

IV-252

弾性波伝達関数法（ETFuM）による鉄道トンネルの検査手法の開発

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○森島啓行
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 大井清一郎
 東京工業大学 肥後矢吉
 大成建設(株) 角田知己
 (株)ナカボーテック 木内幸則

1 まえがき

現在行われているトンネル検査方法は徒歩による目視、打音検査を主体にし、変状トンネルは破壊検査を含む多くの項目を検査し、それらのデータを総合して経験的に健全度を評価している。

この手法は、人を中心の非効率的で経験にたよった検査手法であり、将来予測される労働人口、熟練社員の減少に対応できないことが予想される。

そこで、弾性波伝達関数法（ETFuM）による覆工厚さ、強度、背面空洞を効率的、定量的に検査する手法を開発しているので報告する。

2 弾性波伝達関数法（ETFuM）の原理

弾性波伝達関数法（ETFuM）とは、低周波の粗密波を使用して、その透過波や反射波を捉え、入力信号との比を求めて検査対象物の形状、欠陥、密度等の情報を定量的に算出する方法である。

具体的には、対象物の探査目的にあったパラメータを測定する技術であり、予め、探査目的に応じた出力波の特定周波数域における周波数成分の入力信号に対する減衰率、音速、相関性、位相等の情報を要因分析し、探査目的と相関の高いパラメータによる検量線を求めて、覆工強度、覆工厚さ、背面空洞等の必要な情報を算出する方法である。

3 模擬覆工供試体による基礎試験

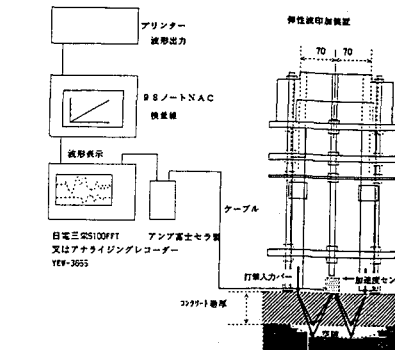
コンクリート構造物への弾性波伝達関数法適用性の確認と測定検量線を求める目的で模擬覆工供試体を使用して基礎試験を実施した。

試験機器構成を（図-1）に、模擬覆工モデルケースを（図-2）に示す。（CASE-1）は背面岩盤モデル、（CASE-2）は土砂モデル、（CASE-3）は背面帯水モデル、（CASE-4）は鉄筋コンクリートモデルであり、各々のケースについて強度条件を、 $\sigma = 135, 255, 300, 400 \text{ Kg/cm}^2$ 空洞条件を0, 40, 100, 200mmとして基礎データを収集した。

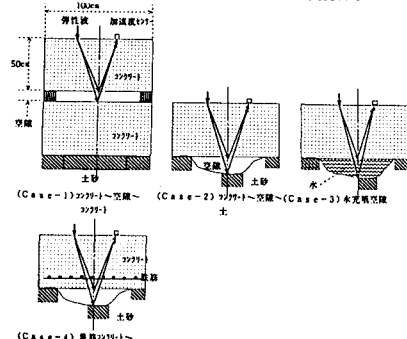
その結果、覆工材質、背面条件に係わらず、同法の適用が可能な事がわかった。

弾性波の入力装置は入力の変位、平均化を考慮して4点打撃式の弾性波入力装置とした。出力信号のピックアップは、5KHzまでフラットな特性の加速度センサーを使用した場合に相関の良い反射波が得られた。

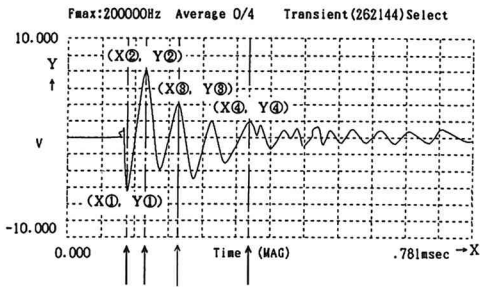
（図-3）に加速度センサーで捉えた反射波の検出波形を示す。図中で縦軸(Y)は反射波のレベルを、横



(図-1) 探査実験の機器構成



(図-2) 模擬覆工コンクリートモデル



（図－3）反射波の検出波形

軸(X) は経過時間を示し、単位はそれぞれ(V) と(msec)である。

図中①は打撃入力波の第一波、②はコンクリートブロックを通過し背面の境界で反射した波を示す。

反射波形の要因分析の結果、覆工の厚さは、 $(X③-X①)/2 \times \text{伝播速度（音速）}$ 、覆工強度は $(X②/X①)$ 、空洞深さは $Y④$ と、それぞれ高い相関を示すことがわかった。

4 実物トンネルにおける探査試験

2箇所(A: 山岳トンネル工法無筋コンクリート S12年竣工、B: 開削トンネル工法鉄筋コンクリート S48年竣工) のトンネルにおいて基礎試験で求めた検量線の確認と評価の試験を実施した。

探査ポイントは覆工内側よりクラウン部を中心に $1\text{m} \times 1\text{m}$ 毎のメッシュで約200 ポイントとした。探査結果の1例として、(図-4) に A トンネルの空洞の探査結果の分布図を示す。(図-5) は A トンネルでの探査データ検証のためのボーリングによる覆工厚さ、空洞測定値との比較グラフを示す。

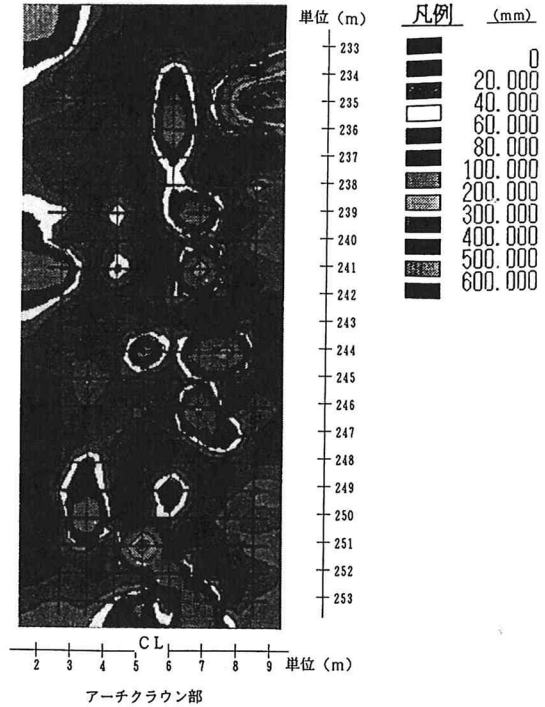
5 結果と考察

(1) 探査機器構成については、検出信号と入力信号を比較する必要があるが、本研究のように再現性の高い入力信号を用いた場合には入力信号補正の必要が無いことがわかった。(2) 特定周波数の特定波形の成分から強度、覆工厚さ、背面空洞測定のためのデータを得られることがわかった。(3) 模擬覆工での検量線は、鉄筋、無筋コンクリートとも背面の条件に係わらず、極めて高い強度相関係数(0.867) 空洞相関係数(0.961) が得られた。(4) 実物トンネルの探査試験の結果、検証ボーリング位置と若干ズレた位置での比較であるが、ほぼ一致した検証結果となっている。

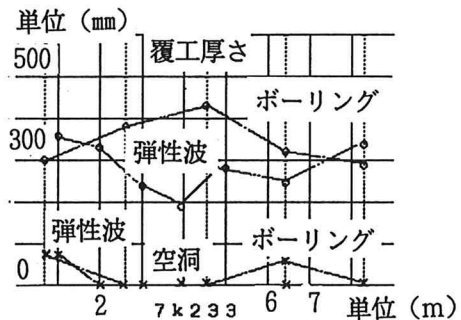
以上の結果から、コンクリート構造物への適用が初めてである本探査法は、現場での性能確認試験を多く実施することにより、非常に有効なコンクリート非破壊検査技術となるものと思われる。

6 あとがき

今後、実物トンネルでの正確なデータ検証を進めると同時に、構造、材質が複雑なシールドトンネルでの探査試験を実施してゆく計画である。



（図－4）A トンネル覆工空洞分布図



（図－5）A トンネル覆工ボーリングデータ比較図