

# 三協Mirai News



2015年春号 No. 9

三協Miraiからお届けする、技術情報ニュースです



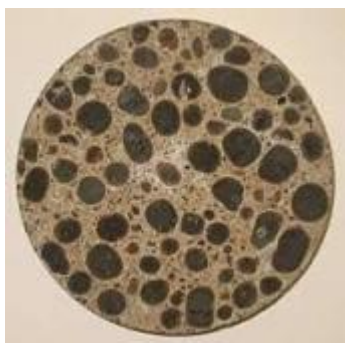
- シリーズ「歴史」 軽量コンクリート
- 特集 カルシウム溶脱(成分溶出)
- 技術ニュース 再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)
- 日本のコンクリート構造物

# 軽量コンクリート

## ■軽量コンクリートとは

軽量コンクリートとは、普通コンクリートに比べて単位容積質量が小さなコンクリートのことをいいます。軽量コンクリートは、軽量骨材を用いた軽量骨材コンクリートと、多量の気泡をモルタルに混入した気泡コンクリートの2種類がありますが、日本では一般的に軽量骨材を用いたコンクリートを軽量コンクリートと呼んでいます。

JASS5では、普通コンクリートの気乾単位容積質量 $2.1\sim 2.5\text{ t/m}^3$ に対して、軽量コンクリート1種では $1.8\sim 2.1\text{ t/m}^3$ 、軽量コンクリート2種では $1.4\sim 1.8\text{ t/m}^3$ と分類しています。本稿では軽量骨材を用いた構造用軽量コンクリートについて述べていきます。



人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート

## ■軽量コンクリートの歴史

軽量コンクリートは、1915年ごろにアメリカで膨張粘土を用いて、軽量で強度の高い人工軽量骨材が開発されたのが始まりです。

日本では、1947年に天然軽量骨材を用いた構造用軽量コンクリートが開発されました。

その後1955年にはJIS A 5002「構造用軽量骨材」が制定されています。この規格は天然軽量骨材を対象としたもので、1950年代ま

では天然軽量骨材を用いた軽量コンクリートが使われていました。

1960年代になって、アメリカから人工軽量骨材の製造技術が導入され、1964年に人工軽量骨材の製造・販売が始まりました。1966年には人工軽量骨材協会が設立されています。



人工軽量粗骨材の断面

1970年代に入ると、1971年にJIS A 5002「構造用軽量骨材」に人工軽量骨材が追加され、さらに人工軽量骨材を用いるコンクリートに関する基準や指針が整備されていきました。1970年代は、日本の高度経済成長とともに人工軽量骨材の出荷量も増大し、1973年の第一次オイルショック前には、約 $185\text{ 万 m}^3$ に達しました。2010年の人工軽量骨材の出荷量は約 $24\text{ 万 m}^3$ ですから、1970年代にはいかにたくさんの軽量コンクリートが使われていたかが分かります。

1990年代になると、人工軽量骨材の高強度化が進められるようになります。1992年には日本建築学会から「高強度人工軽量骨材を用いた建築物の設計と施工」が出版され、1966年のJASS5では、軽量コンクリート1種的设计基準強度の最大値が $36\text{ N/mm}^2$ に引き上げられました。

人工軽量骨材の出荷量の推移を見ると、1970年代は $100\text{ 万 m}^3$ を超えていましたが、前

述のように、1973年の約185万 $\text{m}^3$ をピークに徐々に減少し、1980年代のバブル景気の時期に一時100万 $\text{m}^3$ を超えましたが、それ以降もさらに減少し、2010年の出荷量は約24万 $\text{m}^3$ となっています。その原因としては、オイルショックにより燃料価格が高騰し、人工軽量骨材の価格が高騰したことが挙げられます。また、もう一つの原因として、鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造の躯体コンクリートとして軽量コンクリートがよく使われていましたが、SRC造の建物が減少したことも影響しています。現在、多く使われている用途としては、建築では鉄骨（S）造の中・高層建物の床スラブ、土木では橋梁の床版などです。

## ■人工軽量骨材の製造

人工軽量骨材は、膨張頁岩を原料とするものが大半ですが、一部で膨張粘土、フライアッシュなども使われています。製造方法は非造粒型、造粒型、破碎型に大別されます。いずれの方法においても、ロータリーキルン（回転窯）で焼成する過程でガスが発生し、発泡することにより、軽量骨材が製造されます。

### ①非造粒型

原石を粗砕機で粗砕して、ロータリーキルンで焼成する方法です。粗砕された原石は、砕石、砕砂状ですが、焼成により骨材表面に強固な殻が形成され、川砂利、川砂のような形状になります。非造粒型は製造工程が単純化でき、製造管理が比較的容易にできます。一方、原石の品質変動がそのまま製品の品質変動となるため、均質な原石の鉱床の確保が必要になります。

### ②造粒型

原石を微粉碎し、水またはバインダー溶液を加えてパン型造粒機または押出し成形機により造粒したのちに、乾燥機で乾燥しロータリーキルンで焼成する方法です。造粒型は石

炭灰、下水汚泥、発泡剤などの種々の原料を配合することができ、品質変動が少ないという長所があります。一方、焼成までの製造工程が複雑なため製造管理に手間がかかるという短所があります。

### ③破碎型

原石を中塊程度に粗砕して、ロータリーキルンで焼成し、注水急冷あるいはクラッシャーにより破碎したあと、粒度調整するものです。製造方法は非常に容易で安価ですが、コンクリートに使用した場合、他の製造方法の骨材に比べて、施工性、強度、耐久性に劣るという短所があります。

## ■軽量コンクリートの特徴

①軽量コンクリートは普通コンクリートに比べて高価になります。しかし軽量コンクリートを使用することで建物自重が低減できるため、トータルコストで考えると有利になる場合があります。

②圧縮強度は、50N/mm<sup>2</sup>程度までは同一水セメント比の普通コンクリートと同等です。

50N/mm<sup>2</sup>以上になると圧縮強度は徐々に頭打ちの傾向を示します。

③乾燥収縮については、普通コンクリートよりも小さい、同程度、大きいなど、研究者によって結果が大きく異なります。一般的には軽量コンクリートの乾燥収縮は、軽量骨材に含まれる水分の影響によって、初期には小さいが長期に持続し、最終的には普通コンクリートよりも大きくなると考えられています。

④凍結融解抵抗性は、普通コンクリートに比べるとかなり劣るといわれています。しかしAEコンクリートとすることで凍結融解抵抗性は著しく向上するため、普通コンクリートよりも空気量を若干大きくすることにより、寒冷地でも使用されています。

特集

# カルシウム溶脱(成分溶出)

## カルシウム溶脱とは

カルシウム溶脱（成分溶出）とは、コンクリート中のセメント水和物が周囲の水に溶解して組織がポーラス（疎）な状態になる変質・劣化現象です。カルシウムの溶脱による劣化の進行速度は極めて遅いことから、従来はあまり重要視されていませんでした。

しかしながら、100年以上水と接する構造物では、カルシウム溶脱による劣化を無視できない可能性があり、カルシウム溶脱の評価・予測についての研究がなされるようになりました。

100年以上水に接し、長期の耐久性が要求される構造物としては、上水道施設、ダムの導水路トンネルや放水路トンネル、農業用水路などがあります。さらに放射性廃棄物処分施設においては、放射性元素の半減期が100年以上であることから、カルシウムの溶脱を数百年オーダーで予測する必要があり、研究・開発が進められています。

カルシウム溶脱による劣化については、スウェーデン、スコットランド、南アフリカなどの海外でも、軟水によるダム堤体の劣化が報告されています。

## カルシウム溶脱のメカニズム

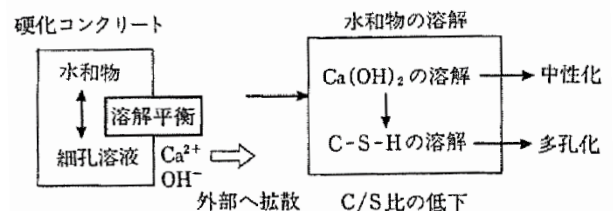
カルシウム溶脱は以下のように進行します。

- ①コンクリートに水が接触すると、コンクリート内部の細孔溶液中の水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）が水中に溶解する。
- ②水酸化カルシウムの溶解に伴い細孔溶液中のカルシウムイオン濃度が低下する。

③カルシウムイオン濃度の低下を補うためにカルシウム水和物（C-S-H）が溶解する。

④カルシウム水和物の溶解により、空隙が増大し、セメント硬化体組織が多孔化する。

上記のメカニズムにより水酸化カルシウムが溶解すると、pHが低下し中性化が進行します。またカルシウム水和物の溶解により硬化体組織が多孔化し、強度が低下します。



## コンクリートの溶脱現象

このカルシウム溶脱には、接触する水の水質（硬度）と流速が大きく影響します。

水の硬度は、水の中に含まれるカルシウムイオンやマグネシウムイオンなどの濃度で表されます。濃度の高い水を硬水、低い水を軟水といいます。

コンクリートが接触する水の硬度が低い軟水の場合、セメント硬化体内部と外部の接触水のカルシウムイオンの濃度差が大きくなり、内部の水酸化カルシウムの移動が促進されることとなります。実構造物でカルシウム溶脱による劣化が問題になった事例でも、その多くは接触する水が軟水の場合であることが報告されています。

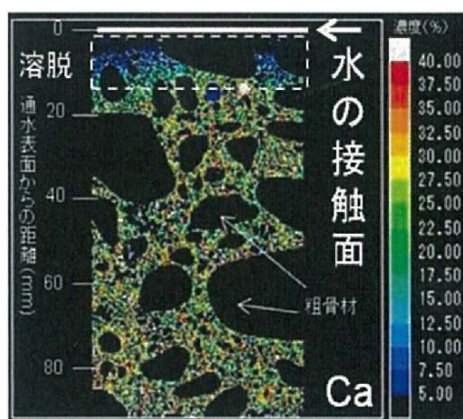
また、接触水の流速が速いほどカルシウム溶脱による劣化の進行は速くなります。接触する水の流速がさらに速い場合には、表層部

のカルシウム溶脱により劣化した層が流出し、保護層としての役目を果たさなくなるため、溶脱速度はさらに速くなります。

## カルシウム溶脱による劣化

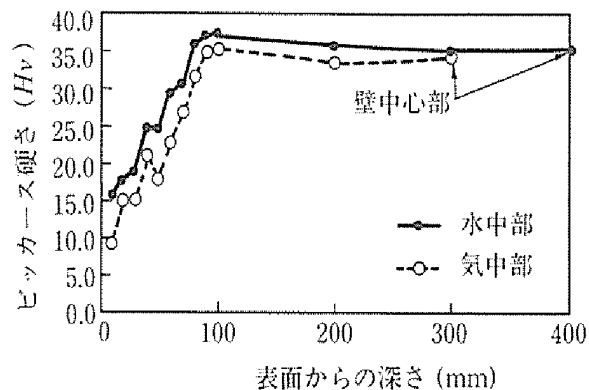
コンクリートから水酸化カルシウムが溶出すると、コンクリートはその表面からアルカリ度（pH）が低下し、また組織が空疎化します。

下の写真は、溶出劣化したコンクリートコアの深さ方向の劣化を電子線マイクロアナライザによって調べたものです。水の接触面に近いほどカルシウム濃度が低下し、カルシウムの溶脱が生じていることが分かります。



カルシウム濃度の面分析結果※1)

この写真のように、カルシウムが溶脱すると、強度や表面硬度が小さくなります。この表面硬度はビッカース硬度試験で調べることが出来ます。ビッカース硬度試験は、四角錐型のダイヤモンド圧子を、研磨した試験体表面にあてて载荷し、その際の载荷荷重と試験体に発生するくぼみの大きさから、試験体表面の硬度を相対的に評価する試験方法です。右の図は、カルシウム溶脱によって劣化した構造物のビッカース硬度の測定結果ですが、表面ほどビッカース硬度が低く、表面から100mm程度まで溶脱が進んでいることがわかります。



表面からのビッカース硬度

このように、カルシウム溶脱による劣化は、水と接触するコンクリート表面から内部に向かって徐々に進行していきます。劣化が進むとかぶり部分のpHが低下し、鋼材の腐食発生限界に達すると鋼材の腐食により腐食ひび割れが発生します。さらに腐食量が大きくなると、構造物の耐荷力が低下することになります。またコンクリートの強度の低下によって、新たなひび割れが発生し溶出面が拡大していきます。強度低下領域が拡大すると構造物の耐荷力が低下することになります。

カルシウムの溶脱は、水と常時接しない地上構造物でも見ることが出来ます。たとえばエフロレッセンスの流出や、スラブや庇の下部などのひび割れ部分で見られる、溶出成分と二酸化炭素が反応し炭酸カルシウムとして析出した、いわゆるコンクリートつららなどです。

カルシウム溶脱による劣化に対しての補修・補強に関する判定基準は、現在のところどのような構造物に対しても基準化されていません。これはカルシウム溶脱による変質・劣化の進行速度は通常極めて遅いため、カルシウム溶脱を想定した劣化調査、評価体制が確立していないためです。コンクリート構造物の長期供用のために、今後の研究が期待されています。

※1) 農研機構 長期間供用されたコンクリート水路の劣化

## 日本建築学会・再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)

2014年10月、日本建築学会は「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)」を制定しました。上記指針からレディーミクストコンクリートに関連する部分についての要点をお知らせします。

### (1) 再生骨材コンクリートの種類

- ・再生骨材の種類により、再生骨材コンクリートH、M、Lに区分。
- ・骨材の組み合わせにより、再生骨材コンクリート1種、2種に区分。
- ・原コンクリートの特定の有無によって、特定型と不特定型に区分。

### (2) 再生骨材コンクリートの適用部位

- ・再生骨材コンクリートHは構造部材、非構造部材に適用。M(耐凍害品)は乾燥の影響を受けない構造部材、非構造部材に適用。M(標準品)は乾燥および凍結融解作用を受けない構造部材、非構造部材に適用。Lは無筋の非構造部材に適用。

### (3) 設計基準強度

- ・再生骨材コンクリートHは、18, 21, 24, 27, 30, 33, 36N/mm<sup>2</sup>。Mは、18, 21, 24, 27, 30N/mm<sup>2</sup>。Lは、必要に応じて定めることとし、18N/mm<sup>2</sup>を標準とする。

### (4) 材料

- ・再生骨材と普通骨材を混合した骨材は、混合前の再生骨材と同じ種類の再生骨材として取り扱う。種類の異なる再生骨材を混合した場合は、低品質の方の再生骨材として取り扱う。

### (5) 調合

- ・コンクリートのアルカリ総量を求めるには、再生骨材に含まれる付着ペーストのアルカリ量も含めて計算する。
- ・再生骨材がアルカリシリカ反応で無害と判定されるための条件が示された。(解説表4.7)

### (6) 製造

- ・再生骨材を受け入れるストックヤードは、他の骨材と混合しないように仕切りが設けられ、清掃・整備がなされていること。
- ・数種類の骨材サイロおよび貯蔵ビンを有し、設備に余裕のあること。
- ・プレウエッティング設備を有し、使用時に再生骨材の表面水率を安定させることが出来ること。
- ・再生骨材コンクリートは、固定ミキサを用いて製造し、トラックアジテータを用いて運搬する。ただし、再生骨材コンクリートMについてはトラックミキサを用いて製造することが出来る。さらに、再生骨材コンクリートLについてはトラックミキサおよび連続式の固定ミキサを用いて製造することが出来る。

### (7) 品質管理

- ・レディーミクストコンクリート工場が再生骨材コンクリートのJIS認証を取得している場合には、通常の品質管理組織と同様の体制で品質管理・検査を実施できる。

# 日本のコンクリート構造物

## 完全な形で日本に現存する唯一のライトの作品 ー旧山邑家住宅ー

兵庫県芦屋市にあるこの住宅は、フランク・ロイド・ライトが、帝国ホテル建設のために来日した時に設計したものです。1918年（大正7年）に、灘の酒造家・山邑太左衛門の別荘として設計され、1923年（大正12年）に工事に着工し、ライトの高弟、遠藤新らによって建設が進められ、1924年（大正13年）に竣工しました。構造形式は鉄筋コンクリート造4階建てで、外壁や内装には大谷石が使われておりどっしりとした重厚な印象を与えています。

1974年（昭和40年）に鉄筋コンクリート建造物として初めて国の重要文化財に指定されています。1989年（平成元年）からは、淀川製鋼所迎賓館（ヨドコウ迎賓館）として一般に公開されています。



全景



1階入り口外観



2階応接室



4階食堂

# 三協M i r a i 株式会社

本 社	〒105-0013	東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル) Tel. 03(3431)8266/Fax. 03(3434)5422
大阪支店	〒532-0011	大阪市淀川区西中島 4-11-21 (新大阪コパービル) Tel. 06(6885)7575/Fax. 06(6885)7581
仙台営業所	〒980-0023	仙台市青葉区北目町 2-39 (東北中心ビル) Tel. 022(266)4662/Fax. 022(266)4663
福岡営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東 2-4-17 (第六岡部ビル) Tel. 092(481)3265/Fax. 092(481)3266



発行 三協M i r a i 株式会社  
東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル)  
U R L : <http://www.sankyomirai.co.jp>