1(L_{max})$ は、累積分布関数 $F(x)$ に等しいと考えることができる。したがって、

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad \text{前出(41)}$$

として、

$$f_1(L_{max}) = \lambda e^{-\lambda L_{max}} \quad (45)$$

$$\begin{aligned} F_2(L_{max}) &= 1 - F_1(L_{max}) \\ &= 1 - (1 - e^{-\lambda L_{max}}) \\ &= 1 - 1 + e^{-\lambda L_{max}} \\ &= e^{-\lambda L_{max}} \end{aligned} \quad (46)$$

と表わすことができる。

前出の式(39)に、式(45)と式(46)とを代入すると、

$$\begin{aligned} p + e^{-\lambda L_{max}} - \frac{2}{3} L_{max} \lambda e^{-\lambda L_{max}} - \frac{2}{3} g(L_{max})^{-\frac{1}{2}} \\ \times \lambda e^{-\lambda L_{max}} = 0 \end{aligned} \quad (47)$$

超越関数方程式(47)は、1箇の変数 L_{max} のみを含み、その

L_{max} について解くために、

$$\left. \begin{aligned} p + e^{-\lambda L_{max}} &\equiv y_1, \\ \frac{2}{3} L_{max} \lambda e^{-\lambda L_{max}} + \frac{2}{3} g(L_{max})^{-\frac{1}{2}} \lambda e^{-\lambda L_{max}} &\equiv y_2 \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

とおけば、式(47)は、

$$y_1(L_{max}) + y_2(L_{max}) = 0 \quad (49)$$

となる。いま、 $L_{\max}-y$ 平面を考え、曲線 $y_1(L_{\max})$ と曲線 $y_2(L_{\max})$ との交点の座標は、式(49)を満足するので、その解である。

式(47)には、パラメーター入、 p, q を含んでいる。

したがって、 $L_{\max}$ の値は、これらのパラメーターの値に影響される。この内、 p と q について、通常、その値を考えてみよう。

前出の式(38)において、 p については、通常、

$$\left. \begin{array}{l} K_A \geq K_C, \\ T \geq 1 \end{array} \right\} \quad (50)$$

であるから、 p の値は

$$1 \geq p > 0 \quad (51)$$

の範囲である。さらに、 q については、通常、

$$K_B \geq 1 \quad (52)$$

であるから、

$$K_B^{\frac{3}{2}} \geq 1 \quad (53)$$

である。しかも、ほとんど1に近い値をとる。さらに、

K_C と C_t とについては、通常、

$$C_t \gg K_C \quad (54)$$

と考えられる。したがって、 q の値は、

$$q \gg 1 \quad (55)$$

の範囲である。

参考資料 2

P. 1

経済性に基づいたスノウシェットの最適建設箇所数を決定するための基本的方法。

雪国^ニなだ水^ノの危険地域を通過する路線において、なだ水^ノの防御施設としてスノウシェット^ヲ建設を考へるとする。いま、雪国^ノの地災Aと地災Bとを連絡する路線を考へる。その路線上には、なだ水^ノの危険地災が、1, 2, 3, -----, m 箇所存在することが、現在までの調査でわかっているとする。いま、その m 箇所^ノなだ水^ノの危険地災において、どう1箇所においてても、なだ水が発生することあれば、そのために交通障害による損失とその推積した雪^ノ除雪に要する費用の支出(損失)が生ずる。いかに水は、その路線上において、1箇所でもなだ水が発生すれば、その路線の交通機能は、ある時間は停止するわけである。この場合に、もしスノウシェットが建設してあれば、その交通機能が停止する確率は、それを減らすわけである。しかしながら、一方、スノウシェットを建設することは、その建設費を要することになる。すなわち、スノウシェットの建設箇所数 n が増加すれば、その路線の交通機能が停止する確率 P は減少する。その代りに、一方、スノウシェットの建設費用が増加する。この水^ラの両者を総合的に考えた場合に、その全損失が最小になるような最小のスノウシェットの建設箇所数 n が存在するはずである。その n を求めること

ができれば、その n が求めようとしている経済性に基いたスノウシェッドの最適建設箇所数 n_{opt} である。

いま、一般的に、その路線上のなだ水の危険地災 $1, 2, 3, \dots, m$ について考える。そしてそれぞれのなだ水の発生の確率を、 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$ とする。これは、いかえれば、その箇所 n のそれぞれの交通機能が停止する確率である。これをその危険率とするのは、

$$P_m \equiv 1 - Y_m \quad (1)$$

で、その信頼性 Y_m と定義することができる。

いま、 $m=2$ の場合について考えてみよう。

なだ水の発生の危険性が予想される地災 1 と地災 2 とにおいて、なだ水の発生の確率をそれぞれ P_1 と P_2 とする。地災 1 について考える場合と事象 A 、地災 2 について考える場合と事象 B とする。事象 A と事象 B とについて、 A か、 B か、または A と B との両方が起こる場合の確率は、合併の事象の確率 $P(A \cup B)$ である。集合論のベン図式表示(Venn diagram)によって表現すれば、

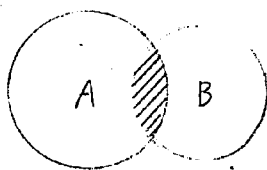


図 - 1.

図-1の2つの円、輪郭内が $Pr(A \cup B)$ を表わすものである。
斜線の部分は、 $Pr(A \cap B)$ 、すなわち、 A と B のともに起る
積の事象の確率である。確率の加法定理によつて、

$$\begin{aligned} Pr(A \cup B) &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A \cap B) \\ &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A)Pr(B|A) \\ &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A|B)Pr(B) \end{aligned} \quad (2)$$

である。

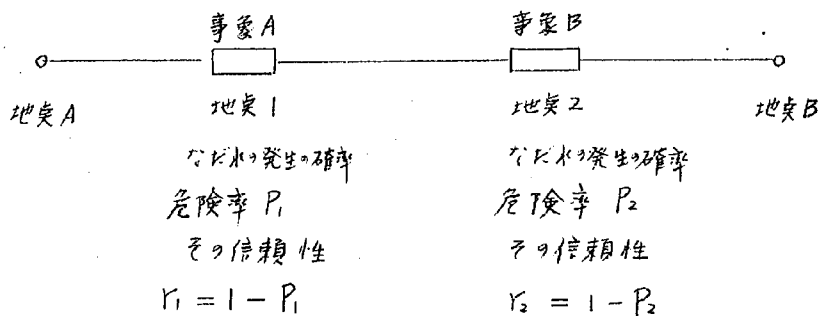


図 - 2

図-2において、地災1と地災2とを合わせて考え、
事象Aか、事象Bか、または事象AとBとの両方か起る合併
の事象の確率 $Pr(A \cup B)$ は、確率の加法定理によつて、前出の
式(2)のようになり、

$$\begin{aligned} Pr(A \cup B) &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A \cap B) \\ &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A)Pr(B|A) \\ &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A|B)Pr(B) \end{aligned} \quad \text{前出(2)}$$

である。地震1と地震2とが十分分離れているとすれば、いずれ水が一方におけるなだ水の発生は、他方におけるなだ水の発生を誘発するものとは考えられない。いいかえるならば、事象Aと事象Bとは、たがいに、無関係であって、事象Aと事象Bとは、たがいに、独立であるといえる。その場合には、

$$\left. \begin{aligned} Pr(A|B) &= Pr(A) \\ Pr(B|A) &= Pr(B) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

となるので、式(3)を式(2)に代入すれば、右辺の第3項は、確率の乗法定理を表わし、

$$\begin{aligned} Pr(A \cup B) &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A \cap B) \\ &= Pr(A) + Pr(B) - Pr(A)Pr(B) \end{aligned} \quad (4)$$

となる。そこで、式(4)に、前出の図-2の記号を代入すれば、

$$Pr(A \cup B) = P_1 + P_2 - P_1 P_2 \quad (5)$$

となる。これは、いいかえるならば、この路線AB上において、交通機能が停止することの危険率 α を表わしているものである。したがって、この路線AB上において、交通機能が停止しないということの信頼性Rは、

$$\begin{aligned} R &= 1 - Pr(A \cup B) \\ &= 1 - (P_1 + P_2 - P_1 P_2) \\ &= 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \end{aligned} \quad (6)$$

と表わすことができる。次に前出の図-2に示したように、地災1と地災2とのそれぞれの信頼性 r_1 と r_2 とを考へる。

それぞれの地災において、交通機能が停止しないというものの信頼性が成り立って、始めて、この路線AB上において交通機能が停止しないという信頼性が成り立つわけである。それは、それぞれの信頼性 r_1 と r_2 とが、独立事象であって、それは、また、確率を示すものであるから、この路線の信頼性 R は、積の事象の確率 $Pr(A \cap B)$ で表わされる。そして、さらに、それは、確率の乗法定理によって、

$$\begin{aligned} R &= Pr(A \cap B) = Pr(A) Pr(B) \\ &= r_1 r_2 \end{aligned} \quad (7)$$

と表わすことができる。

なお、前出の図-2において示したことから、それぞれの地災の危険率 p_1 と p_2 とは、

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= 1 - r_1 \\ p_2 &= 1 - r_2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

と表わすこともできる。したがって、この路線上において交通機能が停止するというものの危険率 P は、

$$P = 1 - R \quad (9)$$

で表わされる。式(9)に、前出の式(7)と式(8)とを代入すれば、

$$\begin{aligned}
 P &= 1 - R \\
 &= 1 - r_1 r_2 \\
 &= 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \quad (10)
 \end{aligned}$$

となる。これは、前出の式(6)に外ならない。

ここで、さらに、一般的に、路線AB上において、なだれの危険地帯が m 箇所ある一般の場合にもどって考える。その場合には、前出の式(7), 式(8), 式(10)とは、それぞれ、次のように書き換えられる。

すなわち、

$$R = r_1 r_2 r_3 \cdots r_m \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned}
 p_1 &= 1 - r_1, \\
 p_2 &= 1 - r_2, \\
 p_3 &= 1 - r_3, \\
 &\vdots \\
 p_m &= 1 - r_m
 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 P &= 1 - R \\
 &= 1 - r_1 r_2 r_3 \cdots r_m \\
 &= 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) \cdots (1 - p_m) \quad (13)
 \end{aligned}$$

である。路線AB上において、なだれの危険地帯 m 箇所について、その危険率 p_m は、すべて等しいと仮定しても、実際問題として、一般性は失われない。それゆえ、

$$P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_m, \quad (14)$$

と仮定すれば、前出の式(11)、式(12)、式(13)とは、

$$\begin{aligned} R &= \gamma^m \\ &= (1-p)^m \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} P &= 1 - R \\ &= 1 - \gamma^m \\ &= 1 - (1-p)^m \end{aligned} \quad (16)$$

となる。

以上は、その路線AB上において、なだ水の危険地災が m 箇所存在するとした場合である。

いま、そのなだ水の危険地災 m 箇所の内で、 n 箇所にそれぞれ最適なスノウシェットを建設したとする。そうすれば、そのなだ水の危険地災箇所は、 m 箇所から、 $(m-n)$ 箇所に減少する。そのなだ水の危険地災が、 $(m-n)$ 箇所の場合のその路線が交通機能を停止しないことの信頼性 R と、その交通機能を停止することの危険率 $\alpha = P$ とは、前出の式(15)と式(16)とを対照して、

$$\begin{aligned} R_{m-n} &= \gamma^{m-n} \\ &= (1-p)^{m-n} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} P_{m-n} &= 1 - R_{m-n} \\ &= 1 - \gamma^{m-n} \\ &= 1 - (1-p)^{m-n} \end{aligned} \quad (18)$$

と書き表わすことができる。

さて、この路線 AB が冬季交通の機能を停止することによって生ずる損失を C_t とすると、その期待値、すなわち、平均値は、前出の式 (18) を参照して、

$$\begin{aligned} E(C_t) &= P_{m-n} C_t \\ &= (1 - R_{m-n}) C_t \\ &= (1 - r^{m-n}) C_t \\ &= \{1 - (1 - p)^{m-n}\} C_t \end{aligned} \quad (19)$$

となる。

一方、その路線 AB 上にある水の危険地災 m 箇所の内で、 n 箇所に、それぞれ最適なスノウシェッドを建設することによって、建設費用 C が発生する。いま、スノウシェッドを建設することによって生ずる維持費用を、スノウシェッドの建設箇所数 n に無関係として、 a とする。そして、そのスノウシェッドの建設箇所 1 箇所当りの建設単価を b とする。そうすれば、そのスノウシェッドを建設することによって、発生する建設費用総額 C は、

$$C = a + bn \quad (20)$$

ここで、 $n \neq 0$ とする。

と書き表わすことができる。したがって、前出の式 (19) と式 (20) とを総合して、全損失額 L は、

$$\begin{aligned}
 L &= C + E(C_t) \\
 &= a + bn + \{1 - (1-p)^{m-n}\} C_t
 \end{aligned} \quad (21)$$

となる。これから、最小費用の原則に基づいたスノウシェッドの最適建設箇所数 n_{opt} を求めるための条件は、

$$\frac{dL}{dn} = 0 \quad (22)$$

である。具体的には、次のようにして、決定することができる。すなわち、式(22)の左辺をまず計算するために、その左辺に、前出の式(21)を代入して、

$$\begin{aligned}
 \frac{dL}{dn} &= \frac{d}{dn} \{a + bn + \{1 - (1-p)^{m-n}\} C_t\} \\
 &= \frac{d}{dn} \{a + bn + C_t - C_t(1-p)^{m-n}\} \\
 &= \frac{d}{dn} \{a + bn + C_t - C_t(1-p)^m(1-p)^{-n}\} \quad (23)
 \end{aligned}$$

ここで、式(23)の演算を簡便にするために、大括弧{ }の中を次のように置き換える。

$$\left. \begin{aligned}
 a + bn + C_t &\equiv y_1, \\
 C_t(1-p)^m(1-p)^{-n} &\equiv y_2
 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

これによって、前出の式(23)は、次のように変形される。すなわち、

$$\begin{aligned}
 \frac{dL}{dn} &= \frac{d}{dn} \{y_1 - y_2\} \\
 &= \frac{dy_1}{dn} - \frac{dy_2}{dn} \quad (25)
 \end{aligned}$$

である。右辺の第1項の微分演算をすると、

$$\begin{aligned}\frac{dY_1}{dn} &= \frac{d}{dn} (a + bn + C_t) \\ &= n\end{aligned}\quad (26)$$

となる。次に、右辺の第2項の微分演算を簡便にするために、対数微分法を適用する。すなわち、前出式(24)の第2式の両辺の対数をとると、

$$\log Y_2 = \log C_t + m \log(1-p) - n \log(1-p) \quad (27)$$

となる。さらに、両辺を微分すると、

$$\frac{1}{Y_2} \frac{dY_2}{dn} = -\log(1-p) \quad (28)$$

となり、したがって、

$$\begin{aligned}\frac{dY_2}{dn} &= -\log(1-p) Y_2 \\ &= -\log(1-p) \{C_t (1-p)^m (1-p)^{-n}\}\end{aligned}\quad (29)$$

となる。ここで得られた式(26)の $\frac{dY_1}{dn}$ の値と、式(29)の $\frac{dY_2}{dn}$ の値とを、前出の式(25)に代入すれば、いま、求めようとする $\frac{dL}{dn}$ は、次のようになる。すなわち、

$$\begin{aligned}\frac{dL}{dn} &= \frac{dY_1}{dn} - \frac{dY_2}{dn} \\ &= n + \log(1-p) C_t (1-p)^m (1-p)^{-n} \\ &= n + \frac{(1-p)^m}{(1-p)^n} \log(1-p) C_t\end{aligned}\quad (30)$$

である。ここで、前述の条件、式(22)を考えて、

$$\frac{dL}{dn} = n + \frac{(1-p)^n}{(1-p)^n} \log(1-p) C_t = 0 \quad (31)$$

とする。いま、

$$(1-p)^n \neq 0 \quad (32)$$

として、

$$n(1-p)^n + (1-p)^n \log(1-p) C_t = 0 \quad (33)$$

が得られる。

いま、式(33)を、 n について解くことを簡便にするために、その変数項である第1項に注目する。そして、

$$(1-p)^n \quad (34)$$

の Taylor 級数展開に基づく近似式を考える。それは、

$$(1-p)^n \approx 1 - np + \frac{n(n-1)}{2!} p^2 + \dots + \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)}{m!} p^m \quad (35)$$

である。いま考えている p は、この路線 AB 上におけるそれぞれのなだ水の危険地帯が、その冬季交通機能が停止することの危険率を表わしているものである。いいかえれば、それは、なだ水の危険地帯のそれぞれにおいて、なだ水が発生する確率に外ならない。しかし、前出式(14)において、仮定したように、この p の値は、この場合とは、比較的小さい値をとるものである。すなわち、

$$1 > p > 0 \quad (36)$$

である。それゆえ、前出の式(35)において、 p^2 を有する第3項以下を、近似的に省略する。したがって、前出の式(35)は、

$$(1-p)^n \approx 1 - np \quad (37)$$

となる。この式(37)を、前出の式(33)左辺の第1項に代入すると、

$$n(1 - np) + (1-p)^m \log(1-p) C_t = 0 \quad (38)$$

となり、さらに、整理して、

$$pn^2 - n - (1-p)^m \log(1-p) C_t = 0. \quad (39)$$

とし、さらに、その解法を簡便にするために、

$$pn^2 - n - Z = 0 \quad (40)$$

とおく。

ただし、

$$Z \equiv (1-p)^m \log(1-p) C_t \quad (41)$$

である。式(40)は、 n についての1元2次方程式であって、

その解は、

$$n = \frac{+1 \pm \sqrt{1 + 4pZ}}{2p} \quad (42)$$

ただし、

$$Z = (1-p)^m \log(1-p) C_t \quad \text{前出(41)}$$

である。

したがって、経済性に基づいたスノウシェットの最適建設箇所数 n_{opt} は、式(42)を満足する n に最も近い整数値である。

参考資料 3

p. 1

スノウシェッドに関する覚え書き

小川 哲夫*

1. まえがき

今年の冬は、雪が多いと警告されている。毎日の新聞でも、なだれの被害のニュースが目立ってきている。本文が、読者の目に触れる頃に、1963年の冬のような大雪のために、交通機関が麻痺状態に陥って、大変になっていなければ、まことに幸いである。トンネル研究室では、土研内外の協力を得て、昭和37年度から、現在まで4冬季にわたって、なだれとスノウシェッドとに関する実験的な研究を行なってきた。それは、諸外国においてもあまり例がない人工なだれ実験を主体とするものである。日本における人工なだれ実験は、昭和32年度から、国鉄塩沢雪実験所長 莊田 幹夫博士によって始められて、昭和37年度からは、われわれがバトンタッチを受けたものである。現在まで4冬季間に、人工なだれ実験を行った回数が9回、人工なだれを発生させ得たかどうかについていえば、その内、7回が人工なだれを発生させることに成功

している。これらは、テレビや新聞やニュース映画、
等によっても紹介されている。

さて、ここで述べようとするのは、以上の研究
の過程において、特に、覚え書きをして来た

ことについてである。その話題を、スノウシェッド
に関するものに限定して、スノウシェッドに関する
覚え書きとしたのである。

2. なだれ防御対策^{1, 2}

スノウシェッドは、なだれから交通路線を防
護するための対策の一つである。いいか

えるならば、^{雪国の}冬季交通を安全に確保するた
めの手段であるということが出来る。なだれを対象と
して、冬季交通の安全確保を考える場合に、
能動的方法と受動的方法とに分類してお
くと便宜である。ここでいう能動的とは、なだれ
の発生による交通障害を、交通管理に焦点
を合わせて、対策を講ずることというのである。

具体的に言えば、交通路線の上部斜面の積
雪、等を適切な手段で起動させ、人工なだれを
発生させて、除雪後、交通を開放するというこ

とである。それに対して、受動的とは、なだれの発生斜面に設ける支雪構造物やスノウシェッドのような防護構造物による対策をいうのである。実際においては、これらの両者を適宜組み合わせる運用する。

3. スノウシェッドの定義とその歴史的展望

スノウシェッドは、交通路線を横切る方向になだれ落ちてくるなだれを誘導するように設計された屋根状の構造物である。それを設立することによって、交通路線の上に、深い雪の堆積ができることを防止し、また、交通をも防護するものである。スノウシェッドは、最近では、そのまま日本語として通用するが、訳語としては、“雪おい”である。スノウシェッド (snowshed) に類似した言葉に、スノウセットというのがある。英語の snowset の意味で、防雪工の one set の意味から、雪おおいを指すようになったものか、あるいは、スノウシェッドの発音上の訛りで、スノウセットに変化したものなのか明らかではない。

スノウシェッドは、ヨーロッパにおいては、長年の

間、山岳道路において、使用されて来た。19世紀の初期において、アルプス道路の古代の荷物の運搬路を改良して、道路が建設されたときに、既に、道路には不可欠な構造物になっていたといわれている。これらの古いスノウシェッドは、木造、あるいは、石造のものであった。スイスとイタリアとを結ぶシンプロン道路において、石造アーチ形スノウシェッドは、1801年から1805年の間に、ナポレオンの指揮の下に建設されたものである。これらのスノウシェッドは、近代的な道路に必要なより広い中員のために再建設される数年前まで、まだ使用されていたのである。

北アメリカ大陸においては、道路上のスノウシェッドは、極めて少ないが、シエラ・ネバダ、カスケード、および、セルカーフ山脈における鉄道を、なだれから防護するために、スノウシェッドが、数マイルの延長にわたって、建設されている。

昔の中員の狭い道路や単線の鉄道のスノウシェッドは、試行錯誤法に基づいて設

計されたのである。いいかえるならば、それらのスノウシェッドの設計荷重であるなだれの衝撃荷重力、等の決定は、単に、推量のみであったのである。石造アーチ形スノウシェッドの特長は、未知の大きな荷重に対して、十分な耐荷力を持っていたことであり、一方、木造のスノウシェッドの特長は、もし破壊した場合には、より強い梁、等によって簡単に、改築することができたことである。中員の狭い昔の^{道路の}スノウシェッドは、割合に、費用のかからない構造物であったが、今日の近代的な中員の広い道路におけるスノウシェッドは、大きなスケールのもものが必要となって、必然的に、費用のかかる構造物となってしまった。したがって、スノウシェッドの位置の選定とその設計とは、十分な調査、研究に基づいて、より経済的に行なわなければならない。

1957年から1962年までの間に建設されたトランス・キャナダ道路のロジャース・パス区間は、数多くのなだれの発生で有名な険しいセルカーフ山脈を通過している。したがって、計画路線

に沿ったなどれの大規模な調査、研究が、その
 道路の建設に先立って行なわれた。その結果、
 最も適切な、しかも、経済的な防御対策が、各
 などれ地矣に対して講じられたのである。この場
 合には、9箇所地矣において、スノウシェッドが、
 などれ防御対策の一環として、建設されている。
 それらのスノウシェッドに対する位置の選定、それ
 らの設計と施工期間中、さらに、それらの防護
 効果の観測、等から、幾多の極めて貴重な経
 験が得られたのである。これらの諸資料は、ア
 メリカ合衆国、スイス、オーストリア、および、その他
 の諸国においても集積されたものと一緒にして、
 スノウシェッドの設計に関する極めて有効な
 資料となっている。

写真―1は、現在、ヨーロッパで、一番長いスノウ
 シェッド(スチール構造)で、^{その延長は、約500m、}スイスのユングフラウ
 ヨッホ(Jungfrau Joch)に至る^{単線の}登山鉄道(ヨ
 ーロッパの鉄道の中で最高標高地点)の途
 中にある。ロッククライミングで有名なアイガーの
 氷壁の内部をも、この登山鉄道は、縫って走

っている。

写真-2は、世界的な規模のなだれの研究所
 があることで有名なスイスのダボス(Davos)の近
 郊で、一番大きななだれが発生する地点^{の道路上}に設け
 られているスノウシェッド(鉄筋コンクリート構
 造)である。^{これらの写真からわかるように、スノウシェッドは、トンネル形態を有するものである}
 これらの写真は、いずれも、1965年
 4月に、NKKの中島 洋氏が、実写したもの
 である。

4. なだれの特性³

スノウシェッドは、主として、なだれを対象としているものである。スノウシェッドに作用する衝撃力に関係のあるなだれの特性として、第一に考えられるのは、なだれの速度である。なだれの速度は、気象条件と斜面の地形、地貌条件とによって異なる。
 なだれの特性は、
 発生形態と運動形態とに分けて考えると、現象の解析に便宜である。

乾雪表層なだれは、通常、乾いた新雪の層が、より古い安定した^積雪の層の上を滑るときに発生する。これらのなだれは、雪煙と突風とをともなっている。これらのなだれの観測記録では、 45 m/sec にも達するものが認められる。これらのなだれが、崖、あるいは、非常に急な斜面上に落ちてくる場合に、空中に舞いあがるようになると、その2倍の速度 90 m/sec にも達することがある。このような大きな速度の雪、あるいは、雪風は、極めて破壊的な作用をするものである。この種類のなだれを、その運動形態による分類では、煙り型というのである。
 湿雪全層なだれや湿雪表層なだれは、降雪が暖かい日、あるいは、雨をともなっているとき、

または、春季に雪の層が融けだして粘着力が低下するときに、発生する。湿雪なだれの速度は、乾雪なだれよりも遅くて、 30 m/sec に達する程度である。日本で、われわれが発生させた人工なだれの測定結果では、湿雪なだれの速度は、

20 m/sec 程度に達するものが最高であった。この種類のなだれも、その運動形態による分類では、流水型というのである。

発生するなだれの規模の大きさを支配するものは、なだれが発生する地点の積雪層の表面積と滑動する不安定な積雪の深さとである。1962年に、スイスで発生した大きな単独のなだれは、道路の延長を約 3.2 km にわたっておおってしまい、観測されたデブリ(debris, なだれの堆積雪)の体積は、 $3,800,000\text{ m}^3$ にまで達している。日本で、われわれが発生させた人工なだれの測定結果では、そのデブリの体積は、約 $19,000\text{ m}^3$ に達するものが、最高であった。

5. スノウシェッドは、どのような地点に建設すべきか^{2,1}

スノウシェッドは、受動的ななだれ防御対策として、極めて効果的で安全な方法である。しかしながら、現段階では、一応、建設費用が嵩むので、冬季交通を^{安全に}確保することも、特に要請される路線上で、その他のなだれ防御対策が実施できない地点とか、十分な防御ができない地点にのみ、建設されるという結果になる。

与えられた地点に、スノウシェッドを建設すべきかどうかを決定するためには、次のような諸因子について、調査、検討を進めるべきである。

- ① なだれの発生頻度;
- ② なだれの大きさ、道路上に堆積される雪の体積、雪質、
- ③ それらの雪の除雪に要する時間の長さ、
- ④ 交通の密度、
- ⑤ 交通の遮断に対して許容される時間の長さ、
- ⑥ 要求される安全率、等

これらの諸因子にもとづいて結論に達するた

めには、その地点において発生するなだれの大きさと頻度とに関して、数年間の観測が得られなければならない。これらの観測値にもとづいて、堆積した雪を除雪するのに必要な時間を推定することができる。

次に、なだれの発生によって交通が阻止されることにもとづく道路使用者費用（特に、時間費用）の増加を計算し、それに対して、一方、道路費用の増加としてなだれの防壁構造物の費用を計算する。

これらの費用の増加にもとづいて、費用便益比を計算して、解析を進める基準とする。

以上の投資基準の計算によって、経済効果の判別を行い、その地点に、スノウシェッドを建設するべきかどうかを決定する。

いろいろな国における経験では、スノウシェッドはその他の防壁対策が実用的でないか、あるいは、あまりに費用が嵩む場合に、通常、次のような地点に建設される。

- ① 少なくとも、毎冬季間に1度、路線上の方向

に 最小約45mの中と深さ0.9m以上の^{なだれの}堆積雪(デブリ)を生ずるようななだれの発生地点,

② なだれが, 3-5年ごとに1回の割合で発生し, 道路上に深く堆積した雪を除雪するのに, 12時間以上を要するようななだれ発生地点

スノウシェッドは, 基本的には, ^{なだれの}いづれかの条件を満足する地点に建設される。そして, 交通量の増加にともなう, それとの関連において, 修正される。

スノウシェッドは, 滑降するなだれが, 深い峡谷のような狭い走路に限られている地点においては, 最も適切な防御方法である。そのような地点では, スノウシェッドは短かくてよい。なだれが, 広い山腹を滑降して, 道路の長い延長をおびややすような地点は, 通常, スノウシェッドを設置するのに望ましい地点ではない。もし, スノウシェッドをそのような地点に設置するならば, その延長は長くなり, ^{一般に,}したがって, 建設費が多大となる。それゆえに, そのような場合には, その他の防御方法との経済性の比較を, 十分行うべきである。

同一の、あるいは、より大きな安全性さえ与えるスノウシェッドの唯一の代替えの防却方法は、なだれの発生地点に、支雪構造物を設置することである。スイスとオーストリアにおいて、支雪構造物をなだれの発生地に設置することによって、なだれの発生を制御した実例が、数多くある。なだれ防却構造物、特に、支雪構造物の設計指針として、非常に参考になるものに、文献“発生地におけるなだれ制御”(Lawinenverbau im Anbruchgebiet Richtlinien für den Permanenten Stützverbau)⁴がある。これは、“道路”, 3月号, 4月号, 1966年に, “スイスにおける示方書の翻訳と解説”として, 日本における, われわれの“なだれ研究グループ”によって, 掲載されている。

もし、なだれの発生地の面積が、比較的狭いならば、支雪構造物は、よりよい対策となる。それらは、また、道路の上方斜面と下方斜面をも制御する利点を持っている。しかも、スノウシェッドのように、視界を遮ぎり、また、その

後の改良を困難にする道路に接近した防
御構造物を設置する必要がない。

さらに、
1 斜面における支雪構造物の支雪面のなす
再度について、一言すれば、次のようなことが
ある。

支雪構造物の支雪面の角度の基準が、傾斜面に直角よりも約 15° 下方へ向いた角度に到達するまでには、次のような経過を辿って来ている。

日本においては、最初、鉛直に立てられ、経験的考察を経て、しだいに、前述の角度に近づいて来た。一方、ヨーロッパにおいては、最初に、水平面のもものが試みられ、数多くの経験的^{考察}を経て、しだいに、前述の角度が最適のものであることに結論づけられて来た。日本とヨーロッパとを比較して、一つのオフ・チマムな結論に到達するまでに、異なった、しかも、正反対の接近方法をとって来ていることは、彼我の間のいくつかの思考過程の相違を示すようでもある。このヨーロッパにおける最初の試みが、支雪面が水平面をなすものから始められたので、スノーブリッジの名称が現在でも残っている。

6. スノウシェットの設定位置とその設計とに関する調査^{2,1}

なだれが発生する地点において、
スノウシェットの設定位置とその設計とに関して
次のようなことから調査しなければならない。

- ① 発生するなだれの特性
- ② なだれの発生地の位置となだれの破断面の性状
- ③ なだれの走路の位置と性状
- ④ 滑走するなだれの近似的な深さ
- ⑤ なだれが流出しておおう地帯の位置、特に、道路上におけるその中、堆積した雪の平均積雪深と最大積雪深、および、そのなだれの性状
- ⑥ なだれの発生とその成長とに関連する気象状況

これらの情報を得るための諸観測は、スノウシェットを建設する以前に、でき得るだけ多年の間、行われなければならない。最も重要なことは、道路の付近に堆積するなだれの中を測量することである。正確な測量のために必要な

関連した地点は、なだれの走路の側方に、設定しておかなければならない。

以上の諸観測は、通常、極めてわずかの冬季間しか得られず、しかも、安全のために、なだれの発生頻度が低い時期に行われる。^{それゆえ、}それらの情報は、最大の状態を得るために、地形や樹木に関する諸観察、いいかえれば、なだれの走路の境界線に沿った樹木の被害の範囲、等によって補わなければならない。

スノウシェッドは、防御しようとするなだれの大きさに対応して、計画し、設計、建設し、^{かつ}運用しなければならない。いいかえれば、対象とするなだれの道路上の通過全中を、十分おおう^{位置と}延長にしなければならない。通常、その単価が高いことから、^{その}延長を最小限にしようとする傾向がある。スノウシェッドの延長は、一般に、余りにも短かく建設されるということが、ロジャース・パスやスイスにおける実例からいえる。そのようなスノウシェッドを使用すれば、非常に大きななだれでは、なだれが、スノウシェッドの入口に溢れ、さらに、

内部にまではいって、その結果、その雪を除雪することが、困難で、費用のかかることになる。それゆえ、なだれが通過する可能性のある範囲を決定するためには、十分な調査と検討とをすべきである。

7. スノウシェッドによって得られる安全性を評価するための計算

積雪地方における冬季の道路自動車交通の平均速度を40 kphで、道路上に堆積するなだれの中を、平均100mであると仮定すれば、1台の自動車は、

$$\frac{100 \text{ m}}{40 \text{ kph}} = \frac{100 \text{ m}}{40 \times \frac{1,000 \text{ m}}{60 \times 60 \text{ sec}}} = \frac{100}{40 \times \frac{1,000}{3,600}}$$

$$\doteq \frac{100}{11.1} \doteq 9.01 \text{ sec}$$

となり、9.01 sec間、なだれの危険にさらされることになる。冬季における平均日交通量

(ADT)が、1,000台であるならば、各自動車の平均間隔は、

$$\frac{24 \times 60 \times 60 \text{ sec}}{1,000 \text{ 台}} = \frac{86,400 \text{ sec}}{1,000 \text{ 台}} = 86.4 \text{ sec}$$

となり、86.4 sec間である。そして、冬季の5箇月間

の自動車交通量は、

$$1,000 \frac{\text{台}}{\text{日}} \times 30 \times 5 = 1,000 \frac{\text{台}}{\text{日}} \times 150 \text{日}$$

$$= 150,000 \text{台}$$

それゆえ、冬季間に1回、
ある路線上で、なだれの発生が予想される
地点には、 86.4 sec ごとに1台の割合で現われ、そ
のたびに 9.01 sec 間、なだれに遭遇する危険
がある。その危険率は、

$$\frac{9.01 \text{ sec}}{86.4 \text{ sec}} = \frac{1}{9.59} = \frac{1}{10}$$

である。そして、冬季間の自動車交通量150,000
台の1台
を考えると、その危険率は、

$$\frac{1}{10} \times \frac{1}{150,000} = \frac{1}{1,500,000}$$

となる。このことは、いかえると、冬季5箇月間の
自動車交通量が150,000台に対して、10年に
1度発生する割合になる。この危険率は、道
路上における交通事故発生率とおなじ程
度に高いものである。

冬季間当りのなだれの発生回数と交通密
度との増加にともなって、なだれによる事故
の頻度は増加する。

8. むすび

本文は、1. まえがきで述べたように、昭和37年度から、われわれが行なって来た人工なだれ実験の間に書き留めておいたスノウシェッドに関する覚え書きの一部である。

スノウシェッドの設計のために必要な衝撃荷重力に関するものは、除外してある。それらについては、土木研究所報告を参照されたい。

参考文献と注

1. 小川 哲夫, "積雪地方の道路の冬季交通対策 — その冬季交通を確保するための諸条件 —", 土木技術資料, 建設省土木研究所土木研究会, Vol. 6, No. 3, Mar., 1964, pp. 100-101
2. 小川 哲夫, "なだれ防御対策のための調査はどのようにすればよいか", 土木技術資料, 建設省土木研究所土木研究会, Vol. 6, No. 1, Jan., 1964, pp. 32-33
3. 小川 哲夫, "なだれの大きさ (Magnitude) のエネルギーによる表示, 道路, 日本道路協会, 通巻第294号, Aug., 1965, pp. 681-685
4. Mitteilungen des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 15, Februar, 1961