

VI-114

水路トンネルのひびわれ発生位置と外力条件について

北電興業 正員 能登谷 勇人 北海道電力 正員 志水 義彦
北電興業 正員 渡辺 信行 北海道電力 正員 坂本 容

1. はじめに

既設水路トンネルの改修工事を計画的かつ合理的に進めるには、覆工コンクリートの劣化程度を評価するとともに、その発生原因を的確に把握することも必要となる。

そのためには、水路トンネルに発生する劣化現象に関する様々な特性をあらかじめ調査・検討しておき、そこで得られた知見をエキスパートシステム等の原因診断技術に利用していくことが重要となる。

今回は、劣化のうち特に原因が多岐にわたるひびわれを対象として、①現地調査結果の整理、②トンネル縮小模型による破壊実験、③数値解析によるパラメトリックスタディを実施し、ひびわれ発生位置と外力条件（空洞条件含む）に関する検討を行ったので、これらの結果について報告する。

2. 現地調査結果の整理

これまでに現地調査を実施した16発電所の水路トンネルについて、ひびわれの発生状況を整理した。ひびわれは全部で9784箇所あり、これを方向別に分類すると表-1のようになる。さらに構造上問題とされる軸方向ひびわれについて発生位置を詳細に分類すると、表-2のようになる。

この結果によるとクラウン付近とアーチ45°付近のひびわれが軸方向ひびわれ全体の9割を占め、特にアーチ45°付近のひびわれは6割以上を占めている。（現地調査ではアーチ45°付近のひびわれが発生している箇所に天端裏側に空洞が存在する箇所が多くみられた。）

このように現地調査結果からも、ひびわれ発生位置はある特定の傾向を示しており、外力条件との関係を把握することの必要性を示唆している。

方 向	箇所数	割合(%)
トンネル軸方向	1,196	12
トンネル円周方向	6,905	71
斜 め 方 向	1,683	17

表-1 方向による分類

発生位置	割合(%)
クラウン付近	26
45° 付近	64
S L 付近	7
インバート付近	3

S L : スプリングライン

表-2 発生位置による分類

3. トンネル縮小模型による破壊実験

各種外力条件下での覆工のひびわれ発生状況を把握するために、地山・覆工の縮小模型（1/10程度）を製作し、荷重の方向、天端空洞の有無をパラメータとした破壊実験を行った。

実験の結果、ひびわれ発生位置は外力の方向と天端裏側に存在する空洞とに大きく関係し、特に覆工のアーチ45°付近に軸方向に連続する2条のひびわれがみられる場合は、その区間の覆工天端裏側には空洞の存在する可能性が高く、覆工破壊の前兆現象であるということが明かとなった。代表ケースの実験結果を図-1に示す。

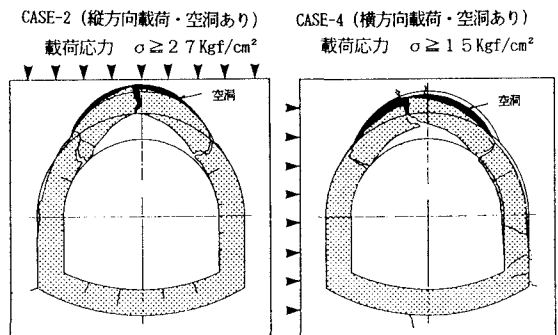


図-1 実験結果

4. 数値解析によるパラメトリックスタディ

実験結果から、現地調査で多くみられたアーチ45°付近のひびわれには、特に空洞が関係していることがわかった。

ここでは、さらに数値計算上からも定量的にひびわれ発生位置と外力条件とを関係づけるため、図-2に示す解析モデルを主体として、地山から作用する外力（応力）の主応力比・大きさ・方向・空洞の有無をパラメータとした解析を行い、それぞれの破壊状況を把握した。

なお、このときコンクリートは非線形弾性体として扱い、ひびわれは「分布ひびわれモデル」で表現した。また、実際の水路トンネルでは一般に側壁とインバートの間にジョイントが存在するため、この部分は接触要素（圧縮・せん断には所定の剛性を持つが、引張りには抵抗しない）を用いた。

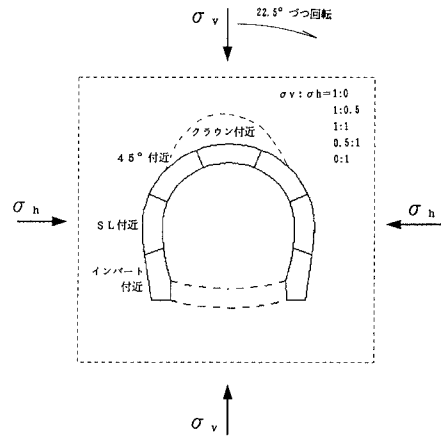


図-2 解析モデル

以上の解析により得られた結果を、現地調査手法を考慮し、トンネル内部から確認できるひびわれにのみ着目すると、図-3のとおりとなる。

このパターンと外力条件との関係を整理すると、表-3のようになる。（表中の*1, *2は3節で報告した代表ケース2, 4に対応しており、解析の妥当性を裏付けている）

さらに、この結果をひびわれ原因診断エキスパートシステムへの組み込みが容易な分類とするために、各部材について整理し直すと、表-4のとおりとなり、ひびわれ原因を知る上での有用な資料となる。

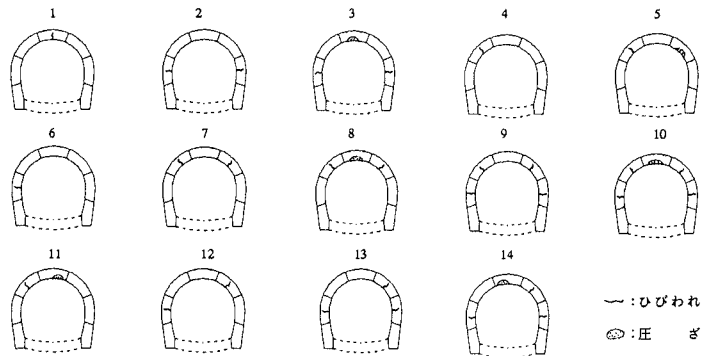


図-3 解析によるひびわれパターン

ひびわれパターン	空洞の有無	外力の状況				
		鉛直卓越	等方	水平卓越	水平片割	斜方
1	有り	○				
2	無し			○		
3	有り			○	○	
4	無し			○		
5	有り					○
6	無し				○	○
7・8	有り	○*1	○	○*2		
9・10	有り			○		
11	有り					○
12・13・14	有り				○	

表-3 ひびわれパターンと外力条件

5. おわりに

現地調査・実験・解析により、水路トンネルのひびわれ発生位置と外力条件とをある程度定量的に関係づけることができた。今回得られた知見は、原因診断エキスパートシステムの確信度を向上させるための一資料となった。

今後は軸方向に限らず、さらに広範囲なひびわれを対象として、原因診断技術に関する検討を行っていくとともに、解析におけるひびわれのモデル化についても、他手法も含めて検討していく予定である。

発生位置	外力の方向	空洞の有無
クラウン付近	鉛直卓越	両方
45°付近	鉛直卓越	有り
	等方	有り
	水平卓越	有り
	斜方	両方
S.L.付近	水平卓越	両方
インバート付近	—	—

発生原因（例）
 → 地山の緩み
 → 地山の緩み
 → 塑性圧
 → 塑性圧、偏圧
 → 偏圧
 → 塑性圧、偏圧

表-4 ひびわれ発生位置と外力条件