

(127) 青函トンネルの地震防災システムについて

鉄道建設公団 正員 北川修三
(財)鉄道総合技術研究所 正員 中村 豊

1. はじめに

青函トンネルは世界に例を見ない長大海底トンネルであるが、いよいよ63年度開業の運びとなった。その防災上の備えは種々のものが構築されている。ここでは特に地震に対する防災システムについて、その考え方、機能などの概要を報告する。

2. 長大海底トンネルに対する地震防災の考え方

(1) 地震警報時の対応

現行の地震時運転規制は概略次のようになっている。ある間隔（新幹線約20km、在来線約50km）で設置された加速度計が気象庁震度階IV相当の地震動加速度（20Gal～40Gal）を感知すれば警報が出され、列車の運行は停止される。在来線では、警報ブザーが鳴動するだけで、直接信号を変えたり、き電停止したりすることはない。新幹線の場合には、直接、変電所から列車群へのき電を停止して、走行中の列車に非常ブレーキをかけている。

青函トンネルは新幹線対応で作られており、防災設備も例外ではない。しかし、青函トンネルは長大な海底トンネルであり、これまでの鉄道システムのように停止しても停止した場所から直ちに安全な場所へ避難できる訳ではない。したがって、避難拠点までできるだけ列車で移動せざるを得ない。つまり、警報が発令されても、そのエネルギー供給源であるき電は、停止しないようにしなければならない。

(2) 警報対象となる地震と計測対象

これまでの山岳トンネルなどの地震被害例によると、注意深く施工された海底トンネル本体に影響を及ぼす地震としては、その震源域がトンネルにかかるものがほとんどであると考えられる。したがって、トンネルに被害を与えるような地震の断層はトンネルを横断しているか、極めてトンネルに近接していると考えられる。被害はトンネルと地震断層が接する地点ないしは最も接近している地点の周辺で生じるであろう。被害地点での地震動加速度は大きいと考えられるから、この付近に地震計を設置することができれば、この地震計が表示する加速度の大きさでこの部分の被害発生の有無を推定することができる。さらにこの部分のトンネル歪を計測すれば、発生歪の大きさから被害の発生をより直接的に知ることができる。このような被害発生が予想される地点としては、建設時に確認された断層地帯や建設工事が難行した地点が考えられる。また、適当な間隔で湧水量の変動を監視すれば、変状箇所から湧水監視点までの水流伝播時間だけのタイムラグをもってトンネルの異常を検出することができる。

トンネル坑口付近や付帯設備については、やや離れた地震による被害の可能性も考える必要があろう。

(3) 警報発令と地震終了後の対処

地震警報は真に危険と考えられる地震に対してのみ発令されるのが理想であるが、破壊が確率現象であることを考えれば、ある程度の空振りは避けられない。空振り後の速やかな運転再開のためには、警報が空振りであったことを早く認識することが必要である。なお、ここでいう空振りとは、被害が生じないような地震に対して発令された警報をいう。長大な海底トンネルの被害発生の有無をこれまでのような方法（巡検）で点検すると膨大な時間と人員を要するので、点検業務の機械化・合理化を計る必要がある。トンネルは耐震的な構造物であり、遠隔監視しやすい構造物であるから、遠隔監視システムによる安全確認を行うことと

し、巡回による安全確認は遠隔監視システムで異常が発見された場合に限るのが現実的である。

3. 地震防災システムの構成と機能

青函トンネルでは、地震計、歪計および湧水量計を用いて遠隔監視することとした。湧水量計は若干のタイムラグはあるもののある区間の変状をとらえることができる。しかし、地震計や歪計による情報は、あくまでも計器を設置した離散的な点における情報である。すなわち、センサー設置地点はモニタリングポイントの意味合いを持つ。モニタリングポイントによる監視の隙間を補い、地震警報後の安全確認を迅速かつ的確に行うには、地震後直ちに地震諸元を的確に推定する機能が必要である。このため、当面の警報には使わないが、震源・規模推定システムとしてUrEDAS (Urgent Earthquake Detection and Alarm System: ユレダス) を併置している。UrEDASは、将来、P波警報システムとして運用されるであろう。

青函トンネルの地震防災システムのセンサー配置図は図1に示すとおりである。

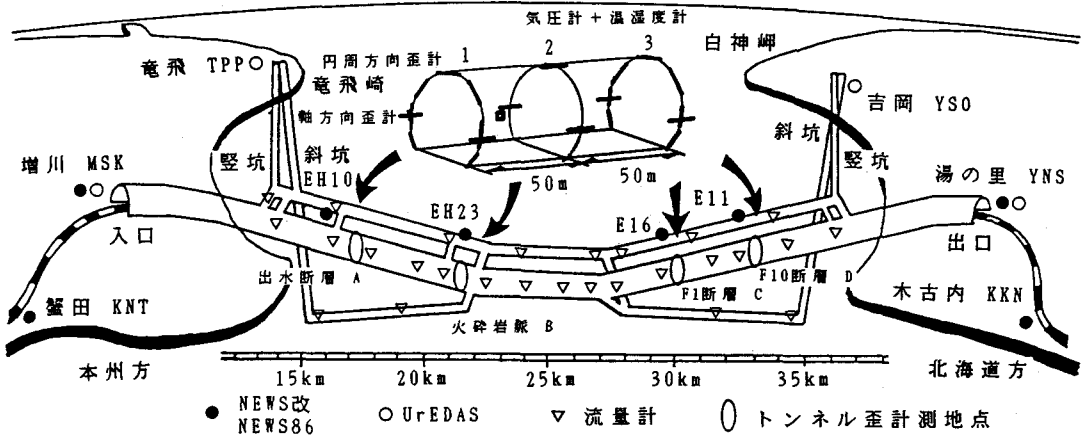


図1 青函トンネル地震防災システムのセンサー配置

このシステムを構成する要素の概要・機能を以下に述べる。

(1) 警報地震計 (NEWS改、NEWS86)

坑口および断層部分(工事難行部分など4箇所)の計6箇所 NEWS改を、トンネルの外側を制御するため、蟹田駅と木古内駅にNEWS86を設置する。これらは、地震動の最大加速度を検知し表示するとともに最大加速度に応じた警報を出力する地震計である。最大加速度他の検知情報ならびに地震動波形データは歪計データ収集システムに送られ、センターに伝送される。

(2) 震源・規模推定システム (UrEDAS)

坑口および斜坑口の計4箇所にUrEDASを設置、センサーはいずれも横坑内の堅固な岩盤上に設置されている。これは、地震の諸元(マグニチュードMおよび震源位置)を地震波の到来とともに自動的に推定するシステムで、P波直後の第1次警報とS波直後の第2次警報を出力することができ、検知情報と波形データをセンターに伝送する機能がある。当面は地震警報後の対処法を選択するために運用される。

(3) 高感度歪計とデータ収集・伝送システム

歪計は、断層部分(工事難行部分など4箇所)のトンネル円周方向とトンネル軸方向に設置している。円

周方向のセンサー設置間隔はトンネル断面の変形が捕えられるように45°以下とした。図2に歪計の設置図を示す。断層部分近傍のトンネル覆工継目部には軸方向歪計を3個配置し、継目の両側に約50mずつ離れた2断面には、円周方向歪計7個と軸方向歪計2個をそれぞれ設置している。常時および地震時の歪波形はセンターに伝送される。常時は1分毎にデータを採取して、トンネル断面の変形やトンネルの伸縮・屈曲を監視する。

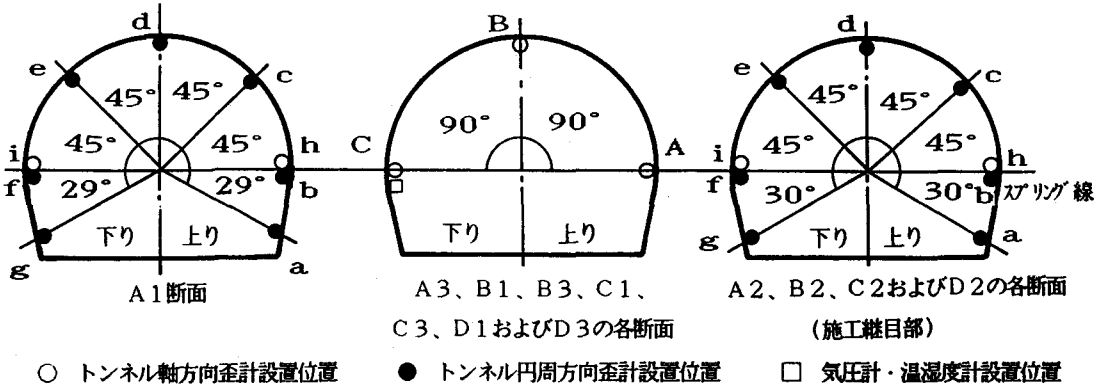


図2 歪計測断面におけるセンサー配置

(4) 温度計・湿度計・気圧計

これらは歪計設置点近傍に設置され、常時の温度・湿度・気圧の変動を歪変動とともに監視し、歪変動を補正するために使われる。

(5) 湧水検知装置（流量計）

先進導坑、作業坑、本坑の要所27箇所に流量計を設置して、流量データを1分毎にサンプリングして函館のセンターに伝送する。センターでは、流量計設置点間の流水量の差から湧水量を推定し、その変動からトンネルの異常を検出する。

(6) 検知情報および出力波形などのデータ送受・表示システム

最大値、出力波形等の情報は、函館のCTCに設置されたセンターシステムに伝送され、表示される。常時監視情報を分析するため、センターに集約された監視情報のうち1時間平均データについては、毎日定時に（財）鉄道総合技術研究所（JR総研）地震解析室へ自動伝送される。また、このシステムはJR総研からの指令で指定されたデータをJR総研へ伝送することができる。

4. 将来の警報発令法と警報後の運転再開手順の想定

トンネルおよびその取付け部への警報は40Gal以上の地震動に対して発令される予定であり、運転再開の手順も従来のものを準用することになろう。しかし、早い時期に地震防災システムの監視情報を有効に利用した警報・運転再開が実施されるものと思われる。その場合の警報や運転再開のための信号制御の概要は次のように想定される。

UrEDASの第一次警報（P波警報）により、列車がトンネル内へ進入しないような信号制御を行う。第一次警報後、列車は原則として徐行運転に切り換えるが、避難拠点から遠ざかる列車は一旦停止する。避難拠点に向かって走行中の列車は停止せず避難拠点まで徐行する。この状態でCTCの指示を待つ。

CTCがある指令センターには各警報地震計が検知した最大加速度、歪計が検知した最大歪および震源・

規模推定システムが推定した地震の規模、位置の情報などが集中している。これらを総合的に判断して、検知地震の加害性を判定し、判定結果に従って地震後の措置を各列車に指示する。加害性の判定の方法として、例えば、震源・規模推定システムによる地震規模とトンネル地点の震央距離の組み合わせによる判定（図3参照）とともに、モニタリングポイントの最大加速度および最大歪に基づいて、被害の有無を確認することが考えられる。万一、被害が発生していると考えられる事態が生じた時は、速やかにすべての列車を避難地点に集結させるような信号制御を行う。この時、必要とあれば、列車の後退運転も行って、出来るだけ早く列車を避難地点に収容する。

なお、避難地点は坑口と定点の計4箇所である。定点とは、トンネル火災発生時の避難拠点であり、本州方と北海道方のそれぞれの斜坑が本坑と接続する地点近くに設けられている。これらの定点には避難用の充実した設備があり、ここから斜坑を経由して地上へ脱出できるようになっている。本州方および北海道方の定点はそれぞれトンネル入口から約14kmおよび約18kmのところであり、互いに20km程度離れている。

5. おわりに

青函トンネル周辺に大きい地震が発生せず、設備された地震防災システムが稼働することがないのが一番望ましい事態である。しかし、到るところに地震の巣がある日本では、長期にわたって地震と無縁と考えられる地域はない。いつどこで大きい地震が発生してもよいように対応策をとっておくことが重要である。こうした意味で青函トンネルの地震防災システムは構築されている。このシステムで得られる常時のデータや地震時のデータを蓄積して継続的に分析・研究を続け、地震被害を回避するための技術開発に繋げていきたいと考えている。なお、この地震防災システムは年内に完成し、来年度から実用に供される。

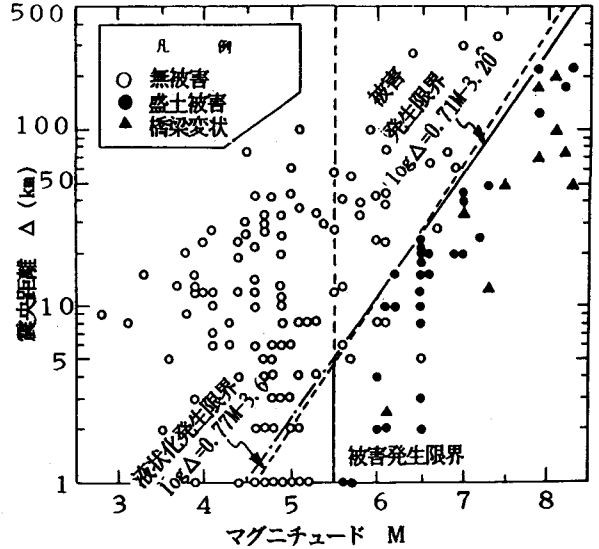


図3 被害が発生した地震と発生しなかった地震

〈参考文献〉

- 1) 中村：地震（津波）警報のための地震早期検知を行う一点検知システムの考え方とパソコンによる実施例、第18回地震工学研究発表会、1985年7月。
- 2) 中村：国鉄における地震警報システム、鉄道技術 Vol. 42, No. 10、1985年10月。
- 3) 中村：インテリジェント地震警報システム、鉄道技術 Vol. 43, No. 10、1986年10月。
- 4) 栗林・龍岡・吉田：明治以降の本邦の地盤液化履歴、土木研究所年報第30号、1974年。