

## 非破壊検査 (広帯域超音波探査法) による内ケーブルPCグラウトの充填検査

○ 日本道路公団 静岡建設局 正会員 青木 圭一  
 日本道路公団 静岡建設局 本間 淳史  
 (株)日本ピーエス 技術管理部 正会員 原 幹夫

### 1. はじめに

PCケーブルのグラウトの信頼度を確保する検討が継続して行われており、材料の物性、品質管理方法、施工方法等それぞれの角度から改良が進んでいる。しかし検査方法という点では、内ケーブルがコンクリートに覆われていることから、容易ではない状況にあった。現在、新設時の充填確認の方法として、透明のシースをういた目視、ファイバースコープによる観測や、シースに取り付けたセンサーによる充填検査を実施している状態にある。しかし、これらの方法では精度は比較的高いが、検査箇所が限定されることからケーブル全体におよぶ検査とは言い難く、少なくとも任意の箇所を確認できる非破壊検査方法が望まれている。

任意の箇所での検査方法にX線撮影、超音波、電磁波レーダや衝撃弾性波等を使用した非破壊検査手法が考えられる。その内、本報告では超音波を利用したコンクリート内部探査法を用いた手法を、第二東名高速道路朝比奈川橋 (PC上部工) 上り線工事の床版ケーブルで実際に適用した結果を考察した。使用した超音波法は、昨年度供試体による確認実験<sup>1)</sup>を行ったもので、コンクリート内の鉄筋や骨材からの妨害波の影響を極力抑えるため、広範な周波数領域を使用する広帯域超音波法を用いた。また、検査は充填作業状況に応じてグラウト充填前、充填作業中及びグラウト硬化後の各段階で行うとともに、シース内にグラウトセンサーが取り付けられている箇所での照合を行った。

### 2. 広帯域超音波法の原理と使用器材

#### (1) 原理

広帯域超音波法は、図-1のようにコンクリート上に探触子を配置し、シースからの反射波を利用してPCケーブル内のグラウト検査を行う。空のシースは充填シースに比べ、反射波の強度が大きくなる性質を利用する。

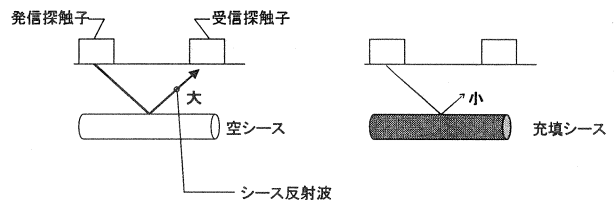


図-1 コンクリート内の超音波伝播模式図

いくつかの実験結果ではケーブル配置間隔が狭い場合、図-2のように近接するシースからの情報が交錯し、その影響により誤計測が生じることがあった。そのため、実橋での検査は探触子間隔をシースに沿って長くとり、図-3に示すようにコンクリート表面～シース間を反射するシース重複反射波のみを受信する方法とした。この方法では受信波中の低周波成分の強度が相対的に大きくなり、高周波帯域に比べ鉄筋の影響を受けにくく、より明確に充填状況の確認ができる。

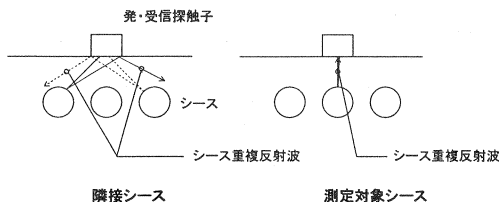


図-2 隣接シースの重複反射波伝播模式図

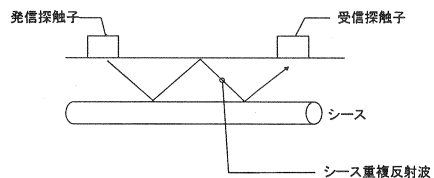


図-3 探触子間距離が長い場合の超音波伝播模式図

(2) 使用器材

写真-1 に広帯域超音波検査方法の使用器材を示す。検査はφ76 の大型プローブ (発信器, 受信器), 広帯域超音波測定器及びパソコンを用いて行う。写真-2 に検査状況を示す。

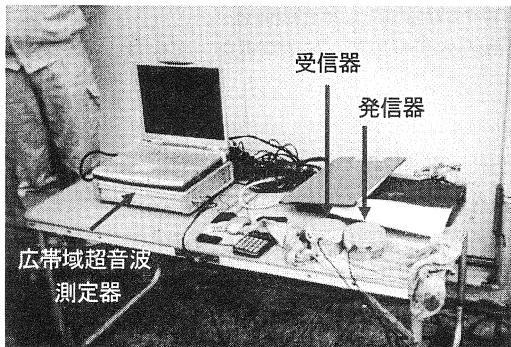


写真-1 広帯域超音波検査装置

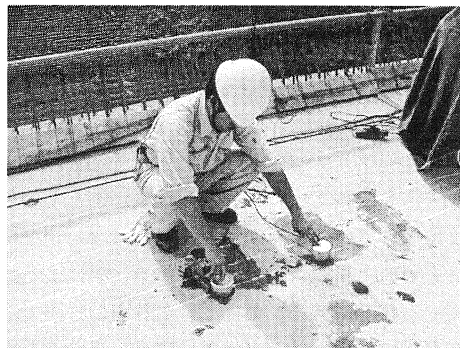


写真-2 検査状況

3. 検査対象の概要

(1) 朝比奈川橋の概要

PCグラウトの充填検査は、第二東名高速道路朝比奈川橋 (PC上部工) 上り線工事で行った。朝比奈川橋は橋長 655.0m, 有効幅員 16.5m の PC 7 径間連続ラーメン橋であり, 内外ケーブル併用構造としている。

表-1 に朝比奈川橋の橋梁概要を示す。

表-1 朝比奈川橋の橋梁概要

橋長	655.000m	桁長	654.600m
道路規格	第1種1級A規格	荷重	B活荷重
有効幅員	16.500m	斜角	90° 00' 00"
形式	PC7径間連続ラーメン橋		
支間	88.5+150.0+88.0+76.5+90.0+90.0+70.0m		

(2) 検査対象ケーブル

充填検査では床版及び張り出し床版の内ケーブルを対象とした。検査位置は第1回を P2 橋脚 10BL (P2 側), 第2回~第4回を P1 橋脚 11BL (P3 側), 第5回を P5 橋脚柱頭部, 1BL (P6 側), 7BL (P6 側) とした。図-4 に充填検査位置を, 表-2 に対象ケーブルの一覧を示す。

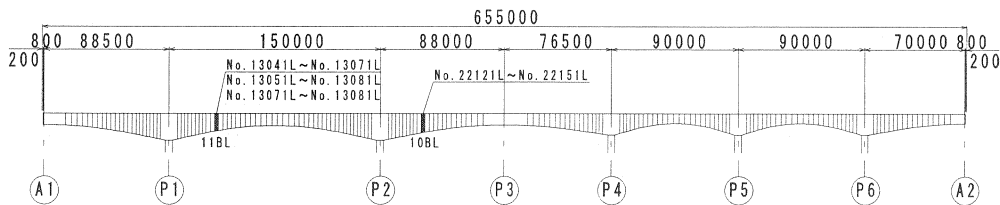


図-4 充填検査位置図

表-2 検査対象ケーブル一覧

	探査位置	対象ケーブル	探査日時
第1回	P2橋脚10BL	ケーブルNo. 22121L~No. 22151L	平成15年 8月
第2回	P1橋脚11BL	ケーブルNo. 13041L~No. 13071L	平成15年 9月
第3回	P1橋脚11BL	ケーブルNo. 13051L~No. 13081L	平成15年 9月
第4回	P1橋脚11BL	ケーブルNo. 13071L~No. 13081L	平成15年10月

4. グラウト充填検査結果

(1) グラウト充填後の検査

1) 第1回グラウト充填検査

図-5 に検査対象ケーブルの位置を、図-6 に第1回 (P2 橋脚ケーブルNo. 22121L~No. 22151L) グラウト充填検査結果を示す。図中に表示が無い位置はグラウトが充填されていることを示し、輝度の高い楕円形が表示された場合は充填前であることを示す。ケーブルNo. 22121L, No. 22131L は表示がなく、グラウトが充填されていることが確認できる。一方、ケーブルNo. 22141L, 22151L は輝度の高い楕円形が表示され、グラウトが充填前であることが確認できる。

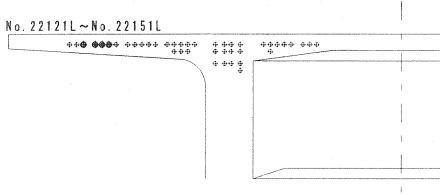


図-5 第1回充填検査対象ケーブル位置図

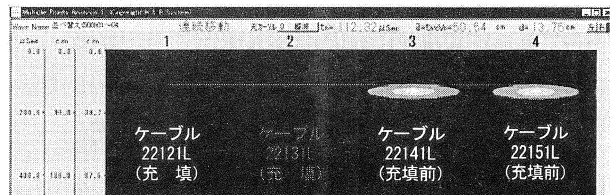


図-6 第1回グラウト充填検査結果

2) 第2回~第4回グラウト充填検査

図-7, 8 に第2回 (P1 橋脚ケーブルNo. 13041L~No. 13071L), 図-9, 10 に第3回 (P1 橋脚ケーブルNo. 13051L~No. 13081L), 図-11, 12 に第4回 (P1 橋脚ケーブルNo. 13071L~No. 13081L) の検査対象ケーブル位置、グラウト充填検査結果を示す。第2回ではケーブルNo. 13041L, No. 13051L, 第3回ではケーブルNo. 13051L, No. 13061L, 第4回ではケーブルNo. 13071L, No. 13081L は表示がなく、グラウトが充填されていることが確認できる。一方、第2回ではケーブルNo. 13061L, No. 13071L, 第3回ではケーブルNo. 13071L, No. 13081L, 第4回では比較用空シースは輝度の高い楕円形が表示され、グラウトが充填前であることが確認できる。

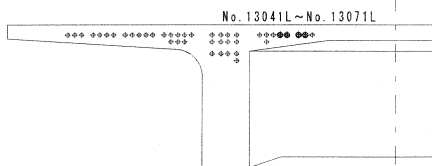


図-7 第2回充填検査対象ケーブル位置図

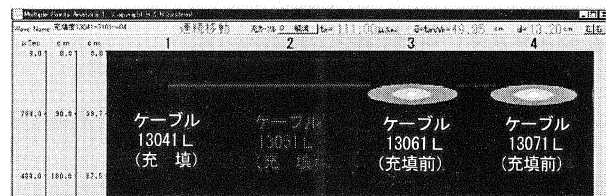


図-8 第2回グラウト充填検査結果

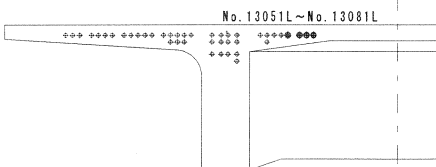


図-9 第3回充填検査対象ケーブル位置図

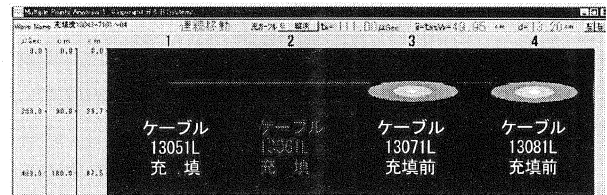


図-10 第3回グラウト充填検査結果

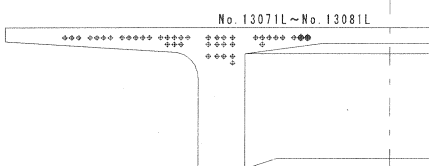


図-11 第4回充填検査対象ケーブル位置

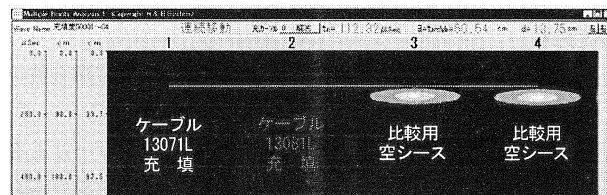


図-12 第4回グラウト充填検査結果

（2）グラウト注入中の検査

第3回グラウト充填検査時にグラウト注入中の充填判定を行った。検査位置はグラウト充填後と同じ位置とし、対象ケーブルはケーブルNo. 13061Lとした。図-13に検査結果を示す。注入中の計測は、未硬化グラウトが充填されていく過程での音響インピーダンスの変化に着目し、スペクトル値が変動する現象を利用したもので、完全に充填されるとスペクトル強度がほぼ一定値（集束判定用帯）に集束する。図-13では、測定波スペクトルが集束判定用帯に集束しており、グラウトが完全に充填されたことが確認できる。

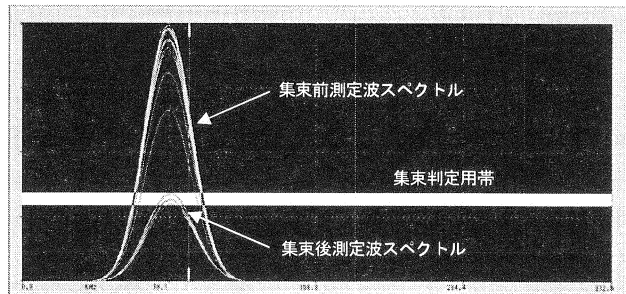


図-13 グラウト注入中の検査結果（第3回検査時）

（3）グラウトセンサーとの照合

第3回グラウト充填検査時に、グラウトセンサー（MSセンサー<sup>2)</sup>）との照合を行った。測定対象ケーブルはケーブルNo. 13061Lとした。

照合は通常作業時に充填確認に使用しているセンサー位置で超音波検査を行い、それぞれの結果を比較する方法で行った。図-14にMSセンサーの計測結果を示す。センサーによる計測ではグラウト通過後の出力値が5mV以下であり、充填が確認された。一方、広帯域超音波法による測定結果もセンサーと同様に、図-10に示すようにグラウトは充填されたと判断できるものであった。

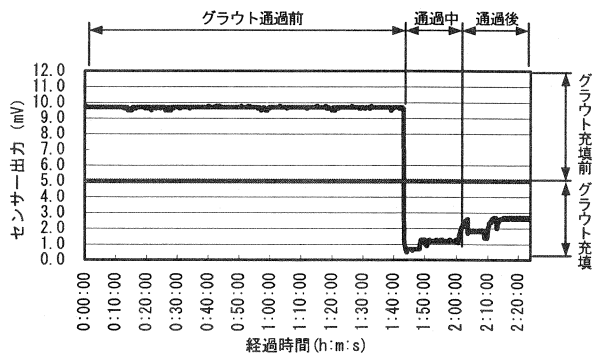


図-14 MSセンサー計測結果

5. おわりに

広帯域超音波を用いて内ケーブルのグラウト検査の適用を検討した結果は、充填状況の確認が十分に行えるものであり、計測結果の再現性も確実なものであった。グラウト注入前及び硬化後の判定が明確にでき、また注入作業中の確認も可能であることが確認できた。実際の床版上からの内ケーブルのグラウト充填確認検査では、鉄筋探査機を用いて鉄筋位置をあらかじめ確認し計測精度を上げた。これらを行えば計測時間は探査装置を設置後、1箇所当たり約20分程度であり、1日当たり約20～30箇所の測定が可能と推定できる。

一般的にコンクリート構造物を対象とした非破壊検査手法は、適用性や精度の点で難易度が高いとされている。しかし、今回報告する超音波法はシースを介したグラウトの充填判定に特化した技術であるが、実用レベルにあるといえ、今後有望な検査手法の一つとなると考えられる。

参考文献

- 1) 原幹夫, 本間淳史, 青木圭一, 廣瀬正行: 広帯域超音波探査法を用いたPCグラウトの充填度測定, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp61-64, 2003
- 2) 正司明夫, 青木圭一, 大城社司, 細野宏巳: センサーによるグラウト充填の確認方法に関する検討, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp49-52, 2003