



西山 豊

数学を楽しむ

笹子トンネル事故の数理 (1)

はじめに

2012年12月2日、山梨県大月市笹子町の中央自動車道上り線笹子トンネル(図1)で天井板のコンクリート板345枚が約130mの区間にわたって落下し、走行中の車複数台が巻き込まれて死傷者が出た。日本の高速道路上での事故としては、1979年に発生した日本坂トンネル火災事故や、2012年4月29日に発生した関越自動車道高速バス居眠り運転事故を死亡者数で上回り、最も死亡者数の多い事故となった。



図1. 笹子トンネル(Google マップより)

私は、このニュースをテレビで知ったとき、このトンネルは力学的にあり得ない構造だと直観した。なぜなら、2005年度はイギリスのケンブリッジ大学で在外研究をする機会があり、西洋建築を目の当たりにしていたので、このような構造が存在するのが不思議でならなかった。西洋建築は、石造によるものが多く、門や窓の

形がアーチ状になっている。アーチ状はもっとも力学的に安定した形であり、この場合、アーチ状の頂上部である天端が力学的に弱くなるため要石などが用いられる(図2)。同様にしてトンネルの断面もアーチ状が力学的に安定した形となる[1]。

トンネル構造でいちばんネックになるのは天端である。その天端に1枚1トン以上もある重いコンクリート板を1本のアンカーボルトで、垂直に吊り下げていたという事実、ショックを受けるとともに、設計ミスではないかと疑った。アンカーボルトは垂直に取り付けられていたが、引き抜き強度を増すためにL字型のものを埋め込むべきではなかったのか。素人でもおかしいと思うことが多々ある。事故の解明はまだされていないが、どうして笹子トンネル上り線でこのような事故が起こったのか、なぜ、このような“危険な”トンネル構造物を作ってしまったのかを、数学パズルを解いていく手法で推理していきたい。

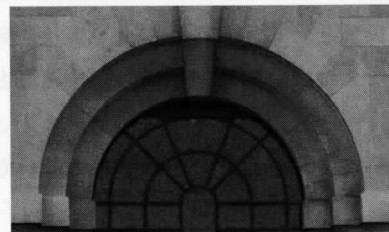


図2. 石材建築による窓(アーチ状と要石)

1. 事故の概要

笹子トンネルは上り線4417m、下り線4414mの長大トンネルで、1976年に完成している。

笹子峠には、すでに旧国道20号の旧笹子隧道、国道20号の新笹子隧道およびその補助ダクト、JR中央上下線の5本のトンネルが通っているところへ、中央自動車道の笹子トンネル上下線が加わり計7本となった(図1)。

笹子トンネル上り線は、標高640.73mの甲府方を1.55%の勾配で昇り、2829m進んだところで頂上の標高684.58mに達し、0.4%の勾配で下って標高678.23mの大月方に出る。トンネルの頂上から300m進んだところで事故が起きている(図3)。

また、笹子トンネルはトンネルの断面がL型、M型、S型の3種類があり、LはLarge、Mは

Middle、SはSmallの意味である。断面が3種類もあるトンネルは笹子トンネルに固有なものと思われる。甲府方からL型の区間、M型の区間と進み、L型の区間で事故が起きている(図3)。

笹子トンネルは換気方式として横流式を採用している。(横流式については後で詳しく説明する。)そのためにトンネル上部に換気ダクトが設けられている(図4)。

右側が送気ダクト、左側が排気ダクトで、新鮮な空気が送気ダクトから車道を通り、排気ダクトに抜け出る形となっている。車道と換気ダクトの間は天井板(A板、B板)、送気ダクトと排気ダクトの間は隔壁でさえぎられている。A板、B板、隔壁は、1枚あたり1.1トンから1.4トンの重くて頑丈なコンクリート板である。コンクリート板は天端のアンカーボルトで吊り下げ

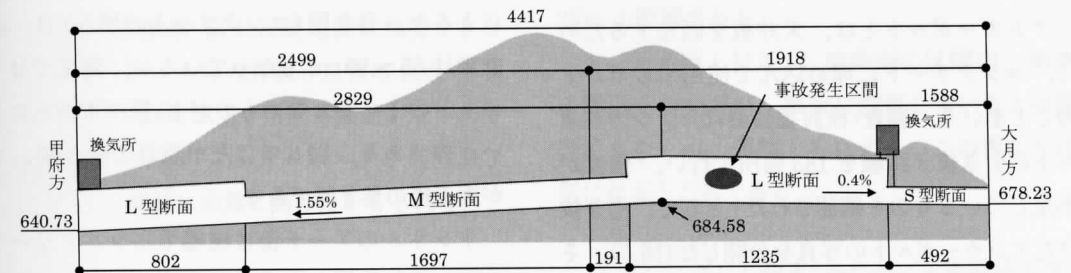


図3. 縦断面図(上り線)

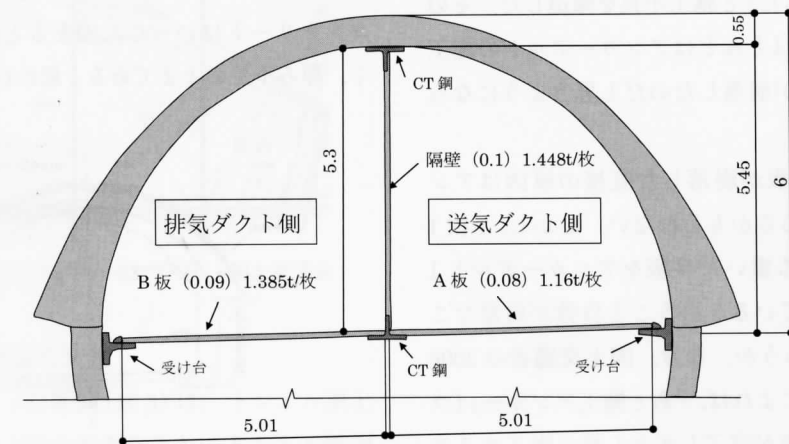


図4. 横断面図(L型)

られ、左右の受け台で支持されている。天井板と隔壁はCT鋼で固定されている。今回の事故では、この天井板と隔壁345枚が崩落したのである。

2. いくつかの論点

国土交通省は、笹子トンネルと同じ天井板の構造を持つ全国61のトンネルについて緊急点検をおこない、その結果を発表している[2]。また、同省に設置された「トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会」は、これまでに4回の会合を開いているが、配布資料(PDFファイル)から議事の概要を知ることができる[3]。これらは国土交通省のホームページにすべてが公開されている。

(1) アンカーボルト

アンカーボルトとは、天井板を固定するために、コンクリートに埋め込んで使用するボルトのことをいう。調査・検討委員会は、アンカーボルトの引き抜き試験を183箇所で行い、「強度が不足しているものも確認された」として、引き抜けたアンカーボルトの写真を公開した(図5)。それを受けた新聞各紙は、「構造上は13センチ差し込まれているはずなのに、5センチしか入っていないものがあった」と施工不良を報道した。その結果、国民のほとんどはアンカーボルトの施工ミスで天井板が崩落したのだと思うようになっている。

確かに天井板が崩落した直接の原因はアンカーボルトであるかもしれない。しかし、1枚1トン以上もある重い天井板をアンカーボルト1本で吊り下げているということ自体が異常なことではないだろうか。なお、国土交通省の2006年の施工指針によれば、「あと施工アンカー」(コンクリート工事が完了してから後に施工するアンカーボルト)を、長期荷重を負担するような

補強に用いることを適用対象外とした。つまり、笹子トンネルのようなアンカーボルトの使用方法は、現在は認めていないのである。



図5. 引き抜かれたアンカーボルト(国土交通省)

(2) 覆工コンクリート

覆工とは、掘削した山の表面に吹き付けられたコンクリートの壁のことをいう。会計検査院は、1976年、笹子トンネル西工事はか13工事において、アーチ部覆工コンクリートの施工が設計と違っていたので改善を求めている。これによると、巻き厚(コンクリートの厚み)は、設計では55~90cmとなっているが、施工ではその2分の1に満たないものが15箇所もあったというのである。図6では左が設計の巻き厚、右が施工後の巻き厚である。

トンネルのアーチ部は現場で生コンクリートを流し込む作業で完成するので、大断面のトンネルなどでは重力の関係で、天端から左右にコンクリートが流れることは十分に考えられる。コンクリートはいったん固まると修理がきかなく、厚み不足のままであると思われる。

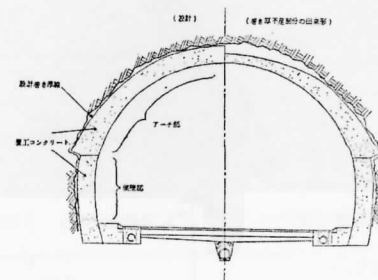


図6. アーチ部の施工ミス, 会計検査院(1976年11月29日)

(3) 直下に断層

事故の区間は、東京から82.5キロと82.7キロの間であるが、この区間のトンネルの下には断層が走っている(図7)。図では右が頁岩で左が花崗閃緑岩である。断層が事故につながったという確証はないが、笹子トンネルは断層や断層破碎帯が多い場所であり、事故の遠因になっていることは否定できない。笹子トンネル西工事では、棚小屋西沢に沿う断層で、破碎帯の規模は150mにおよび、30~150㎡の落盤を誘発し、工事進捗上支障となったという記録が残っている。

一般に断層は地震と関係する。笹子峠はフォッサマグナが走る場所でもあり、地震の誘発地帯でもある。笹子トンネル完成の1975年以降では1976年、1983年、1996年、2011年、2012年に大月市は大きな地震があった。特に、2011年3月11日の東日本大震災、2012年1月28日の山梨県東部・富士五湖地震は無視できないが、笹子トンネルの天井板の点検は2000年を最後に、この10年以上いとも点検がなされていなかった。もし、アンカーボルトの点検がされていたら、事故は未然に防げたかもしれない。

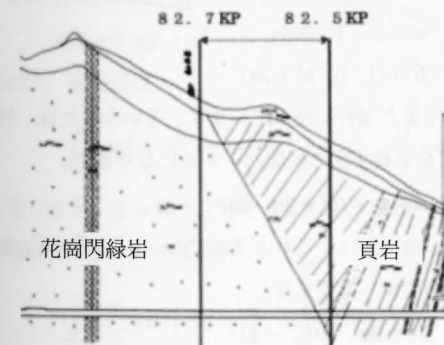


図7 断層(82.5KP~82.7KP) 国土交通省

(4) 新笹子隧道と交差

事故が起こった区間(図3)は、トンネル頂上部から300mの近くであること、トンネル断面が超大断面であるL型の区間内であることを前

述したが、この区間は新笹子隧道(国道20号)と交差している場所に約100mで隣接していることが興味深い(図1)。

新笹子隧道は全長2953mで、標高710.06mの大月方から標高717.40mのトンネル頂上を経て標高709.78mの甲府方に抜ける。坑口の標高差は0.28mで平坦なトンネルである。笹子トンネル上り線は全長4417mで、標高640.73mの甲府方から標高684.58mのトンネル頂上を経て標高678.23mの大月方に抜ける。坑口の標高差は37.5mでやや急な登り坂である。

笹子トンネルは新笹子隧道の下を通過する形で、斜めに交差している。約30度の交差であるので、東京側より82.2キロから82.4キロの約200mが交差区間となる。また、トンネル同士の標高差を計算してみると道路面では約35mの距離である。L型断面は道路から天端までの距離が10mあるので、トンネルの端どうしは約25mの距離である。

トンネル頂上付近、L型断面の区間内、新笹子隧道との交差が、事故に関係しているとは論証できないが、偶然ともいえる、この重なりは気になるところである。

(にしやま ゆたか/大阪経済大学)