

緑化したコンクリート構造物の耐久性

前川 宏一*¹・岡本 享久*²

1. 基本概念

緑化はコンクリート表面の環境条件を変化させる要因となる。したがって、緑化による種々の物理的効用の定量評価は、コンクリートを取り巻く環境を変化させるものとして、耐久性能の評価にリンクさせることが可能である。現在、提案されている耐久性能評価法として、土木学会¹⁾および日本コンクリート工学協会²⁾の設計試案が挙げられる。緑化の効果をコンクリートを取り巻く環境の変化としてとらえるのであれば、前者の性能評価法に無理なく組み入れることが可能であろう。これは、図-1に示すとおり、コンクリートと緑との間に一線を引き、緑は環境とともに「外力」あるいは「荷重」として認識される。コンクリート側は「荷重」を受け止める対象構造、あるいは「耐力」的存在である。そして、作用と抵抗との大小関係から耐久性能を判定する。作用のレベルと抵抗のレベルとの離れ具合は、いわゆる、余裕度(安全率)であり、その値は作用と抵抗の評価技術と確度と、社会からの要求レベルによって決定される。

一方、環境とコンクリート間に存在する緑を、コンク

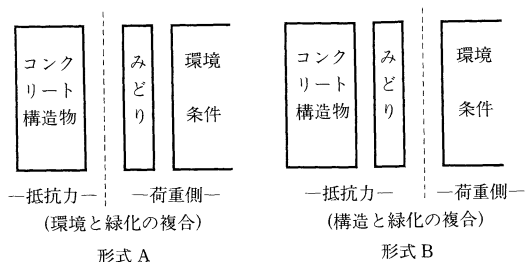


図-1 緑化の効果の模式図

リート構造物側にとりいれ、コンクリートと緑を用いて、環境に抵抗する対象とすることも可能である。すなわち、緑はコンクリートかぶりの一部とするのである。この場合、環境条件によって異なるかぶりの要求値と、実際のかぶりとを比較するフォーマットをとるコンクリート工学協会提案の耐久設計試案に乗せて、緑化の効用を考えることが容易である。

耐久性能の判定方法は、上記2つの方法が既往の技術との関連から考えられるわけであるが、最終的に確保したい要求性能を明記すれば、いずれの方法(フォーマット)に従っても同じ工学的な結果を得ることができるのである。その意味で、上記2者は、それぞれ耐久性能に対する限界状態設計の思想を踏襲しているといえてよい。以下は、両者の方法(形式A, B)の特徴をまとめたものである。

形式A……緑化の効用を環境条件の変化として取り入れるので、物理的効用の評価値を直接的に使いやすい。現実により忠実たらんとする姿勢である。ただし、緑化の効用を設計プロセスで感覚的に認知しにくい、また現時点では、試案自体が環境条件を代表するパラメータを十分に取り込んだ形となっていない。

形式B……緑をコンクリートの一部としてとらえる、すなわち緑化の効用を換算かぶり厚さで取り入れるので、感覚的にわかりやすく、かつユーザーに対しても説得力がある。ただし、緑からコンクリートといった、仮想の変換を行う必要がある。

両者とも長所・短所を有しているが、いずれも今後の研究の進展によって長所を伸ばし、短所を無くすることができるものであること、現在よりも積極的に耐久性を向上させようとする技術であること等をかんがみれば、システムとして十分機能するものと判断される。ここでは、両者の概念に立脚して、耐久性に及ぼす緑化の効用の評価を試みるものである。多くの不確定要素と不十分

*1 まえかわ・こういち/東京大学助教授 工学部 総合試験所(正会員)

*2 おかもと・たかひさ/日本セメント(株) 中央研究所 主席研究員(正会員)

な経験ゆえに、使用した数値自体は信頼性のおけるものとは言えないが、緑化と耐久設計の概念を説明する上であえて数値を用いた。今後の研究・調査の展開によって改められるべきものであることを理解いただきたい。

2. 環境要因としての緑化の位置づけ (土木学会試案に準拠して)

耐久設計試案と緑化による効用とのリンクとして、図-2に示すように緑化をコンクリート表面での環境条件(温度、湿度、平均風速)の変化として与え、コンクリート構造の要求される耐久性指数をどの程度、低下(緩和)させることが可能かを試算する。換言すれば、耐久設計において設定している環境指数(一般の条件下では100)をどの程度、緑化による効用によって変化させることができるかを試算してみる。これは、現行の土木学会試案自体が環境条件の厳しさの強弱を十分に定量化できていない現状において必要となる。今後、耐久設計試案の精度と各種環境への適用性の向上が図られれば、本節に述べる換算を待たずに、より直接的に緑化の物理的効用を関数値として取り入れることができるものである。

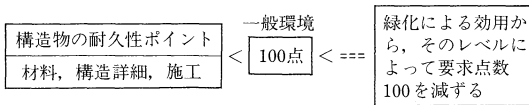


図-2 環境要因としての緑化の位置づけ

2.1 乾燥収縮の指数を用いた等価換算(図-3参照)

土木学会試案では、単位水量 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ の変動に対して、耐久性ポイント10点が変動する(ただし $W > 160 \text{ kg/m}^3$)。この項目は乾燥収縮に関するものであり、 $W/C = \pm 10\%$ に等価置換されている。ここで取り上げられた乾燥収縮は、乾燥収縮ひび割れの危険度を代表するものと位置づけられている。乾燥収縮ひび割れによって物質透過に対する抵抗性が低下し、鉄筋の腐食条件を変動させるからである。他の項目(コンクリートのスランプ、断面詳細、使用材料、施工)は、この2者との相对比较によって等価置換されて、耐久性ポイントの重み係数が決定されている。したがって、緑化に伴うコンクリート表面での環境条件の違いが、構造体表面のかぶり

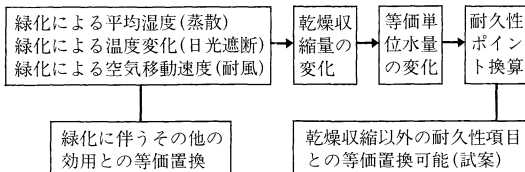


図-3 乾燥収縮の等価提案

部コンクリートの乾燥収縮にどの程度の影響を及ぼすかを試算して、これをもって緑化に伴う効用を耐久設計(主として鉄筋の腐食)のフレームに等価置換して取り入れる。

ただし、緑化にともなうかぶり部コンクリート近傍の環境変化の記録や、コンクリートの収縮の変動に関するデータは、絶対的に不足している。そこで、現在、使用できる技術を寄せ集めて、その範囲でオーダーレベルで試算することとした。

主にかぶり部コンクリートの収縮が耐久性(鉄筋腐食)に関与するので、かぶりの寸法を2cmとして解析を行う。ここでは、細孔組織構造を指数曲線で仮定し、BET理論+Kelvin式+ポアソン式を連立して、コンクリート中の水分移動と表面張力およびセメント硬化体の変形性とクリープを考慮した解析を準用した。

(1) 湿度環境に関する等価置換=緑化と湿度環境

具体的には、図-4に示すように外環境湿度と平衡する蒸気圧を保持できるキャピラリーポア寸法を算定し、所定の仕様のコンクリートの細孔組織構造より含水量を求め、この含水量に力学的に釣り合う表面張力からセメント硬化体の収縮応力が算定される。

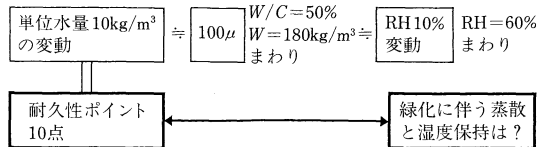


図-4 湿度環境に関する等価置換

(2) 温度環境に関する等価置換=緑化と温度環境 (直射日光の遮断)

温度の変動により、液体化と水蒸気の平衡が移動し、あらたな釣り合い状態に至る。図-5に示すようにこれに等価な基準平均温度と湿度(年平均)に平衡する状態とを比較して、耐久性ポイントを等価置換する。この環境を達成する緑化レベルを評価して、耐久性ポイント換算。

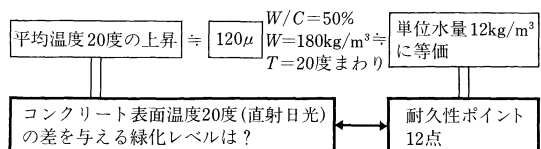


図-5 温度環境に関する等価置換

(3) 空気の移動に関する等価置換=緑化と耐風 (空気循環)

現行の土木学会試案の基準(普通の環境条件)環境条件は、図-6に示すように風に対しても、特に大きな空

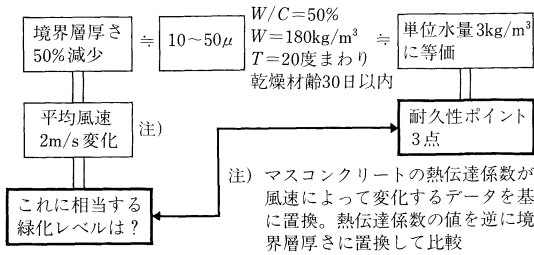


図-6 空気の移動に関する等価置換

気移動がない条件を前提としている。したがって、コンクリート表面部に遷移層が形成され、これがコンクリート内部から周辺環境への水蒸気移動を律することになる。この層の厚さを基準環境条件に対しておよそ 0.75 mm と想定した。

これが空気の移動により遷移層厚さが変化（減少）し、乾燥が進む。緑化は保温性ととも、遷移層厚さに対して有利な方向に作用し、乾燥環境を緩和する。

2.2 液体水接触を伴う乾湿繰り返し—降雨と散水— (図-7 参照)

緑化に伴い、コンクリート表面に水の散布が期待できる場合がある。佐藤ら³⁾によれば、乾湿の繰り返しを受ける場合、室内で水との接触がない場合と屋外で降雨にさらされる場合では、平均気温と平均湿度が同じであっても、乾燥収縮量は異なる。これは、液体で接触する場合には水のバルク移動を伴うためにコンクリート中の水分の保存量が高まること、細孔中の液体と水蒸気の isotherm に大きな経路依存性が起こることに起因すると思われる。

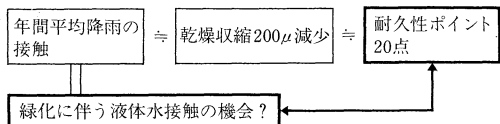


図-7 液体水接触を伴う乾湿繰り返し

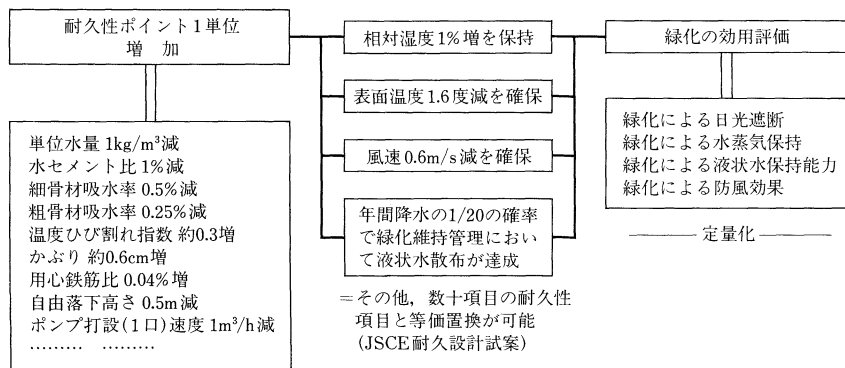


図-9 緑化によるコンクリート構造物の耐久性の改善

2.3 単純線形化の可能性

isotherm 図、収縮-質量変動、温度-isotherm (isotherm の一例を図-8 に示す) は、湿度 100 % から 20 % 程度まで強い非線形性を有することが知られている。しかし、日本における平均的な気象条件のまわりで、湿度、温度、風等が変動するとすれば（環境条件の変動幅がマイルド）、基準環境条件まわりでは線形化が可能となる（およそ湿度 60~70 % 近傍）。よって、第一次近似として（非線形性をフーリエ展開したときの第 3 項以降を無視するとして）、影響因子と効用は加算できるとして図-9 の関連を得る。

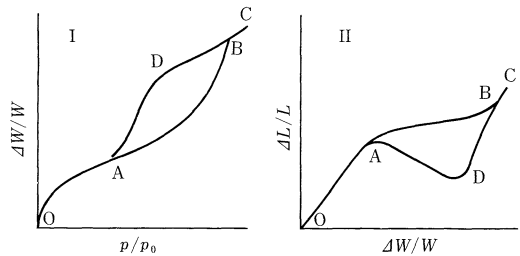


図-8 isotherm の一例

(Basic length change-adsorption behaviour : I . Adsorption isotherm ; II . Length change vs. weight change plot.)

3. 等価かぶり厚さとして緑化を評価する方法

日本コンクリート工学協会による耐久性の検討方法は以下の式による。

$$C_{de} < C$$

C_{de} は劣化深さ（時間の関数）、 C は等価かぶり厚さである。緑化の効用は環境の変化として物理的に現れ、それが劣化深さを算定する際に考慮される。具体的には C_{de} 算定における環境係数となろう。この係数は屋外・屋内、地域等のカテゴリーから決定されるが、前章と同

じく、温度、湿度、風速等の数値によって定量化されているものではない。したがって、2章同様の換算を行うことは変わらない。ここで緑化による C_{de} の変化（減少：プラスの効用）を $-\Delta C_{de}$ とすれば ΔC_{de} は、上式より等価換算かぶり厚さに等しくなる。

$$C_{de} < C + \Delta C_{de}$$

したがって、乾燥・温度・風速・日光に伴う劣化深さの変化を、既往の研究から換算して与えることができるのである。

4. あとがき

緑化の物理的効用によるコンクリート構造物の耐久性評価手法の一例を示した。緑化による周辺温度、湿度の恒常化、葉、茎による塩分などの吸収、などの物理作用が、コンクリートの耐久性を向上させ、実質的にかぶり部コンクリートの増大したことで同一の効果をもたら

すことがわかった。これらの計算例が日本コンクリート工学協会・コンクリート構造物の緑化設計法研究委員会報告⁴⁾に示されており、具体化し、設計プロセスに反映できることが可能となりつつある。今後とも、緑化したコンクリート構造物の耐久性に関する論文が増加し、さらなる資料の蓄積が待たれる。

〈参考文献〉

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針、コンクリートライブラリー第65号、1989.8
- 2) 日本コンクリート工学協会：鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計に関する考え方、JCI-C 24、1991.5
- 3) 北條、佐藤、氏家、鳥取：鉄筋コンクリートの長期曲げひびわれ幅に及ぼす乾燥収縮の影響について、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、Vol. 49、pp. 646-647、1994.9
- 4) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の緑化設計法研究委員会報告、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16、No. 1、pp. 15-24、1994

◀図書案内▶

コンクリート技術者のための

偏光顕微鏡による骨材の品質判定の手引

A 4判・125ページ（岩石の顕微鏡カラー写真32ページを含む）

定価 12 000 円（外税 360 円）、会員特価 10 000 円（外税 300 円）／送料 360 円

アルカリ骨材反応を含めた骨材の化学的安定性について調べる場合には、骨材に関する岩石・鉱物学的な知識が必要であり、さらに、使用を予定している骨材がどのような岩石からなり、また、その中にはどのような鉱物がどの程度含まれているかを判断する唯一の手段は、偏光顕微鏡による観察である。

本書は、これまで偏光顕微鏡を取り扱ったことがないコンクリート関係の技術者・研究者を対象として、斯界の権威者が、岩石・鉱物学の基礎および偏光顕微鏡による岩石・鉱物の観察方法などについて解説したものである。

〔主要目次〕

- 第1章 鉱物、岩石概論—特にアルカリ骨材反応に関連して—
岩石、鉱物／結晶学の初歩／鉱物の性質と観察／鉱物の分類大要／鉱物の性質に残された鉱物の歴史／岩石の観察／岩石の分類
- 第2章 偏光顕微鏡による岩石・鉱物の観察方法
偏光顕微鏡／試料／観察前の調整と準備／鑑定要領
- 第3章 偏光顕微鏡による岩石・鉱物の判定方法—有害鉱物を含む岩石の観察—

- 岩石の分類／岩石を構成する鉱物／コンクリートに有害な鉱物
- 第4章 コンクリート骨材としての品質判定例
偏光顕微鏡による骨材の品質判定の目的／コンクリート骨材の品質判定の目安／被害コンクリート中の骨材の品質判定例／骨材試料の品質判定例／反応性骨材の偏光顕微鏡観察
偏光顕微鏡による岩石・鉱物観察に関する用語

●申込先：（社）日本コンクリート工学協会・管理課「書籍販売係」

〒102 千代田区麹町5-7 TBRビル708号

電話 (03) 3263-1571 (担当：宇野)

〈申込方法〉 書籍名・送付先を明記のうえ、前金（現金書留）にてお申込みください。