

# 日韓トンネル施工のための注入工法 に関する研究（その2）

AE計測を利用した注入効果確認実験

Studies on Grouting Works for the  
Construction of Japan - Korea Tunnel

九州支部 第3部会\*

## 1. はじめに

昭和62年度における、日韓トンネル施工のための注入工法に関する研究（日韓トンネル研究 No.9 掲載）では、トンネル施工技術調査の一環として、長大海底トンネルの掘削に不可欠な注入工事に着目し、調査を行った。

この中では、注入技術の現状を把握し、わが国の代表的な湧水トンネルにおける注入工事の記録を整理し、日韓トンネル施工に対する注入技術の適応性と今後の問題点を抽出した。

その結果、膨大な注入作業を効率良く進めるためには、合理的な注入工法の確立が必要となり、施工しながら技術情報を系統立てて管理し、次の施工に反映させることを目的とした“情報化施工”的な手法が最も合理的な方法であると考えられた。

そこで、本年度は、前回の調査結果を踏まえ、合理的かつ効果的な注入工事を施工するために、注入作業の管理基準について検討を行い、情報化施工の一つとしてAE（アコースティックエミッション）を利用した、注入効果確認方法の有用性について確認実験を行った。

これは、注入中の地盤内の状態をAE計測を用

いて検知し、注入効果の判定をリアルタイムで行うことにより、常に、注入管理の情報を次の施工にフィードバックするものである。

本報告は、昭和63年10月から平成元年3月までに行った基礎実験および注入実験について、中間報告書としてとりまとめたものである。

## 2. 研究概要

本研究は、注入の対象となる地盤内の状況を監視することによって注入効果を判定するもので、その有効な一手法として、AE（アコースティックエミッション）法を利用した計測技術の開発を行うものである。

AEとは、一般には固体中に生じる微視欠陥の発生や成長、転位の運動などにより放出される弾性波のことで、最近では、これを特殊なAEセンサーで捕らえ、AE計測装置で解析して材料の欠陥部位の測定や、構造物の健全性を評価するために使われている。

ここでは、注入材の地盤内の動きや、注入によって岩盤等に亀裂が発生するときの音をAEとして捕らえ、その亀裂の発生位置、破壊程度、方向等を把握して注入状況を確認し、注入圧、注入量と合わせて注入効果の判定材料とするものであ

\*部会長 兼重 修（熊本大学名誉教授）

る。

しかし、この新しいモニタリング手法は、未解決な問題が多く、実用化を進めるに当たっては、計測方法の定性的、定量的な傾向を実験的に把握しておく必要がある。

したがって、本研究では、まず基礎実験として想定される模擬地盤を作り、この中に定量的な注入を行ってAEの基礎的な特性を確認し、注入管理におけるAEの測定方法を検討する。また、注入実験では、注入対象地盤の条件を変化させ、それぞれに発生するAEを各パラメーターによって解析し、総合的な傾向をつかみ、注入管理におけるAE計測法の有用性を確認するものである。

### 3. 基礎実験

基礎実験は、注入管理におけるAEの測定方法を検討するに当たって、事前に確認する必要があるAE特性の基本項目を調査するために行う。

検討項目は、

- ①アンプ、プレアンプの増幅値、フィルター値、しきい値の設定
- ②サンプリングタイム、デッドタイムの設定値等である。

測定方法は、注入地盤中の注入材の流れる状況をAE法で捕らえるものとし、模擬地盤としての砂層中の地下水位の変化をAEセンサーを用いて測定する。

基礎実験に使用した実験装置を図-1に示す。

### 4. 注入実験

注入実験では、現地盤に応じた測定条件違いによるAEの発生状況を検討するため、模擬地盤としては、日韓トンネル施工に当たって想定される地盤を考慮し、強度、透水性等の異なる供試体を用い、それぞれの条件下で実験を行った。

実験装置は、基礎実験に使用した実験装置に加え、実際の注入管理を実験的に再現するために、微量な注入量の測定が可能な流量測定器を設置

し、圧力計と合わせて注入の管理を行った。

AE測定結果は、実験と同時にAE解析装置により処理され、位置標定されたAEについて画面上に表示される。この時に測定されたAEの波形は、波形収録装置に記録され、波形の分析や、FFT解析を行う。

また、注入管理に使われる各パラメータは、AEの測定結果に対応して検討できるように、そのデータは、パソコンに転送され、項目ごとに処理される。

実験条件を表-1に示す。

実験に使用した供試体を図-2に示す。

## 5. 実験結果

### 5.1 基礎実験結果

基礎実験におけるAE計測結果を図-3に示す。

計測されたAEは、ウェーブガイド先端付近において水位差約2cmにわたり、集中的に発生した。また、水位がウェーブガイド先端付近を通過した後、AEの発生は、僅かながら測定される場合と、全く測定されない場合がみられた。これは、砂の締め固め程度等の相違によるものと考えられる。

波形収録装置によるFFT解析の結果を図-4に示す。

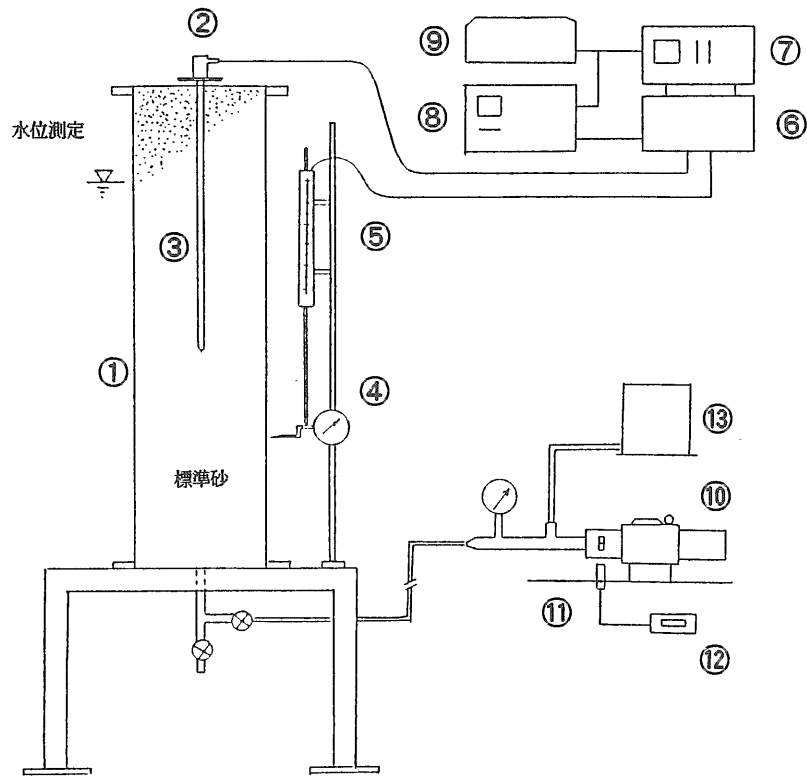
AEとして測定された音の周波数解析の結果、200kHz付近で卓越していた。

本実験で測定されたAEは、ウェーブガイドに接触した砂の粒子が水位の変化によって動き、緩みの最も大きなウェーブガイドの先端付近で発生したものと思われる。

### 5.2 注入実験結果

AE計測結果を図-5に、AEと注入圧・注入量の経時変化を図-6に示す。

強度が大きく透水性の小さい材料に注入した場合、注入圧力の上昇過程においてAEが発生し始め、さらに、注入が進むにしたがって、発生数が多くなり、破壊する直前に急激に多発する。



番号	名称	仕様	番号	名称	仕様
1	アクリル注入土槽	φ150 mm×550 mm	8	FFTデジタルスコープ	ANRITSU MS430A
2	A E センサー	30KH7 共振型	9	ハードコピー	SEIKO VP-95 II
3	ウエーブガイド	φ10mm×300 mm	10	定量ポンプ	モ-ノポン 3NE-10
4	ハイトゲージ	0.01-300 mm	11	ビームセンサー	SUNX RS-220H-1
5	変位計	スレーンゲ-タイプ200mm	12	デジタル回転計	SHIMPO DT-FV
6	A E 信号処理装置	NAIS MODEL 4880	13	水タンク	18ℓ×2
7	A E 計測装置	NAIS MODEL 4800			

図-1 基礎実験装置図

表-1 実験条件

実験ケース	材料特性		主 材 料	増幅率 (dB)	しきい値 (V)
	強度	透水性			
Case-1	大	小	ジェットセメント	100	1.15
Case-2	中	小	普通セメント	100	2.25
Case-3	小	中	” ”	100	1.15
Case-4	小	大	焼石膏	100	1.60

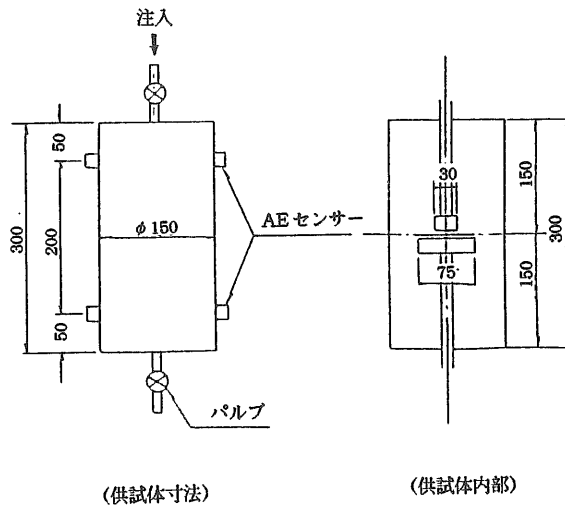


図-2 供試体概要図

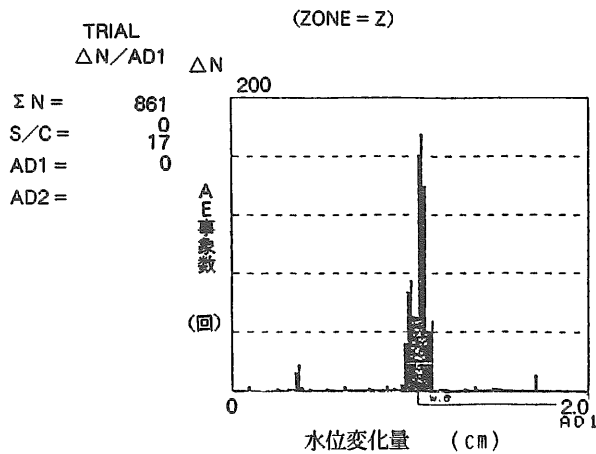


図-3 AE計測結果

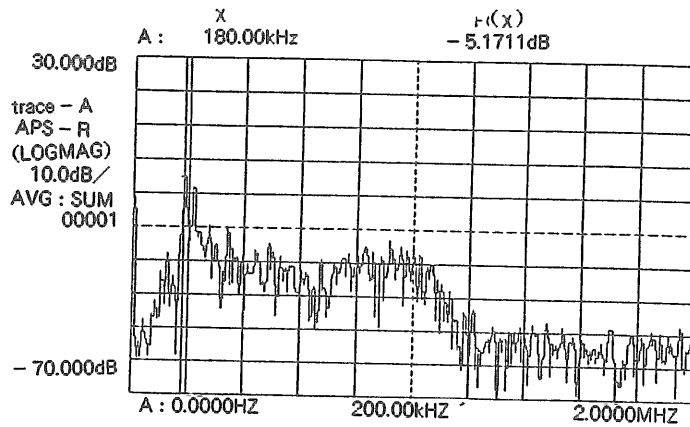


図-4 FFT解析結果

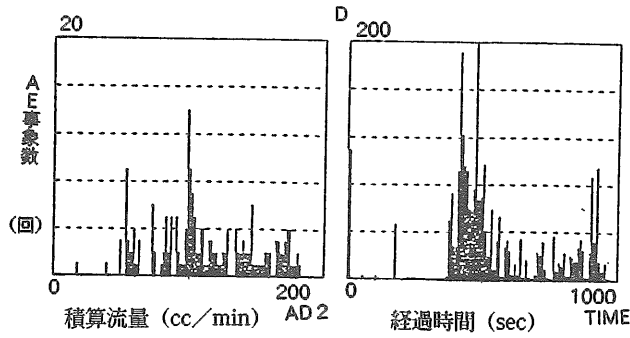


図-5 AE計測結果

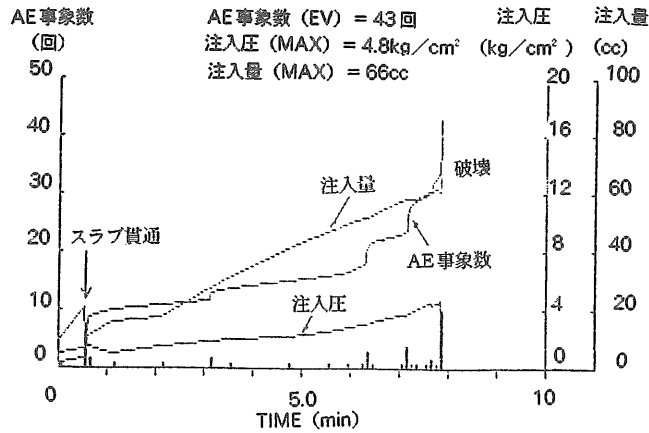


図-6 AEと注入圧・注入量の経時変化

強度が小さく透水性の大きい材料に注入した場合は、供試体は破壊しないが、注入量を増せば、徐々にAEの発生が多くなっていく。また、AEの発生状況を見ると、透水している箇所にもAEが多く発生している。

測定されたAEのエネルギーの解析結果より、供試体が破壊するときに発生したエネルギーは、注入途中に発生したAEおよび透水時に発生したAEのエネルギーに比較して大きいことが確認された。

AE信号解析による位置標定結果を図-7に示す。

AEの発生状況は、注入過程において、供試体の中心部から外側に多くなり、さらに、注入が進むにつれて全域に広がり、最終的に破壊面あるいは透水箇所付近に集中して発生している。

強度が小さく透水性の大きい材料に注入した場合は、供試体は破壊しないが、注入量を増せば、徐々にAEの発生が多くなっていく。また、AEの発生状況を見ると、透水している箇所にもAEが多く発生している。

測定されたAEのエネルギーの解析結果より、供試体が破壊するときに発生したエネルギーは、注入途中に発生したAEおよび透水時に発生したAEのエネルギーに比較して大きいことが確認された。

AE信号解析による位置標定結果を図-7に示す。

AEの発生状況は、注入過程において、供試体の中心部から外側に多くなり、さらに、注入が進むにつれて全域に広がり、最終的に破壊面あるいは透水箇所付近に集中して発生している。

## 6. 考 察

基礎実験および注入実験の結果より、強度・透水性にかかわらず注入時の音をAEとして捕らえられることが確認できた。

注入管理における注入量・注入圧の変動に対す

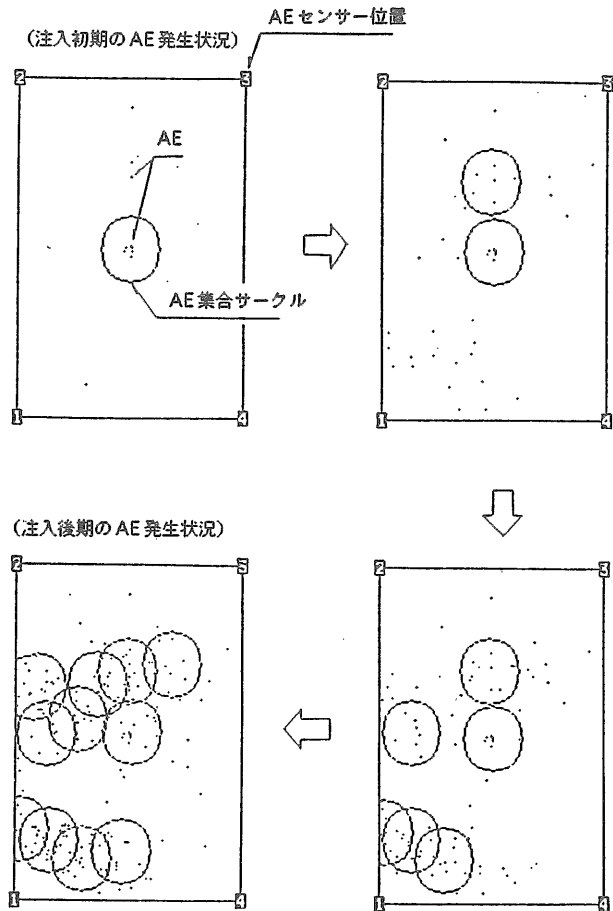


図-7 位置標定結果

るAEの発生状況を計測することによって、目で見ることの出来ない注入中の地山内の様子を、ある程度想定することが可能となった。また、本システムによって、それぞれのAEの発生メカニズムの違いによる特性を解析し、そのAEの発生位置を標定すれば、注入材の侵入状況を把握できるため、注入効果の判定材料として十分適応できると思われる。

しかし、今回の実験は、ノイズレベルの低い条件で行ったものであり、実際の注入作業では多種多様なノイズが発生していると思われる。したがって、本システムを実施工に適用する場合、今後、工事の雑音、振動等のノイズの処理方法をフィールド実験等で検討する必要がある。