

川崎製鉄スノウシェッドの性能(耐荷力)
試験報告(第2報)

昭和40年3月

建設省土木研究所

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。こ水は、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。こ水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、本試験を行っ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7km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(黒布の尾根)爆破地奥の標高 1,040 m,

幕の沢の標高 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約 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

こ水は、昭和40年1月19日(火)以降、合計6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 人工なだ水発生方法に関する予備実験，ならびに，基本実験
昭和40年2月11日(木)，ならびに，2月12日(金)とに行つた。

③ 妙高人工なだ水本実験

昭和40年3月14日(日) 4.15 P.m.に爆破，人工なだ水発生時の状況では，面発生湿雪表層なだ水，なだ水の運動形式では，なが水型なだ水を発生させ，諸観測，測定に成功した。

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

クーロト黒(100gr薬包)	175kg
導爆線(第2種)	950m
電気雷管(MSD-⑤段)	12本
装薬孔数	144孔

であつた。

実験本番当日の積雪深は，山頂付近斜面において，3.22mであつて，天候は，吹雪侵襲，爆破した4.15 P.m.においては曇であつた。

なお，本実験は，昨年，昭和38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}八ヶ岳支所庶務課，新潟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を得て，行われたものである。

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，現地実験のための諸準備作業については，三紀調査建設，記録映画作製については，五紀映画の熱心な協力を得て行われたものである。

また，本筆ながら，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岡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ることも特記しなければならない。

また，妙高人工なだ水実験地を設定するに當つて，その実験斜面を借用するに，関係各方面の厚意ある協力を戴いた。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

② 人工な水発生方法に関する予備実験，ならびに，基本実験
昭和40年2月11日(木)，ならびに，2月12日(金)と行った。

③ 妙高人工な水本実験

昭和40年3月14日(日) 4.15 P.m.に爆破，人工な水発生時の状況では，面発生湿雪表層な水，なだ水の運動形式では，なが水型な水を発生させ，諸観測，測定に成功した。

本実験において，人工な水を発生させた手段は，昭和38年度と同様に，爆破方式であって，使用した火薬類は，

カーリット黒(100gr薬包)	175kg
導爆線(第2種)	950m
電気雷管(MSD-5段)	12本
装薬孔数	144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，3.22mであって，天候は，吹雪後曇，爆破した4.15 P.m.においては曇であった。

なお，本実験は，昨年，昭和38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，^{事務課}入山支所庶務課，新潟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を得て，行われたものである。

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，現地実験のための諸準備作業については，三紀調査建設，記録映画作製については，五紀映画の熱心な協力を得て行われたものである。

また，本筆ながら，妙高人工な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ない。

また，妙高人工な水実験地を設定するに当たって，その実験斜面を借用するに，関係各方面の厚意ある協力を戴いた。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、現地付近の過去の雪に関する気象関係資料を参照させて載ることに
ついては、高田管林署五ノ戸苗畑、なうわ、林野庁前橋管林局 課
御厚意を仰いだ。
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
御協力を仰いだ。
あわせて、雪の御礼を申し上げます。
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。

3 人工なだれ実験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

こ水は、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

こ水は、前述のように、昭和40年1月19日(火)以降、合計6回にわたって
静的な測定器によって、電氣的に、実測したものである。いいかえ
れば、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)に加わる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 人工なだれ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100mのキャプタイヤ・ケーブルが接続され、尾
根の安全な地味に設置された観測小屋の、電磁オシログラフによって、な
だれの衝撃力を、電氣的に、自記録した。

③ なだれ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
等価静荷重を求め、なだれの衝撃力の一つの Index しようとするもの
である。

こ水も、昭和38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価静荷重を求めらるものである。

これらのなだ水の衝撃力の実測と同時に、なだ水の落下滑走速度をも、関連的に実測した。採用した一ツの方法は、実験斜面に、斜距離で20 m 間隔に設けられた標識柱の側方を、なだ水落ち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 mm/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 $\frac{1}{24} \text{ sec}$ 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点間に張った電気回路をもつヒューズが、なだ水落ち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39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、昨年、昭和38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。

これらの測定データは、末尾に一括して、掲載する。

4. 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)試験は、昭和38年度の継続して、昭和39年度も行われ、その諸観測、測定も無事終了した。昭和38年度においては、その試験報告(第1報)において述べたごとく、最初の、しかも、唯一の試験であったので、性能(耐荷力)試験のデータを得ることに努め、そのデータの信頼性を裏付ける繰り返し試験は、昭和39年度に継続したのである。したがって、性能(耐荷力)試験結果に関する考察は、本試験報告(第2報)で、まとめて、行うことにする。

なだ水の防御構造物、とくに、スノウシェッドの計画と設計とに関して調査すべきことを、大別すると、

① どの地質に、

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、第一の点について、要旨を述べると、

スノウシェッドの建設地質について、十分ななだ水地質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る与えられた地質において、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あつぎまじしい現象をみて、第一に考えられることは、発生するであろうなだ水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、概念を用いなければならぬ。

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、なだ水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を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、人工なだ水実験においては、地上立体写真測量によって発生し、落下滑走したなだ水の全体積の測定を、なだ水の衝撃力との関連において、とらえることとしてゐるのである。

なだ水の単位体積重量の測定は、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39年度の妙高人工なだ水実験において得られたなだ水の単位体積重量の概略値は、 1.939 g/cm^3 であって、その詳細な値は、現在、東京大学生産技術研究所式安研究室において、立体写真の図化機にかけて、作業中である。なお、なだ水の大きさのエネルギーによる表示については、添付の“なだ水防御の力学”を参照されたい。

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

人工な氷実験においては、発生したなだ水の衝撃力の値を、動的な電氣的測定と、静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、こ氷らのなだ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、与えられた地質において、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。

これら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、2年度に継続して行われた妙高人工なだ水実験によって行われた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。

いいたれば、将来のスノウシェッドの計画と設計に関して一つのアドバイスである。

- ① なだ水の衝撃力を適切に緩衝し、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。

これについての考へ方は、添付の“なだ水防御の力学”の中の

7. 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、行われるものであって、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、行われるべきものである。

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ヶ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ヶ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。この点、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。

その国の経済的発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、なだ水防御対策を、

① なだ水管理を、

② なだ水防御施設

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、その効用の程度に、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、与えられた地味において、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、その効用の点から、その地域の状況に応じて、設計条件を加減して、計画、設計、建設し、たまたま、その冬が設計条件を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、その冬の冬季交通を、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、スノウシェッドの構造は、一次不静定、等ラーション構造を考えて、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、スノウシェッドの効用性と経済性とも考慮するならば、その地域の状況に応じて、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なだ水の大きさを対象荷重として、通常の弾性設計をするのであるから、かなりの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、経済的設計を怠るような場合は、通常の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も、当然考え得ることである。
 など水防御構造物、たとえば、スノウシェットの設計計算は、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
 が考えられ得る。それは、その構造物を不静定構造にすることであらう。
 勿論、数次の不静定構造も考えられ得るが、たとえば、通常のスノウシェ
 ットでは、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えられ得る。
 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、通常の
 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、そのまま、そのスノウシェットの構造上の利点となることが考えら
 れる。これらについて、少しく説明を加えると、

②については、など水の衝撃力は、など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、その構造物が耐振動的である
 ことも重要な要素である。これは、スノウシェットに加速度計を取り付
 けて、人工など水実験を行った結果、定量的な数値が得られ、そのものである。

④については、前述のように、スノウシェット、等など水防御構造物は、
 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、スノウシェットならば、人工の
 トンネルとしての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とな
 ることが、十分考えられ得る。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、広く、交通工学的見地からも要請される
 条件でもある。

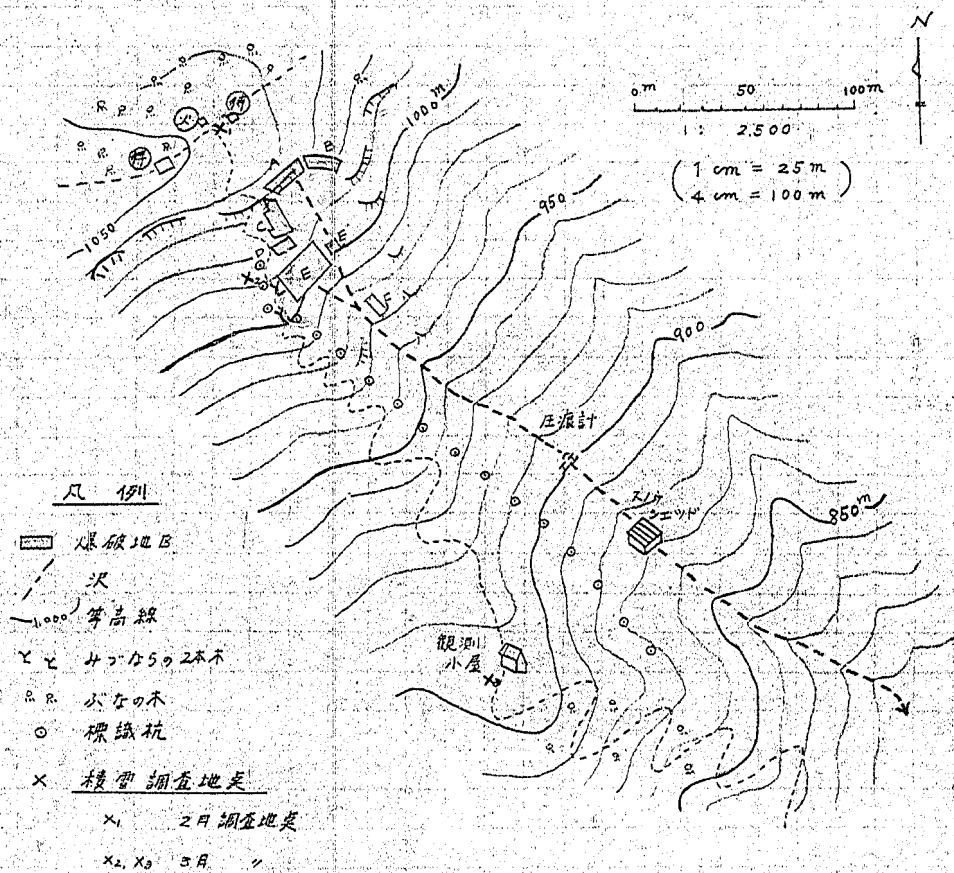
以上において考察した将来のスノウシェットの計画と設計とに関する諸問
 題は、いいかえれば、昭和40年度以降において研究すべき諸問題で
 もある。昭和40年度以降において、スノウシェットの性能(耐荷力)試験を
 行うとすれば、試験調査の第一の段階として、このような方向に研究の

P. 10

焦臭を何けることが考えられる。

砂高人工なれ実験積雪調査

実験斜面図



妙高人工なれ実験

積雪調査
 実施年月日 昭和40年2月11日 (調査時刻 700~8.00)
 実験場所 妙高温泉幕之沢地先中央斜面
 積雪調査結果 (山頂)
 積雪深 3m 34cm

種別 層厚 硬度 密度
(cm)

(m)	新雪	30	E	0.24
3.0	アイス	3		0.37
2.5	締り	107	C~D	0.26
2.0	アイス	3	B	0.28
	締り	23	C~D	0.22
	アイス	1	B	0.23
1.5				
1.0	締り	102	C~D	0.30
0.5	アイス	22		0.37
	締り	8	E	0.26
	アイス	5	C~D	0.31
	締り	30	B	0.45

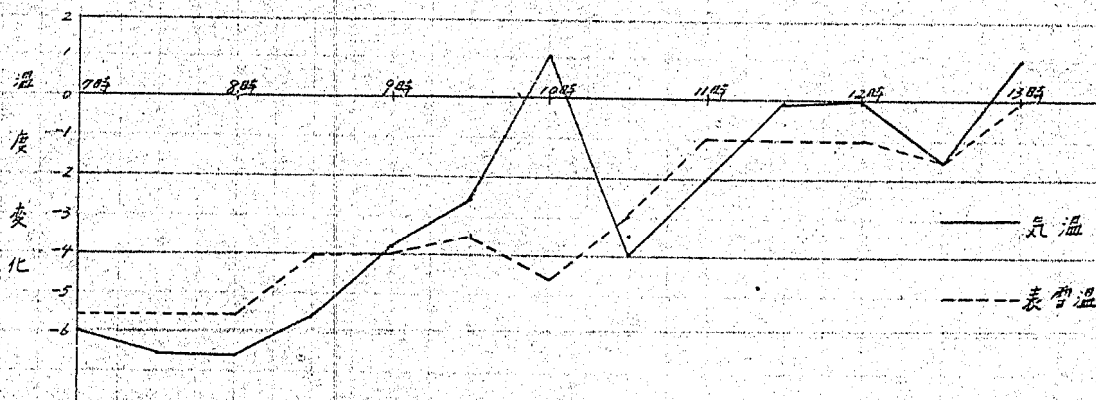
凡 例

積雪硬度

- A 171 軽くささる
- B 鉛筆が
- C~D 1~2本指が
- E 3本指が

密度測定

- ① 各積雪層について雪を円筒直径5cm/高15cm容積100ccに垂直に抜き取る。
- ② 円筒内の円筒形雪の抜き取る。
- ③ 天秤(最小目盛 0.5gr 最大秤量 50gr)にて抜き取った円筒形の雪の秤量する。
- ④ そ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。



妙高人工氷水実験

積雪調査

実施年月日 昭和40年3月13日 (実験前日, 調査時刻 10.00)

実験場所 妙高内温泉幕之次地先中尺斜面

積雪調査結果 (観測小屋) 積雪深 3 m 75 cm

	種別	層厚 (cm)	硬度	密度
3.5	新雪	15	E	0.16
	締り	10	C~D	0.27
	サマ	5		0.27
3.0	締り	30	E	0.32
	サマ	5		0.31
	締り	14	C~D	0.33
	サマ	5	B	0.30
	締り	20	C~E	0.31
2.5	サマ	7	A	0.27
	締り	5	C~D	0.31
	サマ	15	B	0.35
2.0	締り	90.5	C~D	0.45
1.5	サマ	10	A	0.40
	締り	5		0.46
	サマ	7	C~D	0.45
1.0	締り	35	B	0.40
	サマ	4	C~D	0.35
	締り	5	B	0.41
	サマ	7	C~D	0.39
0.5	締り	36	A	0.44
	サマ	40		0.38

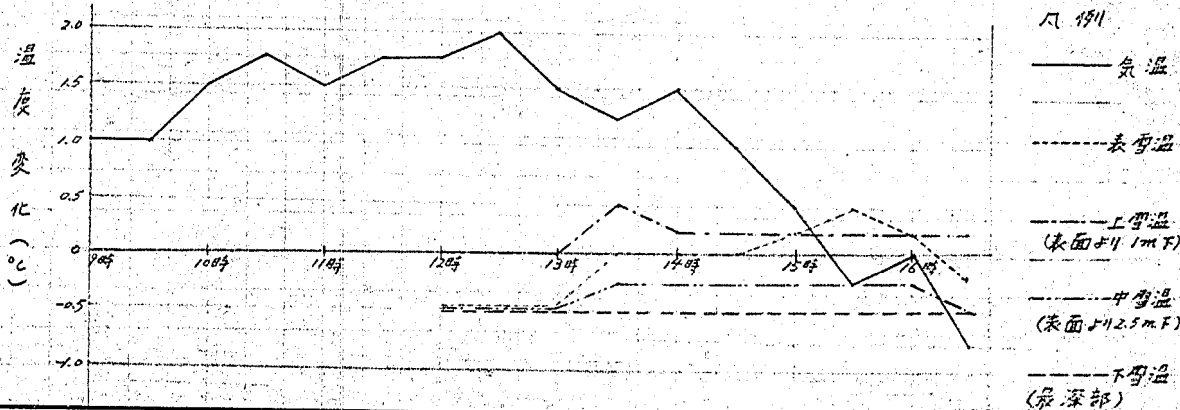
実施年月日 昭和40年3月14日

積雪調査結果(観測小屋)

積雪深 4 m 6 cm

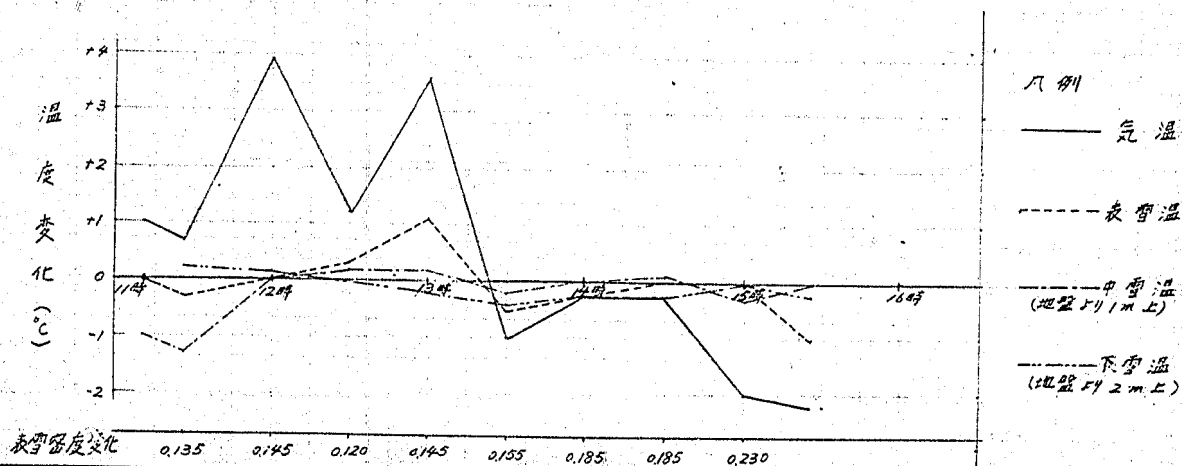
種別 層厚 硬度 密度
(cm)

8.0	新雪	35	E	0.16
	フタメ	15		0.35
3.5	締り	10		0.31
	フタメ	5	C~D	0.27
	締り	30		0.29
3.0	フタメ	5	B	0.34
	締り	14	C~D	0.32
	フタメ	5	B	0.35
	締り	20	A	0.37
2.5	フタメ	7	C~D	0.41
	締り	5	B	0.34
	フタメ	15	A	0.385
2.0	締り	90.5	B	0.44
1.5	フタメ	10	A	0.43
	締り	5		0.42
	フタメ	7	B	0.45
1.0	締り	35	C~D	0.49
	フタメ	4	A	0.31
	締り	5		0.40
	フタメ	7	B	0.39
0.5	締り	36		0.43
			A	
	フタメ	40		0.39



実施年月日 昭和40年3月14日 (調査時刻 13.00~14.00)
 実験場所 妙高内温泉麓之沢堤先中尺斜面
 積雪調査結果 (山頂斜面)
 積雪深 3 m 22 cm

	種類	層厚 (cm)	硬度	密度
3.0	新雪	12	E	0.26
	小サラメ	30	B	0.31
	大サラメ	13		0.39
	サラメ	10		0.37
2.5	綿リ	1.5	C~D	0.37
	サラメ	23		0.37
	綿リ	5.5	B	0.39
	サラメ	5.0		0.31
	大サラメ	15		0.39
2.0	綿リ	2	C~D	0.45
	大サラメ	35		0.32
1.5	サラメ混リ の綿リ	30	A	0.43
	大サラメ	15	C~D	0.40
	綿リ	3	B	0.40
	大サラメ	5	C~D	0.40
1.0	綿リ	10	A	0.44
	サラメ	5	B	0.40
	綿リ	24	A	0.39
	サラメ	8	B	0.40
0.5	大サラメ	28	C~D	0.39
	サラメ	4	B	0.55
	大サラメ	36	C~D	0.40



妙高人工谷川斜面のスノウシェッドによる静的荷重測定値

S 40. 4. 30.

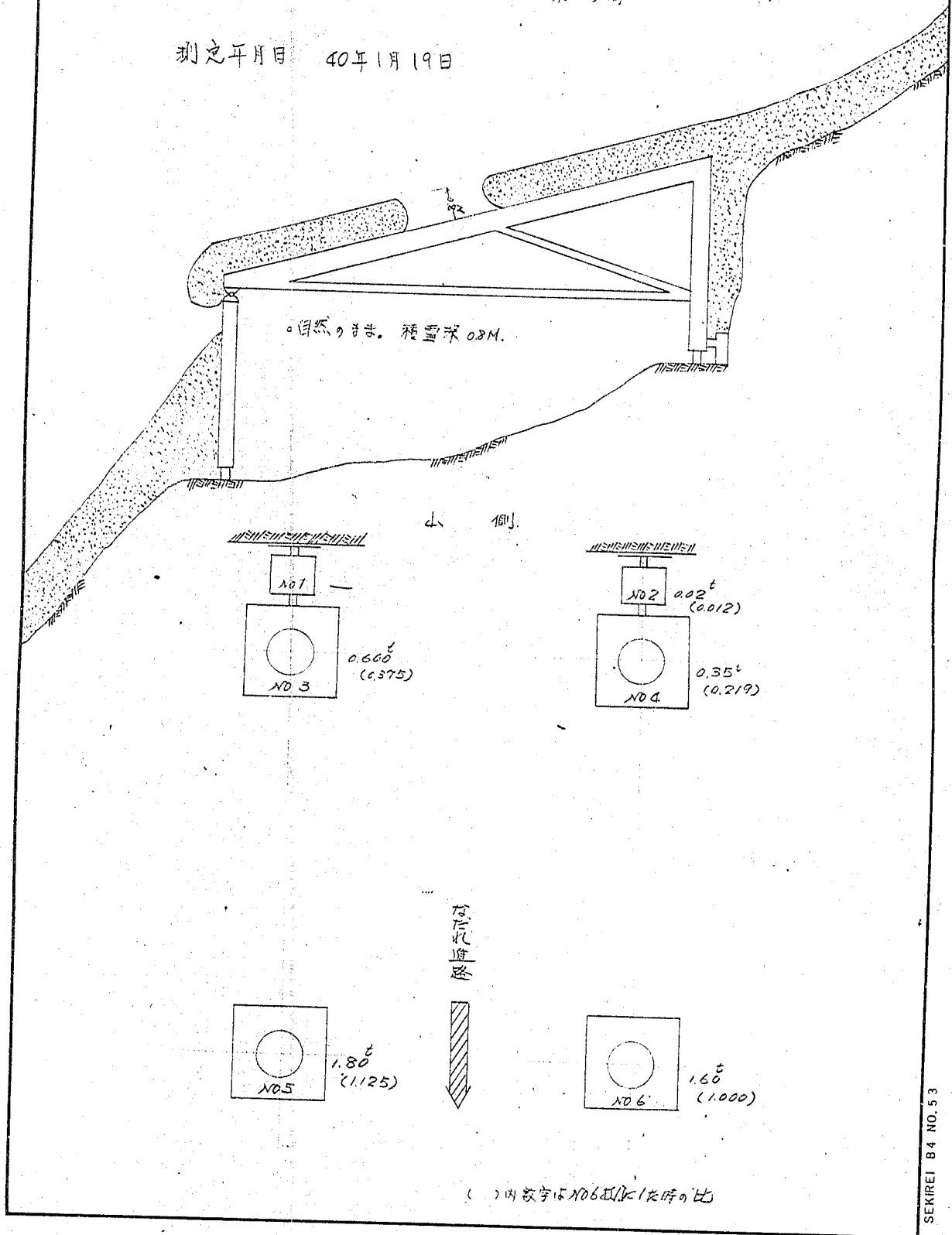
ロート 番号	39年9月1日	40年1月19日	40年2月9日	40年2月10日	40年2月21日	40年3月11日	40年3月14日	
1	0 (-403)	—	0.64 ^t (-800)	0.05 ^t (-447)	—	0.10 ^t (-329)	0.69 ^t (+40)	
2	0 (-113)	0.02 ^t (-132)	0.60 ^t (-470)	0.11 ^t (-37)	0.45 ^t (+148)	1.10 ^t (+558)	1.04 ^t (+500)	
3	0 (+195)	0.60 ^t (+123)	3.26 ^t (+495)	0.73 ^t (+68)	3.80 ^t (+576)	6.90 ^t (+993)	3.28 ^t (+500)	
4	0 (-121)	0.35 ^t (-62)	2.75 ^t (+270)	0.10 ^t (-82)	2.80 ^t (+296)	4.20 ^t (+495)	1.85 ^t (+140)	
5	0 (-203)	1.80 ^t (+31)	4.15 ^t (+393)	1.81 ^t (+33)	4.81 ^t (+500)	8.05 ^t (+952)	4.81 ^t (+500)	
6	0 (-198)	1.60 ^t (+18)	3.25 ^t (+270)	0.75 ^t (-100)	3.20 ^t (+246)	4.80 ^t (+500)	3.65 ^t (+310)	
備考	スノウシェッド上に 雪が全然付いた場合 0荷重測定値	スノウシェッド上積 雪深0.8H.	・第一回実験の除 雪前。 ・スノウシェッド積雪 深1.5H程度	・第一回実験の除雪 後。	・40年2月20日正午 より自然に付いた 雪の積雪深 1.70H程度	・第二回実験の除 雪前。 ・積雪深2.4H程 度	・第二回実験後の 残留雪。 ・スノウシェッド上1.4H 程度	

()内数字はStreamの読み。

静的測定結果 谷町高

S 40, 4.30

測定年月日 40年1月19日



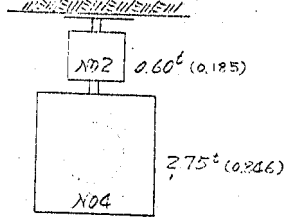
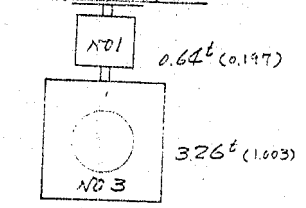
S 40.4.30

静的測定結果 於妙高

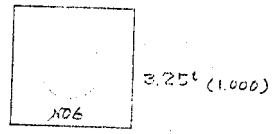
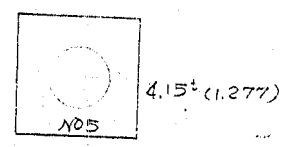
測定年月日 40年2月9日

・第一回実験の除雪前

山側



測定点



()内数字はNO6を1とした時の比

SECRET B4 NO.53

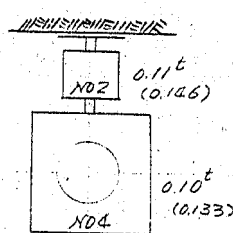
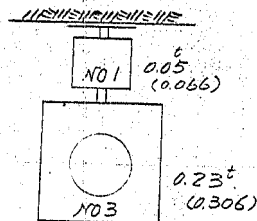
S 40. 4. 30

静的測定結果 於 妙高

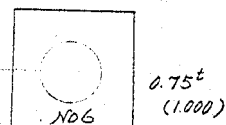
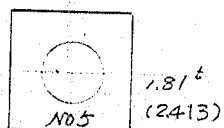
測定年月日 40年2月10日

・第一回実験のための除雪後

山側



ななね道



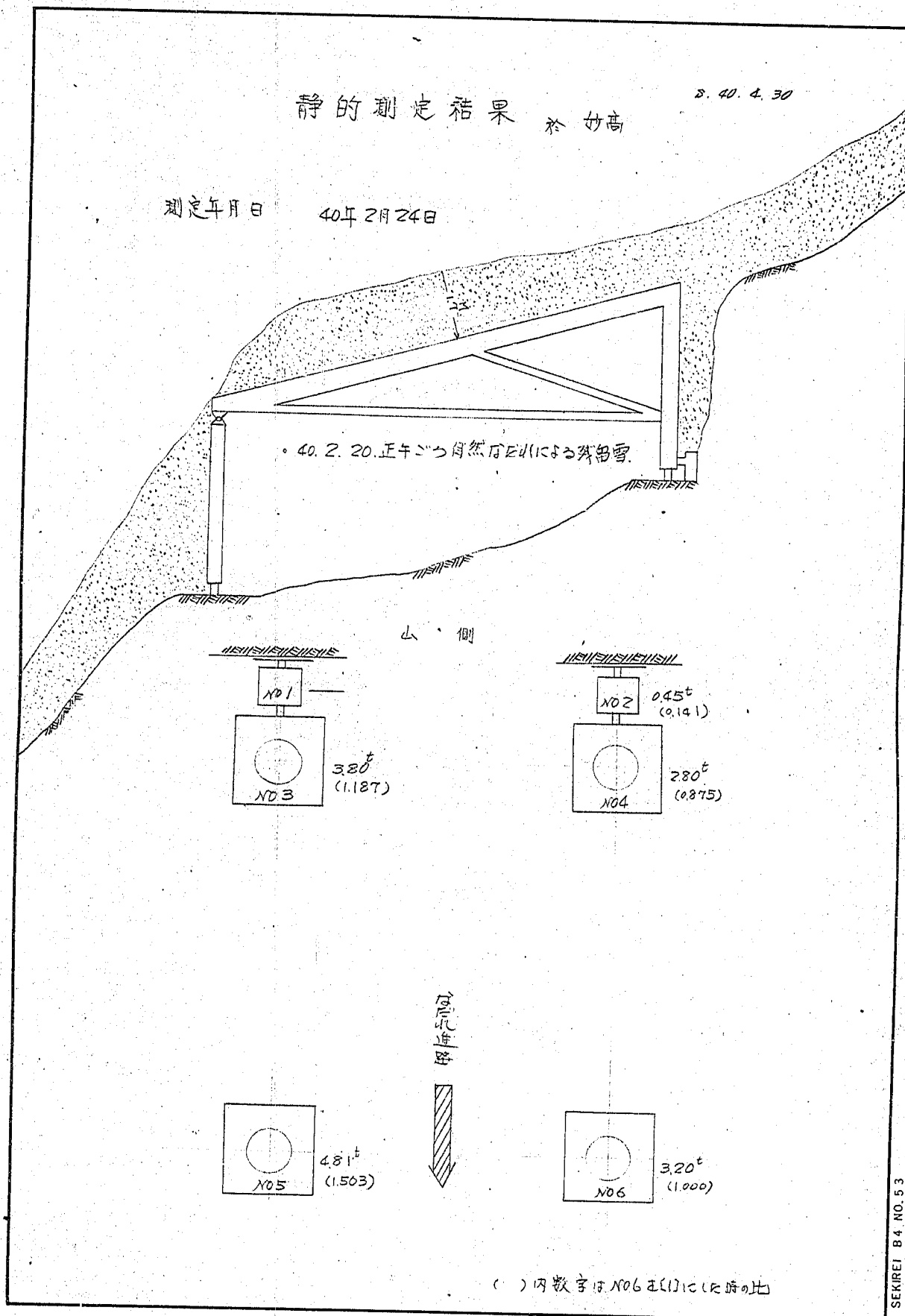
() 内数字はNO6に比した時の比

SECRET B4 NO. 53

静的測定結果 於 妙高

B. 40. 4. 30

測定年月日 40年2月24日



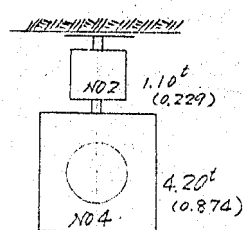
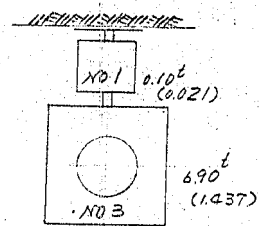
SEKIREI B4 NO. 53

5 40. 4. 30

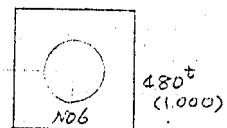
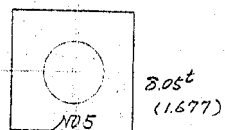
静的測定結果 於妙高

測定年月日 40年3月11日

・測定実験の除雪前・



な
ら
び
進
路



()内数字はNO.6を1に16時の比

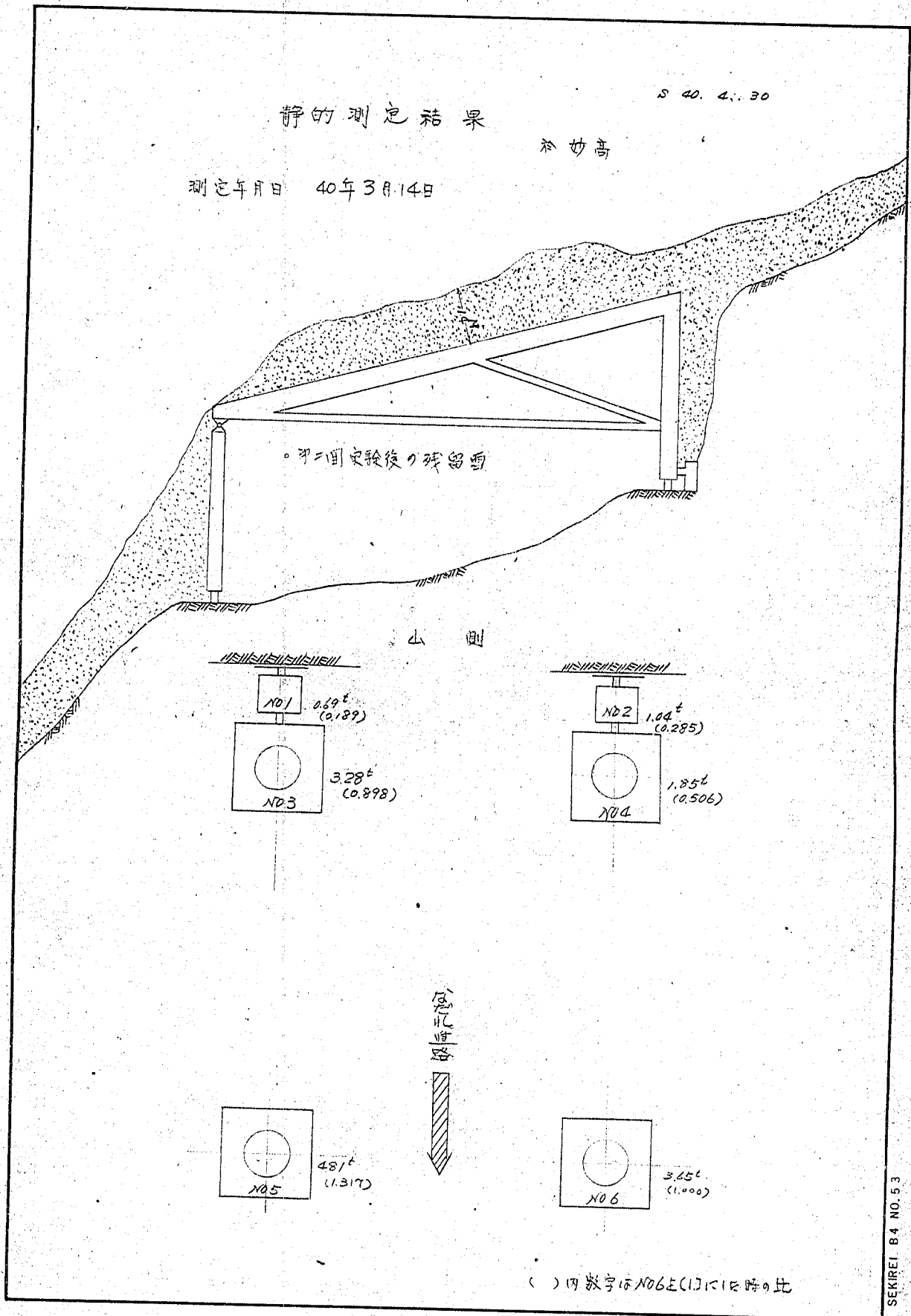
静的測定結果

S 40. 4. 30

本 抄 高

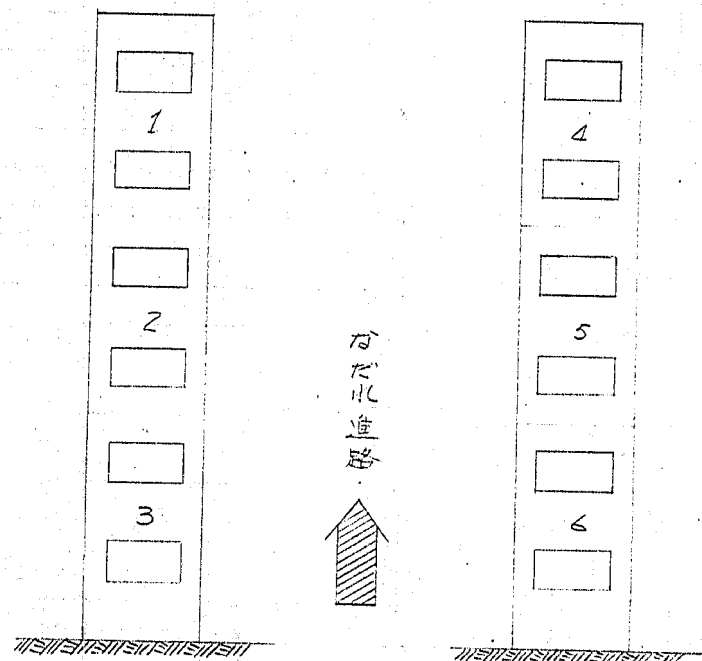
測定年月日 40年3月14日

7



衝撃圧測定結果

1965.3



39.3.15 ~ 39.9.25

春の全層おだ水

受圧板 ナンバー	アルミ板 ナンバー	アルミ板 深長(mm)	荷重(t)	0.75mm ² 当り の荷重(t)
1	51	259	3.96	24.11
		319	4.20	
	52	4.51	7.55	
		4.76	8.40	
2	53	3.82	5.75	17.72
		4.25	6.90	
	54	2.28	2.42	
		2.41	2.65	
3	55	0.46	0.13	2.48
		1.07	0.80	
	56	1.07	0.80	
		0.48	0.45	

受圧板 ナンバー	アルミ板 ナンバー	アルミ板 深長(mm)	荷重(t)	0.75mm ² 当り の荷重(t)
4	45	3.24	4.35	23.65
		2.49	2.80	
	46	5.31	10.25	
		4.01	6.25	
5	47	2.27	2.40	6.18
		2.40	2.65	
	48	0.84	0.58	
		0.91	0.55	
6	49	0.35	0.20	1.24
		0.68	0.44	
	50	0.34	0.20	
		0.62	0.40	

39.12.1 ~ 40.3.12

40.2.30 頃の自然な欠け

受圧板 ナンバー	アルミ板 ナンバー	アルミ板 深長(mm)	荷重(t)	0.75m ² 当り の荷重(t)
1	63	3.83	5.92	29.87
		3.72	5.70	
	64	4.19	6.50	
		5.81	11.75	
2	65	3.22	4.32	19.09
		4.94	9.12	
	66	1.78	1.70	
		3.07	3.95	
3	67	2.42	2.68	18.23
		4.17	6.45	
	68	2.54	2.90	
		3.99	6.20	

受圧板 ナンバー	アルミ板 ナンバー	アルミ板 深長(mm)	荷重(t)	0.75m ² 当り の荷重(t)
4	57	3.72	5.71	24.41
		4.07	6.28	
	58	3.60	5.18	
		4.37	7.24	
5	59	2.61	3.00	15.05
		4.15	6.43	
	60	2.81	3.47	
		2.11	2.15	
6				

40.3.12 ~ 40.3.14

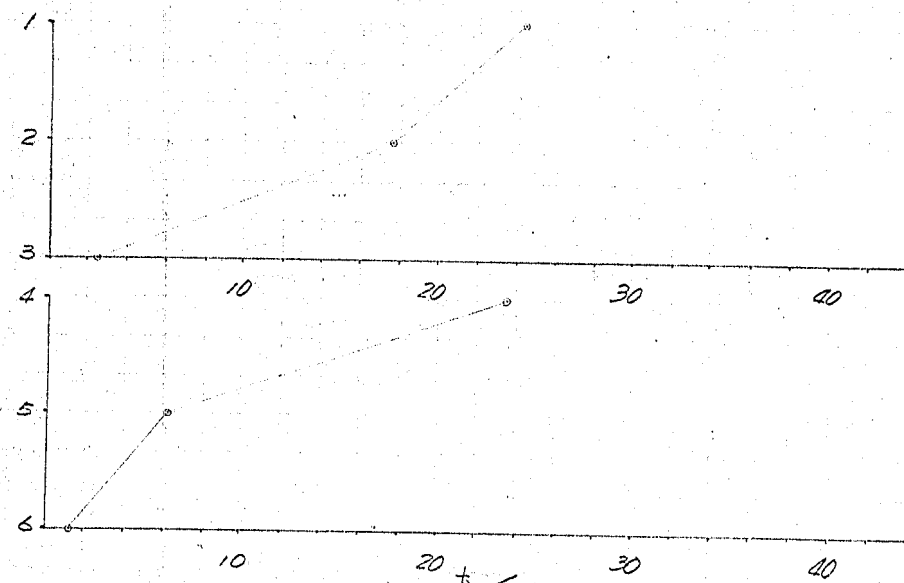
40.3.14 第二回人工な欠け実験

受圧板 ナンバー	アルミ板 ナンバー	アルミ板 深長(mm)	荷重(t)	0.75m ² 当り の荷重(t)
1	117	5.05	9.32	32.04
		5.37	10.50	
	118	4.73	8.32	
		3.02	3.90	
2	119	2.39	2.62	8.37
		1.90	1.91	
	120	2.22	2.38	
		1.67	1.46	
3				

受圧板 ナンバー	アルミ板 ナンバー	アルミ板 深長(mm)	荷重(t)	0.75m ² 当り の荷重(t)
4	111	2.55	2.96	9.36
		2.37	2.60	
	112	2.16	2.20	
		1.71	1.60	
5	113	0.91	0.70	1.96
		0.57	0.36	
	114	0.73	0.48	
		0.67	0.42	
6				

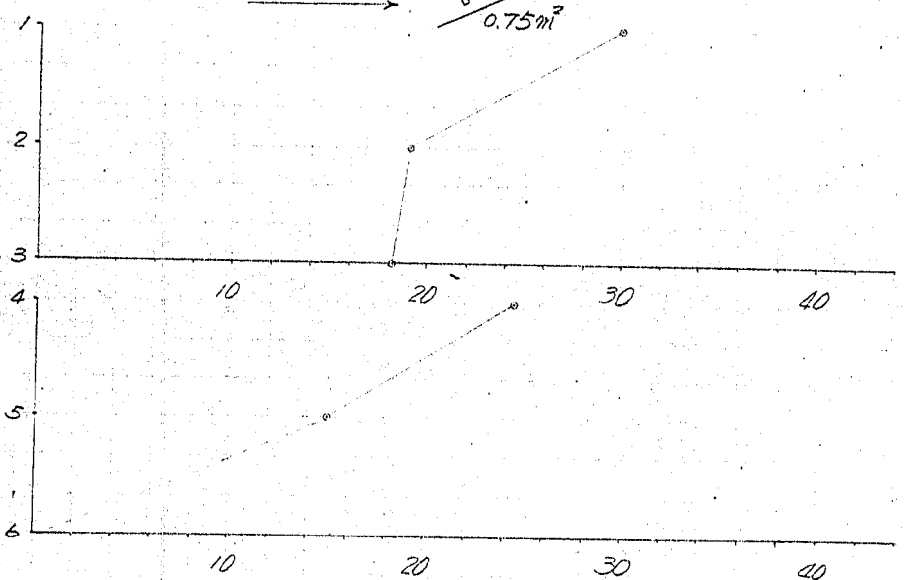
39.3.15 ~
39.9.25

(春の全層月排水)



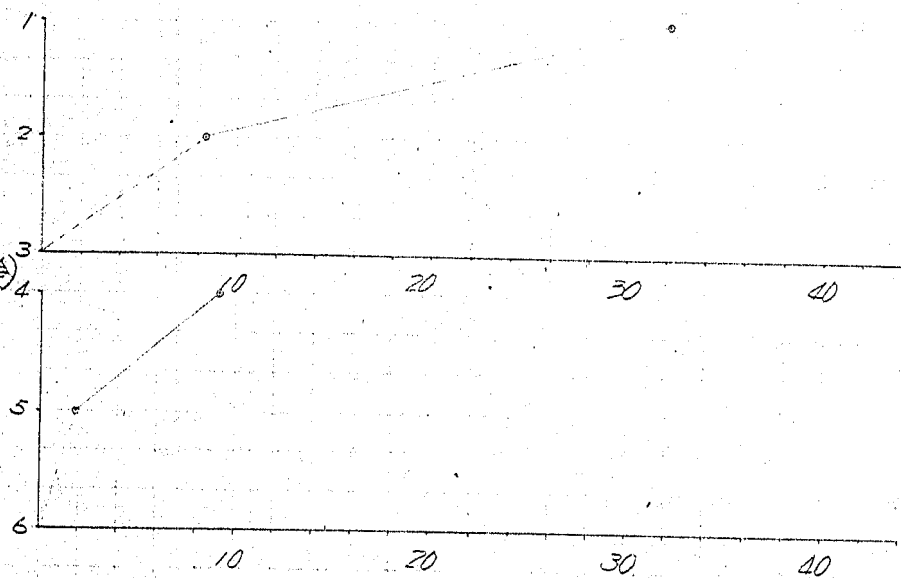
39.12.1 ~
40.3.12

(40.2.30 頃の自然
月排水)



40.3.12 ~
40.3.14

(40.3.14 午=1回
人工排水試験)



スノーシェッド荷重測定結果

1. 実験実施日時

昭和40年3月14日(日) 16:10

2. 実験場所

新潟県妙高高原町内温泉

建設省土研研究所ナグレ実験場

3. 荷重測定対象

川崎製鉄製スノーシェッド

4. ナグレ型式

5. 荷重測定方法

抵抗線歪計式ロードセルによる動的測定

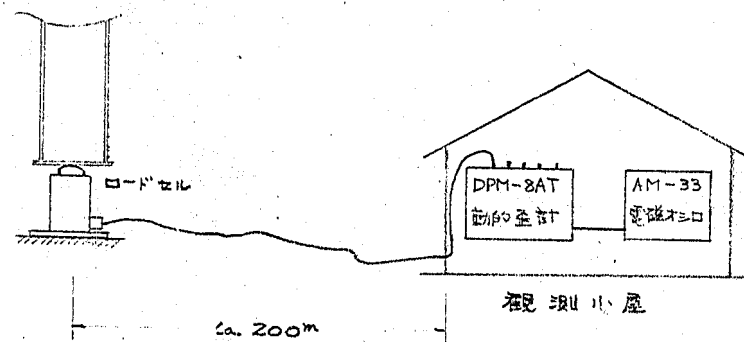


図-1 測定器配置図

図-2 スノードホールド略図

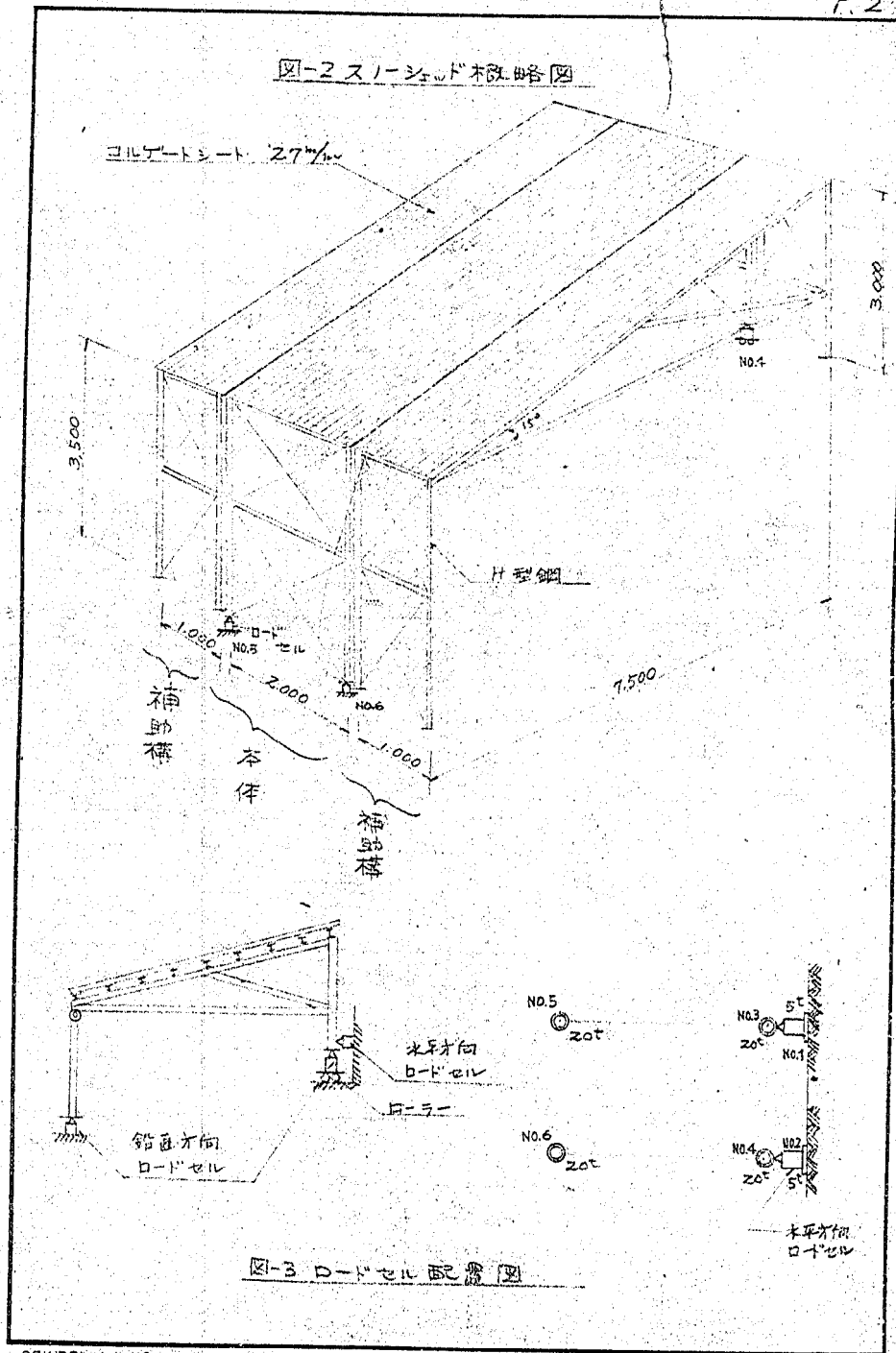


図-3 ロードセル配線図

Data

表 - 1

位置番号	計器番号	容量	3.000M cali	full scale の値	1mm 当り荷重
1	51954	5 ⁺	50.0 ^{mm}	2954	0.1015 ⁺
2	51955	5 ⁺	54.5	2952	0.0933 ⁺
3	51958	20 ⁺	80.7	2808	0.264 ⁺
4	51960	20 ⁺	81.5	2826	0.260 ⁺
5	51959	20 ⁺	79.0	2841	0.268 ⁺
6	51957	20 ⁺	78.5	2772	0.276 ⁺

オミロパー - パー 送り速度 : 10 cm/sec

6. 測定結果

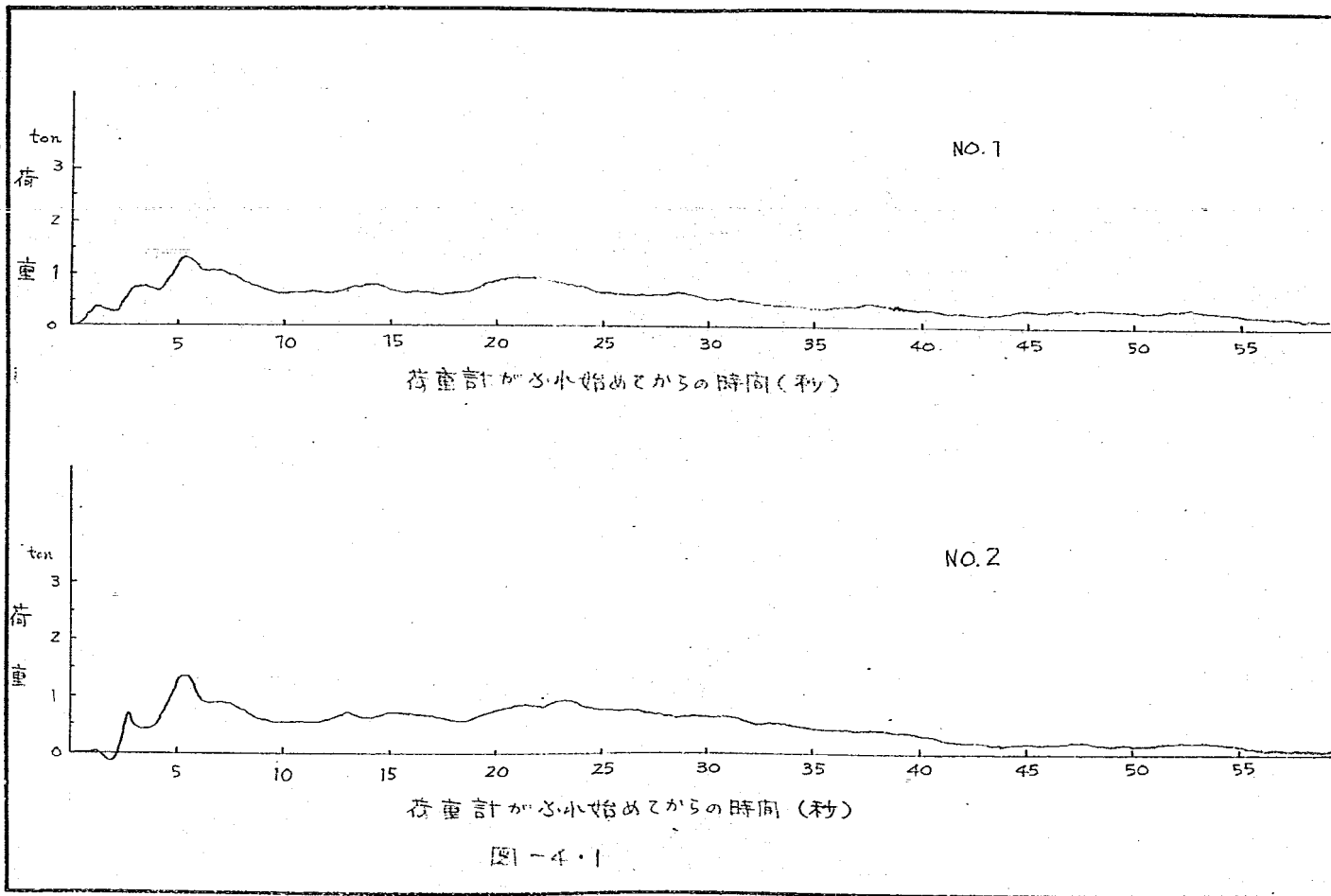
最大荷重 : 表 - 2

表 - 2 最大荷重

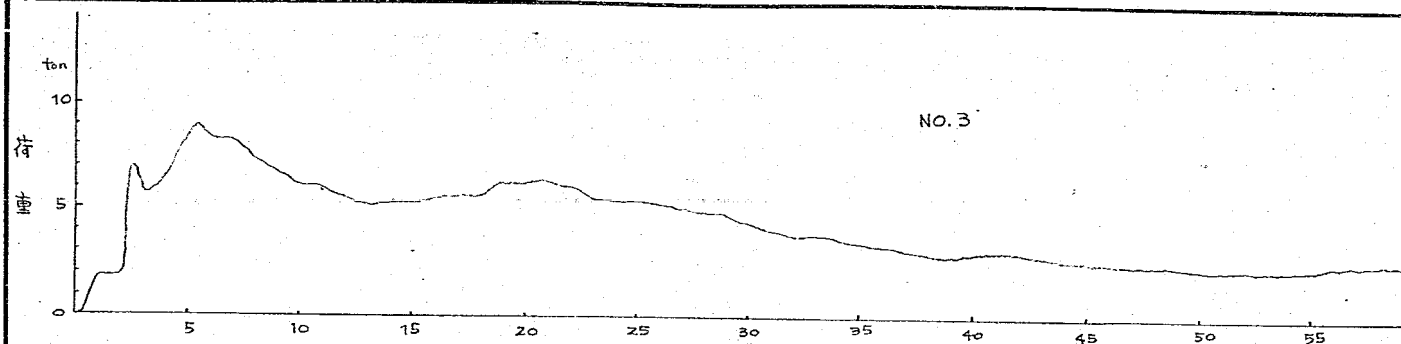
位置番号	最大荷重	最大荷重に* 達した時刻	備 考
1	1.3 ton	5.5 sec	comp.
2	1.4	5.2	"
3	9.0	5.5	"
4	8.3	5.3	"
5	4.9	5.6	"
6	6.2	5.6	"

* 荷重計が振れ始めた時刻を0とする

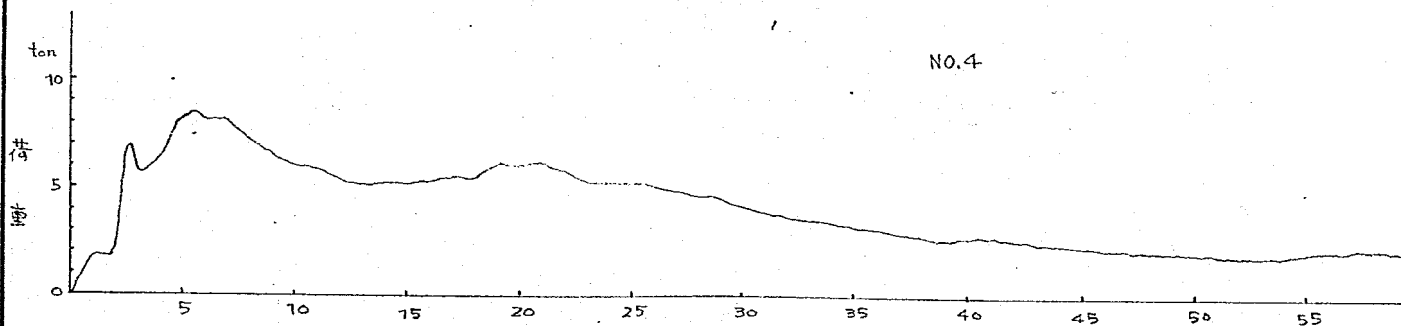
荷重の時間的経過 : 図 - 4



SEKIREI A4 NO. 54



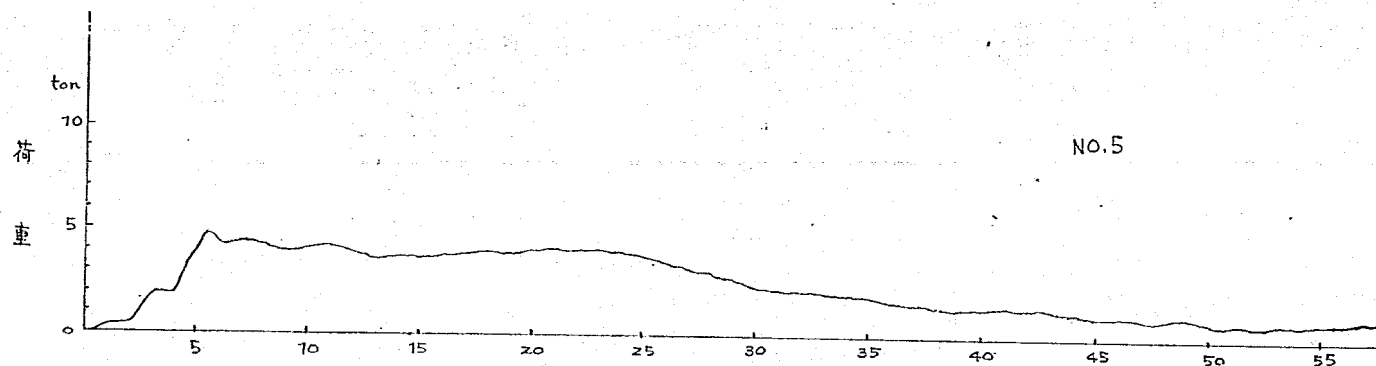
荷重計が氷に始めてからの時間 (秒)



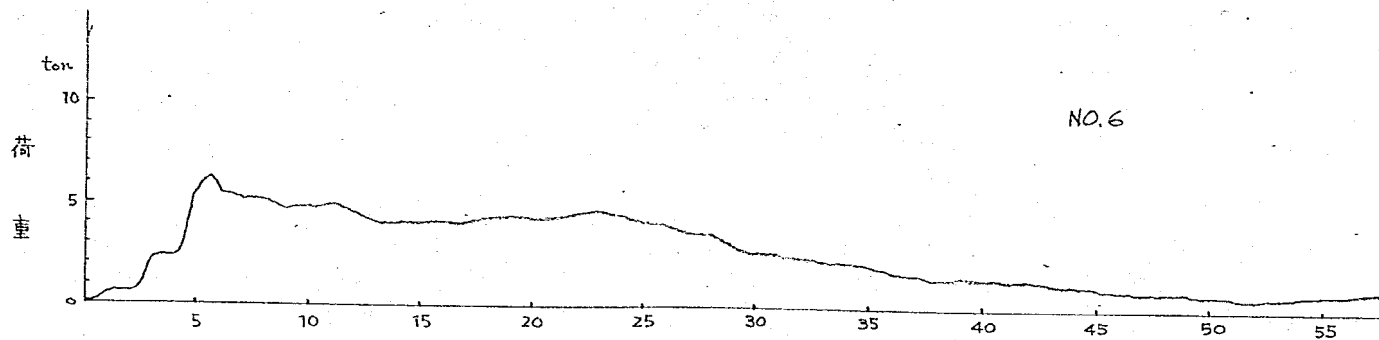
荷重計が氷に始めてからの時間 (秒)

図1-4.2

P. 5



荷重計がふれ始めてからの時間(秒)



荷重計がふれ始めてからの時間(秒)

7. 考察

1. 山側ロードセルに加わる加重の才が谷側ロードセルに加わる荷重よりも大きい。
2. 山側左右のロードセルの受ける荷重は、大まか、時間的経過共ほぼ同じである。
3. 川側左右のロードセルの受ける荷重は、大まか、時間的経過共ほぼ同じである。
4. 水平才向のロードセルは圧縮荷重を受ける。
5. 最大荷重に達する時刻は、ナガシカスーシェッドに達してから約5〜6秒後である。
6. 最大荷重を積雪量に換算すると約 6 m となる。(雪の比重を 0.5 とする)
7. 特に著しい衝撃的荷重は認められない。

なだれ防御の力学

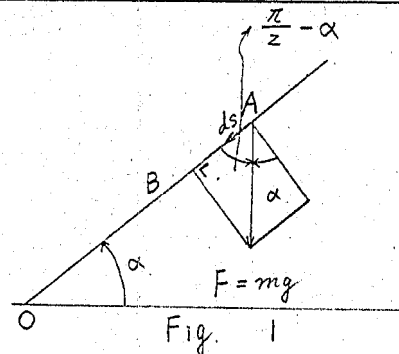
本文は、スノウシェッド(Snowshed, 雪おおい)の計画と設計とを行うに
当って、座右にあると便宜なもの、いいかえれば、その構造

- 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, なだれ荷重, 積雪荷重, 等の大きさや方向と
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 なだれの衝撃力を緩衝し, 軽減するための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. なだれの大きさのエネルギーによる表示
 2. なだれがなだれ落ちる質点の運動の方程式
 3. スノウシェッドの上を通過するなだれの軌跡の方程式
 4. スノウシェッドの上を通過するなだれの速さによる荷重の大きさ,
 5. スノウシェッドにかかるなだれの衝撃力荷重の算定
 6. スノウシェッドの構造計算
 7. なだれの衝撃力を緩衝する緩衝の基本的計算
 8. なだれの衝撃力を緩衝するコイルばねの基本的計算
 9. なだれの衝撃力を緩衝する緩衝装置の基本的計算
 10. なだれ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る。

I なたれ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の質点の運動によってなされた仕事 W
 勾配 α のなたれの斜面がある。その斜面上に単位質量 m_0 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_0 に作用する
 力 F は、 $m_0 g$ である。この力 F のために、質点 m_0 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、

$$\begin{aligned} dW_0 &= F \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot ds \\ &= m_0 g \cdot \sin \alpha \cdot ds \end{aligned} \quad (1)$$

である。

質点 m_0 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。

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_A^B m_0 g \cdot \sin \alpha \cdot ds \\ &= \int_A^B \left\{ (m_0 g \cdot \sin \alpha)_x \cdot dx + (m_0 g \cdot \sin \alpha)_y \cdot dy + (m_0 g \cdot \sin \alpha)_z \cdot dz \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

いかえれば、 $F = m_0 g$ 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_0 に作用する斜面
 に沿っての運動摩擦力 F_μ は、

$$F_\mu = \mu_k \cdot m_0 g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

である。この運動摩擦力 F_μ の作用点である質点 m_0 が、斜面に沿った
 微小距離 ds だけ移動したため、この運動摩擦力 F_μ によってなされた微小
 仕事 dW_μ は、

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

である。

質点 m_u 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、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。

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

いいかえれば、 $F_{\mu} = \mu_k \cdot m_g \cdot \cos \alpha$ の経路 AB 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の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で得られる。

すなわち、

$$W' = W_0 + W_{\mu} \tag{6}$$

であって、したがって、

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

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_u 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_v の質点は、

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

であって、 m_v 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。

それゆえ、体積力を考えた場合の仕事は、式(8)を式(7)に代入して、

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

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、なだけれが、しばしば発生する斜面を考える。この斜面に発生するなだれの大きさも、なにかの Index で表現しようとするのが、ここで考えようとする目的である。発生するなだれの大きさは、なだれ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、なだれが発生した場合に、そのなだれ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えると、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、なだれ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の特別解

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次元問題であると考え、より簡単になる。

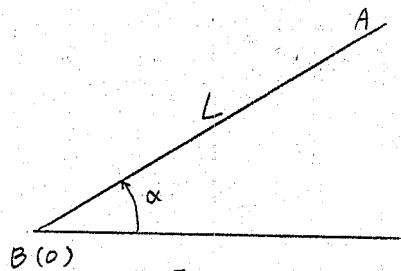


Fig. 2

- ② 積雪の単位体積重量が、なだれの発生地から法尻まで、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 この斜面の積雪の層の厚さ、深さを D として、斜面について一定であるとする。

- ⑥ この斜面についての中 B は、前述のように、最初2次元問題として考えていくのだから、一応、単位中とする。

- ⑦ この斜面の雪の層と斜面との間の運動摩擦係数 μ_k は、この斜面において、なだれの発生から法尻付近における安定まで、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重の累重積分であった式(9)は、

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

となる。式(10)の各項のそれぞれ2回づつの線積分を行うと、

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

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。

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

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

あるいは、式(11)を、

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \cdot W \cdot D \cdot L \cdot L \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot \mu_k \cdot W \cdot D \cdot L \cdot L \cdot \cos \alpha \\ &= \left(\frac{1}{2} \right) \times (\sin \alpha) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) - \left(\frac{1}{2} \right) \times (\mu_k \cdot \cos \alpha) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \\ &= \left(\frac{1}{2} \right) \times (W \cdot D \cdot L \cdot 1) \times (L) \times \{ (\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha) \} \\ &= \left(\frac{1}{2} \right) \times (\text{斜面のなだれ落ちる積雪の層の全体積} \times \text{その積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \\ &\quad \times (\text{斜面延長 in m}) \times \{ (\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha) \} \quad (13) \end{aligned}$$

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を利用する場合も、実際には多くと考えられるので、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、

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

となる。

さうに、式(13)は、

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

$$= \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面のなだれ落ちる積雪の層の全体積} \times \text{積雪の層の単位体積重量 in kg-wt}) \times \left\{ (\text{なだれ落ちる標高差}) - (\mu_k)(\text{なだれ落ちる水平距離}) \right\} \quad (15)$$

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れ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 単位を使用した、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 (1 kJ) で表示することにできる。そうすれば、その量の 10 の冪指数の大小によって、なだれ力学的分類の 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、厚く謝礼を申し上げる。

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、妙高人工なだれ実験斜面について、適用してみると、つぎのようになる。

なだれ落ちる積雪の層の深さ、厚さ $D = 1.5 \text{ m}$,

その巾 $B = 40 \text{ m}$,

その斜面延長 $L = 300 \text{ m}$,

その斜面勾配 $\alpha = 35^\circ$,

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

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 $V = D \cdot B \cdot L$

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

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

この斜面のなだれ落ちる積雪の層の全重量 W

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

$$= d \cdot V$$

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

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

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

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

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

$$= 0.2$$

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

である。そこで、これを式(13)にそれぞれ代入すれば、

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

$$= (\text{斜面のなだれ落ちる積雪の層の全重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面延長 in m})$$

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

$$= 9,000 \text{ kg-wt} \times 300 \text{ m} \times 2 \times 10^{-1}$$

$$= 540,000 \text{ kg-wt} \cdot \text{m}$$

$$= 5.4 \times 10^5 \text{ kg-wt} \cdot \text{m}$$

(16)

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。

$$1 \text{ kg-wt} \cdot \text{m} = 1 \times (10^3 \times 980 \text{ dyne}) \times (10^2 \text{ cm})$$

$$= 1 \times 980 \times 10^5 \text{ erg}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \times 9.8 \times 10^7 \text{ erg} \\
 &= 1 \times 9.8 \text{ joule} \\
 &= 1 \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ kilo joule}
 \end{aligned}$$

(17)

であるから、式(17)の関係を、式(16)に代入すれば、

$$\begin{aligned}
 W &= 5.4 \times 10^5 \text{ kg-wt} \cdot \text{m} \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ Kj/kg-wt} \cdot \text{m} \\
 &= 5.4 \times 9.8 \times 10^2 \text{ Kj} \\
 &= 5.4 \times 10^3 \text{ Kj}
 \end{aligned}$$

(18)

となる。

すなわち、この 10^3 の冪指数を、エネルギーで表示したなだれの大きさのIndexとするのである。

いかえれば、妙高人工なだれ実験において発生したなだれの大きさ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、地上立体写真測量の電子計算機による計算と解析の結果、19,390 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、なだれの大きさを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をも示すことと外ならない。

さうに、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、つぎのようになる。

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

その巾 $B = 25 \text{ m}$,

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 $\alpha = 0.500 \text{ kg-wt/m}^3$,

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、

$$W = \left(\frac{1}{2}\right) \times (\text{斜面のなだれ落ちる積雪の層の全体積} \times \text{その積雪の層の}$$

$$\text{単位体積重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面延長 in m}) \times \{(\sin \alpha) - (\mu_k \cdot \cos \alpha)\}$$

$$= (\text{斜面のなだれ落ちる積雪の層の全重量 in kg-wt}) \times (\text{斜面}$$

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

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

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

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

(19)

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、この関係をも、式(19)に代入すれば、

$$\begin{aligned} W &= 8.4 \times 10^4 \text{ kg-wt} \cdot \text{m} \times 9.8 \times 10^{-3} \frac{\text{KJ}}{\text{kg-wt} \cdot \text{m}} \\ &= 8.4 \times 9.8 \times 10^1 \text{ KJ} \\ &\approx 8.4 \times 10^2 \text{ KJ} \end{aligned}$$

となる。

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ものの大きさのIndexとするのである。

いいかえれば、上越三俣人工的な実験において発生したものの大きさMagnitudeは、2であるというのである。

2. なだれ雪のなだれ落ちる質点の運動の方程式

積雪のある斜面をなだれがなだれ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

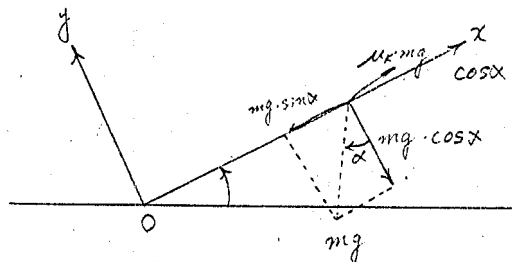


Fig. 1

運動として考える。そうすれば、質量 m なる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、 $\mu_k \cdot mg \cdot \cos \alpha$ である。そしてこれは、 x 軸の正方向に働く。

x 軸方向の運動方程式は、

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

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

t に関して積分して、

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

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

積分定数 C を決定するため、初期条件 $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=0} = 0$ を(2)に代入すれば、

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

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

ここで、斜面の勾配 α と運動摩擦係数 $\mu_k = \tan \varphi_k$ とに関して二つの場合が考えられる。

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

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 t の増加する一方で、それが0となることはない。それゆえ、質点の

すべり落ちの運動は、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、

$$\frac{dz}{dt} = gt (\mu_k \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (15)$$

の形になって、その右辺は正となる。

7. なだ水、衝撃力を緩衝する緩衝の基本的計算

なだ水がなだ水落ちて、なだ水の防衛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、一定、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、どの程度のものであるのか、また、微小時間作用するとは、相対的に、どの程度のものであるのか、あまり明確な定義はない。

人工なだ水実験によって、スノウシェッドの本体、各支柱、等に埋設されたロードセルに知れた荷重を、オシログラフペーパーからみると、その縦軸荷重 P と横軸時間もとについて、 $\frac{dP}{dt}$ の値が、大きければ、大きい程、衝撃的作用が大きい力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、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、 $m v_0$ or $\frac{W \times v_0 \times l}{g} dt \cdot v_0$ で表わされる。そして、その衝突の瞬間に、その運動量 $\frac{W \times v_0^2 \times l}{g} dt$ が、瞬間的に失われることになるを考える。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ない。

具体的な数値を代入すると、なだ水の単位体積重量 $W = 500 \text{ kg-wt/m}^3$ 、重力の加速度 $g = 98 \text{ m/sec}^2$ 、なだ水の速度 $v_0 = 13 \text{ m/sec}$ として、その運動量 $m v_0$ は、 $m v_0 = \frac{W \times v_0^2 \times l}{g} dt = \frac{500 \text{ kg-wt/m}^3 \times 13^2 \text{ m}^2/\text{sec}^2 \times 1 \text{ m}}{98 \text{ m/sec}^2} dt = 8,600 \text{ kg-wt} \times dt$ となり、これだけの運動量が、失われなければならない。いいかえれば、これだけの力積に相当する力が作用しなければならない。

もし、作用する時間 dt が 1 sec であれば、 1 m^2 当り、約 8.6 ton の力が保

用するのに対して、 $\frac{1}{10}$ secであれば、1 m² 当り、約 86 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、作用する時間に逆比例するのである。作用する時間が0ならば、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 m² 当りに、この程度の衝撃力が作用する場合に、なだれが方向を変えて、その運動量を減小することもあるし、また、スノウシェッド、等の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の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、合理性も考慮して、この場合に作用する力の最大値を、可能な限り軽減し、緩衝するため、その作用する時間を可能な限り、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、第一に考えらるものは、ばねである。ばねは相当変形することができ、しかも、その変形を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。

つまり、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} 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} を一定におきえておいて、 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ないかを、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、

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

であったのが、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のする仕事は、

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

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。その反作用としての力 P は、 x の増加する方向と反対に、いかえれば、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、等号が成立するのは、すべての x について、

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

すなわち、 P がば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、二水が、一般的な場合であって、

$$P = \text{Const}$$

(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 $\frac{d^2x}{dt^2}$ であって、それらの間の関係式は、

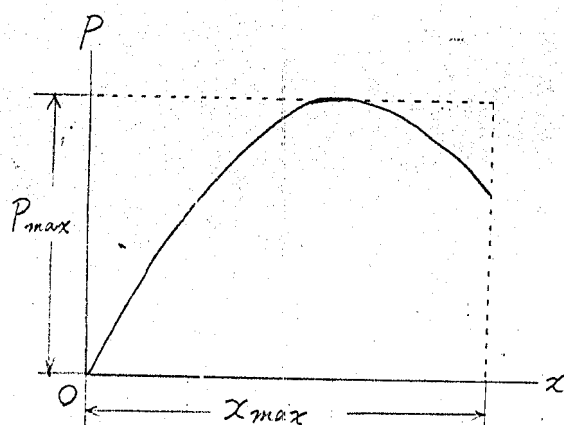


Fig. 1

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

(8)

である。式(8)を、

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -\frac{P}{m} \\ &= -b \end{aligned}$$

(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、

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

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

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

を、式(9)に代入する。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速度 $\frac{dx}{dt}$ を v_0 とすることである。

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、

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

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

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、当然のことながら、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、ばねと抵抗とを並列に入れてもできる。この後者の場合に

ついで計算は、つぎのようにすればよい。いま、ばね定数 K はねと、沈下速度 $\frac{dx}{dt}$ が v のとき Cv だけ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、題意によって、

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

である。式 (17) に、式 (16) と式 (12) とを代入すれば、

$$\begin{aligned} P &= Kx + C\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \\ &= K\left(v_0 t - \frac{b}{2} t^2\right) + C(v_0 - bt)^2 \\ &= Kv_0 t - K\frac{b}{2} t^2 + Cv_0^2 - C \cdot 2v_0 bt + Cb^2 t^2 \\ &= Cv_0^2 + (K - C \cdot 2 \cdot b)v_0 t + \left(-K\frac{b}{2} + Cb^2\right)t^2 \end{aligned} \quad (18)$$

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、いま考慮する意味がないから、

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

とすると、

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

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

でなければならない。

式 (20) と式 (21) とからは、おなじ条件、

$$K = 2Cb \quad (22)$$

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

$$P = Cv_0^2 \quad (23)$$

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。

つまり、一般の緩衝装置について、受け入れる運動のエネルギー $\frac{1}{2} m v_0^2$ 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、

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

なる量を考えると、

$$\eta = \frac{\left[M \cdot \left(\frac{L}{T} \right)^2 \right]}{\left[M \cdot \frac{L}{T} \cdot L \right]} = 0 \quad (25)$$

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 との間にあることもわかる。理想的な場合には、 $\eta = 1$ である。それゆえ、 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。

ば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、ばね定数 K と衝程 x との函数であって、

$$P = K x \quad (26)$$

で、表わされる。

式(6)の不等号の左辺に、式(26)の関係を代入すると、

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

が得られる。また、式(26)から、

$$P_{max} = K x_{max} \quad (28)$$

も得られる。これから、式(27)と式(28)とを、式(24)に代入すると、

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{\frac{1}{2} m v_0^2}{P_{\max} x_{\max}} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} K x_{\max}^2}{K x_{\max}^2} \\
 &= \frac{1}{2}
 \end{aligned}$$

(29)

となる。いいかえれば、ばねだけを使用する緩衝装置では、緩衝効率 η は、50 percent であって、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 $\eta = 100\%$ となるものである。

以上は、衝撃力の速度が、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、これに続くのであって、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、ばね返りがあまり大きくなべことと、
 - ② つぎの衝撃力の作用に対する緩衝装置の学的準備が間に合うこと、
- の二つである。