

論文 ドリル法による中性化深さ測定の実構造物への適応の検討

仁平 達也*1・曽我部 正道*2・谷村 幸裕*1・東川 孝治*3

要旨：ドリル法による中性化深さ測定の検証試験を約 80 箇所の実構造物に対して実施した。その結果、一般的なはつり法等と比較して概ね 5 mm以内の誤差に収まっていること、その誤差は局所的な中性化のばらつきにより発生する傾向があることなどを示した。またこのばらつきの影響について、シミュレーション測定を行い、サンプリング数を 3 としたドリル法であれば、超過確率 5%で誤差 3mm以内の精度を確保できることなどを示した。

キーワード：中性化深さ，ドリル法，維持管理

1. はじめに

構造物の中性化を判定する場合、対象構造物の表面をはつり出し、判定面にフェノールフタレイン 1%溶液を吹き付け、コンクリート表面から発色点までの距離を測定する手法等が一般的にとられている。しかし、はつり出し等は、破壊を伴う検査であり、調査、埋め戻しにも多くの労力と時間を必要とすることから、自ずと調査箇所数も限られてくる。中性化深さは構造物の耐久性を知る上で重要な要素であり、実際の維持管理の業務において膨大な量の構造物を適正に管理して行くためには、より簡易な信頼性の高い測定手法を導入して行く必要があると考えられる。

電動ドリルを用いて、削孔することにより中性化深さを試験する方法は、建設省¹⁾や笠井、湯浅ら²⁾によりこれまで検討されており、1999 年には(社)日本非破壊検査協会により、NDIS3419「ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化試験方法」³⁾が制定されている。

本検討では、上記したドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化試験方法(以下ドリル法と略す)について、実鉄道構造物への適用性の観点から検討をおこなった。従来からドリル法の誤差の発生要因は、骨材等の影響³⁾が考えられていたが、誤差の発生原因についても一部考察を試みた。また、この結果に基づき、ド

リル法のサンプリング数に関する簡易な数値シミュレーションも実施した。

2. 試験方法

「ドリル法」(2.1)の検討を行うために、粗骨材の影響を検証した 2.2 に示す「コアを用いた方法」と、モルタル部のみで検証した 2.3 に示す「はつりを用いた方法」を行い、中性化測

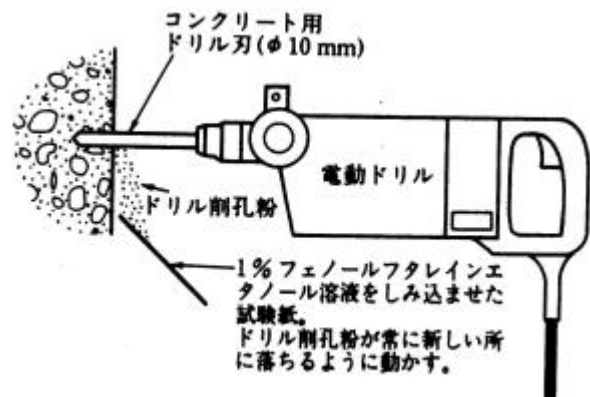


図 - 1 ドリル法による中性化測定⁴⁾



写真 - 1 ろ紙の着色状況

*1 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 工修 (正会員)

*2 (財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 博士(工学) (正会員)

*3 四国旅客鉄道株式会社 (正会員)

定結果を検証し、誤差の発生状況、発生原因について考察した。各測定方法の概略について以下に述べる。

2.1 ドリル法による中性化測定

図 - 1 にドリル法による中性化測定の概念図を示す。ドリル法の試験手順は以下に示す通りである。

- (1) ろ紙に噴霧器等を用いて試験液(1%フェノールフタレイン溶液)を噴霧し吸収させる。
- (2) ろ紙が削孔粉を落下する位置に保持し、ゆっくりとφ10 mmのドリルで削孔する。
- (3) 落下した削孔粉がろ紙の一部分に集積しないように、ろ紙を回転させる。落下した削孔粉がろ紙に触れて赤紫色に変色した場合、削孔を停止する(写真 - 1)。
- (4) ノギスのデプスパーと本尺の端部を用いて孔の深さをmm単位で小数点一桁まで記録する。
- (5) 測定した点から 30 ~ 50 mm離れた点で測定を行い、3 点の平均値を中性化深さとする。測定値が 6 mm以上の差がある場合、さらに 2 点増やし 5 点の測定とし、最大値と最小値を除いた 3 点の平均値を中性化深さとする。
- (6) 削孔した点をモルタル等で修復する。

2.2 コアを用いた方法による中性化測定

図 - 2 にコアを用いた中性化測定(以下コア法と略す)の概念図を示す。ドリル法による中性化判定を行った近傍で、φ55、100、140mmのコンクリートコアを用い、上面の円周上にある点を基準として削孔面座標を設定し、φ55mmは12点、φ100、140 mmは24点を設定した。設定点から側面へおろした垂直線上において、骨材が着色点の先端位置ではない着色点までの距離を測定し、その平均値を中性化深さとした。

測定は、ドリル法による中性化判定を行った近傍で行い、橋脚・橋台構造物を中心に23の構造物から1箇所ずつ測定を行った。

2.3 はつりを用いた方法による中性化測定

図 - 3 にはつりを用いた中性化測定(以下はつり法と略す)による中性化測定の概念図を示す。一定面積(200 mm×200 mm程度)のコンクリート

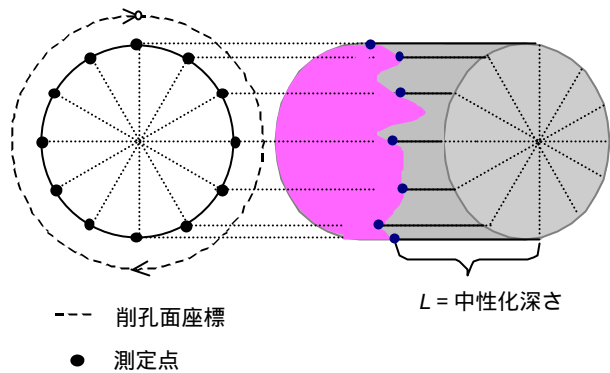


図 - 2 コア法による中性化測定

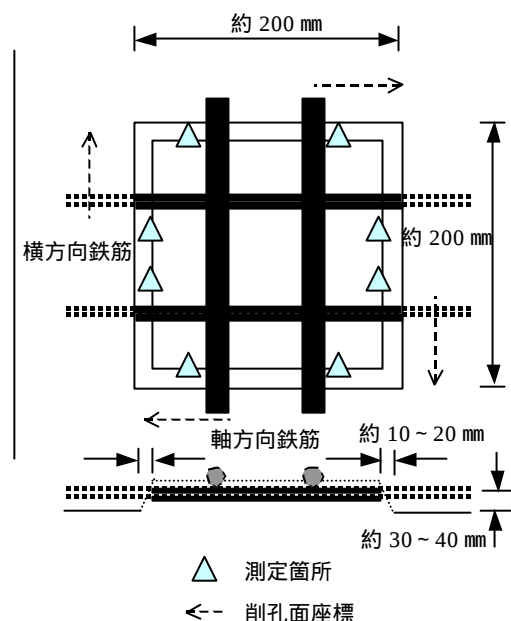


図 - 3 はつり法による中性化測定

をはつり出し、ある点を基準として削孔面座標を設定し、骨材を避け1箇所につき1辺から2点、合計8点(の点)を測定し、その平均値を中性化深さとした。

測定は、ドリル法による中性化判定を行った近傍で行い、A ラーメン高架橋(経年24年)で24箇所、B ラーメン高架橋(経年32年)で32箇所の計56箇所とした。

3. 検証試験結果

3.1 ドリル法と両測定方法との平均誤差および標準偏差

図 - 4 にドリル法の測定結果とコア法及びはつり法の測定結果との比較をそれぞれ示す。測定結果を比較した結果、コア法とでは誤差平均

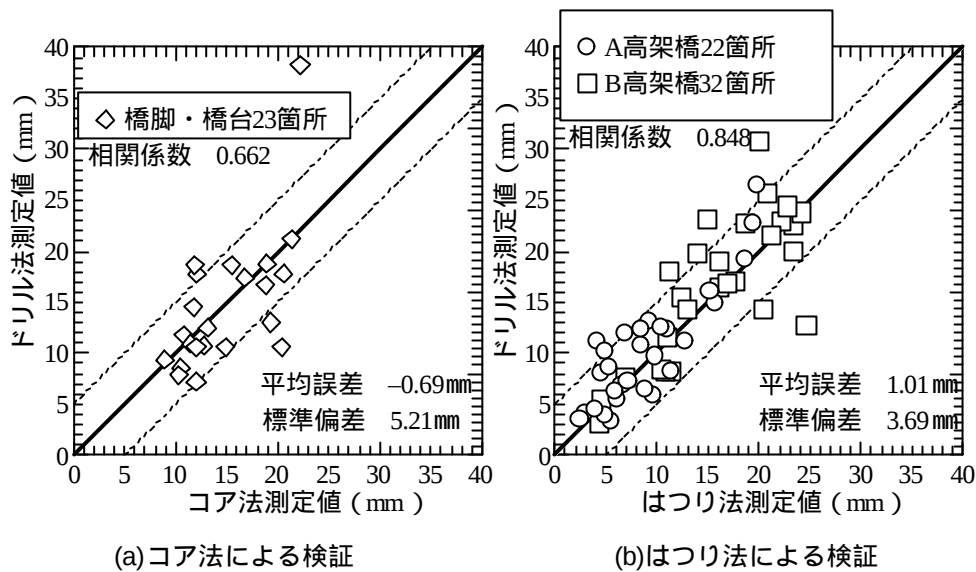


図 - 4 ドリル法のコア法・はつり法との測定結果の比較

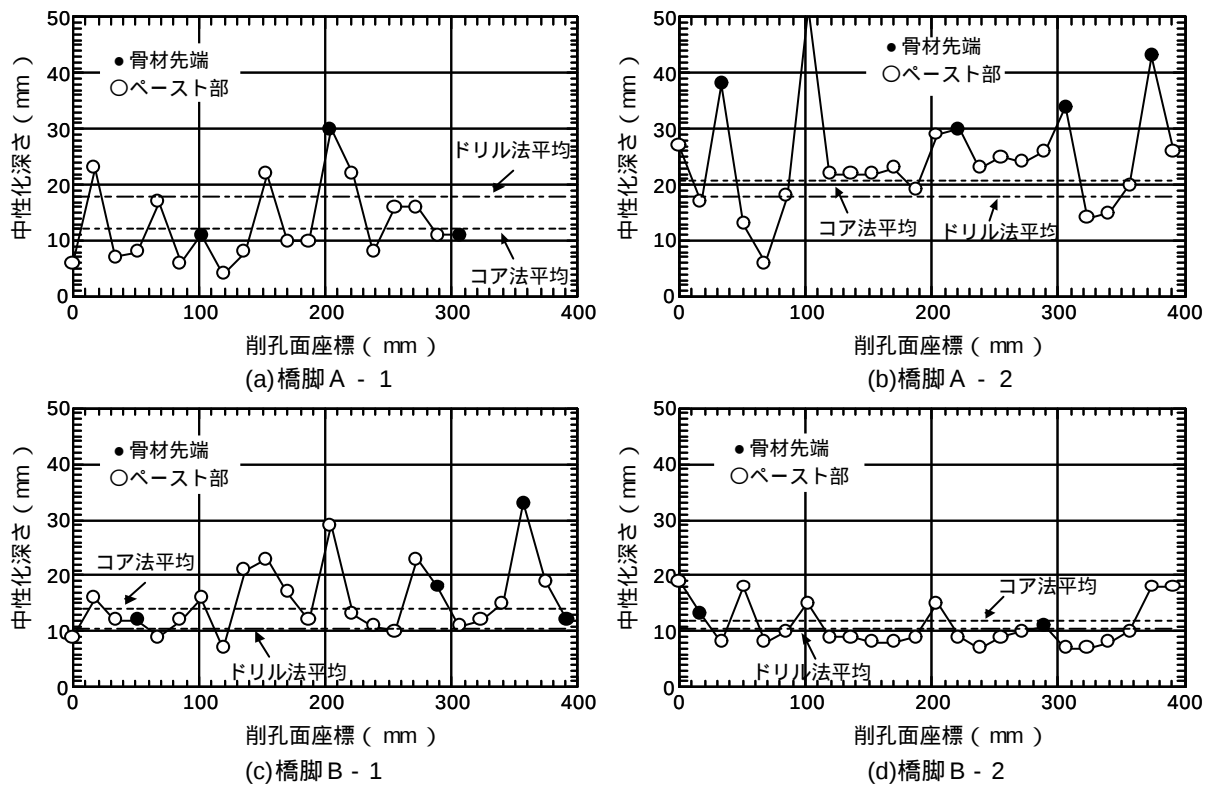


図 - 5 コア法による中性化のばらつきとドリル法による測定値の関係

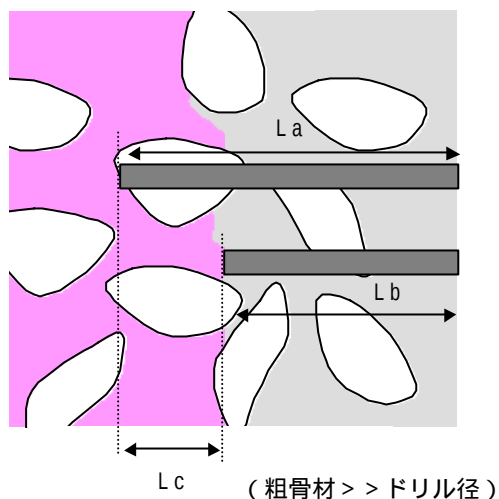
-0.69 mm、標準偏差 5.21 mm、はつり法とでは 1.01 mm、標準偏差 3.69 mm となり、両測定方法共に測定値の誤差は概ね 5 mm 以内に収まった。しかし、10 mm を超える測定誤差が大きくなった箇所もあった。

3.2 コア法とドリル法の比較

図 - 5 にコア法による各測定位置における中性化の値およびその平均値と、ドリル法の測定

値の関係を示す。「○」はモルタル部の測定値、「●」は粗骨材先端の位置、つまり電動ドリルで粗骨材を貫通したときに着色した箇所の測定値である。なお、コア法の平均値は粗骨材部分を除くモルタル部での測定値を平均値である。

粗骨材先端「●」の測定値はモルタル部「○」測定値よりも大きな値を示すものがあった（橋脚 A-2）。このことは、図 - 6 に示すように 10 mm



La = 粗骨材を貫通した場合の測定長

Lb = 近傍のモルタル部の中性化深さ

Lc = 粗骨材を貫通した影響 (La - Lb)

未中性化域 粗骨材
 中性化域 ドリル孔 = 10 mm

図 - 6 粗骨材を貫通した場合の模式図

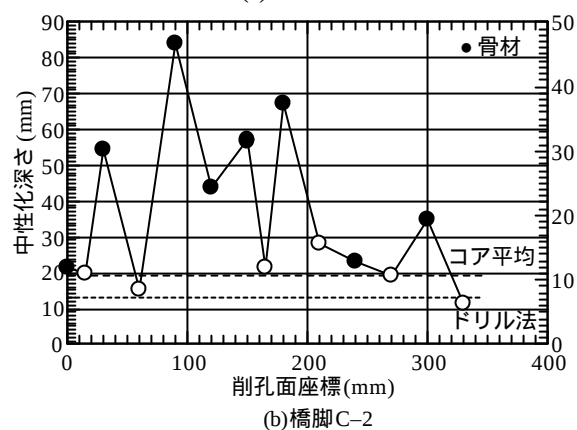
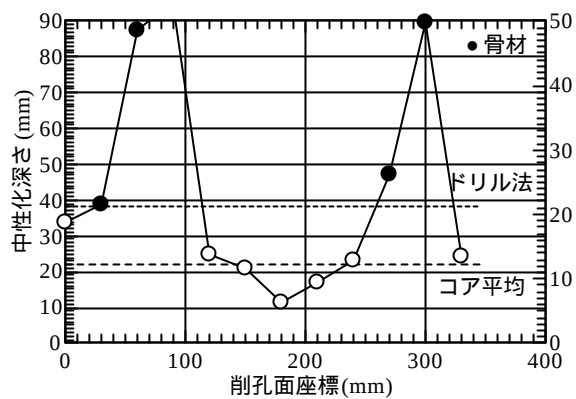


図 - 7 直径 40 mm 超の粗骨材が混入した場合

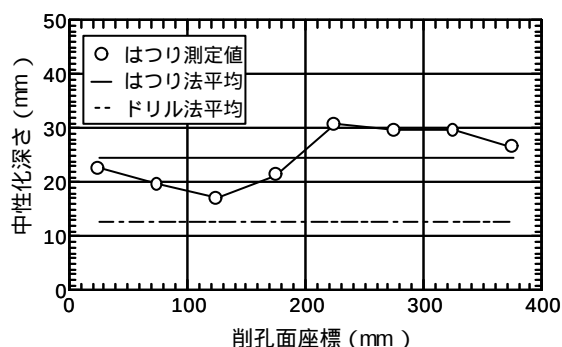
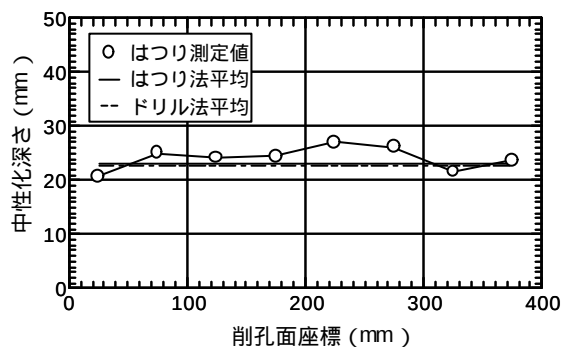
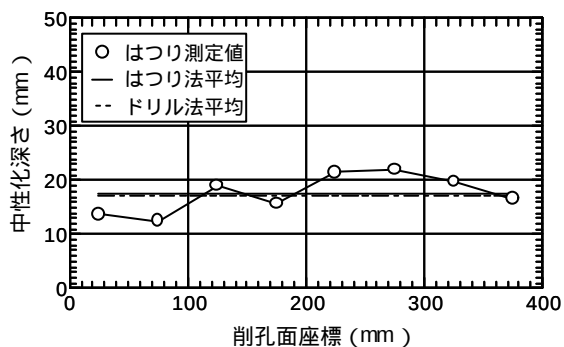


図 - 8 はつり法による中性化のばらつきとドリル法による測定値の関係

のドリル径よりも大きな粗骨材をドリルが削孔することにより粗骨材近傍のモルタルの中性化深さよりも測定値が大きくなったことを示して

いる。

一方で、「○」が「●」よりも大きい値を示すものもあった(橋脚 A-1、B-1 および B-2)。粗骨

材先端の値を除外したモルタル部分での値の差は最大 10 mm以上あるものもみられた。このことは、各測定点間において中性化進行のばらつきが生じていることを示している。

測定箇所の中で特に測定間の誤差が大きかったものを図 - 7 に示す。対象構造物には、直径 40 mmを超えるような大きな粗骨材が混入していた。この場合、コア測定点のうちかなりの部分を粗骨材が占め、その結果モルタル部分よりも大きく値が測定されることから、粗骨材径の大きな構造物にドリル法を適用すると、粗骨材部分を測定する可能性が高くなり、測定精度が大きく低下する場合があると推察される。

こうした骨材径の大きな構造物は、一般に中性化の測定を必要としない無筋コンクリートが大半であるため、維持管理の実務上は問題とならないが、傾向として留意しておく必要がある。

3.3 はつり法とドリル法の比較

図 - 8 にははつり法による各測定位置における中性化の値およびその平均値と、ドリル法の測定値の関係を示す。はつり法は、粗骨材の影響を除外したモルタル部のみの中性化の値である。

はつり面において、各測定点間にばらつきがある場合、つまり不均一に中性化が進行した場合には、ドリル法による平均値とはつり法による平均値の差が大きくなり、逆に、各測定間がほぼ同一の値となった場合、つまりほぼ均一に中性化が進行した場合には、ドリル法による測定値とはつり法の平均値がほぼ同じ値になる傾向がみられた。このことは、中性化の進行が不均一な箇所で測定する場合、ドリル法における測定値のばらつきが大きくなる可能性があることを示している。それは本調査結果の、はつり法におけるはつり面の範囲（約 200 mm×約 200 mm）といった局所的な範囲においても、その傾向が現れることから推定される。つまり、測定範囲内における中性化深さ自体のばらつきが、ドリル法の測定精度に影響を及ぼしていると考えられる。

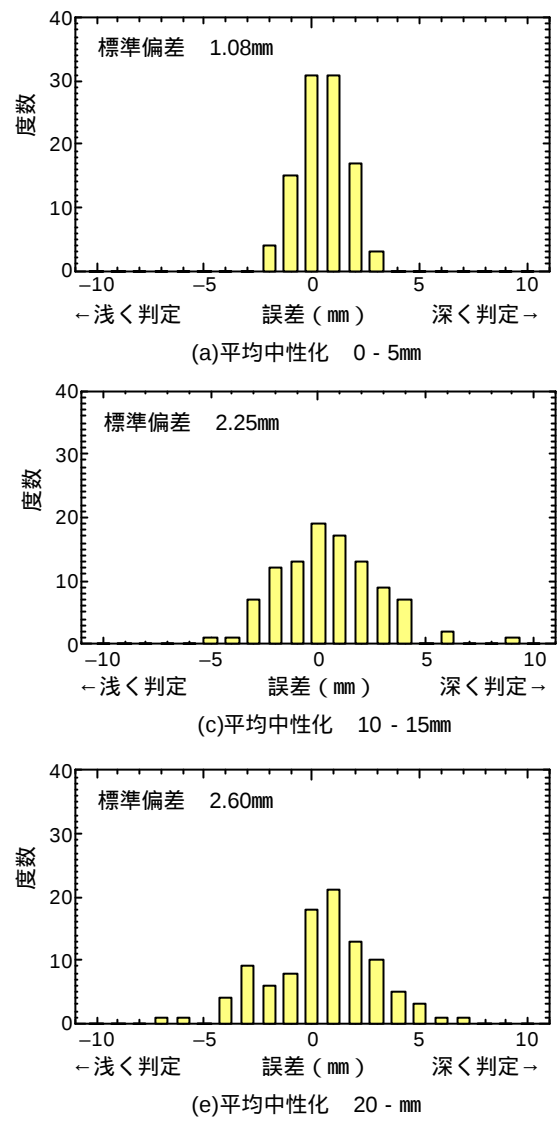


図 - 9 はつり法における中性化深さと中性化のばらつきの関係

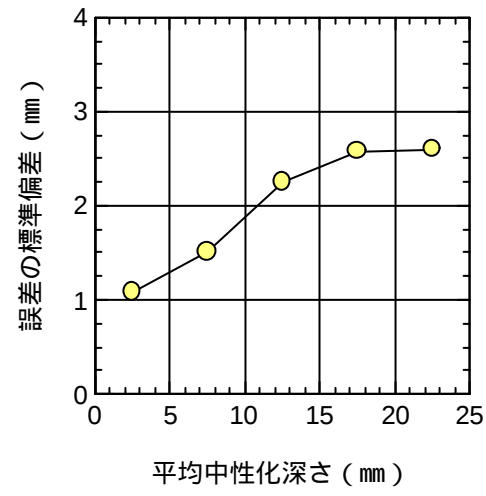


図 - 10 各中性化深さにおける誤差の標準偏差

4. ドリル法のサンプリング数に関する検討

4.1 はつり法における各測定箇所へのばらつき

前節では、中性化進行のばらつきがドリル法の測定精度に影響を及ぼしていると推定したが、この仮定に基づき、ドリル法のサンプリング数に関する簡易な数値シミュレーションを試みた。

図-9 に中性化深さの関係を、全測定箇所を平均中性化深さごとに区分し、その平均値に対する個々の測定点の誤差をばらつきの度数で示した。図-10 に中性化深さに対する各中性化深さの誤差の標準偏差を示す。中性化深さの平均値が増加するに従い、ばらつきは大きくなり、誤差の標準偏差の値が増加することが分かる。これは、各点において経年とともにコンクリート内において、中性化進行に差が生じ、ばらつきが生じていることを示している。

4.2 サンプリング数に関する検討

4.1 のはつり法による中性化深さのばらつきを母集団として、ドリル法のサンプリング数（測定点）の影響に関する数値シミュレーションを行った。本検討においては、直径 40 mm を超えるような粗骨材は含まず、誤差が全て中性化によるばらつきにより生じると仮定した。

サンプリング数は各測定箇所につき、1、2、3、4、6、8、16 の計 7 パターンとした。各パターンにつき 1000 回（箇所）ずつシミュレーション測定を行い許容誤差を超える確率をそれぞれ計算により求めた。

図-11 サプリングシミュレーションの結果を示す。図より、当然のことながらサンプリング数が増えれば増えるほど精度は増し、サンプリング数 4～6 でサンプリングの精度が 100% に漸近していくことが分かる。

例えば、ドリル法で要求される許容誤差を 3 mm、超過確率を 5% とすると、サンプリング数は 3 で条件を満たすことが読み取れる。

NDIS の検査法^{1) 3)}では、1 箇所当たりサンプリング数 3 点、3 点内の誤差が大きい場合には 5 点まで増やすなどの方法が取られている。本研究のシミュレーションは限定的なものであるが、

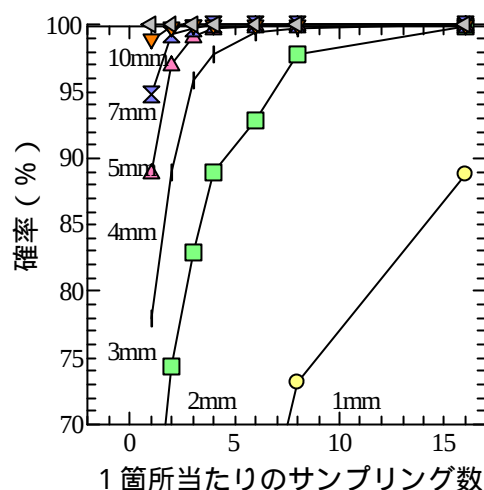


図-11 サンプリングシミュレーションの結果

これらの手法が概ね妥当であることを示していると考えられる。

5. まとめ

約 80 箇所の実構造物に対してドリル法の検証試験を行い、以下に示す知見を得た。

- (1) ドリル法の精度は、コア法に対しては平均誤差 0.69 mm、標準偏差 5.21 mm、はつり法に対して平均誤差 1.01 mm、標準偏差 3.69 mm、となった。
- (2) ドリル法の測定精度は、削孔位置の粗骨材の有無に加え、測定位置における局所的な中性化のばらつきの影響を受ける。
- (3) サンプリングシミュレーションより、許容誤差を 3 mm、超過確率を 5% とすると、ドリル法の必要サンプリング数は 3 となる。

参考文献

- 1) 建設省、コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書、第 1 編、pp.397-400,1988.
- 2) 笠井芳夫、湯浅昇：コンクリートの中性化とその簡易な試験方法の提案、非破壊検査協会、非破壊検査、Vol.47, No.9, pp.643-648, 1998.
- 3) 笠井芳夫、松井勇、湯浅昇：構造体コンクリートの簡易品質調査方法に関する研究、日本大学生産工学科 23 回学術講演会、pp.45-48, 1990.
- 4) 日本コンクリート工学協会、コンクリート診断技術 03[基礎編]、pp.155,2003