

埋設型枠工法における内部コンクリートの初期欠陥の検知方法に関する実験的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○光山恵生 渡邊有寿 柳井修司
カジマ・リノベイト(株) 正会員 小山一夫 前山篤史

1. はじめに

埋設型枠工法は、プレキャストコンクリート製パネル（以下、PCa パネルとする）を構造物の外殻として内部にコンクリートを打ち込む工法であり、施工の省力化、環境負荷低減など多くの利点を有する工法である。一方で、躯体表面に PCa パネルが設置されることから、現場打ちコンクリートの初期欠陥を目視によって確認できず、施工管理や検査を行う上での課題となる。筆者らは、有機繊維（ポリプロピレン製）を用いた高強度繊維補強 PCa パネルを外殻とし、現場打ちコンクリートの初期欠陥を模擬した RC 供試体を用いて、各種の非破壊検査技術の適用性を検証している¹⁾。本報では、既報¹⁾とは別の非破壊検査技術の適用結果について報告する。

2. 実験概要

図-1 に鉄筋と初期欠陥の配置状況を、表-1 に現場打ちコンクリートの配合（40 12 20 N）と物性値を示す。供試体は、長さ 2.0m・高さ 0.9m・厚さ 60mm の PCa パネルを四方に組み立て、その内部に鉄筋と初期欠陥を模擬した異物を設置し、コンクリートを打ち込んだものである。表-2 に模擬した初期欠陥の種類と方法を示す。初期欠陥は、豆板・縁切れ・空洞・コールドジョイントの 4 種類とし、発泡スチロールやポリエステル（以下、PET とする）製のシートを用いて初期欠陥を模擬した。なお、PCa パネルの内側面は、ウォータージェットによる洗い出し（打継ぎ処理）を行い、現場打ちコンクリートとの一体化を図った。

表-3 に適用性を検討した非破壊検査技術を示す。既報¹⁾ではコンクリートテストハンマおよび電磁波レーダの適用結果について報告したが、本報では、電磁波レーダ探査機（別機種）、超音波探査機および赤外線カメラの適用性について検討した。PCa パネルに混入した繊維は金属製ではなく樹脂製であることから、電磁波レーダ探査機の精度に悪影響を与えないものと考えられる。計測日のコンクリート材齢は 194 日および 244 日であった。

3. 非破壊検査技術の適用結果

表-3 に既報¹⁾の結果も含めた模擬した初期欠陥の検知の可否を示す。図-2 にコールドジョイントを除いた今回の計測結果の

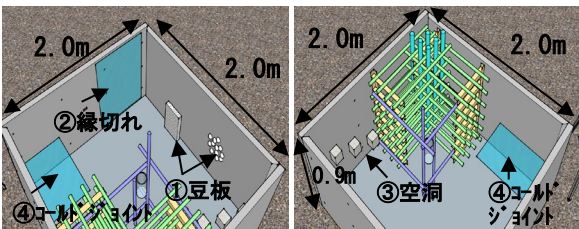


図-1 鉄筋と初期欠陥の配置状況

表-1 現場打ちコンクリートの配合と物性値

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)*					スランブ (cm)	空気量 (%)	28 日 圧縮 強度 (N/mm ²)
		W	C	S	G	Ad			
41.3	41.0	155	375	737	1085	3.75	12.0	4.4	58.1

W：水道水，C：普通ポルトランドセメント，S：砕砂，G：碎石，

Ad：AE 減水剤

表-2 模擬した初期欠陥の種類と方法

初期欠陥	模擬方法
①豆板	幅 20cm・高さ 35cm・厚さ 5cm のブロック状のポーラスコンクリートおよび φ30～50mm の半球状の発泡スチロールを PCa パネル背面に貼付
②縁切れ	パネル背面に 0.6×0.9m のポリエステル製シートを貼付
③空洞	一辺 10cm の立方体状の発泡スチロールを、PCa パネルからの離れ（深さ）0mm・100mm・200mm の位置に設置
④コールドジョイント	現場打ちコンクリートの打重ね部を 600×900mm のポリエステル製シートで縁切り

表-3 非破壊検査技術による計測結果

非破壊検査 技術	機種	検査方式	計測結果**					材 齢
			かぶり	豆板	縁切れ	空洞	CJ***	
コンクリートテストハンマ*	K 社製*	反発硬度式	—	×	○	×	×	47 日
電磁波レーダ探査機	H 社製*	電磁波レーダ式	○	○	×	○	×	64 日
	P 社製		◎	○	△	○	×	194 日
超音波探査機	P 社製	超音波トモグラフィ	×	○	△	○	×	244 日
赤外線カメラ	F 社製	赤外線サーモグラフィ	—	△	×	△	×	

* 既報で報告済，** ◎：高精度で検知可能，○：検知可能，△：条件によっては検知可能，×：検知不可能，*** CJ：コールドジョイント

キーワード：埋設型枠，非破壊検査，高強度繊維補強モルタル，初期欠陥，プレキャスト

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL 042-489-6736

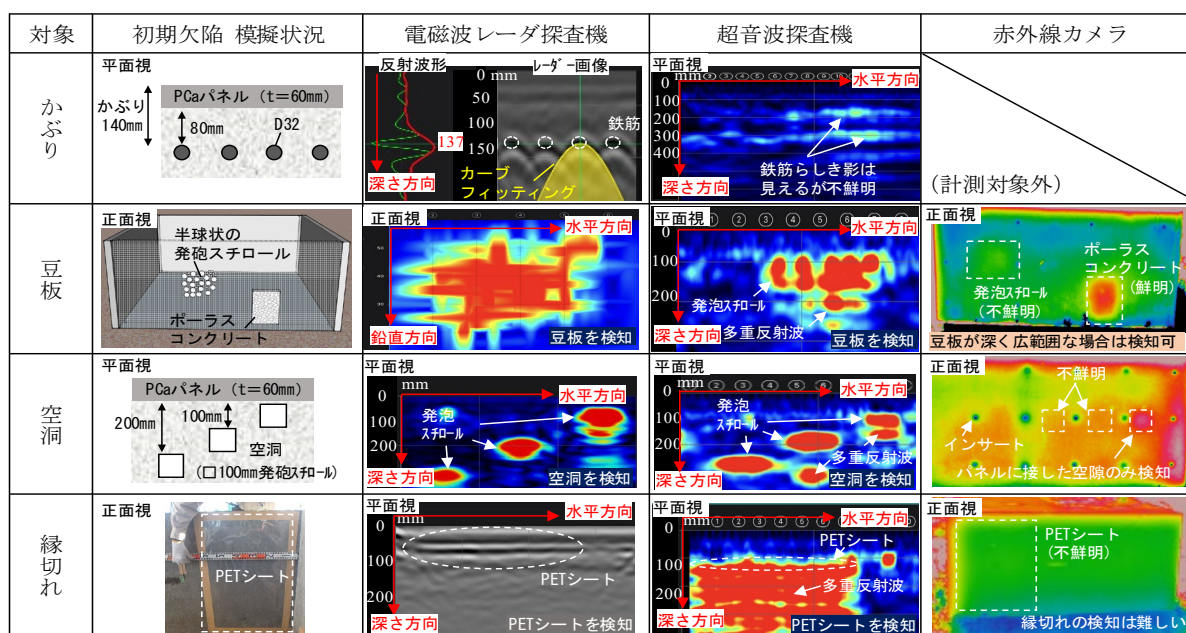


図-2 計測結果一覧

一覧を示す。なお、今回検討した非破壊検査技術ではコールドジョイントについては検知することができなかった。

(1) かぶり

超音波探査機では、鉄筋を鮮明な画像で検知することができなかった。これは、空洞等と比べ、鉄筋による超音波の反射が弱いためと考えられる。一方、電磁波レーダ探査機では、PCa パネル背面の鉄筋を高い精度で検知できた。既報¹⁾で検討した機種は比誘電率の補正機能がなく、正確なかぶりを推定するためには、かぶりが既知の試験体を別途用意する必要があった。本報で使用した機種は、カーブフィッティング法による比誘電率の補正が可能である。これは、鉄筋からの反射画像が凸状の双曲線になる性質を利用し、比誘電率を推定する方法である²⁾。この電磁波レーダ探査機によるかぶりの測定値は、実際の 140mm に対し 137mm であり、高い精度で計測できた。

(2) 豆板および空洞

超音波探査機および電磁波レーダ探査機では、豆板（半球状の発泡スチロールおよびポーラスコンクリート）および表面から 260mm の深さに位置する空洞を検知可能であった。赤外線カメラでは、PCa パネル背面に接するように設置したポーラスコンクリート（厚さ 50mm）および空洞を模擬した発泡スチロール（厚さ 100mm）のみが鮮明に確認できた。一方、パネル背面に接するものでも $\phi 30\sim 50\text{mm}$ の半球状の発泡スチロールや、表面からの深さ 160mm 以深の空洞は確認できなかった。以上より、赤外線カメラで豆板や空洞を認識する条件として、PCa パネルの背面に接しており、かつ面積が 100cm^2 以上で厚さが 50mm 程度以上のものに限られることが分かった。

(3) 縁切れ

超音波探査機および電磁波レーダ探査機は、縁切れを模擬した PET シートの検知が可能であった。ただし、実際の縁切れはシートではなく数ミリ単位の空隙（空気層）であることについては留意する必要がある。赤外線カメラでは、今回の実験において縁切れを模擬した PET シートの検知は困難であった。

4. まとめ

埋設型枠工法において、現場打ちコンクリートに初期欠陥を模擬した供試体を用いて非破壊検査技術の適用性を検証した。その結果、かぶりの計測には電磁波レーダ探査機を、空洞および豆板の検知には電磁波レーダ探査機または超音波探査機を用いることが望ましいと判断された。縁切れについては、電磁波レーダ探査機および超音波探査機で検知できる可能性があるが、点検ハンマー等の打撃系の検査手法の方が容易に検知できた。赤外線カメラは、今回の目的には不向きであった。本報の知見が埋設型枠工法の更なる普及の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 光山ら：埋設型枠工法における内部コンクリートの非破壊検査に関する実験的検討，土木学会第 74 回年次学術講演会 V-253，2019.9
- 2) 社団法人 日本非破壊検査協会：NDIS 3429 電磁波レーダ法によるコンクリート構造物中の鉄筋探査方法 附属書 E，2011.2