

III-276 空洞の共振現象から推定される緩み領域

西松建設株式会社 正会員 平田 篤夫, 稲葉 力
熊本大学工学部 正会員 金子勝比古

1. はじめに トンネルをはじめとする岩盤空洞の周囲には, 建設にともなって損傷した部分や時間の経過とともに劣化した部分が存在する. この緩み領域は構造物としてのトンネルの安定性に大きく影響する. 従って, 緩み領域の評価は効率の良い施工を行ううえで不可欠といえる.

ここでは, 既設トンネル内で観測した発破振動波形と境界要素法による数値解析結果との対比を行い, 特定周波数の動的外力により, 緩み領域を含む空洞の共振現象が励起される¹⁾ことを利用した, 緩み領域の評価手法を提案する.

2. 計測地点状況 計測地点は図1に示すようであり, 既設トンネル直下をこれとほぼ直交する方向にトンネル掘進を行った. 岩盤は計測区間全域にわたって流紋岩よりなる. 掘削は発破によって行い, 単位掘削量当りの使用爆薬量は $1.5 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ の範囲である. なお, 芯抜初段爆薬量は $500 \sim 600 \text{ g}$ である. 芯抜発破パターンはDS1, MS3, 5, 7の遅延雷管を用いた平行芯抜が採用された. 図中, A, BおよびC点に動電型速度計を設置して, 発破掘削にともなって励起される振動を計測した. 観測した波形のうち, 芯抜初段による振動波形で震源から放射方向となる水平1成分記録を解析対象とする.

計測地点のP波速度構造モデルは図1のように考えられる. これは切羽観察²⁾に基づいたものである. 既設トンネル内の発破点側の測点(A)と岩盤中の測点(B)との初動到達時間差(ΔT)をこのモデルで計算すると図2の実線のようになる. 図中, □は実測値である. 実測値とモデルはほぼよい対応を示している.

3. 空洞の応答 各測点で観測した同一発破における芯抜初段の振動波形を図3に示す. 図はA, BおよびC点で観測したものであり, 図中の数字は発破点～観測点間距離を示す. A, B測点の波形は, 過渡状態を過ぎた一定時間後に定常的な状態になっている. 空洞への入力波形に相当するC点の波形は, A, B点の波形に比べてインパルスのな波形であり, 後続位相の振幅が小さい. 図4は発破点～観測点間距離がそれぞれ等しい距離にある振動記録のフーリエスペクトルである. C点のスペクトルは平坦で特徴のあるピークは存在しない. 一方, A, B点では 110 Hz および 270 Hz 付近に共通なピークがあり, より高い周波数にもそれぞれ固有なピークがある. ほぼ等しい距離の振動記録の組を選び, C点の振動記録を入力としてA, B点の増幅率を求めると, 図5のようになる. 110 Hz および 270 Hz 付近の特定周波数における振動増幅率は10倍以上となり, 大きな増幅効果が現れていることがわかる.

二次元定常動弾性問題境界要素法による, 周囲に緩み領域を有する空洞の動特性を解析する. なお, この解析法では, その内部固有解の存在に関係して, 見かけ状空洞内部の固有振動が外部の解に影響を及ぼすために, 特定の周波数では解が一意的に求まらないことがわかっている³⁾. そこで, この内部固有解を抑制させるために, 空洞内部に変位拘束要素(内部要素)を配置して計算した.

図6に示すような2領域弾性モデルに矢印方向から平面P波が入射する場合を想定し, 領域IのP波速度と厚さ d をパラメータにとり, 振幅増幅率と入射波の周波数との関係を求めた. 解析結果の一例として, $V_{p1}=5 \text{ km/s}$, $V_{p2}=1.5 \text{ km/s}$, $V_{p1}/V_{s1}=V_{p2}/V_{s2}=1.73$, $d=3 \text{ m}$ の場合の振幅増幅率を示すと図7となる. 図5と図7を比較すると, 両者はほぼよい対応を示すことがわかる.

4. おわりに トンネル断面内の動的応答が緩み領域に大きく影響を受けた結果であることを示した. 覆工の影響を考慮すれば, 更に精度の向上が望める.

参考文献 1) 金子, 谷瀬, 中村: 地下空洞の動的応答特性, 昭和63年度日本鉱業会春季大会, 1988. 2) 平田, 石山, 稲葉, 金子: 発破震源スペクトル特性, 土木学会第22回岩盤力学シンポジウム, 1990. 3) 境界要素法研究会: 境界要素法の理論と応用, コロナ社, 1986.

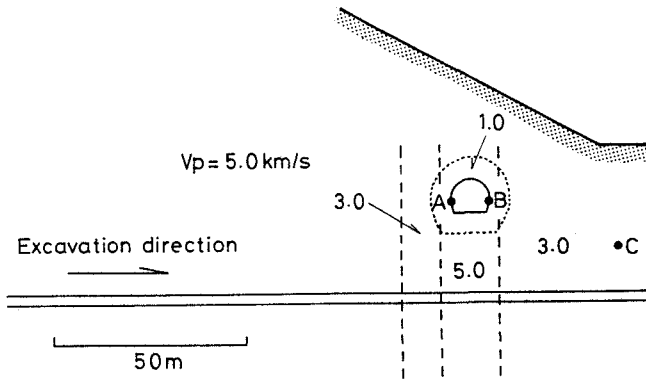


図1 計測地点縦断面図

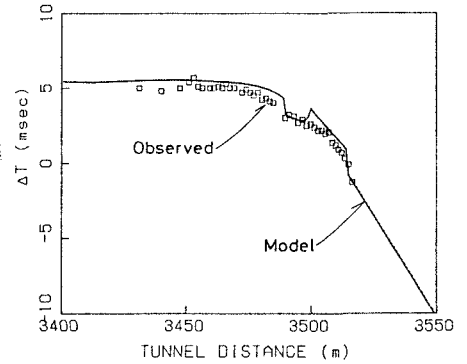


図2 速度構造モデルを考慮した走時時間差

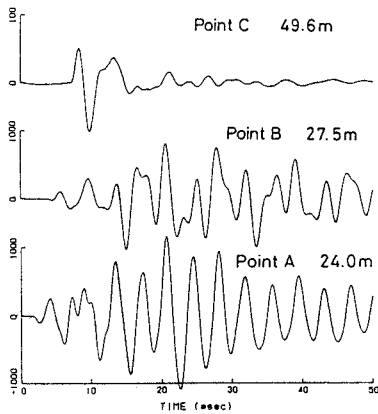


図3 振動波形例

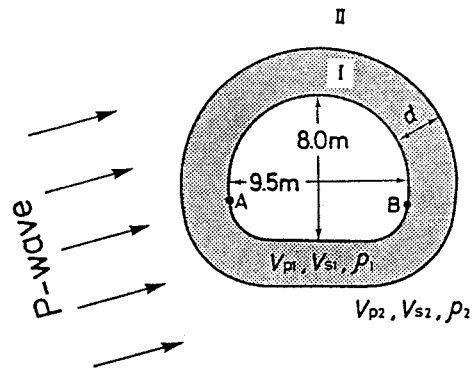


図4 解析モデル

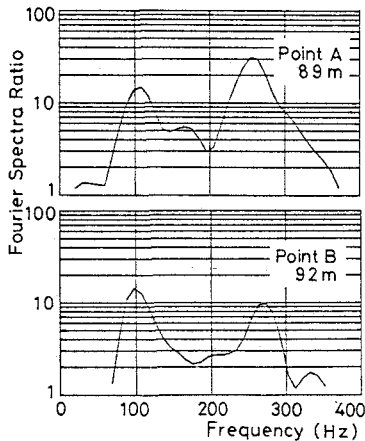
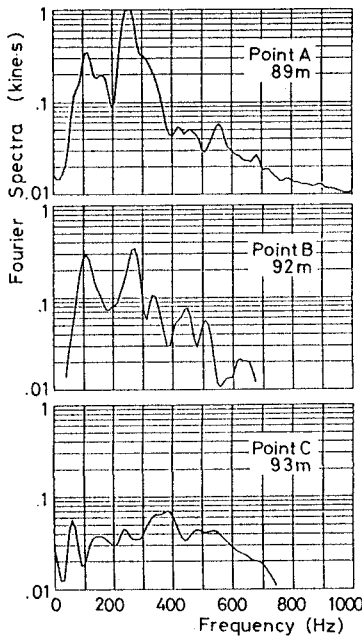


図5 発破振動スペクトル比

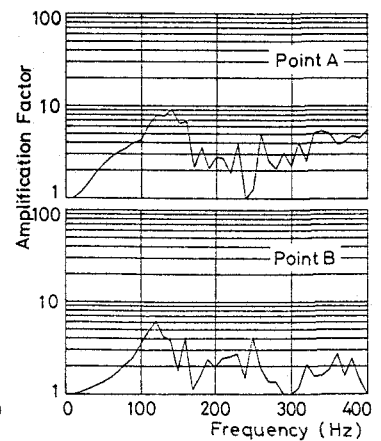


図7 増幅率解析結果

図4 発破振動スペクトル