

小径コアによるコンクリート構造物の調査技術 「ソフトコアリングC⁺」

佐藤 文 則 笹倉 伸 晃
渡 部 正

要 旨

既設コンクリート構造物の調査・診断において、従来の直径100mmコアの採取が困難な場合およびコア採取による構造物の損傷を可能な限り軽微に留めたい場合が多い。建築分野においては、これらの要求に対して、小径コアによる圧縮強度推定法「ソフトコアリング」として構造体コンクリート強度の評価技術が確立されている。しかしながら、土木分野への適用を考えた場合、粗骨材の最大寸法が40mmの既設構造物も数多く存在し、強度推定の適用範囲を拡張する必要がある。また、圧縮強度だけでなく、コンクリート中の塩化物イオン量、中性化深さの調査技術も構造物の耐久性を評価する上で重要である。本研究では、粗骨材の最大寸法が40mm以下のコンクリート構造物を対象として、小径コアによる構造体強度、塩化物イオン量、中性化深さの推定精度を統計解析により検証し、その評価方法の適用性を示したものである。

キーワード 小径コア／構造体強度／塩化物イオン量／中性化深さ／統計解析

目 次

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| 1. はじめに | 5. 中性化深さの推定 |
| 2. ソフトコアリングC ⁺ の概要 | 6. まとめ |
| 3. 構造体コンクリート強度の推定 | |
| 4. 塩化物イオン量の推定 | |

TECHNOLOGY OF INVESTIGATING ON CONCRETE STRUCTURES BY SMALL SIZE CORES

Fuminori SATO Nobuaki SASAKURA
Tadashi WATANABE

Synopsis:

When existing concrete structures are investigated by using concrete cores, it may be difficult to take a core with a diameter of 100mm or preferable to avoid concrete structures damaged. In the field of architecture, estimating method of concrete strength by using small size cores had already been established. However, when this method is applied to the concrete structures of civil engineering, the applicable range of estimating method should be extended because of the use of larger aggregate size. Furthermore, it is important to evaluate chloride ion content in concrete and depth of carbonation in order to ensure the durability of concrete structures. In this study, the accuracy of estimating on concrete strength of structures, chloride ion content, and depth of carbonation is verified by statistical analysis, and applicability of investigating technology by using small size cores to the concrete structures used coarse aggregate with maximum size of 40mm is shown.

1. はじめに

近年の土木・建築分野において、新設工事が減少する一方で、既設構造物の経年的な老朽化や劣化等に起因して、メンテナンスあるいはリニューアルといった分野が重要となっている。その際、既設構造物の現状を的確に評価できる調査・診断技術が必要になる。既設コンクリート構造物の調査・診断において、φ100mmコアを既設構造物より採取し構造体の圧縮強度などを調査するのが一般的であるが、φ100mmコアの採取が困難な場合およびコア採取による構造物の損傷を可能な限り軽微に留めたい場合が多い。建築分野においては、これらの要求に対して、小径コアによる圧縮強度推定法「ソフトコアリング」として構造体コンクリート強度の評価技術が確立されている¹⁾²⁾。しかしながら、小径コアによる調査技術を土木分野へ適用する場合には、粗骨材の最大寸法が40mmの既設構造物も数多く存在し、強度推定の適用範囲を拡張する必要性が生じる。また、圧縮強度だけでなく、コンクリート中の塩化物イオン量、中性化深さの調査技術も構造物の耐久性を評価する上で重要となる。著者らは、粗骨材の最大寸法が40mm以下のコンクリート構造物を対象とした、小径コアによる構造体強度、塩化物イオン量、中性化深さの調査技術を確立することを目的として、模擬供試体を作製し小径コアによる各評価項目の推定精度を統計解析により検証した。本報は、その結果について示したものである。

2. ソフトコアリングC⁺の概要

ソフトコアリングC⁺は、既設のコンクリート構造物からφ25mmの小径コアをコア採取装置により採取し、それを用いて構造体コンクリートの圧縮強度、塩化物イオン量、中性化深さを測定する調査技術である。採取するコアの寸法が従来法のφ100mmより小さいので、過密配筋の部材からも採取できること、構造物に与える損傷を軽微にできること、簡易な機械により容易にコアを採取できること、コア採取跡の補修が容易であること等の特徴を有している。写真-1に採取コア供試体の状況を示す。図-1にソフトコアリングC⁺の位置づけを示す。



写真-1 採取コア供試体の状況

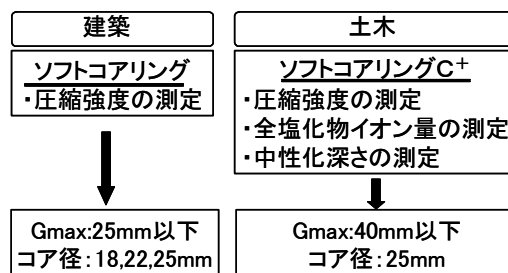


図-1 ソフトコアリングC⁺の位置づけ

3. 構造体コンクリート強度の推定

3.1 構造体コンクリート強度の推定精度確認方法

構造部材を模擬した小型ブロック供試体およびL型擁壁を模擬した実大試験体よりφ25mmの小径コアおよびφ100mmコアを採取して圧縮強度試験を行った。なお、小径コア供試体の直径と高さの比(h/d)は2.0とした。実験結果に基づき、小径コアの試験結果からφ100mmコアの圧縮強度を推定する補正式を導出し、統計解析に基づいて推定精度の検証を行った。また精度確認のため、既設構造物から両サイズのコアを採取して圧縮強度の試験結果を比較した。表-1に供試体の実験パラメータを示す。

表-1 供試体の実験パラメータ

実験シリーズ	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (スランピング) (cm)	水セメント比 (%)
I-1	20, 40	12	55
I-2	40	12	45, 50, 55, 60
II	20	8	45, 55, 65, 75
III	40	8	45, 55, 65, 75
IV-1	25	8	38, 49.5, 63
IV-2	40	8	45.5, 59
V	20	18, (40)	40, 50
VI	20, 25	18	35

3.2 小径コア強度のデータ構造

1箇所当たりl本の小径コア試料をk箇所から採取した場合、小径コアによる圧縮強度の期待値および分散は、次式で表される²⁾。

$$\text{期待値: } E[\bar{x}_{..}] = \mu + \mu\delta \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{分散: } V[\bar{x}_{..}] = \frac{\sigma_e^2}{k} + \frac{\sigma_h^2}{k} + \frac{\sigma_m^2}{kl} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、μ：構造体コンクリート強度の母平均

μδ：小径コアとφ100mmコアの強度差δの母平均

σ_e²：構造体コンクリート強度の母分散

σ_h²：強度差δの母分散

σ_m²：小径コアの試験誤差の母分散

式(2)より、σ_m²が小さければ1箇所での試料数を増やす必要がなく、その分採取箇所を増やせば推定精度は向

上する。また、 σ_h^2 が小さければ、1 箇所の試料数の増加がそのまま、その箇所の強度推定の精度向上につながる事が分かる。

3.3 小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の比較

図-2 および図-3 に、粗骨材の最大寸法が 20mm, 25mm と 40mm の小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係を示す。図中に線形回帰式と寄与率 R^2 を示した。図より粗骨材の最大寸法に関わらず、小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度との間には非常に強い相関性があり、回帰直線の勾配はほぼ 1 となっている。

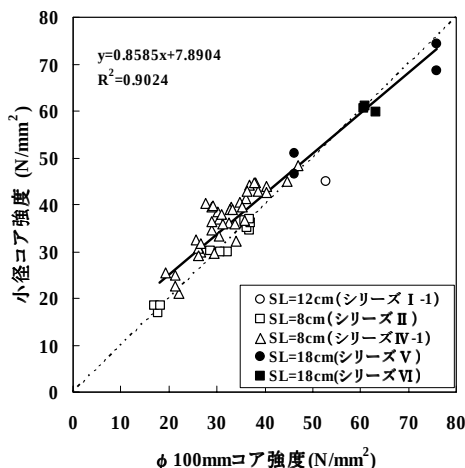


図-2 小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係 (Gmax20,25mm)

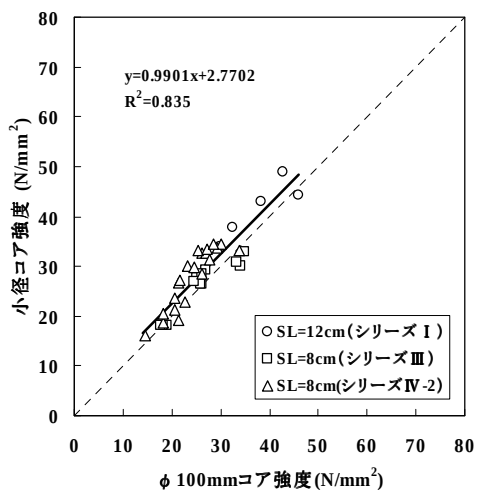


図-3 小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係 (Gmax40mm)

図-4 および図-5 に粗骨材の最大寸法が 20mm, 25mm と 40mm の $\phi 100\text{mm}$ コアに対する小径コアの強度差のヒストグラムを示す。なお、強度差は、小径コア強度より $\phi 100\text{mm}$ コア強度を減じたものである。これより、粗骨材の最大寸法によらず、強度差の分布は、正規分布とみなして良いと判断でき、統計的な処理が可能であるといえる。また、粗骨材の最大寸法に関わらず、強度差の平均

値は約 2N/mm^2 であり、標準偏差も 5.3N/mm^2 程度を示している。これより、強度差のパラツキは、粗骨材の最大寸法が 40mm 以下では、同じであると判断でき、同一の強度補正式を適用できると考えられる。

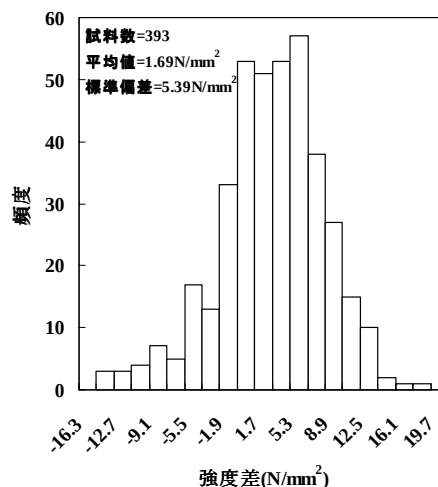


図-4 強度差のヒストグラム (Gmax20,25mm)

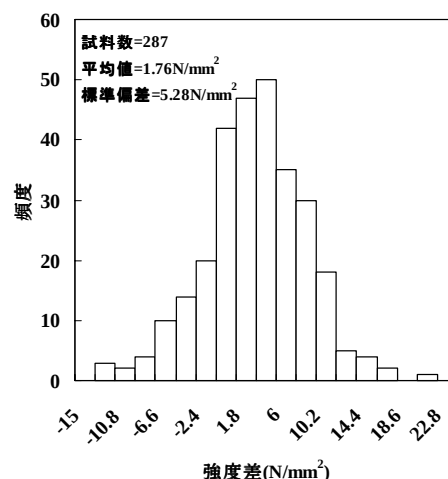


図-5 強度差のヒストグラム (Gmax40mm)

3.4 構造体コンクリート強度推定式

3.3 節において、小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の回帰直線の勾配はほぼ 1 に近く、小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの強度差は一定になる傾向にあることを示した。このことから、式(3)のように小径コア強度から強度差の平均値 2.0N/mm^2 を減ずれば、構造体コンクリート強度すなわち $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ コア強度を推定できると考えられる。

$$X = x - \delta = x - 2.0 \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

ここに、 X ：構造体コンクリート強度 (N/mm^2)
 x ：小径コア強度 (N/mm^2)

3.5 構造体コンクリート強度の推定精度

構造体コンクリート強度を推定する場合、強度の母分散 σ^2 は未知である。したがって、 $\phi 100\text{mm}$ コアを用いた場合でも、母平均の信頼区間すなわち推定精度は試料数により異なることになる。また、構造体コンクリート強度の母分散 σ^2 が大きくなるほど、小径コアによる試験誤差そのものが構造体コンクリート強度のばらつきに占める割合は小さくなり、母平均の信頼区間は $\phi 100\text{mm}$ コアを用いた場合の信頼区間に漸近していく。そこで、構造体コンクリート強度の母分散 σ^2 の大きさが異なる場合の小径コアによる母平均の信頼区間を検討し、実構造物に適用する場合の所要の推定精度と試料数の関係を検討した。構造体コンクリート強度の母分散が σ^2 の場合、信頼区間と試料数の関係は、式(4)で求めることができる。なお、強度差の母分散の推定値は、粗骨材の最大寸法が $20\text{mm}, 40\text{mm}$ のコンクリートに対して、図-4、図-5のヒストグラム中に示す標準偏差の推定値より求めた。

$$\pm \beta = K(\alpha) \frac{\sqrt{\sigma^2 + V}}{\sqrt{n}} \quad \dots \dots \dots \text{式(4)}$$

ここに、 β ：信頼率 $(1-\alpha)$ の信頼区間
 $K(\alpha)$ ：正規分布における両側 α 点
 σ^2 ：構造体コンクリートの母分散
 V ：強度差の母分散の推定値
 n ：試料数

図-6～図-8 に、構造体コンクリート強度の標準偏差 $\sigma = 4\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma = 5\text{N/mm}^2$ および $\sigma = 6\text{N/mm}^2$ の場合の 95% 信頼区間と試料数の関係を示す。図より、信頼区間と試料数の関係は、 $G_{\text{max}}=20\text{mm}$ と $G_{\text{max}}=40\text{mm}$ で同じであると判断でき、構造体コンクリート強度の母分散が大きくなるほど、小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの信頼区間の差は小さくなる。日本建築学会では、実構造物中におけるコンクリート強度の実態を調査し、構造体強度のバラツキを「構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点」として取りまとめている。そのデータによると、調査対象構造物数は $n=62$ でありコア強度の標準偏差の平均値は 5.1N/mm^2 、変動係数の平均値で 23.2% であることが示されている³⁾。そこで構造体コンクリート強度の母分散 $\sigma^2=25\text{N/mm}^2$ (標準偏差 $\sigma=5\text{N/mm}^2$) の場合について検討すると、 $\phi 100\text{mm}$ コアの試料 3 としたときの母平均の信頼区間 β は、信頼率 95% で 5.8N/mm^2 である。小径コアでは試料数を 6 とすれば母平均の信頼区間 β は、 $\phi 100\text{mm}$ コアの場合とほぼ同じになることが分かる。すなわち、通常の構造物のコンクリート強度の一般的なばらつきの範囲では、 $\phi 100\text{mm}$ コアの試料数 3 本に対して小径コアの試料数はその倍の 6 本とすれば、小径コアにより $\phi 100\text{mm}$ コアと同等の推定精度が得られることになる。

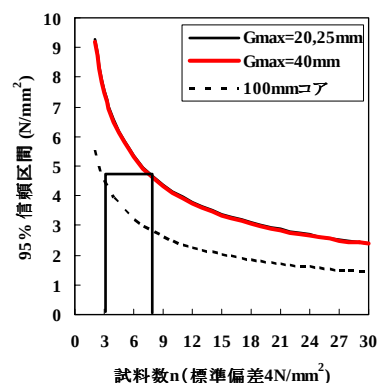


図-6 試料数 n と 95%信頼区間の関係 (標準偏差 4N/mm^2)

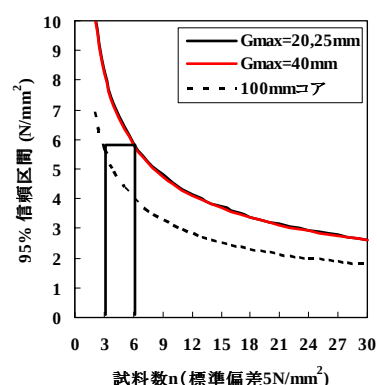


図-7 試料数 n と 95%信頼区間の関係 (標準偏差 5N/mm^2)

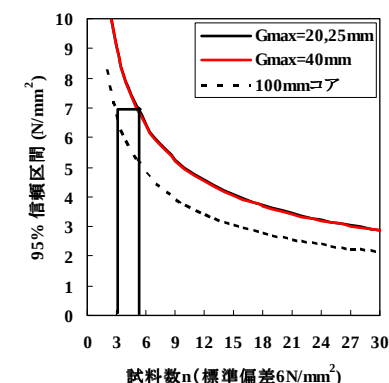


図-8 試料数 n と 95%信頼区間の関係 (標準偏差 6N/mm^2)

3.6 実構造物での検証

小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法を実際のコンクリート構造物に適用することで、本推定式の推定精度の確認と適用性について検討した。調査構造物は、計13構造物である。図-9に小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの平均強度の関係を示す。なお、小径コア強度は、先に示した強度補正式により強度補正を行ったものである。実構造物における調査では、強度レベルは約 $10\text{N/mm}^2 \sim 70\text{N/mm}^2$ である。図より実構造物においても、 $\phi 100\text{mm}$ コア強度と小径コア強度の関係は、試験体レベルの試験と同様に、非常に強い相関が認められ、線形回帰式の勾配もほぼ1に近い値を示している。このことから、小径コアによる構造体コンクリート強度推定法は、

十分実用可能であり、粗骨材の最大寸法に関わらず、同一の補正式で評価できると判断できる。また、構造体コンクリート強度のばらつきが大きい場合も、強度評価の対象範囲における小径コアの採取箇所および採取本数を適切に選択すれば、φ100mmコアと同等の推定精度が得られると考えられる。

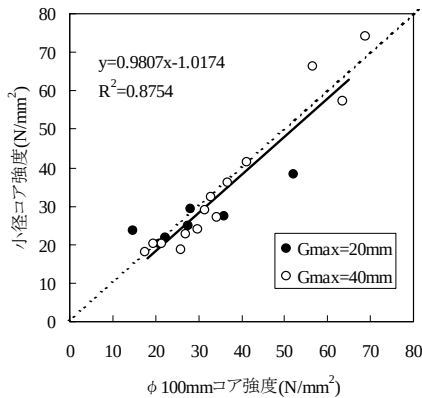


図-9 小径コアとφ100mmコア強度の関係

4. 塩化物イオン量の推定

4.1 構造体コンクリート強度の推定精度確認方法

内在塩分を含有する構造体コンクリートを模擬した供試体より、小径コアとφ100mm コアを採取し、全塩化物イオン量の分析値を比較検討した。これにより、φ100mm コアより採取した試料の全塩化物イオン量を基準とし、小径コアを用いた全塩化物イオン量の分析精度を検討した。また、粗骨材最大寸法の違いが、小径コアを用いた全塩化物イオン量の分析値に与える影響も検討した。試験パラメータは、コンクリート中の塩化物イオン量と粗骨材の最大寸法とした。表-2 に試験パラメータの一覧を示す。

表-2 試験パラメーター一覧

試験要因	水準
塩化物イオン量(kg/m³)	0.2, 0.6, 1.2, 2.5
粗骨材の最大寸法(mm)	20, 40

なお、塩化物イオンは、供試体作製時に希釈した塩化ナトリウム水溶液を練り混ぜ水として用いることにより所定量を混入した。コアの採取方法は、小径コアとφ100mm コアの2種類で、コアの抜取り方向は、コンクリートの打込み方向に直交する方向とした。採取したコアは、コンクリート表面より深さ方向に20mm 間隔で切断し、塩分分析用の試料とした。塩分分析は、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して、全塩化物イオン量を測定した。

4.2 全塩化物イオン量分析値の比較

表-3 に全塩化物イオン量の分析値に基づいた統計量の一覧を示す。図-10 にφ100mm コアと小径コアによる全

塩化物イオン量の平均値の関係を示す。

表-3 全塩化物イオン量に関する統計量一覧

混入塩化物イオン量(kg/m³)	採取方法	粗骨材の最大寸法(mm)	試料数	分析値の平均(kg/m³)	標準偏差(kg/m³)
0.2	小径	20	6	0.239	0.025
	φ100		5	0.256	0.020
0.6	小径		18	0.695	0.098
	φ100		5	0.626	0.020
1.2	小径		6	1.192	0.126
	φ100		6	1.199	0.130
2.5	小径		6	2.432	0.229
	φ100		6	2.381	0.217
0.6	小径	40	12	0.739	0.142
	φ100		5	0.647	0.041

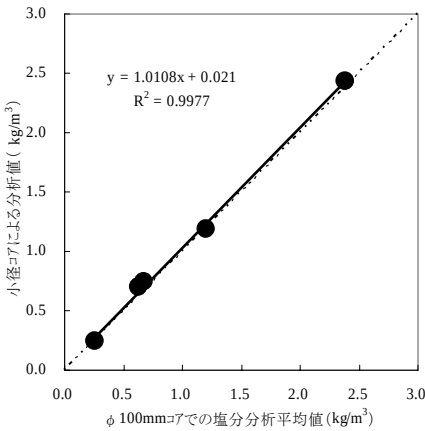


図-10 φ100mm コアと小径コアによる分析値の比較

図中の一次回帰分析の結果によると、寄与率で0.998、傾きで1.011であり全塩化物イオン量のφ100mm コアと小径コアとの関係は、非常に高い相関関係があるといえる。ただし、表-3 の統計量の一覧からも分かるように、小径コアによる全塩化物イオン量の分析値は、φ100mm コアに比べて標準偏差が大きくなる傾向にあり、φ100mm コアと同等な精度で全塩化物イオン量を評価するためには、小径コアによる分析試料数を多くする必要があることが分かる。

4.3 小径コアによる全塩化物イオン量の分析精度

小径コアによる全塩化物イオン量の分析精度の検証において、全塩化物イオン量の標準偏差は、コンクリート中に内在する塩分量の絶対値に左右される。そのため、φ100mm コアにより得られた全塩化物イオン量の分析値の平均で、各分析試料の全塩化物イオン量の分析値を基準化したR値で評価した。表-4 にR値の平均と標準偏差を示す。実際の構造物における全塩化物イオン量の測定に小径コアを用いる場合に、通常の測定に用いられているφ100mm コアと同程度の測定精度は、試料量を増やすことで可能となる。すなわち、小径コアでは試料の本

数を増やし、これらの試料を混合することである。そこで表-4 に示す R 値を用いて、信頼区間の算定を行うことにより、混合する試料の量を決めることとした。算定方法は、信頼区間の推定の考え方により、式 5 により混合試料数と全塩化物イオン量の 95%信頼区間 β の関係を算定した。供試体に内在する全塩化物イオン量の母分散は未知であるため、信頼区間の算定には t 分布を用いた。

表-4 $\phi 100\text{mm}$ コアで基準化した R 値の平均と標準偏差

採取方法	$\phi 100\text{mm}$ コア	小径コア
試料数	22	36
平均値	1.000	1.050
標準偏差	0.075	0.144
95%信頼区間	0.034	0.049

$$\beta = t(\phi, \alpha) \cdot \sqrt{\frac{V}{N}} \quad \dots \dots \dots \text{式(5)}$$

ここに、 ϕ ：自由度 ($\phi=n-1$)
 V ：R 値から得られる不偏分散
 α ：有意水準
 n ：標本試料数
 N ：混合試料数

図-11 に混合試料本数と信頼区間の関係を示す。図より粗骨材最大寸法が 20mm の場合、 $\phi 100\text{mm}$ コア 1 本の信頼区間は 0.17 程度となった。小径コアでは 1 本で 0.3 程度であり、 $\phi 100\text{mm}$ コアの約 1.76 倍となった。小径コア試料 3 本を混合した場合には、 $\phi 100\text{mm}$ コア 1 本の信頼区間と同等となり、 $\phi 100\text{mm}$ コア 1 本と同程度の精度となる小径コアの必要試料本数は 3 本であることが分かる。また、粗骨材最大寸法が 40mm の場合には、粗骨材の最大寸法が 20mm の場合に比べて、必要試料本数が多くなり、 $\phi 100\text{mm}$ コアと同等な精度とするには、5 本を混合する必要があることが分かった。なお、小径コア 1 本当たりの質量を 23g とすると、小径コアの試料量が粗骨材の最大寸法が 20mm の場合には 70g 以上、40mm の場合には 120g 以上とすることで $\phi 100\text{mm}$ コアの信頼区間を下回ることになる。これらより、小径コアによって分析に必要な試料本数と試料質量をまとめると表-5 のとおりとなる。

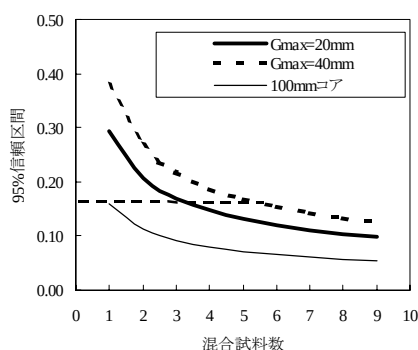


図-11 混合試料本数と信頼区間の関係

表-5 $\phi 100\text{mm}$ コアと同等精度となる試料本数と質量

粗骨材の最大寸法	20mm	40mm
試料本数	3 本	5 本
試料質量	70g	120g

4.4 実構造物での検証

小径コアを用いた塩分分析法を実際のコンクリート構造物に適用することで、本方法の分析精度の確認と適用性について検討した。調査構造物は、既設 7 橋梁とした。本構造物は、 $\phi 100\text{mm}$ コアを用いて事前に圧縮強度、全塩化物イオン量、中性化深さが調査されている。この既存データと小径コアによる塩分分析値を比較することで、本方法の適用性を検討した。なお、小径コアは、事前調査で $\phi 100\text{mm}$ コアを採取した近傍より採取した。小径コアの数量は、室内実験に基づき、小径コアを 3 本採取し対応する深さで混合試料を作製した。この混合試料を用いて JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して、全塩化物イオン量を測定した。なお、調査対象となった既設構造物は粗骨材の最大寸法が 20mm のコンクリートを用いたものである。小径コアおよび $\phi 100\text{mm}$ コアによる全塩化物イオン量の分析結果の比較を図-12 に示す。回帰直線の傾きは、1.034 で寄与率は 0.86 となっており、 $\phi 100\text{mm}$ コアによる全塩化物イオン量との相関性は非常に高いといえる。室内試験結果に比べて、 $\phi 100\text{mm}$ コアと小径コアの全塩化物イオン量の寄与率が若干小さくなっているが、実構造物における、内在塩分の平面的および深さ方向の分布などの変動を考慮すると、実用上問題のない精度で、小径コアにより全塩化物イオン量が測定可能であるといえる。

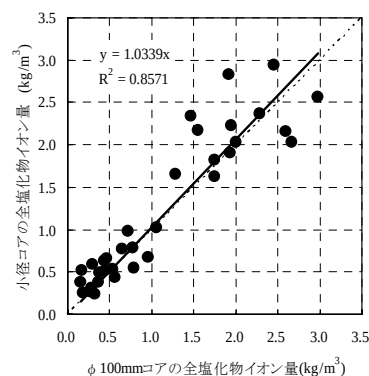


図-12 全塩化物イオン量の比較

5. 中性化深さの推定

5.1 中性化深さの推定精度確認方法

コンクリートの中性化深さの測定には、大きく分けて、はつりによる方法とコア採取による方法の 2 通りがある。一般には、中性化深さの測定のみを現場で行う場合には「はつり法」が、圧縮強度試験や塩分含有量試験などの他の試験と併せて行う場合には「コア採取法」を用いる

ことが多い。小径コアを用いた中性化深さの測定精度の確認は、既存技術による測定精度と比較する方法で行った。既存技術としては、コア供試体を用いるという共通性から「コア採取法」を選定し、既存コンクリート構造物から小径コアとφ100mm コアを採取し、両者による中性化深さの測定値を比較した。表-6 に、コアを採取したコンクリート構造物と採取本数を示す。小径コアの直径は25mmとし、φ100mm コアの採取位置の近傍から採取した。中性化試験は、フェノールフタレイン法で行った。JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」には、コア供試体を用いる場合、割裂面を測定面とする方法と側面を測定面とする方法の2通りが示されているが、小径コアは割裂することが難しいため側面を測定面とした。

表-6 コアを採取したコンクリート構造物一覧

構造物	経過 年数	粗骨材の 最大寸法 (mm)	採取コア本数	
			φ100mm	小径コア
A 橋台	25	25	3	2
B 橋台	18	25	3	2
C 橋台	28	25	3	2
D 橋台	25	25	3	2
E 橋台	34	25	3	2
F 橋台	28	40	3	2
G 橋台	28	25	3	2
H 橋台	28	25	3	2
I 橋桁 A	34	40	2	9
I 橋桁 B	34	40	2	12
J 擁壁	14	25	6	18
K 建物壁	13	25	6	18
L 壁構造物	13	25	6	18
M 機械基礎	20	25	6	18

5.2 中性化深さ測定値の比較

図-13 にφ100mm コアと小径コアによる中性化深さの測定結果を比較して示す。回帰直線の傾きは1.035、寄与率は0.76となっている。実構造物においては、φ100mm コアを用いて測定したある範囲の中性化深さにばらつきがみられるのが一般的であり、また狭い範囲の測定値にも比較的大きなばらつきが生じる場合がある。このような、実構造物における中性化深さの平面的なばらつきを考慮すると、図-13 に示されるφ100mm コアと小径コアによる中性化深さ測定値の関係には、高い相関性があると言える。このことから、実用上問題のない精度で、小径コアにより中性化深さの評価が可能であると考えられる。

5.3 小径コアによる中性化深さ測定精度

小径コアによる中性化深さ測定精度を、φ100mm コアによる測定精度と比較して検討した。検討は、φ100mm コアと小径コアを系統立てて比較的に多数採取した構造物 J, K, L の測定結果で行った。構造物 J, K, L は竣工後の経過年数が同程度であり、同一敷地内の構造物であ

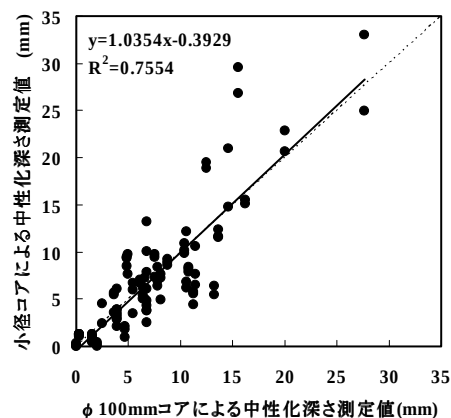


図-13 中性化深さ測定値の比較

ることから環境条件もほぼ同じである。また、コンクリートの設計基準強度は構造物 J, K は 21N/mm^2 、L は 18N/mm^2 であり、水セメント比も同程度の値と推定される。そこで、ここでの検討においては3構造物を一つの連続した構造物と見なし、φ100mm コア 18 本、小径コア 54 本を採取したと見なした。表-7 に中性化深さの平均値と標準偏差を示す。測定精度の検証には、塩化物イオン量の場合と同様に実構造物中の中性化深さの母分散は未知であるため、試料数と信頼区間の算定には t 分布を用いた。図-14 に試料数と 95% 信頼区間の関係を示す。同図から、試料数が同じ場合、φ100mm コアと小径コアの信頼区間はほぼ同じであることが分かる。このことから、構造物 J, K, L を合わせたものが、中性化深さの母平均および母標準偏差が未知の構造体コンクリートであると見なした場合、小径コアによる中性化深さの母平均の推定精度は、コア数が同じ φ100mm コアによる推定精度と同等と考えて良いと言える。

表-7 中性化深さの平均値と標準偏差

	φ100mm コア	小径コア
試料数	18	54
平均値(mm)	8.2	7.6
標準偏差(mm)	2.7	2.3

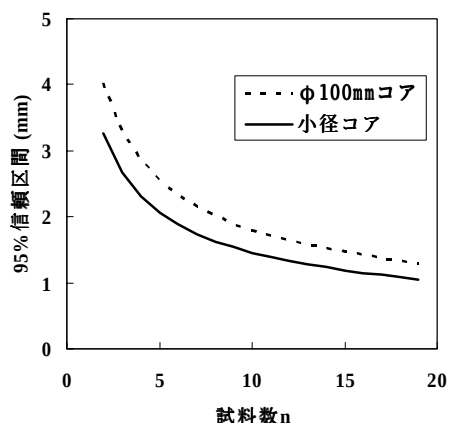


図-14 試料数 n と 95% 信頼区間の関係

5.4 小径コアを用いる場合の測点数の検討

構造物 J, K, L では $\phi 100\text{mm}$ コアおよび小径コアを用いて中性化深さを測定する際の測点数を、図-15 に示すように8箇所とした。この場合測点位置に粗骨材があることも多く、小径コアでは0～5測点、平均的には2測点程度が粗骨材粒子と重なった。実験データの整理・考察にあたっては、このような粗骨材粒子と重なった測点のデータは棄却した。そこでここでは、小径コアを用いる場合、粗骨材を避けてコア側面の何点で測定すればよいかを検討した。検討は、8測点全てが粗骨材にあたらなかった小径コアの測定結果を用いて行った。表-8～表-10に、8測点で推定した場合と、4測点を抽出した場合、および JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準じて5測点を抽出して推定した場合の中性化深さの平均値、標準偏差、95%信頼区間を示す。

表より、8測点で推定した場合と4測点および5測点を抽出して推定した場合の中性化深さの平均値は同程度であり、4測点および5測点の平均値は8測点の95%信頼区間内に収まっていることが分かる。このことから、小径コアを用いる場合、JIS A 1152に準じて粗骨材を避けたコア側面の5測点で測定すれば問題のない精度で中性化深さが評価できると考えられる。なお、測点数が3測点以下では8測点の95%信頼区間に収まらない場合もみられたため、最低でも4測点が必要といえる。

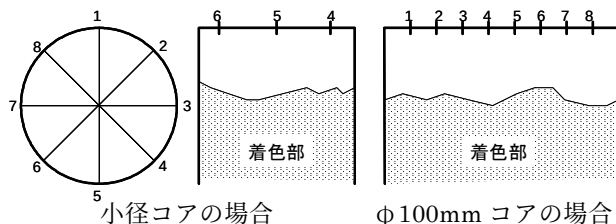


図-15 中性化深さの測点数

表-8 8測点による測定値と4および5測点抽出による測定値の比較（構造物 J）

測点数	8点	4点			5点		
		①	②	③	①	②	③
中性化深さの平均値(mm)	9.3	9.3	10.2	10.4	8.5	10.2	9.6
標準偏差(mm)	2.7	2.7	3.2	1.3	2.9	2.7	2.8
95%信頼区間(mm)	2.2	-	-	-	-	-	-

表-9 8測点による測定値と4および5測点抽出による測定値の比較（構造物 K）

測点数	8点	4点			5点		
		①	②	③	①	②	③
中性化深さの平均値(mm)	6.1	6.4	6.4	5.2	6.4	6.2	6.5
標準偏差(mm)	1.5	1.9	1.8	0.5	1.8	1.7	1.7
95%信頼区間(mm)	1.3	-	-	-	-	-	-

表-10 8測点による測定値と4および5測点抽出による測定値の比較（構造物 L）

測点数	8点	4点			5点		
		①	②	③	①	②	③
中性化深さの平均値(mm)	6.8	7.7	5.1	6.4	6.3	6.1	7.3
標準偏差(mm)	3.3	4.4	2.7	2.3	2.2	2.1	3.7
95%信頼区間(mm)	2.7	-	-	-	-	-	-

6. まとめ

ソフトコアリング技術の土木分野への適用拡大を目的として、圧縮強度、コンクリート中の塩化物イオン量および中性化深さの測定精度と方法について検討を行った。その結果、本技術は、粗骨材の最大寸法が40mm以下のコンクリートに適用でき、以下に示す知見を得ることができた。

- ① 推定圧縮強度が10～70N/mm²の範囲において、 $\phi 25\text{mm}$ で高さと直径の比が2.0の小径コア供試体の圧縮強度の平均値から2N/mm²を減じれば $\phi 100\text{mm}$ コア供試体の強度に換算でき、また、通常の構造物のコンクリート強度の一般的なばらつきの範囲では、小径コア供試体6本による圧縮強度の推定精度は、 $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体3本による推定精度と同等であった。すなわち、 $\phi 25\text{mm}$ の小径コア供試体による圧縮強度の測定精度は $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体を用いる方法と同等であることが確認された。
- ② $\phi 25\text{mm}$ の小径コア供試体を用いても、試料の本数または質量を適切に選定することにより、 $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体を用いる方法と同等の測定精度が得られることが確認された。
- ③ $\phi 25\text{mm}$ の小径コア供試体を用いても、中性化深さを5点以上測定することにより、 $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体を用いる方法と同等の測定精度が得られることが確認された。

なお、本研究は、(株) 銭高組、日本国土開発(株)、当社が共同研究として実施した実験・検討結果をとりまとめたものである。

参考文献

- 1) 寺田、谷川、中込、佐原：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法、コンクリート工学、Vol.39, No.4, pp27-32, 2001.4
- 2) 既設構造物のコンクリート強度調査法「ソフトコアリング」建築物等の保全技術・技術審査証明報告書、財団法人日本建築センター、財団法人建築保全センター、2000.4
- 3) 構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点、日本建築学会、pp199-216, 1987.11