

# 衝撃弾性波法によるシース管のグラウト充填度に関する基礎的研究

Fundamental research about Estimate of The Grout Infilling degree of  
The Sheath Pipe by Impact Elastic Wave Method

○首藤 浩一 伊藤建設株式会社  
Kouichi Syutou Ito Construction  
岩野 聡史 伊藤建設株式会社  
Satoshi Iwano Ito Construction

極檀 邦夫 東海大学  
Kunio Gokudan Tokai Univ.  
境 友昭 アプライド・リサーチ株式会社  
Tomoaki Sakai Applied Research

## 概要

衝撃弾性波法によりシース管の充填度合について研究を行った。本研究では充填度0%のシース管が埋設されている場合の衝撃弾性波振幅について着目した。衝撃弾性波の発振点と受信点との距離を変化させ、衝撃弾性波の到達時間、衝撃弾性波の振幅を確認し、シース管が埋設されていないコンクリートでの測定波形との比較を行った。その結果、発振受信点距離により受信波形の変化が見られた。シース管のグラウト充填度を評価できる可能性があることが確認された。

キーワード：衝撃弾性波法、伝搬時間、シース管、充填度

## 1. まえがき

シース管のグラウト充填度合は所定の注入量および溢流口からの吐出で確認される。しかし、PC 鋼材とシース管の隙間が狭いことを考えると十分な施工管理にも関わらずシース管に空隙が生じる可能性がある。従来、非破壊検査では X 線などで検査されているが人体への危険、検査時間など問題もあり、様々な研究<sup>1)</sup>が行われている。そこで本研究では衝撃弾性波法によりシース管のグラウト充填度合に関する基礎的研究をおこなった。発振した衝撃弾性波が受信点へ到達する到達時間、受信点へ到達する衝撃弾性波の振幅などを吟味し、シース管のグラウト充填度を評価できる可能性があることが確認されたので報告する。

## 2. 測定原理

鋼球でコンクリート表面を打撃した際の模式図を図1に、発生する弾性波の種類と性質を表1に示す。コンクリート表面を打撃すると、コンクリート内部を半球状に縦弾性波が、表面付近にレイリー波が伝搬する。グラウトの充填が不十分な場合には、シース管で反射した縦弾性波が発生する。このとき、弾性波の性質は表1のようになり、発振点と受信点の距離を離していくと、ある距離  $L_0$  で

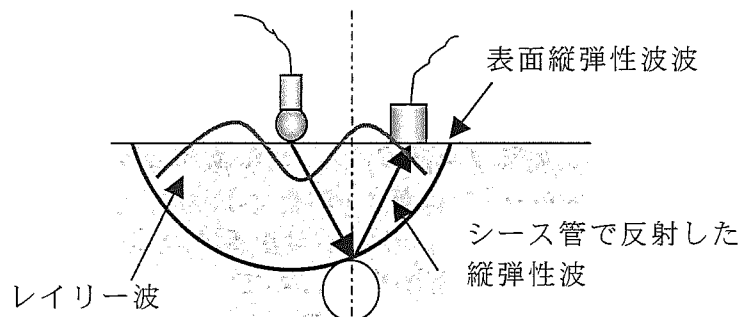


図1 コンクリート表面  
打撃時の模式図

種類	速度(m/s)	伝搬経路	到達時間	到達順序
表面縦弾性波	$V_P$	$L$	$L/V_P$	1
シース管で反射する縦弾性波		$\sqrt{L^2 + 4D_E^2}$	$\sqrt{L^2 + 4D_E^2}/V_P$	$L < L_0 \Rightarrow 3$ $L > L_0 \Rightarrow 2$
レイリー波	$V_R$ ※一般に $V_P$ の56%	$L$	$L/V_R$	$L < L_0 \Rightarrow 2$ $L > L_0 \Rightarrow 3$

レイリー波とシース管で反射した縦弾性波の受信点へ到達する順序が入れ替わる。このシース管で反射した縦弾性波はシース管表面が自由端であるため、表面縦弾性波と位相が反転し、受信点へ到達すると考えられる。

図2にLにより変化する表面縦弾性波の到達時間と空シース管より反射した縦弾性波の到達時間の違いを示した。受信波形の模式図を示す。Lが大きくなるほど表面縦弾性波とシース管で反射した縦弾性波の伝搬距離差は徐々に短くなり、受信点への到達時間差も短くなる。その時、表面弾性波とシース管で反射した縦弾性波は位相が逆のため、両者は干渉しあい、第1波として受信される振動の振幅が徐々に減少する。これに対し健全部、つまりシース管にグラウトが100%充填されている場合には、受信点で観測される第1波の振幅は変化しない。このことから第1波の振幅の減少に着目すればシース管の充填度が評価できると考える。

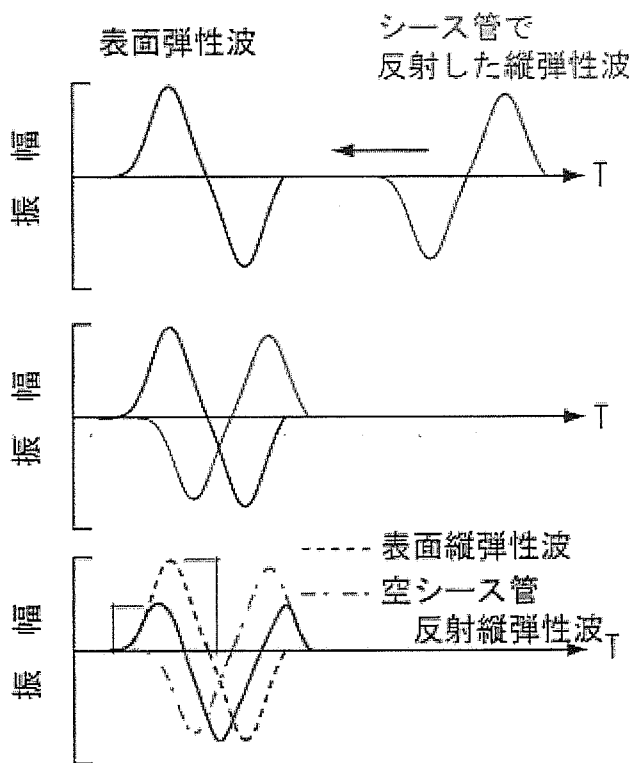


図2 表面縦弾性波とシース管で反射した縦弾性波のモデル図

### 3. 供試体および測定方法

今回、用いた供試体はφ65mmの空シース管が表面からシース管直上までが160mmの位置に埋設された厚さ350mmのコンクリート供試体である。また、シース管が埋設されていないコンクリートをシース管のグラウト充填度が100%と想定して実験を行った。

測定は鋼球打撃による縦弾性波と縦弾性波が最初に受信点へ到達する縦弾

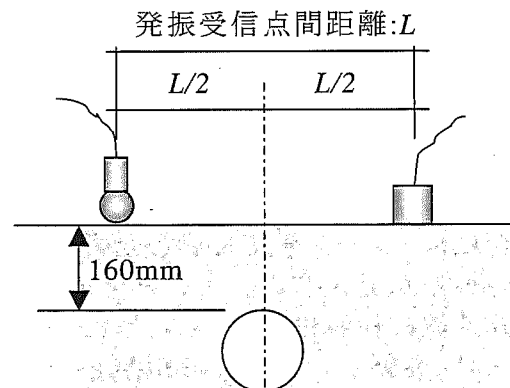


図3 供試体および測定状況

性波の波形を測定する。発振時間は打撃鋼球 10mm に衝撃加速度計(PCB 製 350B03) を取り付け、受信点には加速度計(PCB 製 3352C66)を手で押しつけ計測する。発振点と受信点はシース管と直交する様に配置し、発振受信点間距離  $L$  を 40mm から 40mm 間隔で 400mm まで変化させた。

#### 4. 測定結果

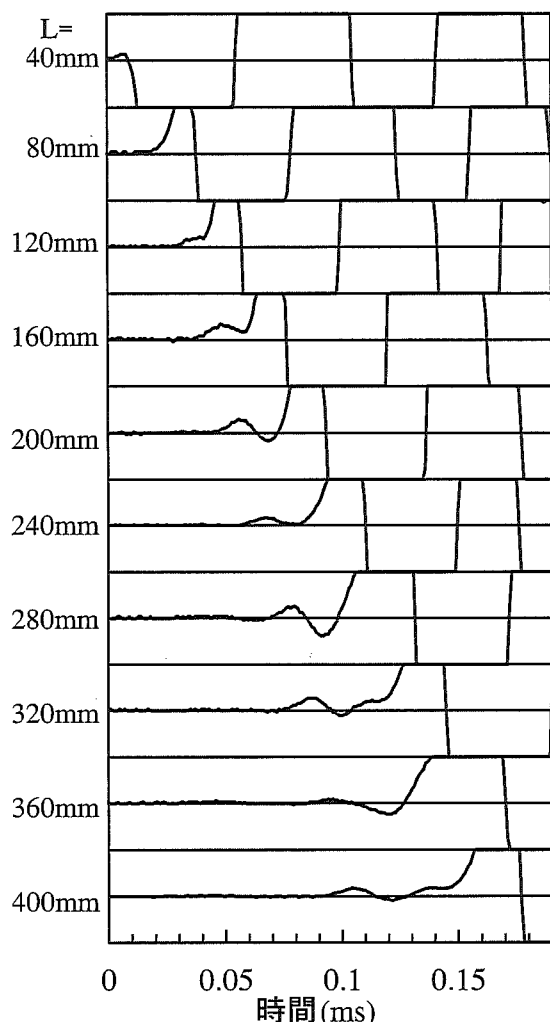


図4 各測定点での測定波形 (空シース管)

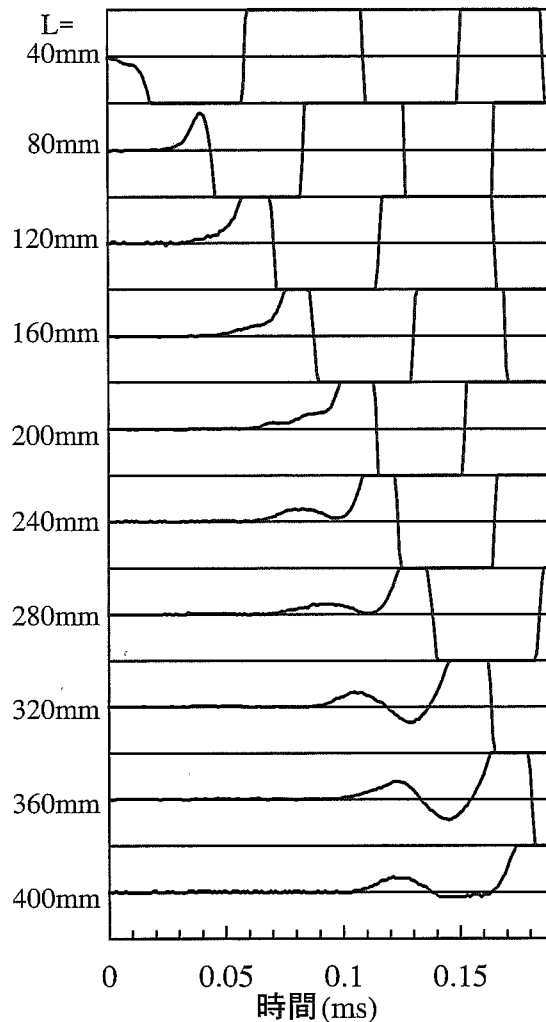


図5 各測定点での測定波形 (健全)

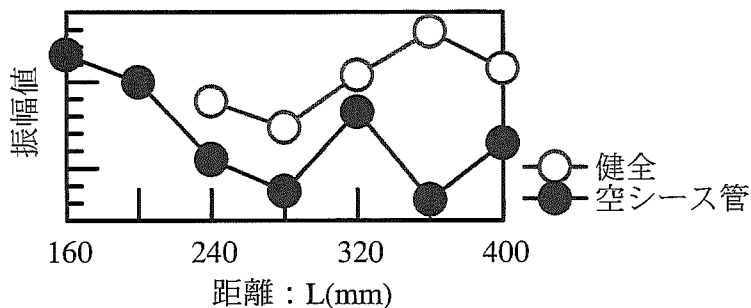


図6 第1波振幅比較

空シース管が埋設されている場合の受信波形を図 4 に、健全な供試体の受信波形を図 5 に示す。これらの受信波形は振幅をそれぞれの打撃波形で標準化したものである。 $L$  が 120mm までは空シース管がある場合、健全な場合とも第 1 波は表縦弾性波とレイリー波が混在したものであり両者に違いは見られない。しかし、 $L$  を変化さ

せると受信波形の第1波が、空シース管の場合と健全な場合で異なることがわかる。第1波の上に凸の部分の振幅値を比較すると図6に示すとおり、空シース管がある場合には小さくなるのがわかる。 $L$ が200mm以上では、健全な場合に測定される第1波は、表面縦弾性波とレイリー波に到達時間差が生じるために表面縦弾性波が分離して単独で測定される。一方、空シース管がある場合には、表面弾性波が到達した後に空シース管で反射した縦弾性波が到達して、位相が異なる両者が干渉し、上に凸の振幅値が小さくなるものと考えられる。 $L$ が長くなる程、表面縦弾性波と空シースで反射する。縦弾性波との到達時間差が短くなるため、その傾向は明確になる。

この干渉が空シースで反射した縦弾性波によるものであることを以下のとおり確認した。 $L=240\text{mm}$ で、第1波が変形する時間は $T_p=75\mu\text{s}$ となる。これが空シースで反射した縦弾性波の干渉によるものであるとすると、表1より(式1)の関係が成り立つ。

$$T_p = \frac{\sqrt{L^2 + 4D^2}}{V_p} \dots \dots (式1)$$

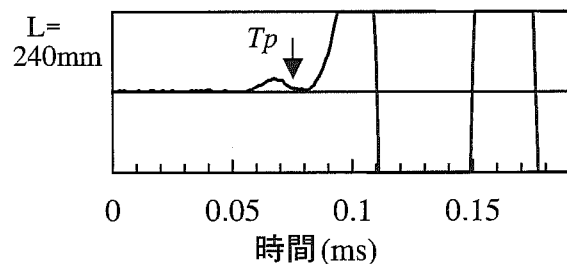


図7 L240mmでの測定波形（空シース管）

ここで $V_p$ を4000m/sと仮定して $D$ を計算してみると150mmとなる。これはシース管までの深さ160mmと良く一致した。

以上からシース管のグラウトが不十分な場合には空シースで反射する縦弾性波が発生すること、表面縦弾性波と干渉することが示され、前述のとおり受信波形の第1波の上に凸の振幅値に着目すれば、グラウトの充填度合の評価に利用できる可能性があると考えられる。

## 5. まとめ

衝撃弾性波法におけるシース管のグラウト充填度の測定について受信点に最初に到達する第1波の振幅とに着目し、検討を行った。伝搬経路からの表面縦弾性波と空シース管を反射する縦弾性波の受信点への到達時間差により、位相が異なる両者の性質から、受信点で観測された第1波の上に凸の振幅の減少することを確認し、グラウトの充填不十分なシース管からの応答が得られた。

受信点へ最初に到達する上に凸の振幅が減少し始める距離 $L$ から(式1)により求め、実際の埋設深さとほぼ一致した。しかし、空シース管で反射する縦弾性波の受信点に到達する明確な時間を得るのは、表面縦弾性波と混在しているため困難である。

今後は表縦面弾性波と空シース管で反射する縦弾性波の分離やグラウトの充填度合の変化への対応などが研究課題である。

## 参考文献

- 1) 極檀邦夫他: 衝撃弾性波法によるPC橋梁シース管グラウトの充填度合の測定, コンクリート工学年次論文集, vol.24, No.1, 2002
- 2) 極檀邦夫他: 衝撃弾性波法による大型供試体のグラウトの充填度合の測定, コンクリート工学年次論文集, vol.25, No.1, 2003