

(171) 青函トンネル地震防災システムに捉えられた1993年釧路沖地震

---- トンネル覆工歪の変動 ----

(財)鉄道総合技術研究所	山口文敏
〃	中村豊
〃	富田健司
北海道旅客鉄道(株)	遠峯啓一

1. はじめに

1993年1月15日、釧路沖に発生した地震は、北海道東部を中心に各方面に多くの被害をもたらした。この地震はまた、本州と北海道を結ぶ青函トンネル坑内に設置してある地震防災システムがはじめて動作して記録を残した地震でもあった。ここでは、この青函トンネル地震防災システムによって捉えられた釧路沖地震の貴重な記録----トンネル覆工歪の地震時ならびに地震後の変動について報告する。

2. 青函トンネル地震防災システム¹⁾

青函トンネルは全長53.9km、うち海底部が23.3km、海底部のトンネルが海底下約100m、海峡中央部付近では海面下約240mに位置している海底トンネルである。1988年3月に開業した。

このトンネルには、利用する人びとの安全を確保するためのさまざまな防災設備が設けられている。地震防災システムもそのひとつで、地震災害から走行列車を守る警報システムである。青函トンネルは海底深くの堅固な岩盤に位置しているとはいえ、いくつかの断層を貫いており、また、実際に施工中には異常出水なども経験しているため、トンネルの異状検知に万全の体制をとっている。

地震防災システムは、警報地震計、U r E D A S、高感度歪計、流量計、温度計、湿度計、気圧計、そしてそれらを統括する中央処理装置(函館にあるC T Cに設置)から構成されている(図-1)。

警報地震計は、両坑口および4か所の断層部分の計6か所と、明かり区間の運転制御用に2か所設置している。

早期地震検知警報システムU r E D A Sは、両坑口および本州側と北海道側の斜坑口の計4か所に設置して、当面、地震警報発令後の対処法を検討するために運用している。

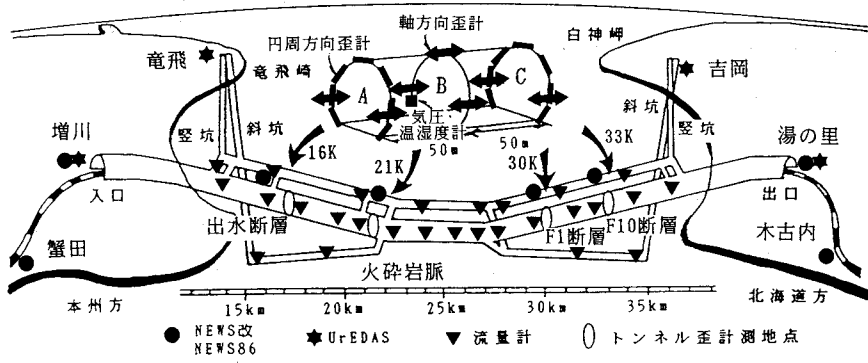
高感度歪計は、とくに工事が難航した4か所の断層部分のトンネル覆工に設置している。岩盤内にあるトンネルが地震によって直接被害を受けるのは、主としてトンネルが横切る断層やごく近傍にある断層が動いたときであるために、歪計による断層監視を実施している。断層監視地点は、16K、21K、30K、33Kの4か所で、それぞれの地点は50m間隔で設定されたA、B、Cの3断面からなり、A、Cの両断面にはそれぞれトンネル円周方向に7台、軸方向に2台、中央のB断面には軸方向に3台の歪計を取り付けている。常時1分ごとにデータをサンプリングしているが、トンネル坑内の警報地震計が5Gal以上の地震動を検知したり、中央処理装置から指令を入力した場合には、1/100秒サンプリングを行うことができる。

トンネルに異状が発生した場合、とくに海底トンネルであることから異常湧水を伴うことが考えられる。そこで、先進導坑、作業坑、本坑の要所27か所に流量計を設置して、1分ごとに流量の変化を監視している。

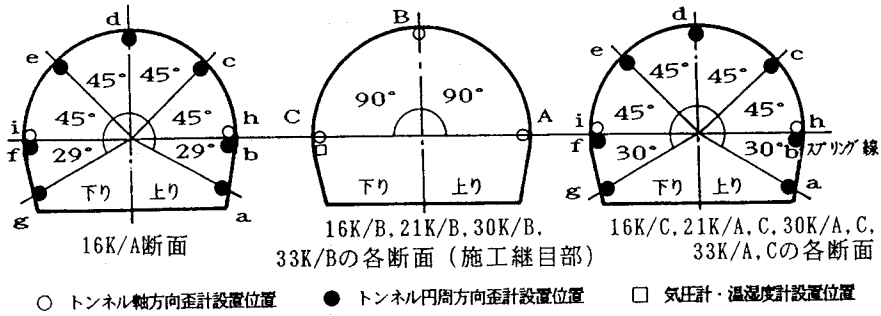
温度計、湿度計、気圧計は、歪計のデータの補正用である。この報告では無補正データを使用している。

3. 平常時のトンネル覆工歪の変動

平常時のトンネル覆工歪の変動記録の例として、1993年4月1か月間の16K/A断面におけるトンネル断面円周方向の歪量の変動を図-2に示す。潮汐現象を見事に捉えていることが分かる。しかし、歪レベルとし



(1) センサ配置全体図



(2) 高感度歪計の配置

図-1 青函トンネル地震防災システムのセンサ配置¹⁾

では、きわめて小さい変動である。また、歪量の変動には1年周期の波も含まれている。これは季節変動に相当する現象を反映していると考えられるが、因果関係については未確認である。なお、トンネル坑内の年間を通した気候は安定していて、歪観測を行っている4地点はいずれも気温は $19 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度は $89 \pm 4\%$ となっている。

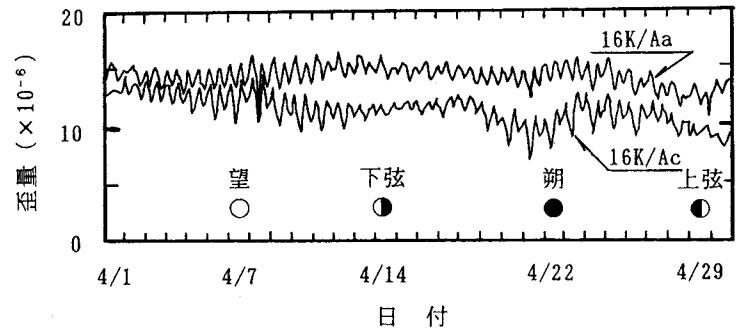


図-2 平常時(1993年4月)の歪量の変動

4. 1993年釧路沖地震によるトンネル覆工歪の変動

釧路沖地震は、青函トンネルから400km近く離れた地点で発生した地震である。青函トンネル付近で記録された地表面水平合成最大加速度は、蟹田77Gal、増川10Gal、木古内61Galなどとなっていた。一方、トンネル坑内における水平合成最大加速度は30K地点7Gal、33K地点6Galであった。

地震動の最中のトンネル覆工歪変動は、30Kと33Kの両地点で記録された。図-3に30K地点で記録された波形を示す。ただし、遅延装置を介して記録されたものでないために、地震動の後半の記録となっている。同波形の位相を考慮した解析により、トンネル断面の変形パターンとトンネル軸方向の伸縮・屈曲のようすが把握できた。30K地点での断面変形パターンを図-4に示す。33K地点の断面変形パターンも30K地点と同様であった。また、両地点でのトンネル軸方向の変形は、その地点で屈曲することなく全体が一様に伸縮していることが分かった。

今回の釧路沖地震に関連して記録された一連の歪変動でとくに注目されるのが、地震発生後の数日間かけて歪がゆったりと大きく変動したことである。この変動は、程度の差こそあるものの4地点すべてで確認された。なかでも16K/A断面が顕著な変動を示した。地震前後の1993年1月13日から21日までの16K地点で記録された歪変動のようすを図-5に示す。大きく変動したA断面から100m離れたC断面の歪変動は、相対的に小さいものとなっている。16K/A断面の歪変動からトンネル断面の変形パターンを作ると図-6のようになる。起点を背にして左上60度程度の位置から圧力を受けて変形するパターンになっている。この断面における軸方向歪計Ah、Aiの変動からも、それが裏付けられる。つまり、トンネルの軸線がこの地点で左側に屈曲しているのである。圧力の原因は確認できていないが、トンネル坑内の湧水の流量が地震後の数日間で微増しているの、地下水の水圧上昇が原因のひとつになっていると考えられる。

5. まとめと考察

今回の釧路沖地震では、震央から400km近く離れた青函トンネルの地震防災システムによって、非常に興味深い現象が記録された。

断層部分の4地点のトンネル覆工に設置された高感度歪計は、平常時は潮汐変動や季節変動に伴う歪の変動を記録しているが、今回の地震ではじめて地震動の最中の歪変動を30Kと33Kの両地点で記録した。位相差を考慮した解析に

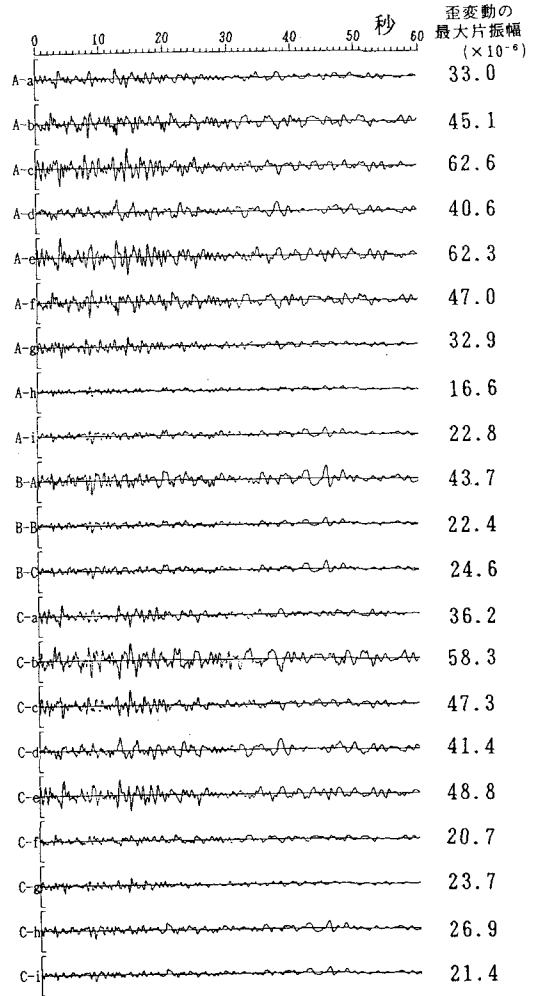
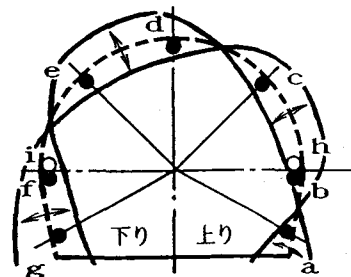


図-3 地震時のトンネル覆工歪変動 (30K地点)



図は変形のパターンを表したもので、変形量そのものを表したものではない。

図-4 トンネル断面変形パターン (30K地点)

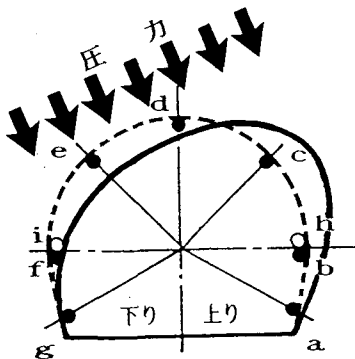
より、トンネル断面変形パターンが明らかになった。この結果から、両地点付近のトンネル周囲の境界条件、または岩盤特性が、起点を背にして右上がりに30度程度、あるいは左上がりに60度程度傾斜していることが予想される。

また、地震後のゆったりとした歪の大きな変動は、出水断層の16K地点のとくにA断面で顕著であった。これは、この断層がB、C断面よりもA断面の近傍にあったことによるものと考えられるが、今回の地震でこの断層が動いたとは考えられず、歪変動は地震後の地下水の水圧上昇によるものと考えられる。そのひとつの根拠が、この付近の湧水の流量ではないが、地震後の数日間にトンネル坑内の流量が微増していることである。16K/A断面の歪変動を解析すると、起点を背にして左上60度程度の位置から圧力を受けていることが分かる。この付近の岩盤特性も30K地点と同様の傾斜をしていることが予想される。

なお、今回のこの一連の歪変動のレベルは小さく、また、時間の経過とともに収束する方向にあり、トンネルの安全性になら影響を及ぼすものではないことを付言する。

参考文献

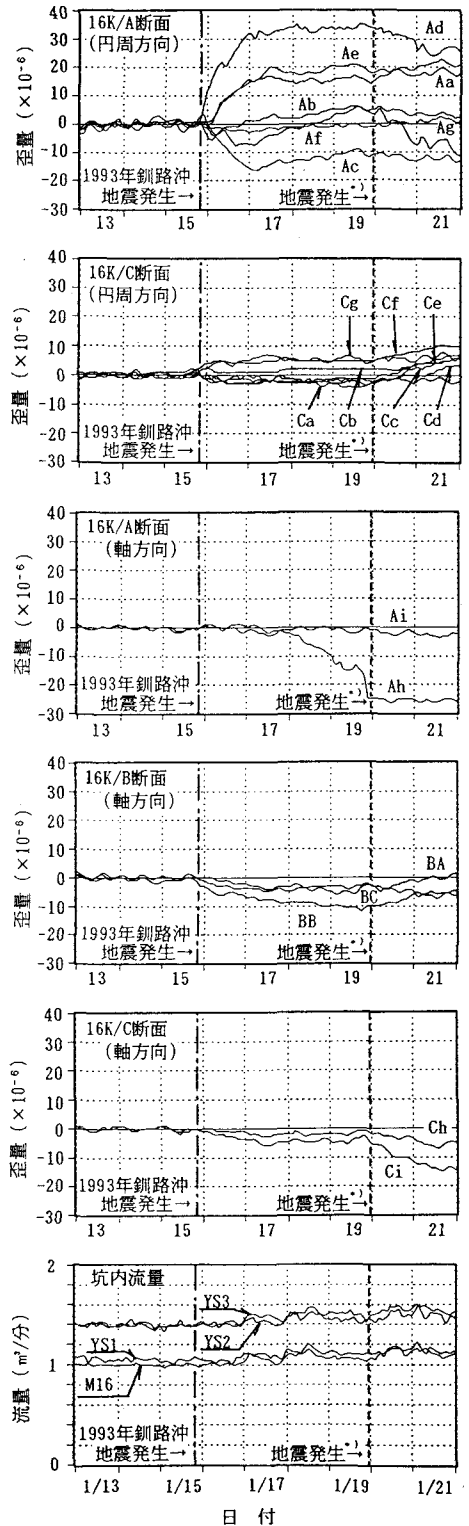
- 1) 北川修三・中村 豊：青函トンネルの地震防災システムについて、第19回地震工学研究発表会講演概要、土木学会耐震工学委員会、1987年7月



図は変形のパターンを表したもので、変形量そのものを表したものではない。

図-6 地震後の圧力の方向とトンネル断面変形(16K/A断面)

図-5 地震前後(1993年1月13日~21日)の16K地点の歪量と本坑・作業坑の流量の変動



*) 1/19, 23:39
38° 37' N, 133° 52' E
(日本海中部)
M6.9, h=489km の地震。北海道から下関にかけての広範囲で地震動を感じた。