

構造物からの塩化物イオンの測定方法

—フレッシュコンクリート中の塩化物量簡易測定計「カンタブ」を用いた方法—

2020年12月9日

 太平洋マテリアル株式会社

コンクリート構造物の劣化要因

鉄筋コンクリート構造物の劣化要因

コンクリート劣化

強度劣化

アルカリ骨材

水和熱

ひび割れ

乾燥収縮

構造上

表面劣化

施工不良

鉄筋劣化

中性化

塩害

材料混入塩分

飛来性塩分

塩害事例

凍結防止剤による影響



飛来性塩分による影響



- 適切な劣化診断による現状把握
- 計画的な維持管理
- 今後の劣化予測

硬化コンクリート中の塩化物イオン

硬化コンクリート中に含まれる塩化物

【可溶性塩分】

50°Cの温水に溶解する塩分
(鉄筋腐食に影響)

【フリーデル氏塩】

セメント成分と結合し固定化
不安定で炭酸化により塩化物
イオン放出

全塩化物

従前の簡易法（純水による抽出）では全塩分の測定が困難

[50°Cの温水による30分振とう ⇒ ろ過 ⇒ ろ液を分析]



これまでは塩化物イオン量の定量的把握の為に精密分析の必要性があった

硬化コンクリート中の塩化物イオン量測定方法（精密分析）

土木研究所標準試験方法（精密分析）

- JCI-SC4 硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法
- JCI-SC5 硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法
- 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
- JSCE-G-573 実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法（案）
- JSCE-G-574 EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法（案）

【化学分析】

試料調整に危険な薬品（硝酸、過酸化水素水）の使用や煮沸操作及び各種分析機器を使用

【EPMA法】

試料の事前処理等が必要

- ・ 分析操作が煩雑
- ・ 結果把握までに日数を要す
- ・ 分析費用が高い

既設構造物の維持管理への適用には
数量的な制約あり

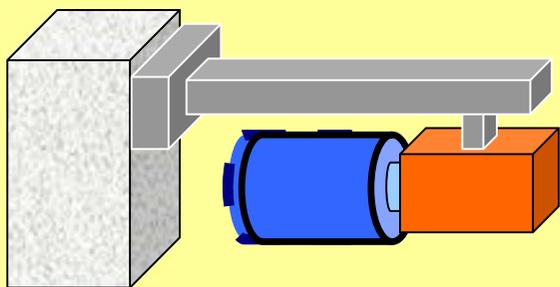
（課題、総合的な簡便法の必要性）

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

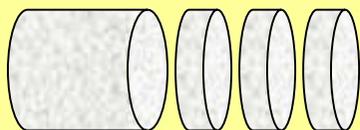
試料採取方法 (JIS A 1154 附属書1)

① コアカット

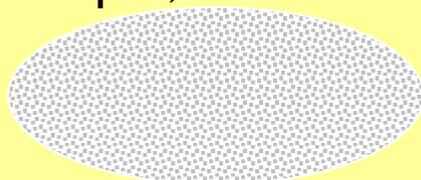
(コア径：粗骨材最大寸法の3倍以上)



② 深さ毎のスライス (10~20mm)



③ 粉砕 ($\leq 150\mu\text{m}$)



試験方法

試料に硝酸 (1+6) を加え pH3 以下

↓ (30分攪拌)

加熱煮沸

↓ (5分)

(中和：炭酸カルシウム)

↓

濾過

↓

分析

- ・ 電位差滴定法
- ・ チオシアン酸水銀 (II) 吸光光度法
- ・ 硝酸銀滴定法
- ・ イオンクロマトグラフ分析

硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易測定方法

代表的検討事例

建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発
(建設省、財団法人国土開発技術研究センター[昭和63年11月])

【コンクリート構造物における塩分量の簡易測定技術の開発】

ドリル削孔による
コンクリート粉末

有機酸水溶液
でCl⁻を抽出

中和

ろ過

簡易塩分分析

無水有機酸（リンゴ酸、マレイン酸、スルファミン酸、酒石酸、クエン酸）、中和剤（炭酸ナトリウム）

- ①フレッシュコンクリート中の簡易塩分量測定計を使用（カンタブ）
- ②試料（ドリル削孔粉）採取時におけるドリル径の影響
- ③抽出塩分量に与える酸の種類の影響
- ④蒸留水の温度が抽出塩分量に及ぼす影響

本技術・結果をベースに検討を重ね 「クロキット」 を商品化

クロキットを用いた簡易試験方法のメリット

開発コンセプト（メリット）

- ①誰にでも簡便、安全に測定可能
- ②フリーデル氏塩を分解し、**全塩分量を測定可能**
- ③精密分析装置やガラス器具等及び分解中和に強酸、強アルカリが一切不要
- ④軽量かつ電源不要で優れた携行性
- ⑤試験結果把握の迅速化（試料入手から小一時間程度）
- ⑥**躯体の損傷を最小限**にする少量の試料で測定可能
- ⑦1試料当たりの**測定費用が安価**（精密分析のおよそ1/10程度）



クロキット外観



クロキット内観

クロキット詳細

①カンタブ低濃度品 (1箱)

②試薬1、試薬2 (各12包)

③精製水 (1本)

④乳鉢[乳棒付] (1個)

⑤反応管 (12本)

⑥デスカップ (12個)

⑦ろ紙 (1箱)

⑧pH試験紙 (1巻)

⑨ピペット (1個)

⑩ピンセット (1個)

⑪薬さじ (1個)

⑫電子天秤 (1個)

⑬ストップウォッチ (1個)

⑭ゴーグル (1個)

⑮ゴム手袋 (1個)



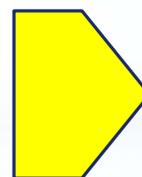
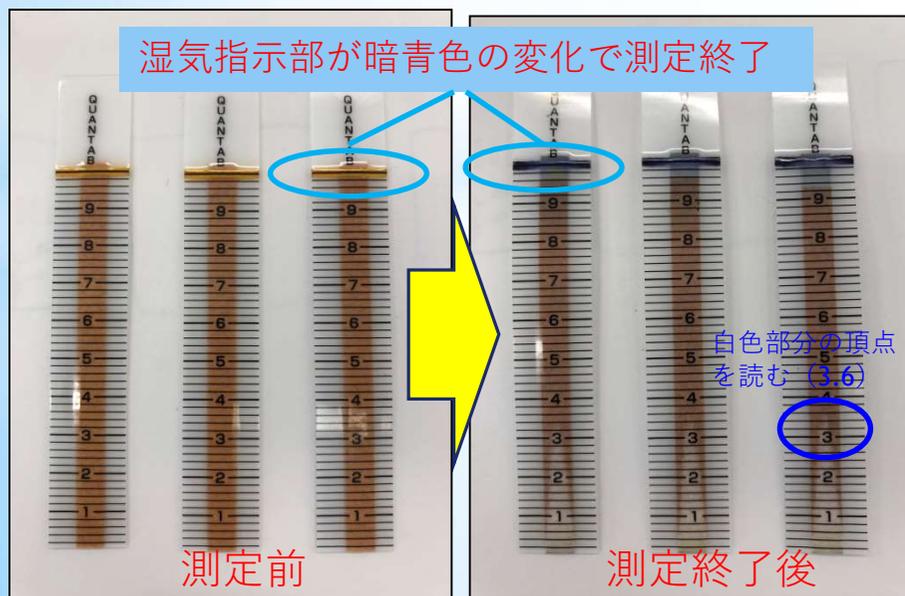
※①②は消耗品 (追加は別売可能)

クロキット内観

生コン中の塩化物含有量簡易測定計「カンタブ（検知紙）」

簡易測定計概要

- ①毛細管現象による吸上げ溶液を利用した塩化物イオンの定量分析が可能
- ②測定原理
硝酸銀滴定法（モール法）を応用
 $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$ （白色変化）
- ③電池・電源不要かつ持ち運び容易
- ④誰にでも簡単で所定の精度を確保



同梱の換算表により、カンタブ読み値に相当する塩化物イオン濃度（％）を確認

カンタブ 低濃度品 換算表

Lot No. 675049

コンクリート用

カンタブの読み	塩化物イオン (%)	カンタブの読み	塩化物イオン (%)	カンタブの読み	塩化物イオン (%)
1.4	0.0026	3.5	0.0190	5.6	0.0469
1.5	0.0032	<u>3.6</u>	<u>0.0201</u>	5.7	0.0490
1.6	0.0037	3.7	0.0213	5.8	0.0512
1.7	0.0042	3.8	0.0224	5.9	0.0533
1.8	0.0048	3.9	0.0235	6.0	0.0555
1.9	0.0053	4.0	0.0247	6.1	0.0569

クロキット試験手順①

① 試料の粉碎



乳鉢を用い微粉碎

② 試料の計量



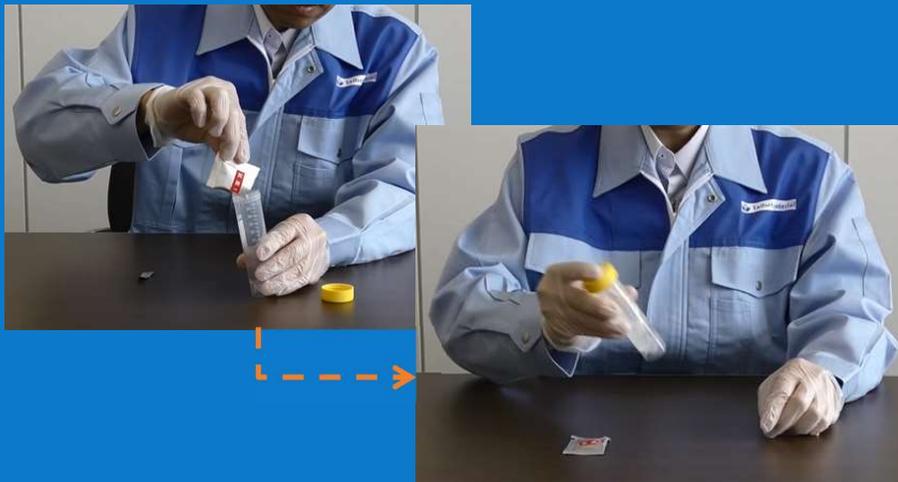
粉碎試料を5g計量

③ 精製水の計量



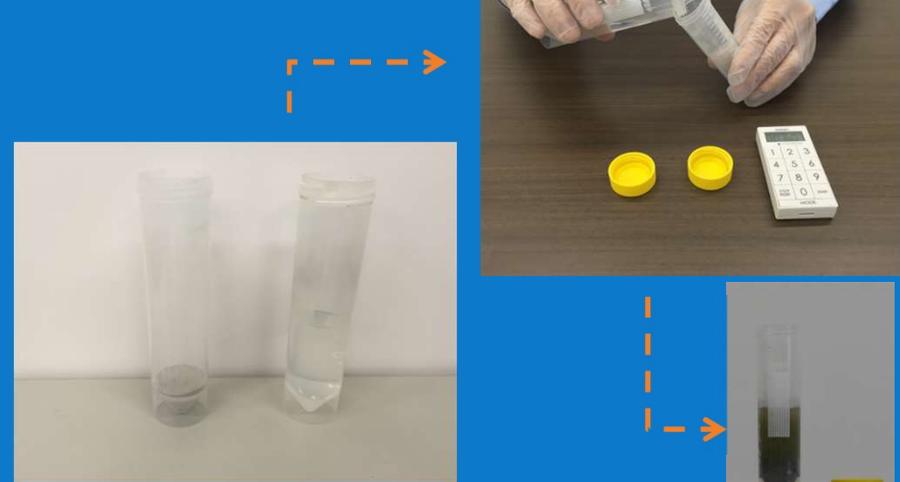
精製水を20g計量

④ 試薬1の溶解



精製水に試薬1を投入後、振とうさせ溶解

⑤ 試料の投入



試薬1水溶液を試料に投入後、発生するガスを抜く
(1分間静置)

クロキット試験手順②

⑥反応



反応管を10秒間振とう後、蓋を緩めてガスを抜く操作を5回繰り返して、10分間静置後、pHを確認（pH7以下）。ここで、pH7を超えた場合、試薬1を再度加えてpH7以下になるよう調整。

⑦試薬2の投入



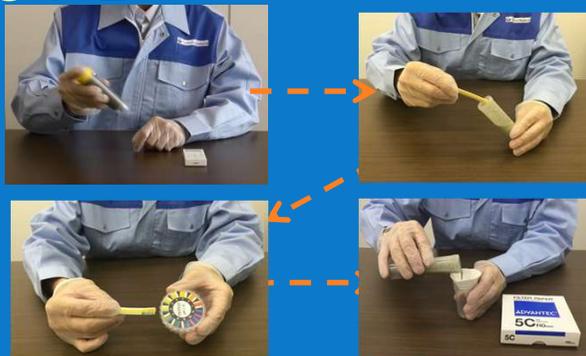
反応管に試薬2を少しずつ投入後、発生するガスを抜く（1分間静置）

⑦試料の中和



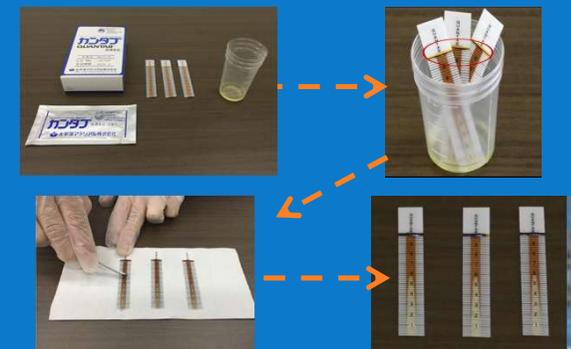
反応管を10秒間振とう後、蓋を緩めてガスを抜く操作を5回繰り返して、10分間静置

⑧ろ過



振とうにより試料を均一にし、pH確認（pH6～8程度）。pH6を下回る場合、試薬2を再度加えて手順⑦以降を繰り返して、ろ過

⑨測定



ある程度ろ液が確保された後、カンタブによりろ液の塩化物イオン濃度を測定（測定後カンタブの余剰水は確実に絞り出す）

1m³当たりの塩化物イオン量への換算方法

換算方法

カンタブの測定結果（読み値）から[溶液、細骨材用]換算表による塩化物イオン濃度を用いて次式により算出する。

硬化コンクリートの塩化物イオン濃度(%)

$$= \text{カンタブ換算表から求めた溶液の塩化物イオン濃度の3本の平均値 (\%)} \times \frac{20\text{g (水の量)}}{5\text{g (試料質量)}}$$

硬化コンクリート1m³当たりの塩化物イオン量(kg/m³)

$$= \frac{\text{硬化コンクリートの塩化物イオン濃度 (\%)} \times 2,300\text{kg/m}^3}{100} \quad \left(\text{硬化コンクリートの単位容積質量を} 2,300\text{kg/m}^3 \text{と仮定} \right)$$

カンタブの読み値 (%)	塩素イオン濃度 (%)	カンタブの読み値 (%)	塩素イオン濃度 (%)	カンタブの読み値 (%)	塩素イオン濃度 (%)
1.4	0.0025	3.5	0.0151	5.6	0.0448
1.5	0.0030	3.6	0.0157	5.7	0.0469
1.6	0.0035	3.7	0.0171	5.8	0.0489
1.7	0.0040	3.8	0.0184	5.9	0.0510
1.8	0.0045	3.9	0.0198	6.0	0.0530
1.9	0.0050	4.0	0.0211	6.1	0.0551
2.0	0.0055	4.1	0.0225	6.2	0.0565
2.1	0.0061	4.2	0.0238	6.3	0.0580
2.2	0.0068	4.3	0.0252	6.4	0.0594
2.3	0.0074	4.4	0.0265	6.5	0.0609
2.4	0.0081	4.5	0.0279	6.6	0.0623
2.5	0.0087	4.6	0.0292	6.7	0.0638
2.6	0.0093	4.7	0.0306	6.8	0.0652
2.7	0.0100	4.8	0.0319	6.9	0.0667
2.8	0.0106	4.9	0.0333	7.0	0.0681
2.9	0.0112	5.0	0.0346	7.1	0.0696
3.0	0.0119	5.1	0.0360	7.2	0.0735
3.1	0.0125	5.2	0.0373	7.3	0.0775
3.2	0.0132	5.3	0.0387	7.4	0.0814
3.3	0.0138	5.4	0.0407		
3.4	0.0144	5.5	0.0428		

換算表（コンクリート用）

カンタブの読み値 (%)	塩素イオン濃度 (%)	カンタブの読み値 (%)	塩素イオン濃度 (%)	カンタブの読み値 (%)	塩素イオン濃度 (%)
1.4	0.0026	3.6	0.0138	5.8	0.0336
1.6	0.0036	3.8	0.0148	6.0	0.0364
1.8	0.0046	4.0	0.0165	6.2	0.0393
2.0	0.0056	4.2	0.0182	6.4	0.0421
2.2	0.0066	4.4	0.0199	6.6	0.0450
2.4	0.0077	4.6	0.0216	6.8	0.0489
2.6	0.0087	4.8	0.0233	7.0	0.0528
2.8	0.0097	5.0	0.0251	7.2	0.0568
3.0	0.0107	5.2	0.0268	7.4	0.0607
3.2	0.0117	5.4	0.0285	7.6	0.0656
3.4	0.0128	5.6	0.0307	7.8	0.0706

換算表（溶液、細骨材用）



※カンタブの読み値に相当する塩化物イオン濃度を適用

左記の場合、

カンタブ読み値 3.6

塩素イオン濃度 0.0138 (%)

硬化コンクリート中の塩化物イオン量

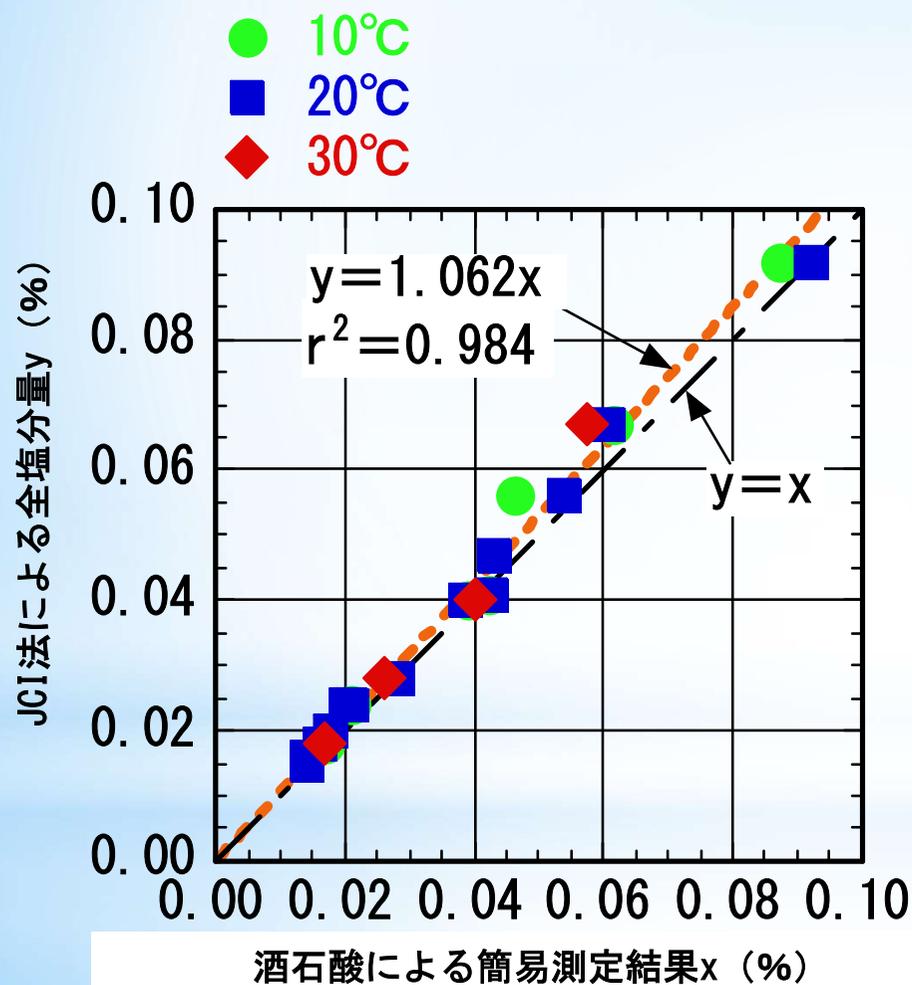
1.3Kg/m³



注意事項

- ①カンタブは、光と湿気を嫌う為、**使用直前にアルミパックから取り出して**ください。
- ②測定終了後のカンタブは、測定結果（読み値）が大きくなる現象を避ける為、**湿気指示部から吸上口の方へ向け検液を十分に絞り出**してください。
- ③反応管を再利用時は、水道水で洗浄後、必ず精製水で流して乾燥させてからご使用ください（洗浄が不十分な場合、正しい測定不能）。
- ④塩化物イオン濃度が高い場合、カンタブ標準品をご使用頂くか、試料重量を少なくして（**3g**程度）測定してください。その際、換算方法の試料重量を変えて算出してください。
- ⑤試薬**1、2**及び反応時の発生ガスは共に無害です。しかし、万一眼に入ったり皮膚に付着した場合、直ちに水道水で十分に洗い流してください。
- ⑥ご使用の際は、付属のゴーグル・ゴム手袋等の着用をお勧めします。
- ⑦小児の手の届かない場所で保管してください。

クロキット（簡易試験方法）と電位差滴定法の比較



✓ 試料及び精製水の質量
粉末試料と精製水の質量比 1：4が最適

✓ 試薬の組合せ
粉末酸は酒石酸、中和剤は炭酸カルシウムの組み合わせが最適

✓ 簡易測定法の適用性
フリーデル氏塩を含む全塩分量測定結果が、環境温度10～30℃においてJCI法による測定結果と概ね符合し、有効性を確認

【出典元】

太田達見ほか：酒石酸を用いた硬化コンクリート中の塩化物量簡易試験方法、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.1、2004

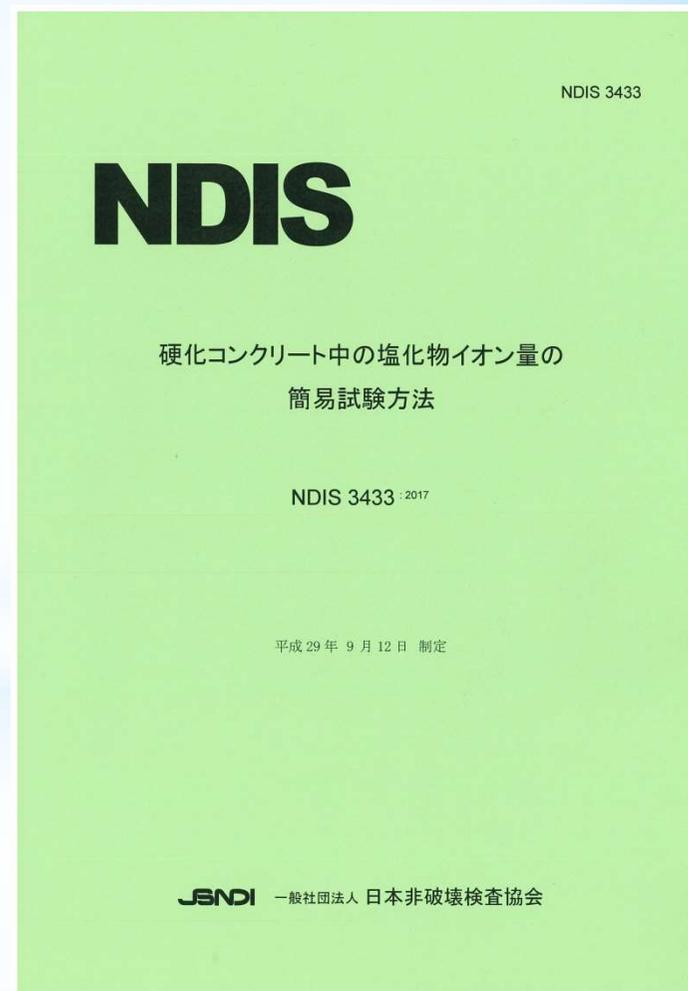
一般社団法人日本非破壊検査協会における簡易法規格制定

NDIS3433 : 2017 (平成29年9月12日制定)

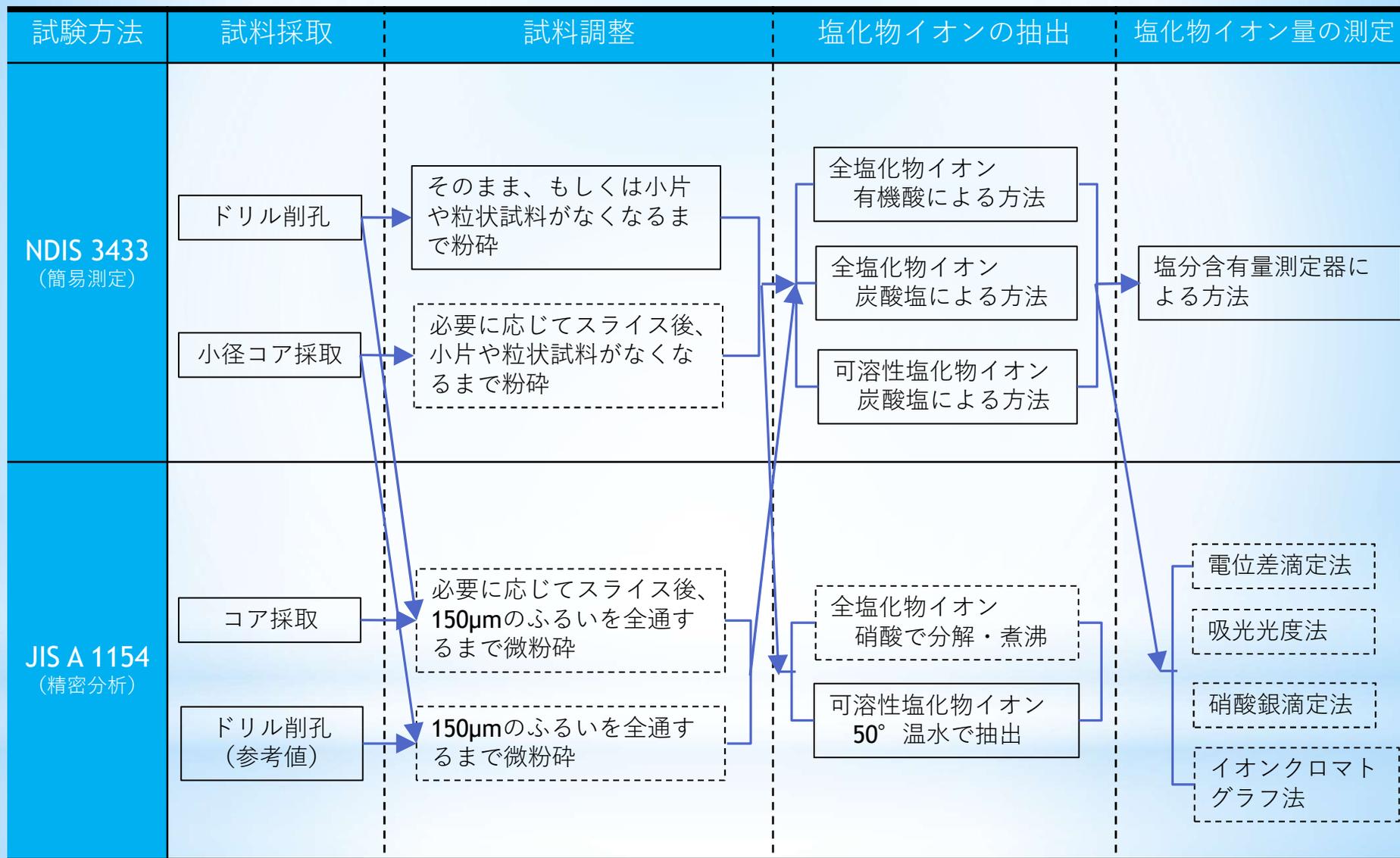
硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法

【主な準拠項目】

- ①ドリル削孔粉の粉碎試料を使用可能
(乳鉢の使用)
- ②有機酸のうち酒石酸、スルファミン酸
などの弱酸も使用可能
- ③試料及び水(精製水等の塩化物イオン
を含まない)の標準使用量並びに質量比
- ④市販の塩化物含有量簡易測定器の適用を
想定
(フレッシュコンクリート中の塩化物イ
オン量測定に使用される財団法人国土
開発技術研究センター技術評価品での
共通試験検証)



NDIS 3433及びJIS A 1154による試験手順の組合せ



※ : 調査現場及び試験室のいずれでも実施可

 : 試験室でのみ実施可

【参考】小規模橋梁の簡易点検要領（案）

小規模橋梁の簡易点検要領（案）

【令和元年5月】

近未来コンクリート研究会

（一社）コンクリートメンテナンス協会

■点検の計画

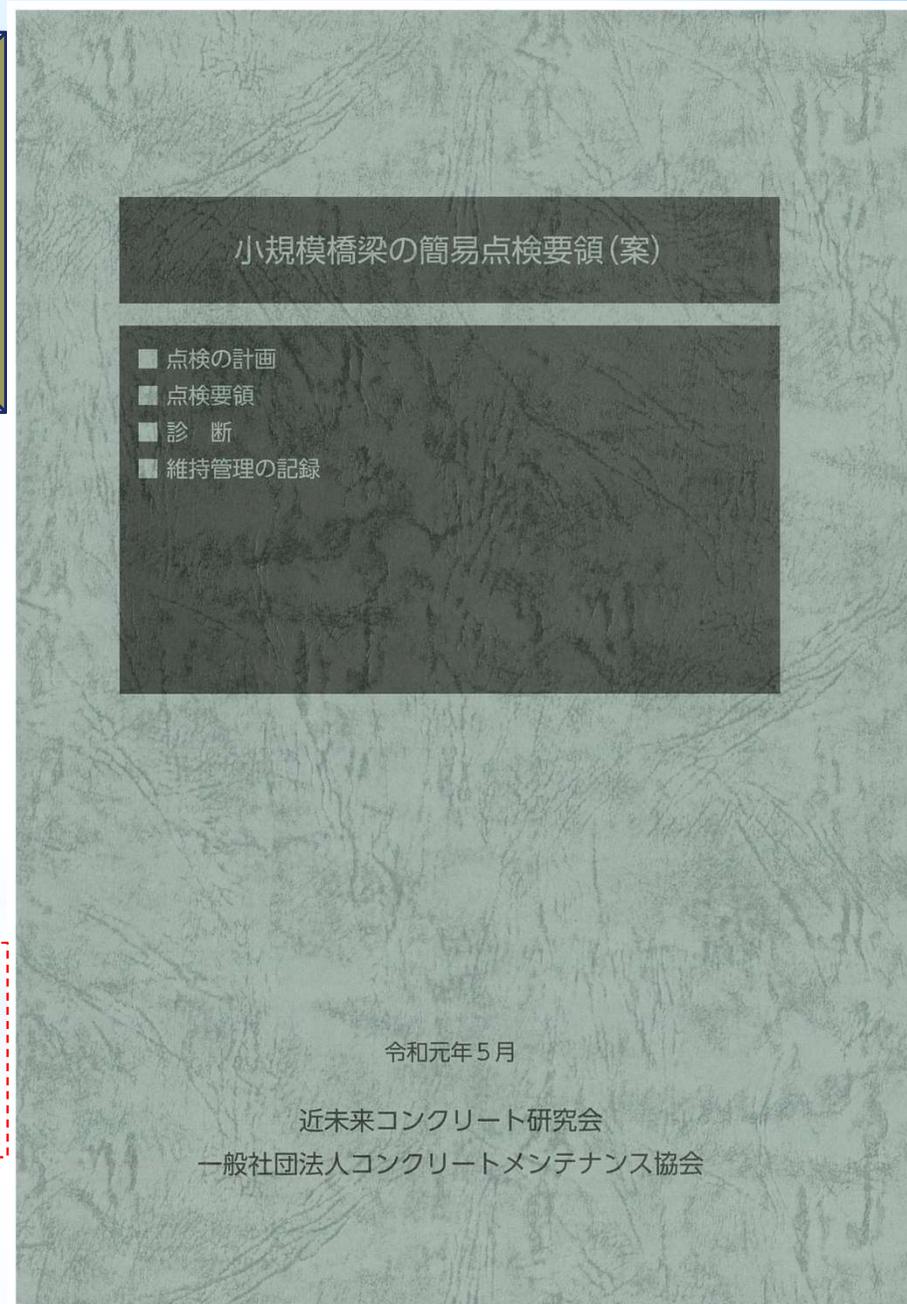
■点検要領

■診断

■維持管理の記録

- 塩化物イオン量の測定
- 簡易塩化物イオン測定装置
(例：クロキット)

簡易かつ省力化・合理化を期待



【参考】小規模橋梁の簡易点検要領（案） pp.16 総論

3.2.5 塩化物イオン量の測定

塩化物イオン量の測定は、かぶり部分の平均としてとらえ、塩害の可能性を確認する。塩化物イオン量がドリル粉あるいは小径コアのモルタル部分の粉末を採取し、かぶり部分の塩化物イオン量を簡易塩化物イオン測定装置を用いて測定する。

【解説】

塩化物イオンによる鉄筋腐食の概念を図-3.7 に示す。外部からの塩化物イオンの侵入は、潮風などの飛来塩分や凍結防止剤などの散布が原因となる。表面に付着した塩化物イオンは、次第に内部に拡散し、鉄筋の位置の塩化物イオンが腐食限界濃度に達すると、鉄筋の腐食が始まる。鉄筋の腐食は酸素と水の存在で進み、腐食が進むと腐食膨張を生じ、表面にひび割れを生じさせ、さらに腐食が進むと鉄筋の断面が欠損して構造物の安全性能が低下する。

塩化物イオンの侵入の程度は、表面から深さ方向の塩化物イオンの分布を調べることが必要であるが、ある程度大きな直径のコアを採取する必要がある、簡易な点検にはならない。そこで、ドリル粉などによる測定では、かぶり部分の平均的な塩化物イオン量を測定し、鉄筋を腐食しているか、今後腐食させる可能性が高いと判断された場合に、詳細調査で検討する手順とする。

最初の点検の段階では、ドリル法で簡易な塩化物イオンの測定を行うこととする。写真-3.13 は、簡易塩化物イオン測定装置（クロキット）である。写真-3.14 は、ドリルにより塩化物イオン測定用の試料採取の状況である。

なお、この方法によると採取したドリル粉の中の骨材量により誤差を大きくする可能性が高いため、小径コア（写真 3.15）を採取し、モルタルの部分の粉体により測定する方法がある。写真-3.16 は、コア採取の状況、図-3.8 は測定結果の一例である。

最初の点検の段階では、ドリル法で簡易な塩化物イオンの測定を行うこととする。写真-3.13は、簡易塩化物イオン測定装置（クロキット）である。

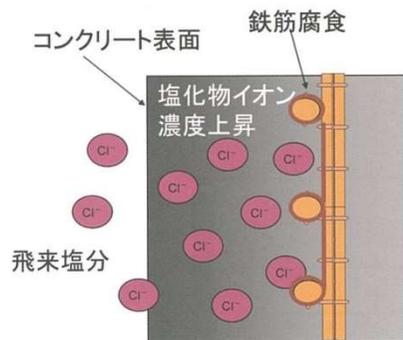


図-3.7 塩化物イオンの侵入の概念



写真-3.13 簡易塩化物イオン測定装置

【参考】小規模橋梁の簡易点検要領（案） pp.38 参考資料

塩化物イオン濃度簡易測定

◆塩化物イオン濃度簡易測定

塩化物イオン濃度を簡易的に測定する方法として、簡易測定キット「クロキット」を用いる方法があり、下記にカタログ資料を掲載する。

硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験キット

クロキット®

昨今、既設コンクリート構造物の適切な維持管理を通じ、供用期間中における耐久性能を良好な状態に保つ事が特に重要視されています。この為には、適切な時期に既設構造物の劣化診断を実施し、必要に応じた補修・補強等の保全を施す必要があります。

クロキットは劣化診断項目の一つである塩化物含有量の診断時において、これまで豊富な実績を有す【フレッシュコンクリート中の塩化物含有量測定計 カンタブ】を用い、躯体の損傷を最小限に留め、現場での評価を可能とした極めて簡便で経済的な硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験キットです。

製品概要

【本体キット】



【測定キット一式】

- 測定器…カンタブ低濃度品(1箱)
- 薬品…試薬1(12包) / 試薬2(12包) / 精製水(1本)
- 器具…反応管(12個) / デスカップ(12個) / ろ紙(1箱) / pH試験紙(1巻)
- 器具…乳鉢 / ペット / 箸 / ピンセット / 小型電子天秤 / ストップウォッチ / ゴール / ゴム手袋 (各1個)



※クロキット消耗品については、別売可也です。



※写真は一部、現物とは異なる場合があります。

主な特徴

- 現場における測定作業が容易
硝酸等の薬品や温水等による試料調整が不要であり、本体キット一式とドリル削孔粉や微粉砕粉等の試料があれば現場での煩わしい試料調整も要せず、カンタブを用いた簡便な測定が可能です。
- 軽量かつ電源不要で優れた携行性
本体キットは、片手で持ち運び可能で機動性に優れ、電源も不要であり測定する場所を選びません。
- 測定試験の迅速化及び結果の安定性と高い経済性
精密分析 (JIS A 1154) のような試験委託が必要なく、測定者による個人差も生じず迅速に結果が得られ、消耗品セットの追加により1試料あたりの試験費用が安価です。
- ドリル削孔による少量の試料で全塩化物イオン量の測定が可能
標準試料量が5gとごく少量であり、試料採取に伴う対象構造物の損傷及び現場の規制時間を最小限に留められます。また、有機酸による抽出過程を通して、全塩化物イオン量の測定が可能です。

測定手順

- 1 試料の粉砕
乳鉢を用い微粉砕
- 2 試料の計量
粉砕試料を5g計量
- 3 精製水の計量
精製水を20g計量
- 4 試薬1の溶解
精製水に試薬1を投入後、箸とろしせ溶解
- 5 試料の投入
試薬1水溶液を試料に投入後、発生するガスを抜く (1分間静置)
- 6 反応
反応管を10秒間静置した後、蓋を締めてガスを抜く操作を5回繰り返し、10分間静置後、pHを確認 (pH7以下)。ここで、pH7を超えた場合は、試薬2を再度投入してpH7以下になるよう調整。
- 7 試薬2の投入
反応管に試薬2を少しずつ投入後、発生するガスを抜く (1分間静置)
- 8 試料の中和
反応管を10秒間静置した後、蓋を締めてガスを抜く操作を5回繰り返し、10分間静置
- 9 ろ過
ろ紙とろしにより試料をろ過し、計測器 (pH6~8程度) のpHを下方を場合、試薬2を再度加えて半量のpH値を繰り返してろ過
- 10 測定
ある程度ろ過が確保された後、カンタブによりろ過の塩化物イオン濃度を測定 (測定後カンタブの余剰水は確実に取り出す)

測定手順参考動画へアクセス
<https://youtu.be/7iWYAiHCDI>

換算方法及び測定範囲

カンタブの測定結果 (読み値) から [溶液、細骨材用] 換算表による塩化物イオン濃度を用いて次式により算出する。

換算方法

$$\text{硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度 (\%)} = \frac{\text{換算表から求めた塩化物イオン濃度 (\%)} \times 20\text{g (精製水量)}}{3\text{本の平均値 (\%)} \times 5\text{g (試料重量)}}$$

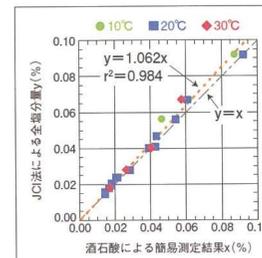
$$\text{コンクリート1m}^3\text{中の塩化物イオン量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度 (\%)} \times 2,300\text{kg/m}^3}{100} \quad \left(\text{硬化コンクリートの単位容積質量を } 2,300\text{kg/m}^3 \text{ と仮定} \right)$$

測定範囲

標準測定方法 (試料5g、精製水20g) により、硬化コンクリート中の以下の範囲における塩化物イオン量が測定可能です。

カンタブ低濃度品を用いた場合 ▶ 約0.4 ~ 6 kg/m³

クロキット (簡易試験方法) 及び JCI 法 (電位差滴定法) による比較実験データ



- 試料及び精製水の質量
粉末試料と精製水の質量比は、1 : 4 が最適
- 試薬の組合せ
粉末試薬には酒石酸、中和剤には炭酸カルシウムの組み合わせが最適
- 簡易測定法の適用性
フリーデル氏塩を含む全塩分量測定結果が、環境温度10~30℃においてJCI法による測定結果と概ね符合し、有効性が確認

【出典元】
太田達見ほか：酒石酸を用いた硬化コンクリート中の塩化物簡易測定法、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.1、2004

【参考】ドリル削孔による試料採取方法（案）

①採取箇所の選定

鉄筋位置の確認後、数十mm離れた3箇所以上を削孔し、混ぜ合わせ1サンプル

②ドリルビット径

10～30mm

【参考】ドリルビット径及び深さ別削孔粉採取量

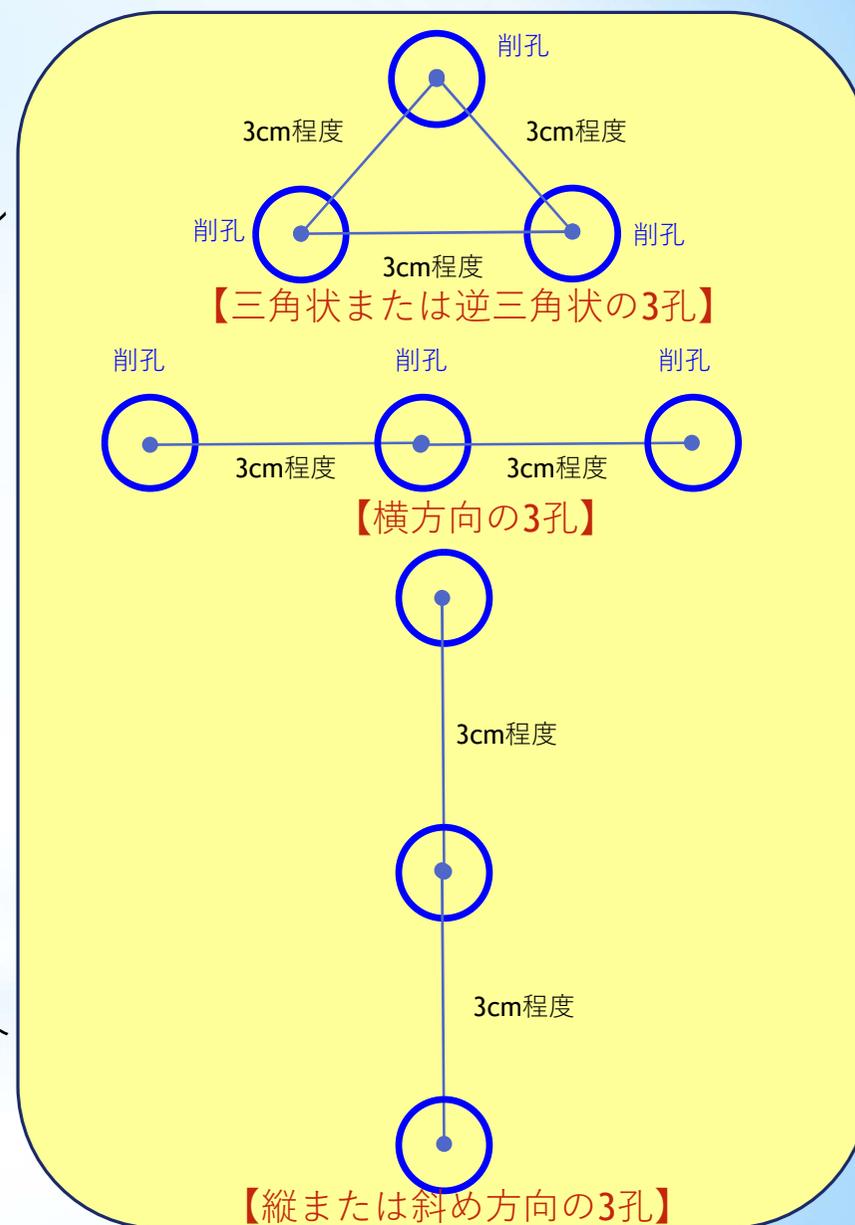
ドリルビット径 (mm)	削孔深さ (mm)				
	10	20	30	40	50
10	1	3	5	6	8
15	4	7	11	14	18
20	6	13	19	25	31
25	10	20	29	39	49
30	14	28	42	57	71

③深さ方向分布確認

同一深さの3箇所以上の削孔粉を混ぜ合わせ1サンプル

④試料回収方法

ドリルカバー、集塵機付ドリル、サイクロン式集塵機等の使用



3箇所とした場合の削孔例