

I—26 PCスノーシェルターの最適設計について

室 蘭 工 業 大 学	正員	菅田 紀之
室 蘭 工 業 大 学	正員	杉本 博之
室 蘭 工 業 大 学	正員	尾崎 詔
ドービー建設工業(株)	正員	竹本 伸一

1. まえがき

北海道、東北、北陸地方では、その地域の性格上、冬期間の降・積雪により交通機能の低下をまねくことがあり防雪施設が必要となる。もし防雪施設がなければ経済的損失が大きくなってしまい、社会に与える影響も大きい。その防雪施設には雪崩対策用と吹雪・吹溜り対策用のものがあるが、本論文では吹雪・吹溜り対策用の施設について考えた。

吹雪・吹溜りを防ぐ防雪施設にはスノーシェルター、防雪柵、防雪林があり、それぞれの長所、短所について指摘されている¹⁾²⁾。これらの内スノーシェルターは最も完全な効果を発するが、建設費が高い、通行者に圧迫感を与える、路面の乾燥が遅いなどの短所もあわせ持っている。しかし、除雪困難なトンネル抗口または、広大な吹溜り域を持つ両切土部のように防雪柵、防雪林では防止できないような箇所に建設が進められている。

スノーシェルターは経済性および架設時の施工性を考慮し、できるだけ軽量であることが望ましく、本論文ではスノーシェルターの最小重量設計に、設計における「意思決定」のための有力な手段としての最適設計法を応用することにより重量の最小化を試みた。

これまでに、半円形3ヒンジアーチのスノーシェルターの最適設計について示したが³⁾、ここでは半円形および2次放物線の3ヒンジ、2ヒンジ、フィクストアーチの設計に最適設計法を応用し、それぞれについて比較検討を行った。

2. スノーシェルターについて

スノーシェルターは道路を覆って雪から完全に隔離することにより、道路上の吹雪・吹溜りの発生を防止する構造物である。

構造形式としては図-1に示すようにアーチ型、かまぼこ型、腰折型、門型等がある。又、従来はほとんどが鋼製であったが、コンクリートの保温性による融雪効果、建設費や維持管理の経済性、自然との調和、安定性等の面からプレキャスト部材によるPCスノーシェルターが採用されるようになってきている。

アーチ型スノーシェルターには3ヒンジ、2ヒンジ、フィクストアーチが考えられるが、プレキャスト部

材の製作、現場での施工性の面から3ヒンジアーチが採用されている。断面形状としては外リブ構造と内リブ構造があるが、本論文では外リブ構造について設計を行った。

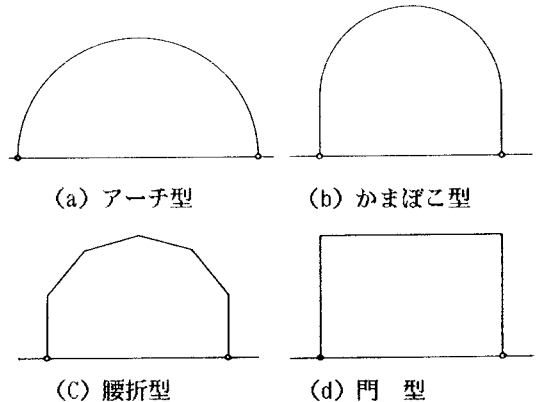


図-1 スノーシェルターの構造形式

3. 荷重条件について

設計荷重には死荷重(自重、D)、積雪荷重(SW)、地震荷重(EQ)等を考慮するが、積雪荷重に関しては図-2に示しているように通常の場合、片側から斜面雪圧を受ける場合、屋根上に雪底が発生する場

合や他にもいろいろ考えられるが、本論文では通常の積雪状態を想定して設計を行った。荷重条件としては部材製作時も考慮して、以下に示す3つを用いた。

荷重条件-1 : 図-3(a)に示すように、半スパンを置いた状態でプレストレスが導入されていて、自重だけが作用している。(D)

荷重条件-2 : 図-3(b)に示すように、スノーシェルター完成後に雪が満載した場合で、雪の平均密度 w を 0.35t/m^3 とし積雪深 h の雪荷重を想定する。自重と積雪荷重が作用している。(D+SW)

荷重条件-3 : 図-3(c)に示すように、スノーシェルター完成後に雪が半載した状態で、水平震度 $k_h=0.2$ の地震が発生した場合。自重と積雪荷重と地震荷重が作用している。(D+SW/2+EQ)

以上の荷重条件-1、2、3に対して構造解析を行い、設計をする。

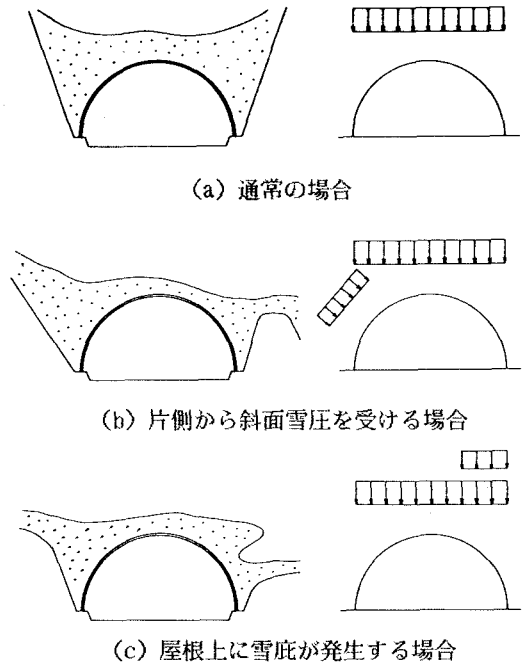


図-2 雪荷重

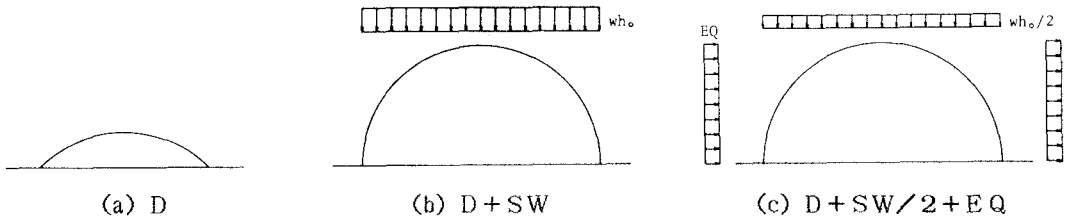


図-3 荷重

4. スノーシェルターの最小重量設計法

最適設計法を簡単に表現すると、つぎのようになる。

$$\text{制約条件} : g_j(x) \leq 0, \quad j=1, m \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{目的関数} : f(x) \longrightarrow \min \quad \dots\dots (2)$$

ここで $\{x\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$: 設計変数

上式を満足する $\{x\}$ を求める

以上において設計変数は設計者が決定しようとする値で、断面寸法、材料の種類、各種寸法が対応する。制約条件は設計上、守らなければならない条件で、応力、寸法、変位等に関する制約である。目的関数は一般に設計対象構造物の重量になり、重量の最小化が目的となることが多いが、他にコスト、安全性なども目的関数となりうる。

本設計では制約条件に、各荷重条件毎に計算された応力に関する制約およびプレストレス作用位置 e がリブ高 h と矛盾しないための条件を考慮した。それぞれの応力とプレストレス作用位置の制約条件式は次式のようにした。

$$\begin{array}{lcl}
 \text{荷重条件-1} & : & -31 \leq \sigma \leq 240 \quad (\text{kg/cm}^2) \\
 \text{-2} & : & 0 \leq \sigma \leq 200 \quad (\text{kg/cm}^2) \\
 \text{-3} & : & -39 \leq \sigma \leq 300 \quad (\text{kg/cm}^2) \\
 \text{プレストレス作用位置} & : & h+10.0-e \geq 7.0 \quad (\text{cm})
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{lcl} \text{荷重条件-1} \\ \text{-2} \\ \text{-3} \end{array}} \right\} \dots\dots (3)$$

目的関数には総重量を用いている。

最適設計法は、実際には変換法、最適値探索法、直線探索法により構成されていて⁴⁾、本論文では、変換法に逐次二次計画法⁵⁾、最適値探索法に改良された可能方向法⁶⁾、直線探索法に黄金分割法で囲い込んだ後、多項式近似を用いる手法の組合せを使用した。

5. 数値計算結果

設計計算例には、図-4(a)、(b)のような2種類のアーチ形状を用い、断面形状には図-4(c)に示すものを用いている。また、コンクリートの弾性係数は 450000 kg/cm^2 、単位重量は 2.5 t/m^3 としている。

設計変数にはリブ高 h 、プレストレス作用位置 e およびプレストレス P 。をとり、 h と e の下限値を 10.0 cm としている。なお、構造解析にあたって半スパンを8分割し各要素を直線と仮定している。

図-5～8はフランジ幅 $B=0.8, 1.0, 1.2 \text{ m}$ のときの半円形および放物線アーチの各種積雪深による計算結果である。半円形アーチでは単位幅あたりの重量はフランジ幅が大きいほど小さくなっていて、積雪深とともに大きくなっているが、その他の値はフランジ幅が大きいほど大きくなっている。放物線アーチでは積雪

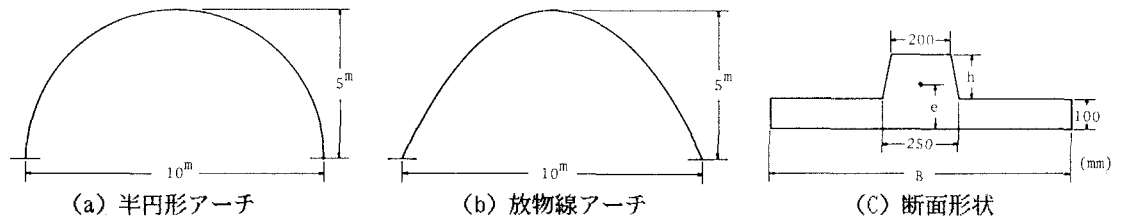


図-4 設計計算例

深に関係なく部材製作時の条件によって決まっているため一定値になっている。また、単位幅あたりの重量は放物線アーチのほうが小さい。

図-9～12はフランジ幅 $B=1.0 \text{ m}$ のときの3ヒンジ、2ヒンジ、フィックスアーチの計算結果である。半円形アーチでは、積雪深が $1, 2 \text{ m}$ で3ヒンジ、 $3 \sim 5 \text{ m}$ で2ヒンジが最小となっていて、2ヒンジとフィックスアーチのプレストレスは3ヒンジの値よりかなり大きくなっている。放物線アーチでは積雪深に関係なく一定

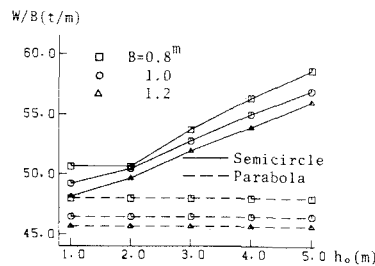


図-5 総重量と積雪深

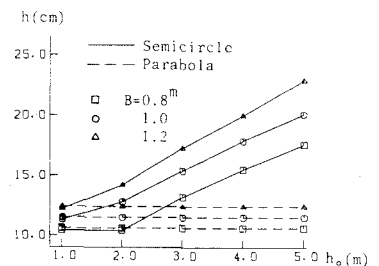


図-6 リブ高と積雪深

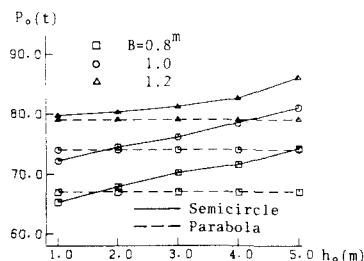


図-7 プレストレスと積雪深

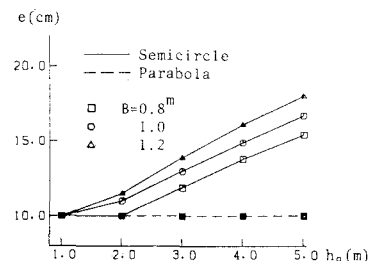


図-8 プレストレス作用位置と積雪深

値になっている。

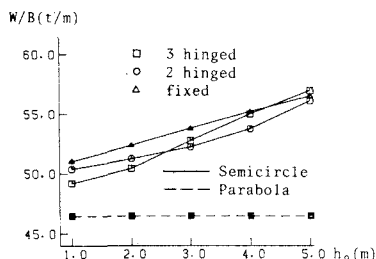


図-9 総重量と積雪深

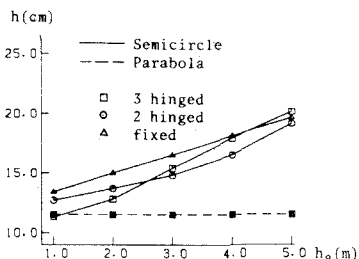


図-10 リブ高と積雪深

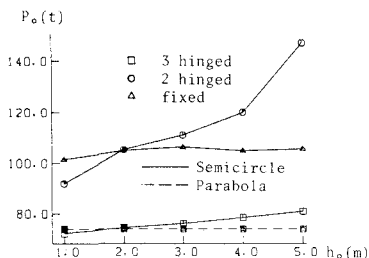


図-11 プレストレスと積雪深

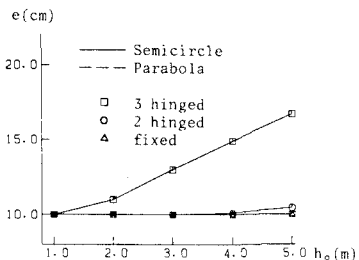


図-12 プレストレス作用位置と積雪深

6. あとがき

スノーシェルターの設計に最適設計法の応用を試みたが、本論文の条件下において次のことが得られた。

- (1) 重量を軽減するにはフランジ幅が広い方が有効である。
- (2) 半円形よりも放物線アーチを用いた方が重量を軽減でき、その差は積雪深とともに大きくなる。
- (3) 半円形アーチでは3ヒンジ、2ヒンジ、フィクストアーチでの重量の差はあまり大きくなく、2ヒンジとフィクストアーチで大きなプレストレスが必要となる。
- (4) 放物線アーチの重量は、積雪深に関係なく部材製作時の条件によって設計が決まっているため、一定値になり、設計変数も一定値になっている。

参考文献

- 1) 高速道路調査会、道路気象対策研究委員会：防雪施設に関する調査研究報告、1975。
- 2) 日本建設機械化協会編：新防雪工学ハンドブック、森北出版株式会社、1977。
- 3) 杉本博之・小野貴之・尾崎諒・竹本伸一：スノーシェルターの最適設計について、寒地技術シンポジウム、pp.251~256、1985。
- 4) Vanderplaats, G.N. and Sugimoto, H.: A General-Purpose Optimization Program for Engineering Design, Journal of Computers and Structures, will be published.
- 5) Vanderplaats, G.N. and Sugimoto, H.: Application of Variable Metric Methods to Structural Synthesis, Engineering Computations, Vol.2, No.2, pp.96~100, 1985.
- 6) Vanderplaats, G.N.: A Robust Feasible Directions Algorithm for Design Synthesis, 24th STRUCTURES, STRUCTURAL DYNAMICS AND MATERIALS CONFERENCE, 1983, Lake Tahoe (Nevada).