

トンネル覆工のひび割れ調査とその発生原因の推定

INVESTIGATION OF CRACKS ON THE TUNNEL LINING AND PRESUMPTION OF THE CAUSES OF CRACK

岩崎好規*・橋本 正*・今西 肇*・山内淑人*

Yoshinori IWASAKI, Tadashi HASHIMOTO, Hajime IMANISHI and Yoshito YAMAUCHI

The old tunnel has various cracks on it's lining. These cracks have been written on the deformation record etc., but it is hard to say that these crack's data have been utilized effectively. This time, we got the chance to investigate the lining's deformation of tunnel which length was about 1000m, and as the result of cracks patterns classification, we found many inclined cracks on the lining except traverse and cross cracks, and presumed that the causes of crack are the fall of soils and rocks, water-pressure, difference of squeezing ground pressure and the condition of tunnel construction (such as grouting or drying shrinkage or slope of tunnel).

Keywords : tunnel lining , crack , fall of soils and rocks , squeezing ground pressure, drying shrinkage

1. まえがき

既設のトンネルは、長い年月の間に様々な亀裂をその覆工に生じる。これらは、変状調査や変状展開図等に記入されているが、これらのデータをその後有効に利用されているとは言いがたい。今回、長さ約1000mのトンネルの変状を調査する機会を得たので、覆工の亀裂展開図を基に亀裂状況のパターン化を行い、その発生原因を推定した。その結果、覆工に発生する亀裂には、縦断方向亀裂・横断方向亀裂以外に斜方向亀裂の3つのタイプがあることが判明した。また、亀裂の発生原因としては次のことが推定された。

1. 覆工背面への崩土・落石及び水圧
2. 側壁背面のゆるみ土圧の相異
3. トンネル施工時の状況（トンネルの勾配、グラウト圧、乾燥収縮、他）

2. ひび割れ調査を実施するに至った理由

ひび割れ調査を実施するに至った理由としては、トンネル覆工全面にひび割れが見られること、および漏水ヶ所がかなり存在し、特に降雨時にはかなりの出水をしている区間があること等により人・車両等の通行に支障をきたすことが考えられたためである。

* 正会員 財団法人 大阪土質試験所

3. ひび割れ調査の手法

トンネル覆工の亀裂状況・漏水状況等については、覆工コンクリート面の洗浄を行った後、図-1に示す亀裂調査図に沿って目視によるスケッチを実施した。この時亀裂の段差、幅が測定できる場所については同時に記録した。さらに、亀裂状況が特に目立つ場所についてはφ110mmのコアボーリングを行い、亀裂の奥行き、走向等を確認した。

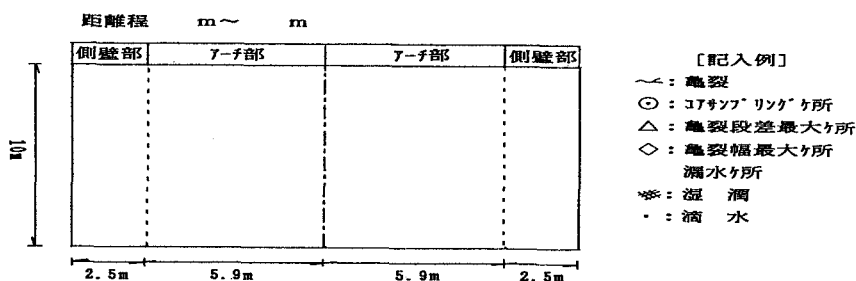


図-1 亀裂調査図

また、ひび割れの発生原因の推定に必要と考えられる調査として

- ①地表地質踏査（調査地域の地層分布の把握） ②弾性波探査（トンネル近傍地盤の岩盤分類）
- ③水圧測定（覆工背面にかかる水圧の把握） ④コアボーリング（覆工厚、空洞厚、コンクリート強度および地山強度の測定）

等の調査も実施した。

4. 調査結果

4-1. 亀裂調査結果

トンネル全般にわたって調査した結果、亀裂の最大段差・幅ともコンクリート打設継目で発生しておりその値は、段差：63mm・幅：6mmであった。コンクリート打設継目以外では、段差：1～5mm・幅：1～3mm程度であった。亀裂調査図をもとにコンピュータに亀裂情報を取り込み、覆工面の全亀裂を表示したものを図-2に示す。全亀裂の分類を行った結果、亀裂には縦断方向・横断方向以外に斜方向の亀裂があることが判明した。それぞれの亀裂を図-3、4、5に表示した。縦断方向、横断方向および斜方向亀裂の特徴は、

縦断方向亀裂（図-3 参照）

亀裂の分布は、主としてトンネルアーチ部やセンター付近に入っているが、650m以遠では側壁部やアーチ両肩部にも入っている。0～450m間では、亀裂長は10m以上が主であるが650m以遠では5m以下の短い亀裂が重なり合って発生している。

横断方向亀裂（図-4 参照）

亀裂密度は0～600m間で約5mピッチで発生しているが、860～1000m間では平均2mピッチの高密度で発生している。亀裂長は1m～10mであるが5m程度のものが多い。

斜方向亀裂（図-5 参照）

亀裂はほぼトンネル全般にわたってトンネルアーチ部に分布しているが、特に200～800m間でより密度高く分布している。斜方向亀裂で特徴的なのは0～500mと500～1000mの亀裂の方向が全く逆であることである。

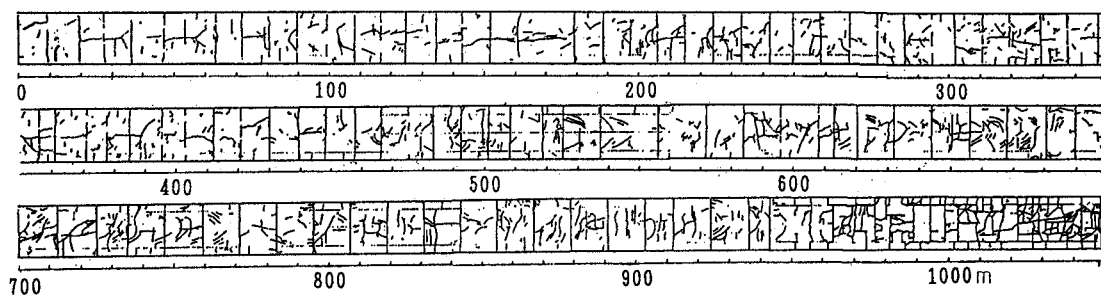


图-2 全亀裂表示図

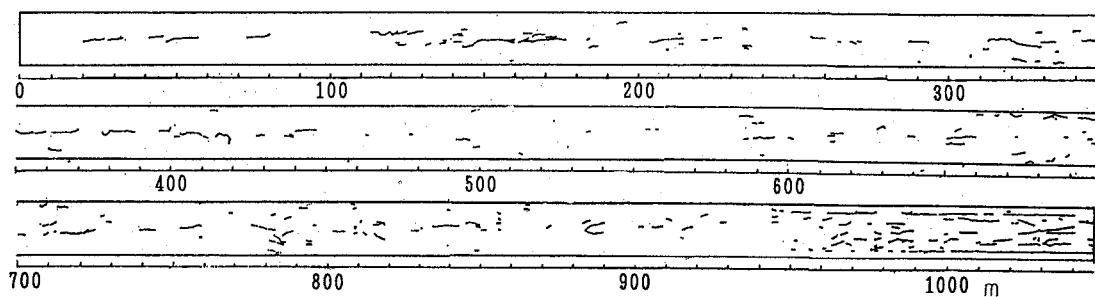


图-3 縦断方向亀裂表示図

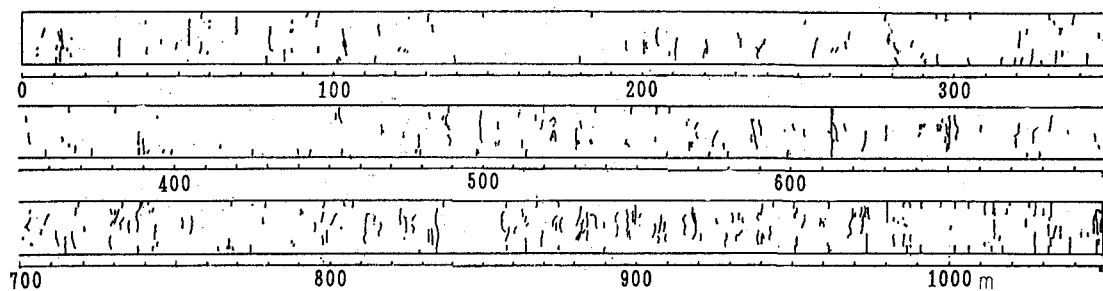


图-4 横断方向亀裂表示図

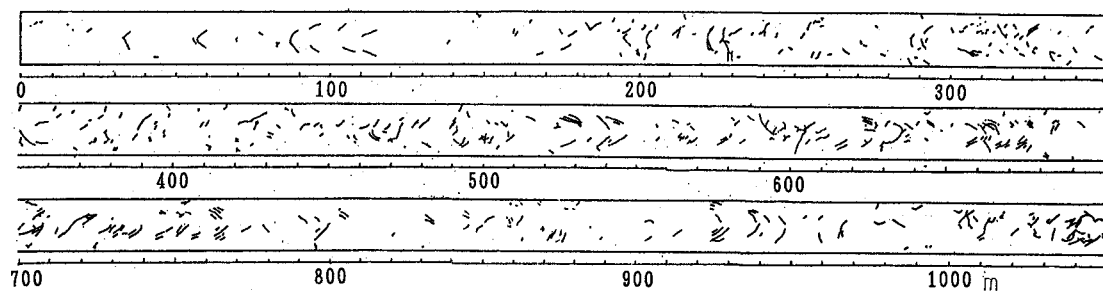


图-5 斜方向亀裂表示図

4-2. 地表地質踏査結果

トンネル付近の地質は、頁岩を主体とし砂岩を挟在する地層と砂岩を主体として頁岩を挟在する地層とがほぼ1:1の割合で分布し、数百m~1kmの幅で何回も繰り返す帯状配列で特徴づけられる。トンネル周辺地山の岩盤分類（建設省基準）ではトンネル中央部付近のみにA種岩盤が出現しているが、全般としてB種岩盤であり、一部でC、D種岩盤が存在している。図-6に推定地質断面図及び岩盤分類を示す。

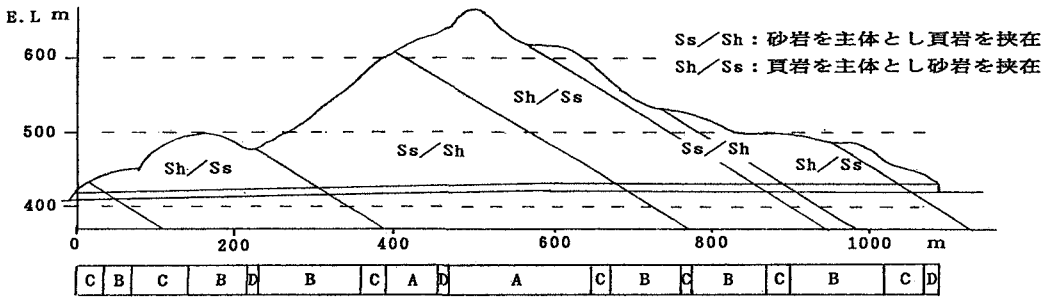


図-6 推定地質断面図および岩盤分類

4-3. 弾性波探査結果

図-7に弾性波探査結果を示す。道路面直下部に縦波（P波）速度（ V_p ）=1~1.3 km/sの低速度層があり、その下に厚さ5m程度の2~2.5 km/sの速度層が分布している。この下位には3 km/s以上の速度層がひろがっているが、一部に3 km/s以下の部分が存在している。

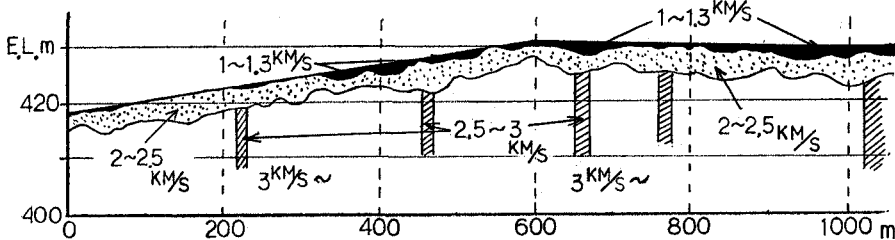


図-7 弾性波探査結果

4-4. 水圧測定結果

水圧測定は、亀裂調査の結果、漏水が顕著に見られた地点近傍において実施した。水圧変動の最大値は0.183 kgf/cm²であり、これは道路面からの高さに換算すると4m程度、つまりトンネル肩部付近まで水位が上昇していることを示す。

4-5. コアボーリング調査結果

コアボーリング調査は、側壁部（φ76mm）・アーチ部（φ110mm）で実施した。側壁部では、覆工厚・空洞厚・コンクリート強度・地山強度を調べた。その結果、側壁部背面に最大で1.2mの空洞が存在していることがわかった。覆工厚は、ほぼ平均して0.5m程度であった。また、コンクリート強度は平均値219 kgf/cm²、地山強度は、頁岩部で124.1~409.1 kgf/cm²、砂岩部では、542.2~2000 kgf/cm²以上となっていた。アーチ部のコアボーリングは、亀裂の発達している地点で覆工内部における亀裂の状態を調査するために実施した。その結果、覆工内の亀裂は、覆工面にほぼ垂直に入り、さらに覆工前面に向かって開いており、その亀裂幅は0.5~3mm程度であった。この孔を用いて覆工背面の状況を調査した結果、覆工背面には崩土・落石などがのっており、発泡モルタルが流れた痕跡が見られた。

図-8にコアボーリング結果及び既存資料による覆工厚・空洞の分布と各亀裂のゾーニング結果を示す。

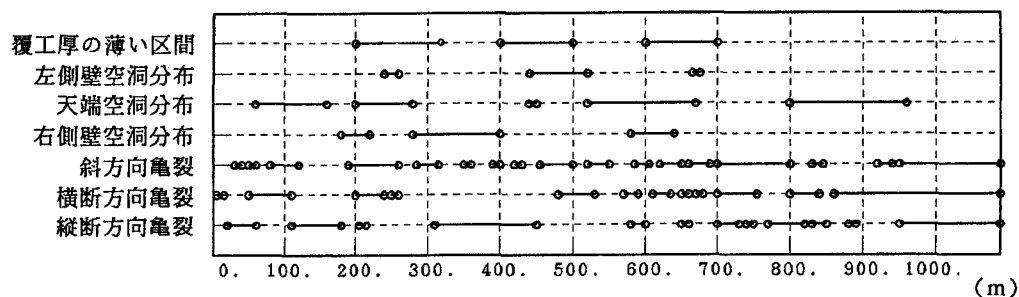


図-8 覆工厚空洞分布と亀裂のゾーニング

覆工厚との関係を見ると横断方向及び斜方向亀裂とその分布が一致しているよう思われる。また、空洞の分布に対しては、3つのタイプの亀裂とも関係があるように思われる。

5. ひび割れ発生原因の推定

縦断方向、横断方向及び斜方向亀裂の発生原因について以下にまとめる。

5-1. 縦断方向の発生原因 (図-9)

縦断方向亀裂の特徴は次の2点である。

- ①天端付近に集中して発生している。
- ②亀裂は覆工内面に開いている。

縦断方向亀裂の卓越している場所においては、覆工天端背面付近に空洞が存在している。地山の悪い部分において長期的な地山のゆるみにより、落石・崩土等が生じ偏圧として覆工にはたらく縦断方向亀裂が生じたものと推定される。

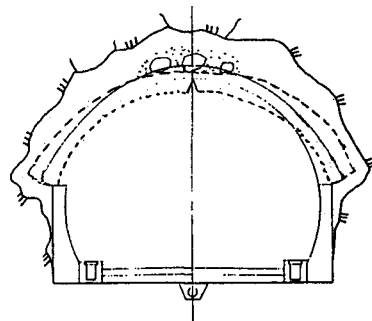


図-9 縦断方向亀裂の発生原因

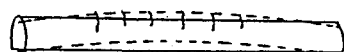
5-2. 横断方向亀裂の発生原因

横断方向亀裂の特徴は次の2点である。

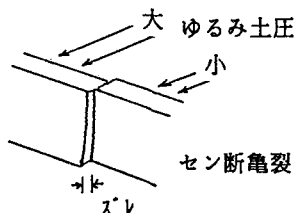
- ①コンクリートの打ち継ぎ目が発生している。
- ②天端付近だけでなく側壁部にも発生している。

横断方向の亀裂の発生原因として次のことが考えられる。

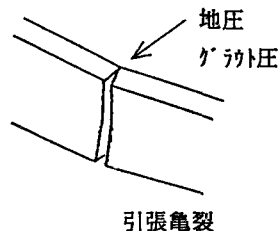
- 1) 地山自体の動きにより縦断方向に曲げが生じた場合 (図-10-a)
- 2) 側壁背面のゆるみ土圧の差によるセン断亀裂が打ち継ぎ目が発生した場合 (図-10-b)
- 3) 側壁のはらみ出し (地圧またはグラウト圧) により引張亀裂が発生した場合 (図-10-c)



1) 地山自体の動きによる
横断亀裂の発生



2) ゆるみ土圧の差による
セン断亀裂の発生



3) 側壁のはらみ出しによる
引張亀裂の発生

図-10 横断方向亀裂の発生原因

5-3. 斜方向亀裂

斜方向亀裂の特徴は次の3点である。

- ①トンネル中央部付近を境として亀裂方向が逆になっている。
- ②亀裂ピッチに5～7mで規則性がある。
- ③すべての亀裂がトンネルアーチ部に集中している。

以上のことより斜方向亀裂の発生原因として考えられるのは、トンネル施工時の状況である。このトンネルは、0～550mまでは2‰の上り勾配、550mからは0.4‰の下り勾配となっており、掘削は左右両坑口から実施された。このため覆工コンクリート打設時に図-11に示すように勾配にそってコンクリートが流れ覆工の厚みに差が生じ、その後の乾燥収縮、水圧変動、崩土、落石等により図-12に示すような斜方向亀裂が生じたものと推定される。

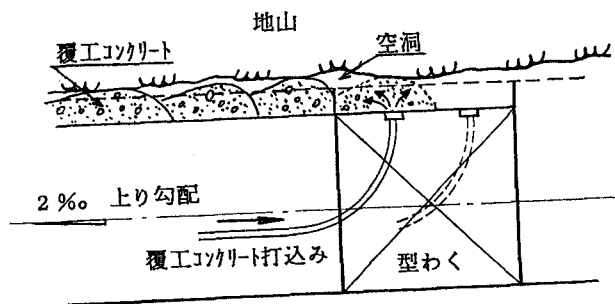


図-11 覆工天端のコンクリート打設状況

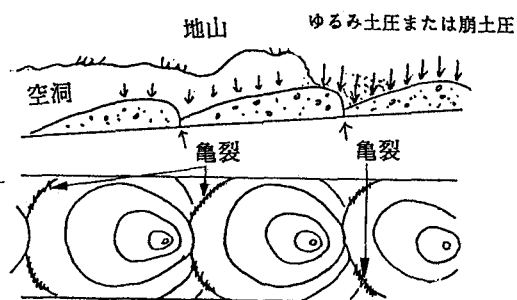


図-12 斜方向亀裂の発生原因

6. あとがき

今回の亀裂調査においては、トンネルの発生する亀裂には従来の縦断方向亀裂や横断方向亀裂に加えて斜方向亀裂が存在することが判明した。亀裂の発生原因として、崩土圧・落石・覆工背面の押しだし圧の差・水圧等の周辺地山の状態に起因するものと、グラウト圧・コンクリートの乾燥収縮・コンクリート打設時のかたよりによる覆工厚さの違いといったトンネル施工時の条件に起因するものの2つが考えられる。トンネルに発生する亀裂はこれらの要因が複雑に複合して形成されている。これらの複雑に形成されている亀裂を、それぞれの特徴別つまり、縦断方向・横断方向・斜方向亀裂別に表示するといった簡単なパターン化を実施することが亀裂の発生原因を推定するに際して有効であることが判明した。今回用いた方法は、亀裂調査図をもとにディジタイザーとパーソナルコンピュータにより亀裂情報を取り込み、各亀裂別に再表示しているだけであるので、非常に簡便である。亀裂調査図さえあれば、同じ分類を実施することができるので今後データの蓄積をはかことも可能である。