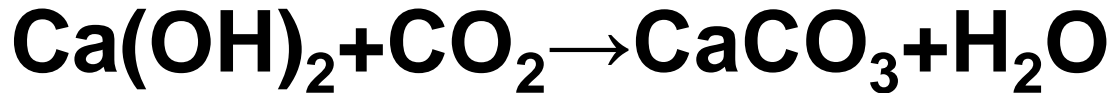


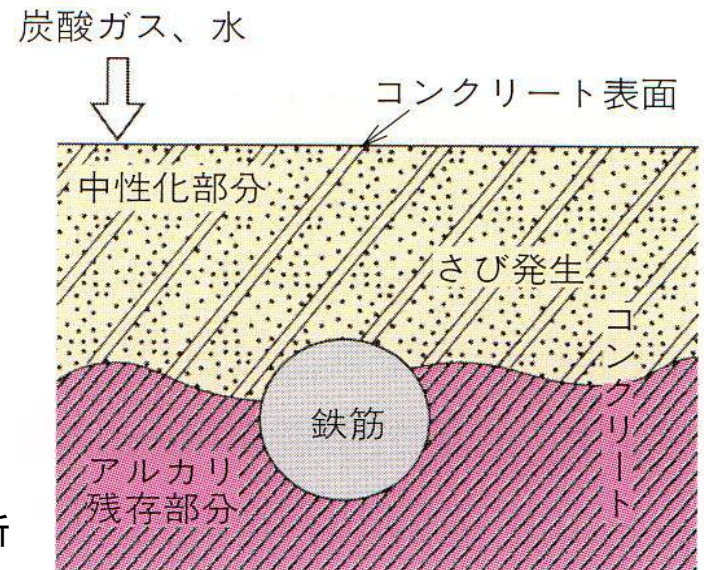
# コンクリートの中性化



水酸化カルシウムと炭酸ガスが水の存在下で反応してアルカリ性が低下する現象。

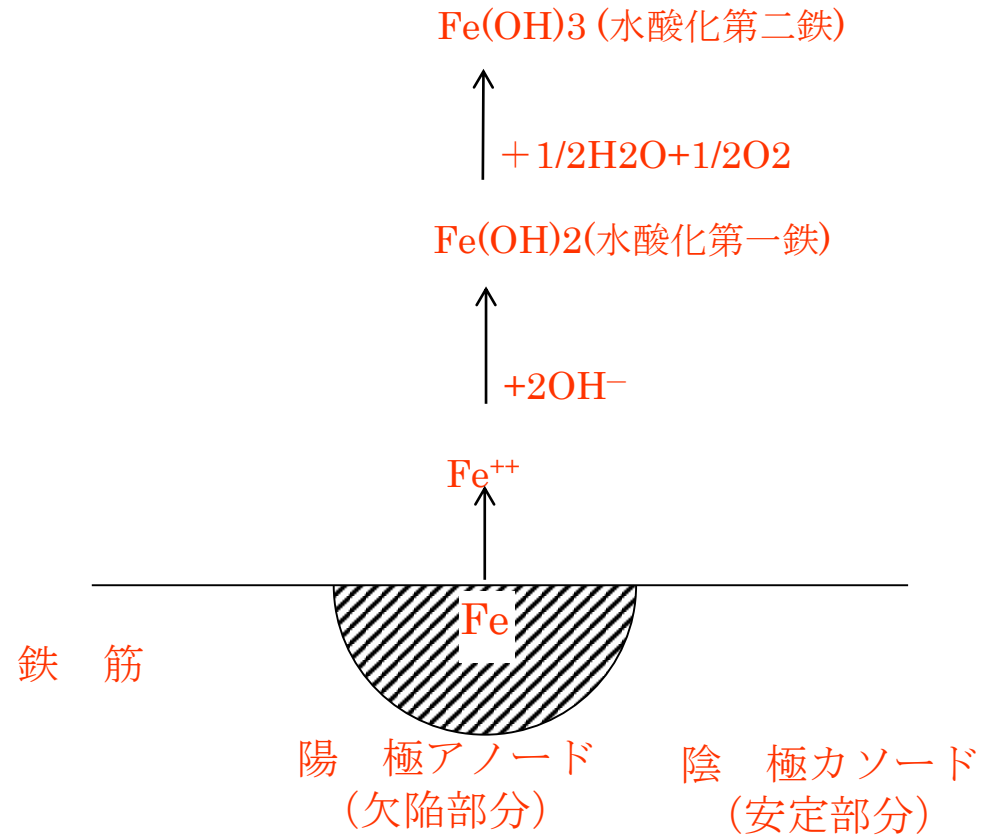
最も中性化が生じやすいのは、湿度50%

鉄筋が腐食しやすくなる。



# 鉄筋腐食のメカニズム

鉄筋が腐食するためには  
酸素と水が必要  
不動態皮膜が破壊され  
た鉄筋部分がイオン化  
して溶出、健全部から  
水酸イオンOH<sup>-</sup>が発生  
Fe(OH)<sub>2</sub>  
Fe(OH)<sub>3</sub>赤錆、2.5倍に  
膨張



**塩分によるコンクリート中の鉄筋腐食**  
コンクリート中の鉄筋は、コンクリートがアルカリ性であるので腐食しない。

しかし塩分が存在しているとアルカリ性であっても腐食する。不動態皮膜が塩素イオンによって破壊される。

**塩分は、洗浄していない海砂や飛来塩分、凍結防止剤等から供給される。**

コンクリート構造物表面のかぶりがポーラス（多孔質）であると、塩分がコンクリート中に浸透しやすい。

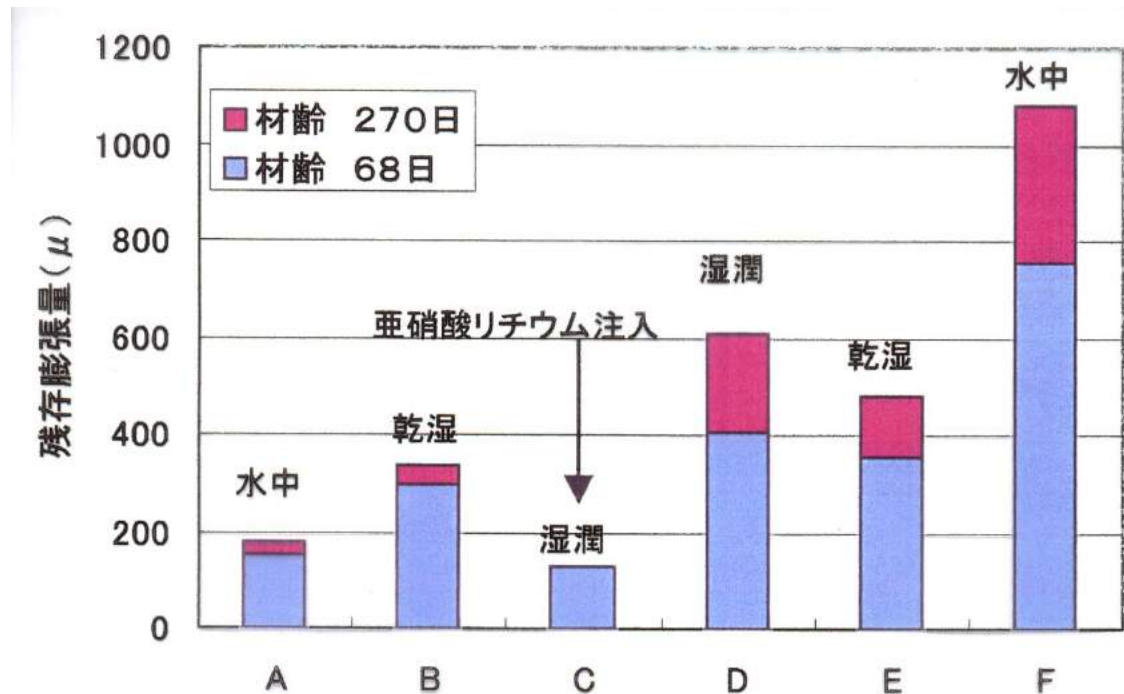
# アルカリ骨材反応による岸壁のひび割れ



# アルカリ骨材反応(ASR) による護岸のひび割れ

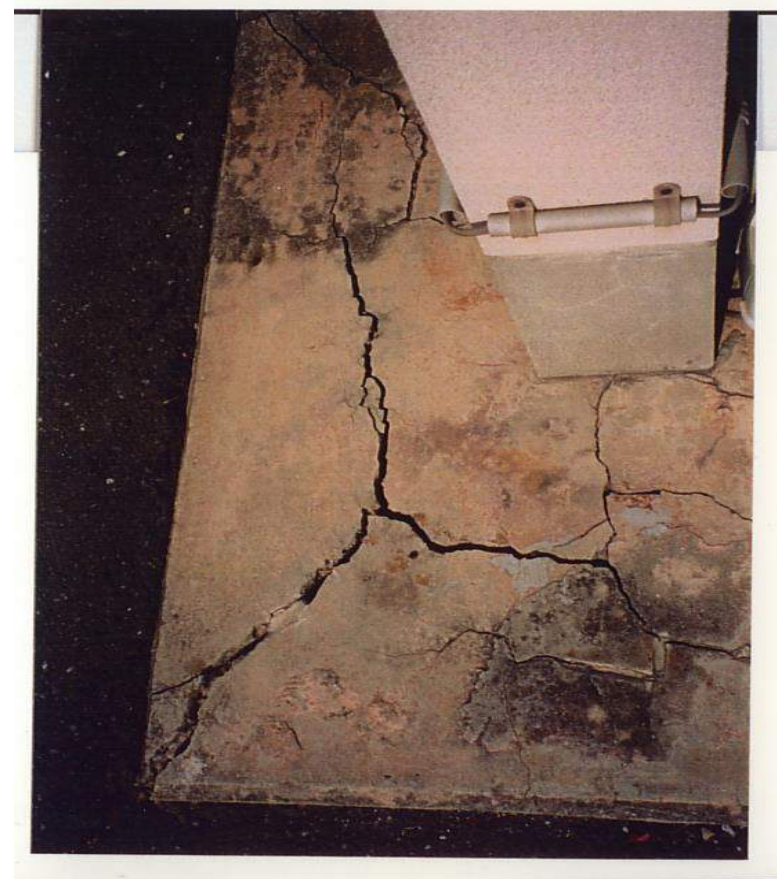


# 擁壁の前面(A)から背面(B)まで採取したコアの残存膨張量



# 岸壁や水門のASRによるひび割れ

気中：大、干満部および水中：ほとんど無し



# 悪いコンクリートから良いコンクリートへ

## 悪いコンクリート

- 1) 水セメント比(W/C)55%以上、単位水量の大きいコンクリート  
⇒材料分離(ブリージング)大の弱いコンクリート、透気性&透水性大、耐久性小の、劣化しやすいコンクリート
- 2) ポンプ圧送時に加水してスランプを大きくして打設したコンクリート
- 3) 締固め不足、湿潤養生不足のコンクリート⇒空隙多量

## 良いコンクリート

- 1) 水セメント比(W/C)50%以下、所要のスランプが得られる範囲内で、出来るだけ少ない単位水量のコンクリート⇒材料分離(ブリージング)小のコンクリート⇒十分締固め可能。
- 2) 10日間以上の湿潤養生⇒かぶりを密実にして空気や水の侵入防止  
耐久性大、長寿命化実現



# 高強度コンクリート

1. 低水セメント比(30～50%)のコンクリート
2. 強度が大きく、密実であるため透水性や透気性が小さく高耐久性が得られる。
3. 密実で吸水性が小さいので、コンクリート表面にかびが生えにくい。従って、コンクリート表面が汚れにくく、何時までも美しい。
4. 現在、プレストレストコンクリート、超高層鉄筋コンクリート(New-RC)ビルなどに使用されているが、一般のコンクリートにも使用すれば、耐久性の大きいコンクリート構造物を作ることが出来る。

# セメント粒子の分散

セメント+水

凝集



高性能減水剤添加

高分散



# コンクリートの圧縮強度 $\sigma_c$

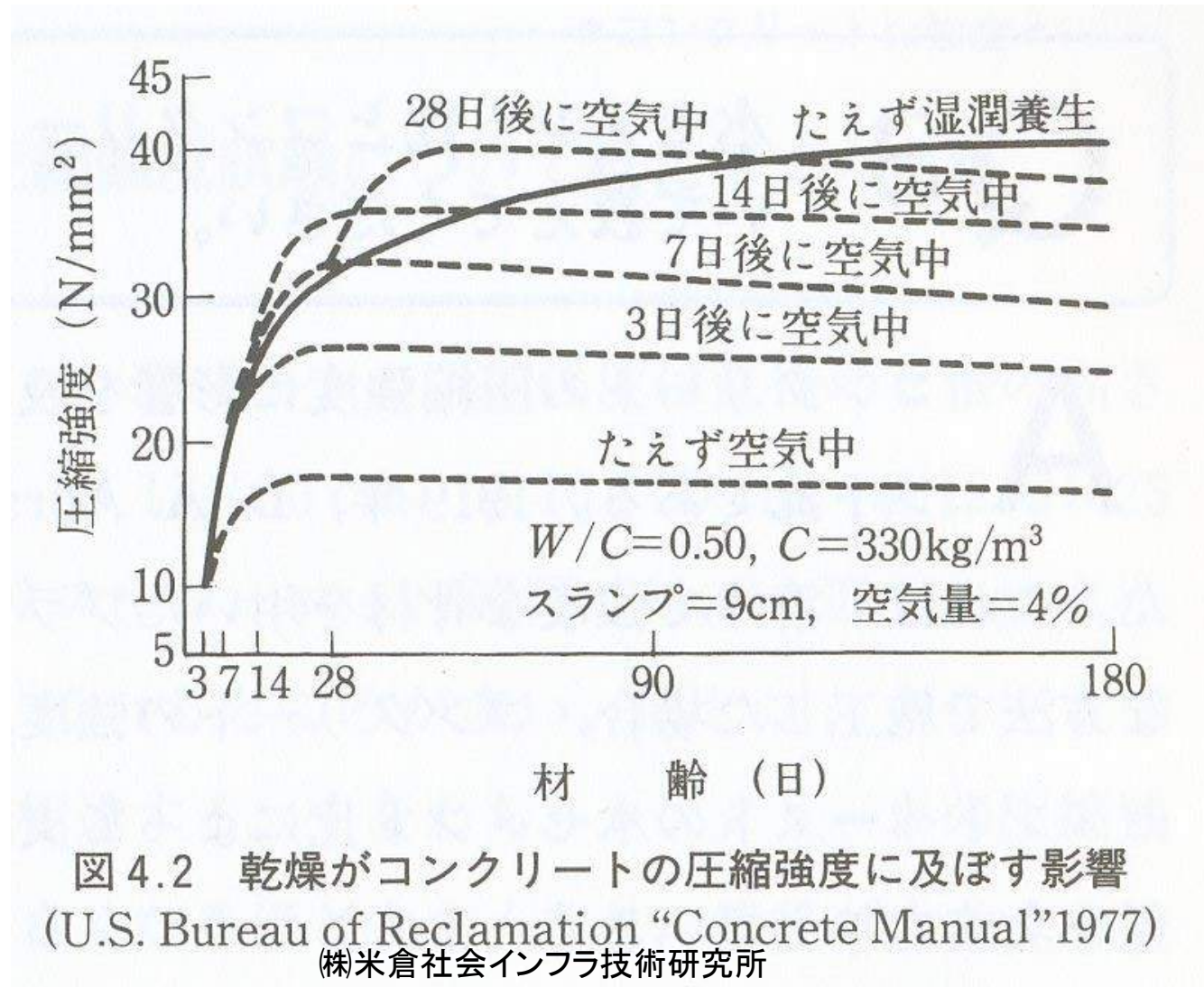


図 4.2 乾燥がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響  
(U.S. Bureau of Reclamation "Concrete Manual" 1977)

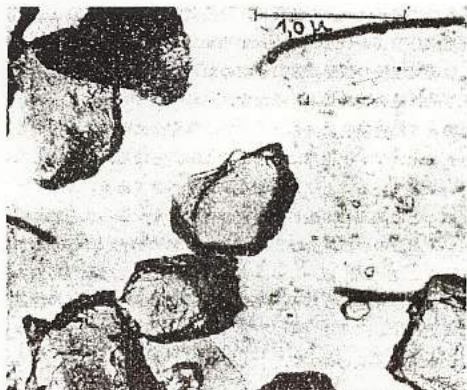
(株)米倉社会インフラ技術研究所

# 夜中の水撒き（湿潤養生）

良い配合のコンクリートでも十分湿潤養生をしなければ長持てする良いコンクリートとはならない



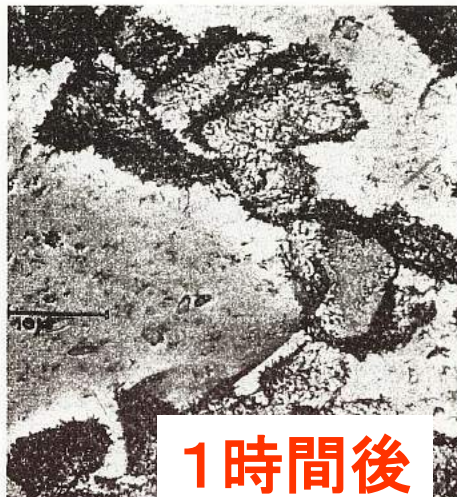
# ポルトランドセメントの水和反応



セメントと水の接触直後

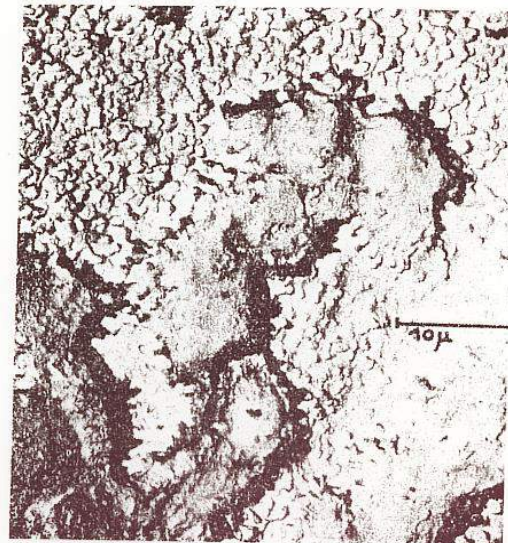


ポルトランドセメント



1時間後

第6図 水と反応して1時間後のセメント粒子 (電子顕微鏡 2000倍)



第9図 水和 28 日後のセメント粒子 (電子顕微鏡 2000倍)

材齢28日後

出典: W.チェルニン著、徳根吉郎訳、建設技術者のための「セメント・コンクリート化学」



第7図 第6図の細部の拡大写真 (電子顕微鏡 11000倍)



第8図 水和 24 時間後のセメント粒子 (電子顕微鏡 1700倍)

1時間後の拡大写真

水和反応過程

(株)米倉社会インフラ技術研究所

# 悪いコンクリート

## 低強度コンクリート

品質の悪いコンクリートの建物



# 良いコンクリート

## 高強度コンクリート

高強度コンクリート(50N/mm<sup>2</sup>)の建物



高強度コンクリート打設後  
10日間程度水撒きした  
RCビル:北面でカビ・コケ  
が生えていない。メンテナ  
ンスフリー



(株)米倉社会インフラ技術研究所

# 広島南道路光南高架 橋床版工事

## 10日間程度湿潤養生





## 床版コンクリートの長寿命化試行工事

- 【目 的】 長寿命で信頼のできる構造物の構築  
【工 事 名】 広島南道路 光南高架橋床版工事  
【工 期】 平成24年3月9日～平成25年2月28日

### 【コンクリートの配合】

粗骨材の 最大寸法 mm	スランブ SL cm	設計基準 強 度 N/mm <sup>2</sup>	水セメント 比 %	空気量 %	セメントの 種 類 普通 ポルトランドセメント	湿潤養生 期 間 日	適 用 部 位 床 版 地覆・高欄
20	12	24	50	4.5		14	

【施 工】 (株)増岡組 (監理技術者 水元 信明)

【技術指導】 広島大学名誉教授 米倉 亞州夫

# 建設後32年経過の自宅 (H29.11.14撮影)

昭和60年(1985年)建設

W/C48%,高性能AE減水剤使用、10日間湿潤養生(水撒き)

コンクリート表面:汚れ小、今のところメンテナンスフリー



# 建設時に採取したコア、30年間自宅前に 風雨に暴露：鉄筋腐食軽微

実際の橋梁から剥  
落したかぶりコンク  
リート、腐食した鉄  
筋の膨張圧で剥落



# 地下コンクリート構造物への 耐硫酸性コンクリートの適用

# 地下コンクリート構造物の硫酸劣化が現在非常に大きな社会問題となっている。

地下コンクリートコンクリート構造物を補修したり、新設する時に初めから耐硫酸性コンクリートで作るべきである。

ポルトランドセメント100%で作っていると、2~3年で硫酸劣化が起る。特に、都市部地下で硫酸劣化が生じている。

家庭や工場から出る廃材や廃水に含まれている硫酸イオン $\text{SO}_4^{-2}$ が下水や地下水に交じって流れてくると、これを食するバクテリア(硫酸塩還元細菌)がおり、硫化水素 $\text{H}_2\text{S}$ を排出する。

$\text{H}_2\text{S}$ が気中に漏れてくると、そこには硫黄酸化細菌が生息しており、硫化水素を食して硫酸を排出する。

この硫酸がコンクリートの中に入ってくると、コンクリート中の水酸化カルシウムと反応して二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を生成してこれが泥状化して、フヨフヨになり、硫酸劣化を生じる。強酸と強アルカリの反応は急激に起こり、建設初期から硫酸劣化が起こる。

# 地下コンクリート構造物の劣化事例



Fig.1 Road collapse accident due to sulfuric acid degradation of sewer pipe

道路の陥没事故  
道路下のコンクリート下  
水道管上半分の硫酸劣  
化によって生じた道路陥  
没事故

米倉社会インフラ技術研究所

# コンクリート下水道管の硫酸劣化



下水道コンクリート管の  
硫酸劣化2003. 6



コンクリート下水道管上部が硫酸劣化によって表面から10cm深さぐらいまで泥状化して豆腐の様にブヨブヨになっている。  
下部の下水中は劣化していない。

これは、コンクリート中の水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と硫酸が反応して二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ が生成されるためである。

なぜ、下水道管の中に硫酸があるのか

# 地下駐車場鉄筋コンクリート構造物の硫酸劣化



構造物外部の硫酸性地下水によって生じる劣化。

ひび割れ、漏水、ひび割れからのつららが生じている







## 地下鉄鉄筋コンクリート構造物 の硫酸劣化



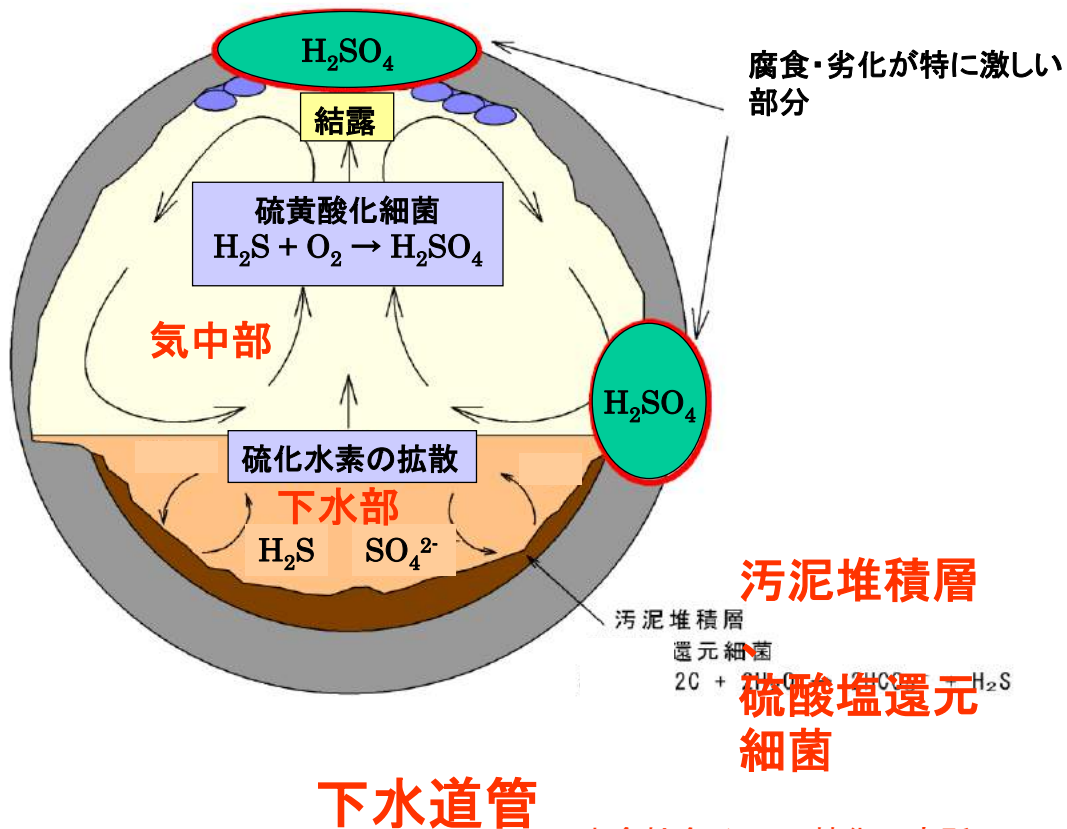
鉄筋コンクリート構造物の壁からの  
漏水、吹き出物(エフロレッセンス)  
、つらら、ひび割れ

建設後、2, 3年で硫酸劣化が生じ  
ていた。



# なぜ下水道管や地下コンクリートで硫酸劣化が生じるのか？

## 硫酸劣化のメカニズム：微生物が関与して硫酸を製造



下水部の汚泥堆積層には嫌気性の硫酸塩還元細菌が生息しており、硫酸イオン $\text{SO}_4^{2-}$ を含む生活廃水が流れてくると、これを食し、硫化水素 $\text{H}_2\text{S}$ を排出する。この $\text{H}_2\text{S}$ が気中部に漏れてくると、そこには好気性の硫黄酸化細菌が生息しており、 $\text{H}_2\text{S}$ を食して硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4$ を排出する。

$\text{H}_2\text{SO}_4$ が結露水に溶け込んで、コンクリート中に侵入して来ると強酸である硫酸と強アルカリの水酸化カルシウムとは激しく短時間で反応して二水石膏を生じる。これがブヨブヨになる。これが硫酸劣化である。

$$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$
 下水道管の硫酸劣化は下水道管内部から生じるが地下コンクリート構造物の硫酸劣化はコンクリート外壁から、硫酸性地下水によって生じている。

# 耐硫酸性コンクリートやモルタルの開発研究

**コンクリートの硫酸劣化の原因**: コンクリート中の水酸化カルシウムと硫酸とが反応して二水石膏が出来て、これがブヨブヨになって泥状化して、強度が無くなり、構造体を保てなくなったり、溶けてなくなったりして生じる。

**硫酸劣化の防止対策**: 水とセメントとの水和反応で生成される水酸化カルシウムの生成を出来るだけ少なくする方法を開発する。

① **普通ポルトランドセメントの使用量を出来るだけ少なくする**。セメント量を少なくしただけでは水セメント比W/C(W:単位水量、C:セメント量)が大きくなって、強度が発現しなくなる。

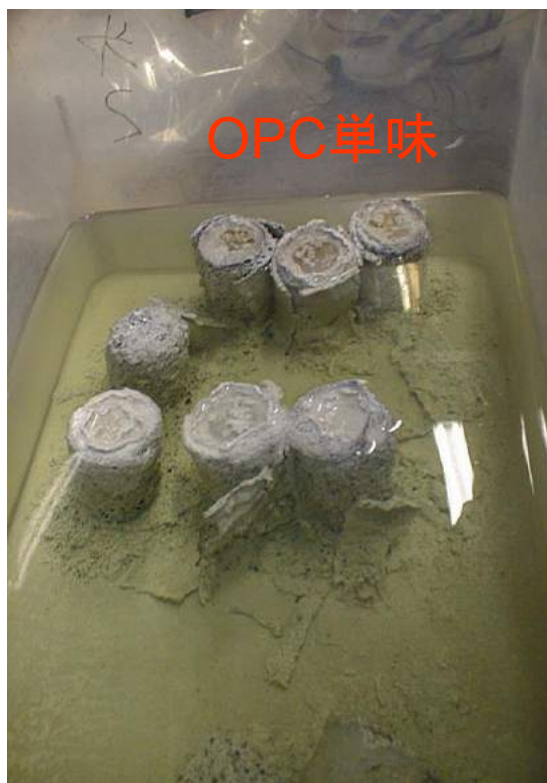
セメントの一部を減らした分を**混和材(シリカフェーム、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ)**で補う。

② **シリカフェームのポゾラン反応**: 水酸化カルシウムと急速に反応して硬い物質(セメントゲル)を生成し、水酸化カルシウムを消費する。硫酸と反応する水酸化カルシウムを無くしてしまう。このポゾラン反応は、急速に起こるので、コンクリート製造直後から短時間で生じる。

③ **高炉スラグ微粉末の潜在水硬性による反応**: 水酸化カルシウムと中、長期に渡って反応。

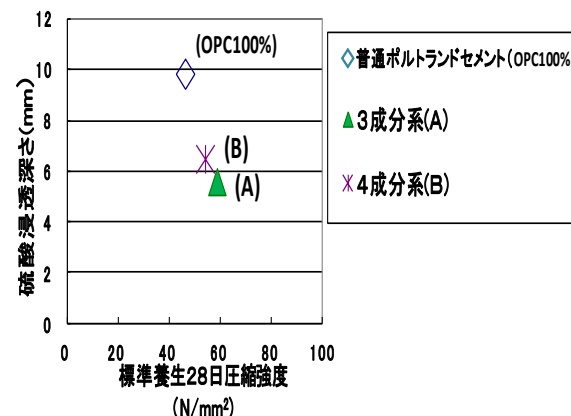
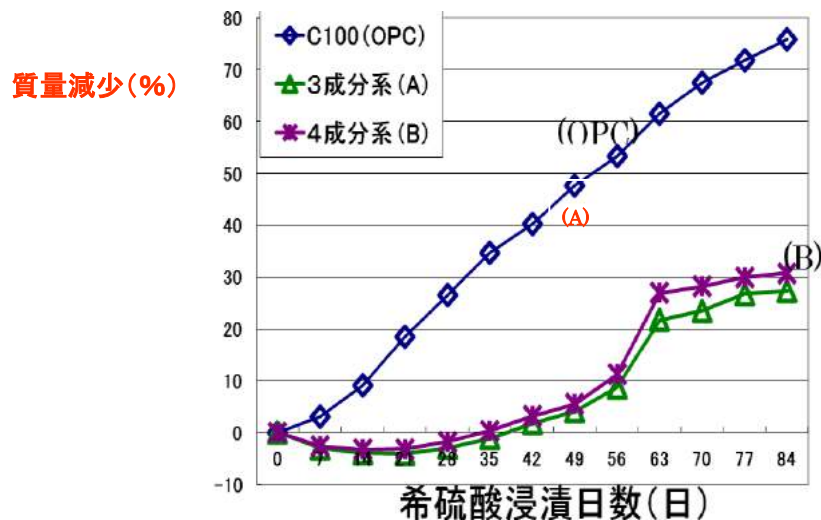
④ **フライアッシュのポゾラン反応**: 反応は遅いが、長期に渡って生成される水酸化カルシウムを消費出来る。

希硫酸 (pH0.5) 中のモルタルの劣化状況  
普通ポルトランドセメントと三成分系セメント  
この技術で特許取得 特許第5924612号

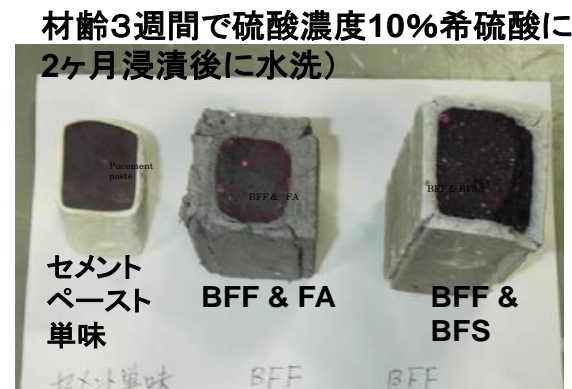


# 弊社が開発した耐硫酸性モルタル＝三成分系モルタル(ポルトランドセメントの使用量を減じ初期に反応する混和材と中長期に反応する混和材の三成分系とする)

## 材齢3日で5%濃度希硫酸浸漬後の質量変化 硫酸浸透深さ(材齢3日で浸漬)



硫酸浸透深さと標準養生28日圧縮強度との関係(希硫酸浸漬56日後)



ペースト断面の硫酸浸漬状況(呈色部はアルカリ性:健全部分)

**硫酸環境下での地下コンクリート構造物を施工する場合  
製造時から耐硫酸性コンクリートで施工すべきである。**

**普通ポルトランドセメント100%で施工した場合、短期  
間で硫酸劣化を生じる。**

**この技術で特許取得を取得している。**

**特許第5924612号**

# 腐食環境の設定について

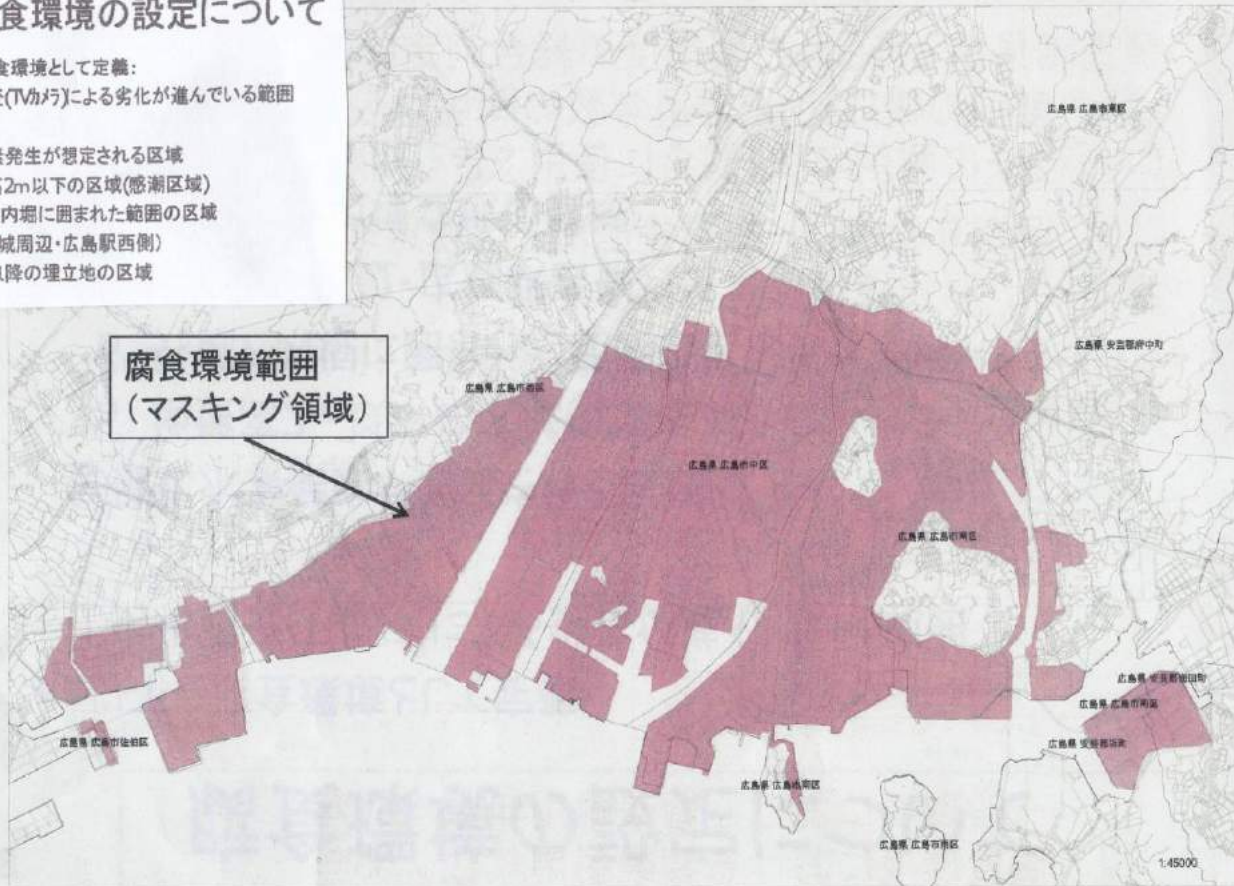
出典:「広島市下水道施設における管きよの中長期的な改築計画」平成28年3月 広島市下水道局施設部管路課

## 腐食環境の設定について

以下を腐食環境として定義:

- ①劣化調査(TVカマ)による劣化が進んでいる範囲
- ②硫化水素発生が想定される区域
  - a 地盤高2m以下の区域(感潮区域)
  - b 外堀と内堀に囲まれた範囲の区域(広島城周辺・広島駅西側)
  - c 築城以降の埋立地の区域

腐食環境範囲  
(マスキング領域)



# 広島・基町駐車場 再開発

## 複合ビル建設 官民協議

### 隣接民有地含む敷地想定

広島市や広島商工会議所などが検討している市中心部の紙屋町・八丁堀地区にある市営基町駐車場・駐輪場一帯の再開発事業で、同

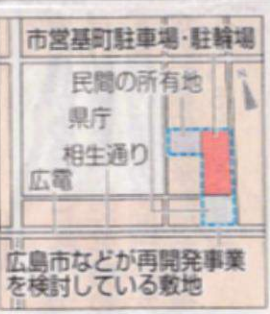
駐車場と、西隣と南側にある民間2社の所有地を合わせた敷地計約7500平方メートルに、複合ビルを建設する構想を描いていることが2日、分かった。事業を始めるための基本合意を目指す、官民の関係者が協議を進めている。

関係者によると、民有地は、同駐車場西隣に中国電力が所有する中電基町ビルの敷地と、道路を挟んで南側に朝日ビルディング（大阪市）が所有する広島朝日ビル跡地。同跡地は現在、平面駐車場として活用されている。紙屋町・八丁堀地区は2018年10月、国の都市再生緊急整備地域に指定されており、市はこの事業を「リーディングプロジェクト」と位置付けて民間開発を促し、新たなまちづくりを加速させる。

市と商議所、民間2社な

どは同年10月以降、事務レベルでの勉強会を開催。指定に伴う整備方針に基づき、開発の手法や複合ビルにどんな機能を持たせるかなど、他都市の事例も参考にしながら意見交換している。

再開発事業では、1965年に完成し老朽化した



**都市再生緊急整備地域 クリック**  
都市の再生の拠点として、緊急かつ重点的に市街地の整備を進めるべき地域として、国が指定する。土地利用の規制緩和や、事業認可の手続き期間の短縮、税制支援などが受けられ、民間の活力を中心とした都市再生を促す。2018年10月の広島市中心部の紙屋町・八丁堀地区を含め、全国18都道府県で55地域が指定されている。

商議所ビル（中）建て替え・移転検討される。中も同年、基町駐完成で、いずれも新時期を迎えは駐車場を廃止の機能だけ残し、都市再生緊急制度を活用し、挟んだ区画をネル状にすななビル建設をする。

再開発事業を、018年9月、長が商議所ビル・移転を含め場一帯での検討した。商議所の頭も市の提案をきるだけ早く進し、移転する場民球場跡地の隣のビルと敷地をする可能性がま

(野)



広島市内平地部：腐食環境

広島市中心部(紙屋町・八丁堀)：都市再生緊急整備地域

2019年(令和元年)5月3日(金曜日)

# 変わる街

## 装い新た 集中投資加速

### 広島市中心部の大型開発事業

広島市は、中心部を再生する大型開発事業を加速させている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 国制度使い負担減

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 紙屋町・八丁堀地区

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 広島市中区

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 中心部

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

2019年(平成31年)2月16日(土曜日)

# 紙屋町・八丁堀ビル建設続々

## 老朽化や都心回帰

### 広島市中区

広島市中区は、中心部を再生する大型開発事業を加速させている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 紙屋町・八丁堀地区のビル開発事業

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 老朽化や都心回帰

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

#### 中心部

中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。中心部の再生は、都市の活性化と防災の観点から重要視されている。

左:令和元年5月3日、右:H31.2.10  
中国新聞記事

御清聴有難うございました。