

Slide 10

構造物表面の塩化物イオン量を測る場合と、コンクリート内部の塩化物イオン量を測る場合の二通りがある。前者は非破壊で、表面を分析することで測定することができる。後者は、コンクリート小片を取り出し（一般的には円柱状に切り出す。「コア抜き」と言う。）、表面からの距離に応じていくつかの部分に輪切りにし、それぞれの塩化物イオンを測定することで、表面からの塩化物イオン分布を知ることができる。

There are two cases for chloride ion measurement. One is that on the surface of structures, the other is that in concrete. Former can be measured by non-destructive methods by analyze the surface, while latter is generally measured by taking small pieces of concrete (Normally, it is taken by cylinder shape so-called coring.), slicing it into some pieces, and measuring the chloride ion concentration for each piece, then distribution in the depth direction can be obtained.

ここで言う「限界値」とは、鉄筋に腐食が発生する上限の塩化物イオン濃度のことであり、点検で得た鉄筋位置の塩化物イオン量と限界値の大小関係が重要となる。

“Limit” in this slide means the upper limit value of chloride ion concentration for causing corrosion in steels. The magnitude correlation between chloride ion concentration at the location of steel and the limit is important.

Slide 11

左下の式は塩化物イオン濃度の分布を求める式で、現行の示方書では、新設構造物の耐久設計に使われている。この式は、フィックの拡散方程式を解くことで得られ、 erf は誤差関数である。フィックの拡散方程式や誤差関数の定義については、インターネット等で調べてほしい（フィックの拡散方程式は、簡単に言うと、濃度の高い部分から低い部分に、濃度勾配にしたがった速度で物質が移動する現象を定式化したものである）。

The lower left equation is used to obtain chloride ion concentration distributions. This equation is originally used for durability design of newly-constructed structures in the current JSCE specifications. This equation can be obtained by solving Fick's diffusion equation, where erf is an error function. As for the details of Fick's diffusion equation and an error function, you may check them in the internet. Simply to say, Fick's diffusion equation represents the behavior that mass moves from locations with higher concentration to those with lower concentration with a velocity depending on the concentration gradient.

x はコンクリート表面からの深さ方向の位置（右図の横軸を参照）、 t は経過時間、 C_0 はコンクリート表面における塩化物イオン濃度、 D_{ap} は定数、 $C_{initial}$ は塩化物イオン濃度の初期値、である。この式を t にいくつかの値を入れて解いたのが右図の複数の曲線で、時間が経過することにより、塩化物イオンが深い位置まで浸透していく様子がわかる。なお、 D_{ap} は拡散係数と呼ばれ、コンクリートの物性等により定まる（スカスカなコンクリートは物質が速く

移動するので、 D_{ap} の値が大きい)。実際には、ひび割れが生じると、ひび割れを通してさらに物質が移動しやすくなるため、 D_{ap} の値はひび割れの状況も考慮して定められるが、ひび割れを通しての移動は拡散現象ではない。「見かけの拡散係数」と呼ばれる所以である（添え字の *ap* は *apparent* の略）。 $C_{initial}$ は、海砂や塩分を含んだ練り混ぜ水をコンクリートに用いた際に考慮するものである。実務的には、この式により得られる鉄筋位置(x =かぶり厚)の塩化物イオン濃度が大事で、その値が限界値に達したとき、鉄筋に腐食が生成すると判断される。

x is a distance from the concrete surface to the depth direction (see the lateral axis of the right figure), t is elapsed time, C_0 is chloride ion concentration on the concrete surface, D_{ap} is a constant, $C_{initial}$ is initial value of chloride ion concentration. By solving this equation for several value of t , curves shown in the right figure can be obtained. You can see that chloride ions penetrate in deeper locations over time. D_{ap} is called a diffusion coefficient, which is determined from property of the concrete (in the case of porous (poor quality) concrete, mass can transfer with high velocity, resulting larger value of D_{ap}). In fact, the effect of cracks is also considered to determine the value of D_{ap} because mass can be also transferred through the cracks. However, mass transfer through cracks is not a diffusion phenomenon. Therefore, it is called an “apparent” diffusion coefficient (The sub-script *ap* stands for *apparent*). $C_{initial}$ is used for considering initial contents of chloride due to sea sand, sea water, etc. In practice, chloride ion concentration at the location of steel rebars (x =cover depth) is important. When it reaches to the limit value, it is considered that corrosion begins to occur.

Slide 14

「劣化要因と診断①」で説明したように、構造物に生じる劣化には様々な種類があるが、それらが単一で生じるとは限らない。複数の要因が互いの劣化を促進し、複数の種類の劣化が同時に生じることにより、それぞれが単一に生じるケースの劣化度を合計したものよりも劣化度が大きくなる場合がある。塩害と中性化は、そのような関係にあり、このような現象を複合劣化と言う。様々な劣化要因が同時に生じた際、どのようなメカニズムで、どのように材料や構造の性能に影響を及ぼすかについては、未解明な部分が多く、研究の対象となっている。（よければ、研究室のウェブサイト

https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/maintenance/team_matsumoto/research/research.htm を見てください。)

As explained in “Deterioration factor and assessment (1)”, there are several factors inducing deteriorations to structures. However, it is not necessary that they occur independently. There are the cases that each factor promotes the deterioration each other when several types of deterioration occur simultaneously, resulting that the degree of damage becomes larger than that of a summation of the deterioration degree caused by each factor independently. Salt

attack and carbonation have such as relationship. This phenomenon is called *combined effect*. When structures are suffered from several deterioration factors simultaneously, what kind of mechanism and how it affects the material properties and structural performances have not been clarified. It is one of the targets of research. If you are interested, please visit our website. https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/maintenance/team_matsumoto/research/research.htm