スキー場における人工雪崩の発生条件とその運動

○上石　勲（(株) アルゴス雪氷技術センター)、早川典生（長岡技術科学大学環境建設系）
川田邦夫（富山大学理学部)、関　伸介（長岡技術科学大学)、山田正則（ARAI スキー場）
元村幸時（白馬コルチナ国際スキー場）

1．はじめに

少雪が続いている最近でもスキー場内やバックカントリースキー中の雪崩事故が発生している。雪崩対策には雪崩予防柵工などハード対策の他に、ソフト対策として雪崩コントロールが欧米を中心に行われてきた。その手法としては人工雪崩や雪崩予知システムなどがあり、日本でも最近になって一部のスキー場で新しい技術を応用したものが登場してきた。本研究ではこれらの現状とその効果を把握するため、人工雪崩実験や人工雪崩発生条件の整理、発生した人工雪崩の動態観測などについて実施してきた。

2．人工雪崩

2.1　人工雪崩の現状

ダイナマイトや大砲を利用して雪を人工的に落とす方法が欧米では古くから活発に行われてきた。。日本では法規制などの関係からスキー場の雪崩対策としては頻繁には行われていない。最近になってガゼックスと呼ばれるプロパンガスを爆発されて雪崩を発生させる装置が輸入され、新潟県新井市ARAI スキー場や長野県小谷村白馬コルチナスキー場で設置された。

2.2　ガゼックスによる雪崩誘発

①装置の仕組みと空気圧

ガゼックスはプロパンガスと酸素の混合ガスを斜面に設置した鋼製筒の中に引き込み爆発させ、雪崩を誘発する装置である（図 1)。その空気圧の測定ではガゼックス直下の斜面積雪上に最大で1000hpaの圧力が加わることがわかった（図 2)。

②ガゼックスによって誘発された雪崩

ガゼックスは毎年２０～３０回程度爆発させている（ARAI スキー場の例)。この爆発によって誘発された雪崩の流下状況の一例を図.3 に示す。雪崩の種類は面発生乾雪表層雪崩であり、発生区の雪崩厚1. 2m、流下距離500m、最大流下速度15m/s であった。

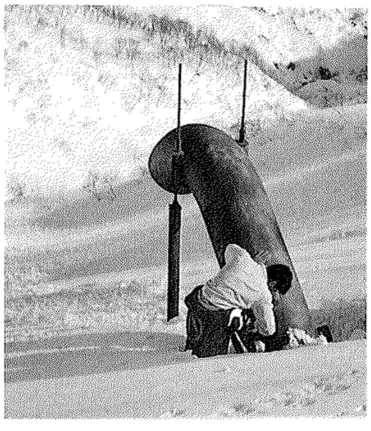

図１　ガゼックス
（ARAI スキー場）

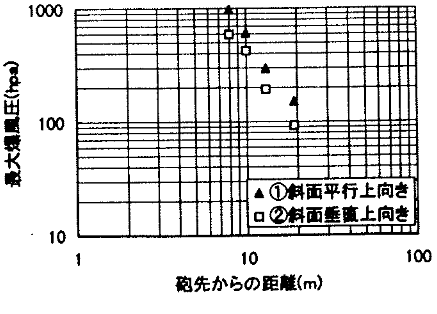

図２　ガゼックスの
爆風圧測定結果

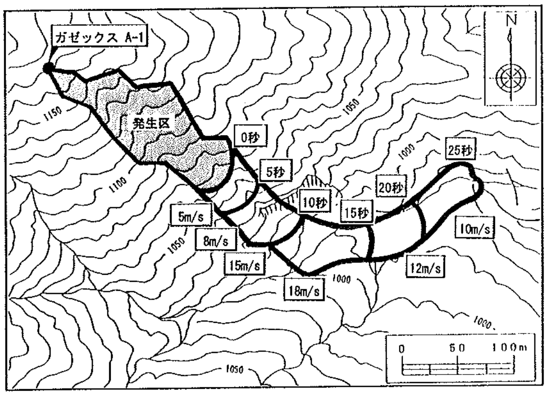

図３　誘発された雪崩の一例

③雪崩誘発の気象積雪条件

ガゼックス実施日の雪崩の発生、非発生について当日の降雪量、気温の条件別に整理したものが図４である。

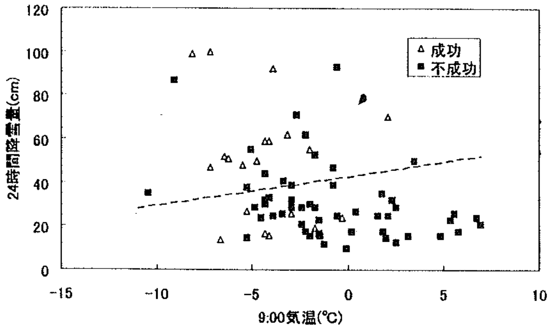

図４　ガゼックス実施日の降雪・気温条件

３．雪崩発生予測

3.1　雪崩予測システムの概要

白馬コルチナ国際スキー場では厳冬期には乾雪表層雪崩、融雪期には湿雪表層雪崩が発生する。当スキー場では雪崩災害を防ぐためにガゼックスを１基設置しているが、この他に気象積雪データを測定し、雪崩危険度をリアルタイムで判定するシステムを設置している（図５）。危険度はパトロール員のこれまでの経験から得られた雪崩発生のしやすい条件や積雪の安定化に関する条件を数字に反映させるようにしている。

3.2　雪崩危険度の算定方法

①気象積雪観測：積雪深、風向・風速、気温、雨量、日射を10分インターバルで測定している。

②データ解析：パトロールセンターのパソコンでデータを解析する。

③危険度算定式：

これまでパトロール員によるテストスキーによって発生させた100件以上のデータ（雪崩の有無、規模、種類などの記録）をもとに、これらと危険度が一致するように各種係数を調整している。

○コルチナ雪崩危険度　CD = ⊿CD×NSF + D1×SF

・D1:積雪深と累計降雪量 2要素(積雪深、降雪量)の危険度

経験・降雪量は増加するほど危険度が増える。・積雪深2.5m以上は増えても危険度は変わらない。

・不安定化係数　NSF = N_k + N_W

N_k:1時間降雪強度による係数　N_W:風による係数(北～西の風のみ)

経験・短時間に強烈に降れば降るほど不安定

・風が強ければ不安定だが、南～東よりの風の場合は逆にパックされ安定する

・SF:安定化減少係数

経験・降り止んでから半日程度で安定　・太陽がカンカン照りほど安定

図６はこのシステムで算定した危険度の変化とテストスキーによる雪崩の発生を示したものである。

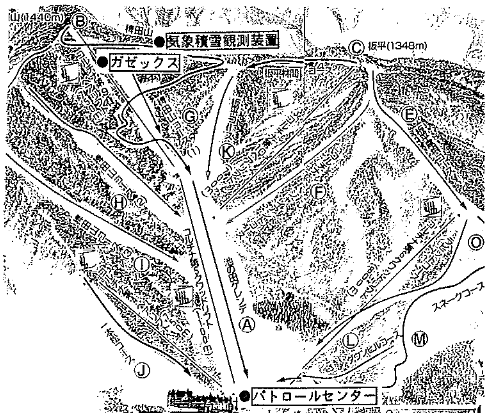

図５　白馬国際コルチナスキー場での雪崩コントロール

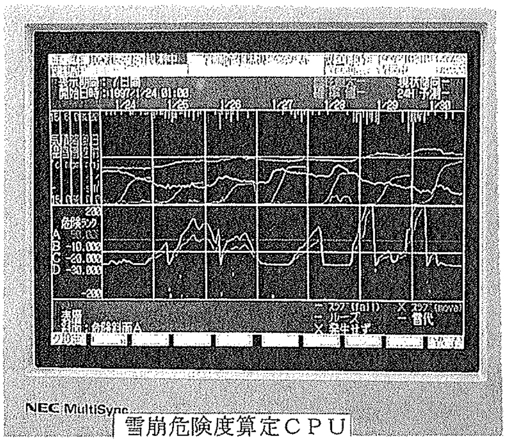

図６　雪崩危険度算定結果の一例

４．まとめ

ARAI スキー場や白馬コルチナ国際スキー場において行われはじめた雪崩コントロールはスキー場の現場関係者の経験と改良の努力によって、それぞれのスキー場に適したものができている。これらの研究については実際スキー場で応用されているが、集落雪崩災害防止の一つのヒントになるものと考えられる。