

コンクリート、昔、今、明日

2023年1月1日

1 / 4

人類の発展は、古代より「社会インフラの整備」と「食料の生産量」に支えられてきた。その後、産業革命、技術革新、近年の ICT デジタル技術により、さらなる繁栄がもたらされている。

社会インフラ構造物の構築・整備に欠かせなかったものの一つが「コンクリート」である。近代において多くのコンクリート構造物が構築されているが、これらの構造物は半永久的なものでないと知る国民は少ないのではないか。土木工学を学んだ者でさえ、かつてはコンクリートのメンテナンスは必要ないと思いついており、今でもコンクリートの耐久性（寿命）について明確な回答を持ち合わせていない。

コンクリートとは

コンクリートは、砂と砂利をセメントと水で混ぜたもので、圧縮に対する強度が高い反面、引張力に対しては弱いという特性がある。そこで、鉄筋を挿入し引っ張り力にも抵抗力を持たせたものが鉄筋コンクリートである。

コンクリートに混ぜるセメントはイギリスのポルトランド島の石灰石から作られ、1880年代から実用化され、1896年米国で工場によるポルトランドセメント製造が確立され、一気に世界に広まった。したがって、コンクリートが使用されてからまだ120年余りしか経っていないのである。

日本で本格的にコンクリートの使用が広まったのは、明治以降に近代のポルトランドセメント技術が輸入されてからである。日本には幸いにも純度の高い良質な石灰石鉱山が点在し、セメント製造についてはその原料を100%自給自足している状況にある。

知っていますか？「古代ローマの遺跡はコンクリートで作られていた」

約2000年前のローマ帝国時代にもコンクリートが使われていたことはあまり知られていない。遺跡として今でも残っているパンテオン神殿、カラカラ浴場、コロッセオは無筋コンクリート構造物である（下の写真）。ローマが繁栄を極めた要因の一つに水のない集落・都市に水を運ぶ水路構造物を構築したことがあげられる。水源から数10km離れた町まで地下水路を掘り、水道橋を設け、絶え間なく飲料水、噴水、共同浴場水を供給した技術は驚嘆である。



ローマ時代のローマンコンクリートで構築されたコロッセオと水道橋

コンクリート、昔、今、明日

2023年1月1日

2 / 4

使われたコンクリートは、ナポリの近くのベスビオス火山の「ポッツナーラ」という火山灰に水、石灰、砂、石を混ぜたもので、紀元前から城壁にも使われ時間がたてば経つほど強度が増す（ポゾラン反応が極めて緩やか）という特性を持っていたものである。なお、イスラエルのイフタフ遺跡(7000年前)や、中国の大地湾の住居跡遺跡(5000年前)の床材にセメント系材料が使われていたという報告もある。

古代ローマの火山灰を主成分にしたコンクリートは自然のアルミニウム系バインダーであり、現代のカルシウム系バインダーを用いた「ポルトランドセメント」とは異なり「ローマンコンクリート」と呼ばれ、**圧縮強度は現在のポルトランドセメントコンクリートに引けを取らないものだった。**

この古代ローマンコンクリートは、476年ローマ帝国崩壊後は全く使われなくなり、それ以後歴史の表舞台から姿を消してしまった。その理由は現在でも不明のままである。

コンクリートは朽ちる（劣化する）

戦後復興、さらに高度成長時代に構築された社会インフラのコンクリート構造物は劣化せず、永久に使われ続けると信じていた。しかし、国内外で建設されたコンクリート構造物の中には、時間が経つと大きなひび割れ・亀裂が発生したり、鉄筋コンクリートの内部の鉄筋が腐食したりするなどにより次第に強度を失って脆くなっていくことに遭遇するようになった。

今日では、「コンクリートの耐久年数は？」の問いに、50年から200年との答えが返ってくるようになっている。もっとも、50年以上持たすためには、コンクリートのメンテナンスを欠かせず、補修・補強が行われての話である。

コンクリートの劣化機構

劣化の原因には様々な種類があるが、塩害、中性化、アルカリ骨材反応、凍害、疲労、化学的浸食が主なものである。このうち、塩害と中性化は鉄筋腐食が先行して発生する劣化機構であり、アルカリ骨材反応、凍害、疲労、化学的浸食はコンクリート自体が先行して脆弱化する劣化機構である。

○塩害

塩分がコンクリート内に浸透し鉄筋まで到達することで、**鉄筋が腐食し、強度を失う現象**である。

日本国土は海に囲まれているため、多くの海岸の構造物がこの被害を受けている。また、寒冷地の凍結防止剤の散布される道路橋にも鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ、剥離被害が発生している。

塩害対策として、今日コンクリートをち密にしたり、表面保護により塩分の浸透を防いだり、かぶりを厚くするなどがあるが、劣化を完全に防ぐ手立てはない。

○中性化

空気中に含まれる二酸化炭素がコンクリート中に浸透し、**鉄筋周辺のコンクリートが中性化し、鉄筋に生じていた被膜が消失、鉄筋が腐食する現象**である。

コンクリートはもともと強アルカリ性で、コンクリート中の鉄筋表面には不働態と呼ばれる膜が形成され、この被膜が鉄筋を腐食から守っている状態にある。しかし、コンクリートのアルカリ性が空気中の二

コンクリート、昔、今、明日

2023年1月1日

3 / 4

酸化炭素の浸透によって中性側になると内部の鉄筋の腐食に繋がる。

○アルカリ骨材反応

コンクリートに混ぜる骨材によっては（安山岩系）、骨材とアルカリ分が反応することで、ゲル状の物質が生成され、それが水分を含んで異常な膨張を起こすため、膨張圧によりコンクリートが劣化する現象（コンクリート表面に亀甲状のひび割れが発生）である。

このアルカリ骨材反応は「コンクリートのがん」とも言われ、日本では長い間発見されなかったが、2000年代になり多く被害が続出した。この現象は、反応性の骨材を使うことに原因があるため、今ではコンクリートを練り混ぜる際に反応性骨材を入れないように規定されている。

○凍害

北海道や北日本のような寒冷地に発生する劣化現象で、コンクリートの中の水分が凍結融解を繰り返すことにより、コンクリートの空隙が広がりポロポロになる現象である。

コンクリートの練り混ぜ時にエントレインドエアーを適度に発生させたり（AEコンクリート使用）、コンクリートをち密にしたり、また吸水率の低い骨材を用いることで凍害を軽減できる。

○疲労

コンクリートの部材の耐力内の力でも、繰り返し荷重を受けることによりひび割れや剥離が発生する劣化現象である。特に道路橋では車両の走行による活荷重が繰り返し作用するため、床板のひび割れ等が多発している。

○化学的浸食

硫化水素などの化学物質により、コンクリートの表面がポロポロになる現象であり、温泉地や下水道で見られることが多い。限られた条件下で発生する劣化現象であるが、高炉セメントの使用や表面保護を行うことで劣化軽減が図れる。

コンクリート構造物は補修・補強し続けねばならない

今や「**コンクリートは劣化する**」ことが認識され、劣化したコンクリート構造物に対しては様々な補修・補強を施し、構造物の寿命（耐久年数）を延ばすことが試みられている。しかし、上述したような劣化作用を受けたコンクリート構造物に延命工事（補修・補強工事）を行っても数十年の延命は可能でも、100年以上の延命は叶わない。いずれは、新しいものに建て替えなければならない運命にある。

日本より半世紀早く社会インフラ構造物を整備・充実した米国は、1980年代以降ずさんな管理もありこれらのインフラ構造物の老朽化が進み「荒廃したアメリカ」時代に突入、国力の低下を招いた。

その後オバマ、トランプ、バイデン大統領のもと、社会インフラ構造物の整備費を増額し、社会インフラの整備に取り掛かっていたが、2021年に橋や道路の修復に5年間で1兆ドル（130兆円超）規模を投じる「インフラ投資法」を超党派の合意を得て成立している。

日本では、「社会インフラは充実した」とのマスコミの事実誤認報道が広まり、インフラ充実を唱えるこ

コンクリート、昔、今、明日

2023年1月1日

4 / 4

とをタブー視する風潮になっている。実際、日本は G7 諸国の中で唯一この 30 年間社会インフラ整備予算を増額できずにいる国である。社会インフラを新しく構築拡張するどころか、50 年前の老朽化した社会インフラ構造物の補修・補強もままならない状況にあり、これでは間もなく日本は社会インフラ後進国になってしまう。

炭酸ガスを吸収する次世代コンクリート

政府は 2020 年 10 月、2050 年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにする「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を宣言した。

実は、**現在のコンクリート構造物 1m³ 当たり 290kg の炭酸ガスを出している**ということは一般にはほとんど知られていない。セメントは製造過程で石灰石の焼成により二酸化炭素を放出して生産されているためである（2020 年日本の炭酸ガス総排出量約 11 億万 t、内セメント製造により 4200 万 t 排出）。

日本の建設業界では、CO₂ を吸収・固定するコンクリートの研究が急速に進んでおり、2050 年ごろには実現化する見通しである（一部既に実用化されている）。

これまでは、コンクリートはアルカリ性で内部に使う鉄筋の錆びを防いでいるので、その炭酸化は鉄筋の防錆機能が毀損されると考えられタブーであった。

今日鹿島建設グループはあえて CO₂ と反応・吸収を促進する材料（特殊な混和剤）の使用により、CO₂ を固定化した「**カーボンリサイクルコンクリート**」を開発している（NEDO 支援事業）。また、大成建設グループも工場の排気ガスなどから製造する炭酸カルシュームを使用し、コンクリート内部に CO₂ を固定することで、CO₂ 収支をマイナスにする「**カーボンリサイクルコンクリート**」を開発している。

既に、カーボンリサイクルコンクリート製品は使われ始めているが、将来はレディミクストコンクリートにおいても同じような製法が採用され、**ポルトランドセメントの使用量をゼロにし、炭酸ガスを吸収した、させる「環境配慮型コンクリート」が普及する時代になると期待している**。

2050 年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする「改正地球温暖化対策推進法」（2021.5）の目標の実現の一翼を担い、持続可能な地球になるように、社会インフラの構築・整備に尽くしたいものである。

村田 秀一