

## 【参考資料】

### 第1章 調査及び対策工の検討方針

#### 1-1 調査

##### 1-1-1 調査の目的

トンネルの調査は、点検結果に基づき調査が必要と判断される場合に行われるものである。点検で得られた変状に関する情報、資料を補い、現況の変状状況を把握し、変状原因の推定、通行者・車両の安全確保、構造物としての安全性、維持管理作業に及ぼす影響、対策工の要否および緊急性を判定するとともに、対策工の選定、範囲、数量等の設計資料を得ることを目的とする。

##### 1-1-2 調査の必要な変状

トンネルの調査は、変状詳細状況の把握や変状原因の推定、対策工の必要性および緊急性の判断を目的としていることから、変状が単純で原因が明らかであり、対策工の選定に調査を要しないものについては、調査を省略して対策工を実施することが可能となる。

調査が必要となる変状の種類を表-1.1.1に示す。表に示す以外の変状については、調査を省略して対策工の検討が可能となるが、点検者の判断で調査が必要と考えられる場合は必要となる調査を提案するものとする。

表-1.1.1 調査が必要となるトンネル変状の種類

| 変状種類 | 調査目的        | 変状状況  |
|------|-------------|---|
| ひび割れ | 外力の作用が疑われる  | 幅3mm以上、段差を伴う、角欠け(圧ざ)を伴う                             |
|      | 背面空洞が疑われる   | 放射状・同心円状のもの   |
|      | 鉄筋の劣化が疑われる  | RC構造で幅0.5mm以上もしくは錆汁を伴うもの<br>坑門工で幅0.4mm以上もしくは錆汁を伴うもの |
| うき   | 原因特定、対策工の判断 | 目地以外の箇所範囲が1㎡以上のもの                                   |
| 背面空洞 | 対策工の判断      | 地山が露出するもの、背面空洞が確認されるもの<br>覆工厚が20cm未満のもの             |
| 鋼材露出 | 対策工の判断      | 構造鉄筋、鋼製支保工が露出しているもの                                 |
| 漏水   | 原因特定、対策工の判断 | 噴出・流下、析出物を伴う、有色・有臭のもの                               |
| 変形   | 外力の作用が疑われる  | 覆工の変形、舗装版の隆起・沈下、縁石の押出し、<br>目地開き                     |
| 材質劣化 | 対策工の判断      | 骨材が粒径の半分以上露出、モルタル分が削れるもの<br>建設後40年以上経過するトンネル        |

### 1-1-3 調査項目の選定

調査が必要とした変状に対して、以下の調査項目を選定することを基本とする。ただし、点検者の判断で別途調査が必要と考えられる場合は、必要な調査を提案するものとする。

表-1.1.2 トンネル変状に対する調査項目

| 変状                     | 変状状況                | 調査内容  |
|------------------------|---------------------|---|
| ひび割れ                   | 外力が疑われるもの           | クラックゲージ等による進行性調査  |
|                        |                     | 内空断面計測による進行性調査  |
|                        | 背面空洞が疑われるもの         | 電磁波レーダー探査(覆工厚・背面空洞)   |
| うき                     | 鉄筋劣化が疑われるもの         | 中性化深さ調査(フェノールメチン法・ドリル削孔法)                                     |
|                        |                     | 鉄筋腐食の調査(はつり法、自然電位法)   |
| 原因特定・対策工判断             | 電磁波レーダー探査(覆工厚・背面空洞) |   |
| 背面空洞                   | 分布状況把握・対策工判断        | 電磁波レーダー探査(覆工厚・背面空洞)   |
|                        |                     | ファイバースコープによる内部状況調査  |
|                        |                     | コンクリート圧縮強度試験(コア・非破壊)  |
| 鉄筋露出                   | かぶり状況把握・対策工判断       | 鉄筋かぶり探査(電磁誘導法・電磁波反射法)   |
|                        |                     | 中性化深さ調査(フェノールメチン法・ドリル削孔法)                                     |
|                        | 鉄筋劣化が疑われるもの         | 鉄筋腐食の調査(はつり法、自然電位法)   |
| 漏水                     | 原因特定・対策工判断          | 地表踏査、湧水量調査  |
|                        | 有害水等が疑われるもの         | 水質分析(pH・電気伝導度・イオン chromatography)<br>析出物の科学分析(粉末X線解析、SEM、EDS) |
| 変形                     | 外力が疑われるもの           | 内空断面計測による進行性調査  |
|                        |                     | 水準測量による動態観測   |
|                        |                     | 3Dゲージ等による進行性調査  |
| 材質劣化                   | 原因特定・対策工判断          | 劣化深さ調査(コアボーリング)   |
|                        |                     | コンクリート圧縮強度試験(コア)  |
|                        |                     | 中性化深さ調査(フェノールメチン法・ドリル削孔法)                                     |
|                        | 建設後40年以上経過          | 電磁波レーダー探査(覆工厚・背面空洞)   |
|                        |                     | ファイバースコープによる内部状況調査  |
| コンクリート圧縮強度・中性化深さ試験(コア) |                     |   |
| 路面                     | 外力が疑われるもの           | 内空断面計測による進行性調査  |
|                        |                     | 水準測量による動態観測   |
| その他                    | 偏土圧・地すべりが疑われるもの     | 地表踏査  |
|                        |                     | 調査ボーリング・傾斜計による動態観測  |
|                        |                     | クラックゲージ・内空断面計測による進行性調査  |

点検では、変状の状況に応じて調査の必要性を判定するものとし、利用者被害の可能性や構造安全性の判定区分が1～2の場合はC1、判定区分が3～5の場合はC2を選定する。

表-1.1.3 トンネル調査に対する判定基準

| 判定区分 | 判定基準  |
|------|---|
| C2   | 通行者・通行車両に対して危険を与えるため、早急に詳細調査を実施して対策を検討する必要があるもの       |
| C1   | 現状では通行者・通行車両に対して危険はないが、変状原因や進行性の把握のため、計画的な詳細調査が必要なもの。 |

1-1-4 トンネルの変状原因と特徴

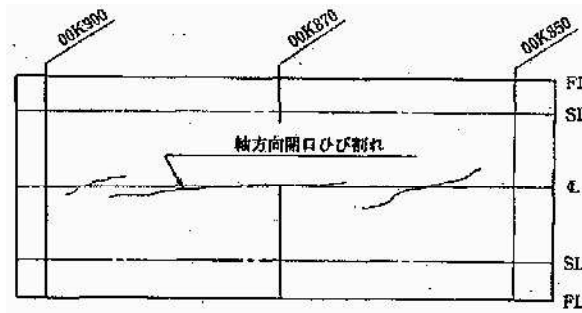
以下に、「道路トンネル変状対策工マニュアル(案) 独立行政法人土木研究所 平成15年2月」に記載される変状の原因と特徴を示す。

1-1-4-1 外力による変状

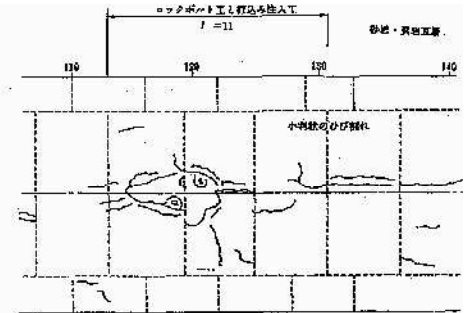
| 原因      | 概要       | 備考  |
|---------|----------|---|
| 外力による変状 | 緩み土圧     | <p>緩み土圧は、地山が自然に緩み、自重を支えられなくなり、覆工に荷重として作用する鉛直圧を主体とするものである。このため、アーチの天端にトンネル縦断方向の開口性ひび割れを生じるものが多い。</p>                               |
|         | 突発性の崩壊   | <p>トンネルの上部に比較的大きい空げきがあり、空げきの上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し落下し、場合によっては衝撃的に覆工に衝突する。覆工の強度が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内へ落下する崩壊をいう。集中荷重になる場合がある。</p> |
|         | 偏土圧・斜面葡行 | <p>斜面下や、傾斜した片理や直下方向に緩みが生じて偏土圧が作用し、トンネルが変状するものである。山側アーチ肩部に水平開口ひび割れ、段差が生じることが多い。</p>  |
|         | 地すべり     | <p>地すべり粘土に地下水が作用して強度を低下させ、すべり面に沿って地すべり土塊を滑動させ、トンネルが変状するものをいう。地すべりによる変状は、トンネルとすべり面の位置関係により変状の発生形態が異なる。</p>                         |
|         | 膨張性土圧    | <p>膨張性土圧による変状では、左右の側壁あるいはアーチの両肩に、複雑な水平ひび割れが生じやすく、アーチと側壁間に打継目がある場合には段差が生じることがある。</p>   |
|         | 支持力不足    | <p>支持力不足がトンネルの変状と結びつきやすいのは、縦断的、あるいは横断的な不同沈下である。前者の場合、輪切り方向のひび割れが生じやすい。また、後者の場合はトンネル軸の回転を伴い、斜め方向のひび割れを生じる。</p>                     |
|         | 水圧・凍上圧   | <p>水圧・凍上圧は、漏水と深くかかわっており、トンネルに作用する場合は通常、側圧が卓越し、側壁あるいはアーチ肩部の水平ひび割れが生じることが多い。</p>  |

(1) 緩み土圧

緩み土圧は、地山が自然に緩み、自重を支えられなくなり、覆工に荷重として作用する鉛直圧を主体とするものである。このため、アーチの天端にトンネル縦断方向の開口性ひび割れを生じるものが多い。



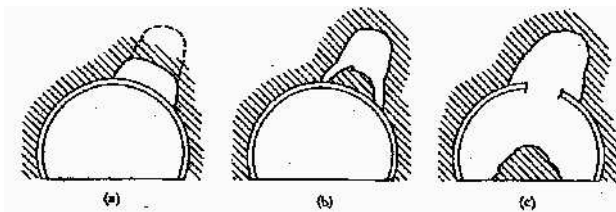
変状展開図の例1



変状展開図の例2 (局所的に作用する場合)

(2) 突発性の崩壊

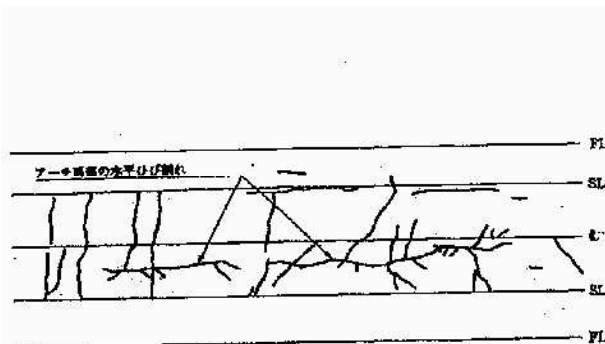
トンネルの上部に比較的大きい空げきがあり、空げきの上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し落下し、場合によっては衝撃的に覆工に衝突する。覆工の強度が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内に落下する崩壊をいう。集中荷重になる場合がある。



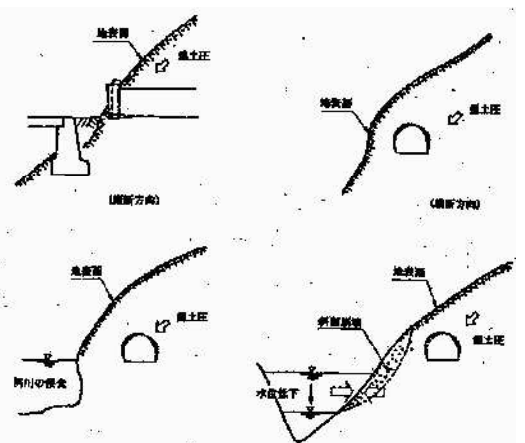
崩壊メカニズム

(3) 偏土圧、斜面爬行

斜面下や、傾斜した片理や直交方向に緩みが生じて偏土圧が作用し、トンネルが変状するものである。山側アーチ肩部に水平開口性ひび割れ、段差が生じることが多い。



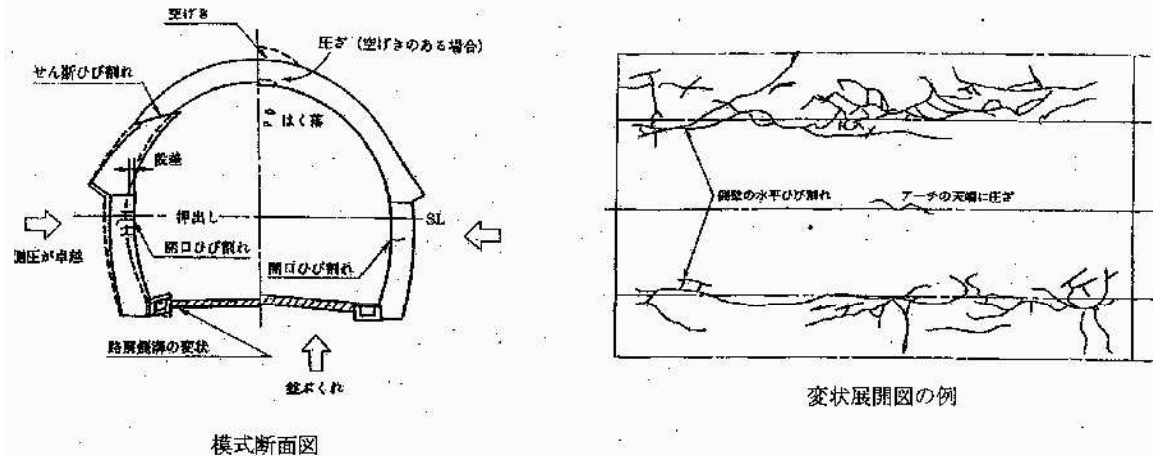
変状展開図の例



偏圧の発生メカニズム

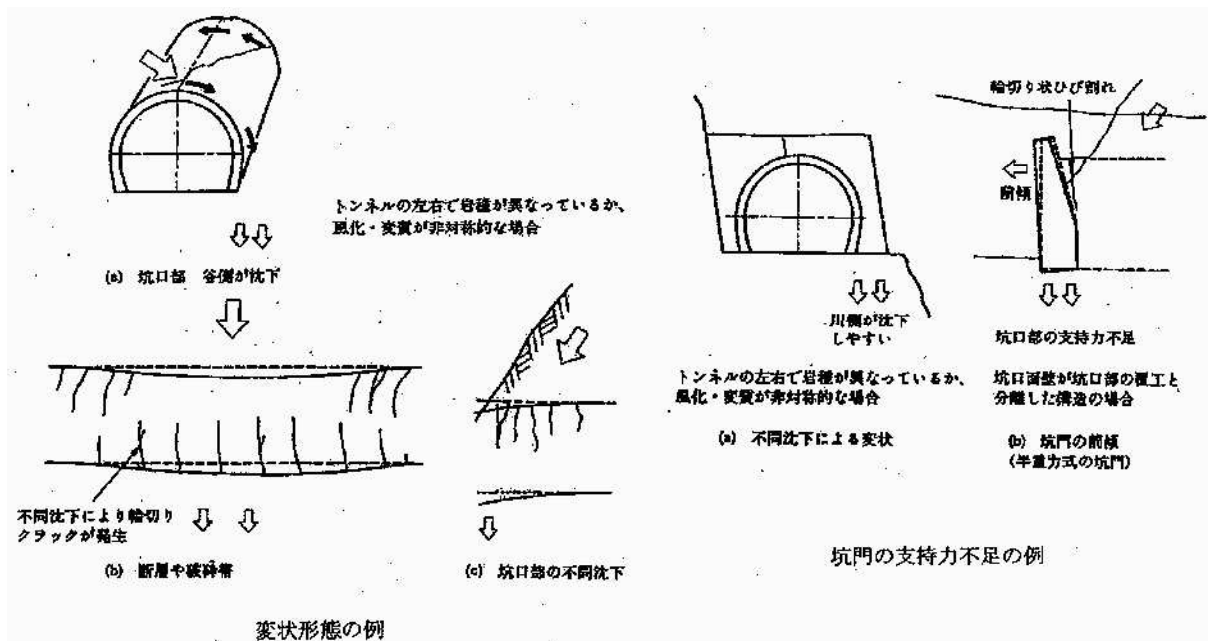
(4) 膨張性土圧（側壁、盤ぶくれ）

膨張性土圧による変状では、左右の側壁あるいはアーチの両肩に、複雑な水平ひび割れが生じやすく、アーチと側壁間に打継目がある場合には段差が生じることがある。



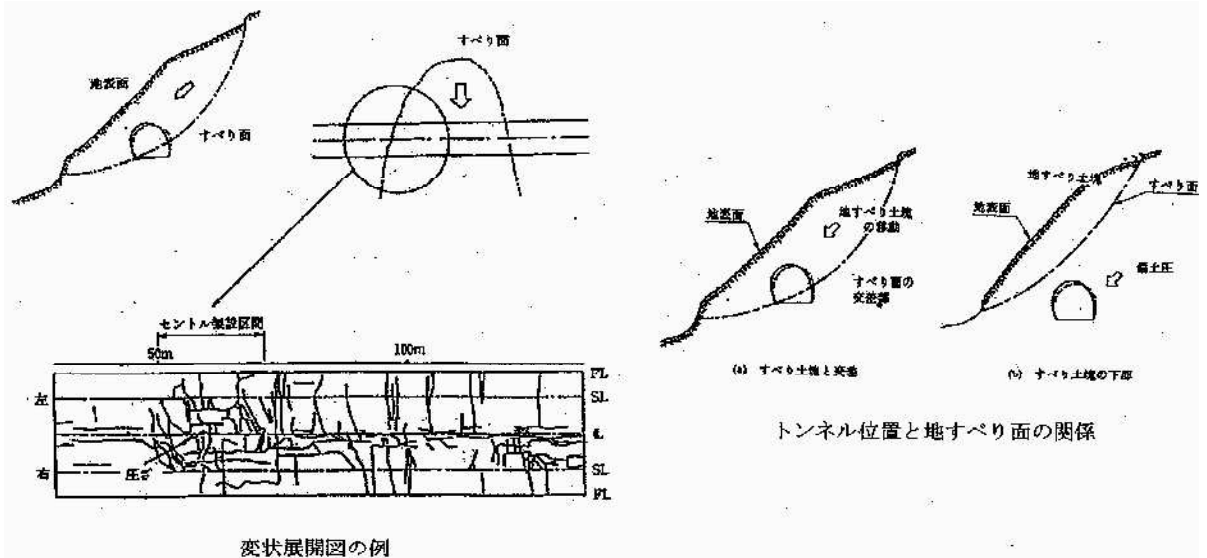
(5) 支持力不足

支持力不足がトンネルの変状と結びつきやすいのは、縦断的、あるいは横断的な不同沈下である。前者の場合、輪切り方向のひび割れを生じやすい。また、後者の場合はトンネル軸の回転を伴い、斜め方向のひび割れを生じる。



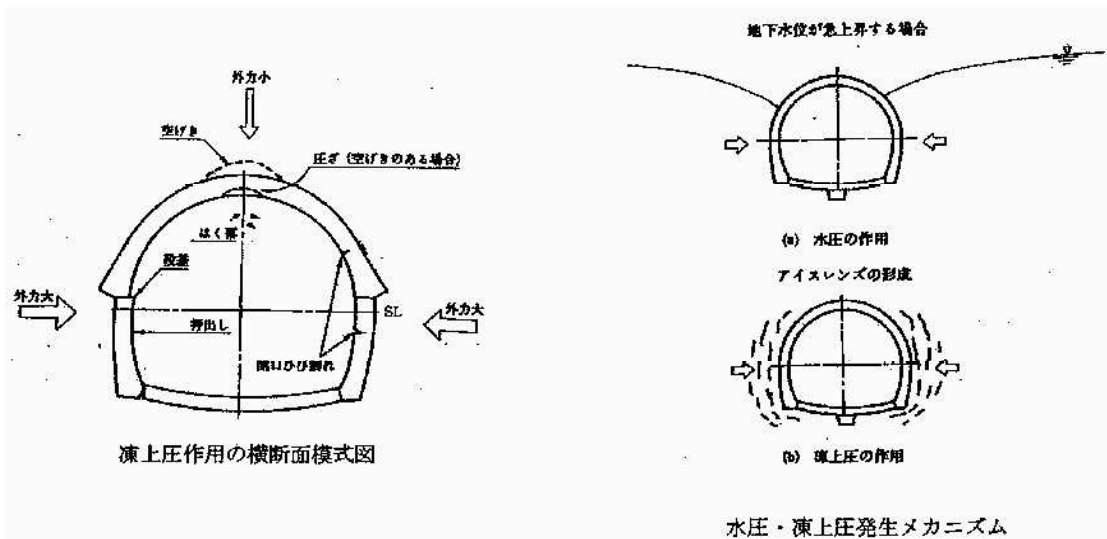
(6) 地すべり

地すべり粘土に地下水が作用して強度を低下させ、すべり面に沿って地すべり土塊を滑動させ、トンネルが変状するものをいう。地すべりによる変状はトンネルとすべり面の位置関係により変状形態が異なる。

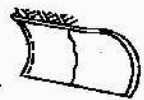


(7) 水圧

水圧・凍上圧は、漏水と深くかかわっており、トンネルに作用する場合は通常、側圧が卓越し、側壁あるいはアーチ肩部の水平ひび割れが生じることが多い。



1-1-4-2 材料劣化による変状

| 原因           | 概要   | 備考   |
|--------------|--|--|
| 経年劣化         | ここで経年劣化はコンクリートの中性化を主たる内容とする。コンクリートの中性化は、主としてコンクリート中の強アルカリ生成物である水酸化カルシウムが、大気中の炭酸ガスと反応してアルカリ性を失い、中性化する現象をいう。                             |  |
| 凍害           | 寒冷地のトンネルでは、凍害は覆工の劣化要因の中で最も問題となることが多い要因である。凍害の発生機構は、コンクリート中の水分の凍結およびそれに伴う体積膨張にある。   |  |
| 塩害           | 塩害による変状には、コンクリート中の鋼材腐食、海水とコンクリートの反応によるコンクリートの多孔質化などがある。  |  |
| 有害水          | 背面地山中の地下水には、火山地帯に見られる弱酸性水などのように、覆工にとって有害成分を含むものがあり、覆工劣化をもたらす原因となる。   |  |
| 使用材料<br>施工方法 | 使用材料および施工条件に起因する変状は、発生時期は早期なものが多い。使用材料の不適切な選定として、セメントの異常膨張などがある。施工条件に起因する変状として、セメントの水和熱による温度変化とそれに伴う体積変化が地山の拘束を受けた場合にひび割れが生じる場合が考えられる。 |  <p>乾燥収縮および外気と地山の温度差によるひび割れ</p> |
| 鋼材腐食         | 坑門等の鉄筋コンクリート構造物では、鋼材の腐食・体積膨張により、鉄筋に沿ったひび割れの助長および鋼材断面の減少・耐力低下を生じる可能性がある。  |  |
| アルカリ骨材反応     | トンネル覆工ではこれまでのところアルカリ骨材反応による変状事例は少ない。   |  |
| 火災           | 通行車両の事故による火災時には、コンクリートは高温条件にさらされる。火災による覆工の劣化としては、強度、弾性係数等の力学的性質の低下、コンクリートの表面および内部での爆裂現象、はく離、ひび割れ等が考えられる。                               |  |
| その他          | 通行車両の排気ガスや煤煙に含まれる窒素酸化物などが漏水中の水分と化合して強い酸性水を生成する可能性がある。これまでのところ煙害による直接的変状の例は少ない。   |  |

| 大分類         | 中分類    | 小分類    | 原因  |
|-------------|--------|--------|---|
| 材料          | 使用材料   | セメント   | セメントの異常凝結・異常膨張<br>セメントの水和熱（温度応力）                |
|             |        | 骨材     | 骨材中の泥分・低品質骨材<br>反応性骨材                           |
|             | コンクリート |        | コンクリート中の塩分<br>コンクリートの沈下・ブリーディング<br>コンクリートの乾燥収縮  |
| 施工          | コンクリート | 練混ぜ    | 不十分あるいは長時間の練混ぜ                                  |
|             |        | 運搬     | ポンプ圧送時の配合変更                                     |
|             |        | 打込み    | 不十分な打込み順序<br>急速な打込み                             |
|             |        | 締固め    | 不十分な締固め   |
|             |        | 養生     | 硬化前の振動や荷重<br>初期養生中の急速な乾燥<br>初期凍害                |
|             |        | 打継ぎ    | 不十分な打継ぎ処理                                       |
|             | 鉄筋     | 配筋     | 配筋の乱れ、かぶり厚さの不足                                  |
|             | 型枠     | 型枠     | 型枠のはらみ、早期除去<br>型枠からの漏水                          |
| 支保工         |        | 支保工の沈下 |   |
| 使用・<br>環境条件 | 物理的    | 温度・湿度  | 環境温度・湿度の変化<br>部材内の温度差<br>凍結融解の繰返し<br>火災・表面加熱    |
|             | 化学的    | 化学作用   | 酸・塩類の化学作用<br>中性化による内部鉄筋の腐食<br>浸透塩分化合物による内部鉄筋の腐食 |

### (1) 経年劣化

覆工の材料劣化は原因に関係なく、時間の経過とともに進行するが、個々での経年劣化はコンクリートの中性化を主たる内容とする。

コンクリートの中性化は、コンクリートの密実性を損なうとともに、コンクリート中の鋼材が錆を生じる原因となる。コンクリート覆工は無筋コンクリートが主体であるため、中性化そのものが重大な問題を引き起こす可能性は小さいと考えられるが、坑門等の鉄筋コンクリート構造物では鋼材腐食の原因ともなりうる。

## (2) 凍害

寒冷地のトンネルでは、凍害は覆工の劣化要因の中でもっとも問題となることが多い要因である。凍害による変状では、あばた・ひび割れのほか、骨材を中心としたコンクリートのポップアウト現象、モルタル及びコンクリート部のスケーリング等の現象が見られるのが特徴である。一般的には、変状の進行は冬期を含む寒冷気候前後での進行という季節的な変動が顕著に認められる。

## (3) 塩害

塩害による変状には、コンクリート中の鋼材腐食、中性化およびアルカリ骨材反応の助長、海水中に含まれる塩素イオン・硫酸イオン等とコンクリートの水酸化カルシウムの反応によるコンクリートの多孔質化、ひび割れ、表面はく離がある。

## (4) 有害水

背面地山中の地下水には、覆工にとって有害成分を含むものがあり、とくに、それが酸性を示す場合には覆工劣化をもたらす原因となる。

有害成分を含む地下水には以下のようなものがある。

- ① 火山地帯に見られる強酸性の温泉水
- ② 鉱床を伝わって湧出する地下水
- ③ 炭酸ガスが水中に溶存する地下水
- ④ 植物の遺骸等の不完全分解による腐食酸を含む地下水

有害な地下水に直接さらされる覆工背面、あるいはなんらかの理由により生じたひび割れからの漏水に接する覆工内部、内空表面では劣化の進行、強度低下をもたらす可能性がある。

## (5) 使用材料および施工方法に関する変状

### 1) 特徴

使用材料および施工条件に起因する変状はトンネル構造物としての寿命に比較すると発生時期は早期なものが多い。また、変状が生じて、直ちに構造物としての安定性が損なわれる可能性は小さいと考えられる。ただし、一度生じた変状は他の要因による影響を助長する可能性があることに注意が必要である。

### 2) 発生機構および発生しやすい条件

使用材料の不適切な選定が変状、主としてひび割れの発生につながる場合がある。アルカリ骨材反応、コンクリート中の塩化物等による変状も材料に原因がある場合の変状であるが、そ

れを除くと下記の原因が挙げられる。

- ① セメントの異常凝結・異常膨張
- ② 骨材に含まれる泥分・低品質骨材
- ③ コンクリートの沈下、ブリーディング
- ④ コンクリートの温度変化・乾燥収縮等

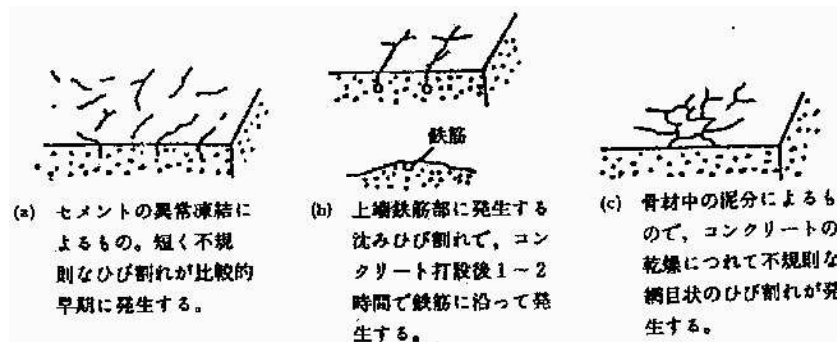
コンクリート覆工では、セメントの水和熱による温度変化とそれに伴う体積変化が地山の拘束を受けた場合に、ひび割れが生じる場合が考えられる。いわゆる温度ひび割れであるが、これはセメントの種類、単位セメント量、覆工厚、坑内環境の影響を受ける。乾燥収縮によるひび割れは、コンクリートの配合（とくに単位水量が大きいほど乾燥収縮は大となる）、坑内温度、通風量等が影響する。

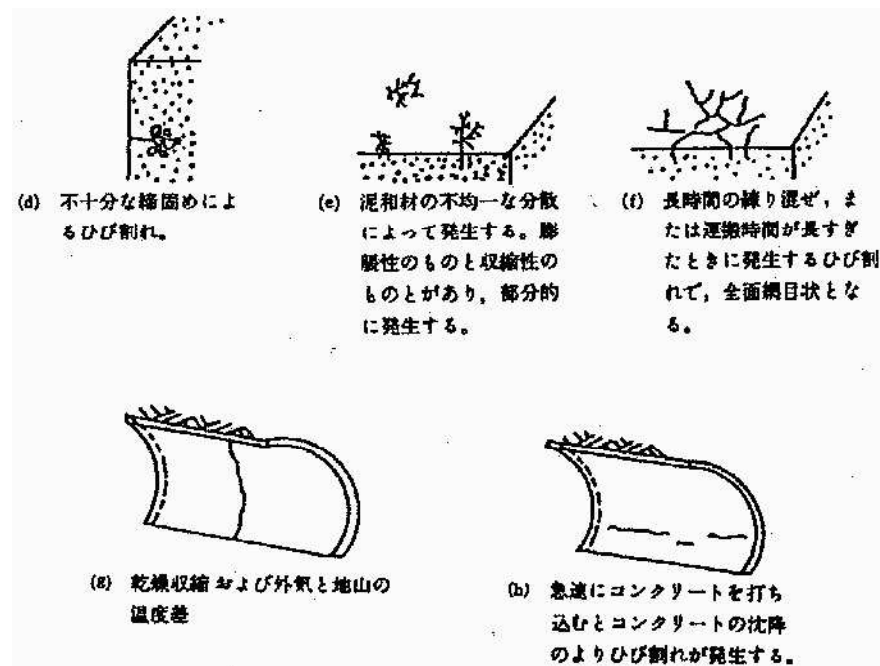
温度応力、乾燥収縮によるひび割れは、トンネル横断方向に見られるものが多いが、時間の経過とともに、縦断方向に発生する場合もある。温度応力では、コンクリート打設後、1～2週間程度、乾燥収縮では、コンクリート打設後数十日以降に生じることが多く、いずれも覆工の供用年数に比較すると早期なものである。したがって、供用後ある程度の年数が経過した条件下では、変状の進行は小さく、季節的な温度変動の影響を受ける程度である。

コンクリートの施工条件に関する変状の要因としては、下記の項目が考えられる。

- ① 練混ぜに関するもの：混和材料の不均一な分散、長時間の練混ぜ等
- ② 運搬、打込みに関するもの：ポンプ圧送時の配合の変更、不適当な打込み順序、過大な運搬時間等
- ③ 締固め、養生に関するもの：不十分な締固め、工構の振動や載荷、初期養生中の急激な乾燥、初期凍害、不適当な打継ぎ処理等
- ④ 鉄筋、型わくに関するもの：型枠のはらみ、移動、型枠からの漏水、型わくの早期除去、支保工の沈下等

下図は、使用材料および施工条件に関わるひび割れの特徴を示したものである。





使用材料・施工方法に関するひび割れ

## (6) 鋼材腐食

### 1) 特徴

覆工コンクリートは無筋コンクリートが主体であるが、坑門等では鉄筋コンクリート構造が採用されるなど、コンクリート中に鋼材を含む構造物もある。この種の構造物では、鋼材の腐食・体積膨張により、鉄筋に沿ったひび割れの助長および鋼材断面の減少と、それにとまなう構造の耐力低下を生じる可能性がある。

### 2) 発生機構および発生しやすい条件

鋼材腐食の原因としては、コンクリートのかぶり厚さ、中性化深さ、塩化物含有量等の要因が関係する。中性化にとまなう経年劣化、塩害と密接な関係を有する。

## (7) アルカリ骨材反応

トンネル覆工では、これまでのところアルカリ骨材反応（わが国ではアルカリシリカ反応が多い）による変状事例は少ない。

アルカリ骨材反応が進行するとコンクリートにはひび割れ、ゲル（反応生成物）のしみ出し、部材のずれや移動等の劣化が生じる。無筋コンクリートでは、亀甲状のひび割れが、鉄筋コンクリートでは鉄筋に沿ったひび割れが多く見られる。これらのひび割れが生じても構造物としての耐力が直ちに低下するものではないが、凍害や科学的浸食に対する抵抗性が低下する。

## (8) 火災

通行車両の事故による火災時には、コンクリートは高温条件にさらされる。火災による覆工の劣化としては、強度、弾性係数等の力学的性質の低下、コンクリート表面および内部での爆裂現象、はく落、ひび割れ等が考えられる。また、鉄筋コンクリート構造物では、鉄筋とコンクリートとの付着強度の低下等がある。事故による火災の被害を受けた場合には、覆工材料のサンプリング等により、十分にその強度・耐久性等の品質を調査する必要がある。

## (9) その他（煙害）

通行車両の排気ガスや煤煙含まれる窒素酸化物（ $\text{NO}_x$ ）や亜硫酸ガス（ $\text{SO}_2$ ）が漏水中の水分と化合して硝酸・硫酸等の強い酸性水を生成する可能性がある。コンクリートやモルタル（目地材）は固有の性質として強酸に対する抵抗性は期待できないため、覆工の劣化につながる可能性がある。

交通量、排煙・排気状態、トンネル延長等が要因となるが、これまでのところ煙害による直接の変状の例は少なく、また、劣化が急激に進行する可能性は小さいと考えられる。

### 1-1-4-3 漏水による変状

| 原因 | 概要   | 備考 |
|----|--|----|
| 漏水 | 漏水は、外力による変状の原因にもなるが、それ以外にも漏水自体が問題となる場合がある。 |    |

漏水は、覆工コンクリートの材質劣化の原因や、背面の土砂の流出による緩みの増加等により外力による変状の原因にもなるが、それ以外にも、漏水自体が問題となる場合がある。たとえば、路面の滑りは交通安全上望ましくなく、トンネル内の附属施設への悪影響、さらに通行車両の快適性および美観上の観点から望ましいものではない。また寒冷地域では、路面の凍結やつららが発生する場合があり、とくに問題が大きい。

漏水の原因は、背面地山の地下水の存在、および防水工、排水工の不良等がある。現在の標準的な山岳工法では、一般に覆工コンクリート背面に防水シートを施工することにより、ほぼ完全な漏水対策が可能であるが、従来用いられてきた矢板工法等では、背面の湧水処理が技術的に困難であるため、漏水が発生する割合が高い。

1-1-4-4 その他

| 原因  | 概要          | 備考  |
|-----|-------------|---|
| その他 | 背面の<br>空げき  | 覆工背面の空げきは、地山を緩め、土圧を増加させる原因となるばかりでなく、受働土圧の発生を阻害して、覆工の構造的な強度低下の原因となる。                                 |
|     | 巻厚          | 設計巻厚が小さいことにより、想定される土圧が作用しても変状が発生する場合がある。  |
|     | インバート<br>なし | 施工時には大きな土圧の作用がなくインバートを設置しなくとも地山の安定が得られたトンネルにおいて、施工後に何らかの要因により土圧が増大し、インバートを設置していないことにより変状が発生することがある。 |

(1) 背面の空げき

矢板工法では、一般に覆工背面と地山の間に空げきが生ずる。この空げきは、地山を緩め、土圧を増加させる原因となるばかりでなく、受働土圧の発生を阻害して、覆工の構造的な強度低下の原因となる。また、土かぶり薄い場合には、地山を緩め、地表沈下など地表面に悪い影響を与える。矢板工法によるトンネルの建設時に、地質の悪い場合等には、覆工背面の空げきに裏込め注入を行うこととしているが、建設時に裏込め注入を実施しなかった区間では、ほとんどの場合覆工背面に空げきが存在していると考えられる。このような区間において、土圧が増大した場合、背面の空げきが二次的な変状原因として作用し、変状が発生する場合がある。

(2) 巻厚

覆工コンクリート打設時に、型わく内に十分にコンクリートが充填されずに巻厚が設計値よりも少なくなっているケースがある。この場合には、あわせて覆工背面において、コンクリートで充填されるべき箇所に空げきが残ることにもなる。巻厚が不足していることにより、設計上想定した土圧が作用しても変状が発生する場合がある。

(3) インバート

施工時には大きな土圧の作用がなくインバートを設置しなくとも地山の安定が得られたトンネルにおいて、施工後に何らかの要因により土圧が増大し、インバートを設置していないことにより、側圧や盤ぶくれ圧に耐えられなくなり変状が発生する場合がある。この場合には、土圧が一次的な変状原因であり、インバートを設置していないことが二次的な変状原因として考えることができる。また、インバートを設置している場合においても、インバート厚さや曲率が不適切な場合には同様に変状が発生する場合もある。

#### 1-1-5 調査結果の判定

調査結果に対しては、利用者被害の可能性、構造安全性および対策工の緊急性について、点検の判定基準に基づき判定区分1～5で評価を行うものとする。

調査により対策方針が決定した変状については、点検調書様式-6の判定区分、対策工の欄を更新するものとする。

## 1-2 対策

### 1-2-1 対策工選定の方針

対策にあたっては、調査、原因推定からの変状の評価とトンネルの重要度を総合評価し、種々の変状によるトンネル構造物の低下した機能や耐久性を回復させるための最適な方法を検討する必要がある。それには、点検および調査の結果に基づいて変状の状況を十分に把握し、対策方法を選定するとともに、その範囲・規模などについては、対策の目的を満足する範囲で経済性をも考慮して決定することが必要である。

対策の種類としては、変状等が生じたトンネル各部分を正常な機能を発揮するよう補修を目的に行う工法、変状などが進行し続けた場合やトンネル構造物に悪影響に及ぼす規模や範囲が著しく大きな場合などに用いられる大規模な対策に大別できる。

### 1-2-2 恒久対策工の選定

トンネルの変状状況に応じた対策工の選定については、「道路トンネル変状対策工マニュアル(案)」「トンネル補修工法に関する手引き(案) 国土交通省中国地方整備局 平成19年3月」に基づき、はく落対策工・漏水対策工・背面空洞及び巻厚不足について以下の恒久対策工を選定することを基本とする。ただし、調査により変状原因を明らかにした上で対策工を選定する必要があるものについては、調査結果に基づき必要な対策工を検討するものとする。また、点検者の判断によりこれ以外の対策工が適切であると考えられる場合には、最適な対策工を提案できるものとする。

表1.2.1(a) 変状に応じた標準的な恒久対策工

|                   | 変状状況                                | 調査項目              | 恒久対策工                                       |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------|---|
| ひび割れ(覆工)          | コンクリートがブロック化し、はく落の恐れがあるもの(外力が疑われない) | 不要                | 変状面積に応じて、はつり落とし・断面修復工・当て板工を選定               |
|                   | 放射状・同心円状のひび割れ                       | 電磁波レーダー探査         | 空洞の有無・覆工厚に応じて裏込め注入工や内面補強工を選定                |
|                   | 幅3mm以上・段差・角欠け等外力の作用が疑われるひび割れ        | 進行性調査             | 調査結果に応じて対策工を選定                              |
|                   | RC構造区間における0.5mm以上もしくは漏水を伴うひび割れ      | 中性化深さ試験<br>腐食状況確認 | 鉄筋が健全であればひび割れ注入工、鉄筋に腐食が認められれば詳細調査に基づき対策工を選定 |
| 付属施設の支持部分におけるひび割れ | 不要                                  | ひび割れ注入工           |   |
| ひび割れ(坑門)          | コンクリートがブロック化し、はく落の恐れがあるもの(外力が疑われない) | 不要                | 変状面積に応じて、はつり落とし・断面修復工・当て板工を選定               |
|                   | 段差・角欠け等外力の作用が疑われるひび割れ               | 進行性調査             | 調査結果に応じて対策工を選定                              |
|                   | 幅0.4mm以上もしくは漏水を伴うひび割れ               | 中性化深さ試験<br>腐食状況確認 | 調査結果に応じて対策工を選定                              |
|                   | 付属施設の支持部分におけるひび割れ                   | 不要                | ひび割れ注入工                                     |

表1.2.1(b) 変状に応じた標準的な恒久対策工

| 変状状況      |  | 調査項目                          | 恒久対策工                         |
|-----------|--|-------------------------------|-------------------------------|
| うき        | ひび割れ・目地部ではく落の恐れがあるうき<br>(外力が疑われない)       | 不要                            | 変状面積に応じて、はつり落とし・断面修復工・当て板工を選定 |
|           | 外力の作用が疑われるうき                             | 進行性調査                         | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | ひび割れ・目地部以外のうき                            | 電磁波レーダー探査                     | 調査結果に応じて対策工を選定                |
| 豆板・S・材料劣化 | 骨材が露出しはく落の恐れがあるもの                        | 不要                            | 変状面積に応じて、はつり落とし・断面修復工・当て板工を選定 |
|           | 表面が劣化等により強度低下を起こしているもの                   | 中性化深さ試験<br>圧縮強度試験<br>劣化深さ調査   | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | 建設後40年以上経過しているもの                         | 電磁波レーダー探査                     | 調査結果に応じて対策工を選定                |
| 漏水・析出物    | 目地部や無筋区間における漏水                           | 不要                            | 線導水樋工・溝切り工を選定                 |
|           | 材料劣化部における広範囲の漏水                          | 不要                            | 面導水樋工を選定                      |
|           | 噴出・流下している漏水                              | 地表踏査<br>湧水量調査                 | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | つらら・側氷・氷盤                                | 湧水量調査                         | 夏季に湧水量を調査し、調査結果に応じて対策工を選定     |
|           | 有害水が疑われる漏水                               | 水質・科学分析                       | 調査結果に応じて対策工を選定                |
| 背面空洞      | 背面空洞や地山露出、覆工巻厚不足が確認されるもの                 | 電磁波レーダー探査<br>圧縮強度試験           | 空洞の有無・覆工厚に応じて裏込め注入工や内面補強工を選定  |
| 鋼材露出      | 鋼製支保工や構造鉄筋が露出するもの<br>坑門やRC構造区間で錆汁が発生するもの | 鉄筋かぶり探査<br>中性化深さ調査<br>腐食状況調査  | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | 補強鉄筋が露出するもの                              | 鉄筋かぶり探査                       | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | 鋼材が露出し、鋼材や覆工のはく落が懸念されるもの                 | 不要                            | 変状面積に応じて、はつり落とし・断面修復工・当て板工を選定 |
| 沈下・変形     | 覆工・坑門工が傾斜・沈下・変形しているもの                    | 内空断面・ひび割れ進行性調査                | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | 横断目地が2cm以上開き、外力の作用が疑われるもの                | 目地開口幅の進行性調査                   | 調査結果に応じて対策工を選定                |
| 路面        | 舗装の一部がひび割れによりはく離する可能性があるもの、舗装表面の材料劣化     | 不要                            | コンクリート舗装用補修材による表面補修           |
|           | 舗装目地の段差やわだち掘れが顕著なもの                      | 進行性調査                         | 調査結果に応じて対策工を選定                |
|           | 路面から湧水が発生しているもの                          | 不要                            | 地下排水工等による地下水位低下対策を選定          |
|           | 歩道路面が滞水し粉塵が堆積しているもの                      | 不要                            | 体積土砂の撤去、排水工の清掃必要に応じて漏水対策工を選定  |
|           | 縁石の押出しや背面の隙間が発生し、外力の作用が疑われるもの            | 進行性調査                         | 調査結果に応じて対策工を選定                |
| その他       | 偏土圧や地すべりが疑われる変状                          | 地表踏査<br>地すべり動態観測<br>ひび割れ進行性調査 | 調査結果に応じて対策工を選定                |

### 1-2-3 応急対策工の選定

判定区分を1とした変状に対する応急対策工については、以下の工法を選定することを基本とする。

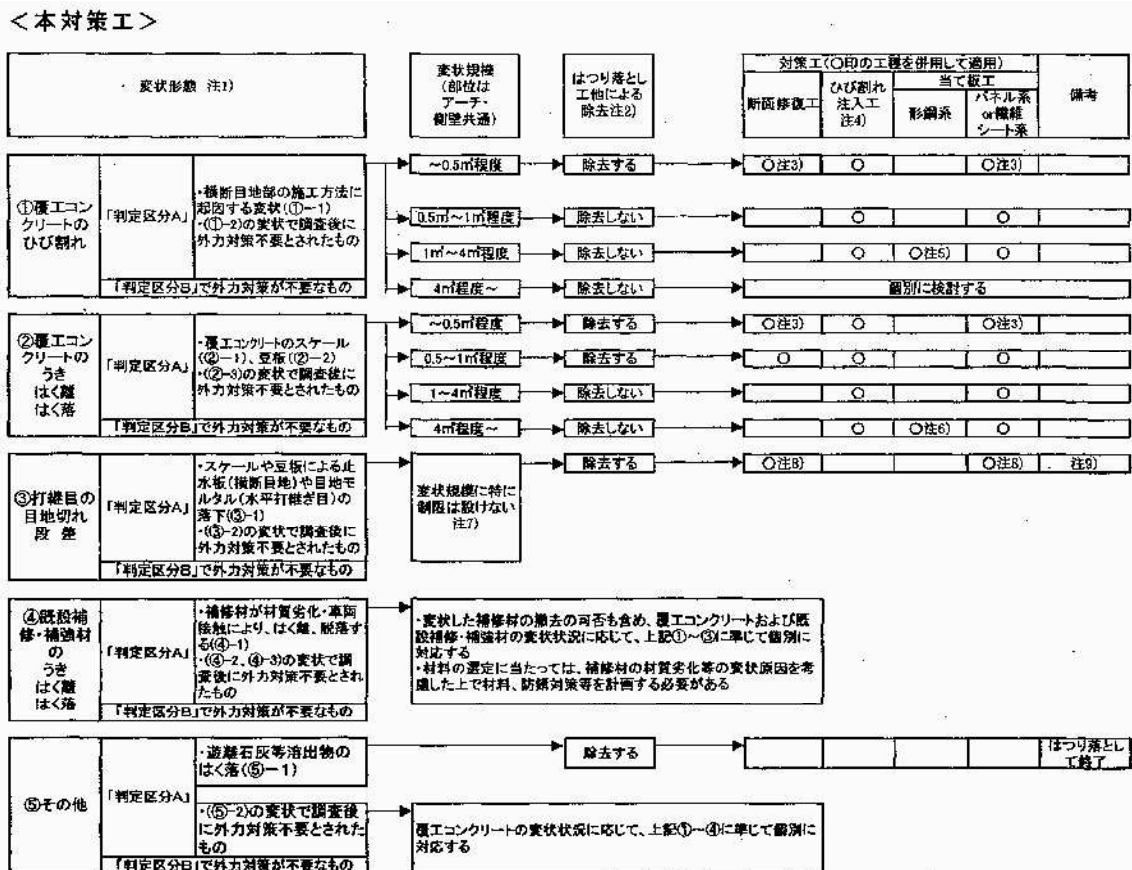
表1.2.2 変状に応じた標準的な応急対策工

| 変状種類               | 応急対策工  |
|--------------------|--|
| ひび割れ、うき<br>豆板・材料劣化 | はく落危険箇所の除去<br>プラスチック製メッシュ(ネット)によるはく落対策         |
| 漏水・凍結              | 線導水樋の設置<br>つらら・側氷の定期的な除去                       |
| 背面空洞・地山露出          | プラスチック製メッシュ(ネット)によるはく落対策                       |
| 鋼材露出               | 鋼材の除去<br>プラスチック製メッシュ(ネット)によるはく落対策              |
| 路面(舗装)             | ブロック化したコンクリート塊の除去<br>アスファルト・急硬性補修用モルタル等による断面修復 |
| 縁石                 | 不安定な縁石の撤去                                      |
| 排水溝・排水ます           | 堆積土砂の除去・側溝の清掃                                  |

### 1-2-4 恒久対策工の選定基準

はく落対策工・漏水対策工・背面空洞及び巻厚不足に対する対策工の選定基準は、「道路トンネル変状対策工マニュアル(案)」および「トンネル補修工法に関する手引き(案)」の記載内容に従うものとし、以下に選定基準を示す。

#### 【道路トンネル変状対策工マニュアル(案) 変状形態による本対策工の選定の目安】



【道路トンネル変状対策工マニュアル(案) 漏水形態による本対策工の選定の目安】

表-3.2.5 漏水形態による本対策工選定の目安

| 漏水箇所                | 漏水形態                       | 漏水量<br>(注4) | 内空断面<br>余裕 | 本対策工(該当工法を併用して適用) <sup>(注1)</sup> |                  |           |                    |           |                     | 備考 |      |          |
|---------------------|----------------------------|-------------|------------|-----------------------------------|------------------|-----------|--------------------|-----------|---------------------|----|------|----------|
|                     |                            |             |            | 線状の対策                             |                  |           | 面状の対策              |           | 地下水低下               |    |      |          |
|                     |                            |             |            | 防水<br>捲工<br>(注5)                  | 溝切り<br>工<br>(注3) | 止水注<br>入工 | 防水ペ<br>ンキ工<br>(注3) | 防水<br>塗布工 | 水抜き<br>溝・水抜<br>き孔等の |    | 排水溝  |          |
| アーチ<br>覆工<br>側壁     | 面状の<br>漏水                  | 多量          | あり         |                                   |                  |           | ○                  |           | △                   |    |      |          |
|                     |                            |             | なし         |                                   |                  |           |                    |           | △                   |    | (注6) |          |
|                     |                            | 少量          | あり         |                                   | ○                | ○         |                    | ○         |                     | △  |      | (注6)     |
|                     |                            |             | なし         |                                   | ○                | ○         |                    |           |                     |    |      | (注6)     |
|                     | 豆板等の<br>材質劣化<br>部からの<br>漏水 | 多量          | あり         |                                   |                  |           | ○                  |           | △                   |    |      |          |
|                     |                            |             | なし         |                                   |                  |           |                    | △(注5)     | △                   |    |      |          |
|                     |                            | 少量          | あり         |                                   |                  |           | ○                  |           |                     |    |      |          |
|                     |                            |             | なし         |                                   |                  |           |                    |           |                     |    |      | 個別検討(注7) |
| 単一ひび<br>割れから<br>の漏水 | 多量                         | あり          | ○          |                                   | △(注8)            |           |                    | △         |                     |    |      |          |
|                     |                            | なし          |            | ○                                 | △(注8)            |           |                    | △         |                     |    |      |          |
|                     | 少量                         | あり          | ○          |                                   | △(注8)            |           |                    |           |                     |    |      |          |
|                     |                            | なし          |            | ○                                 | △(注8)            |           |                    |           |                     |    |      |          |
| 横断<br>目地            | 線状の<br>漏水                  | 多量          | あり         | ○                                 |                  |           |                    |           | △                   |    |      |          |
|                     |                            |             | なし         |                                   | ○                |           |                    |           | △                   |    |      |          |
|                     |                            | 少量          | あり         | ○                                 |                  |           |                    |           |                     |    |      |          |
|                     |                            |             | なし         |                                   | ○                |           |                    |           |                     |    |      |          |
| 水平<br>打継ぎ目          | 打継ぎ目<br>からの漏<br>水          | 多量          | あり         |                                   |                  |           | ○                  |           | △                   |    | (注9) |          |
|                     |                            |             | なし         |                                   |                  |           |                    |           | △                   |    |      |          |
|                     |                            | 少量          | あり         |                                   |                  |           | ○                  |           |                     |    |      | (注9)     |
|                     |                            |             | なし         |                                   |                  |           | ○                  |           |                     |    |      |          |
| 路面                  | 漏水、自噴                      | —           | —          |                                   |                  |           |                    | △         | ○                   |    |      |          |
| 既設漏水対策工の劣化・破損       |                            |             |            | —                                 | 表-3.2.6参照        |           |                    |           |                     |    |      |          |

○：適用可能、△：一定条件の下で適用可能

【トンネル補修工法に関する手引き(案) 平成19年3月 国土交通省中国地方整備局】

覆工背面空洞充填対策の必要性の判定は、トンネルの覆工コンクリートの打設スパン毎に表 2.3.1 及び表 2.3.2 に示す覆工背面空洞充填対策の要否判定の目安に基づき、Aランク以上で覆工背面空洞充填対策の検討を行うことを標準とする。

覆工表面のひび割れの判定がA～Bの区間で、空洞に平面的な広がりがある場合は、表 2.3.1 により、空洞に平面的な広がりがなく局所的な区間では表 2.3.2 を標準とする。

なお、覆工巻厚は有効巻厚(覆工コンクリート巻厚のうち、コンクリートの設計基準強度以上の部分とし、設計基準強度が不明の場合は、15N/mm<sup>2</sup>以上の部分)で判定する。

また、覆工ひび割れの判定が2A～3Aの場合や、ひび割れに進行性のある場合には、外力性の変状が懸念されるため、覆工背面空洞充填対策を含め、別途検討を行う必要がある。

今回、覆工背面空洞充填対策工の要否判定の目安で使用している判定区分は突発性の崩壊および材質劣化に対する評価のために設定した判定区分である。

表 2.3.1 覆工背面空洞充填対策の要否判定の目安 (1)  
(空洞に平面的広がりがある区間)

(スパン単位)

| 空洞の平面的連続性<br>【全体的に分布】 |                   | 最小覆工巻厚 <sup>1)</sup> (設計巻厚に対して) |                 |                   |        |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|--------|
|                       |                   | 設計巻厚以上                          | 2/3 以上～<br>1 未満 | 1/2 以上～<br>2/3 未満 | 1/2 未満 |
| 最大空洞厚                 | 10 以上～<br>20cm 未満 | B                               | B               | A                 | A      |
|                       | 20 以上～<br>30cm 未満 | B                               | B               | A                 | 2 A    |
|                       | 30cm 以上           | A                               | A               | 2 A               | 3 A    |

※ 注1) 有効巻厚とする。

表 2.3.2 覆工背面空洞充填対策の要否判定の目安 (2)  
(空洞に平面的広がりがなく、局所的な区間)

(スパン単位)

| 空洞の平面的連続性<br>【局所的】 |                   | 最小覆工巻厚 <sup>1)</sup> (設計巻厚に対して) |                 |                   |        |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|--------|
|                    |                   | 設計巻厚以上                          | 2/3 以上～<br>1 未満 | 1/2 以上～<br>2/3 未満 | 1/2 未満 |
| 最大空洞厚              | 10 以上～<br>20cm 未満 | B                               | B               | B                 | A      |
|                    | 20 以上～<br>30cm 未満 | B                               | B               | B                 | A      |
|                    | 30cm 以上           | A <sup>注2)</sup>                | A               | A                 | 2 A    |

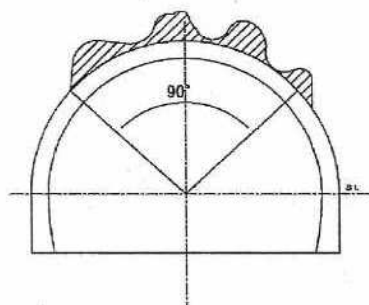
※ 注1) 有効巻厚とする。

※ 注2) 空洞厚が大きくても地山の自立性が良い場合はBと判断する場合もある。

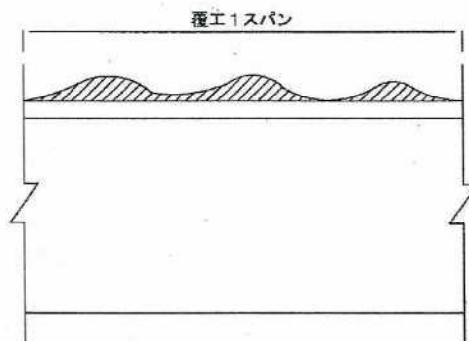
この判定基準(案)では、空洞が確認された場合には、その平面的な分布を判定し、平面的に連続している場合には、表 2.3.1 により判定し、局所的な場合には、表 2.3.2 により、判定を行う。

なお、覆工 1 スパンと天端付近 90° 範囲全体にわたる場合 (図 2.3.1 参照) を 1.0 とし、これに対する面積比率 20% 以下を局所的と定義している。(図 2.3.2 参照)

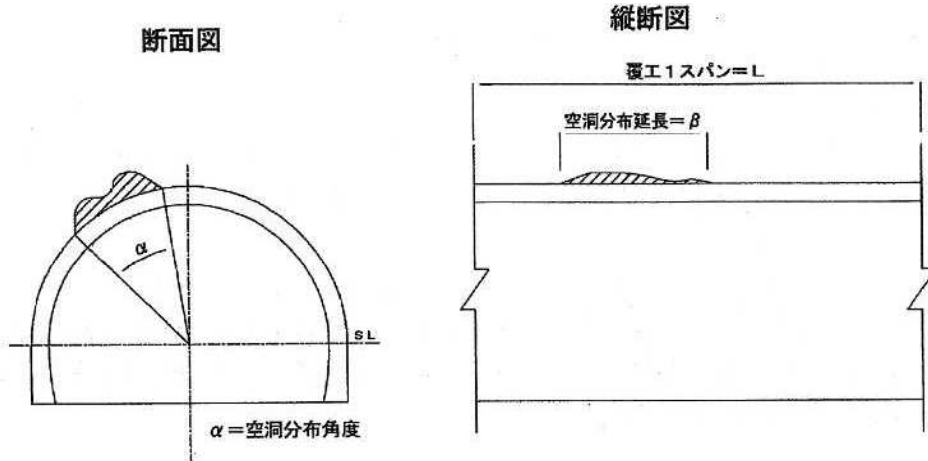
断面図



縦断面図



覆工 1 スパンを対象として算出する。右図 (縦断面図) のように、全スパンに空洞が連続する状態を 1.0 とする。  
また、横断方向では天端 90° を対象とし、左図のように、90° 全体に及ぶ場合を 1.0 とする。



局所的→  $(\alpha \times \beta) / (90 \times L) < 0.2$  程度  
 ただし、最小半径（横断方向）は2m以下とする。

左図に示すように分布角度をα、覆工1スパン（延長をLとする。）あたりの空洞分布延長をβとし、上式により分布率を算定する。

空洞が複数存在する場合には、下式による

$$(\alpha_1 \times \beta_1 + \alpha_2 \times \beta_2) / (90 \times L)$$

α1, α2: それぞれの箇所での空洞分布角度  
 β1, β2: それぞれの箇所での空洞分布延長

なお、覆工背面空洞充填対策の要否判定にあたっては、1スパン毎に

- ・ 空洞厚が最大厚となる箇所での空洞厚と覆工厚の関係
- ・ 最小覆工厚となる箇所での空洞厚

等を選定し、1スパンの中で最も評価が悪くなる箇所をもって、当該スパンの評価とする。

図2.3.3に背面空洞充填対策の要否判定基準のフロー（案）を示す。

有効巻厚は、「道路トンネル維持管理便覧」によると、設計基準強度以上の部分とし、設計基準強度が不明の場合には、 $15\text{N/mm}^2$ 以上の部分とするとされている。

## 第2章 すべり抵抗値の測定方法

出典：舗装調査・試験法便覧 平成19年6月 社団法人日本道路協会

### 2-1 振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法

#### 1. 目的

振り子式スキッドレジスタンステストを用いて舗装路面のすべり抵抗を測定する。

#### 2. 適用範囲

アスファルト混合物やセメントコンクリートで舗装した路面のすべり抵抗を測定するため、現場および室内において実施する。

#### 3. 試験機具

##### (1) 振り子式スキッドレジスタンステスト

振り子式スキッドレジスタンステストを図-S021・3に示す。

スライダーとスライダー取付け部を含む振子の質量は $1,500 \pm 30\text{g}$ 、振れの中心から振子の重心までの距離は $411 \pm 5\text{mm}$ とする。テストはスライダーの接地長が $125 \pm 1.6\text{mm}$ となるように垂直方向の調節が可能なものとする。図-S021・4に示すスプリング・レバー機構は、幅 $76.2\text{mm}$ のスライダーと試験面との間に、「ASTM E 303：1993」に規定された方法に従い測定したとき $24.5 \pm 0.98\text{N}$ の平均垂直荷重を与えるものとする。

##### (2) スライダー

スライダーは、アルミニウム製のプレートに $6.35 \times 25.4 \times 76.2\text{mm}$ のゴム片を1枚接着させたもので、ゴム片は「BS 812」の規格に合格する天然ゴムまたは「ASTM E 501：1994」に規定された合成ゴムでなければならない。新しいスライダーは付着している油類を落とすため、使用に先立って振子を振り、乾いた布に10回程度こすって調整する。そのとき振子は「4. (1) 2) 測定器の準備」の項に従い調節する。

スライダーの接触縁の摩耗量は、図-S021・5に示すようにスライダーの面で $3.2\text{mm}$ またはこれと垂直な面で $1.6\text{mm}$ を越えてはならない。

##### (3) 定規

スライダーの接地長を正しくセットするために、図-S021・6に示すような

124~127mmの長さが目盛られた定規を用いる。

(4) 路面温度計

「S021-1 3. (3) 路面温度計」に準じる

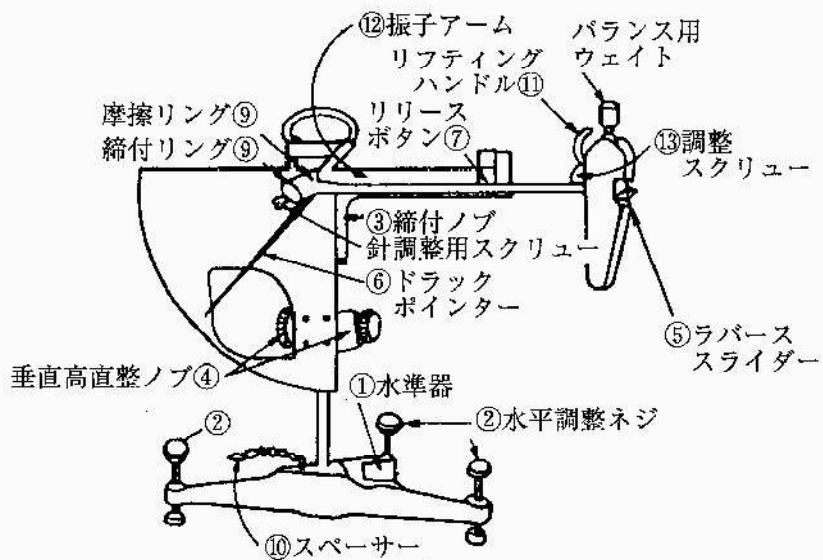


図-S021・3 振り式スキッドレジスタンステストの構造

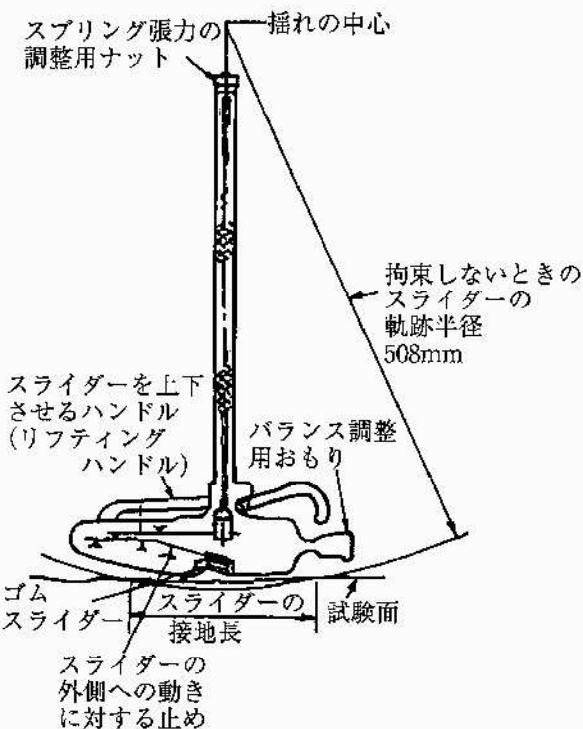


図-S021・4 振子のスプリング・レバーの機構

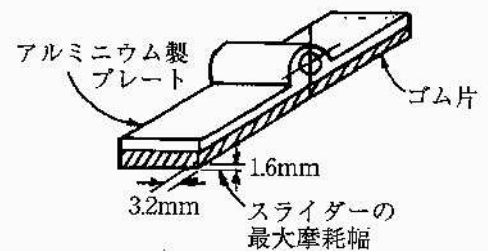


図-S021・5 スライダーの構造

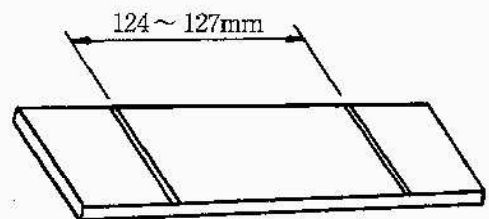


図-S021・6 接地長測定用定規

#### (5) 水入れおよびブラシ

水入れは、路面を湿潤にするための水を運搬するために用いる。ブラシは、路面のゴミ等を十分に除去するために用いる。

### 4. 試験方法

#### (1) 測定面および測定器の準備

##### 1) 測定面の準備

測定面は、ごみや砂を除去するためブラシと清浄な水を用いて十分洗浄する。なお、テストは水平調整ネジのみを用いて水平に設置するが、スイングの方向と垂直な方向の測定面の傾きとテストの傾きが大きく異なると、スライダースイングさせたとき、スライダ以外の箇所が測定面に接触することがあるため、スイングの方向と垂直な方向は測定面の勾配と平行になるよう設置してもよい。

室内で供試体を用い測定を行う場合の測定面の大きさは、少なくとも90×150mm以上とし、しかも振子が測定面をこするときに供試体に働く力によってその位置が動かないように供試体は固定されていなければならない。

##### 2) 測定器の準備

###### i) 水平調整

気泡が水準器 (①：図-S021・3の①，以下同様) の中心に位置するように水平調整ネジ (②) を回して装置が正確に水平になるように調節する。

###### ii) ゼロ点調整

締付けノブ (③) をゆるめテストの中心にある一対の垂直高さ調整ノブ (④) を回し振子をあげ、試験面上をスライダ (⑤) が自由にスイングできるようにし、締付けノブ (③) を固定する。次に振子をリリース位置におきドラックポインター (⑥) を振子アーム (⑫) 上にとどまるまで左廻りに回転させる。次にリリースボタン (⑦) を押し振子をはなす。そしてドラックポインターの指す目盛を記録する。もし目盛がゼロでないならば締付けリング (⑧) をゆるめわずかに支持軸上の摩擦リング (⑨) を適当に回転させ、再び締める。以上と同様な調整を繰り返し、振子がドラックポインターをゼロ点に運ぶように摩擦リングを調整する。

###### iii) 接地長さの調整

振子をフリーに下げておきスペーサー (⑩) をリフティングハンドル (⑪) の調整スクリュー (⑬) の下にはめる。スライダーの端が丁度試験面に接するように振子を下げ、締付けノブ (③) を固定しリフティングハンドル (⑪) を上げスペーサー (⑩) をはずす。

リフティングハンドル (⑪) によってスライダーをあげ振子を右に動かし、スライダーを下げる。振子のスライダーの端が試験面に接するまで徐々に左に動かし、接地長さを計るためにスライダーのわきにスイングの方向と平行に定規をおく。次にスライダーを上げリフティングハンドル (⑪) を用い振子を左に動かす。それから、スライダーが再び試験面に接するまで徐々に下げる。もし接地長が124~127mmの間にはいないときは垂直高さ調整ノブ (④) で振子を上下して調整する。振子をリリース位置におき、ドラックポインター (⑥) を振子アーム (⑫) 上にとどまるまでドラックポインター (⑥) を左廻りに回転させる。

## (2) 試験の手順

1) 測定に先立って測定面に十分に散水する。

2) リリースボタン (⑦) を押し、振子をはなす。

3) 振子が路面を通過した後、振子の逆振れがあるのでスライダーが路面に再接触する前に振子を手で止め、目盛を1BPN単位で読み取る。振子をスタートの位置に戻すとき、リフティングハンドル (⑪) でスライダーをあげ、スライダーと測定面が接触しないようにする。ドラックポインター (⑥) もその都度元の位置に戻す。

4) 測定は4回繰り返し行い、1回目を除いた3回の日盛の読みをBPN単位で記録する<sup>注1) ~注5)</sup>。

注1) 測定面は毎回散水する。

注2) BPNとはBritish Pendulum (Tester) Numberの略である。

注3) 1回目の測定は使用しないため、目盛の読みを記録しなくてもよい。

注4) 路面温度を路面温度計により記録しておく。

注5) 測定値が大きく変動する場合、変動が小さくなるまで繰り返し測定を行い、変動が小さくなった後に3回の測定値の読みを記録する。

## 5. 結果の整理

(1) すべり抵抗値 (BPN)

4回測定を行った内、1回目を除いた3回の測定値を算術平均し、整数に丸めた値をすべり抵抗値（BPN）とする。

(2) 報告事項

- 1) すべり抵抗値（BPN）
- 2) 路線名，測定年月日，天候，路面温度
- 3) 測定箇所（測点，上下線の別，舗装種類）

**注意事項**

(1) 試験器のねじ，ラック，ガイドなどの各部には，必要に応じて精製機械油などを注油する。振子の軸にあるフェルトパッキングの具合によっては，摩耗リングを調節してもゼロに合わないことがある。長期間にわたり試験器を用いないときは，フェルトパッキングを取り外して油に浸しておくのが良い。

(2) 現場における測定位置は，車輪の通過頻度の最も大きい部分（外側車輪通過位置）とする。

**解説**

(1) 振子式スキッドレジスタンステスタによる方法の温度補正

1) 日本道路公団（現NEXCO）で用いられている補正式（JHS 221：1992）路面温度が1～35℃の範囲にある場合，20℃の時のBPNへの換算式は，式（S021・5）による。

$$C_{20} = -0.0071t^2 + 0.9301t - 15.79 + C_t \dots\dots\dots(S021\cdot5)$$

ここに， $C_{20}$ ：20℃に補正したBPN

$C_t$ ：路面の表面温度  $t$ ℃の時のBPN

$t$ ：路面の表面温度（℃）

## 2-2 回転式すべり抵抗測定器（DFテスト）による動的摩擦係数の測定方法

### 1. 目的

舗装路面のすべり抵抗を、回転式の円盤を用いたすべり抵抗測定器で路面の動的摩擦係数を測定することにより評価する。

### 2. 適用範囲

アスファルト舗装やコンクリート舗装などの路面のすべり抵抗を評価するために、現場および試験室において実施する。

### 3. 試験器具

#### (1) 回転式すべり抵抗測定器

測定器は、回転する円盤、タイヤゴムピース、回転時にタイヤゴムピースに作用する摩擦力等を計測する装置および記録装置で構成され、タイヤゴムピースが路面に接する構造となっている。

タイヤゴムピースは円盤の底部の同心円上に一定間隔で取付けられ、タイヤゴムピースは測定中つねに路面に接している状態とする。また、タイヤゴムピースは「ASTM E 501：1994」に規定された合成ゴムとする。

円盤は、駆動モータ等を用いて回転が与えられるものとし、測定中は円盤に一定の荷重（接地荷重）が加えられる構造とする。

計測装置は、タイヤゴムピースに作用する摩擦力とタイヤゴムピースの線速度が計測できるものとする。

記録装置はタイヤゴムピースの線速度とその速度時の摩擦力あるいは路面の動的摩擦係数が記録できるものとする。

回転式すべり抵抗測定器は、摩擦力と接地荷重および速度がキャリブレーションされていなければならない。

この測定器のポータブルな装置として、ダイナミック・フリクション・テスト（DFテスト）がある。DFテストは円盤本体部とコントロールユニットおよび表示・記録装置から構成されている。DFテストの外観を写真-S021・1に、構成を図-S021・8に示す。

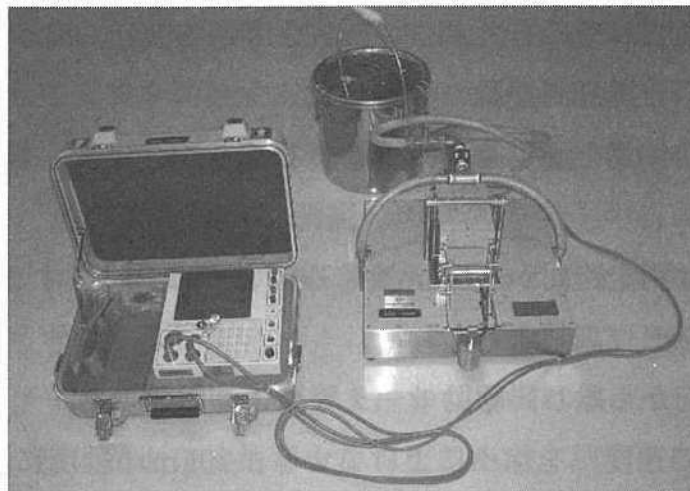


写真-S021・1 DFテストの外観

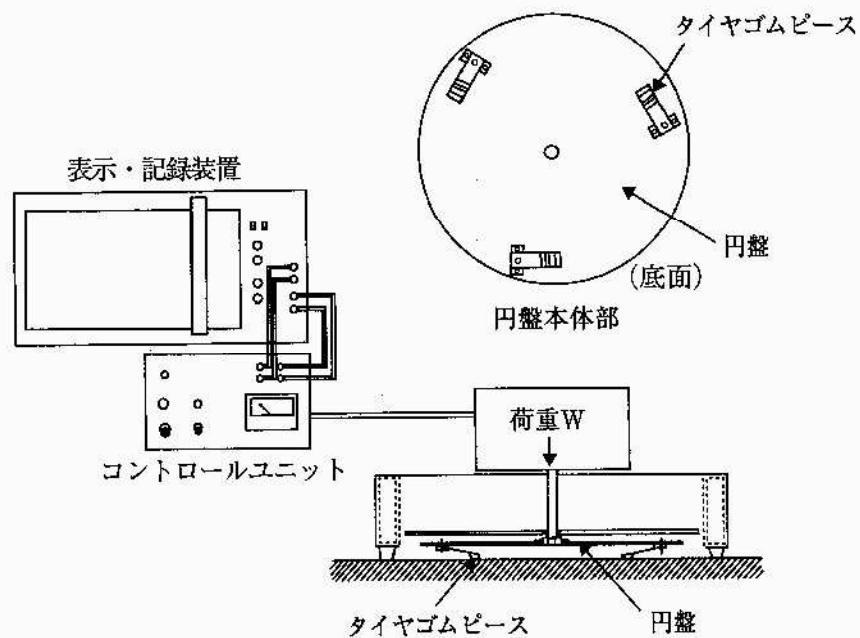


図-S021・8 DFテストの構成

(2) 路面温度計

温度測定範囲 -20~80℃，目量が±1℃以下のもの。

(3) 散水器具およびブラシ

測定する路面を水で湿潤にすることができる器具あるいは装置で，円盤本体にホースで接続可能な20ℓ程度の容器を有したもの。ブラシは路面のごみ等が十分に除去できるもの。

4. 試験方法

(1) 試験準備

1) 測定面の準備

測定する路面のごみや砂を、水やブラシを用いて十分に洗浄する。

## 2) 回転式すべり抵抗測定器の準備

測定器の円盤本体部を測定箇所を設置する。

### (2) 測定手順

1) 給水装置は測定路面から60cm高くなるようにセットする。

2) 記録装置をゼロ調整する。

3) 円盤を路面から離し、駆動モータ等により円盤のタイヤゴムピースの線速度（接線方向の速度）を徐々に上げていき、70km/h程度になったときに散水を始める。このとき、表示・記録装置の摩擦力あるいは路面の動的摩擦係数のゼロを再度調整する。

4) 円盤の回転速度が90km/hに達したら円盤を駆動モータから切り離し、円盤のタイヤゴムピースを路面に接地させる。このときも散水は継続する。

5) タイヤゴムピースの路面への接地と同時にタイヤゴムピースの線速度と摩擦係数を表示・記録装置に記録する。円盤の回転が止まったら散水を停止し、路面温度を測定する。

6) 測定は4回行う。

## 5. 結果の整理

### (1) 動的摩擦係数

試験する舗装の規制速度もしくは所定の速度における動的摩擦係数を測定データから小数点以下第2位まで読み取る。2回目から4回目までの3回の測定値の算術平均をもって動的摩擦係数とする。

### (2) 報告事項

1) 動的摩擦係数  $\mu$

2) 算出根拠（測定値，算出過程）

3) 測定箇所（測点，車線の区分，測定位置）

4) 測定条件（天候，気温，路面温度，回転速度と摩擦係数の記録）

5) 舗装構成（舗装の種類，各層構成材と設計厚さ）

## 注意事項

(1) 回転式すべり抵抗測定器は、定期的に装置の製造会社の仕様他による方法で

点検しなければならない。点検は年1回以上実施することが望ましい。

(2) 日常点検として試験を開始する前に装置の動作の確認を行うとともに、タイヤゴムピースに異常が発生していないかつねに確認しなければならない。タイヤゴムピースの交換は、その摩耗程度や測定時の異常値発生の有無等から判断する。ASTM E 1911-98では、「12回の使用後に起伏が出るので交換するものとする。」との記述があるので参考にするとよい。

(3) 円盤とゴムピースの取付けの機構上、わだち掘れ量が6 mm以上になるとタイヤゴムピースが一様に路面に接地できなくなるため、試験前にタイヤゴムピースが測定する路面に接地するか確認する必要がある。

(4) すべり抵抗が大きい路面では、タイヤゴムピースが飛散してしまうことがあるため、タイヤゴムピースに異常が発生していないか注意して試験する必要がある。

(5) 勾配が大きな路面での動的摩擦係数は、キャリブレーション時の接地荷重と異なることから、測定値の取扱いには注意が必要である。

(6) 透水性を有する舗装では、水膜の確保が困難となることがあるが、試験はそのまま実施し、測定結果にその旨を記述する。

#### 解説

(1) この測定方法は、測定が容易で広い速度領域での動的摩擦係数が測定できるなどの特徴がある。

(2) DFテストは、回転盤をポータブルにして任意の舗装路面上で動的摩擦係数を簡便に測定できる装置として開発され市販されている。この測定器の測定原理を以下に示す<sup>1)</sup>。

図-S021・9において、タイヤゴムを $W$ なる荷重で路面に押しつけ、 $V$ なる線速度で引っ張るとタイヤゴムは $F$ なる引張力(=摩擦力)を受ける。この力 $F$ を測定すれば式(S021・6)から摩擦係数 $\mu$ を測定することができる。

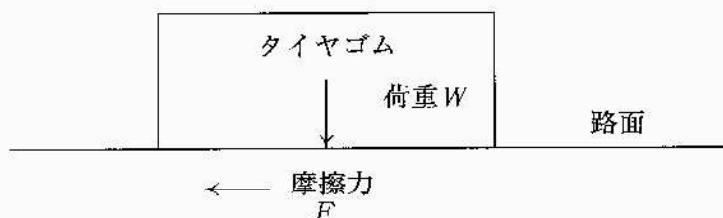


図-S021・9 DFテストの測定原理

$$\mu = \frac{F}{W} \dots\dots\dots(S021\cdot6)$$

式 (S021・6) においてWを一定の値とすると

$$\mu = K \times F \dots\dots\dots(S021\cdot7)$$

となり、 $\mu$ はFに比例する（Kは比例定数）。

この測定器では、水平に回転する円盤にタイヤゴムピースを3片取付け、これに一定の荷重を加え、タイヤゴムピースに加わる摩擦力と、そのときのタイヤゴムピースの線速度（円盤の回転速度）を測定し、各速度における動的摩擦係数が記録装置に出力される機構となっている<sup>1)</sup>。