# 論文 各種非破壊検査法による鉄筋コンクリート造壁体の内部欠陥 探査実験

#### 西川 忠\*1·井村保則\*2

要旨:鉄筋コンクリート造建築物外壁の内部欠陥探査に対する非破壊検査手法の適用性 評価を目的とし、人工的なジャンカとコールドジョイントを有する試験体により実験を 行った。建物内部に立ち入ることができない場合を想定し、赤外線法、超音波法、電磁 波レーダー法、熱中性子測定法、打音法の5種類の方法による片面からの測定を行った。 いずれの手法も測定上の制約や深さ方向の検知限界を有するが、概括的検査には赤外線 法が優れていること、診断者の聴力による打音法は浮きを伴わない欠陥の検知は困難で あること、範囲を絞った詳細調査には超音波法、熱中性子法が適用できることを示した。 キーワード:RC造外壁、非破壊検査、内部欠陥、ジャンカ、コールドジョイント

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の品質を確保する ためには、コンクリートが適切に充填され一体 となっていることが重要である。しかし、コン クリート躯体の内部欠陥探査については信頼性 の高い方法がないのが実状である。また大抵の 場合表面仕上げが施されていることもあり、施 工段階の検査で見過ごした欠陥については、そ の後目視により発見することは難しい。また建 築物の外壁については、室内側に断熱材が付着 していたり内部への立入り制限を伴う場合が多 く、外部側のみの作業に限定されることが多い。

本報は仕上げを施したRC造建築物の外壁を 想定した試験壁によ

#### 2. 試験壁

試験壁は人工的なジャンカとコールドジョイ ントを有する各 2 体で,大きさは 1400mm× 1400mm,厚さ 200mm である。コンクリート はW/Cが 60%、スランプ18、粗骨材寸法 20mm である。表面仕上げは最近のRC造建築物の大 半を占める打ち放し仕上げとタイル仕上げを想 定し、各 2 体のうち1 体は,表面を厚さ 2~3mm のモルタルしごきのみとし,他の1 体は茶色の 釉薬タイルを密着貼りしている。タイル寸法は 50×100mm で厚さ 7~8mm である。内部には D10 を縦横 200mm 間隔,かぶり厚さ 30mm で 配置している。外周には厚さ 50mm のフォーム

り,外部面から適用 し得る非破壊検査法 について,ジャンカ およびコールドジョ イントの探査に対す る適用性について検 討したものである。

試験壁 番号	仕上げ	内部欠陥 の種類	欠陥の程度
1	打放し+しごき	ジャンカ	壁厚貫通ジャンカ(300×300mm、150×150mm) かぶり厚以深のジャンカ(300×300mm、150×150mm)
2	打放し+しごき	コールド ジョイント	軽度のコールドジョイント(単純打継ぎ) 重度のコールドジョイント(界面に骨材散布)
3	タイル (密着貼り)	ジャンカ	壁厚貫通ジャンカ(300×300mm、150×150mm) かぶり厚以深のジャンカ(300×300mm、150×150mm)
4	タイル (密着貼り)	コールド ジョイント	軽度のコールドジョイント(単純打継ぎ) 重度のコールドジョイント(界面に骨材散布)

表-1 試験壁の種類

\*1 (株) コンクリート診断センター 東京劣化非破壊診断技術部 部長 博士(工学)(正会員) \*2 (株) コンクリート診断センター 東京劣化非破壊診断技術部 工修 ポリスチレン板を貼り付けている。

# 2.1 ジャンカ試験体

あらかじめ作成した雷おこし状のブロックを 型枠の所定の位置に設置して周囲の健全部にコ ンクリートを打設した。ジャンカ部は粗骨材の みを密に充填しており、大きな空隙が生じてい る状態ではない。ジャンカの大きさは 300× 300mm と 150×150mm の2水準で、ジャンカ が躯体コンクリートを貫通しているものと、か

> 鉄筋 縦横共D10@200mm

フォームポリスチレン板 50mm厚 ぶり厚部分(30mm)は健全でそれ以深にジャンカのあるものの2水準である。

# 2.2 コールドジョイント試験体

コールドジョイントは軽度と重度の2水準作 成した。試験体のコンクリートは縦打ちとし, 軽度のコールドジョイントは,下層のコンクリ ートが硬化した後に打継ぎ面を清掃しないで単 純に打継いでいる。重度のコールドジョイント は下層のコンクリートが硬化した後に打ち継ぎ

> 面に 5~10mm 径の砂利を散布して から上層のコンクリートを打設して いる。いずれもバイブレータは使用 していない。



写真-3 コールドジョイント試験体

# 表-2 実験した非破壊検査法の種類

非破壊検査法		機器の形式	測定方法	
1	赤外線法	非冷却2次元マイクロ ボロメータ型放射温 度計	試験壁を東西南北の各方位に向け、日射または外気温変動を熱源として、 健全部とジャンカ部およびコールドジョイント部に生ずる温度差をサーモカメ ラにより測定し、表面温度分布から欠陥部を検知する。測定は壁面に当たる 日射のピーク時付近と夜間に行った。また、コールドジョイント試験壁につい ては壁面に散水した後にも測定している。撮影距離は10mである。	
2	超音波法	超音波測定器 (使用周波数28kHz)	試験体の片面において、ジャンカおよびコールドジョイントをまたぐように発 信端子と受信端子を当てる表面法により健全部と音速の比較を行った。参 考として壁厚を挟む透過法によっても測定している。	
3	電磁波レー ダー法	電磁波レーダー装置 (使用周波数800k~ 1MHz)	ジャンカ部およびコールドジョイント部上を横切るようにアンテナを走査し、そ の反射波形から異常部の存在を読み取る。	
4	中性子水 分計測法	中性子水分計 (試作機)	中性子を壁体に照射し、コンクリート内部で水素と衝突し放出される熱中性 子数を測定することで、内部空隙の有無を推定するものである。中性子は物 質を透過する際に弾性散乱を繰り返し、エネルギーを失い熱中性子となる が、このとき水素原子との衝突が最も効率良くエネルギーを減衰させる。コン クリートが一定の水分を含んでいるとすると、内部が疎になっている箇所では 中性子エネルギーの減衰が小さくなる。	
5	打音法	テストハンマー	テストハンマーでコンクリート表面を打撃したときの音を耳で聞き分け、内部 欠陥の有無を推定する。テストハンマーは外壁仕上げ剥離診断に使用する 大きさを使用した。	

# 3. 実験方法

実験した非破壊検査法は、赤外線法、超音波法、電磁波レーダー法、中性子水分計測法、打音法の5種類で、各手法の使用機器およ び測定方法は表-2示すとおりである。

実験は2001年3~6月に行った。

### 4. 実験結果

4.1 赤外線法

### (1) ジャンカ試験体

実験は試験体の方位を変えて4回行っ ている。いずれの実験日も日中は晴天で ある。代表的な赤外線画像を図-3に示 し,ジャンカの条件と方位別の判別しや すさの関係を表-3に示す。日中壁面に 日射が当たっている状態では,ジャンカ 部は周辺より高温に現れ,夜間は低温に なる。

日射が当たる場合には,方位によるジ ャンカ部の現れ方に大きな差は見られず, 日中は日射条件が良好であれば,打放し 仕上げ,タイル仕上げともに,躯体の表面(= 仕上げ直下)にまで達しているジャンカについ ては容易に判別できる。かぶり厚以深にあるジ ャンカについては日射が当たっている状態では







※温度刻み 0.3℃

図-3 赤外線画像によるジャンカの現れ方

300mm 角の大きさのジャンカを判別できるが、 150mm 角については形状までは判別できない。

日射が当たらない場合, 躯体の表面にまで達 しているジャンカについては判別できるが, 打 放し仕上げ, タイル貼り仕上げともに, かぶり 厚以深のジャンカについては判別できない。

# (2) コールドジョイント

代表的な赤外線画像を図-4に示す。 日射が当たっている状態では,打放し 仕上げの打継ぎ面で筋状に高温域が現 れるが,タイル仕上げについては温度 差が現れない。壁面に散水した後,表 面が乾燥した状態では,打継ぎ面が明 瞭な低温の筋として現れ,乾燥状態よ りも容易に認識できる。他のひび割れ についても低温の筋として現れる。タ

ついては散水 しても内認に 水分がためし ないた現れない 差がし,がのする し、げの分がし たりたりにない た場々 で の にまで て

イル仕上げに

通するひび割れが生じている場合には同様に温 度差が現れるものと思われる。

# 3.2 超音波法

(1) ジャンカ

図-5にジャンカ部について表面法、透過法、 斜め方向で測定した音速、およびコールドジョ イントを挟んで表面法で測定した音速と健全部



図-4 赤外線画像によるコールドジョイントの現れ方 表-3 赤外線法によるジャンカの判別しやすさ

			打放し仕上げに対して	タイル貼り仕上げに対して
	有効な日射が 得られる場合	浅 い ジャンカ	容易に判別できる	容易に判別できる
0		深 い ジャンカ	大きなジャンカは判別できるが、 小さなジャンカは形状が不明瞭	形状はぼやけるが判別できる が、小さなジャンカは判別困難
	有効な日射が 得られない場 合(北面・日	浅 い ジャンカ	判別できるが、小さなジャンカは 形状が不明瞭。	形状はぼやけるが判別できる
	陰)	深 い ジャンカ	大きなジャンカについては形状を 認識できず、小さなジャンカは判 別困難	判別困難

※浅いジャンカ:仕上げの直下にまで達しているジャンカ 深いジャンカ:かぶり厚(30mm)以深のジャンカ
※大きなジャンカ:300×300mm 小さなジャンカ:150×150mm



の音速の比を示す。躯体表面にまで達している ジャンカに対しては、表面法による音速測定で も明らかに音速の低下が見られる。タイル貼り 仕上げがあっても打放しほどではないが同様の 傾向が得られる。しかし、かぶり厚部分が健全 なジャンカに対しては、表面法では音速に差が 現れない。透過法で測定した場合には、打放し 仕上げについてのみ音速の低下が見られる。

### (2) コールドジョイント

打放し仕上げの重度のコールドジョイントに ついては音速が低下しているが,それ以外は有 意な差は見られない。

# 3.3 電磁波レーダー法

(1) ジャンカ

図-6に代表的なジャンカ部のレーダー波形 を示す。ジャンカ範囲のかぶり部分において空 隙による乱反射と思われる波形が現れているが、



かぶり厚以深のジャンカでは反射波が弱い。鉄 筋の波形が強く現れるため,鉄筋より深いジャ ンカの波形は判読が難しい。打放し仕上げとタ イル貼り仕上げを比較すると、タイル貼り仕上 げの方が乱反射の波形が弱い。ジャンカの大き さについて見ると、300mm 角のジャンカ部に ついては乱反射と思われる波形が現れるが、 150mm 角のジャンカについては明瞭に識別で きるほどの波形の違いは現れていない。

### (2) コールドジョイント

コールドジョイントは面的な広がりがないた め、レーダーのアンテナが横切ってもほとんど 反射波形に影響が現れない。

# 3.4 中性子水分測定法

(1) ジャンカ

図-7にジャンカ部における 30 秒あたりの 熱中性子のカウント数を示す。健全部における



図-6 ジャンカ部のレーダー波形



熱中性子のカウント数と比較すると,浅いジャ ンカに対しては 10%以上カウント数が減少し ており,空隙の影響が現れている。深いジャン カについても 3%程度少なくなっているが,よ り表面近くの影響が強く現れることがわかる。 ジャンカの大きさによる差はほとんどなく, 150mm 角程度以上の大きさであれば検知しや すさの差はない。

### (2) コールドジョイント

健全部とコールドジョイント部の間に有意な 差は見られない。ジャンカのようにある程度の 広がりを持った欠陥でなければカウント数に差 が生じないことがわかる。

#### 3.5 打音法

ジャンカ部,コールドジョイント部ともに, 打撃音の違いはほとんど感じられない。欠陥部 が浮きをともなった状態でなければ,人の耳で は検知できないと考えられる。

# 4. まとめ

本実験より,各種非破壊検査手法の内部欠陥 探査に対する適用性について次のことがいえる。

(1) 内部欠陥の有無や範囲を概括的に把握する には、二次元的な情報が得られる赤外線法が優 れている。日射条件が良好であれば、仕上げの 直下にまで達しているジャンカについては容易 に検知でき、打放し仕上げであればかぶり厚以 深であっても大きなものは検知できる。但し、 日射の有無により検知限界に大きな差が生じる ことや、タイル貼り仕上げでは深い欠陥を検知 しずらくなる。コールドジョイントについては、 散水後に撮影することにより低温の筋として認 識しやすくなる。

(2) 超音波法では、仕上げの直下にまで達しているジャンカについては、タイル貼り仕上げであっても表面法による測定で音速低下傾向が現れる。深部のジャンカについては表面法では差が生じないため、透過法を用いる必要があるが、

タイル仕上げの場合は差が生じにくい。コール ドジョイントについては、打放し仕上げで重度 の場合に音速の低下が見られた。

(3) 電磁波レーダー法では,表面に近いジャン カについては,乱反射の影響が波形に現れるが, 深部のジャンカまたは小さいジャンカについて は空隙部の影響が現れにくい。鉄筋が存在する 場合には,かぶり厚以深については適用が難し い。

(4) 中性子水分測定法による熱中性子の測定に よる方法では,ジャンカ部においてはカウント 数の減少傾向が見られる。特に表層に近いジャ ンカについては大きな差が生じる。コールドジ ョイントについては,有意な差は生じない。開 発段階の測定法であり,今後データを蓄積した い。

(5) 人の耳により判断する打音法では、浮きを 伴わないジャンカやコールドジョイントについ ては判別困難である。

(6)いずれの方法によっても、片面からの測定で は表面部分の影響を強く受けるため、表層付近 の欠陥についてはある程度の検知精度が得られ るが、表面が健全な場合には深部の欠陥につい ては高い検知精度が得られない。深部の欠陥も 対象とする場合には、超音波透過法やX線法な ど躯体を透過させて測定する方法を併用する必 要がある。

### 謝辞

本実験における中性子水分測定法につきまし ては,株式会社エム・ジー・エス菱沼様,小坂 様にご協力いただきました。ここに感謝の意を 表します。

#### 参考文献

1)笠井芳夫ほか「わかりやすいコンクリート構造物の非破壊検査」オーム社