

本コーナーでは、PC 構造物やその技術に関して会員の知見をより広げるために、社会インフラとして幅広く利用されているさまざまなPC 技術を紹介します。

PC シェッド

村田 佳久*1・佐久間 眞澄*2

1. はじめに

皆さんは、山間地の道路を車で走っているときや、山間部を列車に乗って行く場合に、写真 - 1 のような道路や線路上を覆うトンネルに似た構造物をくぐりぬけたことはないでしょうか？



写真 - 1 シェッドの内部（道路）

シェッドとは、道路や鉄道、または民家などの保全対象物を、斜面で発生する落石・雪崩・崩壊土砂などから防護する構造物です。シェッドの意味は英語で shed（流す）、あるいは shade（日陰）を指していましたが、最近は shed（流す）の意味で使われていることが多くなっています。

一方、日本語では「覆道」もしくは「洞門」などと表されます。これとよく似た言葉にトンネルを表す「隧道」がありますが、覆道は道路上、もしくは線路上の空間に屋根状に設置する構造物、隧道は山岳等を掘削して空間を形成する構造物といえます。

2. シェッドの種類

図 - 1 に示すように、シェッドは構造的には大きく上部工と下部工に分けられます。

上部工は、斜面からの作用荷重を直接受け止める部分でありプレストレストコンクリート製（以下PC 製と呼ぶ）、鉄筋コンクリート製、鋼製があります。下部工は上部工を支え地盤に力を伝える部分であり、道路や線路の山側と谷側に別べつに作られることが多く、それぞれ山側受台、谷側受台と呼ばれています。構造は鉄筋コンクリート構造が

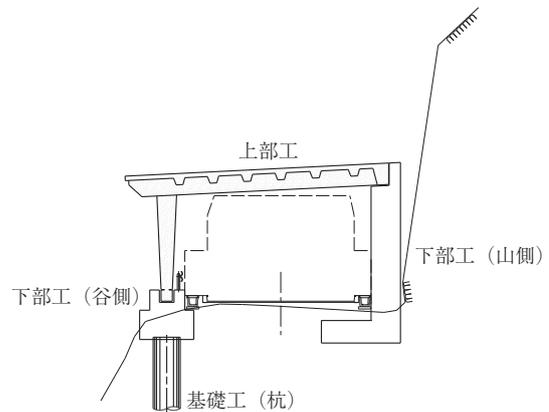


図 - 1 シェッドの構造

ほとんどです。岩盤等の支持地盤が浅い場合は直接基礎方式が採用されますが、支持地盤が深い場合には下部工の下に基礎工（杭）が施工されます。基礎工（杭）は山間地での施工性を考えて、場所打ち杭である深礎杭が採用されることが多くなっています¹⁾。

本稿ではこのようなシェッドのうちPC シェッドの上部工に関して、分類、歴史、要求される性能、設計方法、製作方法と施工方法、景観への配慮、最後に被災事例と補修方法を紹介します。

まず、PC シェッド上部工の分類ですが、作用荷重により大きく3つに分類され、構造形式によっても大きく3つに分類されます。

2.1 作用荷重による分類

PC シェッドは斜面からの作用荷重により、PC ロックシェッド（落石）、PC スノーシェッド（雪崩）、PC アースシェッド（土砂）と呼び方を変えています。それぞれ日本語で表記すると落石覆道、雪崩覆道、土砂覆道となります。この3者は、構造的にはそう大きな違いはなく、落石対応と雪崩対応を兼ねているシェッドもよく見られます。したがってPC ロックシェッドは雪崩を受け止められないかという点必ずしもそうではありません。これについては後述する設計方法の項でもう少し詳しく説明します。

また3者のうち、PC ロックシェッドには落石の直撃による衝撃力を緩和するための緩衝材を上部工の屋根部に敷くのが大きな特徴です。緩衝材には一般的に砂が用いられます。

*1 Yoshihisa MURATA：日本サミコン（株）技術本部

*2 Masumi SAKUMA：日本サミコン（株）名古屋支店

2.2 構造形式による分類

PC シェッド上部工の構造形式は主に逆L式、単純梁式、門形式があります。

逆L式は道路の谷側は柱部材、山側は下部工の壁構造となります。単純梁式は道路の谷側は柱部材もしくは壁構造、山側は壁構造となります。門形式は谷側も山側も柱部材となっています。山間地の斜面際での施工性のよさから現在はそのほとんどが逆L式です。写真 - 2は逆L式のPC シェッドです。



写真 - 2 逆L式のPC シェッド

逆L式のPC シェッド上部工は、構成部材から梁部材と柱部材に分けられます。ともにプレストレストコンクリート部材ですが、梁部材はプレテンション方式であり製作工場プレストレスを与え、柱部材はポストテンション方式であり現地で梁部材を設置した後に緊張力を与えます。

3. PC シェッドの歴史

シェッド建設の歴史は古く、明治時代にまでさかのぼることができますが、当時は鉄道の雪崩対策や吹きだまり対策として主に木造のスノーシェッドが設置されていました。しかしながら、維持費等の問題から防雪林のほうがよいという話もあり、防雪林の成長によりスノーシェッドが順次撤去されたとの記述もあります²⁾。このように、鉄道におけるシェッドは雪対策からはじまり構造は木造でした。

道路の落石・雪崩対策としてのシェッドも古くからあったと考えられますが、戦後の道路交通の発展に伴い本格的に建設されてきたのは昭和30年代に入ってからでした³⁾。

ただしこのころのシェッドはRCシェッドもしくは鋼製シェッドが主流でした。PCシェッドは、昭和27年にPC桁を使用したロックシェッドが建設されたのが最初であり、その後、昭和45年からシェッド専用の部材製作・施工も行われるようになりました。このあと、その施工面や経済面での優位性からPCシェッドは急速に実績を伸ばしていき、現在では大部分がPCシェッドとなっており、平成26年度までの総施工延長は100kmを超えると推定されます。

4. 要求される性能

シェッドに要求される性能とは、簡単に言えば落石・雪

崩・崩壊土砂・地震などの“作用荷重（要求）”に対し、通行車両や人など保全対象物を危険から防護できる“安全な状態（性能）”を保有することといえます。しかしその具体的な内容は実はそう単純な話ではありません。

なぜかといいますと、“作用荷重”の場合、規模については、大きな作用荷重、小さな作用荷重があり、頻度については、頻繁に起こる作用荷重、めったに起こらない作用荷重があります。これらを包括して作用レベル1, 2, 3, というレベルに分類します。

一方、構造物の“安全な状態”について考えると、使用限界状態、修復限界状態、終局限界状態という分類があります。使用限界状態とは、補修なしもしくは軽微な補修で引き続き供用が維持できる構造物の状態、修復限界状態は、現実的な費用と期間と技術の範囲で補修を行えば継続使用が可能な構造物の状態、終局限界状態は、防護する保全対象物の安全は確保されているが、すでに残存耐力は残されておらず引き続き供用が期待できない状態を示します。

さらに保全対象物にも重要度と言う概念があります。最重要構造物、重要構造物、通常構造物という分け方です。

これらの作用荷重レベル、防護施設の重要度、構造物の限界状態を組み合わせたロックシェッドの要求性能例を表 - 1に示します⁴⁾。

表 - 1 ロックシェッドの要求性能例

	最重要構造物	重要構造物	通常構造物
作用レベル1	使用限界状態	使用限界状態	修復限界状態
作用レベル2	使用限界状態	修復限界状態	終局限界状態
作用レベル3	修復限界状態	終局限界状態	-

構造工学シリーズ22
「防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物 - 基準体系の指針 -」土木学会 p21表 1.2に筆者が加筆

この表では、作用レベル1が作用した時には、最重要構造物では使用限界状態に保たなければならないという見方をします。このように、作用荷重の作用レベル、構造物の限界状態、保全対象物の重要度が合理的に定められたうえでこそ要求性能を表すことができるといえます。

5. 設計方法

次にPCシェッド上部工の設計方法について簡単に説明します。

まず作用荷重ですが、落石・雪崩・崩壊土砂は自然現象ですのでこれらの作用力を決めることは非常に難しいのですが、斜面の調査結果、過去の災害履歴等を参考にしながら関連の設計基準に則り作用荷重を決めます。おおよそですが、設計落石径は1~2m、設計積雪深は3~5m、設計崩壊土砂層厚は1~2m程度の値となることが多いです。

曲げモーメント、せん断力などの断面力の算出は、梁部材と柱部材で構成された二次元骨組解析を用いて行います。部材のコンクリートの設計基準強度は、部材の重量を軽くさせたいことや、プレストレスをたくさん導入したいことから $\sigma_{28} = 60 \text{ N/mm}^2$ とすることが多いです。

構造設計は、作用荷重の頻度から考えるとそう頻繁ではないことから、定められたひび割れ幅を許容する PRC 構造として設計します^{5,6)}。

設計時に考慮すべき荷重状態は、ロックシェッドでは落石時、スノーシェッドでは積雪時、雪崩時など、またアースシェッドでは堆積土砂時、崩壊土砂時などです。またどのシェッドでも地震時について検討を行います⁷⁾。しかし、ロックシェッドを積雪地に建設する場合は、落石と雪崩など二つ以上の作用力に対する安全性を兼ねているシェッドも多くあり、この時はもっとも大きい作用力に対し部材の寸法などを決め、呼び方も決めます。通常は落石荷重の方が大きいので、ロックシェッドと呼ばれるものでも雪崩には対応できることが多いですが、逆にスノーシェッドと呼ばれるものには屋根上に緩衝材が敷かれていないことがほとんどで、落石には対応できないことが多くなります。

設計時にもっとも気をつけるべき事項は、現地の道路や線路の線形に合わせて梁部材の割り付けを行うことです。平面線形ではクロソイド曲線や単曲線、縦断線形では縦断勾配やその変化点の緩和曲線、また幅員では拡幅区間があります。これらに対応するため、梁部材の形状が1本ずつ異なる寸法で設計することもめずらしくありません。複雑な線形の道路で部材が設計通りにおさまることは、PCシェッドの設計者としてやりがいを感じるどころです。

6. 製作方法と施工方法

次にPCシェッドの製作と施工について説明します。部材の製作はPC工場で行います。施工は、工場で作られた部材を運搬車で現地まで運んだあと、クレーンで吊り上げ組み立てて完成させます。

6.1 製作方法

部材製作はコンクリートの設計基準強度が大きいこと、また部材の重量が重いこと（梁部材1本あたり10～20t）、多量のプレストレスを導入すること（梁部材1本あたり2000～4000kN程度）から、これらの条件に対応できる設備の整った工場に限定されます。製作手順は、型枠の清掃→鉄筋加工組立て→PC鋼材配置→コンクリート打設→蒸気養生→プレストレス導入→脱枠→仕上げであり、通常この手順を1日1サイクルで繰り返します。仕上げが完了した部材は、工場内のストックヤードで養生し、コンクリートの強度を確認したうえで出荷となりま

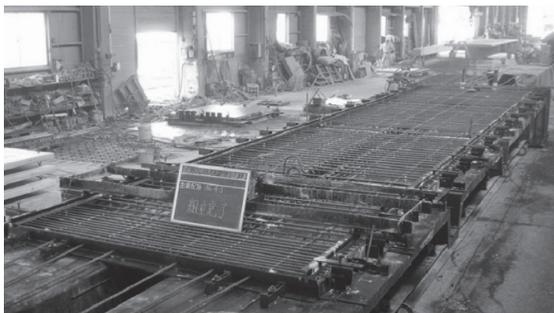


写真 - 3 主梁の配筋完了

す。写真 - 3 はコンクリート打設を待つ梁部材です。

製作でも設計と同じように部材の寸法管理が重要で、これを怠ると設計の項で説明したように道路や線路の線形と合わず、現地での架設ができなくなります。

6.1 施工方法

最後に現地での施工となりますが、工場で作られた部材を現地まで運搬します。その後、図 - 2 に示す手順で組

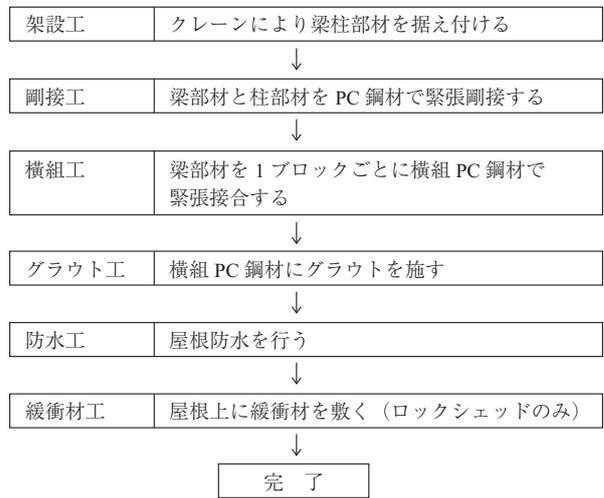


図 - 2 施工手順

み立てます。

部材の重量が重いことから、使用するクレーンの規格は100t吊級を使用することが多く、このクレーンを道路上に設置するため交通規制を行って部材の架設を行います。住民の生活道路や交通量が多い道路など、昼間の交通規制が難しい道路では、夜間の架設となります。写真 - 4 は吊り上げた梁部材を柱部材と山側受台に据え付ける直前の状況です。



写真 - 4 クレーンによる架設状況

架設工が終了すると、次は梁部材と柱部材をPC鋼材で緊張し両部材の一体化を行います。その後今度は隣り合う梁部材数本をPC鋼材で緊張し、梁部材を道路方向に一体化させるための横組工を行います。次に横組PC鋼材にグラウトを施し、屋根の防水工をして工事は完了となります。ロックシェッドでは防水工のあと、屋根面に砂などの緩衝材を敷き均します。

このように現地での施工は、プレキャスト部材の最大の

メリットを生かし短期間で完了することができ、延長50m程度のPCシェッドであれば上部工の施工は1ヵ月以内で完了します。

7. 景観への配慮

風光明媚な観光地に建設されることも多いPCシェッドは景観への配慮は計画する上で重要なことです。しかしながら道路線形に合わせて建設し、屋根上で落石や雪崩などの作用荷重を受けるため、梁部材をデザイン性に富んだ形状にすることは、機能性や経済性とは相反する関係にあります。このような事情から柱部材の形状にデザイン性をもたせたり、PCシェッドの坑口部に付けた面壁に模様をつけることで景観性をもたせるのが主な実施例になっています。なおヨーロッパにおいては日本よりも景観性に配慮した形式が多いようです⁸⁾。写真-5は柱部材の形状に斜め



写真-5 柱形状に景観を考慮したPCシェッド

の要素を取り入れ景観性を高めた例です。

8. 被災事例と補修方法

PCシェッドは過去に大きな地震を経験してきましたが、部材のひび割れや欠け、ブロック目地のずれなど、軽微な被害にとどまり、構造上問題となる顕著な被害は発生しませんでした。これは道路横断方向の構造計算を二次元骨組構造で計算するのに対して、実際は道路延長方向の横組工により梁部材が平面的に板機能を有するからだと考えられています。

このようなことからPCシェッドでの被災事例は、当初スノーシェッドで計画されているものに落石や崩壊土砂が作用した場合や、通行車両が柱に衝突した場合などに限られると言ってもいいかもしれません。写真-6のPCシェ



写真-6 崩壊土砂を受けたスノーシェッド

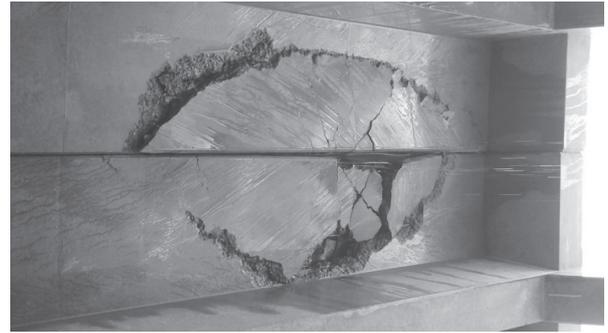


写真-7 梁のスラブに落石を受けたスノーシェッド

ッドは斜面上からの崩壊土砂を受けました。写真-7のPCシェッドは梁のスラブ部分に落石の直撃を受けました。

補修方法は一般的なPC部材の補修と同様に、ひび割れ注入工法や断面修復工法が採用されます。部材の修復が困難なほどの損傷の場合は部材の取替えも可能です。

9. おわりに

いかがでしたか？少しはPCシェッドのことを理解していただけたでしょうか。

昭和45年の初施工以来、すでに45年を経過していますが、その間もPCシェッドに関する研究は続けられてきました。落石衝撃力の定量的評価、緩衝材を介した落石衝撃力に対するプレストレストコンクリートの挙動解析、実物大の性能確認実験等が代表的なものです⁹⁾。また近年では性能設計の導入により、衝撃荷重を受けるロックシェッドについて、性能照査型の衝撃設計手法の研究が進められています。

落石・雪崩・崩壊土砂対応構造物はその構造形式や構成部材によりさまざまな工法がありますが、PCシェッドは安定性、確実性において優れています。継続して研究が進められることにより、さらに高規格な構造物になることを目指しています。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧2000.6
- 2) 川上幸義：新日本鉄道史〔下〕鉄道図書刊行会1968.9
- 3) 日本建設機械化協会、雪センター：2005除雪・防雪ハンドブック（防雪編）
- 4) 土木学会：構造工学シリーズ22 防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計 - 基準体系の指針 - 2013.1
- 5) 北海道土木技術会コンクリート研究委員会：PC道路防災構造物マニュアル2001.3
- 6) 道路防雪施設検討委員会編：道路防雪施設マニュアル〔コンクリート構造編〕2008.3
- 7) 日本道路協会：道路防雪便覧1990.5
- 8) 北陸道路研究会：35周年記念シンポジウム論文集 道路と景観 道路防護工の設計1988.10
- 9) 金沢大学工学部土木工学科構造力学研究室編：第一回落石の衝撃力およびロックシェッドの設計に関するシンポジウム論文集1983.7

【2016年1月13日受付】