

論文 超音波法による新旧コンクリート打継ぎ界面における欠陥評価

山口 岳思^{*1}・鎌田 敏郎^{*2}・国枝 稔^{*3}・六郷 恵哲^{*4}

要旨：本研究では、新旧コンクリート打継ぎ界面に人工欠陥を配置した小型供試体および実施工を想定した桁供試体を用いて、超音波法による欠陥評価手法について検討した。実験では、探触子の計測間隔による計測条件の違いが欠陥評価に与える影響について検討を加えた。その結果、欠陥面積率と最大振幅値比との関係について明らかにした上で計測間隔を適切に設定することにより、欠陥の面的な分布状況を適確に把握することができた。さらに、実施工を想定した桁供試体への適用性についても示した。

キーワード：超音波法, 打継ぎ界面, 欠陥評価, 最大振幅値比, 計測間隔

1. はじめに

コンクリート部材における新旧コンクリートの打継ぎ界面では、実施工において、種々の要因により空隙が発生する可能性がある。この空隙は初期欠陥として、鉄筋腐食を引き起こす物質の侵入経路となりやすく、構造物の耐久性に影響を及ぼす可能性がある。したがって、空隙の有無や規模を要求レベルに応じて適切に評価することは極めて重要である。

著者らは、超音波の反射波を用いた打継ぎ界面の欠陥評価手法について検討してきた。^{1), 2)} 評価原理は、超音波がコンクリート中を伝播する際、空隙（欠陥）界面において音響インピーダンスの違いによって反射することであり、欠陥の面積が大きいほど反射波の振幅が大きくなる。しかしながら、これらは人工欠陥を配置した小型供試体レベルにおける基礎的検討に留まっており、実際の施工で発生する空隙分布への対応は未だ明らかとなっていない。また、走査して面的評価する際に重要となる計測間隔等の計測条件の違いが欠陥の評価に与える影響についても、未だ十分に明らかとされていない。

そこで本研究では、打継ぎ界面に人工欠陥を

配置した小型供試体による実験（以下、実験 1 とする。）において、打継ぎ界面における欠陥面積の割合と反射波振幅の大きさとの関係について確認した。また、断面修復工法による実施工を想定した桁供試体での実験（以下、実験 2 とする。）を実施し、コア抜きによって打継ぎ界面における欠陥面積の程度を把握することで実験 1 と同様の関係を求め、相互比較を行った。さらに、実験 1 において欠陥の大きさや分布状況を適確に評価するために考慮すべき計測条件について検討した上で、最大振幅値比のカウンター図により空隙の分布状況の面的評価を試みた。そして、実験 2 において本手法による面的評価方法の実構造物への適用性について検討した。

2. 実験 1 の概要

2.1 供試体

図-1 に示すように、200×200×100mm の旧コンクリートを製作したのち、厚さ 5mm のスチレンボードを人工欠陥として打継ぎ界面に配置し、新コンクリートを厚さ 100mm で打ち継いだ小型供試体を作製した。新旧部分のいずれも同じ配合のコンクリート（W/C=50%）を用い

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 岐阜大学 工学部社会基盤工学科助教授 工博 (正会員)

*3 岐阜大学 工学部社会基盤工学科助手 工博 (正会員)

*4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 工博 (正会員)

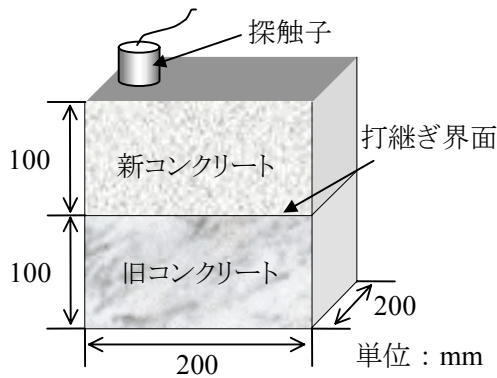


図-1 小型供試体概要

た。

打継ぎ界面に、寸法が等しい正方形の人工欠陥を5個配置し、打継ぎ界面全面に対する欠陥の面積率(以下、平均欠陥面積率とする。)を5、15および30%としたもの(規則的配置: 図-2 (a), (b), (c)), 平均欠陥面積率を15%になるように中央に1個の欠陥を配置したもの(中央配置: 図-2 (d)), および同じく寸法の等しい15個の欠陥を平均欠陥面積率が15%となるようにランダムに配置したもの(ランダム配置: 図-2 (e))を作製した。また、欠陥を配置しない平均欠陥面積率が0%のものについても作製した。

2.2 超音波計測

超音波計測では、低周波超音波探傷器を用い、探触子には広帯域垂直探触子(直径56mm, 0.5MHz)を用いた。また、接触媒質(グリセリン系水溶性高分子材料)を用いて供試体表面と探触子とを密着させた。

計測方法は、図-1に示すように1探触子法を用い、図-3に示す2パターンで実施した。パターンAでは、図-3(a)に示すように、人工欠陥を中央配置したものについて、探触子を人工欠陥の中央から5mmの等間隔に移動させながら計測し、探触子直下における投影した領域(以下、投影範囲とする。)の面積における空隙(欠陥)面積の比率(以下、部分欠陥面積率とする。)と最大振幅値比との関係について検討した。最大振幅値は、図-4に示すとおり、打継ぎ界面からの反射波の振幅の最大値とした。なお、本研究においては、使用材料ごとに作製

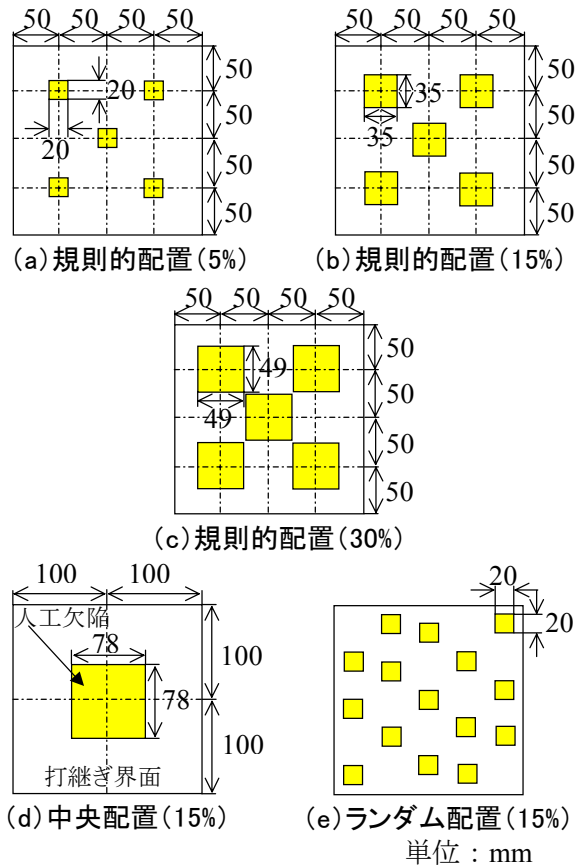


図-2 人工欠陥の配置パターン

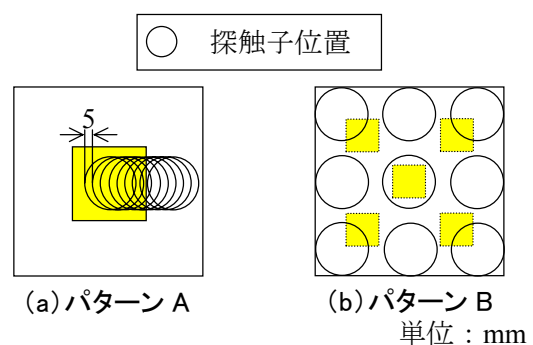


図-3 計測概要

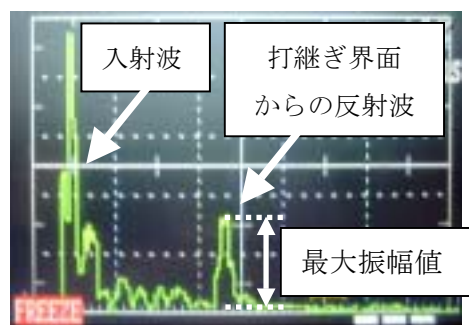


図-4 超音波探傷画像の例

した200×200×100mmのキャリブレーション供試体において厚さ100mmでの完全反射の場合の最大振幅値に対する各実験で得られた最大振幅値の比率を「最大振幅値比」と定義する。

一方、パターンBでは、すべての供試体につ

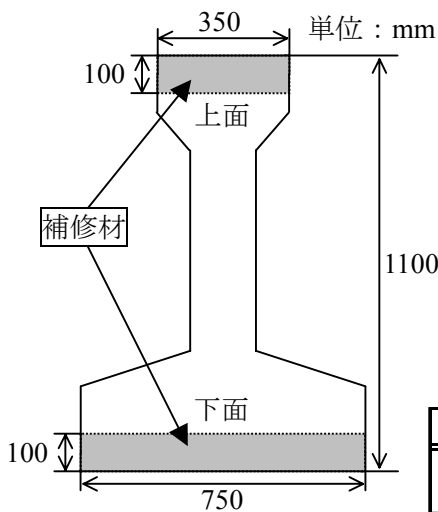


図-5 桁供試体断面図

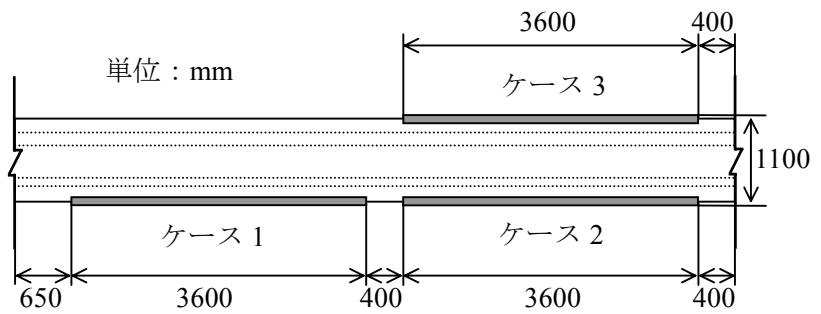
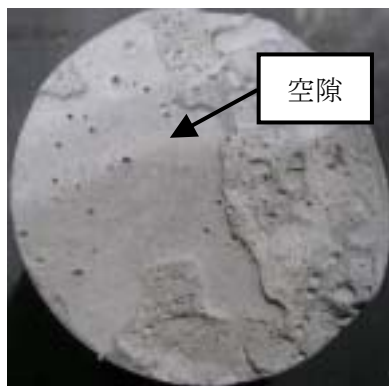


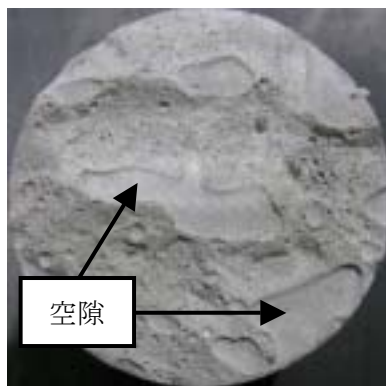
図-6 桁供試体側面図

表-1 ケースごとの補修材料および打継ぎ工法

	ケース1	ケース2	ケース3
補修材料	超速硬 ポリマーモルタル	超速硬 ポリマーモルタル	超速硬 ポリマーモルタル
打継ぎ工法	注入工法	逆打ち工法	順打ち工法



(a) 最大振幅値比 76%



(b) 最大振幅値比 39%



(c) 最大振幅値比 20%

写真-1 コア切断面の状況

いて、打継ぎ界面全面を等間隔に分割した場合の格子点上にて計測した。なお、パターンBでの計測点数は、9箇所（探触子直径よりも大きい間隔：72mm）、16箇所（探触子直径程度の間隔：48mm）、および49箇所（探触子半径程度の間隔：24mm）とし、図-3(b)に9箇所の場合の計測方法を例示した。

3. 実験2の概要

3.1 供試体

図-5および図-6に示すようなI型断面のコンクリート桁供試体を作製したのち、750(350)×3600×50mmの範囲でチップングブラスト処理によりコンクリート表面を骨材が露出する程度までにつり、補修材を打継ぎ厚さ100mmで打ち継いだ。また、補修材料は、各ケースとも超速硬型SBR系ポリマーモルタルを使用した。なお、打継ぎ工法は、表-1に示すとおりとし

た。ここで、下面に型枠を設置して、型枠側面よりポンプ圧入で打設するものを注入工法、および型枠を桁幅より大きく設置して流し込みで打設するものを逆打ち工法とする。また、上面に型枠を側面設置して流し込みで打設するものを順打ち工法とした。

3.2 超音波計測

計測装置等については、2.2に準じ、各ケースにおいてランダムに6点を選定し、反射波の最大振幅値を計測した。また、ケース2におけるある200×200mmの範囲については、2.2に示したパターンBにより計測間隔を24mmとして計測を行った。

3.3 コア採取

超音波計測を実施した各ケースの6点については、φ100mmのコアカッターを用いて、上面および下面に対して垂直方向に深さ100mmまで切削し、コアを採取した。また、ケース2に

おけるある 200×200mm の範囲内の 4 点について、φ65mm のコアカッターを用いて、下面に対して垂直方向に深さ 100mm まで切削し、同じくコアを採取した。なお、ここでは、コア切断面が打継ぎ界面と判断された場合について、コア切断面における空隙の分布状況を把握することとする。写真-1 にコア切断面の状況の一例を、得られた最大振幅値比とあわせて示す。

4. 実験結果

4.1 部分欠陥面積率と最大振幅値比の関係

図-7 (a) に、実験 1 における部分欠陥面積率と 2.2 に示したパターン

B により計測した場合の最大振幅値比との関係を示す。また、図-7 (b) に、実験 2 における部分欠陥面積率と最大振幅値比との関係を示す。なお、実験 2 における部分欠陥面積率は、写真-1 に示す打継ぎ界面の空隙分布状況を把握するためのコア破断面のデジタル写真から目視により空隙と判断される領域の画素数を数えることにより算出した。

図-7 (a) によれば、最大振幅値比は、部分欠陥面積率が小さい範囲内ではゆるやかな増加傾向を示したのち、欠陥面積率の増大にともなう変化の割合がやや大きくなっていることがわかる。さらに、欠陥面積率が 90%程度で最大振幅値比は 100%となり、以降頭打ちとなった。これは、探触子から放射される超音波の音圧は、探触子中心から端部に向かって減少する分布特性を有していること¹⁾に起因しているものと考え

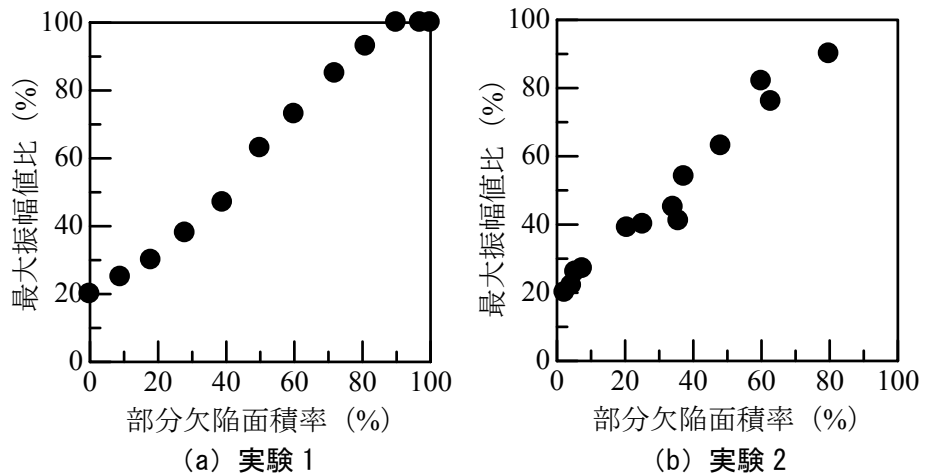


図-7 欠陥面積率と最大振幅値比

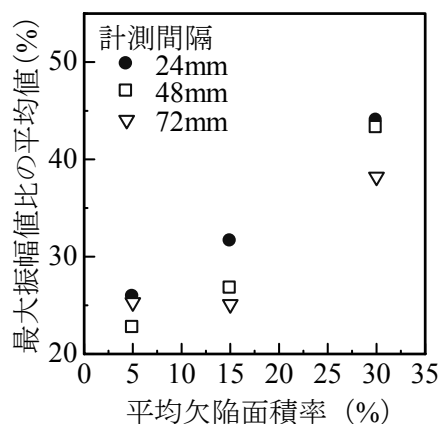


図-8 平均欠陥面積率と最大振幅値比

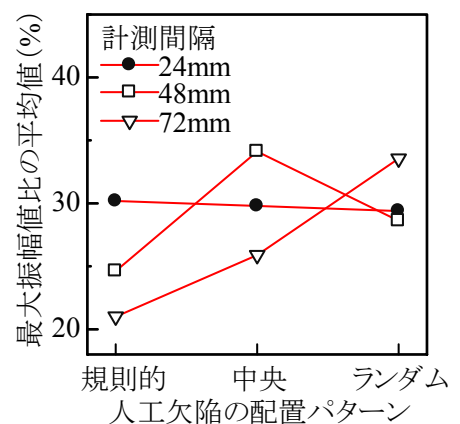


図-9 人工欠陥の配置パターンと最大振幅値比

えられる。

一方、図-7 (b) よれば、実験 2 での関係は、実験 1 によるものとかかなり近い傾向を示しており、しかも、部分欠陥面積率に対する最大振幅値比の値も良く対応していることがわかる。なお、実験 1 と実験 2 を比較する際、旧コンクリートの材質の違いが最大振幅値比に影響する可能性が考えられるが、欠陥なしと判断される領域での最大振幅値比が実験 1 では 19.3%であり、実験 2 では 18.5%とほぼ同様の値を示しており、本研究においては材質の違いの影響を無視できるものと判断した。

これらより、相対的ではあるが、最大振幅値比を評価指標に用いることで投影範囲内の部分欠陥面積率を評価できる可能性があると考えられる。

4.2 計測間隔が評価結果に与える影響

計測方法をパターン B とした場合の最大振幅

値比の平均と、規則的配置 (5, 15, 30%) の平均欠陥面積率との関係について図-8 に示す。また、平均欠陥面積率が 15% の場合 (規則的配置, 中央配置, ランダム配置) の関係については図-9 に示す。

図-8 によれば、計測間隔を 72mm, あるいは 48mm とした場合では、平均欠陥面積率が 5~15% の範囲において、欠陥面積率の増加に対する最大振幅値比の増分が小さい。これに対して、計測間隔 24mm では、最大振幅値比は、欠陥面積率の増大に対応してほぼ直線的に増加しており、この計測間隔であれば、欠陥面積率を評価するための最大振幅値比の感度は十分であると考えられる。

一方、図-9 においても、計測間隔 72mm および 48mm では、平均欠陥面積率が同じであるにもかかわらず、欠陥の配置パターンにより最大振幅値比が大きく変化しているのに対し、計測間隔 24mm では、欠陥配置のパターンによらず 30% とほぼ一定の値を示している。

以上の結果より、本実験条件の範囲内では、計測間隔を探触子の半径程度 (24mm) とすることにより、欠陥面積の程度や欠陥の面的な分布状況を適切に評価できることが明らかとなった。

4.3 空隙分布の視覚化

4.2 での検討結果に基づいて計測間隔を 24mm とし、2.2 に示したパターン B により計測した場合の最大振幅値比のコンター図を図-10 に示す。これによれば、規則的配置の場合 (図-10 (a), (b), (c)) では、いずれも人工欠陥の箇所にも最大振幅値比の高い領域が見られ、コンター図は欠陥の分布状態と良い対応を示している。しかも、欠陥寸法が一番大きな図-10 (c) の欠陥の存在箇所では、他と比べて最大振幅値比により大きな値を示している。一方、中央配置の場合 (図-10 (e)) は、図の中央付近からの距離が大きくなるにしたがって、最大振幅値比が徐々に減少しており、欠陥の形状 (正方形) をある程度把握することも可能であった。また、

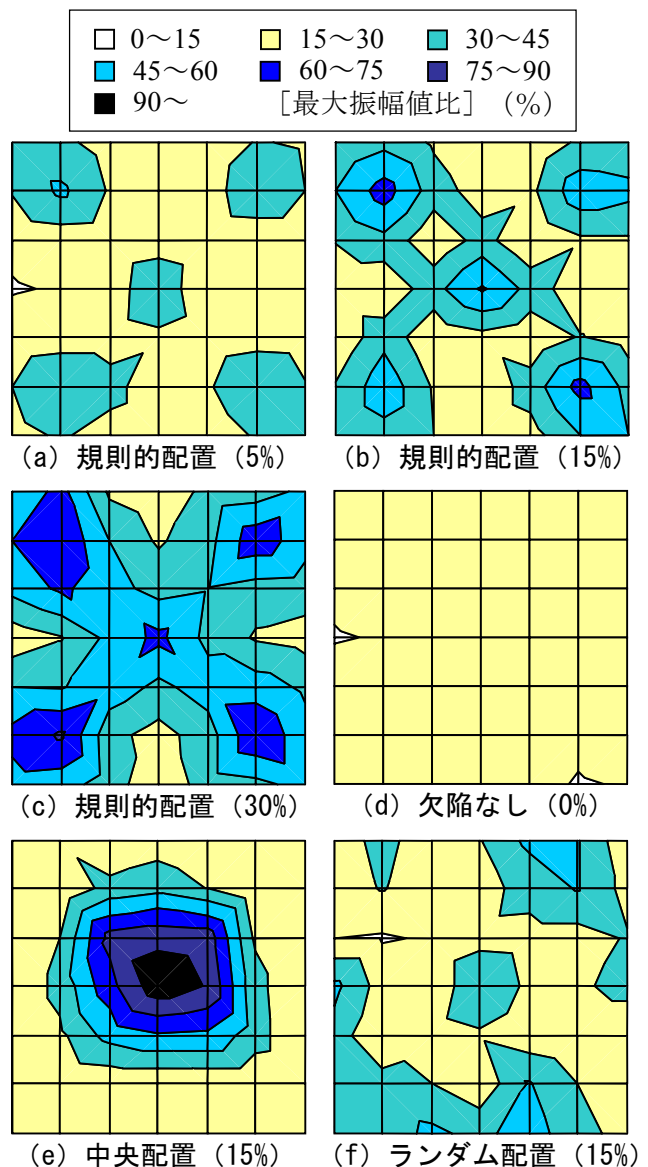


図-10 最大振幅値比コンター図 (実験 1)

欠陥寸法を一辺 20mm として、ランダムに配置した図-10 (f) は、欠陥なしの場合 (図-10 (d)) と比べると最大振幅値比は全体的に大きく、欠陥の存在の可能性は推定できるが、欠陥位置を適切にとらえられておらず、今後は本手法の適用可能な最小欠陥寸法についても検討が必要である。

実験 2 における各計測箇所の最大振幅値比によるコンター図と打継ぎ界面の空隙分布状況を把握するために採取したコア断面の写真をあわせて図-11 に示す。これによれば、最大振幅値比が大きい領域と、空隙と判断される領域とがおおよそ合致していることがわかる。

以上より、各計測箇所の最大振幅値比による

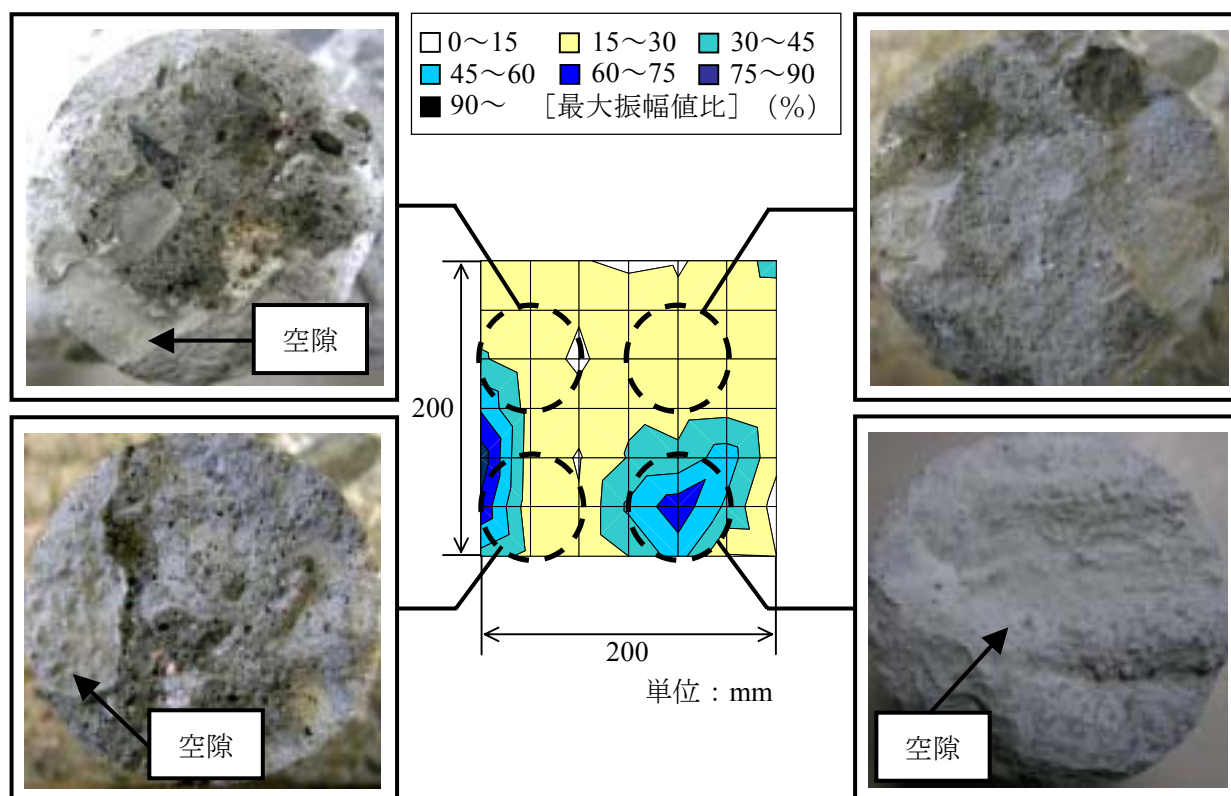


図-11 最大振幅値比コンター図とコア切断面の状況(実験2)

コンター図を作成することで空隙の面的な分布状況を視覚化することができ、本評価手法の実施工への適用性が示された。また、点的な計測と同様に相対的に計測領域内の平均欠陥面積率を評価できる可能性があると考えられる。

なお、今後は、要求される欠陥検出精度や検査効率を考慮した計測間隔の設定方法、あるいは本手法が適用可能な欠陥の最小寸法および新コンクリート厚さの範囲等に関して検討する予定である。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 打継ぎ界面における人工欠陥の面積率は、打継ぎ界面からの反射波の最大振幅値比と良好な対応を示した。また、実施工を想定した場合の打継ぎ界面における任意の形態の欠陥でも、本研究の範囲内では、同様の対応関係が得られることが確認できた。
- (2) 最大振幅値比を評価指標に用いることで、打継ぎ界面における欠陥面積率をある程度評価できる可能性がある。
- (3) 本研究での実験条件下では、計測間隔を探触子の半径程度として計測を実施し、得られた最大振幅値比のコンター図より、欠陥の大きさの程度や分布の状況が、視覚化できることがわかった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、株式会社日建設計シビルの野村和男氏、川満逸雄氏には多大なる協力を得た。ここに記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 鎌田敏郎：非破壊試験によるコンクリート欠陥評価法に関する研究，東京工業大学学位論文，pp.145-161，1997
- 2) 若林達也，林承燦，鎌田敏郎，六郷恵哲：超音波によるコンクリート打継ぎ部の評価手法に関する基礎的研究，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.561-562，2000