

PC グラウトの耐久性に関する実験 —塩化物イオンおよび残留空気と鋼材腐食の関係—

二井谷 教治*1・徳光 卓*2・野島 昭二*3・宮川 豊章*4

1. はじめに

ポストテンション方式のプレストレストコンクリートにおいて、PC グラウトはその耐荷性および耐久性を確保するために、非常に重要な要素である。その再認識によるここ数年の PC グラウトの発展には目を見張るものがあり、材料、施工および検査など各側面からの開発が進んでいる。それらの技術を効率よく有効に活用し、確実なグラウト施工を行うためには、設計から施工に至る過程での配慮が不可欠となる。このような背景を受け、本誌でも紹介されている「PC グラウトの設計施工指針」(以下、PC グラウト指針)が発刊された。

PC グラウト指針は、PC グラウトの性能を照査して設計するという新しい概念を導入したものである。PC グラウトに対して図-1に示すように、PC 鋼材を腐食から保護する性能および部材コンクリートと PC 鋼材の一体化性能という2つの性能を設定し、塩化物イオン含有量、有害となる残留空気の有無および圧縮強度という3つの指標で照査を行う。PC グラウト規準作成委員会(委員長：池田尚治、(株)複合研究機構、横浜国立大学名誉教授)では、PC 鋼材を腐食から保護する性能を確保するための照査指標となる、塩化物イオン含有量の制限値および有害となる残留空気の定義を設定するにあたり、実験検討ワーキンググループを組織し独自に実験を行ったので紹介する。

2. 塩化物イオンと鋼材腐食に関する実験

一般に鋼材は、PC グラウト中のように高アルカリ環境下ではその表面に不動態皮膜と呼ばれる緻密で安定した酸化皮膜が形成され、腐食から保護される。ところが、PC グラウトに塩化物イオンなどの腐食性物質が有害量以上存在すると、この不動態皮膜の形成や維持が阻害され、PC 鋼材が

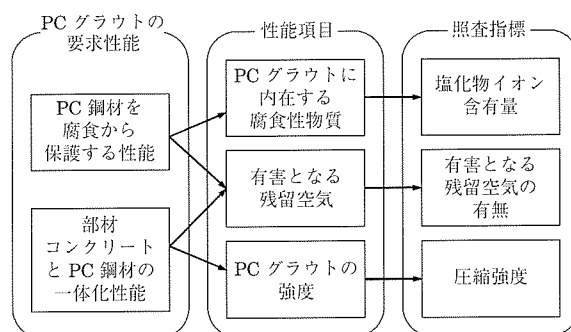


図-1 PC グラウト指針における照査指標

腐食する危険性が增大する。

PC グラウト中に塩化物イオンが存在する原因としては、製造初期からグラウト材料によってもたらされるものと、塩害環境下などにおいて構造物の外部からコンクリートを通して侵入するものがある。このうち、外部から侵入する塩化物イオンについては、かぶりコンクリートやポリエチレンシースなどの PC グラウトの周囲にある構成要素により防ぎ、グラウトには到達させないことが基本である。したがって、鋼材の耐久性を確保するためには、PC グラウトに製造時初期から含まれる塩化物イオンの量を規制することが必要となる。

2.1 塩化物イオンに関する従来規準

わが国においては、土木学会で塩化物イオン含有量に関する規定があり²⁾、PC グラウトに含まれる塩化物イオン量の許容値は 0.3 kg/m³ 以下となっている。

一方、セメントでは、2003 年に JIS の改訂が行われ、普通ポルトランドセメントに含まれる塩化物イオンの規格値が、それまでの 0.02 % 以下から 0.035 % 以下に緩和された。PC グラウトの単位セメント量は、標準的な配合で 1 305



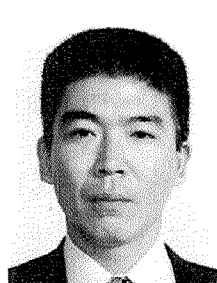
*1 Kyoji NIITANI

オリエンタル建設(株)
技術研究所 主任研究員



*2 Suguru TOKUMITSU

(株)富士ビーエス 技術本部
技術開発グループ グループ
リーダー



*3 Shoji NOJIMA

中日本高速道路(株) 保全・
サービス事業部保全チーム



*4 Toyoaki MIYAGAWA

京都大学大学院 工学研究科
社会基盤工学専攻教授 工学
博士

kg/m³程度であり、セメントに規格値上限の塩化物イオンが含まれていたとすると、それだけでPCグラウト中の塩化物イオン量は0.46 kg/m³となり、容易に土木学会の規制値を超えることになる。

ところで、海外の規準はどうであろうか。表 - 1 は、各国のPCグラウトの塩化物イオンに関する規制値について比較したものである。わが国の規制値は、PCグラウトに含まれる総量で規定されているのに対して、アメリカおよびヨーロッパではセメント従量（単位セメント量に対する質量比、 $C \times \text{mass} \%$ ）で規定されている。さらに、これらの規制値をわが国同様にPCグラウトの総量に換算すると、1.04 kg/m³および1.31 kg/m³となり、わが国よりはるかに緩やかな規制値であることがわかる。

表 - 1 各国のPCグラウト中の塩化物イオン量規制値

地域	規準類	規制対象	規制値	参考値
日本	JSCE	グラウト総量	0.3 kg/m ³	$C \times 0.023 \%$
アメリカ	ACI 318	セメント従量	$C \times 0.08 \%$	1.04 kg/m ³
ヨーロッパ	EN 206	セメント従量	$C \times 0.10 \%$	1.31 kg/m ³

※1) Cは単位セメント量 (kg/m³)
 ※2) セメント従量の場合は $C \times \text{mass} \%$ (対セメント質量比)
 ※3) グラウトの単位セメント量は $C = 1305 \text{ kg/m}^3$ と仮定

さらに、コンクリートやモルタル中での鋼材の発錆は、鋼材が接する空けき水中の自由塩化物イオン濃度 $[Cl^-]$ と自由水酸化イオン濃度 $[OH^-]$ の比、 $[Cl^-] / [OH^-]$ に依存することが知られている³⁾。このことから、同様にセメントを用いた混合材料であるPCグラウト中における鋼材発錆も $[Cl^-] / [OH^-]$ に依存すると考えてもよさそうである。一般的な配合のコンクリートやPCグラウトであれば、 $[OH^-]$ は単位セメント量に比例することから、塩化物イオン量の規制値は、単位セメント量に対する質量比で表すほうが合理的であると考えられる。

このような背景を受け、鋼材腐食に影響をおよぼすPCグラウト中の塩化物イオン量を明らかにするため、供試体を用いて実験を行った⁴⁾。

2.2 実験概要

塩化物イオンによる鋼材の発錆限界を検討するため、塩化物イオン濃度が異なるPCグラウト中にPC鋼材を配置した供試体を作製した。供試体は図 - 2 に示すように、透明ポリ塩化ビニル (PVC) 管を用いてPCグラウトの中心にPC鋼棒φ23 (SBPR 930 / 1080) を配置したもので、PCグラウトのかぶり厚は6 mmである。

実験に用いたPCグラウトは、水セメント比が45%の高粘性タイプとし、PCグラウト中の塩化物イオン量が表 - 2 に示す8種類の塩分水準となるよう塩化ナトリウムで調整した。作製した供試体は、各塩分水準とも3体以上で、PCグラウト中の塩化物イオンの溶出および炭酸化による塩化物イオンの濃縮をできるだけ起こさないよう、20℃の室内

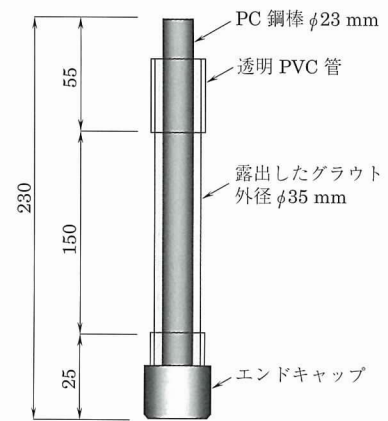


図 - 2 供試体の形状寸法

に設置した湿気箱の中に密閉して養生した。

鋼材の腐食程度は、自然電位および分極抵抗の電気化学的測定によって非破壊的に経時変化を観察した。測定は、供試体を飽和水酸化カルシウム溶液に浸漬した状態で行い、分極抵抗の測定は直流法を基本として行った。また、一部の供試体は、電気化学的測定の結果に変化があったのちに解体し、鋼材の腐食状況を直接観察した。

2.3 実験結果

(1) 自然電位

材齢約1.5年までの自然電位の測定結果を図 - 3 に示す。自然電位の測定値は、全体的には材齢の経過により若干貴な方向（正の方向）へ移動し、長期材齢（546日）においては、大別して2つのグループに分類できる。すなわち、塩分水準が $C \times 0.02 \sim 0.6 \text{ mass} \%$ では自然電位が $-300 \sim -380 \text{ mVvsCSE}$ (対銅硫酸銅電極)、 $C \times 1.2 \sim 2.4 \text{ mass} \%$ では $-470 \sim -610 \text{ mVvsCSE}$ となった。図中にASTM C 876による目安⁵⁾を示すが、これによれば塩分水準が $C \times 0.6 \text{ mass} \%$ 以下ではほぼ不確定領域、同 $C \times 1.2 \text{ mass} \%$ 以上で腐食領域と判定される。また、初期材齢で経過とともに電位が貴となる要因としては、セメントの水和

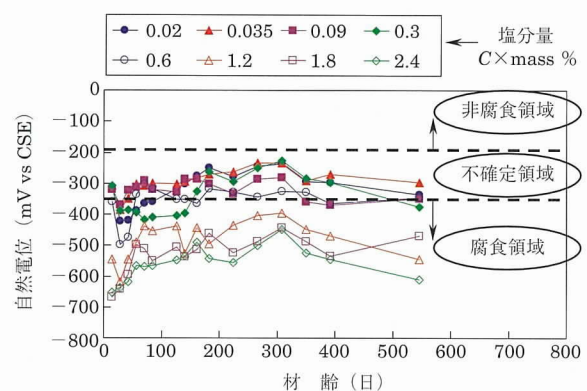


図 - 3 自然電位の経時変化

表 - 2 実験に用いたPCグラウト中の塩化物イオン量の水準

セメント従量 ($C \times \text{mass} \%$)	0.02	0.035	0.09	0.3	0.6	1.2	1.8	2.4
グラウト総量 (kg/m ³)	0.3	0.5	1.2	3.9	7.8	15.7	23.5	31.3

に伴い塩化物イオンの固定化が進むとともに、水酸化物イオン濃度は若材齢においてわずかに増加し、鋼材の発錆の指標である塩化物イオン濃度 $[Cl^-]$ と水酸化物イオン濃度 $[OH^-]$ との比である $[Cl^-] / [OH^-]$ が低下するためであると考えられる。

(2) 分極抵抗

分極抵抗の測定結果を図 - 4 に示す。自然電位の場合と同様に、全体的には材齢の経過とともに分極抵抗は増加する傾向にある。長期材齢における分極抵抗の値は、大きくは自然電位の測定結果に対応した2つの領域に分かれる。すなわち、塩分水準が $C \times 1.2 \text{ mass \%}$ 以上では $1\,000 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下で、もう1つは、塩分水準が $C \times 0.6 \text{ mass \%}$ 以下の領域では $2\,000 \sim 3\,200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ の値を示した。さらに、これらの塩分水準についてはおおむね、分極抵抗は材齢1年程度まで上昇傾向にあり、不動態被膜が継続的に生成されたものと考えられる。

これら、電気化学的な測定結果の相対的な比較から、コンクリートに含まれる塩化物イオン量が $C \times 0.6 \text{ mass \%}$ 以下であれば、鋼材は腐食しにくい環境にあるといえる。

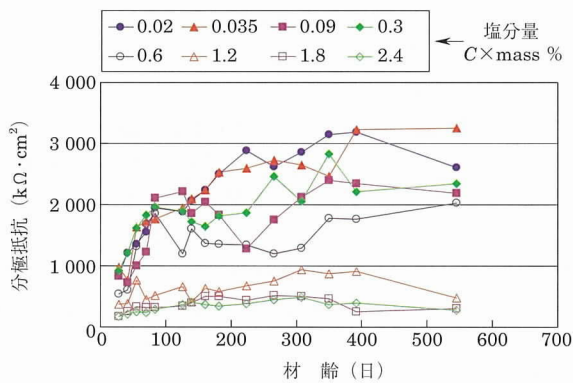


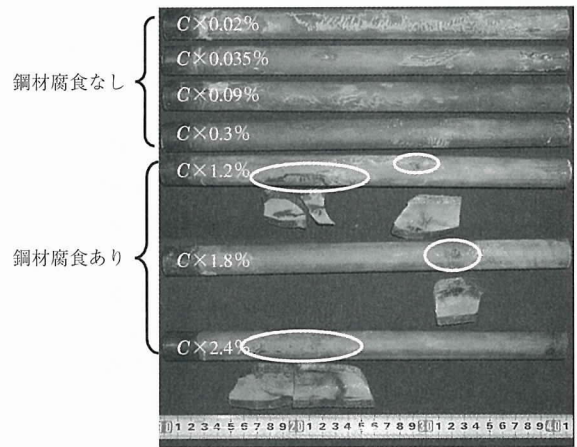
図 - 4 分極抵抗の経時変化

(3) 解体調査

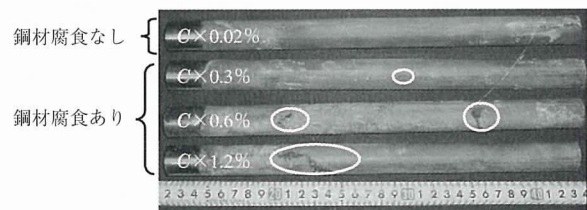
材齢 231 日および 420 日において、PC 鋼材の腐食状況を確認するため解体調査を行った。材齢 231 日では $C \times 0.6 \text{ mass \%}$ の塩分水準を除く 7 水準の供試体を 1 体ずつ、材齢 420 日では $C \times 0.02, 0.3, 0.6, 1.2 \text{ mass \%}$ の 4 水準の供試体を 1 体ずつ解体調査した。PC グラウトから取り出した PC 鋼材の状況を写真 - 1 に示す。材齢 231 日では、鋼材の腐食状況は塩分水準に応じて 2 つのグループに区分できる。 $C \times 0.3 \text{ mass \%}$ 以下の塩分水準ではいずれも発錆は認められず、 $C \times 1.2 \text{ mass \%}$ 以上の塩分水準では局所的な発錆が確認され、電気化学的な測定の結果と一致した。材齢 420 日では、 $C \times 0.3$ および $C \times 0.6 \text{ mass \%}$ の塩分水準でも局所的な発錆が確認されたが、 $C \times 0.3 \text{ mass \%}$ では、注視しなければ見逃す程度の小さなものであった。これらのことから、PC グラウト中における鋼材腐食発錆限界の塩化物イオン量は、 $C \times 0.3 \text{ mass \%}$ 程度であると考えられる。

3. 残留空気と鋼材腐食に関する実験

鋼材を高アルカリ環境下において腐食から保護するため



(a) 材齢 231 日における解体後の PC 鋼材の状況



(b) 材齢 420 日における解体後の PC 鋼材の状況

写真 - 1 解体後の PC 鋼材の状況

には、ダクトにできるかぎり PC グラウトを充てんしなければならない。さらに、PC グラウトの充てんが不十分な場合には、橋面から浸透した水や塩化物による鋼材腐食も懸念される。現在、PC グラウトは材料の改良や施工方法の改善によって、ほぼ 100 % に近い充てんが可能となってきているが、いまだ PC グラウトの充てん度を外部から非破壊的に確実に検査できる方法は確立されておらず、また、現在でもシース中に小さな空けきが残されることが避けられないこともまた事実である。

このような状況から、PC グラウト指針では、鋼材に有害とならない範囲の空けきがダクトに残留することは許容することとし、実験により有害となる残留空気の定義を検討した⁶⁾。実験は、空けき内部の環境条件と鋼材腐食との関係を明らかにすることにより、PC 鋼材の耐久性確保に関する指標を得ることを目的とした。

3.1 実験概要

(1) 供試体

空けき部の鋼材腐食の測定では、空気が絶縁体であるため、自然電位測定や分極抵抗測定などの一般的な電気化学的手法が適用できない。そこで分割鋼板供試体を用い、分割鋼板間に流れるマクロセル電流を評価指標として用いるものとした⁷⁾。分割鋼板供試体は SS400 の $15 \times 32 \times 3 \text{ mm}$ の鋼板 9 枚で構成し、各鋼板には 2 本のリード線を接続した。分割鋼板供試体は、密封可能なアクリル製の円筒内にセットして用いた。図 - 5 に供試体の概要を示す。アクリル円筒はシースを模したものであり、上部にグラウト注入孔と排気孔を設けた。なお、分割鋼板の上から下に向かって PL-1 ~ PL-9 と呼ぶこととする。

実験に用いた PC グラウトは、水セメント比 43 % の高粘

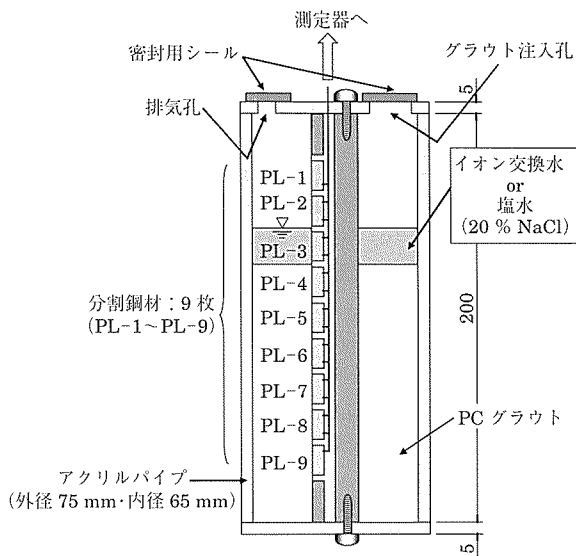


図-5 分割鋼板の供試体への設置概要

性グラウトとした。供試体の種類を表-3に示す。実験水準は空げきの有無および空げきの環境条件とした。完全供試体では、すべての鋼板が隠れるまでPCグラウトを充てんした。空げきを有する供試体は、PL-4が隠れるまでPCグラウトを充てんし、PL-3より上部は空げき部に露出させた。空げき部の腐食因子として、空気、水、塩化物を考慮した。空気の供給条件は、供試体上部の注入孔と排気孔の閉塞あるいは解放条件により変化させた。空げき部への水や塩水の供給はグラウト充てん14日後に行った。水はイオン交換水とし、塩水はシース中に浸透した融氷剤の濃縮を考慮して20% NaCl水溶液とし、おのおのPL-3が隠れるまで注入した。供試体数は各条件2体×7水準の計14

体とした。

(2) 長期暴露実験

供試体は20℃ 90% RHの恒温室中に暴露し、鋼材の腐食程度の評価は、継続的なマクロセル電流の自動計測および定期的な腐食状況の観察によって行った。マクロセル電流の測定は、鋼板に接続したリード線をリレースイッチとスイッチボックスを介して静ひずみ計に接続して行った。マクロセル電流密度は対象とする鋼板の両端から流入・流出する電流を合計し、鋼板の表面積で割ることによって算出した⁷⁾。なお、数値はアノード電流を正、カソード電流を負で表した。

3.2 実験結果

(1) マクロセル電流密度

アノード電流密度はマクロセル電流による鋼材の腐食減量と相関がある。ここで、アノード電流密度の時間積分値を積算電流密度と定義する。各空げき環境における積算電流密度が大きな供試体各1体を選び、積算電流密度とグラウト充てん後の経過時間の関係を図-6に示す。空げきに水・塩水を注入していない閉塞-1、開放-1供試体の積算電流密度はグラウト充てん7130時間後において、おのおの157、124 $\mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ であった。図示していないが、同時間における完全供試体の積算電流密度は181 $\mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ であることから、空げきに水・塩水を注入していない供試体のマクロセル腐食量は、PCグラウトを完全に充てんした供試体と同等と考えられる。

また、イオン交換水を注入した供試体のうち、空げきを開放した開放-水-1供試体では、水を注入してから150時間後（グラウト充てん約500時間後）の積算電流密度は700 $\mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ 程度となったが、その後の積算電流密度の増加はわずかであった。空げきを閉塞した閉塞-水-1

表-3 供試体の種類

		供試体の名称 (各2体)						
		完全	閉塞	閉塞-水	閉塞-塩	開放	開放-水	開放-塩
空げきの有無		なし	あり	あり	あり	あり	あり	あり
腐食因子供給条件	酸素	×	閉塞	閉塞	閉塞	開放	開放	開放
	水	×	なし	あり	あり	なし	あり	あり
	塩化物	×	なし	なし	あり	なし	なし	あり

※供試体番号は実験水準を表す各供試体名称の後に-1、-2のような枝番を付して表す。

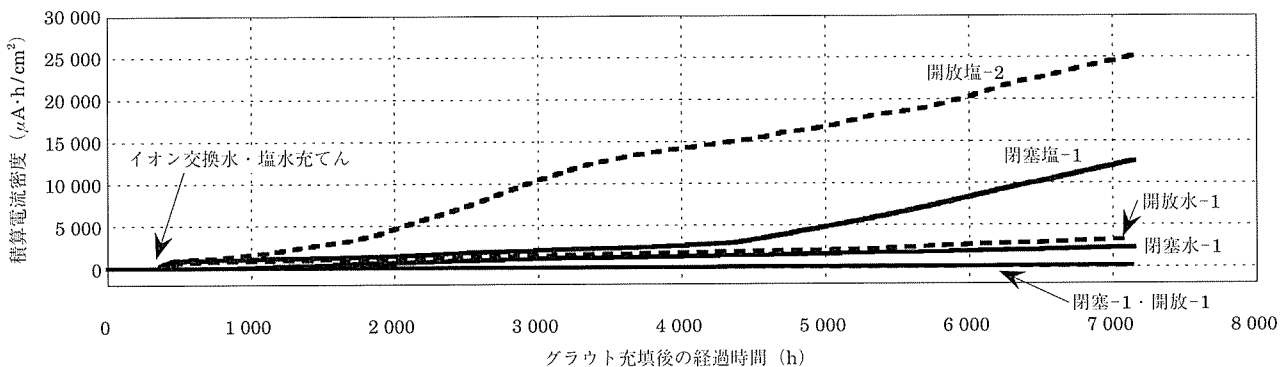
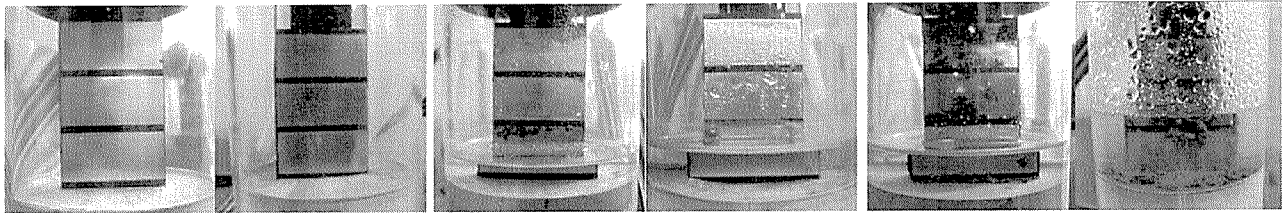


図-6 積算電流密度とグラウト注入後の経過時間の関係



(a) 閉塞-1 (b) 開放-1 (c) 閉塞-水-2 (d) 開放-水-1 (e) 閉塞-塩-1 (f) 開放-塩-1

写真-2 供試体作製後 351 日における分割鋼材の腐食状況

供試体では、イオン交換水注入直後の急激な電流増加はなく、時間とともに積算電流密度が増加した。グラウト充てん 7 130 時間後の積算電流密度は、閉塞-水-1 供試体が $2\,332\ \mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ 、開放-水-1 供試体が $3\,285\ \mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ であった。

塩水を注入した供試体では、塩水注入直後における電流密度の急増とともに、グラウト充てん 1 000 ~ 3 000 時間後付近（塩水注入 600 ~ 1 600 時間後）において積算電流密度の勾配増加が認められ、その勾配はイオン交換水を充てんしたものより急であった。グラウト充てん 7 130 時間後の積算電流密度は、閉塞塩-2 供試体が $12\,610\ \mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ 、開放塩-2 供試体が $25\,197\ \mu\text{A} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ であり、イオン交換水を注入した場合に比べて 4 ~ 10 倍程度となった。

(2) 分割鋼材の腐食状況

写真-2 に供試体作製後 351 日における分割鋼材の腐食状況を示す。なお、グラウトを完全充てんした供試体は、まだ解体調査を行っていないので、残りの 6 水準の各 1 体ずつについて腐食状況を掲載した。

分割鋼材の腐食状況は、マクロセル電流の測定結果と同様の傾向を示した。PC グラウトが完全に充てんされていなくても、空げきに水や塩化物が存在しなければ、空げきが閉塞されているかいないかにかかわらず、鋼材はまったく腐食しない。ところが、空げきに水が存在すれば、空げきが閉塞されているかいないかにかかわらず、鋼材は腐食する。ただし、腐食の程度はわずかである。さらに、溜まった水の中に塩化物が存在すれば、鋼材は激しく腐食する。

以上の結果から、グラウト充てんにともなってダクトに残留する空げきに関して、鋼材を腐食から保護する観点からの有害とならない空隙は、その大きさにかかわらず乾燥していることと定義できる。

4. 実験結果の性能照査指標へのフィードバック

冒頭の図-1 において紹介したとおり、PC グラウト指針は性能照査型の指針であり、PC 鋼材を腐食から保護する性能と部材コンクリートと PC 鋼材の一体化性能という 2 つの性能を確保するため、塩化物イオン含有量、有害となる残留空気の有無および圧縮強度という 3 つの指標で照査を行う。このうち、上述の実験結果を考慮して、塩化物イオン含有量の制限値および有害となる残留空気の定義を設定したので、その根拠などについて述べる。

4.1 塩化物イオン量の制限値

PC 鋼材を腐食から保護する性能を満足するためにまず重

要なことは、練り混ぜられた PC グラウトに腐食性物質が有害量存在しない品質を有していることである。PC グラウトに内在する腐食性物質に関して、海外の指針では、PC グラウト中に硝酸塩、チオシアン酸塩などが含まれないことを規定する例もあるが、これは、それらの成分が応力腐食割れや水素脆性のような遅れ破壊を引き起こす可能性があるためである。PC グラウト指針においてもこれらの成分が PC グラウトのプレミックス材およびグラウト混和剤に含まれないことを確認することとし、腐食性物質に対する照査指標としては、従来どおり PC グラウト中の塩化物イオン含有量のみ限定してよいこととした。

塩化物イオンと鋼材腐食に関する実験では、PC グラウト中における鋼材腐食発錆限界塩化物イオン量は、 $C \times 0.3\ \text{mass}\%$ 程度であった。一方、コンクリートに対しては一般的に、鋼材腐食発錆限界塩化物イオン量は $1.2\ \text{kg}/\text{m}^3$ と考えてよいとされている⁸⁾。両者を比較して示したのが表-4 である。たとえば、コンクリートの単位セメント量を $400\ \text{kg}/\text{m}^3$ と仮定すると、PC グラウトの単位セメント量はコンクリートの 3.3 倍である。PC グラウトに対する鋼材腐食発生限界塩化物イオン量を総量換算すると、 $3.9\ \text{kg}/\text{m}^3$ となり、コンクリートの $1.2\ \text{kg}/\text{m}^3$ に対して 3.3 倍となり、単位セメント量の比に一致する。逆に、鋼材腐食発生限界塩化物イオン量をセメント従量と比較すると、コンクリートと PC グラウトとの比は 1 : 1 となり、鋼材の発錆は、鋼材が接する空げき水中の自由塩化物イオン濃度 $[\text{Cl}^-]$ と自由水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ の比、 $[\text{Cl}^-] / [\text{OH}^-]$ に依存するとする過去の研究結果³⁾とも整合する。

表-4 鋼材の腐食発生限界の比較

	単位セメント量 (kg/m^3)	鋼材腐食発生限界塩化物イオン量	
		総量 (kg/m^3)	セメント従量 ($C \times \text{mas}\%$)
コンクリート	400*	1.2	0.3
グラウト	1 305	3.9	0.3
比	1 : 3.3	1 : 3.3	1 : 1

*コンクリートの単位セメント量の例

このような結果を受け、PC グラウト指針では、PC グラウトに内在する塩化物イオン量の制限値を $C \times 0.08\ \text{mass}\%$ に規定した。これは、単に今回の実験結果からの判断だけではなく、表-1 に示した海外の規準類の規制値（欧州の EN 206、 $C \times 0.1\ \text{mass}\%$ や北米の ACI 318、 $C \times 0.08\ \text{mass}\%$ ）、さらに、わが国において実際に塩害を受けた実橋の詳細な調査結果⁹⁾などを参考にし、総合的に評価

して決定したものである。この規制値は、今回の実験による PC グラウト中における鋼材腐食発錆限界塩化物イオン量である $C \times 0.3 \text{ mass } \%$ に対して、安全率は 4 程度であり、これにより、PC グラウトに要求する耐腐食性を満足すると判断したものである。

4.2 有害となる残留空気の定義

PC 鋼材を腐食から保護する性能を満足するためにもうひとつ重要なことは、ダクトの空げきをできるだけ PC グラウトで充たし、腐食性物質をダクトから排除して、有害となる残留空気を残さないことである。ここで、注意が必要なことは、残留空気は図 - 1 にも示したように、部材コンクリートと PC 鋼材の一体化性を確保するための指標でもあることである。ダクト内の空げきをグラウトで充てんすることによって、はじめて部材コンクリートと PC 鋼材との付着を得ることができるためである。

照査指標としては、残留空気量の制限値を設定できれば合理的であるが、耐腐食性と付着伝達機能両面から定量的な評価が十分なされていないこと、現状では適切な測定方法がないことから、制限値を設定することは難しい。また、従来より安全性を考慮して、「完全に充てん」することが求められてきたが、これまでに行われてきた実物大実験などの結果から、リブを有する一般的なシースにより形成されるダクトに対して、リブの部分までまったく残留空気を生じさせずに PC グラウトを充てんさせることは困難であることが明らかになっている。このため、上記の 2 つの要求性能を満足するためには、ダクトに残留する空気がまったくない完全な PC グラウトの充てんを必ずしも求めるのではなく、ダクトに残留空気を生じた場合でも、それが有害となる量以下であれば問題ないものとした。

このような現状と今回の実験結果を総合的に判断し、PC グラウト指針では、照査指標として有害となる残留空気の有無を設定した。ダクトに残留する空げきが無害としない条件としては、①空げきが乾燥していること、②独立した空げきであること、③最小限の大きさの空げきであること、の 3 つを考慮した。①は実験結果から得られた鋼材を腐食から保護するための条件であり、実際のグラウト施工ではノンブリーディングタイプの PC グラウトの使用が前提となる。②は実験結果からいえば、開放された空げきであっても鋼材を腐食から保護できることになるが、それはあくまで乾燥状態でのことであり、実際のダクトで外部の環境と絶縁されていなければ、容易に腐食性物質の侵入を許すことになる。③についても、鋼材を腐食から保護する観点からは、空げきの大きさは問題とならないが、部材との一体化性能の観点からはできるだけ小さいことが要求される。

これらの条件から、具体的には図 - 7 に示すように、シース上縁側のリブ断面内に収まる程度の量であれば、有害となる残留空気ではないとみなす。このような場合では、残留空気が生じてその体積は微少であり、かつ離散的に存在することになり、PC 鋼材の腐食や部材との一体化に対して有害な影響を及ぼす可能性はほとんどないものと考えられる。

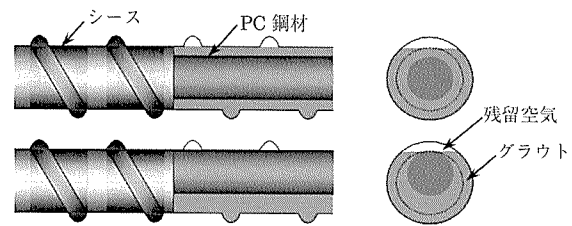


図 - 7 有害でないと定義する残留空気

5. おわりに

PC グラウトについて、鋼材を腐食から保護する観点から実験的な検討を実施し、PC グラウトの設計施工指針に用いる塩化物イオン含有量の制限値、および有害となる残留空気の定義の設定を行った。これらは、あくまで性能を照査するための指標であり、PC グラウト中への塩化物イオンの混入の増大を奨励したり、空げきの残留を安易に認めるものではない。制限値以内であっても PC グラウトに含まれる塩化物イオン量をできるだけ少なく、あるいはダクトに残留する空げきをできるだけ小さくする努力は、PC 鋼材の耐久性向上のためにも重要なことである。

なお、これらの実験は現在も継続中であり、また、設定した照査指標を検証するための新たな耐久性に関する実験も開始している。これらの実験の経過については、べつの機会に報告するつもりである。

最後に、実験ならびに照査指標の設定に対し貴重なご意見を賜ったグラウト規準委員会の委員各位、ならびに実験への協力をいただいた実験検討ワーキンググループのメンバーに対し、ここに記して深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：PC グラウトの設計施工指針，2005
- 2) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，pp.196-197，2002
- 3) 細川佳史，森大介，山田一夫，大竹淳一郎：コンクリート中における塩化物イオンの鋼材発錆限界濃度の表記に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26, No. 1，pp. 909-914，2004.
- 4) 野島昭二，二井谷教治，小林俊秋，宮川豊章：PC グラウトの塩化物イオン濃度と鋼材腐食に関する実験的研究，第 14 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 309-314，2005
- 5) ASTM: Annual Book of ASTM Standards, Section 4 Construction, pp. 434-439, 1995
- 6) 徳光 卓，野島 昭二，山田 一夫，宮川 豊章：グラウト中の空げきが鋼材腐食性に与える影響に関する実験的研究，第 14 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 315-320，2005
- 7) 長滝重義・大即信明・守分敦郎・鎌田敏郎・宮里心一：断面修復部における打継目の物質通過性が鉄筋のマクロセル腐食に及ぼす影響，土木学会論文集 No. 578 / V-37，pp. 31-42，1997
- 8) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，pp.24-28，2002
- 9) 土木研究所：塩害を受けた PC 橋の耐荷力評価に関する研究 (Ⅲ) - 塩害により損傷を受けた PC 鋼材の機械的性質 -，土木研究所資料第 3810 号，2001

【2006 年 1 月 5 日受付】