

関東通商産業局管内  
ダム水路主任者会講演資料

# 「地質工学からみた水路設備の変状と対応」

水路トンネルの変状事例と対策

平成10年5月

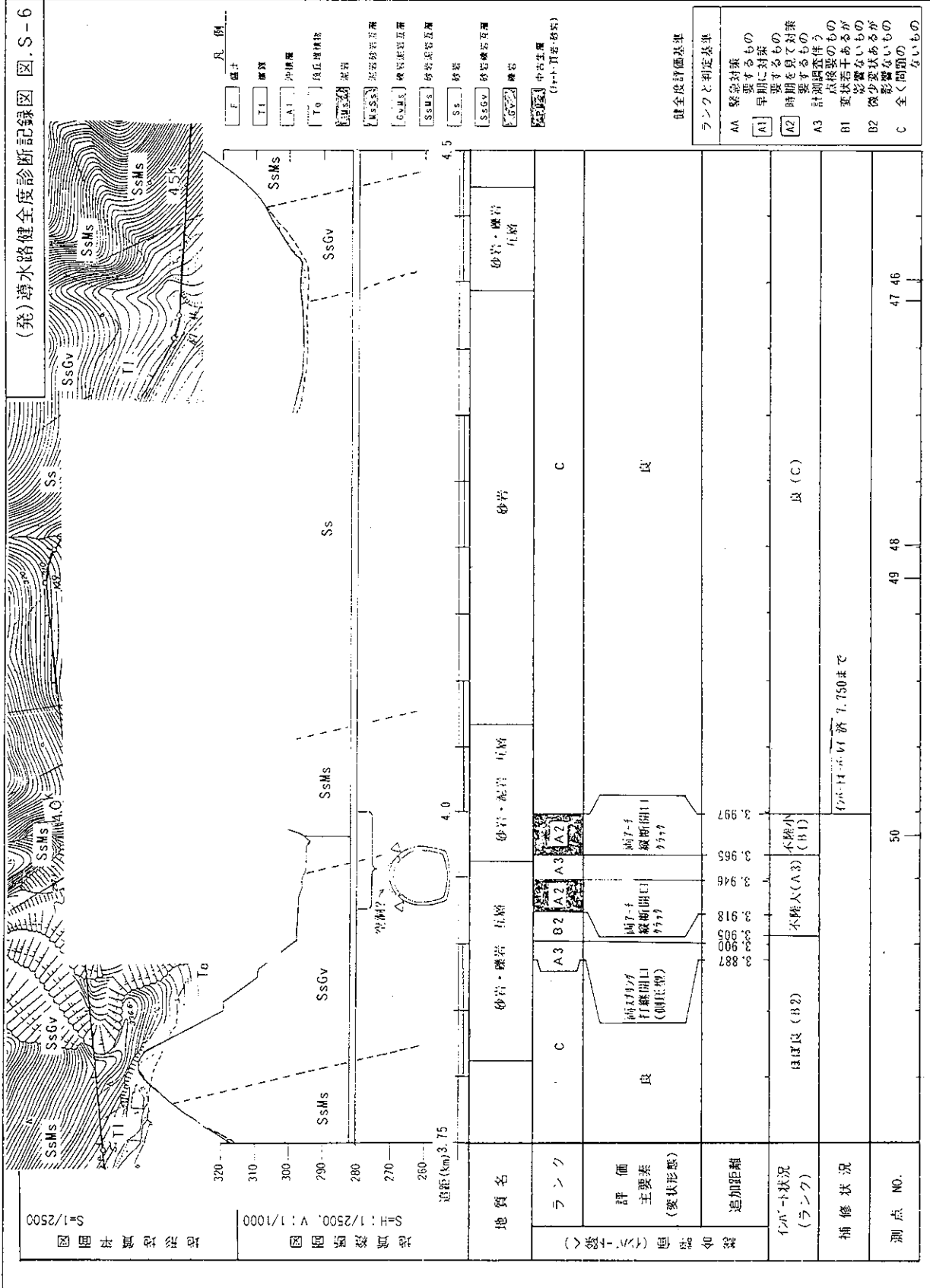
千田正雄  
技術士（応用理学部門，土木地質）

トンネルの診断項目と手法

新 技 法  
 — 一般的に多用

チェック項目	手 法
劣 化（強度低下）	<u>目視打診法</u> 、 <u>表面反発硬度法</u> 、 <u>コアリングと強度試験法</u> 、 <u>薬品中性化試験法</u> 、 <u>超音波速度法</u> 、 <u>弾性波共振法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>熱赤外線法</u>
変位、変形、洗掘はく離	<u>目視法</u> 、 <u>レーザー光反射法</u> 、 <u>内空変位メジャー法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>レーザー画像法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>三次元測角法</u> ノギス法
クラック平面状況	<u>目 視 法</u> （ルーペ、クラックスケール、コンタクトゲージ）、 <u>光学写真法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>レーザー画像法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>TV画像法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>スリット光学写真法</u>
クラック深度状況	目視法、X線法、超音波探傷法
漏水、表面劣化	目視計量、 <input type="checkbox"/> <u>熱赤外線法</u> 、各種画像法
覆工巻厚、背面空洞	<input type="checkbox"/> <u>地中レーダー法</u> 、 <input type="checkbox"/> <u>弾性波共振法</u> 、 <u>超音波法</u> 、 <u>打音音響法</u> 、 <u>削孔コアリング法</u> （含内視鏡）、 <input type="checkbox"/> <u>TV画像法</u> 、 <u>目視法</u>
鉄筋、支保鋼材	<u>パコメーター</u> （電磁誘導法）、 <u>地中レーダー法</u>

# 水路トンネル診断調査記録事例



健全度評価基準

ランクと判定基準
AA 緊急対策を要するもの
A1 早期に対策を要するもの
A2 時期を見て対策を要するもの
A3 計測調査に伴う点検要のもの
B1 変化若干あるが影響ないもの
B2 微小変化あるが影響ないもの
C 全く問題のないもの

地質名	砂岩・礫岩 互層		砂岩・硬岩 互層		砂岩		測点 NO.
	4.5	4.0	4.0	4.8	4.8	47 46	
ランク	C		C		C		
評価値	C		C		C		
主要素 (要形状形)	両7-子打継開口 (側比層)		両7-子打継開口 (側比層)		両7-子打継開口 (側比層)		
追加距離	887 905 918 946 965 997						
トンネル状況 (ランク)	B2優良 (B2)		不陸小 (A3) (B1)		良 (C)		
補修状況					トンネル径7.750まで		

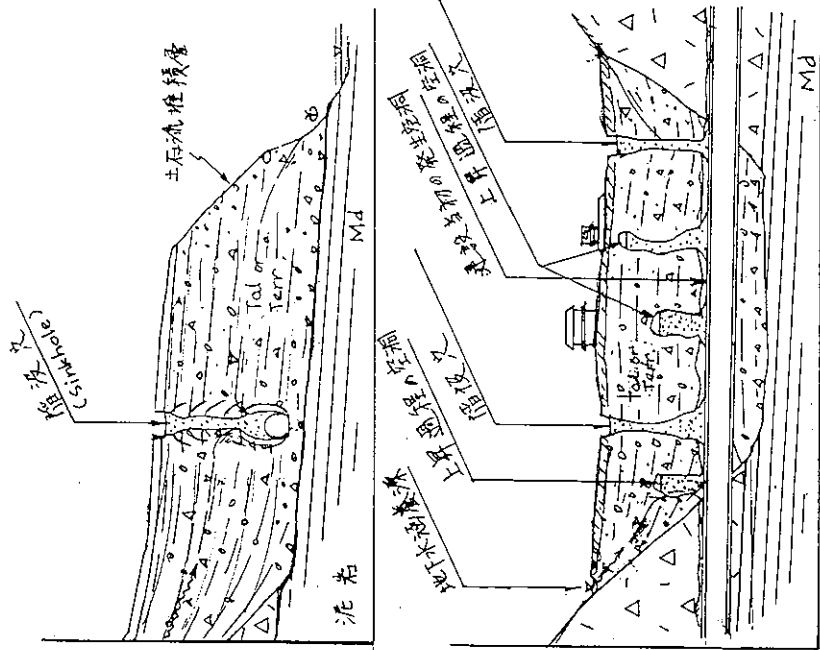
変状発生の地質モデル (1)

名称 : 陥没型

概要 :

未固結段丘堆積物 (洪積冲積砂礫層、土石流堆積層、火山砕屑物など) において、建設時に残されたトンネル背面空洞が、木製支保工の腐朽、地下水流のバイピングなどにより、空洞内崩壊がアーチ上方に発達し、全土荷重が覆工に作用し、トンネル圧壊につながる。ほか、地表にシンクホール (sinkhole、陥没孔) が生じることがある。

概念図 :



模式地 :

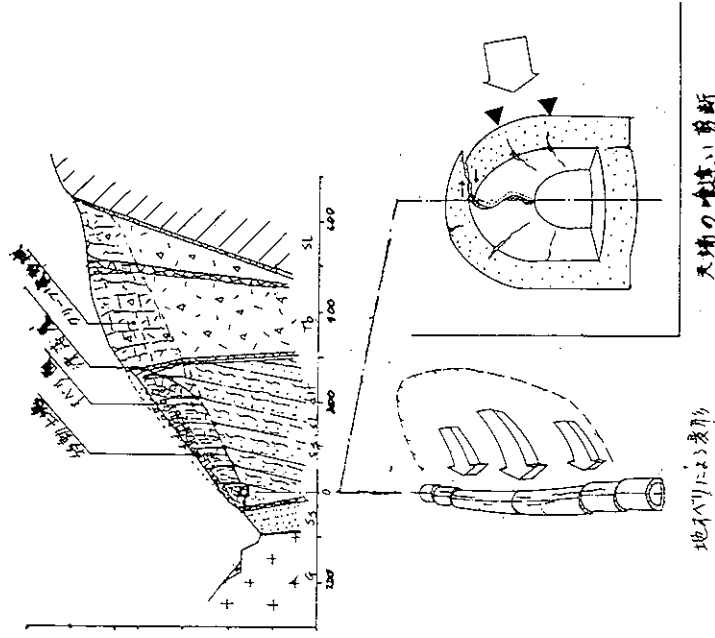
変状発生の地質モデル (2)

名称 : 地すべり型

概要 :

地すべりは、表層崩壊とは異なり、比較的深い位置にすべり面をもって、緩慢に滑動する。トンネルが移動土塊の中を通っているときは、地すべり域の両端でトンネルに輪切り状〜竹割り斜交状に食い違いクランクが発生。その中央では比較的形状は少ない。移動土塊のすべり面付近にトンネルがあるときは顕著な側圧を受けて、ピリケン状ないしはアーチに剪断破壊が生じる現象が発見。初期には単なる押し出し土圧のパターンと類似のため、判定には時間と専門知識を要する。

概念図 :



模式地 :

変状発生の地質モデル (3)

名称 : 押し出し地山型

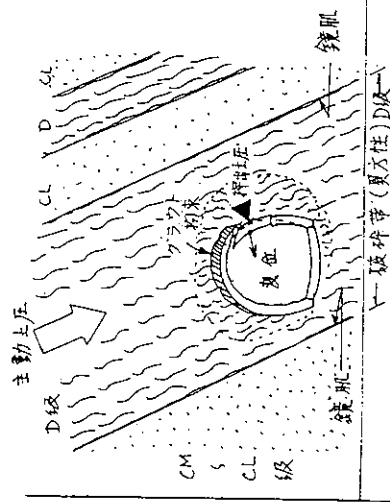
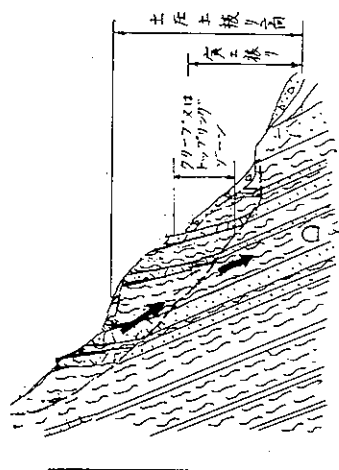
概要 :

複数の断層や千枚岩質など異方性の厚い破砕帯などが高角でトンネルと関わり、その主動応力は異方性の軸方向に卓越して伝播されるが、空洞であるトンネルの周辺付近では軸に直交する押し出し土圧（真の土圧）が卓越して発現する。

天端背面空洞が存在するとき典型的なビリケン変状を示すが、グラウトなどで充填され天端拘束あるときはアーチ部に圧痕剪断破砕が発現する。

地上が急傾斜のとき、斜面の重力移動応力が伝達され、実際の土盛り圧よりも大きい土圧が作用する。

概念図 :



模式地 :

変状発生の地質モデル (4)

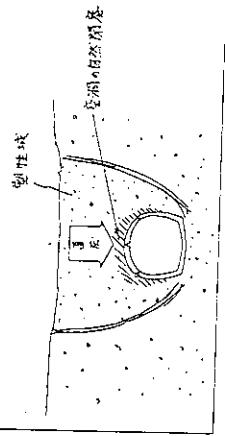
名称 : 未固結地山型

概要 :

土盛りが2D以下の底土液りて未固結地山の場合、建強時の発生ゆるみが増大して地上に連し、グラウンドアーチがほとんど形成されないとき、塑性化した地山の全土圧が覆工に作用する。覆工のアーチ部分には正圧帯形成時にクラックが発生する。このパターンは明瞭構造においても確認される。施工時の空堀は自然崩壊している。

概念図 :

未固結地山型



変状発生の地質モデル (5)

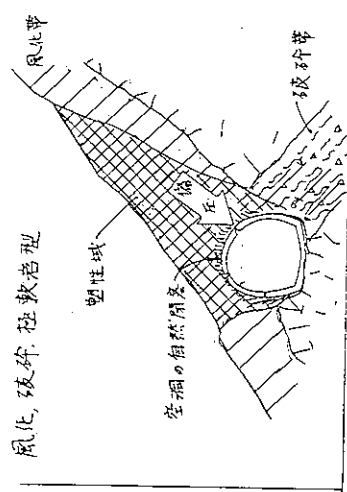
名称 : 風化・破砕・固軟岩型

概要 :

土盛りが2D以下の底土液りて、地山の強風化部や破砕帯と風化が複合しているときなどに「未固結地山型」と同様の変状が見られる。地質が傾斜している場合には土圧が発生し、山側アーチ部に開口破断クラックが発生、谷側では正帯や圧痕クラックが発現する。

概念図 :

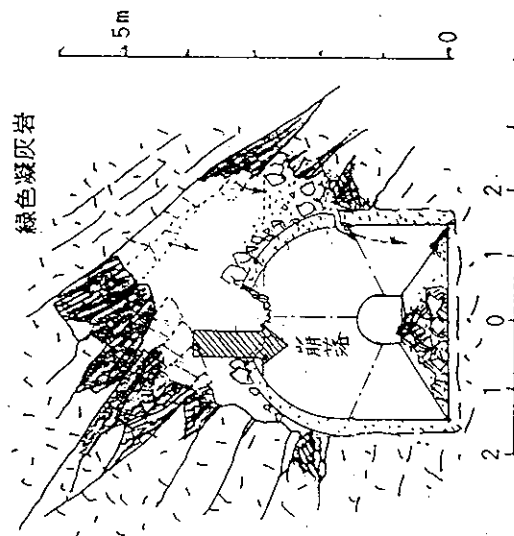
風化・破砕・固軟岩型



変状発生 の 地質モデル (6)

名称 : 空洞内落盤型  
 概要 :  
 主として、建設時の施工精度や、地質状況により、覆工背面に大きな空洞を残したまま覆工が行われ、裏込めがなされていない場合があり、ときとして天端のゆるみ岩塊(浮石)が地山の劣化進行に伴って剥離・落盤し、覆工を突き破る(パンチアウト)ことがある。崩壊物が通水断面の縮小やときに停止に至る。崩壊物(崩土)が覆工背面上載の状態とどまり覆工に直圧型変状を与えているときもある。

概念図 :

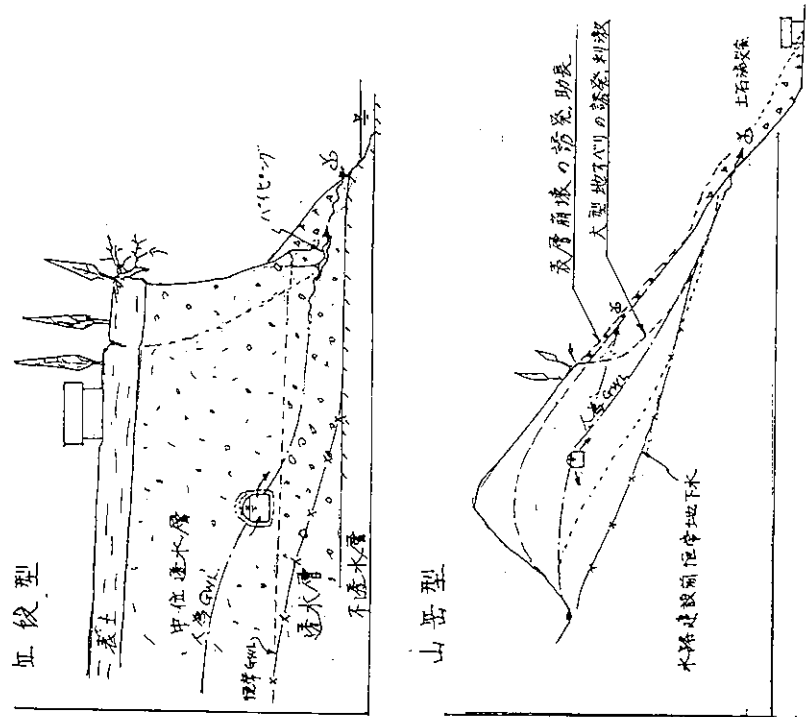


模式地 :

変状発生 の 地質モデル (7)

名称 : 間接斜面崩壊型  
 概要 :  
 トンネルからの漏水・湧水は付近の地下水位に少なからず影響を与える。漏水のときは地下水を涵養し水位を上昇させ、地山斜面の強度を低下させたり、流出でパイピングを起こし、崩壊やガリーの発達が引き金となり大規模な崩壊や地すべりを誘発することがある。特に水槽付近に発生例が多い。環境問題、発電口入、構造物劣化などの原因となる。

概念図 :



## 変状トンネルの対策工法の紹介

### 1. 背面グラウト工法（裏込注入）

建設時に生じたコンクリート背面の空洞、地下水の流動等により、覆工背面は空隙が存在する場合が多い。これが原因で偏圧などで変状することがある。既設覆工に対して土圧を均等にさせるため、通常セメント系材料で裏込を行う注入工法である。トンネルの安定に万能的効果（特効薬にあらず）を発揮する。

### 2. 地山空洞充填工法

覆工背面の陥没などで2次的に生じた地山中（しばしば深部）の空洞部分を注入し、地表の陥没などの変状を防ぐための工法である。

### 3. セントル補強工法

近接工事等の影響などにより覆工の変形、応力増加が懸念される場合や、すでに変状が発生しているときなどに、トンネルの内空側にH網等を用いたセントル補強を施す工法である。また、裏込注入工や周辺の地山で地盤改良を行う際にも、注入圧による覆工変状防止の観点から、セントルを設置する場合がある。

### 4. 内巻補強工法

セントル補強だけで荷重の増加に対抗できない場合や、覆工巻厚が不足している場合、ひび割れ等の変状が著しい場合などには、内巻補強工を行う。内巻補強には、場所打ち工法と吹き付け工法などがある。ただし、通水断面減少による減電を伴うことがあり採用には慎重を要する。

### 5. 在来巻替工法

支保工及び矢板を建て込みながら既設覆工を取り壊し、新覆工コンクリートでの巻立を行う工法である。経年トンネルでの既設覆工の取り壊しは、危険度がきわめて高いので慎重を要する。

### 6. プレロックボルト工法

巻替えを行う場合、事前にロックボルト打設により地山の安定を確保しておき、その後、覆工の取り壊しを行い、新覆工のコンクリートの巻立を行う工法である。安全性高いがコスト、工程面での余裕を必要とする。

### 7. ロックボルト補強工法

高偏圧によりトンネル覆工が顕著に変状しているときなどに、ロックボルトを巻立コンクリートをとおしてトンネル周囲に布設し、トンネル周辺地山を強化しトンネル覆工と地山の一体化を図る工法である。ロックボルト頭部特殊処理により、通水断面を全く侵さないで安定化を計れる。

### 8. ロックボルト内巻併合法

覆工コンクリートが著しく不良で、7.の工法のみでは不十分なときなどに併せて内巻も行う。

### 9. 表面切削巻替工法

覆工表面を専用機ではつりとった後、ベルト型枠を用いてコンクリートを吹き込むことにより、内巻を行う。通水断面確保が必須の時などに有効である（TSL工法）。

### 10. 強化パネル内巻法

トンネル内面に強化コンクリート板や、鋼板によって内巻を行い既設覆工の補強を行う工法。地圧に対する強化よりも覆工コンクリートの表面を強化する場合などに行われる。通水断面の低下を少なくできる。しかし、地圧が大きいときなどにはロックボルトなどとの併用が望ましい。