

# 論文 検出弾性波のエネルギー変化に着目したグラウト充填性評価

永田智宏<sup>\*1</sup>・山田和夫<sup>\*2</sup>・松元香保里<sup>\*3</sup>

**要旨：**本研究では、PC床板端部で検出した弾性波のエネルギー変化に着目したグラウトの充填性評価の可能性について検討した。その結果、未充填区間が短い場合のグラウト充填状況を正確に評価するためには、ピックアップとPC鋼棒との界面にマシンオイルを塗布して計測を行うなどの工夫が必要であること、並びに検出した弾性波のエネルギー変化傾向がグラウトの充填状況によって相違することに着目することによって、グラウトの充填性を評価できる可能性のあることが明らかとなった。

**キーワード：**非破壊試験、グラウト充填性評価、衝撃弾性波法、エネルギー変化

## 1. はじめに

筆者らは、これまでにPC床板のグラウト充填状況を簡便に評価できる非破壊検査システムの構築を目的として一連の基礎的研究<sup>1)~6)</sup>を行い、検出された衝撃弾性波の伝播・反射特性、周波数応答特性、卓越周波数の出現状況と振動モードとの関係、ランニング・スペクトルなどに着目したグラウト充填性評価の可能性について報告した。

本研究では、これら一連の基礎的研究の延長として、PC鋼棒端部で検出した衝撃弾性波のエネルギー変化率に着目したグラウトの充填性評価方法の可能性について、実験的に検討を行うこととした。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験の概要

本実験では、直線配置された長さ5mのPC鋼棒が試験体の端部および中間部に0~5mの区間でグラウト未充填の状態に設定されている2種類のPC床板（図-1 および表-1 参照）を用いて、検出された衝撃弾性波のエネルギー変化率とグラウト充填状況との関係について調査を行い、その可能性について検討した。

表-1 実験の概要

(a) 実験-I

記号	グラウト未充填位置	グラウト未充填長さ
C0	全 体	5.0m
C1	端 部	0.5m
C2	端 部	1.0m
C3	端 部	2.5m
C10	無 し	—

(b) 実験-II

記号	欠陥の位置	欠陥の長さ	欠陥の形状	欠陥の数
C4	中間部	0.5m	完全欠損	1
C5	中間部	1.0m	完全欠損	1
C6	中間部	2.5m	完全欠損	1
C7	中間部	1.0m	完全欠損	2
C8	中間部	1.0m	半断面欠損	1
C9	中間部	1.0m	半断面欠損	2

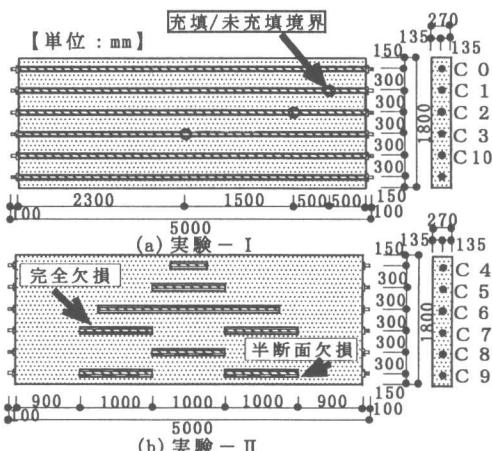


図-1 試験体の形状・寸法

\*1 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻（正会員）

\*2 愛知工業大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）

\*3 住友建設(株)技術研究所研究員（正会員）



図-2 計測システムのブロックダイヤグラム

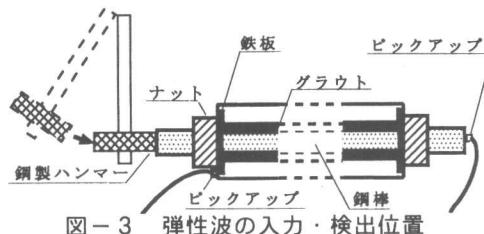


図-3 弹性波の入力・検出位置

## 2.2 計測・処理方法

本実験で用いた計測システムのブロック・ダイヤグラムを図-2に示す。計測に際しては、図-3に示すように、鋼製ハンマーを用いてPC鋼棒端部から衝撃弾性波を入力し、衝撃弾性波の入力点近傍および反対側のPC鋼棒終端部の2箇所にマグネット付の超小型圧電型加速度ピックアップ(PV-91型)を設置して加速度波形を計測した。波形処理としては、図-4に示す要領で計測された加速度波形データ(4096個)の周波数特性を求めるとともに、検出された加速度波形の初動部を基準にして検出波形データを16分割(各256個)し、各分割波形データを用いてランニング・スペクトルを求めた。

なお、本実験では、検出加速度波形に及ぼすピックアップの接着方法の影響を検討するために、ピックアップをマグネットを介して直接PC鋼棒に接着した場合以外に、ピックアップとPC鋼棒との界面にマシンオイルおよびグリースを塗布した場合についても検討を行った。

## 3. 実験結果とその考察

### 3.1 検出弾性波のエネルギー変化率に及ぼすピックアップの接着方法の影響

図-5(a)および(b)は、それぞれPC床板端部にグラウト未充填区間が0.5mおよび1.0m存在する試験体において、衝撃弾性波をグラウト未充填側から入力したときの弾性波入力点近傍で検出された加速度波形のエネルギー変化率に及ぼすピックアップの接着方法の影響を示したものである。なお、横軸の弾性波入力点からの距離( $l$ )は、PC鋼棒中を伝播する弾性波の伝播速度(未充填部が $V=5300\text{m/s}$ 、充填部が $V=4550\text{m/s}$ 。ただし、これらの値は完全未充填および充填試験体による実測値)を用いて弾性波入力時からの経過時間( $t$ )を距離に換算したものである( $l=0.5t \cdot V$ )。別報<sup>6)</sup>で示したように、グラウト未充填区間が2.5mの場合には、ピックアップを直接PC鋼棒に接着した場合でもグラ

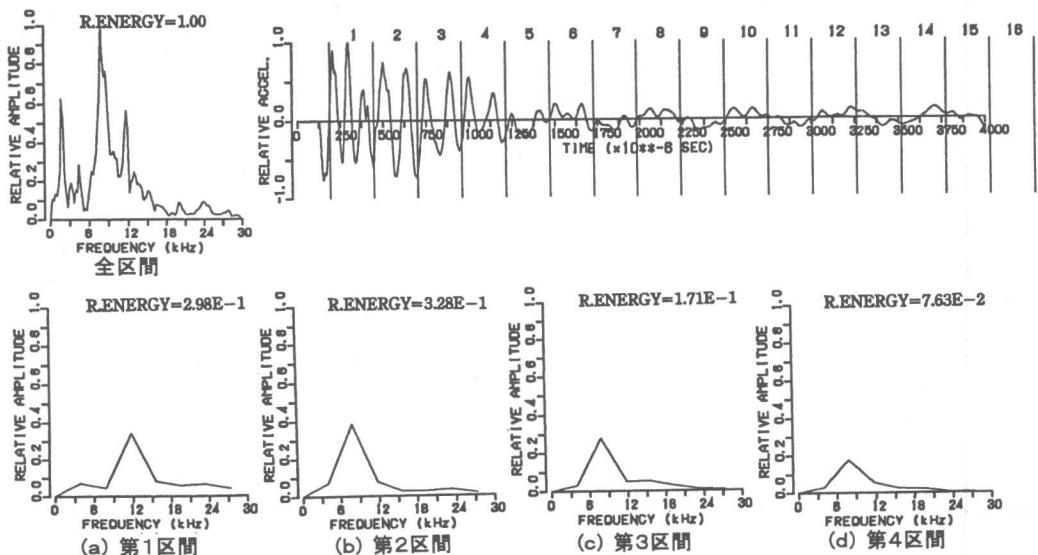
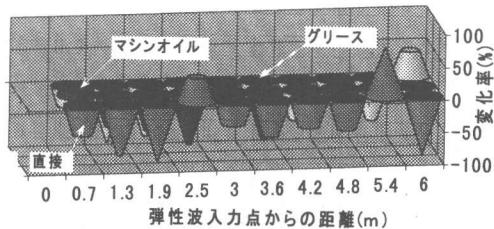
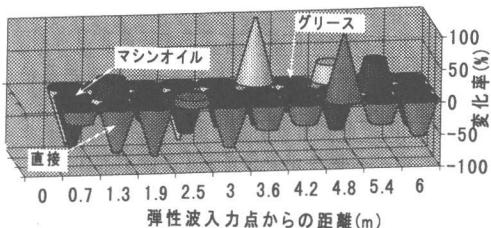


図-4 ランニング・スペクトル図の一例

ウト未充填区間に相当する位置でエネルギーが大きくなる傾向を示したが、グラウト未充填区間が0.5mおよび1.0mのように短くなると、界面にマシンオイルを塗布した場合でないと、グラウト未充填区間に相当する位置でのエネルギーの増大傾向は認められない。これは、界面に粘性のあるマシンオイルを塗布することによってPC鋼棒端面とマグネット端面の微妙な凹凸に起因した共振現象が低減され、グラウト未充填/充填境界面からの反射波が抽出され易くなるためと思われる。<sup>1)</sup>このことから、グラウト未充填区間が長い場合にはピックアップを直接PC鋼棒に接着しても問題はないが、グラウト未充填区間が短くなると、界面にマシンオイルを塗布した方がグラウト充填不良部からの反射波をより正確に検出できるといえる。



(a)未充填区間：0.5mの場合



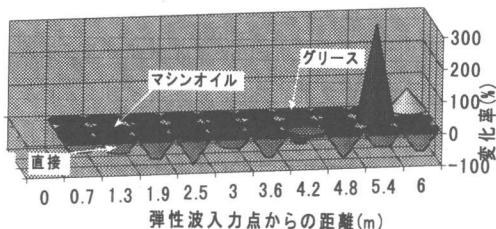
(b)未充填区間：1.0mの場合

図-5 検出弾性波のエネルギー変化率に及ぼすピックアップの接着方法の影響  
(弾性波入力位置：未充填側)

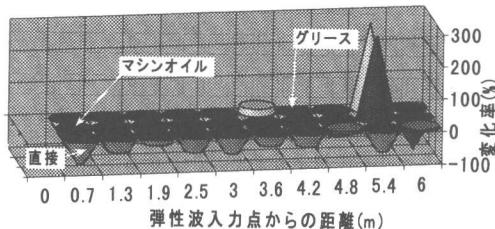
図-6(a)および(b)は、衝撃弾性波をグラウト充填側から入力した場合の結果を図-5と同様の方法で示したものである。これらの図によれば、界面にマシンオイルを塗布した場合に

は、グラウト未充填区間長さにかかわらずPC鋼棒の長さに相当する位置でエネルギーが大きくなる傾向を示しているが、グラウトの充填/未充填境界面に相当する位置でのエネルギーの増大傾向は確認できない。ただし、グラウト未充填区間が1.0mの場合には、グラウト充填/未充填境界面に相当する位置でエネルギーの減少率が小さくなっているのが認められる。

以上のことから、本実験で検討を行った3種類のピックアップ接着方法のうちでは、ピックアップとPC鋼棒との界面にマシンオイルを塗布して計測する方法が最もよいと考えられる。



(a)未充填区間：0.5mの場合

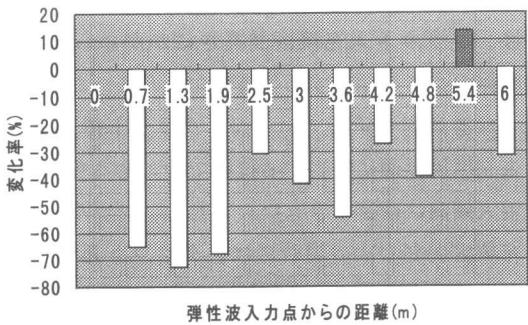


(b)未充填区間：1.0mの場合

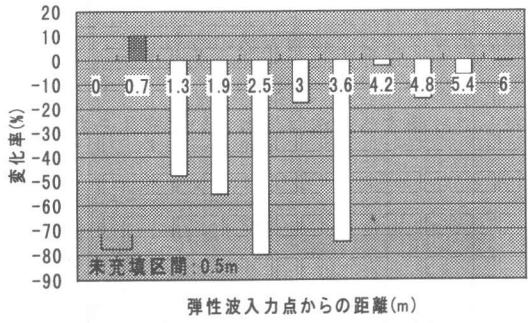
図-6 検出弾性波のエネルギー変化率に及ぼすピックアップの接着方法の影響  
(弾性波入力位置：充填側)

### 3.2 検出弾性波のエネルギー変化率とグラウト充填状況との関係

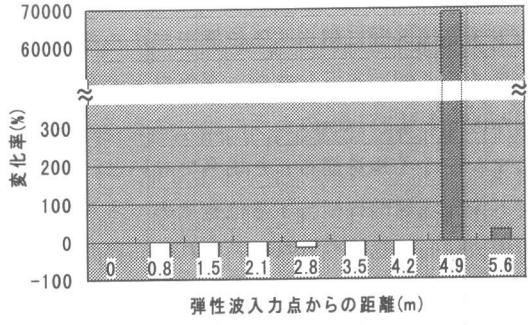
図-7(a)～(e)は、ピックアップとPC鋼棒との界面にマシンオイルを塗布した場合において、衝撃弾性波をグラウト未充填側から入力したときの弾性波入力点近傍で検出された伝播距離との関係をグラウト充填状況別に示したものである。こ



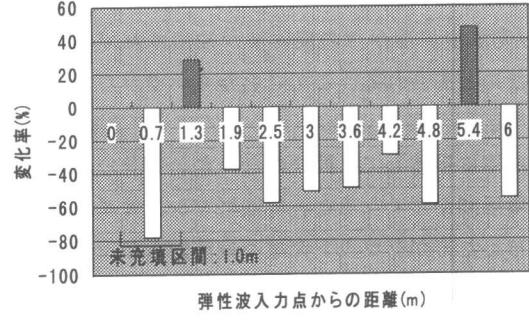
(a)完全充填の場合



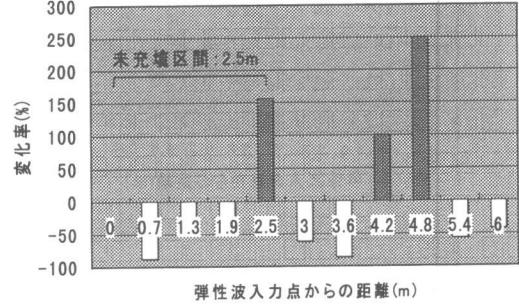
(c)未充填区間: 0.5mの場合



(b)完全未充填の場合



(d)未充填区間: 1.0mの場合



(e)未充填区間: 2.5mの場合

図-7 弹性波のエネルギー変化率に及ぼすグラウト充填状況の影響

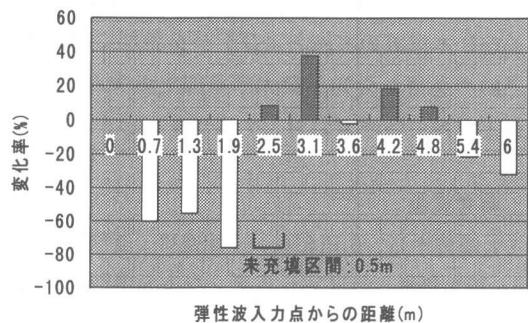
(弹性波入力位置: 未充填側)

これらの図によれば、グラウト未充填区間が0.5m, 1.0mおよび2.5mの場合には、グラウト未充填区間に相当する位置でエネルギーが増大しているのが認められる。また、共通して伝播距離が4.2mの位置とPC鋼棒長さに相当する位置でエネルギーが大きくなっているが、これらのうち4.2mの位置でエネルギーが増大しているのは、前報<sup>5)</sup>で示したように、この位置でPC床板を枕木によってピン支持していることに起因した共振現象によるものと考えられる。次に、グラウトが完全に充填(図-7(a)参照)および未充填(図-7(b)参照)の場合に注目してみると、いずれの場合も鋼棒長さに相当する位置でエネルギーが増加しており、鋼棒端部からの反射波が検出できていることが読み取れるが、鋼棒長さに相当する位置でのエネルギー変化率がグラウト充填の有無によって著しく異なるため、グラウトが完全未充填か完全充填であるかの区別は、比較的容易であることがわかる。また、グラウトが完全充填の場合には、弾性波入力点からの距離が2.5mを含む区間でエネルギー

一の減少率が小さくなっているのが認められるが、これはグラウト未充填区間が2.5mに設定されているPC鋼棒が同じPC床板の30cm離れた位置にある(図-1(a)参照)ため、そのPC鋼棒のグラウト充填/未充填境界面からの反射波を検出したためではないかと考えられる。このように、グラウトが完全未充填および完全充填の場合には、PC鋼棒長さに相当する位置以外では、そのPC鋼棒自体に起因したエネルギー

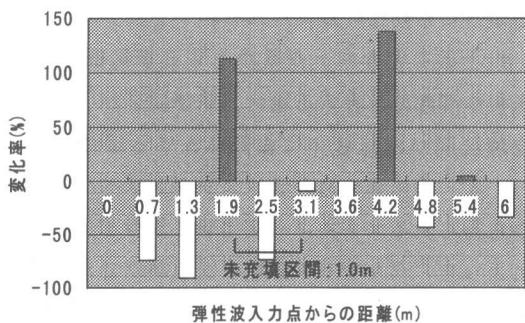
の増大現象は認められず、PC鋼棒長さに相当する位置になるとエネルギーが急増する傾向を示す。

以上のことから、PC床板端部にグラウト未充填区間がある試験体のグラウト充填性評価を目的として、衝撃弾性波をグラウト未充填側から入力した場合には、検出弾性波のランニング・スペクトルから得られるエネルギーの変化率に着目することによって、グラウトの充填状況を評価できる可能性があるといえる。

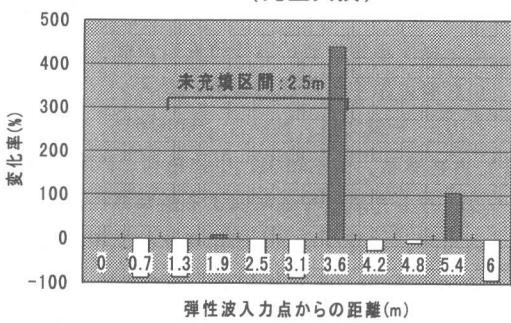


(a)未充填区間：0.5m（欠陥数：1）の場合  
(完全欠損)

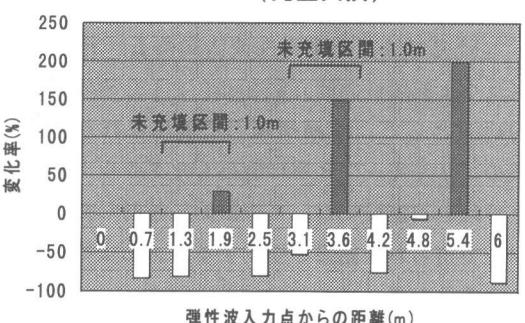
図-8(a)～(f)は、それぞれPC床板中間部のPC鋼棒周囲のかぶりコンクリートを長さ0.5m（欠陥数：1）、1.0m（欠陥数：1および2）および2.5m（欠陥数：1）の区間にわたってPC鋼棒が完全に露出するように箱抜きしてある試験体（以下、完全欠損と略記）、並びに1.0m（欠陥数：1および2）の区間をPC鋼棒の断面の半分だけ露出するように箱抜きしてある試験体（以下、半断面欠損と略記）によって得られた測定結果を図-7と同様の方法で示した



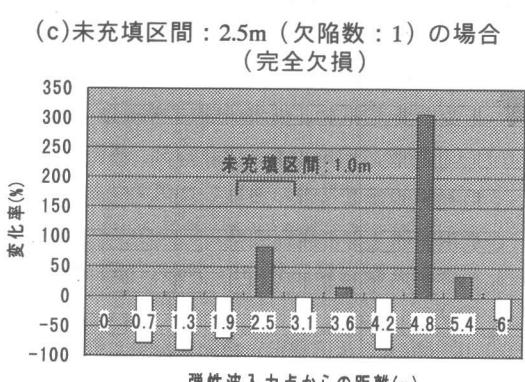
(b)未充填区間：1.0m（欠陥数：1）の場合  
(完全欠損)



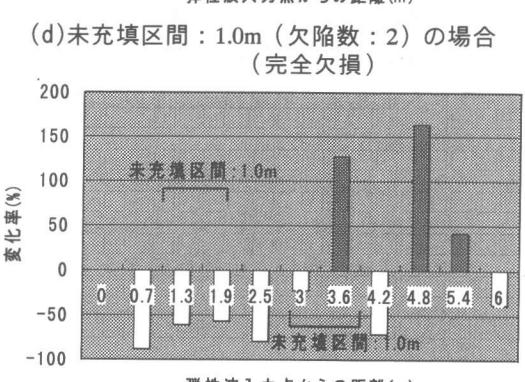
(c)未充填区間：2.5m（欠陥数：1）の場合  
(完全欠損)



(d)未充填区間：1.0m（欠陥数：2）の場合  
(完全欠損)



(e)未充填区間：1.0m（欠陥数：1）の場合  
(半断面欠損)



(f)未充填区間：1.0m（欠陥数：2）の場合  
(半断面欠損)

図-8 弾性波のエネルギー変化率に及ぼすグラウト充填状況の影響

ものである。これらの図によれば、グラウト未充填区間がPC床板中間部に存在する試験体の場合には、グラウト充填部から未充填部への境界面に相当する位置でのエネルギーの増大傾向は明確には確認することができないが、グラウト未充填部から充填部への境界面に相当する位置では明らかにエネルギーが増大する傾向を示している。なお、これらグラウト未充填/充填境界面でのエネルギーの増大傾向は、グラウト未充填区間がPC床板中間部に複数箇所存在する場合にも同様に観察される。

以上のことから、グラウト未充填区間がPC床板中間部に存在する場合、並びにグラウト未充填区間がPC床板中に複数存在する場合であっても、検出弾性波のランニング・スペクトルから得られるエネルギー変化率に着目することによって、グラウトの充填状況を評価できる可能性があるといえる。

#### 4. 結 論

本研究では、衝撃弾性波法によるPC床板のグラウト充填性評価方法を確立するための基礎的研究として、PC鋼棒端部で検出された弾性波のエネルギー変化率に着目したグラウト充填性評価の可能性について実験的に検討した。本研究で得られた結果を要約すると、およそ以下のようになる。

- 1) グラウト未充填区間が長い場合には、ピックアップの接着方法を工夫しなくともグラウト充填/未充填境界面からの反射波を容易に検出できる。
- 2) グラウト未充填区間が短い場合のグラウト充填状況を正確に評価するためには、ピックアップとPC鋼棒との界面にマシンオイルを塗布して計測を行うなどの工夫が必要である。
- 3) グラウト未充填区間がPC床板端部にある場合、検出した弾性波のエネルギー変化傾向がグラウトの充填状況によって相違することに着目することによってグラウトの充

填状況を評価できる可能性がある。

- 4) グラウト未充填区間がPC床板中間部に存在する場合、グラウト充填部から未充填部への境界面ではエネルギーの増大傾向は認められないが、グラウト未充填部から充填部への境界面では明らかなエネルギーの増大傾向を示す。

#### 謝 辞

本研究に際して、貴重なご助言を賜りました住友建設(株)の中井裕司氏および藤田 学氏、並びに本実験の実施およびデータ整理に際してご助力を得た愛知工業大学学部生の大石 剛君および谷口智彦君に対して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 黒野幸弘, 山田和夫, 中井裕司 : 衝撃弾性波法を適用したPC床板のグラウト充填性評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1175-1180, 1995.6
- 2) 山田和夫, 黒野幸弘, 中井裕司 : PC鋼棒中を伝播する弾性波の伝播特性に及ぼす緊張力の影響に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.616-621, 1995.12
- 3) 黒野幸弘, 山田和夫, 中井裕司 : PC床板のグラウト充填性評価に関する衝撃弾性波法の適用性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.1221-1226, 1996.6
- 4) 山田和夫, 黒野幸弘, 中井裕司 : PC床板の周波数応答に及ぼすグラウト充填状況の影響に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.880-885, 1996.12
- 5) 永田智宏, 山田和夫, 中井裕司, 黒野幸弘 : PC床板の振動特性に着目したグラウト充填性評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1285-1290, 1997.6
- 6) 山田和夫, 永田智宏, 松元香保里 : 検出弾性波のランニング・スペクトルに着目したPC床板のグラウト充填性評価に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.216-221, 1997.12