

# ハイドロフィット工法の解説



## コンクリート構築物の補修、劣化防止対策



Hydrosky

# コンクリート構造物の 保守・再生

アルカリ骨材反応の要因と対策、および改修方法



# コンクリート構造物の 保守・再生



# コンクリート構造物の 保守・再生



# コンクリート構造物の 保守・再生

けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針・案  
(土木学会 コンクリート委員会より抜粋)

社会資本整備におけるコンクリートの役割は極めて大きく、現在までに大量のコンクリート構造物が供給され、人類の繁栄を基礎から支えている。その一方で1970年代後半から1980年代前半にかけて各所で顕在化した、塩害やアルカリシリカ反応等による早期劣化問題を契機として、コンクリート構造物の寿命に対する考え方は一変した。

**けい酸塩系表面含浸剤は、コンクリート中の水酸化カルシウムとの反応により、コンクリートの表面を緻密化させることで、コンクリートの改質を図る材料である。**すなわちコンクリート構造物の耐久性は環境や使用材料によって大きく異なり設計及び施工においては、適切な維持管理を計画的に行っていかなければならないことが明確となった。

(土木学会コンクリート委員会より抜粋)

**ハイドロフィット工法は、コンクリート躯体内で化学的に反応させて強度の回復と安定化を実現できました。**

# コンクリート構造物の 保守・再生

けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針・案  
(土木学会 コンクリート委員会より抜粋)

2011年 3月11日以降の復旧事業や、高速道路トンネル崩落事故の緊急的補修工事もコンクリートの劣化が起因しています。更に進化させたハイドロフィット工法は化学的作用を起こす含浸剤とセメント系粉体との複合工法で、ハイドロ・スカイを躯体への含浸処理後ペースト化したシリカ配合高炉スラグペーストを注入し亀裂箇所または空洞化した部分を飽和させることで、健全なコンクリートに回復させます。また軟弱化した法面や路盤下、基礎下部にこのシリカ配合高炉スラグペーストを注入時に一定時間振動を加えることで、緻密化したコンクリート層を形成し安定固化いたします。これらはコンクリート躯体内に浸透し、アルカリシリカ反応を起こした空隙で、水酸化カルシウムと反応ゲル化し、空隙を充填緻密化し、不足した強度を補うことができます。

## 報告:ケイ酸ナトリウムによるコンクリートの自己修復効果に関する研究

コンクリート工学年次論文より ケイ酸ナトリウムを主成分とする（Hydrosky SKY-SP）含浸剤をコンクリートに混入または含浸した結果、圧縮強度に影響を及ぼすことなく、ひび割れ内の閉塞効果も確認することができた。

また、ひび割れ内部を通過する流量が減少し、被り不足によるひび割れの自己修復効果を有する可能性があることがわかった。コンクリートにひび割れが発生した場合でも、**セメント中の水酸化カリウムが、自由水や浸入した水分を媒体とし、二酸化炭素と反応することにより炭酸カルシウムとなり、ひび割れを充填する効果があるとされる。**また、ひび割れ内部では、浸入した水分でコンクリート自体が膨潤することによりひび割れ幅が小さくなり、微小な割れ欠けとともに**目詰効果によってひび割れの自己修復が進む**とされている。

## セメントペーストの真の強度の測定は極めて困難な試験

W/Cが30%を下回るような配合では、さほど問題にならないがW/Cが大きくなってくると、供試体内部で分離現象が生じ、セメント粒子は下に沈降し、これと反対に水は上昇する。このため、混和剤の使用の有無等で差はあるが、供試体下部ではセメント粒子の沈降・圧密によりセメントリッチな緻密なペースト硬化体となり、供試体上部ではセメント粒子の沈降と水の上昇により、実際のW/Cは上にいくほど増大し、供試体表面部に至ってはW/Cが60%を超えた配合などの場合では、供試体高さの30%あるいはそれ以上の厚さのブリーディング水やレイタンスの様な脆弱層を形成することが多々あります。

また、このブリーディングやレイタンス層の下のペースト層も水分の上昇とセメントの沈降によりW/Cは初期値の値よりも大幅に増加することとなるので、供試体内部のペースト強度は均一でなく、下部が最も強く、上に行くほど強度は低下する。

表面部分ではさらに急激にW/Cが増大し強度の極めて低い脆弱層を形成することになる。



## セメントペーストの真の強度の測定は極めて困難な試験

このため圧縮強度試験に当たっては、この脆弱層やW/Cの大きな部位をどこまで処理して試験を行うかによって、結果は大きく異なることになる。

また、分離は打ち上げ高さにより大きく異なることとなるので、当然φ50mm×100mm供試体で実施したのとφ100mm×200mm供試体で実施したのとでは、後者の方が分離過程は顕著となるので、強度低下の過程は大きくなる可能性は高いと思われる。セメント粒子の沈降は供試体側面で型枠側面の拘束の影響で起こりにくく、拘束の最も小さい供試体中央部分が最もおこりやすくなりますので、強度分布は水平方向でも異なることとなります。このため供試体は均一な応力分布時の破壊のようなキネ形や鼓形には破壊せず、偏載荷や部分載荷時のような縦割れの形状を起こしやすくなるものと考えられます。

これに対し、同一W/Cのコンクリートの場合でも分離は起こりますが、水の分離上昇やセメントの沈降はペーストに近接する細骨材や粗骨材面で阻止されることとなりますので、ペーストの場合ほど極端に供試体上下によるW/Cや組織構成の差は生じませんので大きな強度低下は発生しにくくなります。

## 概要

コンクリート構造物を劣化させる大きな原因は、水が起因するひび割れです。このひび割れに対し、従来の補修工のように、VカットやUカットにより単に接着硬化を図るのではなく、無機質材料による劣化部の改質と補強を目的としたものである。

ハイドロフィット工法は微粉末シリカ配合高炉スラグセメントのペーストを、注入する事により、躯体を一体化し表層処理剤ハイドロ・スカイSKY-G1やSKY-SPにより、浸透性の高い液剤が水より深く浸透し、劣化した表層において吸水防止、遊離アルカリ不溶化、アルカリ強度回復等の防止効果が得られることにより、躯体の一体化、耐久性の向上を図る優れた工法です。この工法は施工範囲が大きい場所でも小さい場所でも同一施工方法で完了します。

### 防水

#### 防水は表面から水を浸透させないための処置

塗装やシートによる。効果はすぐに発揮するが、紫外線劣化による損傷や塗膜の剥がれにより防水が失われる。数年毎の塗装が必要。

### 止水

#### 止水は表面から躯体内部へ水を浸透させないための処置

躯体の劣化や亀裂により水が浸透し、さらにコンクリートを脆弱にして強度さえ脅かす。含浸材の複合処理に因り一体化した躯体は再生される。

# アルカリ骨材反応の要因と対策及び改修方法



## アルカリ骨材反応が起きる条件

アルカリ骨材反応は、コンクリート構造物製造時に起因する場合と、経年外部より供給される。製造時には、コンクリートは本来高いアルカリ性を有しており、アルカリ分を多く含んだセメントや海砂などの使用により、アルカリ濃度が異常に高まり、骨材や祖骨材と化学反応を起こす。反応生成物はアルカリシリカゲルとして吸水すると、コンクリートを膨張させ、ひび割れや強度・弾性係数の異常な低下により劣化現象を引き起こす。外部からは、凍結防止剤や海水の飛沫いわゆる塩化物浸透であり、コンクリートへの水分の供給にも起因する。



## アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化性状

アルカリ骨材反応による劣化が進行すると、コンクリート構造物には、

- 1) ひび割れの発生、
- 2) ポップアウト
- 3) 析出物によるコンクリート表面の汚れ、
- 4) 部分膨張による目地の閉塞、破損、ずれなど外観上の変状がある。

ポップアウトはコンクリート表面近くの骨材粒が膨張し、表面部分のコンクリートが飛び出す。アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張は、鉄筋やP C緊張剤に対して、設計では想定していなかった引張応力を発生させ、場合により鉄筋の破断を起こし、構造物の耐力を低下させる。



## アルカリ骨材反応の診断方法

コアを採取してアルカリ反応性骨材が用いられているか偏光顕微鏡観察によって調べる。確認が出来た場合、コアの促進膨張試験を実施する。反応生成物であるアルカリシリカゲルの存在を確認することは難しい。コンクリート中のアルカリ分の定量も殆ど推量不可能。

# アルカリ骨材反応の要因と対策及び改修方法



## アルカリ骨材反応の防止対策

- ①アルカリ反応性骨材の使用を回避すること、
- ②限界値を超えるコンクリートのアルカリ量、
- ③コンクリートへの水の供給、

いずれかの条件が欠ければアルカリ骨材反応は発生しない。

①の条件を回避することは、国内の骨材事情と流通過程、現場においてアルカリ反応性骨材を判定する方法がない、③の水の供給を断つことも土木構造では困難とされ、②のコンクリート中のアルカリ総量を制限する方法になる。アルカリ総量を  $3\text{kg}/\text{m}^3$  と規定してもアルカリ骨材反応の停止させる方法もないとされている。

以上が小林氏の見解である。

## カルシウムの混和または注入

カルシウムが加わるとカルシウムイオン（プラスイオン）が接着剤となってコンクリート内部で粒子を団粒化させる。このとき、余った水酸化物イオン（マイナスイオン）は重金属類を固定しつつポゾラン反応を誘発させる。強度はポゾラン反応における結晶鉱物の生成に起因するため、長期的に発現する。ポゾラン反応における結晶鉱物は、コンクリート隙間にゲル状となって発生し、周辺の水分と化合しながら結晶化していくため、抱水性が高く、気相（空間）が少ない。したがって、結晶鉱物化が進行するほど強度が増し、透水係数が低くなる。この作用は水中下でもポゾラン反応が進行し、強度の発現がある。

## 含浸工法

含浸系の塗布剤を用い中性化の抑止や、高炉スラグの注入処理により防水処理を行うことで、長期的中性化の予防が可能であり、アルカリ骨材反応の抑制効果も期待できる。打ち継ぎ面のエフロ防止処理や止水処理に、ケイ酸塩系（ケイ酸ナトリウム＋ケイ酸リチウム）の塗布することで、レイタンス処理が可能でありコールドジョイントを抑止する。

また打ち継ぎ面の密着性が高まり、躯体自体の強度も増す。表層部は通常シラン系の含浸剤を用いて撥水効果により保護をするが、紫外線の透過性など現状では数年の効果しか期待できない。これら材料の組み合わせや無機化した変性シリコーンなどのほか、シリコーンのカプリング剤によりハイブリッド化した材料の組み合わせで様々な効果や長期的安定が期待できる。

## ハイドロフィット工法による漏水補修

ハイドロ・スカイSKY-G1は、微粉末シリカ配合高炉スラグセメントSKY-CSPや、セメントに混和することで内部鉄筋の防錆効果があり、重金属類を固定してポゾラン反応を誘発させる。更にSKY-CSPには天然素材のセルロース繊維を分散させることで、圧縮やせん断に対しても追従性が出てきました。SKY-CSPスラグペーストはコンクリートや躯体内部に注入し、バイブレーターや超音波などで振動を加えると、亀裂内部の空隙細部まで充填され、不足したカルシウムを付与し密着強度を上げる。

また、微粒子系セメント等が注入困難な躯体には、液体の方が浸透しやすく、隙間にゲル状に発生または膨張し、水和反応して結晶化していきます。その為通常の結晶体では充填できない隙間を飽和し、抱水性が高く気相が少なく結晶鉱物化が進行するほど強度が増し透水係数が低くなっていきます。これによりエフロレッセンスの防止と凍害、塩害からの保護も可能となります。

## ハイドロフィット工法による漏水補修

ハイドロフィットSKY-G1は、セメント硬化体と骨材粒子とを結合させシリカゲルの抑止効果がある。この硬化反応はポゾラン反応から炭酸化反応と、長期にわたって進むので、自らクラックを復元する作用（治癒性）がある。このSKY-G1は水硬性がなく（気硬性）白色状でもあるので、目視しやすく混合ムラや強度のバラツキが少ない。カルシウムイオンを吸収した処理対象物が、さらに反応して長い間に安定な結晶鉱物を生成しながら硬化する反応をいう。

この反応はアルカリ雰囲気の中でだけ進行する。施工方法として既存コンクリート構造物の中酸化におけるひび割れはSKY-SPを十分含浸させ、ひび割れにSKY-CSPの微粉末シリカ配合高炉スラグセメントをSKY-G1でペースト状に混練りし充填。

表層部分はSKY-MXまたはSKY-CVL（シビルトラスト）を塗布し保護とする。海水の飛沫や酸性雨などから保護防水することで、塩害による中酸化を抑止する。実績として、第十一海上保安本部宮古島沖フデ岩灯台及びヘリポート改修工事の使用材料に、選定されまさに海水にまみれ塩害、中酸化したコンクリートを改修した。（末尾に参考資料）

## ハイドロフィット工法による漏水補修

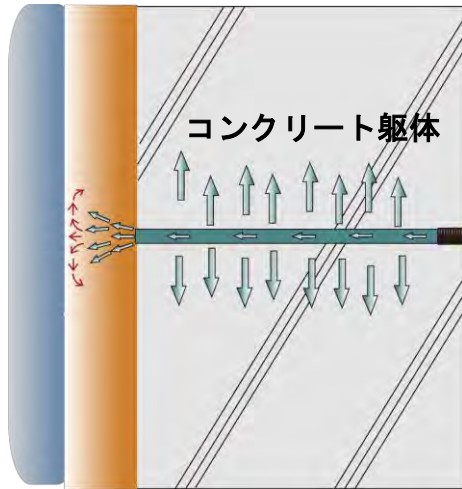
ハイドロフィット工法は、ハイドロスカイ各製品と微粉末シリカ配合高炉スラグセメントや、注入治具を使用する複合工法により、様々な劣化を効果的に防止する。

ハイドロスカイは前文したように、中性化抑止剤としてコンクリート内部の遊離アルカリや無定型シリカと徐々に反応し、非水溶性無機化合物となり反応終結させることで、アルカリ度は安定。シリコン分子は表面や細孔で同じく化学反応を起こし、毛細管内部や水隙、空隙に水の進入をさせない物質に変化させて、コンクリートの保護をする。この工法の特徴は施工部位が大きくとも小さくとも、橋梁や地下構築物など、布設換えや再構築出来ないものに効果的であり、材料の薬害が無く、施工後直ちに使用開始が出来る。

さらに美観の維持や劣化した表層部の補修に着色表現を加えた、SKY-MXC（カラー）による景観保護も併せて、環境保全に繋がり表現の拡大が出来る。



# ハイドロフィット工法注入メカニズム



注プラグは30mm程度先込15mmレンチで固定  
ドリルビットの長さは躯体の厚さや劣化度  
合いに応じ穿孔する。  
空洞化した孔は注入剤の通り道となり放射  
状に注入剤を押し出していく。

注入プラグ側面

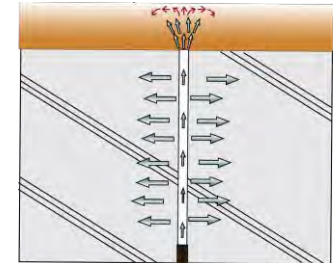
穿孔した孔を經由して  
放射状に拡散する

## ●ケミカルポンプ各種



ハイドロフィット工法は  
あらゆる躯体の状況においても  
的確に補修ができる。  
液状化による地盤改良も可能で  
あり、再生事業の要になりえる  
工法です。

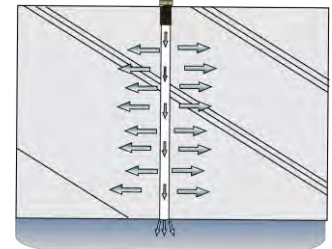
## ●カルバートボックスの漏水注入



注入プラグ上向き



注入プラグ下向き



- 厨房 下階への漏水注入
- 屋上 駐車場の漏水補修

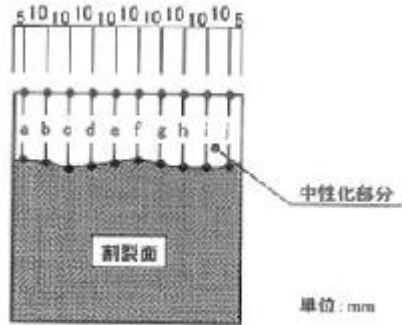
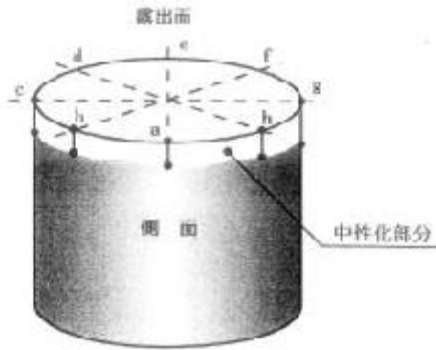
# 浸透性コンクリート改質剤の試験施工

コア供試体中性化深さの測定

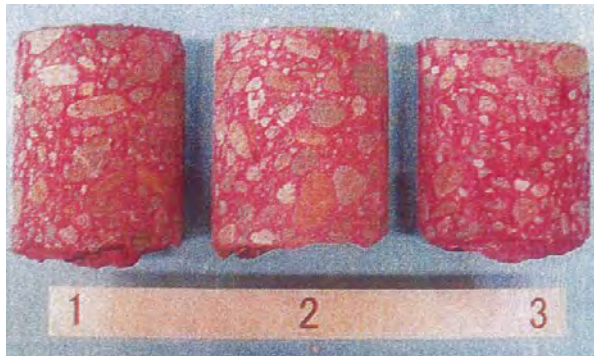
1) 搬入時中性化深さ コア8分割した8箇所

2) 中性化の促進方法及び促進中性化処理後の中性化深さ測定方法

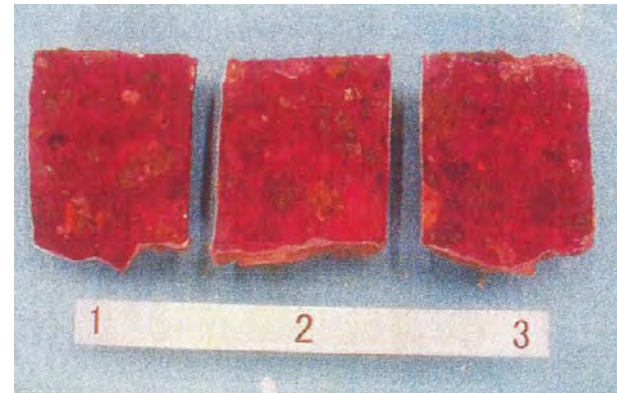
- ・ JIS A1152 に従って促進中性化装置内へ設置して試験開始
- ・ 中性化深さは、促進期間13 修で試験装置から取り出して割裂面10 箇所で測定



コア抜きによる中性化深さの確認



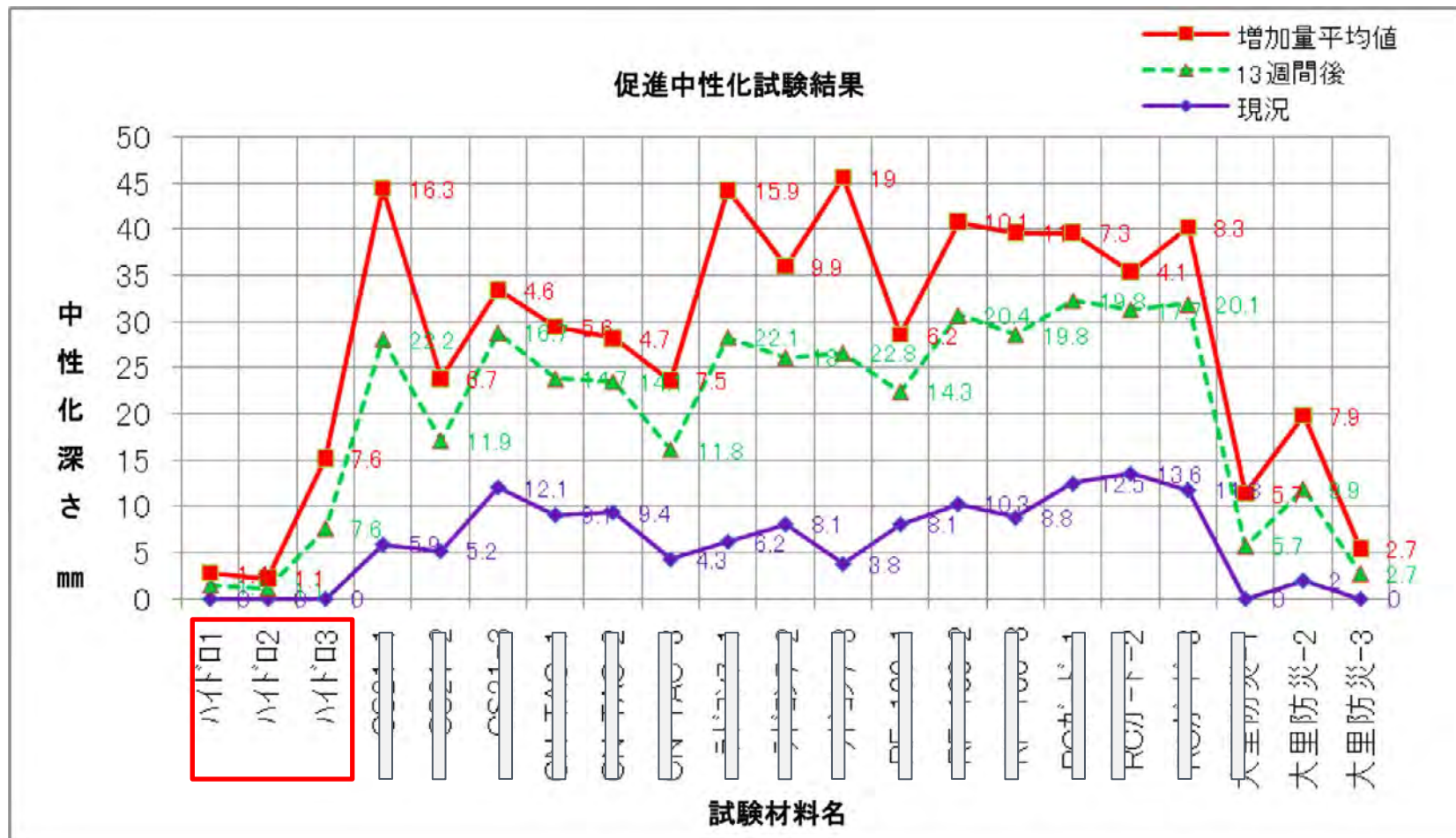
中性化状況 (搬入時)



中性化状況 (促進後)

# 浸透性コンクリート改質剤の試験施工

関東農政局大里農地防災事業所の実施した「浸透性コンクリート改質材の試験施工結果」(H17.3 実施)については以下のとおりです。財団法人建材試験センターにおける促進中性化試験の結果は、以下のグラフのとおりです。グラフより中性化深さが深い程、空気中の二酸化炭素によってコンクリートは中和され、コンクリートのアルカリ性が低下していることとなります。



コンクリート中に水酸化カルシウムが多量に存在しPH12以上の強いアルカリ性を保っている。

## アルカリ骨材反応の原因

- コンクリートのアルカリ骨材反応は、カルシウムのアルカリではなく、骨材に含まれるナトリウムとシリカ（珪素）が反応してゲル状の化合物を生成する。それがアルカリシリカゲルである。そしてアルカリシリカゲルは水分を吸収して膨張する作用をもつ。
- コンクリートの塩害とはコンクリートに含まれる水酸化カルシウムが、大気中の二酸化炭素により、炭酸化する過程で、骨材に含まれる塩分や外部からの塩分の供給により、中心部に移動し濃縮、鉄筋を腐蝕させる作用と言われる。
- コンクリートに見られるツララいわゆるエフロレッセンスは、水酸化カルシウムが雨水などにより溶出し、大気中の二酸化炭素と結合、炭酸カルシウムに変わるものと、炭酸化したコンクリートが酸性雨により溶出（炭酸水素カルシウムに変わる）、大気中に二酸化炭素と水を放出して再度炭酸カルシウムに戻る。前者は酸性雨を前提にしていない（酸性雨の場合、水酸化カルシウムは溶解せずに、炭酸カルシウムとなる）ため、酸性雨を因子とする後者が有力説である。

## アルカリ骨材反応の対策

- ハイドロスカイではコンクリート混和時または打設時に、カルシウム系HT-G1を加えてアルカリ度を安定させる。カルシウムのPHは、溶解度の低い消石灰の水溶液（石灰水または石灰乳）として自然界と関わることになる。自然界は、雨水や土壌が酸性側に傾いているため、アルカリ緩衝作用が働きむしろカルシウムは酸性中和剤としての役割を持つ。したがって意図的かつ集中的に使用しない限り、カルシウムのPHが自然環境で問題になることはほとんどない。
- アルカリ反応性骨材の使用を回避することは現場において困難な場合が多く、打設時や混練時に富アルカリに注意する。
- 含浸系の溶剤や注入剤としても効果的といわれるリチウムシリケートやカルシウム溶液、高炉スラグの複合運用を考慮する。
- 止水処理。これらの材料も透湿性を持った含浸系の撥水剤及び防水剤の使用により、凍結、塩害から保護を目的とする。

鉄筋は不動態被膜に保護されて錆びない。

潮風などによって外部から供給される塩化物イオンや塩化イオンが徐々に内部に浸透する。

コンクリート中の水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）が二酸化炭素と反応して、酸化カルシウムとなりPHが低下していく。

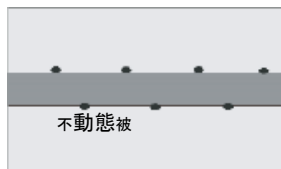
塩化物イオンが徐々に内部へ浸透する。海砂などと一緒に混入した塩化イオン物。

シリカゲルが吸収、膨張してコンクリートにひび割れが生ずる。

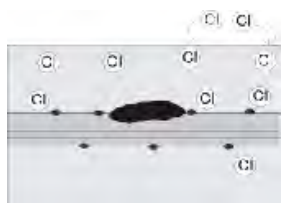
反応性骨材

錆の膨張圧によってコンクリートにひび割れが生ずる。塩化物イオンが不動態被膜を破壊し鉄筋が錆びる。

更に鉄筋が錆び出す



中性化



アルカリ骨材反応

反応性骨材がセメント中のアルカリ成分と反応して、アルカリシリカゲル（吸水膨張性のある物質）を生成する。



塩害



# 東京駅丸の内駅舎工事復原・耐震補強保存東京駅丸の内駅舎

**HYDROSKY®**  
For Professional use



奇麗に装飾されたドーム天井。  
見上げる人々の目の先に、中性化抑止剤  
のハイドロ・スカイがしっかりと、保護  
していると思うと、この先、世紀を超越  
した空間に「ロマン」を感じます。



東京地下鉄(株)国会議事堂前駅現場状況

この周辺は大量に漏水していた箇所です

ハンマードリルで穿孔用の穴を開ける



2本の注入プラグの周辺から水が噴きだしてくる



注入用プラグの取付中、周辺からは水が溢れ出る



この周辺からは毎分20%以上地下水が噴きだす 止水板を外すと地下水が大量に噴きだす



ハイドロ・スカイSKY-G1をケミカルポンプで注入



プラグ固定中に補助員が水を抑える



SKY-SPを注入すると躯体内部で結晶促進する



2次剤ハイドロペーストの準備





注入剤後のプラグオフの確認



手前の透明ホースは地下水のドレーン及びリターン用



大量な漏水は完治、僅かに周辺より地下水が滲み出ている



充填プラグと注入状況



プラグ周辺からの漏水は無くなった



止水後、再漏水した箇所への充填



プラグ周辺からはハイドロペーストのリターンがかえってくる



東京地下鉄(株)国会議事堂前駅現場状況

プラグ跡を樹脂モルタルで充填し完了



**この周辺は大量に漏水していた箇所です**

ハイドロフィット工法による止水は、表面からの含浸と複合材の注入によりの確に、速やかに化学的に漏水を止める事が出来ます。

注入止水工事

注入止水完了後、表面の湿潤下面はハイドロ・スカイ SKY-G1を塗布含浸させ、同様にSKY-SPを含浸させる。SKY-G1は速やかにコンクリートに浸透し、不足したカルシウムを補う。2次材のSKY-SPは急激にカルシウムと反応して、結晶化更に水和反応により水分を分解し表面を乾かせます。



東京地下鉄(株)国会議事堂前駅現場状況



**阿賀野川頭首 工左岸より・施工前**



**阿賀野川頭首工のあらまし**



**施工要領**

洗浄時、事前に汲み置きした河川水で排水養生をしっかりと行い、コケ類、ポップアウトを除去する。  
 劣化防止及び下地調整剤、ハイドロスカイSKY-SPを塗布。塗布量は平均0.2kg/m<sup>2</sup>  
 欠損部やジャンカ部分の補修。微粉末シリカ配合高炉スラグセメントを効果的に使用  
 乾燥後、SKY-MXカラーで色調を整える。（景観保護）  
 防水保護仕上げにSKY-CVLで完成。

**阿賀野川 左岸の魚道**



**阿賀野川 魚道全景**



**阿賀野川頭首 工・施工前**



阿賀野川頭首工 施工前





阿賀野川頭首工 竣工後

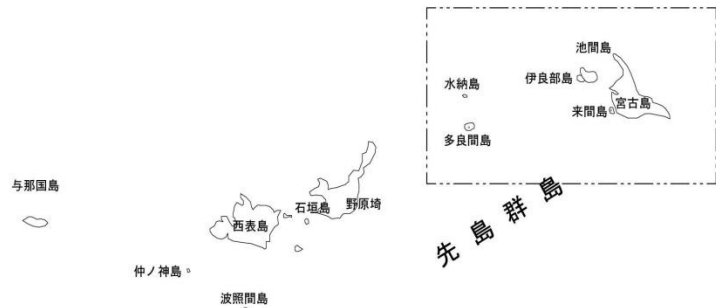




久埴島  
魚釣島

大正島

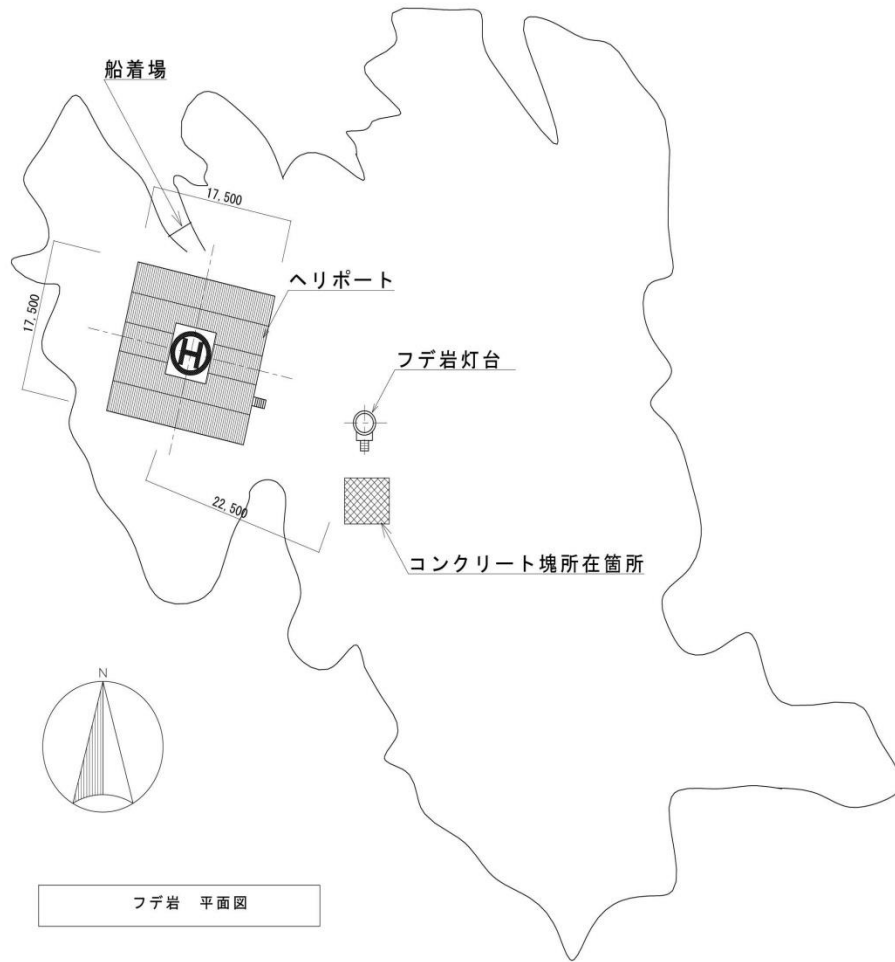
尖閣諸島



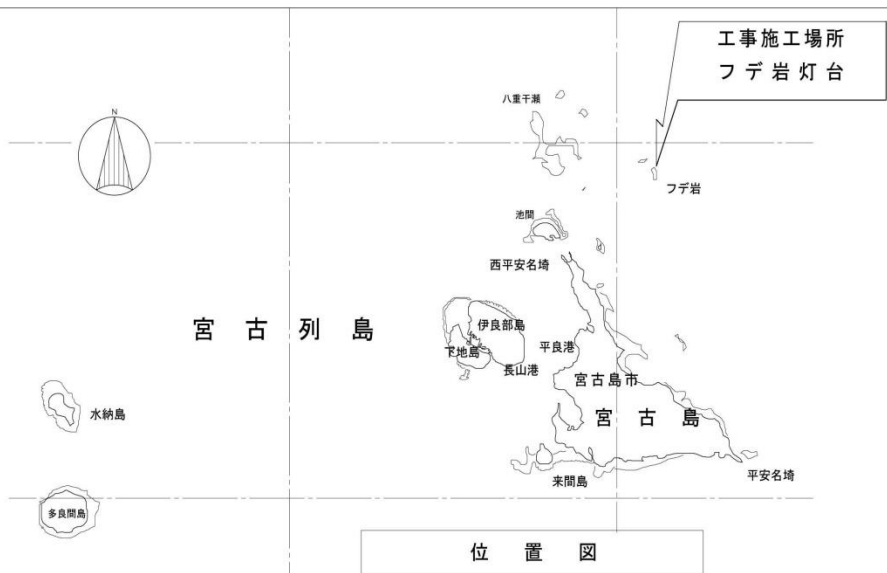
案内図

# HYDROSKY®

## 尖閣諸島・フデ岩灯台劣化保護改修工事



フデ岩 平面図



位置図

平成21年度	[Redacted]	工事名 フデ岩灯台改良改修工事	作成年月	設計	製図	原図	縮尺	図面 案内図・位置図・平面図	図面番号 P-029
			平成21年 7月	y.matsumoto					

尖閣諸島・フデ岩灯台劣化保護改修工事

